

1. Energiforbrug og miljøbelastning

Dette kapitel introducerer begreberne energiforbrug og miljøbelastning og giver en oversigt over Danmarks energiforbrug fordelt på energiarter og sektorer.

Energiforbrug i form af brændselsanvendelse medfører grundlæggende en luftforurening, der i vid udstrækning overføres til jord- og vandområder. Miljøbelastningen fra energiforbruget forurener luften på tre niveauer:

- *Global luftforurening:* Fælles for globalt luftforurenende stoffer er, at de bidrager til drivhuseffekten. Der er primært tale om stofferne kuldioxid (CO_2), metan (CH_4), lattergas (N_2O) og visse kølemedler (CFC).
- *Regional luftforurening:* En række luftforurenende stoffer kan spredes over større afstande og give skader som fx forsuring på dyre- og plantelivet samt bygninger. Der er tale om stofferne svovldioxid (SO_2), kvælstofoxider (NO_x) og kulbrinter (H_xC_x).
- *Lokal luftforurening:* De stoffer, der hovedsagelig bidrager hertil, er SO_x , NO_x , CO , C_xH_x , PAH (PolyAromatiske Hydrocarbone) og partikler. Problemet er størst i byområder, og den vigtigste kilde er trafikken. Den udleder røggas i lav højde, som derfor har begrænsede spredningsmuligheder.

Den følgende beskrivelse af miljøbelastningen som følge af energiforbrug falder i to dele: De overordnede *miljøeffekter*, der typisk opstår ved samspil mellem flere forureningskomponenter, og en omtale af de mest betydningsfulde *forureningskomponenter*.

Energiforbrugets miljøeffekter

Drivhuseffekt

Jorden er blevet varmere de seneste 150 år i takt

med verdens industrialisering. Siden 1850 er temperaturen steget knap en grad. Der er efterhånden en vis enighed blandt klimaforskere om, at denne temperaturstigning bl.a. er forårsaget af menneskets øgede afbrænding af fossile brændstoffer.

Ved afbrænding af fossile brændstoffer som olie, kul og naturgas dannes CO_2 , og det øger koncentrationen af CO_2 i atmosfæren. Da CO_2 er en såkaldt drivhusgas, bliver drivhuseffekten større, og jordens temperatur stiger.

Drivhuseffekten er beskrevet i figur 1: Når jorden rammes af sollyset, udsender den varmestråling mod verdensrummet. Denne stråling holdes i stor udstrækning tilbage af partikler, skyer og de såkaldte drivhusgasser. Atmosfæren bliver herved opvarmet. En balance opretholdes, ved at atmosfæren sender varmestråling såvel ud mod verdensrummet som ned mod jorden. Atmosfærens evne til at holde igen på varmestrålingen fra jordoverfladen kaldes drivhuseffekten.

Drivhuseffekten er nødvendig for livet på jorden. Det er beregnet, at jordens overflade i gennemsnit ville være 33°C koldere, end den faktisk er, hvis der ikke var nogen drivhuseffekt.

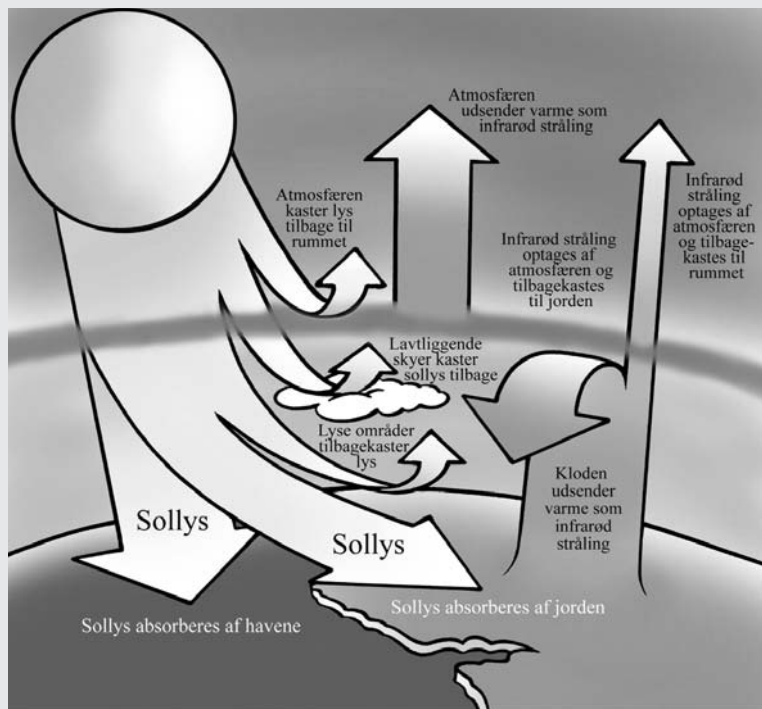
Drivhuseffekten skyldes *drivhusgasserne*, hvoraf de to vigtigste er vanddamp (skyerne) og CO_2 . Andre drivhusgasser er CH_4 (metan), N_2O (lattergas) og CFC (fx i køleskabe og spraydåser). CFC er egentlig kun indirekte en drivhusgas, idet stoffet ikke i sig selv er en drivhusgas, men det nedbryder ozonlaget og forstærker dermed drivhuseffekten.

Drivhusgassernes koncentration, klimaaftaler

Som det fremgår af tabel 1, er indholdet af drivhusgasser i atmosfæren øget betydeligt i takt med, at verden er blevet industrialiseret.

Der har igennem tiderne været naturlige udsving i drivhusgassernes koncentration blandt andet pga. store vulkanudbrud. Men ud fra boreprøver af den grønlandske indlandsis er det påvist, at atmosfærens CO_2 -indhold har ligget ret tæt på 280 ppm (parts per million, dvs. andele per million, volumen-

Figur 1 Drivhuseffekten



Figuren illustrerer de forskellige mekanismer, der samlet danner drivhuseffekten. Kilde: Danmarks Statistik 2001

Tabel 1 Udvikling i drivhusgassernes koncentration

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC
Atmosfærisk koncentration 1750 til 1800	280 ppmv	0,8 ppmv	288 ppbv	0 pptv
Atmosfærisk koncentration 1990	353 ppmv	1,7 ppmv	310 ppbv	280-484 pptv
Årlig stigning, over 100 år fra 1890 til 1990	0,5%	0,9%	0,25%	4%
Komponenternes atmosfæriske levetid	50-200 år	10 år	150 år	65-130 år
Relativ drivhuseffekt over 100 år	1	21	290	1500-7300
Relativt bidrag over 100 år	61%	15%	4%	11,5%

Tabellen viser, at drivhusgasserne er steget betydeligt i takt med industrialiseringen, og at visse gasser er mere kraftigt virkende end andre. Kilde: Miljø- og Energiministeriet 2000.

mæssigt) inden for de sidste 1.000 år frem til industrialiseringens start i slutningen af 1700-tallet. Det er desuden en udbredt vurdering, at atmosfærens indhold af CO₂ allerede har passeret den grænse, inden for hvilken skadevirkninger undgås. Eksperterne anser det heller ikke for realistisk at vende tilbage til et niveau under denne grænse.

Klimaforskerne vurderer, at det er forbundet med betydelig risiko at tillade en fordobling af CO₂-indholdet i forhold til tiden før industrialiseringen. Målet med de internationale klimaforhandlinger er at indgå en aftale, der indebærer, at CO₂-koncentrationen i atmosfæren stabiliseres på 450 ppm. Det er kun muligt, hvis væksten i udledningen stoppes, og der indgås langsigtede aftaler om reduktion i udledningen.

Danmark tiltrådte i 2002 sammen med en række andre lande *Kyoto-aftalen*, der betyder, at fx Danmark skal reducere sin CO₂-emission med 21% i forhold til 1990-niveaue. Det skal ske inden 2012. Kyoto-aftalen åbner mulighed for, at det enkelte land kan løse sine reduktionsforpligtelser gennem internationale aftaler. Grundtanken er, at drivhusproblemerne er internationale, og at der er vidt forskellige omkostninger forbundet med at reducere emissionen i de enkelte lande. De internationale mekanismer gør det muligt at foretage reduktionerne, hvor det er billigst.

Ifølge Energistyrelsens fremskrivninger fra 2001 af emissioner og energiforbrug ved effektivering af energiplanerne, skal de forskellige sektorer i 2012 have reduceret deres udledning af drivhusgasser (CO₂-ækvivalent) med de procenttal, der fremgår af tabel 2. Reduktionen giver en beskeden manko i forhold til Kyoto-aftalen.

Tabel 2 Forventet reduktion i drivhusgasser år 2012

Energiproduktionen	-36%
Transport	+30%
Landbrug	-26%
Erhverv	+6%
Husholdninger	-20%
Samlet	-19%

Kilde: Miljø- og Energiministeriet 2001.

Danmark anvender meget kul til at producere el. Derfor har vi en af verdens højeste CO₂-emissioner pr. indbygger, og derfor er vi sammen med Tyskland et af de lande, der iht. Kyoto-aftalen skal reducere mest. USA skal reducere med 7%, men har foreløbig valgt ikke at tiltræde aftalen. Såfremt USA går med, betyder det, at industrilandene samlet reducerer med 5%.

Som det fremgår af tabel 1, er CFC-gasserne nogle af de mest potente drivhusgasser, samtidig med at de har lang levetid i atmosfæren. Internationalt arbejdes der med blive enige om aftaler om at udfase og erstatte disse stoffer.

Forsuring

SO_x, NO_x og ammoniak (NH₃) i luften kan medføre dannelse af syreregn, som kan give skader på jordbund, skove, dyre- og planteliv samt bygninger. Det anslås, at forsuring kan finde sted op til 1.000 km fra kilden. Skadevirkningen er afhængig af de lokale jordbundsforhold. I det kalkholdige Danmark er forsuringsskader i søer mindre udtalte end fx i Sverige.

Nærings saltbelastning

Udledninger af næringsalte (kvælstof og fosfor) til vandmiljøet fører til øget algevækst. Når algerne dør og nedbrydes, bruges der ilt. En stærkt øget algevækst kan derfor føre til iltsvind.

Landbruget er den vigtigste kilde til udledning af kvælstof, men udvaskning af kvælstofoxider fra energiprocesser og transport udgør også en væsentlig belastning.

Fotokemisk smog

Smog er en forkortelse af smoke + fog, altså røg + tåge, og blev allerede set i 1700-tallets London. Fotokemisk smog er først set i nyere tid. Det dannes ved reaktion mellem CH₄, NMVOC (se senere) og NO_x under indvirkning af sollys. Resultatet er ozondannelse, aldehyder, nitratforbindelser og aerosoler.

Ozon skader bl.a. plantevækst og bidrager til luftvejssygdomme – men i stor højde virker det modererende på drivhuseffekten.

Tabel 3 De vigtigste forurenende stoffer i forbindelse med energiforbrug

Stof	Formel, forkortelse	Vigtigste kilder i Danmark	Miljøproblem
Svovldioxid	SO ₂	Kraft- og fjernvarmeværker	Forsuring
Kvælstofoxider	NO _x	Vejtransport, anden transport, kraft- og fjernvarmeværker	Forsuring, overgødskning (eutrofiering)
Kuldioxid	CO ₂	Kraft- og fjernvarmeværker, vejtransport, anden transport	Øget drivhuseffekt
Kulilte	CO	Vejtransport og anden transport	Fotokemisk luftforurening
Metan	CH ₄	Landbrug	Øget drivhuseffekt, fotokemisk luftforurening
Øvrige flygtige organiske forbindelser	NMVOG	Vejtransport, brug af opløsningsmidler, skov	Fotokemisk luftforurening
Flygtige organiske forbindelser (metan + NMVOG)	VOC	Vejtransport, brug af opløsningsmidler, skov, landbrug	Fotokemisk luftforurening
Lattergas	N ₂ O	Landbrug	Øget drivhuseffekt
Polyaromatiske hydrocarboner	PAH	Forbrænding af biomasse, vejtransport	Fotokemisk luftforurening, kræftfremkaldende
Aldehyder	Fx CH ₂ O	Industri, vejtransport, fjernvarmeværker	Sundhedsskadelig
Partikler	-	Transportsektoren	Sundhedsskadelig

Kilde: Danmarks Miljøundersøgelser.

Tabel 4 Energiindhold og CO₂-potentiale i energivarer

	Energi-indhold [GJ/ton]	CO ₂ -potentiale [kg/GJ]
Naturgas (GJ/1000 m ³)	39,9	56,9
LPG	46,0	65,0
Fuelolie	40,7	78,0
Kul, elværker	25,0	95,0
Halm	14,5	0,0
Skovflis (GJ/rummeter)	2,8	0,0
Træpiller	17,5	0,0
Træaffald	14,7	0,0
Biogas (GJ/1000 m ³)	23,0	0,0
Affald	10,4	0,0

Kilde: Dansk Gasteknisk Center.

Energiforbrugets forureningskomponenter

Tabel 3 viser en oversigt over de vigtigste forureningskomponenter

CO₂

CO₂ dannes ved forbrænding af fossile brændsler. Mængden afhænger stærkt af, hvilket brændsel der er tale om. Det fremgår af tabel 4.

I tabellen ser det ud, som om biomassebrændsler ikke danner CO₂ ved forbrænding. Det er ikke helt korrekt. Der udsendes CO₂ ved biomasseforbrænding, som svarer til den mængde CO₂, som planterne optager under vækst. Derved er biomasse næsten CO₂-neutralt, men ikke helt, fordi der ved markarbejde, gødskning og transport anvendes en

del CO₂-belastende energi. Netto svarer det til få procent af energiindholdet i biomassebrændslet.

CO₂ er den vigtigste drivhusgas, og det er meget vanskeligt at begrænse CO₂-emissionen fra et givent brændsel. Kun meget energikrævende anlæg eller deponering dybt i undergrunden/havene regnes som en mulighed.

I afsnittet om energistatistik er der en oversigt over CO₂-emission fra de forskellige sektorer i det danske samfund.

SO_x

Dannelsen af SO_x er bestemt af brændslets indhold af svovl. Derfor er der de senere år blevet stillet stadig større krav til begrænsning af svovlindhold i olieprodukter som fx dieselolie. Naturgas indeholder yderst lidt svovl, og det stammer primært fra odorisering. Der arbejdes i øvrigt med nye odoriseringsmidler helt uden svovl.

SO_x bidrager i fugtig luft til dannelse af svovlsyre, der er en del af forsurningsproblematikken. SO_x kan fjernes fra røggassen i særlige rensningsanlæg.

NO_x (NO, NO₂, N₂O)

NO_x-dannelsen afhænger af temperatur samt opblandings- og luftforhold ved forbrænding og kan derfor til en vis grad kontrolleres via design og styring. I forbindelse med forbrænding af fossile brændsler dannes normalt NO, NO₂ og N₂O. N₂O vil dog kun forekomme i meget små mængder, fx typisk under 1 ppm for en gasmotor.

Man kan reducere dannelsen af NO_x på mange måder, fx ved at sænke forbrændingstemperaturen. Det kan ske ved vand- eller dampindsprøjtning, der undertiden anvendes på gasturbineanlæg. Til kedler m.m. er der gennem de seneste 30 år udviklet brændere med meget lav emission af NO_x. NO_x-emission kan i øvrigt minimeres med særlige renselanlæg, de såkaldte de-NO_x anlæg, som ofte anvendes på fx kulfyrede kraftværker. NO_x bidrager til forsuringen og fotokemisk smog.

CO

CO dannes som mellemprodukt ved forbrænding af alle brændsler. CO er ret giftig, og en koncentration på kun 0,4% er livsfarlig for mennesker. Dårlig forbrænding er en hovedkilde til CO-emission.

NMVOC

De største kilder til udslip af NMVOC (non-methane volatile organic compounds) er ufuldstændig forbrænding fra diesel- og benzinmotorer samt fordampning i forbindelse med opløsningsmidler. I følge indgåede klimaaftaler skal udslippet reduceres betydeligt. Udslip af NMVOC medvirker ved dannelse af den fotokemiske smog.

Partikler

Partikler dannes ved de fleste forbrændingsprocesser. Indholdet og partikelstørrelsesfordelingen afhænger af brændslet og forbrændingsprocessen. Trafikken er en af de største bidragsydere. Tidligere udledte de kulfyrede kraftværker også store mængder partikler, men værkerne er nu forsynet med effektive filtre. Naturgas medfører en af de mindste partikelemissioner.

PAH

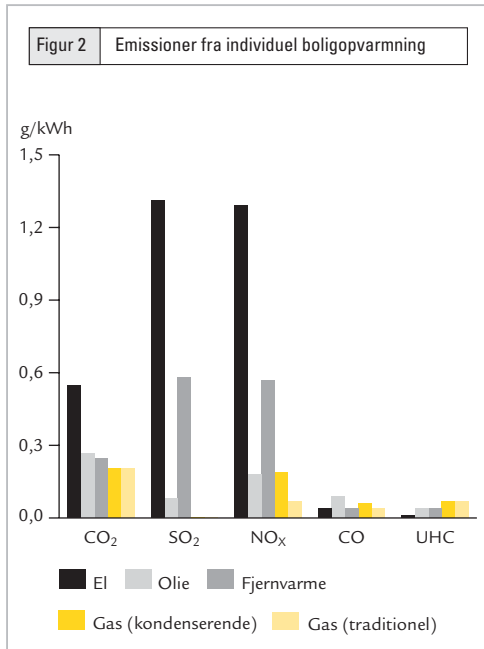
PAH dannes især ved forbrænding af brændsler, der indeholder aromatiske forbindelser. PAH-emissionens omfang afhænger af forbrændingskvaliteten. PAH udsendes primært ved ufuldstændig forbrænding af biomasse i fx brændeovne. I trafikken bidrager især dieseldrøjetøjer til PAH-emission.

Visse PAH-forbindelser er kræftfremkaldende, og PAH bidrager til dannelse af fotokemisk smog.

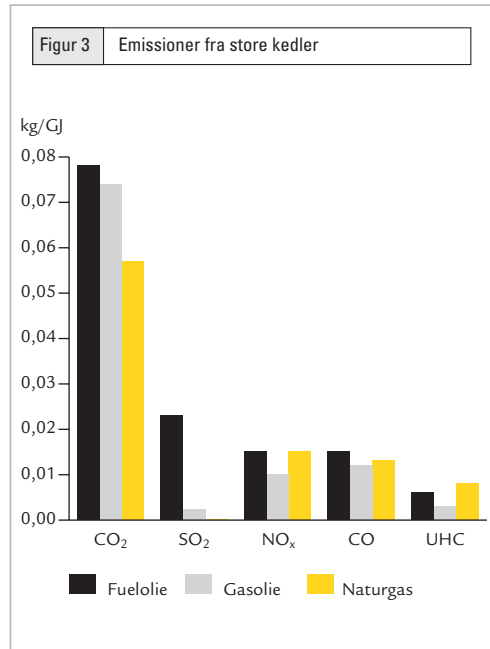
Aldehyder

Ved forbrænding dannes aldehyd som et mellemprodukt. Aldehydemission kan derfor ske ved en ikke-perfekt forbrænding som fx pulserende forbrænding i gasmotorer. Aldehyderne består her overvejende af formaldehyd og acetaldehyd.

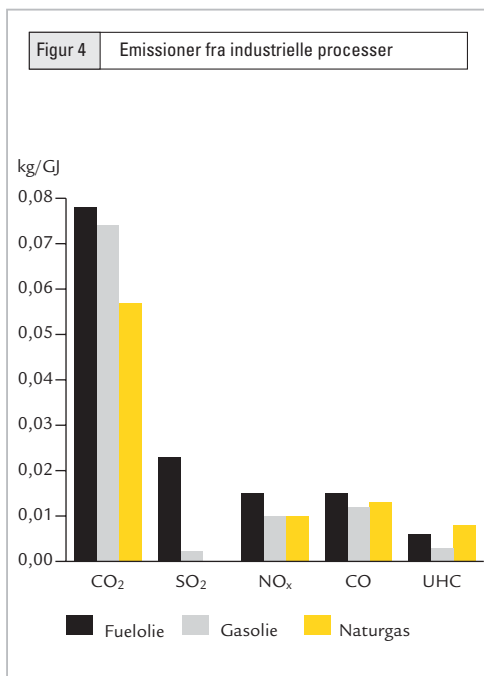
Aldehyd kan fjernes med særlige renselanlæg, fx katalytisk.



Figuren viser miljøbelastningen fra forskellige energiformer til opvarmning af individuelle boliger. Kilde: Dansk Gasteknisk Center 2001.



Figuren viser miljøbelastningen fra forskellige brændsler til store kedler. Store kedler defineres som kedler på 1-15 MW. Kilde: Dansk Gasteknisk Center 2001.



Figuren viser miljøbelastningen generelt i industrielle processer. Kilde: Dansk Gasteknisk Center 2001.

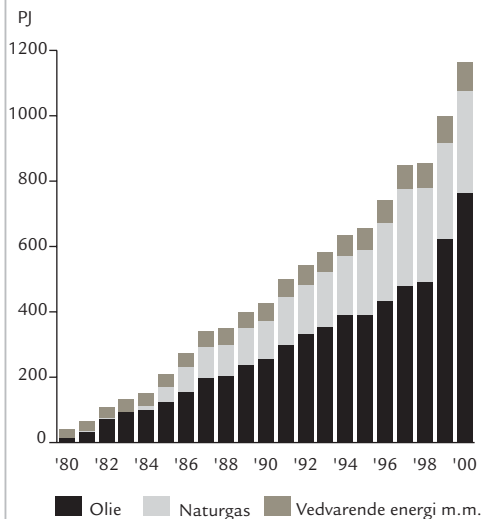
Eksempler på emissioner

Figur 2, 3 og 4 viser eksempler på emissioner fra henholdsvis individuel boligopvarmning, store kedler og industrielle processer. Betegnelsen UHC (Unburned Hydro Carbon) dækker uforbrændte kulbrinter, bl.a. metan.

Udvalgte energistatistikker

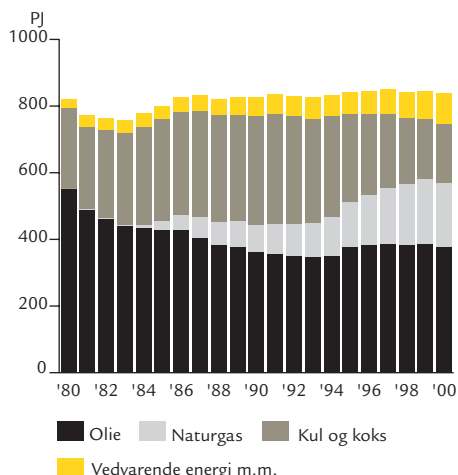
Figurerne 5 til 13 er en række udvalgte figurer om Danmarks energiforbrug op til år 2000. Figurerne stammer fra Energistyrelsens Energistatistik (oktober 2001).

Figur 5 Danmarks primære energiproduktion



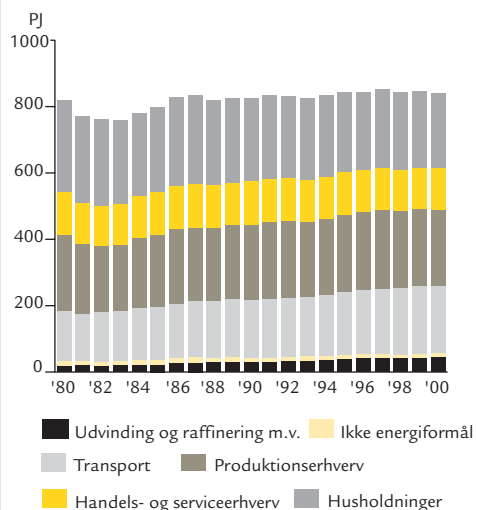
Fra primært at bestå af vedvarende energi i 1980 domineres egenproduktionen i dag af olie og gas. Der har dog samtidig været en betydelig vækst i den vedvarende energiproduktion.

Figur 6 Danmarks bruttoenergiforbrug, fordelt på brændsler

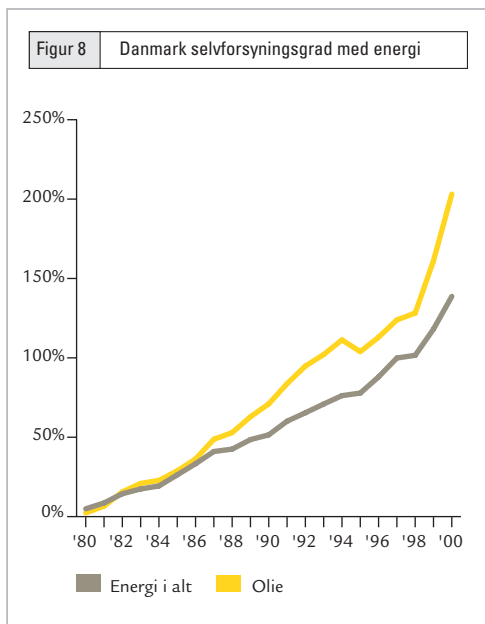


Det samlede forbrug har været næsten uændret gennem de seneste 20 år, men fordelingen på enkelte brændsler har varieret meget. Siden starten af firserne er gasforbruget steget fra nul til cirka 23%, mens kulforbruget er faldet stærkt fra 1991. Vedvarende energi mv. er steget til 11% af bruttoenergiforbruget i år 2000.

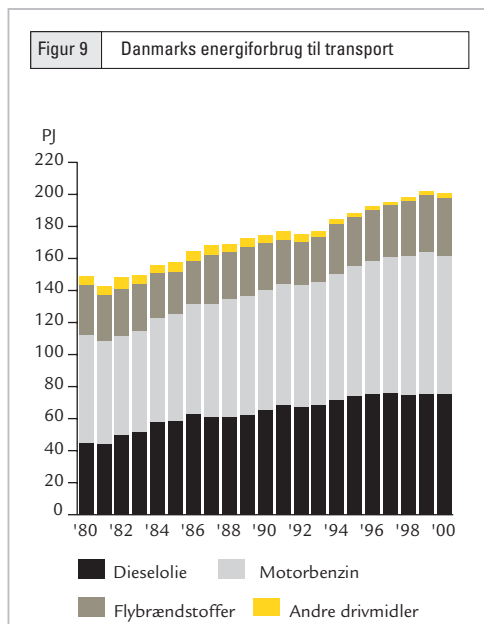
Figur 7 Danmarks bruttoenergiforbrug, fordelt på anvendelser



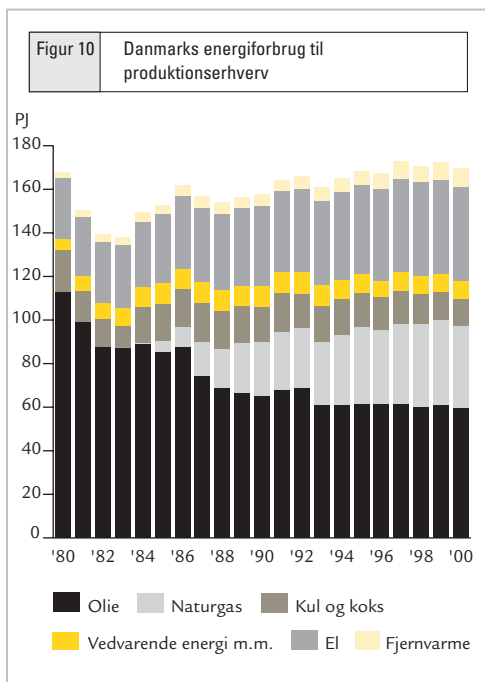
I det seneste årti er forbruget i transportsektoren steget 15%, mens det er faldet 6% i handels- & serviceerhverv og 9% i husholdninger. Disse fald skyldes energieffektivisering, da såvel produktion som bebygget antal kvadratmeter samtidig er steget.



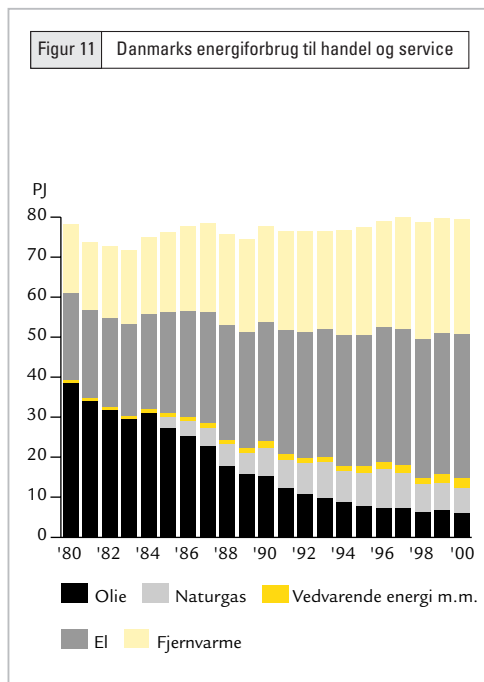
Figuren viser udviklingen af den danske selvforsyningsgrad siden starten på dansk olie- og gasproduktion omkring 1980. I 1997 nåede selvforsyningsgraden op på 100%. I de følgende år er den steget kraftigt.



Fra 1980 frem til år 2000 er dieselforbruget steget med 70%, benzinforbruget steget 27% og flybenzin steget 15%. „Andre drivmidler” indeholder LPG, naturgas og el til fx togdrift.

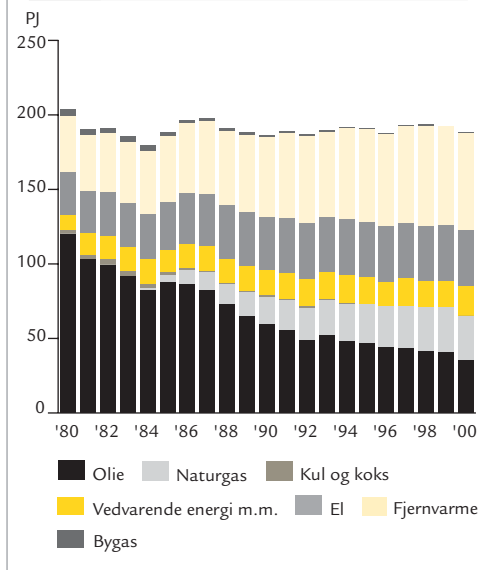


Fra midten af 1980'erne er kul og især olie delvis erstattet af naturgas. Elforbruget har i hele perioden været svagt stigende

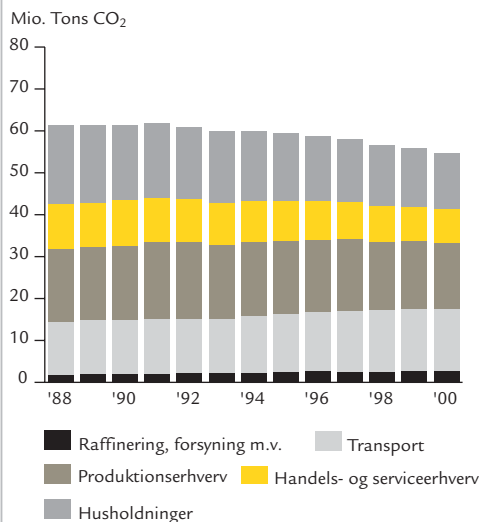


Siden starten af 1980'erne er olieforbruget faldet meget markant og er afløst af naturgas, fjernvarme og i særlig høj grad el.

Figur 12 Danmarks energiforbrug til husholdninger



Olieforbruget er siden starten af 1980'erne faldet markant som følge af overgang til naturgas og fjernvarme. Elforbruget steg frem til 1992, hvorefter det har været næsten konstant. Elbesparelser er opvejet af en øget mængde elektrisk udstyr som fx PC'er.

Figur 13 CO₂ emissioner fordelt på sektorer

CO₂-emissioner fordelt på slutforbrugere. Emissionen stiger i transportsektoren og falder i alle øvrige sektorer. Tallene er korrigeret for udenrigshandel med el (Danmark eksporterer i vandkraftfattede år større mængder kulbaseret elproduktion til Norge og Sverige) og årlige temperaturforskelle, dvs. graddagekorrigeret.

Kilder og yderligere oplysninger

- *Drivhusgasemission ved tilvejebringelse af fossile brændsler og biomassebaserede brændsler til energiformål*, Miljø og Energiministeriet, 2000
- *Danmarks drivhusgasregnskab 1990-2012*, Miljø og Energiministeriet, juni 2001
- *Miljø 2001*, Danmarks Statistik, 2001
Gengivet med tilladelse fra Dorte Isabell Buch og Danmarks Statistik
- *Luftforurening, Redigeret af Jes Fenger og Jens Chr. Tjell*. Polyteknisk Forlag, 1994
- *Hvor kommer luftforureningen fra? – Fakta om kilder, stoffer og udvikling*, J.B. Illerup,

- M. Winther, E. Lyck, J. Fenger: Temarapport nr. 29. Danmarks Miljøundersøgelser, 1999
- *Energi- og miljøoversigt*, Leo van Gruijthuijsen og Jan K. Jensen. Dansk Gasteknisk Center 2000
- *Energistatistik. Danmarks produktion og forbrug af energi 2000*, Energistyrelsen, oktober 2001.
- www.dmi.dk, Danmark Metrologiske Institut (DMI)
- *Naturgas – Energi og Miljø*, Dansk Gasteknisk Center 2001