



Klima & Energi

OMBYGNINGEN AF ENERGISYSTEMET

- Problemstilling og fremgangsmåde

Klima og Energi

Ombygningen af energisystemet

Problemstilling og fremgangsmåde

Greenpeace

Juni 2010

Klima og Energi. Ombygningen af energisystemet Problemstilling og fremgangsmåde..

Forfatter: Klaus Illum, ECO Consult.

Copyright 2010: Greenpeace og Klaus Illum.

Udgivet af Greenpeace, juni 2010.

ISBN no. 978-87-88807-06-6

Download:

Denne rapport: <http://www.greenpeace.org/denmark/press/rapporter-og-dokumenter/ombygningen-af-energisystemet>

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

Greenpeace-rapporten *Nedtrapning af CO₂-udslippet*, januar 2008, beskriver et scenarie - betegnet LF - for udviklingen af det danske energisystem frem til 2030.

Nærværende rapport uddyber problemstillingen og beskriver med yderligere dokumentation et modificeret scenarie, betegnet LG .

Scenarieberegninger og scenaribetegnelser

Beregningerne er udført med multi-scenariemodellen SESAM-DK (The Sustainable Energy Systems Analysis Model, Danmark), hvis database indeholder tekniske specifikationer af de nuværende energisystemer i de danske forsyningsområder (byområder, landsbyer og landområder) samt specifikationer af mulige fremtidige ændringer i disse energisystemers bygninger, energikildeanlæg, forsyningsanlæg, forsyningsstrukturer og transportmidler.

Hvert af de mange forskellige scenarier for udviklingen af det danske energisystem, der kan gennemregnes og sammenlignes mht. CO₂-udslip, brændselsforbrug og samfundsøkonomiske konsekvenser, har en 2-bogstav-betegnelse, hvor det første bogstav henviser til de i scenariet antagne kvantitative vækstfaktorer (vækst i opvarmede bygningsarealer, el-apparatbestande, transportmængder, etc.), og det andet bogstav henviser til et omfattende sæt af tekniske og strukturelle ændringer (et investeringsprogram), som gennemføres i det pågældende scenarie.

I denne rapport betragtes to scenarier med betegnelserne LG og LX, hvor L står for "Lavere vækst" og G og X blot er bogstavbetegnelserne for de to her betragtede L-scenarier.

I andre rapporter om alternative scenarier bruges ofte suggestive betegnelser som f.eks. "Grønt scenarie" , "Lysegrønt scenarie" eller "Sort scenarie". Med multi-scenariemodellen er der imidlertid tale om at sammenligne en lang række mulige scenarier med henblik på at udvælge et klimamæssigt, forsyningssikkerhedsmæssigt og samfundsøkonomisk hensigtsmæssigt scenarie. Der er mange parametre, der kan varieres uafhængigt af hinanden, og således utallige varianter at vælge imellem, og mange forskellige scenarier kan på forskellige måder føre til omtrent det samme brændselsforbrug og CO₂-udslip. Det ville derfor have været upraktisk, hvis scenariet LG havde fået f.eks. betegnelsen "Grønt scenarie", for så skulle der findes en anden suggestiv betegnelse for LX-scenariet. (Det er tilfældigt, at G her kan stå for "Grønt").

Tidsrummet for scenarieberegningerne

Beregningerne for såvel det i 2008 beskrevne LF-scenarie som for det her beskrevne LG-scenarie dækker tidsrummet fra 2007 til 2030. Databasen er ikke blevet opdateret med de faktiske ændringer af energisystemet og dermed af CO₂-udslippet, der er sket fra 2007 til 2010.

Indhold

Forord.	3
1. Problemstilling, målsætning og fremgangsmåde.	5
2. Energisystemets nationale afgrænsning.	11
3. Scenariebeskrivelsen.	15
3.1 Oversigt: Forbrug, produktion og CO ₂ -udslip	15
3.2 Komparative samfundsøkonomiske omkostningsvurderinger.	19
3.3 Beregningsforudsætninger og specifikke forandringsforløb.	23
3.4 Anlægs kapaciteter og benyttelsestider.	23
3.5 Fjernvarme-temperaturer.	24
3.6 Geotermiske varmereservoirer.	24
3.7 Nyttevirkning og effektivitet.	25
3.8 Solvarme.	25
3.9 Omsætning af elektrisk kraft til transport-brændstof.	27
3.10 Tilpasning af el-forbruget til el-produktionen i vindmøller og kraftvarmeværker.	28
3.11 Tilbage til en decentral, kommunal energiforsyningsstruktur.	29
4. Energiforbrug, VE-procenter og CO ₂ -udslip.	31
Dokumentation.	35
• Tabel 1: Forbrug og produktion. Sammenfattende oversigt.	
• Tabel 2: El-apparater, bestandsudvikling; eksempel.	
• Tabel 3: El-forbrugets fordeling på anvendelsesområder.	
• Tabel 4: Bygningers varmebalance; eksempler.	
• Tabel 5: Opvarmede etagearealer fordelt på bygnings/anvendelsestyper.	
• Tabel 6: Nettovarmeforbruget og dets fordeling på forbrugssektorer.	
• Tabel 7: Nettovarmeforbruget i bygninger fordelt på opvarmningsformer og forsyningsområder.	
• Tabel 8: Vindkraft og solceller; installeret kapacitet og el-produktion.	
• Tabel 9: El- og fjernvarmeproduktion samt anlægskapaciteter ialt i kraft- og kraftvarmeværker. Tekniske parametre i gennemsnit for alle værker.	
• Tabel 10: Tekniske data for de enkelte forsyningsanlægstyper; eksempler.	
• Tabel 11: Brændselsforbruget i stationære anlæg og dets fordeling på anlægstyper.	
• Tabel 12: Transportmidler. Udvikling i transportmængder og fremdriftmidler.	
• Tabel 13: Årlige og månedlige energibalanceregnskaber for systemet som helhed; eksempel.	
• Tabel 14: Årlige og månedlige energibalanceregnskaber for de enkelte forsyningsområder; eksempel.	
• Tabel 15: Eksempler på resultater af el-effektberegningerne for systemet som helhed.	
• Tabel 16: De beregnede udnyttede el-produktionskapaciteter i centrale, decentrale og mini-kraftvarmeværker	
• Tabel 17: Energiomsætningssystemets produktion, forbrug og effektivitet.	
• Tabel 18. Samfundsøkonomiske omkostninger. Sammenfatning, scenarie LG og LX.	

Energienheder:

1 J (Joule) = 1 Nm (kraft*vej: 1 Newton* 1 meter)

1 kJ = 1.000 J

1 MJ = 1.000.000 J

1 GJ = 1.000.000.000 J

1 TJ = 1.000.000.000.000 J

1 PJ = 1.000.000.000.000.000 J

1 W = 1 J/sek

1 Wh = 1 W*3.600 sek = 3,6 kJ

Arbejde:

Løft af 10 kg 1 meter: 98 J = 0,000027 kWh

Løft af 1.000 kg 10 meter: 98 kJ = 0,027 kWh

En dansk families daglige el-forbrug: ca. 10 kWh svarer til det arbejde 1.000 cyklister udfører, når de i let medvind kører op ad en 40 m høj, stejl bakke (en meget høj bakke i det danske landskab).

Kemisk energi:

Den danske befolknings årlige energibehov i form af fødevarer: ca. 20 PJ

Foder til kvæg og svin i dansk landbrug i 2010: ca. 150 PJ

Forbrug af fossile brændsler i Danmark 2010: ca. 750 PJ

Brændværdien af et stykke bøgebrænde

på størrelse med en 1 liter mælkekarton : ca. 10 MJ

Brændværdien af 1 liter olie: ca. 34 MJ = 9,4 kWh

Energiomsætning: Kemisk energi < > arbejde < > varme (eller rettere: temperaturforskelle):

I biler omsættes kemisk energi (olie: benzin, diesel) til mekanisk transmitteret arbejde til hjulene. Den danske bilparks personbiler kører i gennemsnit ca. 16 km/liter på landevej. Det svarer til ca. 20 MJ per 10 km, hvilket er ca. det dobbelte af et gennemsnitsmenneskes daglige energibehov i form af fødevarer (ca. 10 MJ).

Et damp turbinekraftværk omsætter kemisk energi i form af fossile brændsler og/eller biomasse til elektrisk transmitteret arbejde i forholdet 0,30 - 0,50 MJel/1 MJ brændsel, afhængigt af dampens tryk og temperatur og kondensatortemperaturen (ca. 20 grader ved køling med havvand, 65 - 100 grader ved køling via fjernvarmekredsløb).

I et naturgasfyret gasmotor-kraftværk er forholdet ca. 0,40 MJel/1 MJ gas og kølevandstemperaturen er omkring 80 grader.

I SOFC-brændselsceller (Solid Oxide Fuel Cell) kan forholdet komme op på 0,60 - 0,70 MJel/ 1 MJ brændstof.

I kompressions-varmepumper bruges elektrisk transmitteret arbejde til at opretholde en temperaturforskel, f.eks. mellem et centralvarmekredsløb og udetemperaturen. Arbejdet er større jo større temperaturforskellen er.

I et elektrolyseanlæg omsættes arbejde (elektrisk) til kemisk energi i form af brint.

Forord

Nedtrapningen af CO₂-udslippet og omstillingen til det post-fossile samfund er ikke et ønskværdigt alternativ til business-as-usual. For vores samfund vil under ingen omstændigheder kunne fortsætte med business-as-usual i de kommende årtier. Vi er blandt de rige lande, hvis vilkår i den globaliserede økonomi er i hastig forandring. Af den stagnerende og snart faldende oliemængde, der kan udvindes år for år, bliver en stadigt mindre andel os og de andre OECD-lande til del. Klimaændringer vil gøre det stadigt sværere at forøge udbyttet af verdens landbrugsjorder, så den voksende globale befolknings fødevarebehov kan dækkes - ikke mindst fordi en stadigt større del af afgrøderne bruges til opfodring af svin og kvæg og nu også til fremstilling af motorbrændstof. Og overfiskeri har formindsket havenes fiskebestande. De sidste årtiers globalisering med de rige, storforbrugende landes uhæmmede udtømmning af verdens billige fossile brændselsressourcer og andre naturressourcer, ubegrænsede CO₂-udslip og udnyttelse af billig arbejdskraft i andre lande er nået til et vendepunkt. For ti år siden var det utænkeligt, at en kinesisk bilproducent ville købe Volvo. Vil den kinesiske eller indiske vindmølleindustri en dag overtage Vestas og Siemens?

En hurtig nedtrapning af CO₂-udslippet fra danske skorstene og udstødningsrør er en forpligtelse, vi må påtage os. For hvis ikke vi kan gøre det - medens vi endnu er et af verdens rigeste lande - er der ingen, der kan. Men det betyder ikke, at vi skal yde økonomiske ofre. Det betyder, at vi skal udnytte vores tekniske kunnen til at påbegynde og gennemføre omstillingen til det post-fossile samfund på en konstruktiv måde til det fælles bedste. Det er danmarkshistoriens hidtil største kollektive projekt. Vejen til et fremtidigt velfærdssamfund, der kan blive bedre at leve i end vores nuværende.

Det er et overordentligt komplekst projekt - teknisk, økonomisk, socialt og kulturelt. En afgørende forudsætning for, at det lykkes, er, at de politiske beslutninger om hvilke kollektive investeringer, der skal gennemføres, og hvilke investeringer i privat regi, der skal fremmes, beror på konsistente analyser af, hvad der vil kunne opnås ved at gennemføre bestemte investeringsprogrammer.

Denne rapport præsenterer en sådan analyse. Den beskriver et forandringsforløb frem til 2030 - et scenarie - afstedkommet ved et omfattende investeringsprogram, som resulterer i en hurtig nedtrapning af CO₂-udslippet. Det fremgår af beskrivelsen, at der ligger en omfattende database med et tilhørende system af beregnings- og dokumentationsprogrammer bag den funktionelle analyse af teknisk mulige fremtidige energisystemer. Analysen er kompleks, fordi disse systemer udgør integrerede komplekser af forskellige energikilder og mange forskellige energiomsætningsanlæg, der under hele tiden varierende driftsforhold skal dække el- og varmebehovene i de forskellige forsyningsområders bygninger og levere drivkraft til transportmidler.

Den historisk enestående eksponentielle befolkningstilvækst og økonomiske vækst i det 19. og 20. århundrede var en ny form for darwinsk evolution. Økonomisk 'survival of the fittest in the struggle for life' under helt nye vilkår. Med adgang til ubegrænsede mængder af billig fossil energi kunne flere i de teknisk formående lande ikke kun overleve, men velforsynede med fødevarer producere et stadigt voksende

overskud af materielle goder. Evolutionen skred frem, med markedet som den usynlige hånd, der sørgede for, at virksomheder, der ikke fulgte med udviklingen, ikke overlevede. Storbyerne voksede som aldrig før, og bestandene af olieædende biler voksede til en milliard.

Arten af denne evolution kan udtrykkes i følgende lignelse:

En flok høns og en hane på en ø langt ude i havet finder en dag 100 tønder korn, der er skyllet i land fra et forlist skib. De er ikke flere, end at de kan leve af græsset og de andre planter, der vokser på øen, og ormene i jorden. Men nu er der mad til mange flere. De får flere kyllinger. Kyllingerne vokser op og får flere. De bliver store og fede af det rigelige korn. Efter en tid kan der snart ikke være flere høns og kyllinger på øen. Og der begynder at blive knaphed på korn. Det, der er tilbage, er blevet spredt og trampet ned i jorden, så det er svært at finde. Nu er hønsene blevet alt for mange til at leve af det, der vokser på øen. De har allerede udryddet en stor del af plantevæksten. Hvis de kun havde fundet 10 tønder korn, var de ikke kommet helt så galt af sted.

Festen er nu ved at være forbi. Den rigelige servering har imidlertid ikke kun skabt overvægt. Den har også givet næring til forskning og teknologiudvikling som aldrig før. Det giver muligheder for en omstilling fra den markedsstyrede evolution til 'intelligent design' - konstruktion af levedygtige energisystemer.

Det er en formidabel ingeniøropgave, hvis løsning forudsætter viden om, hvad der i praksis vil kunne opnås ved at følge forskellige teknologiske strategier for ombygning af energisystemet. Der er brug for et professionelt energi-informationssystem baseret på en løbende opdateret database med et tilhørende system af beregnings- og dokumentationsprogrammer. Kun med et sådant informationssystem kan man tilrettelægge en hensigtsmæssig strategi og løbende revidere den, efterhånden som de opnåede resultater registreres og nye muligheder og ikke forudsete problemer viser sig.

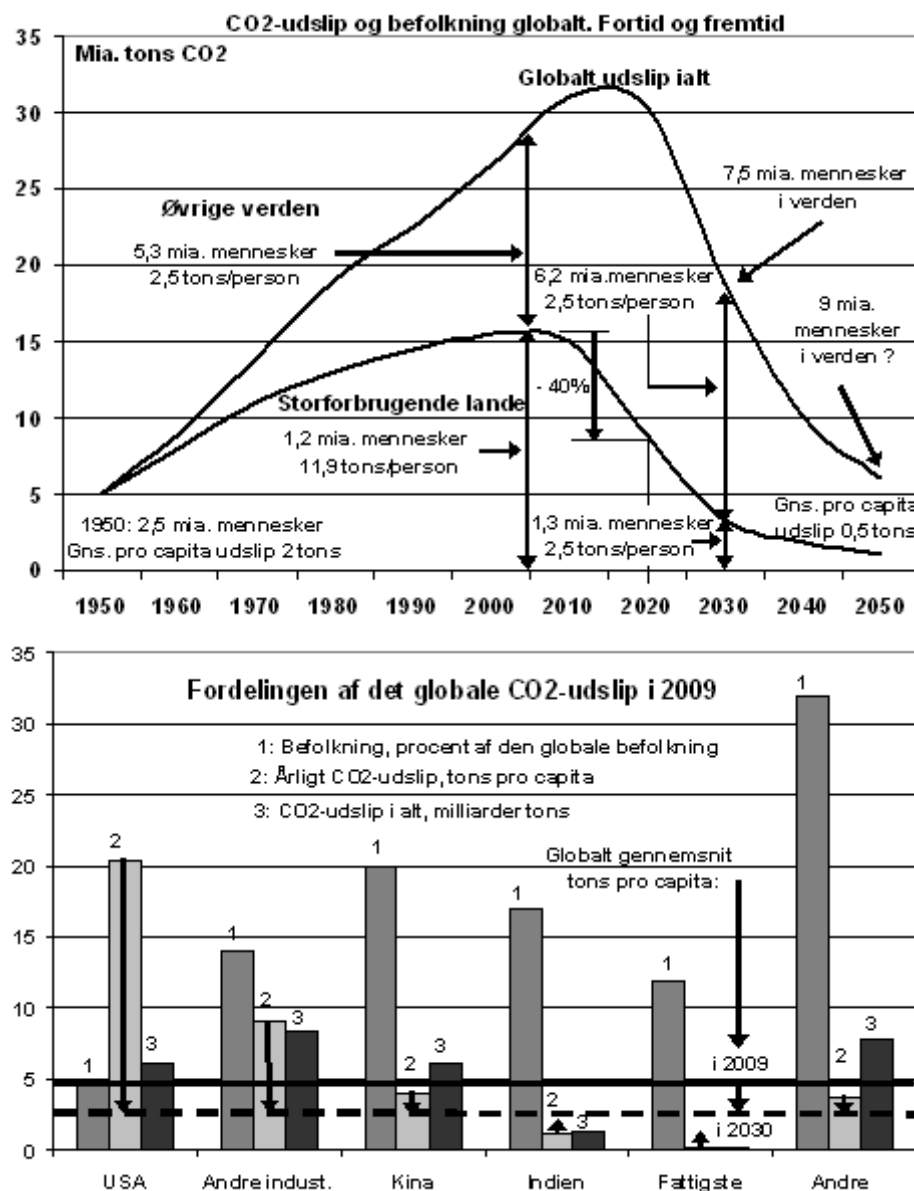
Denne rapport belyser den information, et sådant energi-informationssystem kan formidle. Tilsvarende er Greenpeace-rapporten *En grøn energiøkonomi - Virkemidler: Incitamenter til at gøre det nødvendige* (Oktober 2009) et oplæg til diskussion af mulighederne for 'intelligent design' af de økonomiske vilkår, der kan befordre den tilstræbte teknologiske udvikling.

Antag at etableringen af energi-informationssystemets database og programmel vil kræve en arbejdsindsats på 2.000 mandår fordelt på ingeniører, programmører, teknikere i kommunerne og embedsmænd i ministerier og styrelser, og at den efterfølgende løbende dataregistrering og opdatering af databasen derefter vil beskæftige 250 personer i 20 år. Med en gennemsnitlig årsløn på 500.000 kr vil den samlede lønudgift i de kommende 20 år så andrage et beløb af størrelsesordenen 3,5 mia. kr, svarende til omkring ½ procent af de samlede investeringsomkostninger i det her betragtede scenarie. Det er en relativt beskeden udgift til tilvejebringelse af et kvalificeret informationsgrundlag for udformningen og den løbende ajour-føring af en strategi for samfundsøkonomiens omstilling til den post-fossile æra.

Planøkonomi! Nej. Ligesom børnehaverne, skolerne, de videregående uddannelsesinstitutioner, sygehusene, vejene og jernbanerne, etc., er et bæredygtigt energisystem en forudsætning for en konkurrencedygtig produktion af varer og tjenesteydelser. Et bæredygtigt energisystem er ikke en del af markedet, men en forudsætning for markedets funktion.

1. Problemstilling, målsætning og fremgangsmåde

Samtidigt med fortsat vækst i den globale befolkning skal det globale CO₂-udslip nedtrappes så hurtigt, at stigningen i atmosfærens CO₂-indhold, der nu er 390 ppm, standses og derpå formindskes til 350 ppm. Ellers er der risiko for, at klimaændringerne løber løbsk med uoverskuelige følger for livet på Jorden, som vi kender det. Det er uvist hvor mange årtier, der vil gå, før stigningen i atmosfærens CO₂-indhold ophører, selvom det årlige CO₂-udslip formindskes kraftigt i de kommende årtier, men den i figur 1 viste nedtrapning af det globale udslip, så det i 2050 er nedbragt til 20% af det nuværende, må ifølge klimaforskernes vurdering antages at være en nødvendig omend ikke en tilstrækkelig betingelse for at begrænse stigningen i den globale middeltemperatur til 2 grader i forhold til det før-industrielle niveau.



Figur 1

Det fremgår af figur 1, at de storforbrugende landes (først og fremmest OECD-landenes) årlige per capita udslip, der nu er oppe på i gennemsnit 11,9 tons, skal nedbringes til 2,5 tons i 2030, hvis nedtrapningen af det globale udslip til 20% af det nuværende i 2050 skal gennemføres uden en yderligere forværring af den globale ulighed. Det skal bemærkes, at ca. 44% af Kinas udslip ifølge IEA skyldes produktion af varer, der eksporteres til bl.a. OECD-landene.

Endvidere fremgår det, at selv hvis USA og de andre industrialiserede, storforbrugende lande gjorde en storstilet indsats for at afstedkomme udbredelsen af vedvarende energikilder og anden teknologi i den øvrige verden, sådan at per capita CO₂-udslippet i den øvrige verdens lande i 2030 steg til/nedbringes til 2,5 tons (den stiplede vandrette linie i figur 1), ville befolkningstilvæksten medføre en forøgelse af det globale udslip. Det vil sige, at den nødvendige formindskelse af det globale udslip kun kan opnås ved den viste kraftige formindskelse af storforbrugende landes udslip. Kyoto-protokollens Clean Development Mechanisms (CDM), som tillader de industrialiserede lande at godskrive deres CO₂-regnskaber de CO₂-reduktioner, der opnås ved deres investeringer i andre lande, kan kun give et marginalt bidrag til nedtrapningen af det globale CO₂-udslip.

At den del af den årlige globale olie- og naturgasudvinding, der kan blive OECD-landene til del, vil være faldende i de kommende år, er et vilkår, vi under alle omstændigheder må indrette os på¹.

Spørgsmålet er, om vi formår at gennemføre omstillingen til den post-fossile økonomi på en konstruktiv måde, eller om vores fossile brændselsforbrug tvinges ned af stigende brændselspriser, så vi bliver for fattige til at købe de brændsler, vi har brug for.

Greenpeace arbejder på denne baggrund for at skabe politisk konsensus om

1. den målsætning, at udslippet af drivhusgasser, målt i CO₂-ækvivalenter, fra dansk territorium formindskes med mindst 40 procent frem til 2020 og mindst 70% frem til 2030, regnet i forhold udslippet i 1990.
2. udarbejdelse af en energipolitisk strategi, specificeret i form af offentlige og private investeringsprogrammer, som fører til opfyldelse af denne målsætning.
3. en gennemgribende revision af de nuværende energi- og miljøafgifter og af afgiftsprovenuets anvendelse til tilskud til energibesparende foranstaltninger samt udbygning og elektrificering af den kollektive trafik, med det formål at skabe økonomiske vilkår, som fremmer realiseringen af den planlagte investeringsstrategi.

¹ Problemstillingen kommer til udtryk i udtalelser som denne:

Anas F. Alhajji, chief economist for NGP Energy Capital Management, claims that oil prices might ultimately shatter the record set in 2008 as "rising consumption and nationalism in OPEC countries" pushes down their crude-oil exports and forces international oil companies to invest in high-cost areas with small reserves as global demand continues to grow.

Looking forward, in the short run, Alhajji concedes that speculators "will continue to fuel oil-price volatility as bullish and bearish factors steer them one way or the other." However, he says that "when it comes to the price of oil, production does not matter. Exports do. The fear is that OPEC exports will decline at a time when the leaders of the major consuming countries fail to deliver the promised 'green' economies." www.pennenergy.com/index/blogs/oil-diplomacy/blogs/OGJ/oil-diplomacy-blog.html Marts 2008.

Nærværende rapport er et bidrag til pkt. 2, idet den i form af et overskueligt sæt grafer og tabeller viser hovedtrækkene i et udviklingsforløb, der som resultat af et realiseret investeringsprogram fører til opfyldelse af målsætningen pkt. 1:

CO₂-udslippet fra danske skorstene og udstødningsrør formindskes med 46% frem til 2020 og med 73% frem til 2030 i forhold til 1990. Selv hvis formindskelserne af udslippet af drivhusgasser fra landbruget og andre kilder ikke fuldtud opfylder 40/70%-målsætningerne, vil disse målsætninger således kunne opfyldes for det samlede danske udslip, idet udslippet fra olie- og naturgasudvinding vil falde, efterhånden som olie- og gasfelterne i den danske del af Nordsøen udtømmes.

Greenpeace-rapporten *En grøn energiøkonomi - Virkemidler: Incitamenter til at gøre det nødvendige*, oktober 2009, er et bidrag til diskussionen af pkt. 3. Rapporten belyser de nuværende forbrugerudgifter til el, varme og transport og analyserer virkningerne af en række afgiftsomlægninger under den forudsætning, at det forøgede afgiftsprovenu bruges til statslige infrastrukturinvesteringer samt øgede tilskud til kollektiv transport og private investeringer i energibesparende foranstaltninger. Forbrugere, der reagerer økonomisk rationelt på sådanne afgiftsomlægninger og tilskudsordninger, vil få del i de opnåede samfundsøkonomiske besparelser, idet de vil undgå de fremtidige stigninger i deres udgifter til el, varme og transport, som følger af voksende priser på fossile brændsler.

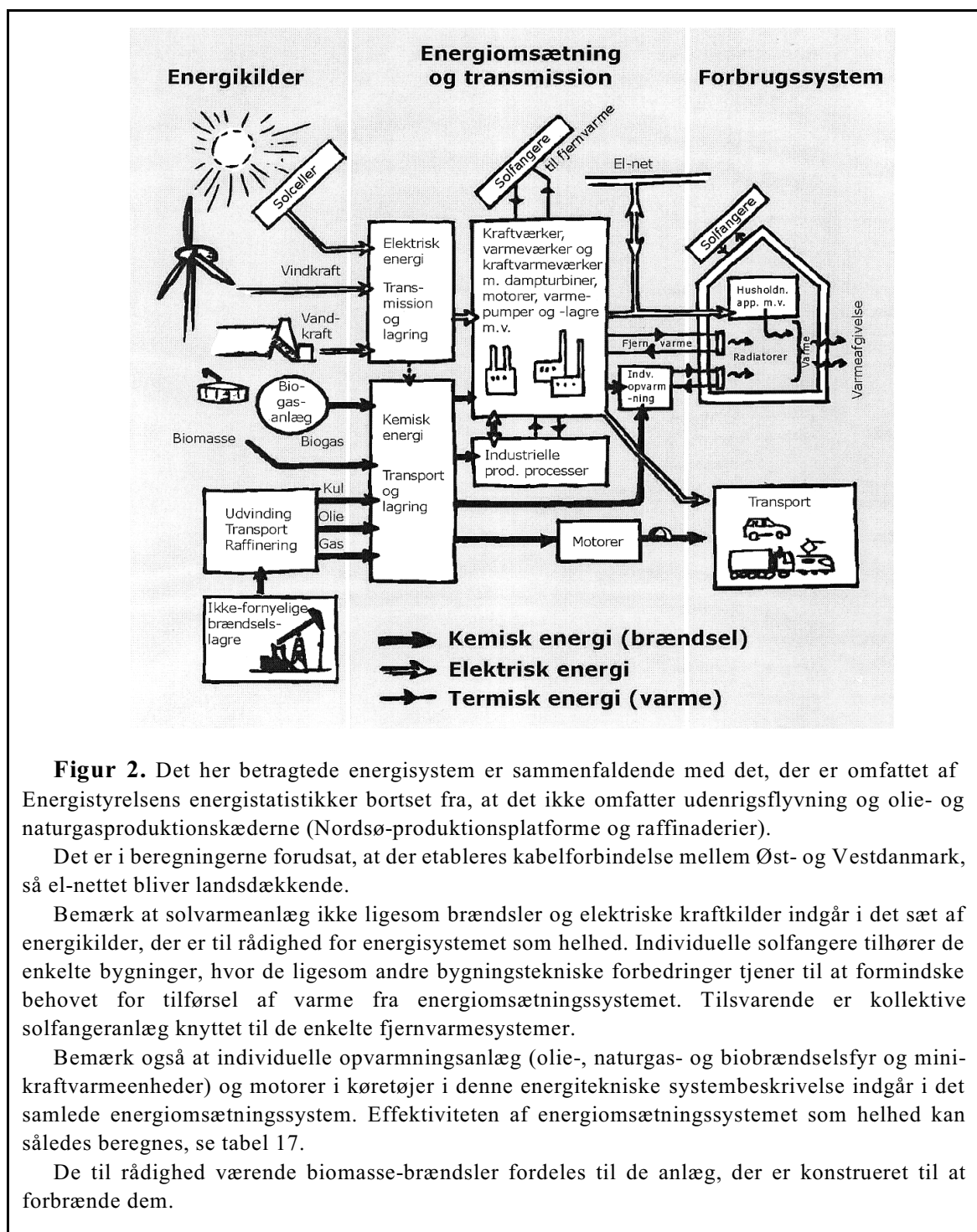
Der er tale om Danmarkshistoriens største investeringsprogram nogensinde: af størrelsesordenen 1.000 milliarder kr over de næste 20 år. For at tilrettelægge en samfundsøkonomisk hensigtsmæssig investeringsstrategi, må man vide, hvor store formindskelser af kul-, olie- og naturgasforbruget, der under givne antagelser om udviklingen i de kvantitative vækstparametre² vil kunne opnås ved at gennemføre konkret specificerede investeringsprogrammer i vedvarende energikilder, i energiomsætnings- og transmissionssystemet og i forbrugssystemet (se figur 2 nedenfor) under den forudsætning, at det samlede system indrettes og styres, sådan at energiressourcerne hele tiden udnyttes effektivt (se figur 3 nedenfor).

Denne viden kan kun indhentes ved hjælp af et omfattende computer-programsystem med en tilhørende database, som indeholder specifikationer af det nuværende energisystems fysiske elementer og strukturelle koblinger og vekselvirkninger, samt specifikationer af mulige fremtidige ændringer af disse størrelser og deres indbyrdes sammenhæng.

Et muligt fremtidigt forandringsforløb, specificeret ved kvantitative vækstparametre, fysiske ændringer opnået som resultat af et specifikt investeringsprogram samt adfærdsmæssige ændringer (især valg af transportmidler), kaldes et scenarie. Med multi-scenariemodellen SESAM-DK (Sustainable Energy Systems Analysis Model, Danmark), hvis database indeholder fysiske og strukturelle data for landets 64 byer og byområder, landsbyerne og landdistrikterne, er der i de senere år foretaget en lang række sammenlignende analyser af forskellige scenarier for udviklingen i det danske energisystem i de kommende årtier.

² d.e. udviklingen i el-apparatbestandene, bygningsarealer, transport- og trafikmængder samt i de industrielle produktionsmængder. Landbrugsproduktionen er ikke indregnet i nærværende analyse.

Det i nærværende rapport beskrevne LG-scenarie er en modificeret version af det i Greenpeace-rapporten *Nedtrapning af CO₂-udslippet*, januar 2008, beskrevne LF-scenarie: I LG investeres der mere i vindkraftudbygningen (6.200 MW installeret kapacitet i 2030 mod 5.000 MW i LF) og i varmebesparende foranstaltninger i bygninger (frem til 2030 formindskes det gennemsnitlige varmeforbrug per kvm. opvarmet areal med 42% mod 31% i LF). Fordi varmeforbruget i bygninger således bliver mindre, er der i LG regnet med lavere fjervarmetemperaturer i den sidste del af scenarieperioden end i LF. Endvidere er der i LG regnet med en hurtigere investeringstakt i el-drevne transportmidler (elektriske tog, sporvogne, trolleybusser og el-biler), sådan at el-forbruget til transport kommer op på 16 PJ i 2030 mod 13 PJ i LF.



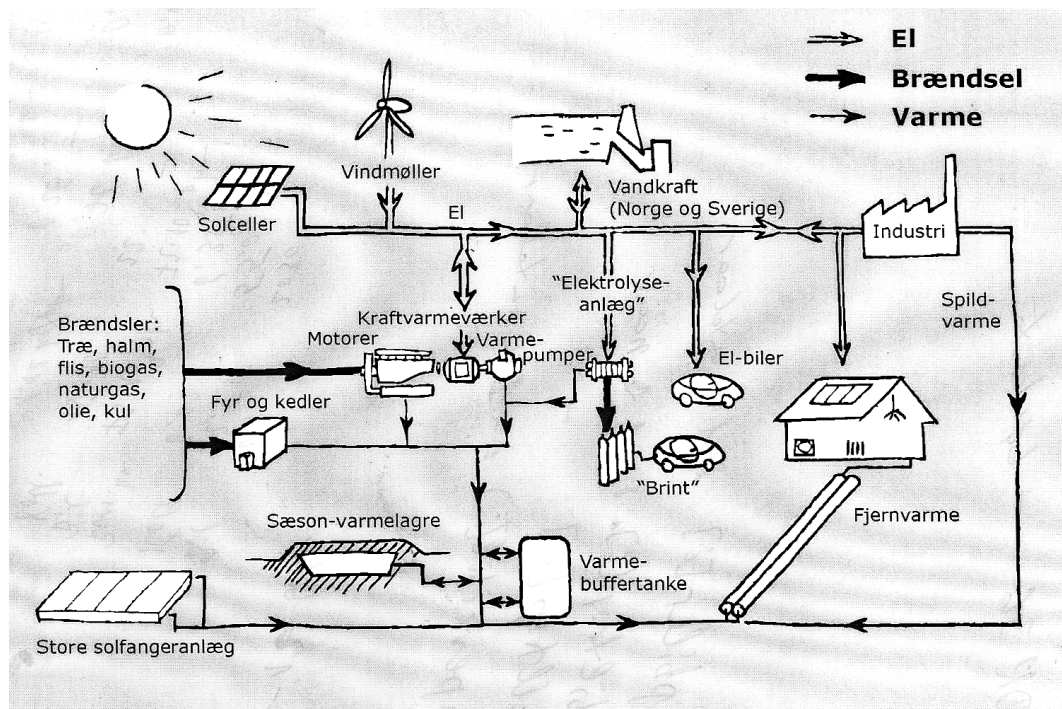
Figur 2. Det her betragtede energisystem er sammenfaldende med det, der er omfattet af Energistyrelsens energistatistikker bortset fra, at det ikke omfatter udenrigsflyvning og olie- og naturgasproduktionskæderne (Nordsø-produktionsplatforme og raffinaderier).

Det er i beregningerne forudsat, at der etableres kabelforbindelse mellem Øst- og Vestdanmark, så el-nettet bliver landsdækkende.

Bemærk at solvarmeanlæg ikke ligesom brændsler og elektriske kraftkilder indgår i det sæt af energikilder, der er til rådighed for energisystemet som helhed. Individuelle solfangere tilhører de enkelte bygninger, hvor de ligesom andre bygningstekniske forbedringer tjener til at formindske behovet for tilførsel af varme fra energiomsætningssystemet. Tilsvarende er kollektive solfangeranlæg knyttet til de enkelte fjernvarmesystemer.

Bemærk også at individuelle opvarmningsanlæg (olie-, naturgas- og biobrændselsfyr og mini-kraftvarmeanheder) og motorer i køretøjer i denne energitekniske systembeskrivelse indgår i det samlede energiomsætningssystem. Effektiviteten af energiomsætningssystemet som helhed kan således beregnes, se tabel 17.

De til rådighed værende biomasse-brændsler fordeles til de anlæg, der er konstrueret til at forbrænde dem.



Figur 3. Et fremtidigt energisystem med hele tiden varierende inputs fra 'el-siden' (foroven) og over året skiftende behov for varme (forneden) skal indrettes sådan, at dets forskellige energiomsætningsanlæg kan udnytte ressourcerne effektivt. Varierende elektrisk kraft fra kraftvarmeværker, vindmøller, solceller og vandkraftværker, der transmitteres og distribueres gennem de fælles højspændingsnet og lokale distributionsnet, skal dække det i en anden takt varierende forbrug i bygninger og industrier. Varmepumper i kraftvarmeværkerne skal regulere forholdet mellem værkernes el-produktion til el-nettet og deres varmeproduktion til de fjernvarmenet, de hver især skal forsyne, sådan at deres el-produktion så vidt muligt ikke bliver større end nødvendigt eller ønskeligt.

Når den elektriske kraft, der fra kraftvarmeværker, vindmøller og solceller tilføres el-nettet, overstiger forbruget i bygninger, industrier og elektriske tog, trolleybusser og sporvogne, skal den overskydende kraft omsættes til elektrokemisk energi eller kemisk energi til brug i busser og biler: ved opladning af batterier i hybridbiler og el-biler eller ved produktion af brint. I afsnit 3.9 diskuteres den mulighed, at brint bruges som brændstof i tunge transportmidler: busser, lastbiler og skibe - ikke i personbiler, sådan som vist i figuren.

"Elektrolyseanlæg" er i anførselstegn for at markere, at der kan blive tale om flere forskellige teknikker til elektrokemisk energilagring, ikke kun elektrolyse.

Et energisystem som det danske, der omfatter 64 større byer og byområder og mange flere småbyer og landsbyer, der skal have hvert sit kraftvarmeværk, og hvor mange bygninger skal udstyres med hvert sit mini-kraftvarmeværk og/eller med solceller og solfangere, er en kompleks struktur. At konstruere et sådant system på en sådan måde, at ressourcerne i form af brændsler og elektrisk kraft fra vindmøller og solceller hele tiden udnyttes effektivt, er en ingeniørmæssig udfordring. Opgavens løsning forudsætter viden om, hvordan forskellige mulige systemsammensætninger vil kunne fungere i praksis.

(Figuren stammer fra udredningen *Energipolitikens teknologiske råderum - Nedtrapning af CO₂-emissionen*. Af Klaus Illum og Bernd Møller, Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet, 1998.)

En rationel strategi for ombygningen af energisystemet fremkommer ikke ved at foreskrive erstatning af fossile brændsler med vedvarende energi i en bestemt takt og stipulere nedtrapning af energiforbruget med en årlig procentsats.

Det er en rekonstruktionsopgave. Det drejer sig om at beregne, hvad der med hensyn til CO₂-udslip og fossilt brændselsforbrug vil kunne opnås ved at ombygge det nuværende energisystem, dvs. ved gennemførelse af bestemte investeringsprogrammer på forbrugssiden, i vedvarende energikilder og i energiomsætningssystemet. De betragtede forandringsforløb (scenarier) må således tage udgangspunkt i det i databasen specificerede nuværende energisystems tekniske og strukturelle sammensætning: Et bygningsregister, der specificerer antallet af bygninger af forskellig type i kommunernes forskellige energidistrikter og deres nuværende opvarmningsformer; el-apparatbestande og de forskellige apparattypers nuværende energieffektivitet; eksisterende kraft- og kraftvarmeværker i de forskellige forsyningsområder og deres tekniske data; etc. etc.

Den løbende opdatering af en database som SESAM-DK-databasen, der omfatter næsten 200.000 bygningsregisterposter og hundreder af andre tekniske og økonomiske dataposter er en stor opgave, som må varetages af statslige og kommunale forvaltninger. Den her benyttede udgave af databasen er kun delvist blevet opdateret i de senere år. De i udgangspunktet 2007 beregnede brændselsforbrug og andre energiomsætningsværdier afviger bl.a. derfor op til ca. 10% fra de statistiske opgørelser (specielt er udskiftningen af oliefyrr med andre opvarmningsformer i de senere år ikke taget i regning). En anden grund til afvigelserne kan være den usikkerhed de statistiske opgørelser er behæftet med, bl.a. ved omregning af de registrerede værdier til normalår.

Det er en forudsætning for udformningen og gennemførelsen af en rationel, målrettet strategi for ombygningen af energisystemet, at datagrundlaget og det tilhørende beregnings- og dokumentationsprogrammel løbende opdateres efterhånden som ombygningen skrider frem. Kun derved kan man følge den faktiske udvikling og revidere planerne efterhånden som ikke forudsatte problemer og ny tekniske muligheder viser sig. Denne rapport beskriver i hovedtræk de informationer, der vil kunne uddrages af et sådant statsligt og kommunalt energiinformationssystem.

Den i marts 2008 af regeringen nedsatte Klimakommision skal i henhold til sit kommissorium *“belyse, hvorledes Danmark på langt sigt kan frigøre sig fra afhængigheden af fossile brændstoffer. Kommissionen skal ved belysningen beskrive virkeliggørelsen af den langsigtede vision. Kommissionens arbejde skal bl.a. reflektere EU's ambition om 60 til 80 pct reduktion af de samlede europæiske drivhusgasudledninger i 2050.”*

Kommissionens rapport, som offentliggøres i september 2010, vil således beskrive ét eller flere scenarier med tilhørende virkemidler, som frem til 2030 fører til kraftige formindskelser af CO₂-udslippet. De i dette scenarie/disse scenarier forudsatte kvantitative vækstrater og de forudsatte tekniske, strukturelle og adfærdsmæssige ændringer vil kunne indlægges i SESAM-DK databasen, hvorpå scenarieberegningresultaterne vil kunne sammenholdes med kommissionens beregningsresultater og bl.a. med de her beskrevne resultater af LG-scenarieberegningerne.

Der vil således kunne tilvejebringes et kvantificeret grundlag for diskussionen af alternative strategier for indholdet i og tilrettelæggelsen af de store investeringer, der skal gennemføres for at nedtrappe CO₂-udslippet.

2. Energisystemets nationale afgrænsning

Klimasystemet er det globale energisystem. Der er en fint afstemt energibalance mellem den højfrekvente stråling fra solen (minus den del, der reflekteres af skyer og sne- og isdækkede arealer) og den lavfrekvente (infrarøde) varmestråling til universet. Indstrålingen til stratosfæren varierer svagt med de relativt små periodiske variationer i Jordens afstand til Solen og med energiudladningerne på Solen (pertuberancer). Varmestrålingen fra Jorden er bestemt af land- og havområdernes overfladetemperaturer og af atmosfærens indhold af vanddamp, CO₂, andre såkaldte klimagasser og skyer, der absorberer den infrarøde udstråling og derved opretholder den temperatur (indre energi) i atmosfæren, som skaber balance mellem solindstrålingen og varmeudstrålingen. Temperaturforskellene og -variationerne i dette overordentligt komplekse globale energisystem giver drivkraft til havstrømmene, vindene, fordampningen og regnen, og den spektrale forskel mellem den ultraviolette solindstråling og den infrarøde varmeudstråling muliggør algevæksten i havene og plantevæksten på jorden og dermed livet op igennem fødekæderne.

De menneskelige samfund har frem til det 19. århundrede udviklet sig i kraft af menneskets evne til at udnytte energiresourcerne i de forskellige dele af det globale klimasystems atmosfære, landområder og havområder. Primært i landbrugene, sekundært i kraft af det fysiske arbejde, trækdyr og mennesker kunne præstere og opfindsomheden i konstruktionen af redskaber, bygninger og skibe. Kun når man fældede træerne hurtigere, end nye voksede op, eller man udpinte landbrugsjorden, var der tale om et ressourceforbrug. Ellers var der tale om indpasning af menneskelige aktiviteter i klimasystemets naturlige kredsløb. Under de omstændigheder kan man ikke udskille energisystemer som systemer, der er adskilt fra andre livsprocesser.

Med de billige fossile brændsler blev samfundsudviklingen uafhængig af de lokale og regionale naturressourcer, og med internationalt forbundne nationale højspændingsnet fik hver af de industrialiserede regioner et fælles elektrisk krafttransmissionssystem. Da det - med billig kul og olie - er billigt at transportere kul og olie til utallige forbrugssteder (kraftværker, industrier, bygninger og transportmidler) kunne alle de forskellige forbrugssektorer udvikle sig uafhængigt af hinanden. Kun bygasforsyningen og senere naturgasforsyningen og fjernvarmeforsyningen krævede en planlagt udbygning af ledningsnet. Således frigjort fra de begrænsninger, afhængigheden af de lokale og regionale naturressourcer udstak for samfundsudviklingen, har de industrialiserede samfund oplevet en økonomisk vækst til et aldrig tidligere set forbrugsniveau.

Klimasystemets og de deri indpassede præ-fossile menneskelige samfunds relative stabilitet er en egenskab ved systemer, der er blevet til i evolutionerne op gennem klodens og menneskehedens historie. Med de fossile brændsler har mennesker på kort tid destabiliseret klimasystemet og afstedkommet en ikke-bæredygtig eksponentiel vækst i klodens befolkning og dens ressourceforbrug. Ikke ved evolution af nye økologisk stabile energisystemer integreret i klimasystemet, men ved en uhæmmet afbrænding af fossile brændsler i maskiner og i bål i kul-, olie og gasfyr, der ikke udgør et energisystem, men kun fremmedlegemer i de økologiske

systemer. Om den ene eller den anden type kraftmaskine eller opvarmningsanlæg blev valgt, var kun et spørgsmål om de aktuelle priser på anlæg og brændsler.

Først med oliekriserne 1973 - 1981, der afslørede de vestlige industrilandes afhængighed af importeret olie, blev energiforsyningen et politisk emne. Her i landet blev energiplanlægning en særlig planlægningssektor, der varetog planlægningen af kraftvarmeudbygningen og udlægningen af naturgasnet. Siden har el-markedet og privatiseringen af el-forsyningen sat bom for den kollektive, nationale energiplanlægning.

Nu hvor problemerne tårner sig op - klimaproblemet og udsigten til nedgang i olieforsyningen - italesættes de løsninger, man kan forestille sig med ordene 'energibesparelser', 'energieffektivitet', 'vedvarende energi' og 'integrerede energisystemer'.

At der er store energibesparelses- og energieffektivitets-potentialer betyder, at der i mange år er blevet ødslet med de fossile brændsler med forværring af klimaproblemet til følge. Fordi priserne på fossile brændsler har været og stadig er lave, har det ikke kunnet betale sig at investere i maskiner, bygninger og transportmidler, der udnytter brændslerne effektivt i et integreret energisystem. Der er nu en kæmperegning at betale for de kortsigtede fejlinvesteringer.

Ordene 'vedvarende energi' - som er en fællesbetegnelse for alle klimasystemets og biosfærens forskelligt artede energikilder - og 'integrerede energisystemer' er udtryk for forestillingen om, at den fossile energiforsynings samlinger af utallige indbyrdes uafhængige anlæg kan udskiftes med et energisystem, der er konstrueret, sådan at alle dets energikilde- og energiomsætningsanlæg spiller sammen på en sådan måde, at energiresourcerne udnyttes effektivt. Figur 2 og 3 illustrerer et sådant system. Der er således tale om at udnytte de teknologier, der i dag er til rådighed, og de nye, der er under udvikling, til at konstruere nye energisystemer, der ligesom de præ-fossile er indpassede i de naturlige økosystemer.

Formålet med den nærværende analyse er at bidrage til belysningen af Danmarks muligheder for at nedtrappe forbruget af fossile brændsler og dermed at bidrage til nedtrapningen af det globale CO₂-udslip på en samfundsøkonomisk hensigtsmæssig måde. Men det, der sker i Danmark, er uløseligt forbundet til det, der sker i vores omverden, i EU og i den øvrige verden. Det CO₂-udslip, vi danskere forårsager er ikke kun udslippet fra danske skorstene og udstødningsrør, og vores tekniske muligheder på energiforsynings- og transportområdet afhænger af, hvad der sker i vores omverden.

Men selvom vi tænker globalt, er vi nødt til at handle lokalt. Analyser af fremtidens muligheder baseret på modelberegninger af det danske eller et hvilket som helst andet lands energisystem er ufuldstændige, fordi de lader en række reelt væsentlige forhold angående internationale reguleringer og teknologiske infrastrukturkoblinger landene imellem ude af betragtning. De internationale relationer er imidlertid så modsætningsfyldte, at de ikke lader sig inddrage i objektive analyser af de enkelte nationalstaters teknologiske råderum for nedtrapning af deres fossile brændselsforbrug og CO₂-udslip:

- Kyoto-protokollen og dens mulige efterfølger er aftaler indgået mellem nationalstater om de enkelte staters forpligtelser til at formindske deres udslip af drivhusgasser. Men bortset fra Japan, Australien, de sydøstasiatiske østater og

Island udgør nationalstaterne ikke landområder, der er naturligt afgrænsede med hensyn til energiressourcer og -anvendelser. Og de er indbyrdes forbundne med højspændingsnet, sådan at en betydelig del af CO₂-udslippet fra ét land kan skyldes el-forbrug i nabolande.

- EU kan fastsætte målsætninger for nedtrapningen af unionens samlede CO₂-udslip, men en fælles EU-strategi (med inddragelse af Norge og Schweiz) for opfyldelsen af målsætningerne i praksis ved effektiv udnyttelse af regionens vandkraft-, vindkraft-, solenergi- og biomasseressourcer er utopisk. De 27 EU-lande med kommercialiserede el-markeder vil ikke indenfor en overskuelig fremtid kunne enes om en fælles strategi, der tilgodeser landenes og deres nationale og internationale energiselskabers divergerende interesser.

Udvikling af fælles nordisk strategi for en koordineret udvikling af energisystemerne i Norge, Sverige, Finland og Danmark, sådan som beskrevet i Greenpeace-rapporten *A Viable Energy Strategy for the Nordic Countries* (2006)³ ville føre til en effektiv udnyttelse af de fire landes forskellige energiressourcer og dermed give landene økonomiske fordele. Men ikke engang i de nordiske lande har der hidtil været politisk grundlag for et sådant samarbejde.

- I EU forsøger man med 'cap-and-trade' princippet at lade markedet løse fordelingsproblemet landene imellem. Der lægges loft (cap) over det samlede CO₂-udslip fra større industrier og kraftværker, idet hvert land får tildelt et antal CO₂-kvoter, dvs. tilladelse til at udlede en vis mængde CO₂. Landene afsætter ved auktion kvoterne mellem deres virksomheder, som derpå kan handle med dem på kvotemarkedet. Teorien er den, at man derved formindsker CO₂-udslippet på den samfundsøkonomisk billigste måde, idet de mest energiøkonomiske virksomheder, der kan klare sig med et mindre CO₂-udslip, end de har fået tildelt, får en økonomisk fordel, idet de kan indhente en fortjeneste ved at sælge nogle af deres kvoter til virksomheder, der har brug for flere kvoter, end de har fået tildelt.

Problemet er, at selvom dette 'cap-and-trade'-kvotemarked i et vist mål kan begrænse CO₂-udslippet fra de mest forurenende virksomheder - forudsat at kvotepriserne er tilstrækkeligt høje - kan det ikke befordre den komplekse konstruktion af integrerede energisystemer, der kan udnytte fluktuerende og sæson-varierende vedvarende energikilder effektivt til at dække de ligeledes varierende el-, varme- og transportforbrug.

- Den internationale og interkontinentale udveksling af foderstoffer, levnedsmidler og industrivarer på de globaliserede markeder betyder, at en stor del af det drivhusgasudslip, forbrugerne i ét land forårsager, sker i et andet land. Hvis ikke det meste af den energitunge danske vareproduktion var blevet flyttet til Kina og andre fjerne lande, var der ikke sket noget fald i Danmarks CO₂-udslip siden 1990. Og hvis CO₂-udslippet fra produktionen af det kraftfoder, dansk landbrug importerer fra især Sydamerika, blev indregnet i det danske CO₂-udslip, ville det blive betydeligt større.

Under disse omstændigheder må nationalstaterne i første omgang handle hver for sig, sådan at de, samtidigt med at de udarbejder og iværksætter målrettede strategier for udviklingen af deres egne energisystemer, gensidigt bestræber sig på at udvikle

³ Rapporten kan downloades fra

www.greenpeace.org/raw/content/denmark/press/rapporter-og-dokumenter/nordic-energiscenarie.pdf

Forkortet udgave på dansk:

www.greenpeace.org/raw/content/denmark/press/rapporter-og-dokumenter/a-viable-energy-strategy-short.pdf

samarbejdet med andre lande til det fælles bedste. I det omfang det lykkes, vil de nationale strategier blive revideret hen ad vejen, hvilket de under alle omstændigheder vil blive, efterhånden som nye problemer og muligheder viser sig.

På den baggrund er analyser af udviklingsmulighederne i det nationalt afgrænsede danske energisystem relevante, selvom de nødvendigvis må lade de nævnte internationale relationer ude af betragtning.

Det skal bemærkes, at systemets nationale afgrænsning indebærer, at dets udveksling af elektrisk kraft med dets omverden - bortset fra korterevarige effektregulerende udvekslinger med andre lande - måned for måned er relativt lille i forhold til det nationale el-forbrug, så kraftudvekslingen ikke har væsentlig betydning for systemets funktion. Fordi det er uvist, hvilke ændringer af CO₂-udslippet i energisystemets omverden, udvekslingen af elektrisk kraft medfører.

3. Scenariebeskrivelsen

Med henblik på den politiske diskussion af alternative strategier for ombygningen af det danske energisystem skal de forskellige scenarier for mulige fremtidige udviklingsforløb, der tages i betragtning, beskrives på en standardiseret måde, sådan at de bliver umiddelbart sammenlignelige. Beskrivelsen af LG-scenariet i de følgende afsnit er et eksempel på en sådan standardiseret beskrivelse af ændringerne i energiomsætningen i det samlede energisystem og de deraf følgende ændringer af CO₂-udslippet.

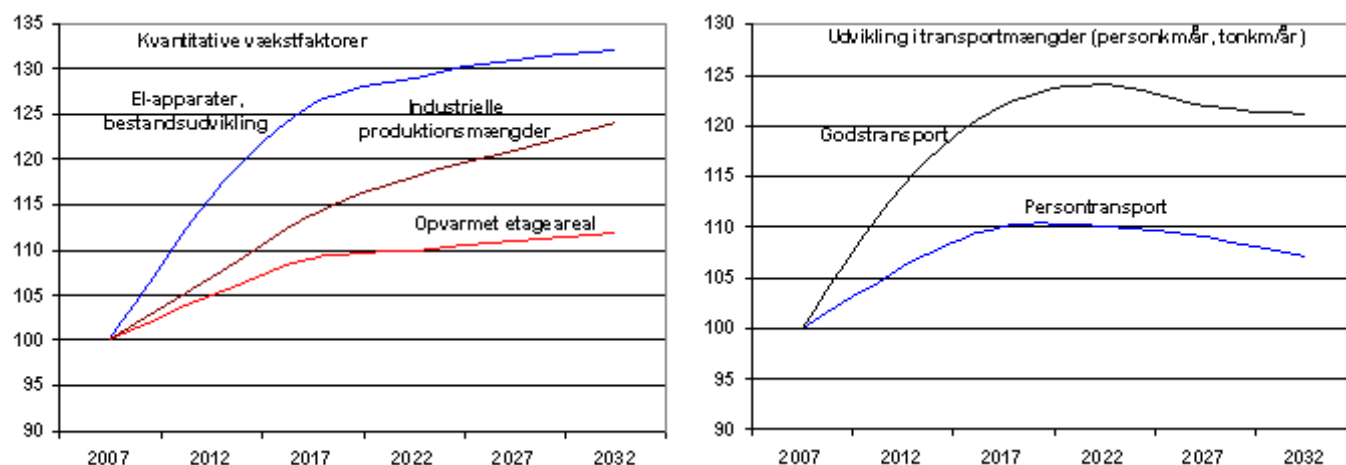
Det skal bemærkes, at ændringerne i forbruget af fossile brændsler og CO₂-udslippet ikke er bestemt af det brutto- eller netto-energiforbrug i systemet som helhed, der fremkommer som summen af forbruget af forskellige brændsler, el fra vindmøller og solceller, varme fra solfangere, el-forbrug, varmemeforbrug, og energiforbrug i transportmidler. Heller ikke summen af energitilførsler fra de forskellige arter af vedvarende energikilder (vindkraft, el fra solceller, biomassebrændsler, varme fra solfangere) og denne sums procentvise andel af brutto-energiforbruget er relevante størrelser i beskrivelsen af de forandringsforløb, der fører til ændringer i forbruget af fossile brændsler og CO₂-udslippet. Disse opsummerede størrelser vises i kapitel 4, men de indgår ikke i scenariebeskrivelsen

3.1 Oversigt: Forbrug, produktion og CO₂-udslip

Hovedtrækkene i forbrugsudviklingen og de tekniske og strukturelle udviklingsforløb beskrives på de følgende sider ved:

- Figur 4: De antagne kvantitative vækstfaktorer.
- Figur 5: Udviklingen i el-forbruget i bygninger som funktion af væksten i el-apparat/maskinbestande og det gennemsnitlige el-forbrug i de forskellige apparat- og maskintyper; samt udviklingen i varmemeforbruget til rumopvarmning som funktion af væksten i det opvarmede etageareal og det gennemsnitlige varmemeforbrug per kvm etageareal.
- Figur 6: Udviklingen i det samlede el-forbrug fordelt på anvendelser, sammenholdt med el-produktionen fordelt på anlægstyper.
- Figur 7: Udviklingen i varmemeforbruget fordelt på rumvarmemeforbrug & varmt vand og procesvarme, sammenholdt med varmeproduktionen fordelt på anlægstyper.
- Figur 8: Udviklingen i henholdsvis persontransport og godstransport fordelt på transportmidler.
- Figur 9: Udviklingen i personbilbestanden og dens fordeling på forskellige biltyper.
- Figur 10: Den resulterende udvikling i forbruget af forskellige brændsler og den resulterende udvikling i CO₂-udslippet.
- Tabel 1: En sammenfattende numerisk oversigt (se Dokumentation, bagest i denne rapport).

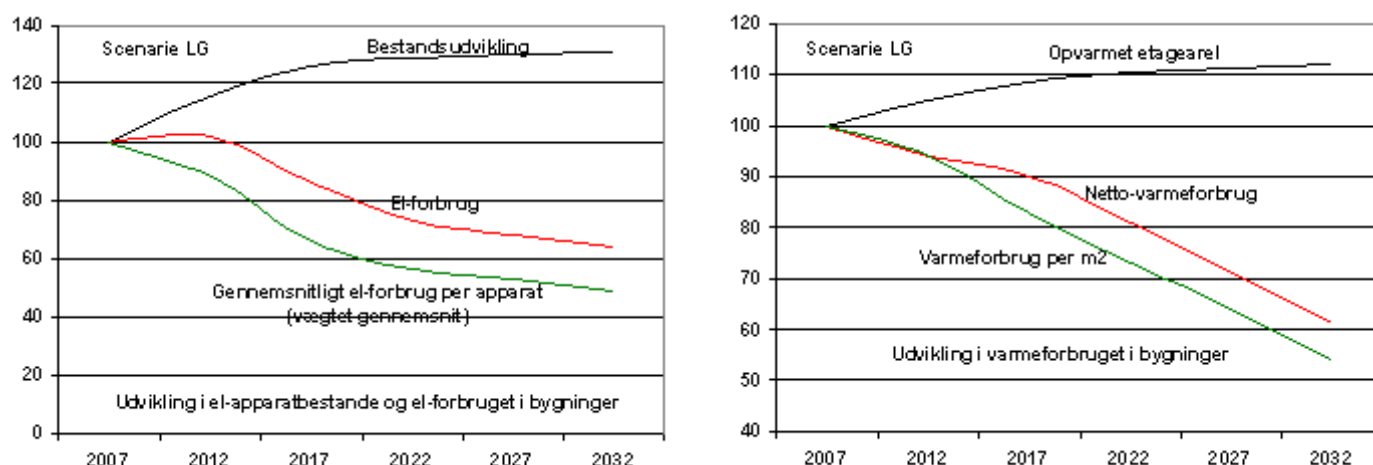
Kvantitative vækstfaktorer



Figur 4. Den eksponentielle vækst fortsætter ikke. Der er ikke behov for fortsat materiel forbrugsvekst, og ressourcegrundlaget er svindende. De fleste familier har nu tilstrækkeligt store boliger og er velforsynede med elektriske hjælpemidler, TV-apparater og computere. Vi har rigeligt med butikker og indkøbscentre, banker og private og offentlige kontorer. Og mange mennesker bruger en stor del af deres tid på transport. Der er derfor ikke grund til at forværre klimaproblemet og energiresource-problemet yderligere ved at tilstræbe fortsat vækst i disse materielle forbrug.

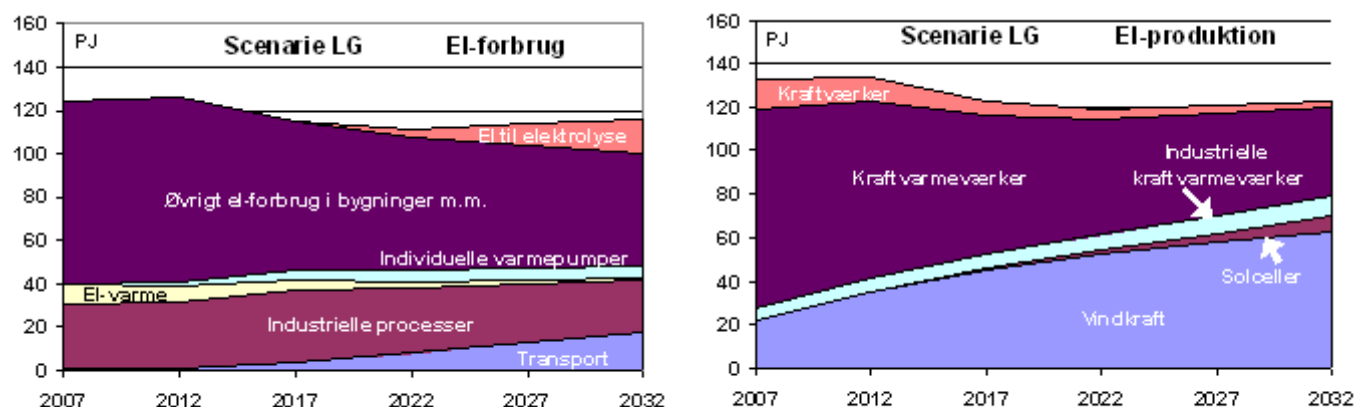
Det kan ikke forudses, hvornår og hvordan væksten ophører. Hvis den i de kommende år ikke bliver så kraftig, som her antaget, eller toppet på et tidligere tidspunkt, kræver nedtrapningen af CO₂-udslippet og tilpasningen af vores økonomi til en faldende olie- og naturgasproduktion ikke helt så store indsatser som de, der på de følgende sider kan aflæses i beskrivelsen af det her betragtede scenarie.

El- og varmekonsum



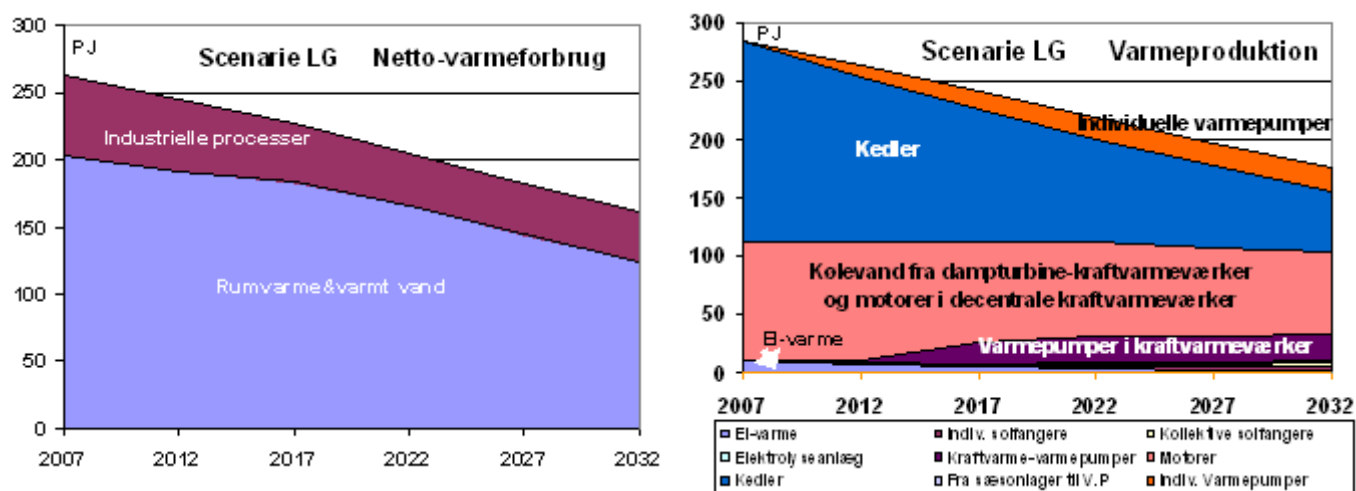
Figur 5. Selvom antallet af forskellige el-apparater og det opvarmede etageareal stiger, sker der et fald i henholdsvis el-forbruget og varmekonsumet, fordi det gennemsnitlige el-forbrug per apparat (vægtet gennemsnit for de forskellige apparattyper) og varmekonsumet per m² (vægtet gennemsnit for de forskellige bygningstyper) falder. Se også tabel 2, 4 og 5.

El-forbrug og el-produktion



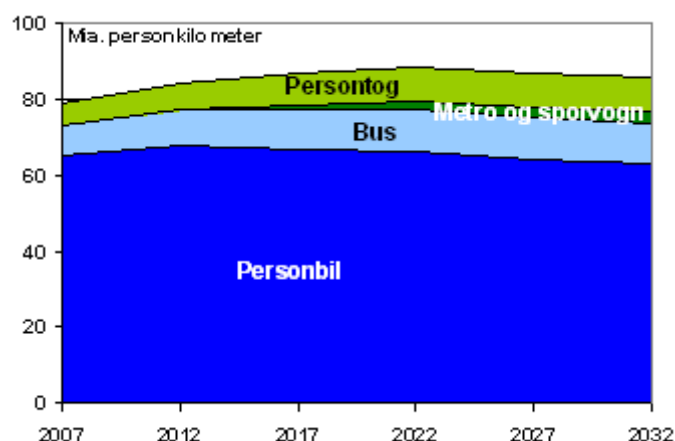
Figur 6. Nedgangen i el-forbruget i bygninger og industrier modsvares af en øget anvendelse af elektrisk kraft til drift af transportmidler, dels til opladning af batterier i el-biler og direkte anvendelse i elektriske tog, trolleybusser, sporvogne (el til transport), dels ved kemisk energioverførsel i form af brint fremstillet ved elektrolyse og/eller andre former for omsætning af elektrisk kraft til kemisk energi. Anvendelse af brint i busser, lastbiler og skibe indebærer ikke så store omkostninger til brintdistributions- og lagringsanlæg som anvendelse i personbiler. Se også tabel 3 og - angående brintproduktion - afsnit 3.9 nedenfor.

Varmeforbrug og varmeproduktion

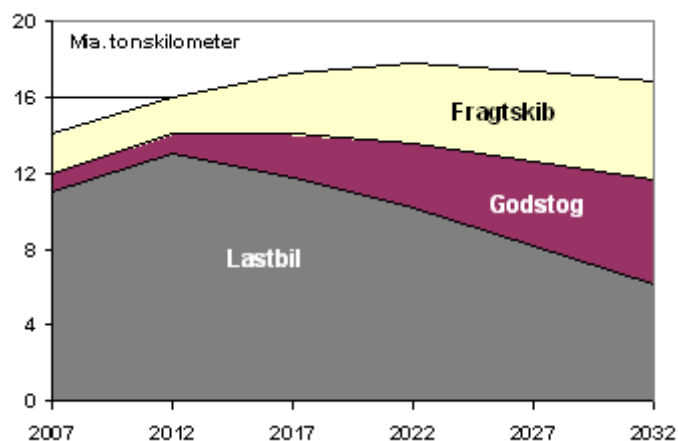


Figur 7. Der opnås en stor forbedring af energisystemets termodynamiske effektivitet og dermed en tilsvarende stor formindskelse af brændselsforbruget ved at erstatte varmeproduktion i naturgas- og oliekedler med kølevarme fra kraftmaskiner (dampmaskiner, motorer) og varmepumper i kraftvarmeverker. Disse varmepumper tjener til regulering af forholdet mellem kraftvarmeverkernes el- og varmeproduktion. De igangsættes, når der er overskydende elektrisk kraft til rådighed i systemet, dvs. i perioder med meget vindkraft og stor varmbundet el-produktion i kraftvarmeverkerne. Også udskiftningen af el-varme og kedler med individuelle varmepumper giver en væsentlig effektivitetsforbedring, men giver ikke de samme el/varme-reguleringsmuligheder som varmepumper i kraftvarmeverker. Se også tabel 6 og 7.

Persontransport



Godstransport

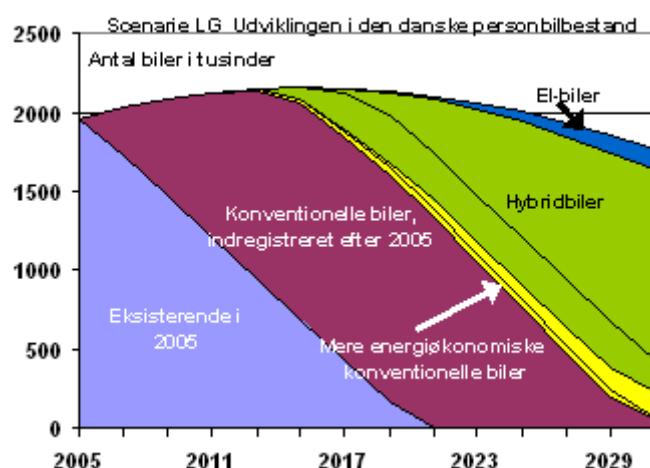


Figur 8. På persontransportområdet sker der en forøgelse af den kollektive transports andel af den samlede transportmængde, og de første nye sporvognslinier kommer i drift omkring 2016. På godstransportområdet sker der en kraftig omlægning, så godstog og coastere i 2030 har overtaget 60% af den samlede transportmængde.

I kraft af disse omlægninger, elektrificering af jernbanerne samt den nedenfor (figur 9) beskrevne energieffektivisering og delvise elektrificering af personbilbestanden og opnås en formindskelse af olieforbruget til transport på 19% i 2020 og 65% i 2030 i f.t. forbruget i 2007, selvom både person- og godstransportmængderne er større end i 2007, se tabel 1.

Det skal bemærkes, at en stor del af transporten: kørsel til og fra arbejde udgør en ikke værdisat samfundsøkonomisk omkostning. Formindskelser af denne transport giver mere velfærd, ikke mindre. Se også tabel 12.

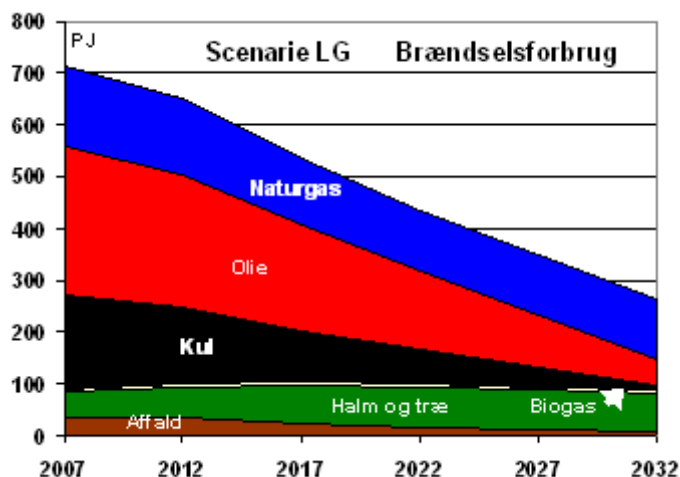
Personbilbestanden og dens sammensætning



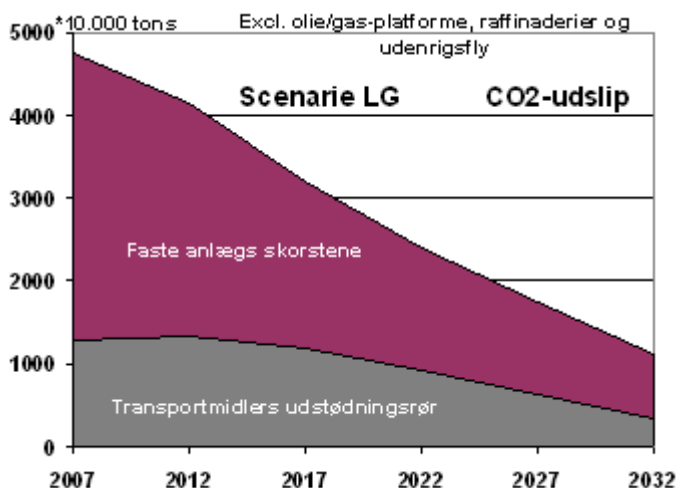
Figur 9. Hele den i 2005 eksisterende bilbestand antages at være skrottet i 2021. Det antages, at nye konventionelle bilmodeller, der opfylder EU-kravene om reduceret brændstofforbrug per kilometer, trænger ind på markedet omkring 2012, men at hybridbiler derefter hurtigt overtager størstedelen af markedet. Der regnes med, at hybridbilerne er af plug-in typen, og at de halvdelen af tiden drives af el fra deres batterier. El-biler trænger i mindre omfang ind på markedet efter 2020. Hvorvidt dette scenarie for fornyelsen af bilparken kan realiseres, afhænger af hvornår bilfabrikkerne omstiller deres produktion til mere energieffektive biler, og hvornår el-biler begynder at trænge ind på markedet. Se også tabel 12.

I beregningerne dækkes en del af brændstofforbruget i personbiler af brint efter 2020, se tabel 1 og tabel 12. Som beskrevet i afsnit 3.9 vil det formodentligt være mere hensigtsmæssigt at bruge brinten busser, lastbiler og skibe. Dette vil ikke væsentligt ændre det samlede olieforbrug til transport.

Brændselsforbrug



CO₂-udslip



Figur 10. Som det fremgår af de foregående figurer fremkommer nedtrapningen af det fossile brændselsforbrug og dermed af CO₂-udslippet ved mangfoldige indsatser i alle energisystemets delsystemer. Der er komplekse samspil mellem indsatserne på de forskellige områder: el-besparelser; varmebesparelser; vindkraft; solceller; solvarme; effektivitetsforbedringer i energiomsætningssystemerne. F.eks. er behovet for varmepumper i kraftvarmeverker bestemt af udbygningen af vindkraft og solceller, el-forbruget og fjernvarmeforbruget. Og f.eks. er den formindskelse af CO₂-udslippet, der opnås ved en formindskelse af fjernvarmeforbruget, afhængig af vindkraftindsatsen, el-forbruget og forsyningssystemets indretning. Se også tabel 11.

3.2 Komparative samfundsøkonomiske omkostningsvurderinger

Vurderingen af de samfundsøkonomiske omkostninger, der i et scenarie for den fremtidige udvikling af energisystemet er direkte forbundet med ombygning og drift af systemet, er i sagens natur behæftet med en lang række usikkerheder. Omkostningerne ved investeringer i energikildeanlæg, forsyningsanlæg og bygninger kan kun beregnes som forventede fremtidige markedspriser for de forskellige anlægstyper og arbejdskraftindsatser. Disse priser er kun usikre relative indikatorer for de virkelige samfundsøkonomiske omkostninger, dvs. forbrug af arbejdskraftressourcer, materielle ressourcer og naturressourcer. Endvidere er det uvist, hvor hurtigt priserne på fossile brændsler vil stige i de kommende år.

Datagrundlaget for de samfundsøkonomiske omkostningsberegninger udgøres af et dataregister, der indeholder økonomiske omkostningsposter: Specifikke anlægsomkostninger, drifts- og vedligeholdelses- og reinvesteringsomkostninger og tekniske levetider for de forskellige anlægstyper, efterisoleringssomkostninger i bygninger, m.fl. samt samfundsøkonomiske brændselspriser. Ligesom databasens tekniske og fysiske data er de økonomiske omkostningsdata givet som tidsrække data, der angiver forskellige antagelser om den fremtidige prisudvikling.

For at belyse beregningsresultaternes følsomhed overfor forskellige antagelser om fremtidige priser beregner SESAM de samfundsøkonomiske omkostninger under 3 forskellige antagelser om de fremtidige anlægspriser og 3 forskellige antagelser om de fremtidige priser på fossile brændsler.

Spørgsmålet om, hvorvidt der er indikation af større eller mindre samfundsøkonomiske omkostninger ved en hurtigere end ved en langsommere nedtrapning af CO₂-udslippet, kan - beregningsusikkerhederne in mente - besvares ved at sammenligne de samlede

samfundsøkonomiske omkostningsforløb i to forskellige scenarier, beregnet under de samme antagelser om fremtidige anlægs- og brændselspriser.

Her sammenlignes omkostningsforløbene i LG-scenariet under to forskellige antagelser om den fremtidige brændselsprisudvikling med de tilsvarende omkostningsforløb i et scenarie LX, hvori investeringsindsatserne er meget mindre, og CO₂-udslippet derfor bliver meget større:

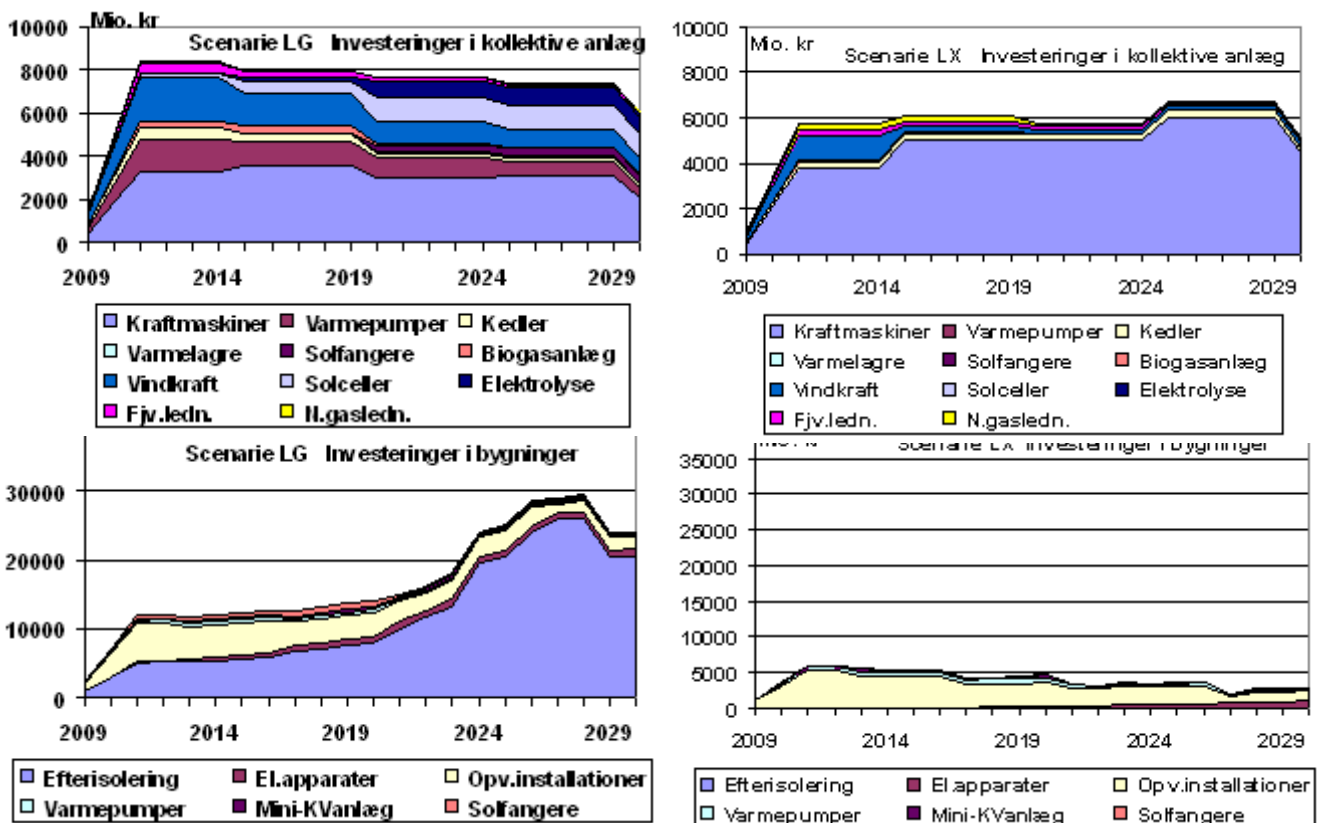
- Figur 11 viser de i henholdsvis LG-scenariet og LX-scenariet afholdte investeringer i henholdsvis kollektive forsyningsanlæg og bygninger.
- Figur 12 viser de to betragtede scenarier, B1 og B2, for brændselsprisudviklingen.
- Figur 13 viser de samlede omkostninger til investeringer, vedligeholdelse&afskrivninger og brændselskøb i de to brændselspristilfælde B1 og B2.
- Tabel 18 giver en oversigt over de samfundsøkonomiske omkostninger i LG og LX. Det ses, at de samlede omkostninger i brændselspristilfældet B1 (relativt store brændselsprisstigninger) bliver betydeligt større i LX- end i LG-scenariet, medens forskellen er mindre i tilfældet B2 (mindre brændselsprisstigninger).

Den væsentlige forskel mellem de to scenarier er således, at der

- i LG investeres arbejdskraft og andre ressourcer i en gennemgribende ombygning af energisystemet, sådan at fremtidige stigninger i de årlige omkostninger undgås, og CO₂-udslippet nedbringes kraftigt;
- i LX overføres store pengesummer til internationale olie-, gas- og kulselskaber, medens de årlige omkostninger fortsat stiger, og der kun sker en mindre reduktion af CO₂-udslippet.

Økonomisk kommer fornyelsen af energisystemet til udtryk ved en stor akkumuleret kapital (= investeringer minus de i perioden foretagne afskrivninger), se figur 12 og tabel 18.

Figur 11. Investeringer i kollektive anlæg og bygninger



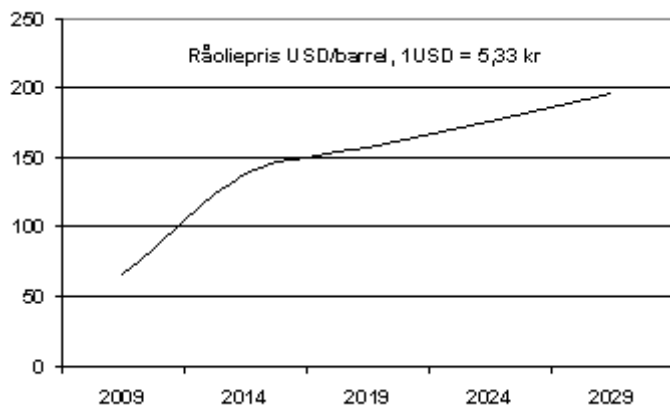
Det skal bemærkes, at forskellene i investeringer i transportinfrastrukturen ikke indgår i sammenligningen af de samlede samfundsøkonomiske omkostninger i henholdsvis LG- og LX-scenariet. Fordi størrelserne af disse investeringer kun kan vurderes på grundlag af konkret specificerede anlægsprojekter. Udviklingen i person- og godstransportmængderne er den samme i de to scenarier, se figur 4 ovenfor, men i LG investeres der mere i jernbaner og tog, spurvognslinier og spurvogne, havne og skibe og mindre i veje, motorveje, broer, personbiler og lastbiler end i LX.

Også på dette punkt beror sammenligningen imidlertid på den fiktive præmis, at LX-scenariet er realistisk, hvad det næppe er, fordi det forudsætter, at olieforbruget til transport ikke formindskes frem til 2020. Denne forudsætning holder sandsynligvis ikke stik, fordi den globale årligt udvundne råoliemængde vil være faldende i det kommende årti, og den andel af den samlede mængde, der vil være til rådighed for OECD-landene, vil falde hurtigere end den samlede mængde. Det skyldes, at de olieeksporterende lande udenfor OECD i kraft af store olieindtægter fra OECD-landene vil forøge deres forbrug, og at Kina har sikret sig oliekontrakter rundt om i verden og har råd til at betale for et stadigt stigende forbrug.

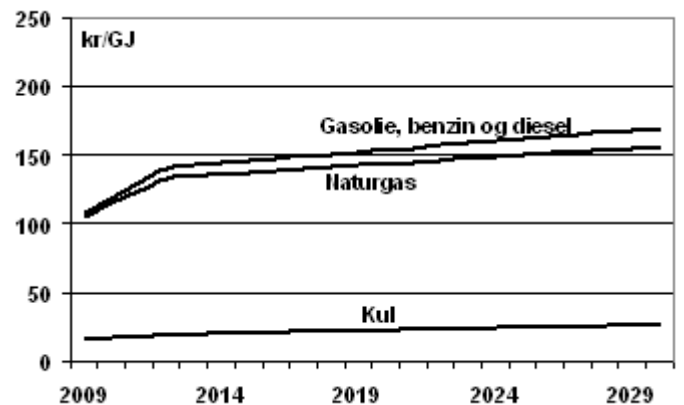
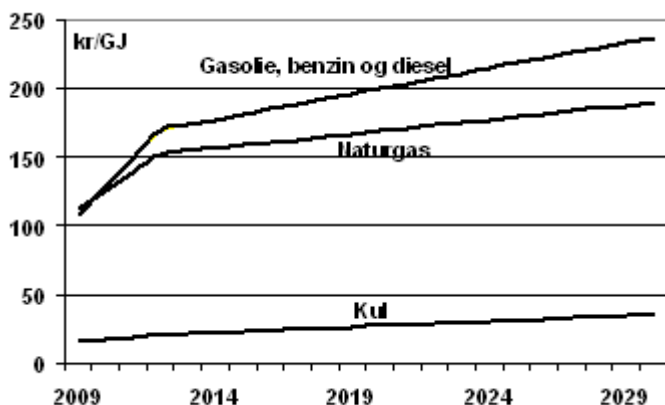
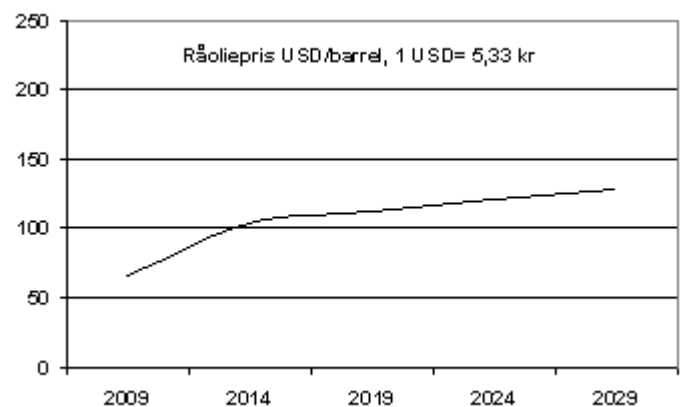
Det relevante spørgsmål er derfor, om den i LG-scenariet antagne ombygning af transportinfrastrukturen er en realistisk og samfundsøkonomisk hensigtsmæssig måde nedtrappe olieforbruget til transport på - ikke om investeringerne er større eller mindre end i det fiktive LX-scenarie.

Figur 12. Brændselsprisscenarier (uden afgifter og moms)

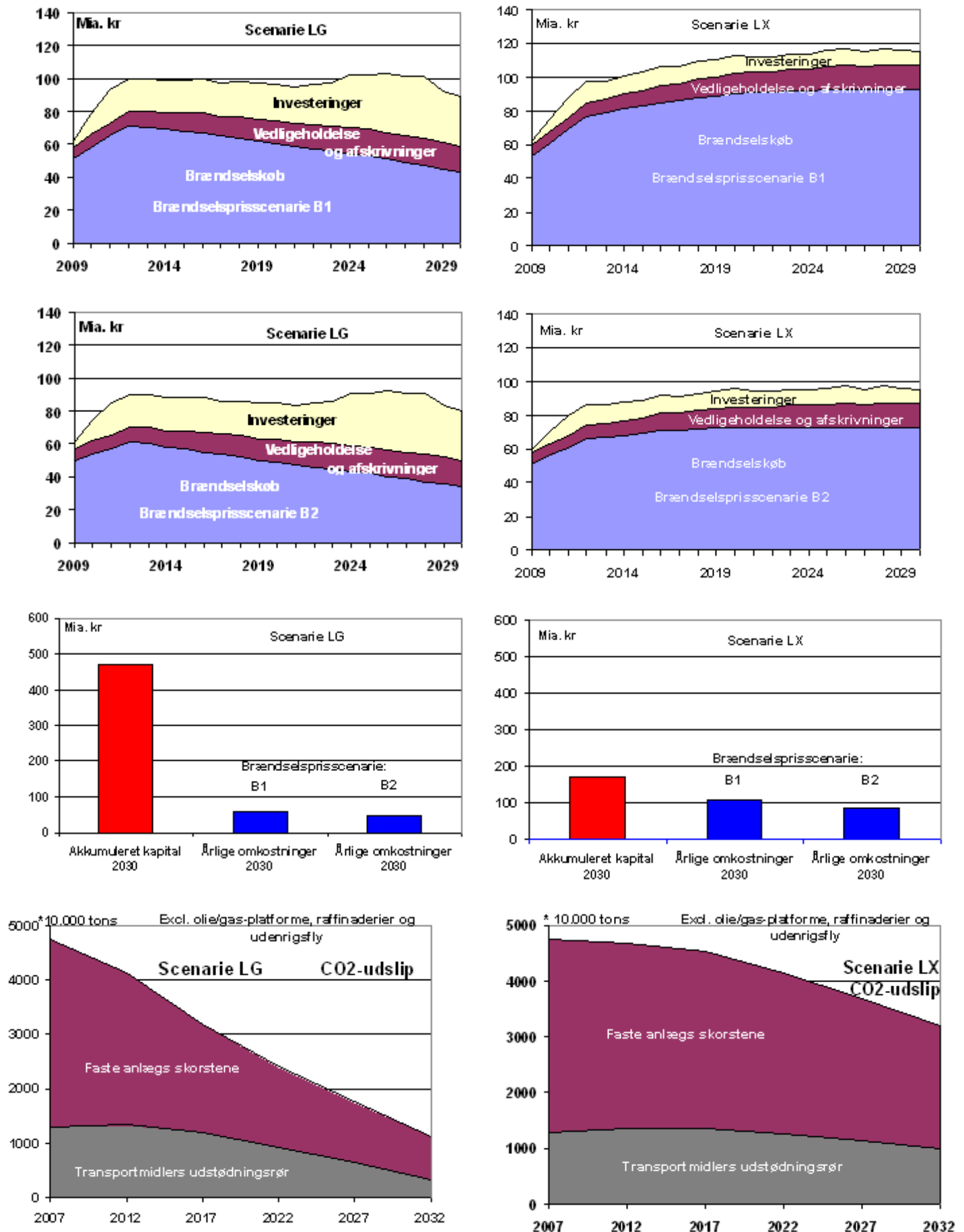
B1:



B2:



Figur 13. Samfundsøkonomisk sammenligning



3.3 Beregningsforudsætninger og specifikke forandringsforløb

Med henblik på den nøjere diskussion af datagrundlaget for og forandringsforløbet i det her betragtede LG-scenarie vises i bilaget *Dokumentation* bagest i denne rapport en række tabeller, som specificerer beregningsforudsætninger og resultater:

- Tabel 2: El-apparater, bestandsudvikling; eksempel.
- Tabel 3: El-forbrugets fordeling på anvendelsesområder.
- Tabel 4: Bygningers varmebalance; eksempler.
- Tabel 5: Opvarmede etagearealer fordelt på bygnings/anvendelsestyper
- Tabel 6: Nettovarmeforbruget og dets fordeling på forbrugssektorer.
- Tabel 7: Nettovarmeforbruget i bygninger fordelt på opvarmningsformer og forsyningsområder.
- Tabel 8: Vindkraft og solceller; installeret kapacitet og el-produktion.
- Tabel 9: El- og fjernvarmeproduktion ialt i kraft- og kraftvarmewærker, samt tekniske parametre i gennemsnit for alle værker.
- Tabel 10: Tekniske data for de enkelte forsyningsanlægstyper; eksempler.
- Tabel 11: Brændselsforbruget i stationære anlæg og dets fordeling på anlægstyper.
- Tabel 12: Transportmidler. Udvikling i transportmængder og fremdriftmidler.
- Tabel 13: Årlige og månedlige energibalanceregnskaber for systemet som helhed; eksempel.
- Tabel 14: Årlige og månedlige energibalanceregnskaber for de enkelte forsyningsområder; eksempel.

Note 1: Energiværdier og CO₂-udslipsværdier er i de fleste tabeller udskrevet med 3 decimaler. Grunden til, at talværdierne ikke er afrundet til færre decimaler eller heltal, er, at mindre afvigelser i energibalance-opgørelser eller mindre forskelle mellem værdier af samme størrelser udskrevet i forskellige tabeller kan indikere fejl i beregningerne.

Note 2: I tabeludskrifterne bruges 'Motor' som fællesbetegnelse for alle typer kraftmaskiner, d.e. maskiner som omsætter kemisk energi (brændsler, brændstoffer) til mekanisk eller elektrisk effekt.

'Kedler' er fællesbetegnelsen for individuelle, kollektive og industrielle brændselsfyrede kedler: Olie-, naturgas-, biogas-, biomasse- eller affaldsfyrede kedler i bygninger, industrier og fjernvarmewærker. (Kedler i dampturbine-kraft/kraftvarmewærker indgår i værkerne ['Motorerne'] og medregnes derfor ikke som 'Kedler').

3.4 Anlægskapaciteter og benyttelsestider

De nødvendige investeringer i forsyningsanlæg (kraftmaskiner (motorer), varmepumpeanlæg, kedler og varmelagre, se tabel 9 og 16) er bestemt af de effektbelastninger, de enkelte anlæg skal kunne klare under forskellige el- og fjernvarmeforbrugsforhold og og varierende el-produktion i vindmøller og solceller. Der skal til enhver tid kunne opnås balance mellem 1) den samlede el-produktion og det samlede el-forbrug +/- el-eksport/import i systemet som helhed, samtidigt med at der 2) i hvert fjernvarmeområde døgnet for døgnet opnås balance mellem fjernvarmeproduktionen og fjernvarmeforbruget +/- tømning af/lagring i buffertanke og eventuelle sæsonlagre. År for år skal effektbalance-beregningerne derfor i en række forskellige driftssituationer gennemføres med korte tidsintervaller (15 eller 30 minutter) for systemet som helhed og for hvert enkelt fjernvarmeforsyningsområde. Beregningsmetoden er beskrevet i notatet *SESAM: Simulering af driftsregulering og beregning af anlægskapaciteter*, www.klausillum.dk.

I hvert af årets tolv måneder gennemregnes tre driftssituationer: ét døgn med svag vind og sol, ét med middel og ét med stærk vind og sol i hver måned. Der regnes med

forskellige døgnfordelinger af el-forbruget, varmeforbruget, vindkraften og solindfaldet i de forskellige måneder. Den for et anlæg beregnede anlægskapacitet (den udnyttede kapacitet) er den største af de el- eller varmeproduktionseffekter anlægget skal præstere i disse 36 forskellige driftssituationer. De beregnede anlægskapaciteter vil således være tilstrækkelige til, at der kan opnås el-effektbalance i systemet som helhed og varme-effektbalance i de enkelte fjernvarmeområder i langt de fleste driftssituationer.

- Tabel 15: Viser eksempler på resultater af el-effektberegningerne for systemet som helhed i 3 af de 36 gennemregnede forskellige driftssituationer.
- Tabel 16: Viser de beregnede udnyttede el-produktionskapaciteter i centrale, decentrale og mini-kraftvarmeværker.

Det skal bemærkes, at kraft- og kraftvarmeværkernes benyttelsestider (beregnet som værkernes el-produktion (MWh) divideret med de i værkerne udnyttede el-produktionseffekter (MW)) bliver mindre, efterhånden som den varierende og fluktuerende el-produktion i vindmøller og solceller forøges, så værkernes kapacitet kun udnyttes i en mindre del af tiden. Derfor bliver anlægsinvesteringerne store i forhold til værkernes årlige produktion, se figur 11.

3.5 Fjernvarme-temperaturer

Der er i det her betragtede LG-scenarie regnet med store investeringer i efterisolering og andre varmebesparende foranstaltninger i bygninger, se figur 5, sådan at der sker kraftige formindskelser af varmeforbruget i bygninger, se tabel 4, 6 og 7. Derved kan fjernvarme-temperaturerne formindskes, se tabel 9 og 10. Det betyder, at el-produktionen per indfyret brændselsenhed i damp turbine-kraftvarmeværkerne forøges, at fjernvarme-ledningstabene formindskes og at varmepumpernes effektfaktorer forøges.

3.6 Geotermiske varmereservoirer

I Jylland og på Sjælland findes områder, hvor der i 1.000 - 3.000 meters dybde er lag af permeable, vandførende sedimenter med temperaturer på 30 - 90 grader. Gennem borerer ned i disse lag kan det varme vand bringes i cirkulation op til jordoverfladen, hvor det i varmevekslere kan afgive varme til fjernvarmeforsyningsanlæg. Hvis temperaturen er højere end fjernvarme-fremløbstemperaturen kan varmen afgives direkte til fjernvarmenettet. Ellers kan det varme vand bruges som varmereservoir for et absorptions- eller et kompressor-varmepumpeanlæg, som med den høje fordamper-temperatur får en højere virkningsgrad, end hvis varmereservoirer er udeluften eller havvand.

Det er endnu ikke nøjere kortlagt, hvor der i nærheden af større fjernvarmeområder er geologisk, teknisk og økonomisk mulighed for at udnytte geotermisk varme.

I kraftvarmeområder er investeringer i geotermiske anlæg endvidere betinget af, at kølevandet fra kraftmaskinerne ikke dækker fjernvarmebehovet. Hvis der i fjernvarmeområderne gennemføres omfattende efterisolering af bygninger, så fjernvarmebehovene bliver mindre, og samtidigt sker en sænkning af temperaturerne i fjernvarmenettene, vil der blive overskud af varme fra kraftmaskinernes kølekredsløb - med mindre el-forbruget formindskes og/eller el-produktionen i vindmøller og solceller forøges så meget, at el-produktionen i kraftvarmeværkerne ikke afkaster tilstrækkelig varme til at dække fjernvarmebehovene.

Udnyttelsen af geotermiske varmereservoirer er således betinget dels af de geologiske forhold, dels af udviklingen i fjernvarme- og el-forbruget og den fremtidige el-produktion i vindmøller og solceller. Der er således ikke tale om en 'energikilde', hvis potentielle varmeydelse kan opgøres uafhængigt af udviklingen i systemet iøvrigt.

I det her betragtede LG-scenarie er det antaget, at der findes udnyttelige geotermiske varmereservoirer i Københavnsområdet og ved Slagelse, Horsens, Randers og Ålborg. Endvidere er det eksisterende anlæg ved Thisted indregnet. Reservoir-temperaturerne er sat til 50 grader. Anlægsudbygningen sker i takt med behovet for varmeproduktion i kraftvarmeværkernes varmepumper. Den starter i årene 2014 - 2016. I 2030 udgør varmeproduktionen i varmepumper med geotermiske geotermiske varmereservoirer:

København:	7,45 PJ
Slagelse:	0,28 PJ
Ålborg:	0,38 PJ
Thisted:	0,26 PJ
Randers:	0,96 PJ
Horsens:	0,40 PJ

3.7 Nytevirkning og effektivitet

Nytevirkningen af et naturgasfyr (= varmeproduktionen/øvre brændværdi af indfyret gas) kan komme op på omkring 95%. Omtrent samme nytteværdi kan opnås i et mini-kraftvarmeanlæg (el-produktion+varmeproduktion/øvre brændværdi af indfyret gas). Men det betyder naturligvis ikke, at naturgasfyret udnytter brændslet lige så effektivt som mini-kraftvarmeanlægget. Elektrisk kraft har jo en meget større nytteværdi end lavtemperatur-varme. Den kan f.eks. bruges til at drive en varmepumpe. Med et mini-kraftvarmeanlæg+varmepumpe kan man producere varme med et naturgasforbrug, der er kun en ca. halvdelen af det, et naturgasfyr bruger til at producere den samme varme.

Nytevirkningstal beregnet ud fra de kalorimetriske energiværdier siger således ikke, hvor effektivt ressourcerne udnyttes. Effektiviteten skal angives som den termodynamiske effektivitet⁴.

Tabel 17 viser, at varmeproduktionen i kedler med lav effektivitet i LG-scenariet delvist udskiftes med kølevarme fra kraftvarmeværker og varme fra varmepumper. Endvidere sænkes temperaturerne i fjernvarmenettene. Derved opnås en forøgelse af energiomsætningssystemets effektivitet, som dog delvist modsvares af termodynamiske tab i de nye energiomsætningsanlæg, der indføres, især i elektrolyseanlæg. Den resulterende effektivitetsforbedring, der opnås frem til 2030, bliver derfor kun 12,7%.

3.8 Solvarme

Der er i LG-scenariet regnet med installation af individuelle solfangere på huse udenfor fjernvarmeområder med en årlig varmeydelse, der stiger til i alt 3,48 PJ i 2030. Endvidere er der regnet med, at der i tilknytning til kraftvarmeværker i perioden 2020 til 2030 opføres kollektive solfangeranlæg med en varmeproduktion på i alt 3,32 PJ i 2030, se tabel 1. I tilknytning til disse anlæg er der regnet med

⁴ En nøjere forklaring findes i bogen *I Drivhuset - Fortællinger om naturens energi og samfundets energikrise* (Illum, 2006, www.klausillum.dk).

etablering af sæsonvarmelagre (vandbassiner) med et volumen på i alt 3,2 mill. kbm i 2030, se tabel 13. I sommermånederne tilføres sæsonvarmelagrene overskudsvarme fra solfangerne og kraftvarmeværkerne. Når lagertemperaturen om vinteren kommer ned i nærheden af fjernvarme-fremløbstemperaturen, bruges lageret som varmereservoir for kraftvarmeværkets varmepumpe. Tabel 14 viser et eksempel på de månedlige varmetilførsler til/varmeafgivelser fra et sæsonvarmelager.

Tabellen herunder viser de formindskelser af CO₂-udslippet, der opnås ved forøgelse af varmeproduktionen i henholdsvis individuelle solfangere og kollektive solvarmeanlæg i tilknytning til kraftvarmeværker.

LI- og LH-scenarierne adskiller sig kun fra LG-scenariet ved, at varmeproduktionen i solfangere er mindre.

LI: F4H4I1E3L2W3P3S1h2V3 (Se også tabellen: **Relative marginale ændringer**
 LH:S2.... i kapitel 4)
 LG:S3....

PJ	Scenarie:	LI	LH	LG
Indiv. solfangere	2030	0.73	3.48	3.48
	Ændring		+2.75	
Kollektive solfangere	2030	0.00	0.00	3.32
	Ændring			+3.32
Sæsonlagre mill.kbm	2030	0	0	3.17
CO ₂ -emission	ktons 2030	13772	13663	13608
	Ændring		-109	-55
Kul-forbrug	2030	18.49	18.79	19.69
Olie-forbrug	2030	71.72	71.75	70.56
Naturgas-forbrug	2030	117.61	115.16	114.26
Lokale brændsler ialt	2030	92.13	91.48	91.30
Brændselsforbrug ialt	2030	299.96	297.18	295.82
	Ændring		-2.78	-1.36
El-eksport	2030	0.52	0.53	0.49
Brint-produktion	2030	9.97	9.89	10.20

Det ses, at en forøgelse af varmeproduktionen i individuelle solfangere på 2,75 PJ giver en omtrent ligeså stor formindskelse af det samlede brændselsforbrug. En forøgelse af varmeproduktionen i kollektive solfangeranlæg på 3,32 PJ giver derimod kun en formindskelse af det samlede brændselsforbrug på 1,36 PJ. Formindskelsen af CO₂-udslippet bliver $109/2,75 = 49$ ktons/PJ for individuelle solfangere og $55/3,32 = 17$ tons/PJ for kollektive solfangere med tilhørende sæsonvarmelagre.

Forklaringen på forskellen mellem individuelle og kollektive solfangeres indvirkning på CO₂-udslippet er, at

- individuelle solfangere direkte erstatter brændselsforbrug i individuelle opvarmningsanlæg, medens
- kollektive solfangeranlæg formindsker varmeproduktionen og dermed el-produktionen i de decentrale kraftvarmeværker. Endvidere formindskes varmeproduktionen i værkernes varmepumper. Varmen fra disse solfangeranlæg erstatter således dels varme, der produceres uden forøgelse af brændselsforbruget (varme fra kraftmaskinernes kølekredsløb), dels varme, der produceres i varmepumper. Den mindre el-produktion i de decentrale kraftvarmeværker giver en større el-produktion i centrale værker, hvor en marginal produktionsforøgelse giver et lidt større kulforbrug i de tilbageværende kulfyrede enheder.

Det er således tvivlsomt, om investeringer i store solfangeranlæg i tilknytning til kraftvarmeværker er samfundsøkonomisk hensigtsmæssige. Under alle omstændigheder skal disse investeringer ikke foretages, før el-produktionen i vindmøller er så stor og/eller el-forbruget er formindsket så meget, at el-produktionen i kraftvarmeværkerne i sommermånederne bliver så lille, at værkernes fjernvarmeproduktion (kølevarmen fra kraftmaskinerne) ikke kan dække fjernvarmebehovet. Ellers vil varmen fra solfangeranlæggene erstatte økonomisk og CO₂-mæssigt gratis kølevarme fra kraftmaskinerne og således hverken give mindre brændselsudgifter eller mindre CO₂-udslip.

3.9 Omsætning af elektrisk kraft til transport-brændstof

Udover den formindskelse af olieforbruget til transport, der opnås ved den i figur 8 og 9 viste omstilling til andre og nye transportmidler, er der regnet med en formindskelse opnået ved omsætning af elektrisk kraft til brint, der bruges som brændstof til transportmidler, se tabel 1.

Brinten produceres i elektrolyseanlæg, som igangsættes, når der er overskydende elektrisk kraft til rådighed til denne produktion, dvs. når den varmebundne el-produktion i kraftvarmeværker (efter igangsætning af værkernes varmepumper) + el-produktionen i vindmøller og solceller overstiger el-forbruget. Der produceres derfor mere brint i vintermånederne end i sommermånederne, se tabel 13. Ved el-udveksling med norske og svenske vandkraftværker, vil brintproduktionen imidlertid kunne udjævnes over året.

Brint-biler vil ikke være konkurrencedygtige i forhold til el-biler. Fordi energitabet ad vejen fra el-nettet gennem elektrolyseanlæg, lagrings- og distributionsanlæg, brændselsceller eller forbrændingsmotorer til bilernes hjul er langt større end tabet af elektrisk kraft ved opladning af batterier til el-biler og omsætning til mekanisk kraft i el-bilernes el-motorer. Og fordi det er meget dyrt at lagre og distribuere brint i et landsdækkende netværk af optankningsanlæg.

Brint vil imidlertid kunne anvendes i forbrændingsmotorer - i fremtiden måske i brændselsceller - i tunge køretøjer: busser, lastbiler og i skibe, hvor vægten af relativt billige brint-trykbeholdere ikke betyder så meget.

Elektrolyse-anlæggene med tilhørende kompressionsanlæg til påfyldning af trykbeholdere skal så anbringes ved busterminaler, ved lastbiltransportcentre og ved havnene. Med special-konstruerede brint-forbrændingsmotorer, vil man således kunne opnå en nyttevirkning (mekanisk energi til hjulene eller skibsskruerne/elektrisk kraft fra el-nettet), der er lige så stor som eller større end den samlede nyttevirkning af den kemiske energi i form af diesel (mekanisk energi til hjulene eller skibsskruerne/dieseloliens brændværdi+energiforbrug til olieudvinding, i tankskibe, i raffinaderier og i tankbiler).

Elektrolyse-anlæggene er endvidere særdeles velegnede til den løbende tilpasning af el-forbruget til el-produktionen, se afsnit 3.10 nedenfor og tabel 15.

Der kan i fremtiden fremkomme andre muligheder for at omsætte elektrisk kraft til transport-brændstoffer eller blive udviklet nye, relativt billige batterier til el-drevne tunge køretøjer og skibe. Under alle omstændigheder er overførsel af elektrisk kraft til mekanisk energi til fremdrift af køretøjer og skibe i stort omfang nødvendig for at eliminere olieforbruget til transport på en økologisk bæredygtig måde. Ethanol-produktion på basis af halm resulterer i et større CO₂-udslip, end hvis halmen bruges i kraftvarmeværker. Og det halmforbrug, der er regnet med i LG-scenariet, er i overkant af den mængde, et bæredygtigt dansk landbrug kan levere.

3.10 Tilpasning af el-forbruget til el-produktionen i vindmøller og kraftvarmeverker

Selvom den årlige netto-el-eksport bliver relativt lille, vil den kraftigt fluktuerende el-import/eksport under de nuværende el-markedsvilkår give et betydeligt samfundsøkonomisk underskud, fordi el-eksport-prisen i en situation med overskud vil være lav, medens import-prisen i en situation med underskud vil være relativt høj - medmindre underskud i Danmark falder sammen med overskud i vore nabolande.

Derfor arbejdes der med projekter, der har til formål at regulere el-forbruget i husholdningernes fryser og vaskemaskiner, supermarkedernes frysebokse, levnedmiddelindustriernes frysehuse, individuelle (stand-alone) varmepumper m.fl. efter prissignaler, sådan at disse forbrugsenheder fortrinsvist sættes i drift, når el-prisen er lav, fordi der er el-overskud i systemet.

Indførelse af en sådan såkaldt 'intelligent' el-forbrugsregulering baseret på udsendelse af el-prissignaler til forbrugsstederne, er imidlertid kontraproduktivt med hensyn til formindskelse af CO₂-udslippet.

En lav el-pris på grund af et kortere varigt el-overskud betyder ikke, at den overskydende el-produktion er værdiløs. Indenfor det nordiske energisystem kan de norske og svenske vandkraftværker tilpasse el-produktionen til behovet, idet de kan nedsætte deres el-produktion (tømningen af deres vandreservoirer), når der bliver el-overskud i Danmark, og forøge deres produktion, når der bliver brug for det. Værdien af den danske el-produktion i kraftvarmeverker, vindmøller og solceller er således ressourceforbrugsmæssigt og CO₂-mæssigt den samme uanset el-markedsprisen.

Problemet er, at el-markedsprisen ikke afspejler den reelle værdi af den elektriske kraft. El-priserne i nuværende nordiske el-marked falder, når der bliver el-overskud i Danmark, hvilket giver økonomisk fordel til Norge og Sverige, der på disse tidspunkter kan neddroge deres vandkraftproduktion for senere at producere mere, når el-prisen er høj.

En elpris-baseret forbrugsregulering i Danmark, kan overføre en del af denne kommercielle markedsprøfit til de danske forbrugere, idet de kan opnå en mindre gennemsnitlig el-pris. Men da forbrugernes incitament til el-besparelser derved formindskes, er resultatet et større CO₂-udslip - medmindre der bygges flere vindmøller for at opfylde CO₂-reduktionskravene, hvorved reguleringsproblemet vokser yderligere.

Elektrolyse-anlæg eller andre anlæg til omsætning af elektrisk kraft til kemisk energi spiller en stor rolle i el-forbrugsreguleringen, se afsnit 3.9 og tabel 15. De andre muligheder for løbende at tilpasse el-forbruget til el-produktionen har langt mindre effekt:

Efterhånden som mange olie- og naturgasfyr udskiftes med individuelle varmepumper, fremkommer der i vintermånederne et el-forbrug i disse varmepumper, som i 2030 bliver af størrelsesordenen 350 MW i gennemsnit, ca. 9% af den samlede gennemsnitlige el-forbrugseffekt, se tabel 13. Forskydningen af dette el-forbrug til tidsrum med el-overskud vil kræve installation af varmepumper og varmelagre med større varmeydelseseffekter og lagerkapaciteter og dermed større anlægsudgifter, end hvis varmeproduktionen følger varmebehovet. Husejerne vil således skulle bære en betydelig meromkostning, som skal forrentes ved den mindre el-udgift, der opnås ved så vidt muligt at forskyde el-forbruget til tidspunkter med lave el-markedspriser. Samfundsøkonomisk vil disse meromkostninger næppe kunne forrente sig, og husejernes forrentning vil være bestemt af de fremtidige prisdannelser på el-markedet.

Hvis benzin- og dieslbiler i stort omfang bliver udskiftet med plug-in hybridbiler og el-biler vil der opstå en større reguleringskapacitet i disse bilers ladeaggregater. Hvis 500.000 biler hver med et ladeaggregat på 2,0 kW oplader samtidigt, vil de optage en effekt på 1.000 MW. Det svarer i LG-scenariet i 2030 til omkring 20% af vindkrafteffekten på en dag med stærk vind, se tabel 15. Med en gennemsnitlig batterikapacitet på 10 kWh (mindre i plug-in hybridbiler end i el-biler) vil opladning af samtlige batterier i en bilbestand på 2.000.000 biler strække sig over ca. ét døgn, hvis omkring 500.000 biler oplader samtidigt med en ladeeffekt på 2 kW.

I et vinterdøgn (se eksempel i tabel 15: et februardøgn) med stærk vind og sol vil opladning af samtlige batterier i en plug-in hybrid/el-bilpark på 2.000.000 biler således kunne formindske el-eksporten med noget i retning af 50%. Men hvis blæsten fortsætter, vil el-eksporten i det næste døgn blive forøget, fordi ingen biler skal have opladet deres batterier.

Dette lille regneeksempel viser, at i fremtiden vil kun elektrolyse-anlæggene i praksis kunne give et væsentligt bidrag til at formindske den i nogle døgn forekommende betydelige el-eksport/import ved at forskyde el-forbrug til tidspunkter, hvor der bliver el-overskud.

Med hensyn til CO₂-udslip vil udvekslingen af elektrisk kraft med andre lande ikke være et problem, forudsat at de europæiske el-transmissionsnetværk udbygges tilstrækkeligt til, at et el-overskud i Danmark kan udnyttes i andre lande.

Efter at el-produktions-reguleringsmulighederne ved igangsætning af varmepumper i kraftvarmeverkerne og el-forbrugs-reguleringsmulighederne i elektrolyseanlæg eller andre anlæg til omsætning af elektrisk kraft til kemisk energi er udnyttet (se tabel 15), er løsningen på det resterende effekt-tilpasningsproblem således 1) at udvide det el-system, Danmark indgår til i at omfatte de nordiske lande⁵ og efterhånden hele EU, og 2) at etablere et el-marked, hvor el-prisen bestemmes af de marginale produktionspriser på kraftværker fyret med fossile brændsler inklusive en CO₂-afgift, der er høj nok til at fremme en hurtig nedtrapning af CO₂-udslippet.

3.11 Tilbage til en decentral, kommunal energiforsyningsstruktur

Frem til årene efter 2. verdenskrig var den danske el-forsyning decentral. Hver by havde sit eget el-værk, ejet af kommunen eller et andelsselskab. De fleste drevet af dieselmotorer. I løbet af 1950'erne blev jævnstrømsforsyningen fra de under krigen nedslidte lokale kraftværker erstattet med vekselstrøm fra nye store oliefyrede centrale kraftværksenheder i eller ved havnene i de store kystbyer og andre steder, hvor de store olietankskibe kunne losses. Udbygningen og driften af de nye store kraftværks- og højspændingsforbindelser blev varetaget af (med enkelte undtagelser) forbrugerejede non-profit andelsselskaber, som vest for Storebælt samarbejdede i ELSAM, øst for Storebælt i Elkraft. Med billig olie og uden CO₂-bekymringer gav denne tekniske og organisatoriske el-forsynings-infrastruktur stordriftsfordele, og de danske kraftværksingeniører udviklede gennem årene og efter skiftet til kulfyring i slutningen af 1970'erne verdens mest effektive kraftværker.

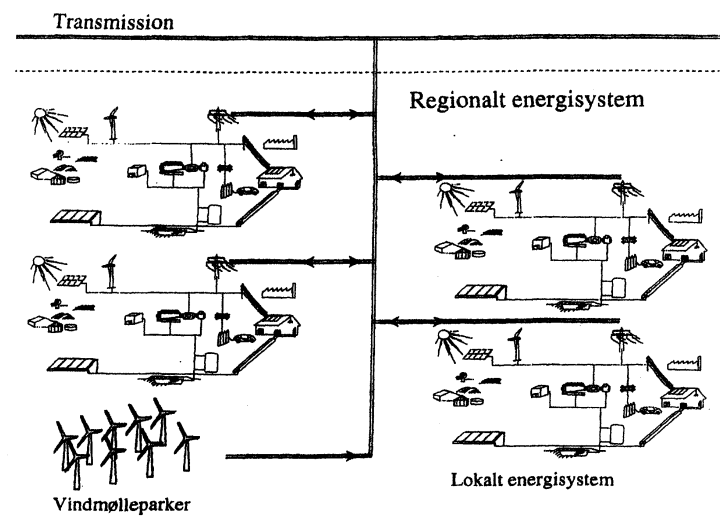
Med et formål at udnytte den gratis kølevarme fra kraftmaskiner til opvarmning af huse, blev en del af el-produktionen i slutningen af 1980'erne og den første del af

⁵ Rapporten *A Viable Energy Strategy for the Nordic Countries 2006 - 2030* (Greenpeace, 2006) <http://www.greenpeace.org/raw/content/denmark/press/rapporter-og-dokumenter/nordic-energiscenarie.pdf> viser, at når det danske energisystem integreres i det nordiske, bliver effekt-reguleringsproblemet løst ved regulering af vandkraftproduktionen.

1990'erne flyttet ud til decentrale kraftvarmeverker - de fleste naturgasfyrede - placeret hvor radiatorer i bygninger via fjernvarmenet kunne tjene som kølekredsløb for kraftmaskinerne. Det var et væsentligt skridt i retning af en tilbagevending til en decentraliseret energiforsynings-infrastruktur.

Med nye lokale energiforsyningssystemer af den i kapitel 1, figur 3, viste art, kan en ny decentraliseret energiforsynings-infrastruktur tage form som i princippet vist i figur 14. Som en del af det europæiske energisystem kan det danske udgøre et regionalt system sammensat af lokale energisystemer, der hvert især kan være afgrænset til én af de nye storkommuner. Kommunale energiselskaber vil i en sådan struktur eje og drive de lokale komplekser af el- og varmforsyningsanlæg på en sådan måde, at de lokale ressourcer udnyttes så effektivt som muligt, idet de hvert især vil være underlagt givne CO₂-udslipbegrænsninger. Endvidere kan hver kommune få tildelt en efter indbyggertal, industrivirksomheder, brintforsyningsanlæg m.m. fastlagt andel i el-produktionen i de fælles store off-shore og on-shore vindmølleparker.

I den nuværende el-markedsstruktur er leverandørsiden domineret af store kraftværksselskaber, medens forbrugersiden er atomiseret i millioner af små og større forbrugere. I den nye struktur vil den regionale og interregionale handel med elektrisk kraft blive varetaget af de lokale, kommunale energiselskaber på en sådan måde, at de udnytter deres egne ressourcer og anlæg på den CO₂-mæssigt og økonomisk mest effektive måde.



Figur 14. Et nyt decentraliseret regionalt energisystem kan bestå af lokale, kommunale energisystemer, der udveksler elektrisk kraft indenfor et el-marked, hvor handlen sker mellem operatørerne af de lokale energisystemer. (Figuren stammer fra udredningen *Energipolitikens teknologiske råderum - Nedtrapning af CO₂-emissionen*. Af Klaus Illum og Bernd Møller, Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet, 1998.)

En sådan struktur falder godt i tråd med Greenpeace-rapporten *[r]enewables 24/7*, som beskriver en europæisk energi-infrastruktur, der kan håndtere vedvarende energikilder⁶.

⁶ Se:

4. Energiforbrug, VE-procenter og CO2-udslip

I den energipolitiske diskussion i Danmark og EU er bruttoenergiforbrug og nettoenergiforbrug (slutforbrug/endeligt forbrug) og VE-procenter centrale størrelser. Der er tale om kalorimetriske opgørelser af energiværdien af meget forskellige ressourcer: Fossile brændsler; elektrisk kraft; halm træ og affald; varmt vand til rumopvarmning, m.m. Det vil sige, at man måler nytteværdien af disse ressourcer ved den mængde vand, der ved direkte brug af ressourcerne (med el-dyppekogere, ved afbrænding i kedler, ved varmeveksling) kan opvarmes fra f.eks. 10 til 20 grader. Uanset at man med elektrisk kraft kan udrette andet og mere end med varmt vand; at man kan drive biler med olie og gas, men ikke direkte med halm; og at man med de forskellige brændsler kan frembringe elektrisk kraft i kraftværker, hvad man ikke kan med varmt vand fra solfangere.

I henhold til Energistyrelsens/EUs opgørelsesmåde defineres:

Endeligt forbrug (udvidet) som: El-forbruget + varmekonsumet + brændstofforbrug til transport + el- og fjernvarme-distributionstab + el-forbrug i kraft/kraftvarmeværker og fjernvarmeværker.

Netto-VE (vedvarende energibidrag) som: Vindkraft + vandkraft + el fra solceller + varme fra solfangere + varmeoptag fra udeluft/jord i varmepumper (!) + (affald+træ+halm+biogas)*(de forskellige energiomsætningsanlægs kalorimetriske nyttevirkninger). Idet dog kun det biologisk nedbrydelige affald medregnes.

VE-procent defineres som:

VE/Endeligt forbrug.

Da der er tale om summer af størrelser, der er indbyrdes inkommensurable med hensyn til deres indflydelse på forbruget af fossile brændsler og dermed CO2-udslippet (se 'Relative marginale ændringer' nedenfor), er hverken brændselsforbruget eller CO2-udslippet en funktion af disse summer. Dette fremgår af nedenstående tabel, der viser ændringerne af CO2-udslippet i LG-scenariet sammenholdt med ændringerne af Endeligt forbrug og Netto-VE-bidraget

Ligeledes viser følgende lille regneeksempel, at en forøgelse af VE-procenten ikke nødvendigvis medfører en formindskelse af CO2-udslippet, selvom nettoenergiforbruget formindskes (varmebesparelsen er større en væksten i el-forbruget):

	Nu	Senere
El-forbrug:	100	120 (enhed ligegyldig)
El-produktion i kulfyrede kraftvarmeværker	80	80
Fjernvarme fra - -	110	80
El-produktion i vindmøller	20	40
Kulforbrug	200	200
Bruttoenergiforbrug = Kulforbrug+vindkraft	220	240
VE-procent: Vindkraft/bruttoenergiforbrug eller	9%	17%
Nettoenergiforbrug: El + fjernvarme	210	200
VE-procent: Vindkraft/nettoenergiforbrug	9,5%	20%

Da kulforbruget er uændret, er CO2-udslippet uændret, selvom VE-procenten er fordoblet og nettoenergiforbruget formindsket.

Opsummeringer af de i tabel 1, side 36, med EF (Endeligt Forbrug) og VE markerede energiværdier, sammenholdt med CO2-udslippet.						
	1990	2007	2012	2016	2020	2030
Endeligt forbrug PJ		593	578	538	487	370
Netto-VE PJ		92	124	158	169	193
VE-procent		16	21	29	34	52
CO2-udslip mio. tons		47,5	41,3	33,6	26,5	13,6
<i>Relativt til 2007 (%):</i>						
Endeligt forbrug		100	97	91	82	62
Netto-VE		100	130	172	184	210
VE-procent		100	131	181	219	325
CO2-udslip		100	87	76	63	28
<i>Relativt til 1990 (%)</i>						
CO2-reduktion	0	4	16	32	46	73

Det fremgår af denne tabel, at CO2-udslippet ikke er en funktion af hverken Endeligt forbrug eller VE-procenten, men en kompliceret funktion af helt andre kvantitative og strukturelle størrelser - en funktion, der ikke lader sig udtrykke i nogen matematisk form. Derfor kan man ikke sikre opfyldelsen af et bestemt mål om CO2-formindskelse og formindskelse af afhængigheden af fossile brændsler ved at foreskrive bestemte formindskelser af Endeligt forbrug og/eller bestemte forøgelser af VE-procenten.

SESAM beregner år for år de relative marginale ændringer af henholdsvis det samlede brændselsforbrug og det samlede CO2-udslip ved en marginal forøgelse af henholdsvis nettovarmeforbruget, el-forbruget, el-produktionen i vindmøller, varmeproduktionen i individuelle solfangere og varmeproduktionen i kollektive solfangere tilknyttet kraftvarmeværker:

Scenarie LG:

RELATIVE MARGINALE ÆNDRINGER:

Brændselsforbrug, excl. brint PJ/PJ

LG	2007	2012	2016	2020	2030
Nettovarmeforbrug, ialt	1.07	1.03	1.02	1.02	1.19
El-forbrug ialt	2.50	2.33	2.22	2.11	1.56
El-prod., vindmøller	-2.55	-2.37	-2.25	-2.20	-1.81
Koll.solfanger varmeprod.			-9.66	-0.31	-0.28
Solfanger varme, indiv.	-1.52	-1.45	-1.40	-1.34	-0.90

CO2 1000 tons pr.år/PJ

LG	2007	2012	2016	2020	2030
Nettovarmeforbrug	57.17	53.92	47.86	42.06	44.48
El-forbrug ialt	204.42	174.45	152.30	152.42	107.08
El-prod., vindmøller	-204.76	-168.03	-153.33	-152.99	-112.51
Koll.solfanger varmeprod.				-8.97	-25.66
Solfangervarme, indiv.	-94.38	-80.16	-66.55	-54.12	-36.78

Det ses, at en forøgelse af el-forbruget på 1 PJ i 2012 alt andet lige medfører en forøgelse af brændselsforbruget på 2,33 PJ og af CO₂-udslippet på 174,45 ktøns, mens disse tal i 2030 kun er 1,56 PJ og 107,08 ktøns. En forøgelse af el-produktionen i vindmøller medfører formindskelser af brændselsforbruget og CO₂-udslippet, som tilsvarende ændrer sig efterhånden som ombygningen af energisystemet skrider frem.

Nettovarmeforbruget er fordelt på mange forskellige opvarmningsformer (se tabel 7) ligesom varmeproduktionen i individuelle solfangere erstatter varmeproduktion i mange forskellige opvarmningsanlæg. De kollektive solfangeres indflydelse på brændselsforbruget og CO₂-udslippet er beskrevet i afsnit 3.8 ovenfor.

At en marginal ændring af henholdsvis el-forbruget og el-produktionen i vindmøller påvirker brændselsforbruget og CO₂-udslippet stadig mindre, skyldes at den stadig større el-produktion i vindmøller sammen med den varmebundne el-produktion i kraftvarmeverker frembringer et el-overskud, hvis udnyttelse i varmepumper og i anlæg til omsætning af elektrisk kraft til motorbrændstof (f.eks. elektrolyseanlæg) er behæftet med tab. Når el-forbruget forøges, formindskes el-overskuddet og dermed disse tab. Tilsvarende medfører en forøgelse af vindkraft-produktionen, at disse tab forøges, dvs. at den ekstra vindkraft ikke giver den samme brændselsbesparelse, som hvis den går direkte til el-apparater og el-maskiner.

Da ændringerne af brændselsforbruget og CO₂-udslippet ved ændringer af henholdsvis nettoenergiforbruget/endeligt forbrug og VE-bidragene således er forskellige år for år, og da de forskellige energiforbrug og vedvarende energikilder giver meget forskellige ændringer, er det klart, at en målrettet strategi for nedtrapningen af forbruget af fossile brændsler og CO₂-udslippet ikke kan formuleres i form af målsætninger for nedtrapningen af nettoenergiforbruget/endeligt forbrug og forøgelser af VE-procenten deraf.

De overordnede energipolitiske målsætninger skal udtrykkes som mål for formindskelse af CO₂-udslippet og/eller for formindskelser af kul-, olie- og naturgasforbruget. Derpå skal disse mål søges opfyldt på den mest hensigtsmæssige måde med hensyn til økologisk bæredygtighed, teknologi, samfundsøkonomi og sociale forhold.

Desuagtet bruger politikere og embedsmænd i EU megen tid på at diskutere og formulere VE-procent-målsætninger i stedet for at iværksætte objektive analyser af de tekniske muligheder for at opfylde fysiske målsætninger for nedtrapningen af CO₂-udslippet og de fossile brændselsforbrug. Således baseres klima- og energipolitikken på irrelevante opsummeringer af indbyrdes inkommensurable størrelser og den ene irrelevante sums procentvise andel af den andens. Hvis det på den måde skulle lykkes at løse de virkelige, fysiske klima- og energiproblemer, vil det være et usandsynligt held - ikke resultatet af rationelle beslutninger baseret på objektive, fysiske analyser af de tekniske og økonomiske muligheder, der tegner sig.

Dokumentation

Tabellerne er udskrevet direkte fra SESAM-resultatdatabasen.

Note 1: Energiværdier og CO₂-udslipsværdier er i de fleste tabeller udskrevet med 3 decimaler. Grunden til, at talværdierne ikke er afrundet til færre decimaler eller heltal, er, at mindre afvigelser i energibalance-opgørelser eller mindre forskelle mellem værdier af samme størrelser udskrevet i forskellige tabeller kan indikere fejl i beregningerne.

Note 2: I tabeludskrifterne bruges 'Motor' som fællesbetegnelse for alle typer kraftmaskiner, d.e. maskiner som omsætter kemisk energi (brændsler, brændstoffer) til mekanisk eller elektrisk effekt.

'Kedler' er fællesbetegnelsen for individuelle, kollektive og industrielle opvarmningsanlæg: Olie-, naturgas-, biogas-, biomasse- eller affaldsfyrede kedler i bygninger, industrier og fjernvarmeværker. (Kedler i dampturbine-kraft/kraftvarmeværker indgår i værkerne ['Motorerne'] og medregnes derfor ikke som 'Kedler').

Tabel 1. Forbrug og produktion. Sammenfattende oversigt, Scenarie LG.

Tallene mærket EF og VE indgår i opgørelserne af henholdsvis Endeligt forbrug og det samlede VE-bidrag; for varmepumpe-varmeydelser (VE-VP) med fradrag af varmepumpernes el-forbrug; for VE-brændsler (VE-B) multipliceret med kraftmaskinernes/kedlernes/ovnenes nyttevirkninger.

Se tabellen i kapitel 4.

Rumvarme og varmt vand er excl. varmt fra el-vandvarmere.

El-forbrug og el-eksport		PJ					
		2007	2012	2016	2020	2030	
Transport		0.50	0.94	3.35	6.48	15.7	
Industrielle processer		29.0	30.6	33.0	31.4	25.6	
El-varme		9.81	6.77	5.23	3.92	1.14	
Stand-alone varmepump.		0.34	2.41	3.82	4.65	5.05	
I boliger, erhverv, m.m		84.2	85.5	70.9	62.9	54.2	
El til elektrolyse		0.00	0.00	0.00	1.94	13.8	
Eksport		0.05	0.02	-0.00	0.04	0.49	
Ialt		124	126	116	111	116	
El-produktion		PJ					
		2007	2012	2016	2020	2030	
Vindkraft		22.0	35.4	43.1	49.9	60.9	VE
Solceller		0.00	0.01	0.42	1.22	5.80	VE
Vandkraft		0.24	0.28	0.32	0.35	0.44	
Industriel kraftvarme		5.30	5.88	5.92	6.21	8.69	
Kraftvarmeværker		91.8	82.5	66.5	55.4	43.5	
Kraftværker		14.1	11.1	8.00	5.41	3.30	
Import		0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
Ialt		134	135	124	119	123	EF
Netto-varmeforbrug		PJ					
		2007	2012	2016	2020	2030	
Rumvarme og varmt vand		203	191	186	173	132	
Industrielle processer		60.2	53.5	45.2	39.6	37.1	
Ialt		263	244	231	212	169	
Varmeproduktion		PJ					
		2007	2012	2016	2020	2030	
El-varme		9.81	6.77	5.23	3.92	1.14	
Fra indiv.solfangere		0.39	1.15	1.97	3.03	3.48	VE
Kollektive solfangere		0.00	0.00	0.01	0.08	3.32	VE
Elektrolyseanlæg		0.00	0.00	0.00	0.29	2.06	
Kraftvarme-varmepumper		0.00	3.42	18.1	23.0	22.2	VE-VP
Motorer		102	99.7	87.3	81.2	71.7	
Kedler		171	142	118	95.9	59.4	
Fra sæsonlager til V.P		0.00	0.00	0.00	0.01	0.40	
Stand-alone varmepump.		1.19	8.84	14.7	18.4	20.0	VE-VP
Ialt		285	262	245	226	184	EF
Brændselsforbrug ialt		PJ					
		2007	2012	2016	2020	2030	
Affald		33.3	33.5	25.2	16.8	8.46	VE-B 80%
Halm og træ		50.7	62.0	73.2	80.5	75.5	VE-B
Biogas		3.81	4.17	6.08	7.27	7.29	VE-B
Kul		185	147	106	75.5	20.5	
Olie (incl. transport)		286	258	217	169	70.6	
Naturgas		152	144	131	120	115	
Ialt		712	649	559	470	296	
Brændselsforbrug i transportmidler		PJ					
		2007	2012	2016	2020	2030	
BENZIN		79.9	79.2	70.7	56.1	14.4	EF
DIESEL		94.5	102	97.8	85.8	46.5	EF
ETHANOL		0.00	0.05	0.06	0.05	0.00	
BRINT		0.00	0.00	0.00	1.44	10.2	
Ialt		174	181	169	143	71.1	
CO2-udslip, 10,000 tons		10.000 tons					
		2007	2012	2016	2020	2030	
Transport		1283	1334	1240	1044	449	
Stationære anlæg, int.		3469	2799	2123	1610	921 (i DK)	
Stationære anlæg, ext.		-1.19	-0.44	0.24	-0.88	-9.79 (i udland)	
Ialt		4750	4133	3363	2653	1361	
Procent af 1990-udslip:		96	84	68	54	27	

El-apparater	Index	2007=100				
		2007	2012	2016	2020	2030
Bestandsudvikling		100	116	125	129	131
El-forbrugsudvikling		100	102	84	75	64
Effektivitetsfaktor		1.00	0.88	0.68	0.58	0.49
Bygningsmassen	Index	2007=100				
		2007	2012	2016	2020	2030
Opvarmet etageareal		100	105	108	110	112
Netto varmekonsumtion		100	94	92	85	65
Varmeforbrug pr. m2		1.00	0.89	0.84	0.77	0.58
Industriel produktion	Index	2007=100				
		2007	2012	2016	2020	2030
Produktionsmængder		100	107	113	117	123
Persontransport	Index	2007=100				
		2007	2012	2016	2020	2030
Ialt		100	106	109	111	108
Personbiler		0.83	0.82	0.79	0.78	0.76
Offentlig transport		0.17	0.18	0.21	0.22	0.24
Godstransport	Index	2007=100				
		2007	2012	2016	2020	2030
Ialt		100	114	121	125	121
Vare- og lastbiler		0.80	0.79	0.71	0.62	0.40
Tog og skib		0.20	0.21	0.29	0.38	0.60

Tabel 2. El-apparater. Bestands- og forbrugsudvikling. Eksempler.**BOLIGER VASKEMASKINER** El-scenarie: H 3

Årligt forbrug kWh	MODEL0	MODEL1	MODEL2
VASKEMASKINE	330	271	198
pct.	100	82	60

Aar	Forbrug	Antal	Antal	Gns.fbr	Antal nyanskaffede apparater	
		ialt	skrot.	Nye	Antal/model	
2007	100.00	1900	0	330.0		
2008	102.18	1954	60	328.5	111/MODEL0	3/MODEL1
2009	104.05	2003	67	324.7	105/MODEL0	10/MODEL1
2010	104.72	2045	80	314.2	93/MODEL0	27/MODEL1 3/MODEL2
2011	103.41	2082	98	295.4	68/MODEL0	58/MODEL1 9/MODEL2
2012	99.06	2114	117	267.7	22/MODEL0	102/MODEL1 24/MODEL2
2013	92.07	2139	136	247.7	111/MODEL1	51/MODEL2
2014	84.75	2159	150	232.5	81/MODEL1	89/MODEL2
2015	80.12	2174	161	216.0	43/MODEL1	131/MODEL2
2016	77.32	2182	164	203.0	12/MODEL1	161/MODEL2
2017	74.34	2185	163	198.0	165/MODEL2	
2018	71.40	2185	161	198.0	161/MODEL2	
2019	68.64	2185	155	198.0	155/MODEL2	
2020	65.94	2185	160	198.0	160/MODEL2	
2021	63.27	2185	167	198.0	167/MODEL2	
2022	60.85	2185	162	198.0	162/MODEL2	
2023	58.72	2185	157	198.0	157/MODEL2	
2024	56.88	2185	152	198.0	152/MODEL2	
2025	55.34	2185	152	198.0	152/MODEL2	
2026	54.08	2185	154	198.0	154/MODEL2	
2027	53.08	2185	158	198.0	158/MODEL2	
2028	52.29	2185	165	198.0	165/MODEL2	
2029	51.76	2185	166	198.0	166/MODEL2	
2030	51.40	2185	169	198.0	169/MODEL2	
2031	51.16	2185	169	198.0	169/MODEL2	

BOLIGER KØLESKABE El-scenarie: H 3

Årligtforbrug kWh	MODEL0	MODEL1	MODEL2
KØLESKAB	250	150	100
pct.	100	60	40

Aar	Forbrug	Antal	Antal	Gns.fbr	Antal nyanskaffede apparater	
		ialt	skrot.	Nye	Antal/model	
2007	100.00	2256	0	250.0		
2008	101.78	2337	127	247.4	203/MODEL0	5/MODEL1
2009	103.60	2410	84	241.0	142/MODEL0	14/MODEL1
2010	104.90	2474	53	224.8	89/MODEL0	26/MODEL1 2/MODEL2
2011	105.18	2530	42	196.7	49/MODEL0	42/MODEL1 7/MODEL2
2012	103.79	2577	44	156.8	14/MODEL0	63/MODEL1 15/MODEL2
2013	100.86	2615	56	134.2	65/MODEL1	30/MODEL2
2014	97.31	2645	74	123.8	49/MODEL1	54/MODEL2
2015	94.27	2667	97	112.4	29/MODEL1	89/MODEL2
2016	91.24	2679	124	103.4	9/MODEL1	128/MODEL2
2017	87.29	2684	152	100.0	156/MODEL2	
2018	82.60	2684	178	100.0	178/MODEL2	
2019	77.35	2684	200	100.0	200/MODEL2	
2020	71.88	2684	211	100.0	211/MODEL2	
2021	66.21	2684	222	100.0	222/MODEL2	
2022	60.93	2684	213	100.0	213/MODEL2	
2023	55.86	2684	212	100.0	212/MODEL2	
2024	51.41	2684	198	100.0	198/MODEL2	
2025	47.67	2684	180	100.0	180/MODEL2	
2026	44.64	2684	162	100.0	162/MODEL2	
2027	42.36	2684	142	100.0	142/MODEL2	
2028	40.81	2684	124	100.0	124/MODEL2	
2029	39.87	2684	113	100.0	113/MODEL2	
2030	39.22	2684	117	100.0	117/MODEL2	
2031	38.78	2684	125	100.0	125/MODEL2	

Tabel 3. El-forbrugets fordeling på anvendelsesområder

Scenarie: DKL LG F4H4I1E3L2W3P3S3h2V3

EL-FORBRUG: Enhed: PJ/år

=====

LG	2007	2012	2016	2020	2030
Boliger	31.674	31.561	26.047	23.061	19.728
Handel og service	27.192	28.999	23.383	21.043	18.943
Offentlige institutioner	9.418	9.806	8.114	7.232	6.377
Industri, virksomheder	4.842	4.742	4.311	3.888	3.381
Landbrug	9.047	8.403	7.216	5.995	4.238
Sommerhuse, Fritid	0.538	0.540	0.485	0.467	0.442
Andet	1.440	1.390	1.281	1.134	0.908
Proces-elforbrug	29.008	30.558	33.023	31.352	25.635
El-varme, rumvarme	9.814	6.765	5.227	3.922	1.136
El-forbr.forsyningsanlæg	3.333	2.664	2.359	2.115	1.763
Stand-alone varmepumper	0.342	2.406	3.821	4.653	5.046
Transport	0.503	0.943	3.349	6.478	15.747

El-forbrug, ialt netto	127.151	128.779	118.616	111.341	103.344
Ledningstab	6.318	6.275	5.578	5.114	4.696
El-forbrug, ialt brutto	133.470	135.053	124.194	116.455	108.040

EL-APPARATER, BESTANDSUDVIKLING OG EFFEKTIVITET

Vægtede gennemsnit for alle apparattyper

Boliger

Bestandsudvikling:	1.000	1.228	1.338	1.382	1.403
Effektivitetsfaktor:	1.000	0.812	0.615	0.527	0.444

Handel og service

Bestandsudvikling:	1.000	1.360	1.582	1.699	1.778
Effektivitetsfaktor:	1.000	0.784	0.544	0.456	0.392

Offentlige institutioner

Bestandsudvikling:	1.000	1.277	1.457	1.563	1.638
Effektivitetsfaktor:	1.000	0.815	0.592	0.491	0.413

Industri, virksomheder

Bestandsudvikling:	1.000	1.052	1.076	1.139	1.325
Effektivitetsfaktor:	1.000	0.930	0.827	0.705	0.527

Landbrug

Bestandsudvikling:	1.000	1.011	1.017	1.022	1.025
Effektivitetsfaktor:	1.000	0.919	0.784	0.648	0.457

Sommerhuse, Fritid

Bestandsudvikling:	1.000	1.176	1.244	1.281	1.296
Effektivitetsfaktor:	1.000	0.852	0.724	0.678	0.633

Tabel 4. Bygningers varmebalance. Eksempler.

Ude-temperatur:

Måned:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	-0.1	-0.4	1.7	6.2	11.1	14.5	16.6	16.3	13.1	8.7	4.9	2.2

Bygninger opført før 1979

PARCELHUSE	LG	2007	2012	2016	2020	2030							
Etageareal	m2	1481294	1481294	1481294	1481294	1481294							
Antal kvadratmeter	per person	:											
		48.1	49.5	50.4	50.6	50.8							
Inde-temperatur	:	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5							
Netto-varmeforbrug,	årsgennemsnit	:											
	W/m2	19.95	18.28	17.28	15.61	11.03							
GJ/år per 100 m2		62.91	57.65	54.48	49.24	34.78							
Måned balance	2007, W/m2:												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tab		50.1	50.9	45.5	34.0	17.0	12.2	10.5	9.3	11.9	27.6	37.3	44.2
Solind		-1.3	-3.0	-5.8	-8.4	-10.5	-12.2	-10.5	-9.3	-7.2	-3.9	-1.6	-0.9
El		-3.3	-3.2	-2.8	-2.6	-2.6	-2.6	-2.5	-2.7	-2.7	-2.7	-2.9	-3.4
Pers		-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
Netto		44.4	43.6	35.8	21.9	2.7	0.0	0.0	0.0	0.9	19.9	31.7	38.9

Måned balance 2030, W/m2:												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tab	30.5	31.0	27.7	20.7	11.6	12.2	10.5	9.3	8.1	16.8	22.7	26.9
Solind	-1.3	-3.0	-5.8	-8.4	-10.5	-12.2	-10.5	-9.3	-7.2	-3.9	-1.6	-0.9
El	-1.8	-1.8	-1.6	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.6	-1.8
Pers	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
Netto	26.3	25.1	19.3	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	18.5	23.1

Fremtidige bygninger:

PARCELHUSE LG	2007	2012	2016	2020	2030							
Etageareal m2	0	26927	41737	47122	53854							
Antal kvadratmeter per person	:											
	48.1	49.5	50.4	50.6	50.8							
Inde-temperatur	:	19.5	19.5	19.5	19.5							
Netto-varmeforbrug, årsgennemsnit	:											
W/m2	8.64	5.50	5.58	5.65	5.67							
GJ/år per 100 m2	27.26	17.36	17.60	17.83	17.87							
Måned balance 2030, W/m2:												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tab	12.1	10.9	7.2	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	8.5	10.8
Solind	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
El	-2.0	-2.0	-1.8	-1.6	-1.7	-1.6	-1.6	-1.7	-1.6	-1.6	-1.7	-2.1
Pers	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1
Netto	8.9	7.8	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	5.7	7.7

Bemærk: Ikke kun varmeforbruget, men også opvarmningssæsonens længde formindskes, når bygningernes varmeisolering forbedres. Det har betydning for kraftvarmeverkernes driftsøkonomi. Endvidere muliggør de mindre varmeeffekt per kvadratmeter opvarmet areal, at fjernvarmetemperaturerne kan sænkes, se tabel 9.

Tabel 5. Opvarmede etagearealer fordelt på bygnings/anvendelsestyper.

Danmark Scenarie: DKL LG F4H4I1E3L2W3P3S3h2V3
 Opvarmede etagearealer: 1000 m2.

Opgørelsen er baseret på Energistyrelsens EnergiDatabase, der indeholder godt 200.000 bygningsregisterposter fordelt på 4928 energidistrikter. EnergiDatabassen ligger også til grund for beregningerne af varmeforbruget i bygninger i 2007 og dets fordeling på opvarmningsformer, se tabel 4, 6 og 7.

FR. : Fremtidige nybygninger

EL. : Nuværende el-opvarmede. I løbet af perioden udskiftes el-varme i de fleste bygninger med andre opvarmningsformer, se tabel 7.

		2007	2012	2016	2020	2030
BOLIGER	PARCELHUSE	144358	144358	144358	144358	144358
	ETAGEHUSE	74353	74353	74353	74353	74353
	FR.ENF.BOL	0	2693	4174	4712	5385
	FR.ETG.BYG	0	6732	10434	11781	13464
	EL.PARCEL	15840	15840	15840	15840	15840
	EL.ETAGE	751	751	751	751	751
	Ialt:	235302	244726	249910	251794	254151
	Procent:	100	104	106	107	108
HAN.SER	VÆRKSTEDER	427	427	427	427	427
	KONTORBYGN	40969	40969	40969	40969	40969
	HOTEL.SERV	5110	5110	5110	5110	5110
	FR.ETG.BYG	0	4449	7674	9454	11678
	EL.HAN.SER	1841	1841	1841	1841	1841
	EL.INDUSTR	62	62	62	62	62
	Ialt:	48409	52858	56083	57863	60087
	Procent:	100	109	116	120	124
OFF.INST	ETAGEHUSE	4220	4220	4220	4220	4220
	FORSYNING	1557	1557	1557	1557	1557
	KULTURBYGN	3303	3303	3303	3303	3303
	UNDERVISNG	17574	17574	17574	17574	17574
	INSTITUTIO	3556	3556	3556	3556	3556
	DAGINSTIT	2251	2251	2251	2251	2251
	AND.INSTIT	640	640	640	640	640
	SPORTANLÆG	3551	3551	3551	3551	3551
	FR.ETG.BYG	0	2567	4535	5562	6846
	EL.ETAGE	39	39	39	39	39
	EL.OFF.INS	1082	1082	1082	1082	1082
	EL.INDUSTR	304	304	304	304	304
	Ialt:	38076	40643	42611	43638	44921
	Procent:	100	107	112	115	118
INDUSTRI	PRODUKTION	39234	39234	39234	39234	39234
	VÆRKSTEDER	2361	2361	2361	2361	2361
	FR.IND.BYG	0	3928	7182	8978	11222
	EL.INDUSTR	1300	1300	1300	1300	1300
	Ialt:	42895	46822	50077	51872	54117
	Procent:	100	109	117	121	126
LANDBRUG	PARCELHUSE	22704	22704	22704	22704	22704
	LANDBRUG	14485	14485	14485	14485	14485
	EL.PARCEL	1441	1441	1441	1441	1441
	EL.INDUSTR	417	417	417	417	417
	Ialt:	39048	39048	39048	39048	39048
	Procent:	100	100	100	100	100
SOMMERHUS	FRITIDSHUS	3580	4530	4692	4801	4936
	FR.SOM.HUS	0	54	64	70	77
	EL.FRITID	9927	9927	9927	9927	9927
	Ialt:	13508	14511	14683	14798	14941
	Procent:	100	107	109	110	111

Tabel 6. Nettovarmeforbruget og dets fordeling på forbrugssektorer.

Scenarie: DKL LG F4H4I1E3L2W3P3S3h2V3

VARMEFORBRUG: RUMVARME+VARMT VAND, an bygninger: Enhed: PJ/år

Incl. el-rumvarme og el-varmtvandsbeholdere.

=====					
LG	2007	2012	2016	2020	2030
Boliger	147.919	137.336	131.220	120.479	89.985
Handel,service og off.by	27.650	25.195	26.331	24.968	18.605
Industrier	18.546	19.210	19.843	19.560	17.632
Landbrug	6.480	6.229	6.056	5.728	4.739
Sommerhuse	4.803	4.831	4.712	4.423	3.535

Varmeforbrug, ialt	205.397	192.802	188.162	175.158	134.496
Heraf dækket af solfang.	0.393	1.146	1.969	3.030	3.481
Procesvarmeforbrug	60.207	53.459	45.238	39.552	37.130

Varmtvandsforbrug:	Incl. el-varmtvandbeholdere.				
LG	2007	2012	2016	2020	2030
Boliger	16.357	16.609	16.745	16.819	17.011
Handel,service og off.by	1.790	1.910	2.014	2.077	2.168
Industrier	0.910	0.960	1.009	1.040	1.086
Landbrug	0.381	0.371	0.366	0.365	0.365
Sommerhuse	0.203	0.204	0.201	0.200	0.197

IALT:	19.641	20.054	20.335	20.500	20.827

Tabel 7. Nettovarmeforbruget i bygninger fordelt på opvarmningsformer og forsyningsområder.

Alle områder i alt:FORDELING AF NETTO-VARMEFORBRUG:

Enhed: PJ/år

Incl. el-rumvarme, excl. el-varmtvandsbeholdere.

LG	2007	2012	2016	2020	2030
Fjernvarme:	84.855	84.883	85.536	80.403	62.725
Mini-kraftvarme:					
Motorer:	0.000	1.621	4.878	8.785	15.545
Varmepumper:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Individuelle fyr:					
KUL	1.351	0.121	0.000	0.000	0.000
GASOLIE	56.013	34.969	19.149	7.570	0.801
NATURGAS	29.295	29.757	28.836	25.216	13.664
HALM	0.534	0.667	0.907	1.077	1.004
TRÆ	19.428	21.828	24.936	24.706	14.092
BIOGAS	0.000	0.000	0.001	0.013	0.033
El-varme:	9.814	6.765	5.227	3.922	1.136
Stand-alone varmepumper	1.185	8.838	14.665	18.435	19.990
Fra solfangere:	0.393	1.146	1.969	3.030	3.481
Varmeforbrug ialt:	202.869	190.595	186.102	173.158	132.465

Fordeling på forsyningsområder: Enhed: PJ/år

LG	2007	2012	2016	2020	2030
KØBENHAVN	37.358	34.932	34.273	31.889	24.121
STO.BYER.Ø	13.020	12.238	12.012	11.195	8.577
SMÅ.BYER.Ø	18.433	17.403	17.018	15.869	12.275
LANDSBYE.Ø	3.147	2.971	2.891	2.689	2.078
LANDDIST.Ø	10.433	9.717	9.301	8.564	6.426
ST.BYER.V	47.004	44.200	43.427	40.507	31.036
MEL.BYER.V	5.230	4.928	4.839	4.516	3.481
SMÅ.BYER.V	32.033	30.292	29.681	27.721	21.513
LANDSBYE.V	12.704	11.992	11.673	10.858	8.379
LANDDIST.V	23.507	21.923	20.988	19.348	14.580

Tabel 8. Vindkraft og solceller.

VINDMØLLER:

LG		2007	2012	2016	2020	2030
Installeret effekt	MW	3143.0	4314.5	4935.9	5466.8	6224.5
Produktion	GWh/år	6119.74	9832.90	11962.90	13870.99	16921.27
	PJ/år	22.03	35.40	43.07	49.94	60.92

SOLCELLER:

LG		2007	2012	2016	2020	2030
Produktion	GWh/år	0.03	2.90	116.99	337.56	1610.93
	PJ/år	0.00	0.01	0.42	1.22	5.80
1000 kvadratmeter		0.30	26.67	996.36	2869.09	12924.29

Tabel 9. El- og varmeproduktion samt anlægskapaciteter ialt i kraft- og kraftvarmeværker. Tekniske parametre i gennemsnit for alle værker.

KRAFT- OG KRAFTVARMEVÆRKER:

Enhed: PJ/år

LG		2007	2012	2016	2020	2030
El-produktion	TWh/år	29.437	25.984	20.705	16.902	12.985
El-produktion	PJ/år	105.972	93.542	74.537	60.845	44.747

Varmeproduktion:	Enhed: PJ/år					
Motor(er)		90.963	87.178	75.030	69.073	57.059
Kedler		3.174	3.719	3.645	4.216	3.347
Varmepumper		0.000	3.420	18.111	23.041	22.222
Fjv.Solfanger		0.000	0.000	0.000	0.080	3.322
Fra elektrolyse		0.000	0.000	0.000	0.288	2.062
Varmeproduktion ialt		94.136	94.317	96.786	96.758	88.012
Fjv. fra andre kilder		2.650	3.110	3.214	3.239	3.505
Fjv. til andre net		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Prim. fjv.ledningstab		19.250	15.793	12.727	12.065	12.344
Fjv.ledningstab, pct		19.9	16.2	12.7	12.1	13.5
Netto-varmeproduktion		77.536	81.634	87.273	87.932	79.173
Fra sæsonlager til v.p.		0.001	0.014	0.040	0.054	0.052
Fjv.fremløbstem. januar		90.762	78.478	67.982	64.887	64.029
Fjv.returtemp.	-	46.845	40.253	33.918	31.831	30.450
Fjv.fremløbstem. juli		82.231	71.345	62.569	60.221	59.990
Fjv.returtemp.	-	51.414	43.729	38.361	36.298	34.401

Anlægskapaciteter: MW

Motor(er) (el)		5964.434	6014.485	5830.001	5704.900	4963.078
Kedler		558.681	1359.203	1362.714	1406.286	958.342
Varmepumper (varme)		0.000	2801.041	5105.361	5624.978	5319.024
Varmelagerkap., 1000 m3		159.579	301.464	351.524	397.500	327.642

Virkningsgrader:

Motor, mekanisk		0.346	0.353	0.365	0.366	0.403
Motor, mekanisk, max.		0.388	0.392	0.402	0.399	0.424
Motor, varme		0.514	0.517	0.514	0.520	0.522
Kedler, gennemsnit		0.873	0.858	0.857	0.855	0.871

Sæsonvarmelager-

kapacitet, 1000 m3		0.000	0.000	0.000	45.648	3172.049
--------------------	--	-------	-------	-------	--------	----------

Varmelagre er bufferlagre (se kapitel 1, figur 3), der på døgnbasis tillader de enkelte kraftvarmeværkers varmeproduktion at variere uafhængigt af det øjeblikkelige fjernvarmebehov.

Sæsonvarmelagrene gennemløber en årlig opvarmnings/afkølingscyclus, idet den i sommermåneder akkumulerede overskudsvarme fra motorer og solfangere afgives til fjernvarmesystemet i efterårs og vintermåneder. Når temperaturen i et sæsonlager kommer ned på niveau med fjernvarme-fremløbstemperaturen, bruges lageret som varmereservoir for anlæggets varmepumpe, se tabel 13 og 14.

Tabel 10. Tekniske data for de enkelte forsyningsanlæg. Eksempler.

NATURGASFYRET DECENTRALT KRAFTVARMEVÆRK

(Egetforbrug af el i motor, kedel og fjv.net er i f.t. henholdsvis el-produktion og varmeydelse)

	2007	2012	2016	2020	2030
Motor,el.virkn.grad	0.36	0.37	0.37	0.37	0.37
Motor, varmemvirkn.grad	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
Motor, røggas underkøler	0.00	0.00	0.02	0.05	0.08
Motor, eget el-forbr.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Kedel, nyttevirkning	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94
Kedel, el-forbrug	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fjv-ledningstab	0.20	0.19	0.16	0.16	0.16
El-forbr.fjv.net	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

		2007	2012	2016	2020	2030
fjv.freml.temp.	maaned					
	1	80.00	73.33	66.67	65.00	65.00
	2	78.89	72.59	66.07	64.44	64.44
	3	78.89	72.59	66.07	64.44	64.44
	4	75.55	70.37	64.29	62.78	62.78
	5	71.67	67.78	62.22	60.83	60.83
	6	70.00	66.67	61.33	60.00	60.00
	7	70.00	66.67	61.33	60.00	60.00
	8	70.00	66.67	61.33	60.00	60.00
	9	70.56	67.04	61.63	60.28	60.28
	10	74.44	69.63	63.70	62.22	62.22
	11	76.67	71.11	64.89	63.33	63.33
	12	78.89	72.59	66.07	64.44	64.44

fjv.retur temp.	maaned					
	1	42.00	38.83	34.17	33.00	33.00
	2	42.00	38.83	34.17	33.00	33.00
	3	42.35	39.13	34.70	33.59	33.59
	4	42.88	39.57	35.49	34.47	34.47
	5	43.76	40.30	36.81	35.94	35.94
	6	44.65	41.04	38.14	37.41	37.41
	7	45.00	41.33	38.67	38.00	38.00
	8	44.65	41.04	38.14	37.41	37.41
	9	43.76	40.30	36.81	35.94	35.94
	10	42.88	39.57	35.49	34.47	34.47
	11	42.88	39.57	35.49	34.47	34.47
	12	42.35	39.13	34.70	33.59	33.59

v.p.reservoir temp.	maaned					
	1	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02
	4	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36
	5	11.08	11.08	11.08	11.08	11.08
	6	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36
	7	16.39	16.39	16.39	16.39	16.39
	8	16.10	16.10	16.10	16.10	16.10
	9	13.01	13.01	13.01	13.01	13.01
	10	8.77	8.77	8.77	8.77	8.77
	11	5.11	5.11	5.11	5.11	5.11
	12	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51

v.p.effektfaktor

(1.00 betyder: ingen v.p. eller v.p. ikke i drift)

	maaned					
	1	1.00	3.28	2.99	3.06	3.09
	2	1.00	3.29	2.99	3.06	3.12
	3	1.00	3.76	3.28	3.17	3.34
	4	1.00	1.00	1.00	4.47	4.17
	5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00	4.77	1.00
	11	1.00	1.00	3.66	3.40	3.19
	12	1.00	3.72	3.24	3.21	3.36

BIOMASSE- OG BIOGAS-FYRET DECENTRALT KRAFTVARMEVÆRK

(Egetforbrug af el i motor, kedel og fjv.net er i f.t. henholdsvis el-produktion og varmeydelse)

	2007	2012	2016	2020	2030
Motor, el.virkn.grad	0.19	0.24	0.26	0.28	0.29
Motor, varmekvirkn.grad	0.60	0.58	0.56	0.56	0.55
Motor, røggas underkøler	0.00	0.00	0.01	0.03	0.05
Motor, eget el-forbrug	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Kedel, nyttevirksomhed	0.71	0.72	0.72	0.73	0.75
Kedel, røggas underkøler	0.00	0.04	0.05	0.05	0.05
Kedel, el-forbrug	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Fjv-ledningstab	0.20	0.19	0.16	0.16	0.16
El-forbr.fjv.net	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fremløbstemp. til biogasanlæg	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
Retur temp. fra biogasanlæg	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00

		2007	2012	2016	2020	2030
fjv.fremløb.temp.	maaned					
	1	80.00	73.33	66.67	65.00	65.00
	2	78.89	72.59	66.07	64.44	64.44
	3	78.89	72.59	66.07	64.44	64.44
	4	75.55	70.37	64.29	62.78	62.78
	5	71.67	67.78	62.22	60.83	60.83
	6	70.00	66.67	61.33	60.00	60.00
	7	70.00	66.67	61.33	60.00	60.00
	8	70.00	66.67	61.33	60.00	60.00
	9	70.56	67.04	61.63	60.28	60.28
	10	74.44	69.63	63.70	62.22	62.22
	11	76.67	71.11	64.89	63.33	63.33
	12	78.89	72.59	66.07	64.44	64.44

fjv.retur temp.	maaned					
	1	42.00	38.83	34.17	33.00	33.00
	2	42.00	38.83	34.17	33.00	33.00
	3	42.35	39.13	34.70	33.59	33.59
	4	42.88	39.57	35.49	34.47	34.47
	5	43.76	40.30	36.81	35.94	35.94
	6	44.65	41.04	38.14	37.41	37.41
	7	45.00	41.33	38.67	38.00	38.00
	8	44.65	41.04	38.14	37.41	37.41
	9	43.76	40.30	36.81	35.94	35.94
	10	42.88	39.57	35.49	34.47	34.47
	11	42.88	39.57	35.49	34.47	34.47
	12	42.35	39.13	34.70	33.59	33.59

Tabel 11. Brændselsforbruget i stationære anlæg og dets fordeling på anlægstyper.

BRÆNDSLSFORBRUG IALT:		Enhed: PJ/år				
=====						
LG		2007	2012	2016	2020	2030
	KUL	185.476	147.496	106.349	75.464	20.507
	FUELOLIE	30.814	23.764	17.166	12.905	7.089
	GASOLIE	81.040	52.979	31.453	14.652	2.599
	NATURGAS	152.350	144.170	131.141	120.299	114.550
Fossile brændsler ialt		449.681	368.409	286.109	223.320	144.744
	HALM	16.826	22.687	25.446	26.619	31.439
	TRÆ	33.883	39.330	47.780	53.881	44.109
	AFFALD	33.274	33.498	25.246	16.813	8.464
	BIOGAS	3.814	4.168	6.079	7.269	7.286
Lokale brændsler ialt		87.797	99.683	104.550	104.557	91.298
Brændselsforbrug ialt		537.478	468.092	390.660	327.896	236.043

Brændselsforbrugets fordeling på anlægstyper:

KUL		Enhed: PJ/år				

LG		2007	2012	2016	2020	2030
KRAFT- OG KRAFTVARMEVÆRKER:						
	MOTOR:	168.871	134.891	96.326	67.285	18.292
	KEDEL:	0.020	0.298	0.173	0.437	0.250
	FJERNVARMEVÆRKER:	0.171	0.000	0.000	0.000	0.000
	INDIVIDUELLE OPV.ANLÆG	2.096	0.199	0.000	0.000	0.000
INDUSTRIELLE PROCESANLÆG						
	MOTOR:	4.566	4.663	4.354	3.856	0.770
	KEDEL:	9.753	7.445	5.495	3.879	0.525

FUELOLIE		Enhed: PJ/år				

LG		2007	2012	2016	2020	2030
KRAFT- OG KRAFTVARMEVÆRKER:						
	MOTOR:	12.660	9.346	6.104	4.416	0.512
	KEDEL:	0.681	0.560	0.343	0.292	0.000
	FJERNVARMEVÆRKER:	1.056	0.480	0.230	0.086	0.000
	INDIVIDUELLE OPV.ANLÆG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
INDUSTRIELLE PROCESANLÆG						
	MOTOR:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	KEDEL:	16.417	13.379	10.489	8.115	3.989

GASOLIE		Enhed: PJ/år				

LG		2007	2012	2016	2020	2030
KRAFT- OG KRAFTVARMEVÆRKER:						
	MOTOR:	0.105	0.091	0.077	0.062	0.036
	KEDEL:	0.000	0.001	0.003	0.004	0.004
	FJERNVARMEVÆRKER:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	INDIVIDUELLE OPV.ANLÆG	75.983	48.658	27.927	11.806	1.289
INDUSTRIELLE PROCESANLÆG						
	MOTOR:	0.464	0.568	0.570	0.539	0.232
	KEDEL:	4.488	3.662	2.877	2.227	1.036

NATURGAS		Enhed: PJ/år				

LG		2007	2012	2016	2020	2030
KRAFT- OG KRAFTVARMEVÆRKER:						
	MOTOR:	70.555	65.596	59.694	56.922	55.836
	KEDEL:	2.516	2.538	2.514	2.534	2.009
	FJERNVARMEVÆRKER:	3.738	1.955	0.908	0.194	0.057
	INDIVIDUELLE OPV.ANLÆG	36.111	36.006	33.808	28.322	13.950
INDUSTRIELLE PROCESANLÆG						
	MOTOR:	13.878	15.115	14.737	14.935	22.060
	KEDEL:	25.553	22.961	19.480	17.317	19.660

HALM	:	Enhed: PJ/år				

LG		2007	2012	2016	2020	2030
KRAFT- OG KRAFTVARMEVÆRKER:						
	MOTOR:	9.382	16.087	19.555	21.626	27.285
	KEDEL:	0.035	0.206	0.294	0.462	0.299
	FJERNVARMEVÆRKER:	4.756	3.597	2.627	1.448	0.164
	INDIVIDUELLE OPV.ANLÆG	0.876	1.084	1.450	1.699	1.583
INDUSTRIELLE PROCESANLÆG						
	MOTOR:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	KEDEL:	1.778	1.712	1.519	1.369	1.469

TRÆ	:	Enhed: PJ/år				

LG		2007	2012	2016	2020	2030
KRAFT- OG KRAFTVARMEVÆRKER:						
MOTOR:		1.171	2.169	5.179	10.295	15.307
KEDEL:		0.000	0.090	0.225	0.440	0.348
FJERNVARMEVÆRKER:		0.315	0.309	0.300	0.229	0.000
INDIVIDUELLE OPV.ANLÆG		28.470	32.475	37.912	38.809	22.693
INDUSTRIELLE PROCESANLÆG						
MOTOR:		1.174	1.491	1.593	1.751	3.127
KEDEL:		2.752	2.797	2.571	2.359	2.366
AFFALD	:	Enhed: PJ/år				

LG		2007	2012	2016	2020	2030
KRAFT- OG KRAFTVARMEVÆRKER:						
MOTOR:		30.926	31.111	22.884	14.631	6.755
KEDEL:		0.419	0.693	0.753	0.804	0.573
FJERNVARMEVÆRKER:		1.928	1.694	1.609	1.379	0.984
INDIVIDUELLE OPV.ANLÆG		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
INDUSTRIELLE PROCESANLÆG						
MOTOR:		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
KEDEL:		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BIOGAS	:	Enhed: PJ/år				

LG		2007	2012	2016	2020	2030
KRAFT- OG KRAFTVARMEVÆRKER:						
MOTOR:		3.809	4.162	6.066	7.225	7.143
KEDEL:		0.005	0.006	0.013	0.041	0.063
FJERNVARMEVÆRKER:		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
INDIVIDUELLE OPV.ANLÆG		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
INDUSTRIELLE PROCESANLÆG						
MOTOR:		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
KEDEL:		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabel 12. Transportmidler. Udvikling i transportmængder og fremdriftmidler.

Transportmængde: mia. personkm

LG		2007	2012	2016	2020	2030
	IALT:	88	93	96	97	95
	PERSONBIL	65	68	67	67	63
	BUS	8	9	10	11	10
	SPORVOGN	0	0	1	2	3
	PERSONTOG	6	7	8	9	9
	VAREBIL	8	9	9	9	9
				Pct.		
	PERSONBIL	74	72	70	68	66
	BUS	10	10	11	11	10
	SPORVOGN	0	1	1	2	4
	PERSONTOG	7	8	9	9	10
	VAREBIL	9	9	9	9	10

Transportmængde: mia. tonkm

LG		2007	2012	2016	2020	2030
	IALT:	14	16	17	18	17
	LASTVOGN	11	13	12	11	7
	GODSTOG	1	1	2	3	5
	FRAGTSKIB	2	2	3	4	5
				Pct.		
	LASTVOGN	80	79	71	62	40
	GODSTOG	5	6	10	15	30
	FRAGTSKIB	15	15	18	23	30

PERSONBIL

LG		2007	2012	2016	2020	2030
	Drivkraftforbrug					
	Wh/personkm:	76	76	76	73	68
		100	100	100	97	90
	Drivkraftfordeling:					
	Forbrændingsmotorer:					
	EXIST.2007:	1.00	0.61	0.35	0.14	0.00
	NY.NUV.MOD:	0.00	0.39	0.45	0.42	0.01
	NY.KONV.1 :	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01
	NY.KONV.2 :	0.00	0.00	0.01	0.03	0.07
	HYBRID.1 :	0.00	0.00	0.07	0.09	0.03
	HYBRID.2 :	0.00	0.00	0.05	0.12	0.14
	El-motor:	0.00	0.00	0.06	0.15	0.46
	Br.celle (brint):	0.00	0.00	0.00	0.04	0.27
	Nyttevirkninger:					
	Forbrændingsmotorer:					
	EXIST.2007:	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
	NY.NUV.MOD:	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	NY.KONV.1 :	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
	NY.KONV.2 :	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	HYBRID.1 :	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
	HYBRID.2 :	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
	El-motor:	0.78	0.80	0.81	0.82	0.82
	Br.celle (brint):	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

BUS

LG		2007	2012	2016	2020	2030
	Drivkraftforbrug					
	Wh/personkm:	48	48	48	48	48
		100	100	100	100	100
	Drivkraftfordeling:					
	Forbrændingsmotorer:					
	DIESELMOT2:	1.00	1.00	0.94	0.81	0.54
	El-motor:	0.00	0.00	0.06	0.15	0.46
	Nyttevirkninger:					
	DIESELMOT2:	0.24	0.26	0.27	0.27	0.28
	El-motor:	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80

SPORVOGN

LG		2007	2012	2016	2020	2030
	Drivkraftforbrug					
	Wh/personkm:	30	30	30	30	30
		100	100	100	100	100
	Drivkraftfordeling:					
	El-motor:	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Nyttevirkninger:					
	El-motor:	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92

Tabel 13. Energibalance-regnskab i 2030. Hele landet.

År: Enhed: PJ/år. Månedseffekt: Enhed: GW

	2030	1	2	3	Gennemsnitlige effekter								
					4	5	6	7	8	9	10	11	12
Netto-varmeforbrug:	169.379	10.932	10.329	7.896	4.315	1.851	1.752	1.587	1.634	1.851	4.717	7.905	9.681
Varmeforbr.e-anleg:	0.649	0.030	0.030	0.025	0.015	0.017	0.016	0.012	0.015	0.017	0.015	0.024	0.030
Indiv.solf.ydelse :	-3.481	-0.017	-0.071	-0.100	-0.152	-0.169	-0.177	-0.173	-0.168	-0.134	-0.093	-0.043	-0.028
El-varme :	-1.136	-0.090	-0.083	-0.060	-0.026	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.001	-0.031	-0.061	-0.079
Prim.fjv.ledn.tab :	12.870	0.427	0.424	0.427	0.413	0.401	0.394	0.397	0.394	0.388	0.400	0.416	0.417
Fjv/ctr.varmeforbr:	178.281	11.282	10.630	8.187	4.565	2.100	1.984	1.823	1.874	2.121	5.009	8.241	10.021
Fjv.solf.ydelse :	3.322	0.033	0.060	0.094	0.136	0.179	0.166	0.167	0.144	0.123	0.084	0.050	0.027
KV-varmepumper :	22.222	1.967	1.811	1.235	0.349	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.336	1.139	1.618
Stand-alone varmep:	19.990	1.440	1.354	1.009	0.488	0.101	0.104	0.106	0.104	0.101	0.539	0.996	1.264
Motor-varme :	71.735	4.190	3.958	3.113	1.947	1.016	0.980	0.932	0.943	1.021	2.106	3.226	3.865
Kedel-varme :	59.403	3.517	3.320	2.621	1.617	0.892	0.806	0.686	0.728	0.912	1.736	2.630	3.138
Elektrolyse-varme :	2.062	0.134	0.127	0.115	0.028	0.033	0.029	0.022	0.026	0.030	0.035	0.096	0.109
Fjv.fra processer+:	3.536	0.118	0.118	0.118	0.118	0.119	0.106	0.087	0.094	0.119	0.119	0.118	0.112
Proces fjv.oversk.:	-0.054	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.008	-0.003	0.000	0.000	-0.009	0.000	0.000	0.000
Fjv.fra processer-:	-3.536	-0.118	-0.118	-0.118	-0.118	-0.119	-0.106	-0.087	-0.094	-0.119	-0.119	-0.118	-0.112
Fra sæsonlager :	-0.000	-0.000	0.000	-0.000	0.000	-0.112	-0.097	-0.090	-0.072	-0.057	0.173	0.112	0.145
Sæsonlager til VP :	-0.399	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.007	-0.145
Fjv/ctr.varmeprod.:	178.281	11.282	10.630	8.187	4.565	2.100	1.984	1.823	1.874	2.121	5.009	8.241	10.021
Sæsonvarmelager-kapacitet, 1000 m3 : 3172													
Overskudsvarme													
fra motorer:	6.917	-0.000	-0.000	0.002	0.001	0.588	0.600	0.371	0.517	0.547	0.003	0.003	0.000
El-forbrug :	79.789	2.673	2.653	2.592	2.543	2.547	2.468	2.307	2.395	2.474	2.524	2.550	2.636
El-forbrug,e-anleg:	0.253	0.009	0.009	0.009	0.007	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008	0.006	0.008	0.009
El-forbrug,fjv.net:	0.967	0.054	0.051	0.041	0.026	0.017	0.016	0.014	0.015	0.017	0.028	0.041	0.048
El-forbr.fjv.kedel:	0.545	0.031	0.029	0.024	0.015	0.009	0.008	0.007	0.007	0.009	0.016	0.023	0.028
El-varme :	1.136	0.090	0.083	0.060	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.031	0.061	0.079
St.alone varmepum.:	5.046	0.363	0.342	0.255	0.123	0.026	0.026	0.027	0.026	0.026	0.136	0.252	0.319
Transport :	15.747	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499
El-ledningstab :	4.825	0.188	0.184	0.175	0.140	0.140	0.135	0.124	0.130	0.136	0.142	0.166	0.176
El-export :	0.485	0.069	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.054
El-forbrug ialt :	108.792	3.976	3.913	3.654	3.379	3.246	3.161	2.986	3.081	3.169	3.383	3.601	3.849
El-prod.motorer :	60.331	2.980	2.819	2.354	1.515	1.380	1.372	1.099	1.268	1.323	1.644	2.426	2.777
Til KV-varmepumper:	-4.890	-0.453	-0.412	-0.273	-0.071	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.064	-0.247	-0.341
El-prod.vindmøller:	60.917	2.276	2.235	2.160	1.861	1.757	1.680	1.724	1.724	1.824	1.884	1.968	2.085
El-prod.solceller :	5.799	0.049	0.099	0.162	0.242	0.321	0.297	0.300	0.256	0.217	0.143	0.081	0.038
El-prod.vandkraft :	0.442	0.019	0.019	0.019	0.017	0.013	0.010	0.010	0.010	0.010	0.011	0.014	0.017
El-forbr.elektroly:	-13.806	-0.896	-0.848	-0.769	-0.185	-0.225	-0.199	-0.147	-0.177	-0.205	-0.236	-0.640	-0.728
El-produkt. ialt :	108.792	3.976	3.913	3.654	3.379	3.246	3.161	2.986	3.081	3.169	3.383	3.601	3.849

Tabel 14. Energibalance-regnskab i 2030 for Silkeborg fjernvarmeområde

År: Enhed: PJ/år. Månedseffekt: Enhed: MW

	Gennemsnitlige effekter												
	2030	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Netto-varmeforbrug:	0.729	53.702	50.161	36.177	16.124	3.657	3.765	3.837	3.765	3.657	18.653	36.683	47.126
Varmerforbr.e-anleg:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Indiv.solf.ydelse :	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
El-varme :	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000
Prim.fjv.ledn.tab :	0.143	4.733	4.702	4.735	4.578	4.438	4.361	4.395	4.361	4.294	4.434	4.609	4.622
Fjv/ctr.varmeforbr:	0.871	58.434	54.862	40.912	20.701	8.096	8.127	8.231	8.127	7.952	23.086	41.292	51.748
Fjv.solf.ydelse :	0.292	2.938	5.275	8.214	11.954	15.694	14.559	14.692	12.622	10.819	7.346	4.407	2.403
KV-varmepumper :	0.494	48.852	43.583	28.220	7.057	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	23.406	36.770
Stand-alone varmep:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Motor-varme :	0.039	1.238	0.998	0.567	0.032	0.860	0.877	0.549	0.756	0.799	0.000	0.172	7.830
Kedel-varme :	0.029	2.859	2.545	1.592	0.379	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.304	2.546
Elektrolyse-varme :	0.025	1.603	1.516	1.375	0.331	0.402	0.355	0.263	0.316	0.366	0.422	1.145	1.302
Fjv.fra processer+:	0.028	0.945	0.946	0.944	0.948	0.950	0.851	0.700	0.751	0.954	0.951	0.947	0.897
Proces fjv.oversk.:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fjv.fra processer-:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fra sæsonlager :	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-9.810	-8.516	-7.973	-6.319	-4.986	14.367	9.911	13.325
S'sonlager til VP :	-0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-13.325
Fjv/ctr.varmeprod.:	0.871	58.434	54.862	40.912	20.701	8.096	8.127	8.231	8.127	7.952	23.086	41.292	51.748
Sæsonvarmelager-kapacitet, 1000 m3 :	278												
Overskudsvarme													
fra motorer:	0.000	-0.000	-0.000	0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	0.000
El-forbrug :	0.286	9.827	9.687	9.261	8.875	8.849	8.795	8.584	8.836	8.444	8.854	9.045	9.853
El-forbrug,e-anleg:	0.002	0.021	0.037	0.057	0.084	0.110	0.102	0.103	0.088	0.076	0.051	0.031	0.017
El-forbrug,fjv.net:	0.007	0.460	0.431	0.320	0.158	0.057	0.058	0.060	0.059	0.056	0.177	0.323	0.407
El-forbr.fjv.kedel:	0.000	0.031	0.029	0.021	0.010	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.011	0.021	0.027
El-varme :	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
St.alone varmepum.:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Transport :	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
El-ledningstab :	0.023	1.051	1.015	0.941	0.567	0.585	0.566	0.525	0.555	0.551	0.595	0.853	0.949
El-export :	-0.540	-36.577	-33.502	-25.949	-10.665	-7.876	-7.760	-7.084	-8.089	-8.444	-10.794	-24.563	-24.190
El-forbrug ialt :	-0.222	-25.187	-22.303	-15.349	-0.971	1.729	1.764	2.192	1.453	0.686	-1.105	-14.290	-12.937
El-prod.motorer :	0.022	0.651	0.525	0.298	0.017	0.575	0.586	0.367	0.505	0.534	0.000	0.090	4.118
Til KV-varmepumper:	-0.148	-15.742	-13.907	-8.414	-1.665	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-7.709	-8.832
El-prod.vindmøller:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
El-prod.solceller :	0.069	0.590	1.185	1.932	2.882	3.833	3.545	3.578	3.052	2.594	1.711	0.964	0.455
El-prod.vandkraft :	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
El-forbr.elektroly:	-0.165	-10.687	-10.106	-9.165	-2.205	-2.679	-2.367	-1.754	-2.105	-2.442	-2.816	-7.636	-8.677
El-produkt. ialt :	-0.222	-25.187	-22.303	-15.349	-0.971	1.729	1.764	2.192	1.453	0.686	-1.105	-14.290	-12.937

For ét døgn i hver måned beregnes effektbalancerne i 3 forskellige driftssituationer: Middel/Svag/Stærk vind & sol, se notatet *SESAM: Simulering af driftsregulering og beregning af anlægskapaciteter*, www.klausillum.dk . Her vises eksempelvis resultaterne for februar 2030.

Vandkr.: Udveksling med vandkraftværker i Norge og Sverige

LG 2030 Februardøgn med middel vind&Sol Døgnfordelinger, hele systemet MW

Kl	Forbrug	Varmep.El.lyse	Import	Vindkr.	Photov.	Fastpr.	Vandkr.	Kraftv.	
030	-3357	-739	-1237	0	2691	0	175	0	2467
1 0	-3290	-759	-1263	-10	2691	0	175	0	2456
2 0	-3127	-809	-1368	-29	2691	0	175	0	2467
3 0	-2987	-850	-1447	-48	2691	0	175	0	2467
4 0	-2925	-861	-1474	-68	2681	0	175	0	2472
5 0	-2925	-847	-1447	-87	2660	0	175	0	2473
6 0	-3026	-784	-1316	-106	2596	0	175	0	2461
7 0	-3222	-640	-1316	-141	2407	3	437	0	2472
8 0	-3630	-408	-868	-166	2134	36	437	0	2466
9 0	-4018	-221	-500	-166	1913	102	437	0	2453
10 0	-4191	-124	-316	-116	1713	142	437	0	2454
11 0	-4287	-29	-158	-116	1535	142	437	0	2476
12 0	-4287	-62	-211	-116	1430	343	437	0	2466
13 0	-4191	-149	-368	-116	1398	531	437	0	2459
14 0	-4071	-176	-421	-116	1419	468	437	0	2460
15 0	-4033	-173	-421	-116	1493	348	437	0	2466
16 0	-4172	-128	-342	-116	1650	197	437	0	2474
17 0	-4560	-36	-132	-166	1955	65	175	237	2462
18 0	-4872	-42	-132	-166	2344	5	175	211	2477
19 0	-4791	-156	-132	-166	2596	0	175	0	2472
20 0	-4460	-301	-395	-157	2681	0	175	0	2458
21 0	-4153	-428	-632	-128	2712	0	175	0	2454
22 0	-3956	-522	-816	-85	2744	0	175	0	2460
23 0	-3721	-621	-1000	-43	2754	0	175	0	2456
24 0	-3338	-775	-1316	0	2775	0	175	0	2478

Forbrug : El-forbrug i bygninger, industrier, transport m.m.

[illegible]

Døgnfordelinger, hele systemet MW

Kl	Forbrug	Varmep.	El.lyse	Import	Vindkr.	Photov.	Fastpr.	Vandkr.	Kraftv.
0 30	-3357	-511	0	0	0	0	175	-246	3939
1 0	-3290	-527	0	-10	0	0	175	-295	3947
2 0	-3127	-570	0	-29	0	0	175	-394	3944
3 0	-2987	-605	-49	-48	0	0	175	-443	3958
4 0	-2925	-617	-49	-68	0	0	175	-443	3928
5 0	-2925	-612	-49	-87	0	0	175	-443	3941
6 0	-3026	-577	0	-106	0	0	175	-394	3928
7 0	-3222	-509	-49	-141	0	1	437	-443	3927
8 0	-3630	-384	0	-166	0	7	437	-197	3932
9 0	-4018	-274	0	-166	0	20	437	0	4000
10 0	-4191	-240	0	-116	0	28	437	98	3983
11 0	-4287	-212	0	-116	0	28	437	148	4002
12 0	-4287	-223	0	-116	0	69	437	98	4023
13 0	-4191	-263	0	-116	0	106	437	49	3977
14 0	-4071	-294	0	-116	0	94	437	0	3951
15 0	-4033	-298	0	-116	0	70	437	0	3941
16 0	-4172	-249	0	-116	0	39	437	49	4011
17 0	-4560	-112	0	-166	0	13	175	640	4011
18 0	-4872	-17	0	-166	0	1	175	836	4043
19 0	-4791	-41	0	-166	0	0	175	836	3986
20 0	-4460	-140	0	-157	0	0	175	590	3992
21 0	-4153	-239	0	-128	0	0	175	344	4001
22 0	-3956	-310	0	-85	0	0	175	197	3979
23 0	-3721	-391	0	-43	0	0	175	0	3980
24 0	-3338	-516	0	0	0	0	175	-295	3974

* Forbrug	Varmep.	El.lyse	Import	Vindkr.	Photov.	Fastpr.	Vandkr.	Kraftv.
#	Y	+	X	P ⁻	F	H		*

[illegible]

Tabel 16: Beregnede udnyttede el-produktionskapaciter i centrale, decentrale og mini-kraftvarmeværker.

Udnyttede el-produktionseffekter, MW:

LG	2007	2012	2016	2020	2030
Decentrale værker ialt	1931	1940	1849	2061	2091
Heraf naturgasfyrede individuelle mini-kraftvarmeværker:	0	58	183	367	885

Centrale kraftvarmeværker

I fjernvarmeforsyningsområde:

København, vand	869	803	611	529	396
København, damp	114	88	102	101	86
København, affald	38	44	49	46	45
København, vestforbr.	23	25	26	26	21
Kalundborg	315	366	518	494	390
Odense	810	763	703	623	680
Trekantområdet	286	319	353	381	289
Enstedværk	63	69	73	36	55
Esbjerg	309	304	294	269	373
Aarhus	481	463	460	424	180
Randers	82	59	34	23	11
Aalborg	390	429	381	337	222
Centrale værker uden fjernvarmeproduktion:	251	333	369	334	80

Centrale værker ialt 4031 4065 3972 3624 2826

Alle værker ialt 5961 6005 5821 5685 4917

Industrielle anlæg ialt 264 294 295 310 434
Vindmøller ialt 3143 4314 4936 5467 6225

Decentrale værker ialt :
Udnyttet kapacitet MW 1931 1940 1849 2061 2091
Benytt.tid timer/år 3061 3222 2986 2715 2381
Produktion TWh 5.9 6.3 5.5 5.6 5.0

Centrale værker ialt :
Udnyttet kapacitet MW 4031 4065 3972 3624 2826
Benytt.tid timer/år 5833 4897 4095 3502 3097
Produktion TWh 23.5 19.9 16.3 12.7 9.3

Industrielle anlæg ialt :
Udnyttet kapacitet MW 264 294 295 310 434
Benytt.tid timer/år 5576 5556 5574 5565 5562
Produktion TWh 1.5 1.6 1.6 1.7 2.4

Vindmøller ialt :
Installeret effekt MW 3143 4314 4936 5467 6225
Benytt.tid timer/år 1947 2279 2424 2537 2718
Produktion TWh 6.1 9.8 12.0 13.9 16.9

Solceller ialt :
Produktion TWh 0.0 0.0 0.1 0.3 1.6
Areal 1000 kv.meter 0.3 27 996 2869 12924

Produktion ialt TWh 37.1 37.7 35.6 34.3 34.8

Udnyttede varmepumpeeffekter:

Varmepumper (MW varme) 0 2800 5102 5604 5267
Benytt.tid timer/år 0 339 986 1139 1165

Tabel 17: Energiomsætningssystemets produktion (ydelser til forbrugssystemet, se kapitel 1, figur 2), forbrug (af brændsler og el fra energikildesystemet) og effektivitet.

Centrale kraft- og kraftvarmeværker ialt:						
LG		2007	2012	2016	2020	2030
Januar	Enhed: PJ					
El-produktion		7.173	6.078	5.330	3.992	3.286
Varmeproduktion		10.244	9.905	9.726	9.088	7.012
Motorer	pct.	98.8	88.1	71.5	59.7	49.2
Kedler	pct.	1.2	3.7	3.2	4.5	4.3
Varmepumper	pct.	0.0	8.3	25.3	35.8	46.5
Juli	Enhed: PJ					
El-produktion		6.587	5.769	4.372	3.383	1.879
Varmeproduktion		1.352	1.145	0.997	0.938	0.925
Motorer	pct.	99.6	99.9	100.0	100.0	99.8
Kedler	pct.	0.4	0.1	0.0	0.0	0.2
Varmepumper	pct.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Året	Enhed: PJ					
El-produktion		84.648	71.417	57.258	43.693	30.726
Varmeproduktion		61.129	57.263	55.148	51.067	39.010
Motorer	pct.	99.2	94.9	81.5	71.8	59.6
Kedler	pct.	0.8	2.2	2.3	3.4	3.4
Varmepumper	pct.	0.0	2.8	16.2	24.8	37.0
Decentrale kraftvarmeværker ialt:						
LG		2007	2012	2016	2020	2030
Januar	Enhed: PJ					
El-produktion		3.306	2.976	1.814	2.114	2.595
Varmeproduktion		5.408	6.316	7.317	8.134	8.641
Motorer	pct.	90.2	77.9	59.2	63.5	72.7
Kedler	pct.	9.8	8.3	7.0	6.8	5.3
Varmepumper	pct.	0.0	13.8	33.8	29.8	22.1
Juli	Enhed: PJ					
El-produktion		0.603	0.667	0.710	0.738	0.429
Varmeproduktion		0.776	0.756	0.723	0.728	0.553
Motorer	pct.	95.2	97.2	97.6	99.2	99.1
Kedler	pct.	4.8	2.7	2.4	0.8	0.9
Varmepumper	pct.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Året	Enhed: PJ					
El-produktion		21.324	22.125	17.279	17.152	16.021
Varmeproduktion		33.008	37.054	41.638	45.323	43.618
Motorer	pct.	91.9	88.5	72.2	71.5	77.5
Kedler	pct.	8.1	6.6	5.7	5.6	4.6
Varmepumper	pct.	0.0	4.9	22.1	22.9	17.9
Hele energiomsætningssystemet:						
Termodynamisk effektivitet:		Enhed: PJ/år				
LG		2007	2012	2016	2020	2030
Motorer og VP, KV-værker						
Brændselsforbrug		297.480	263.453	215.886	182.461	131.167
VE-el. til VP & el. lyse		0.000	0.000	1.184	5.180	14.399
Effektivitet		0.395	0.399	0.403	0.404	0.400
Fjernvarme-kedler						
Brændselsforbrug		15.639	12.426	9.992	8.348	4.752
Effektivitet		0.100	0.100	0.100	0.102	0.106
Individuelle kedler						
Brændselsforbrug		143.536	118.421	101.096	80.635	39.515
Effektivitet		0.096	0.095	0.094	0.094	0.095
Motorer, proces						
Brændselsforbrug		20.082	21.837	21.254	21.081	26.188
Effektivitet		0.420	0.424	0.433	0.449	0.487
Kedler, proces						
Brændselsforbrug		60.741	51.955	42.432	35.267	29.045
Effektivitet		0.286	0.288	0.290	0.295	0.304
Termodynamisk effektivitet, hele systemet:						
Termodyn. effektivitet		0.258	0.264	0.262	0.265	0.291
Eff. forbedring, procent		0.0	2.3	1.3	2.6	12.7
Ressourceforbrug og ydelser						
		Enhed: PJ/år (exergi) :				
Ressourceforbrug		537.478	468.092	391.843	332.973	245.065
Ydelser ialt		137.504	122.449	100.420	83.523	63.986
El-ydelse						
Rumvarmeydelse		25.909	23.258	21.821	19.533	13.661
Procesvarmeydelse		20.134	17.878	15.129	13.227	12.417
Brintproduktion		0.000	0.000	0.000	1.453	8.427

Tabel 18. Samfundsøkonomiske omkostninger. Sammenfatning, scenarie LG og LX.

r= 0%: Opsummerede årlige omkostninger.

r= 5%: Årlige omkostninger tilbagediskonteret til nuværdi med rente 5% p.a.

Brændselsprisscenarier B1 og B2: se figur 12, afsnit 3.2.

Brændselsprisscenarie B1:

CO2-udslip i alt 2007-2030	LG	LX
Mio. tons	707	1015

Omkostninger ialt 1000 million Dkr		
Ialt	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	2134	2372
r= 5.0% 2007-2030	1264	1359
Fossile brændsler	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	1286	1864
r= 5.0% 2007-2030	787.4	1058

Lokale brændsler	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	78.95	86.79
r= 5.0% 2007-2030	44.23	47.23
El-import/export	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	-0.15	-3.43
r= 5.0% 2007-2030	-0.06	-1.30
Vedvarende energikilder	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	108.0	40.64
r= 5.0% 2007-2030	63.18	26.74
Forsyningsanlæg	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	377.4	377.9
r= 5.0% 2007-2030	231.8	225.3
Bygninger	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	267.7	0.00
r= 5.0% 2007-2030	129.2	0.00
El-forbrugende udstyr	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	16.15	6.26
r= 5.0% 2007-2030	8.35	2.52

Brændselsprisscenarie B2: (mindre kraftige brændselsprisstigninger)

CO2-udslip i alt 2007-2030	LG	LX
Mio. tons	707	1015

Omkostninger ialt 1000 million Dkr		
Ialt	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	1922	2043
r= 5.0% 2007-2030	1151	1193
Fossile brændsler	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	1079	1541
r= 5.0% 2007-2030	677.0	895.6

Lokale brændsler	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	73.81	80.79
r= 5.0% 2007-2030	41.83	44.50
El-import/export	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	-0.15	-3.43
r= 5.0% 2007-2030	-0.06	-1.30
Vedvarende energikilder	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	108.0	40.64
r= 5.0% 2007-2030	63.18	26.74
Forsyningsanlæg	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	377.4	377.9
r= 5.0% 2007-2030	231.8	225.3
Bygninger	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	267.7	0.00
r= 5.0% 2007-2030	129.2	0.00
El-forbrugende udstyr	LG	LX
r= 0.0% 2007-2030	16.15	6.26
r= 5.0% 2007-2030	8.35	2.52

