

## Kapitel 2. Luft

### 2.1 Indledning

#### Luftforurening som miljøproblem

Forureningen af atmosfæren er ikke noget nyt fænomen knyttet til den industrialiserede verden. Den tidlige historieskrivning og litteraturen vrimer med hentydninger til den dårlige luft i byerne. Men problemerne er vokset i både geografisk og tidsmæssig skala i takt med den globale befolkningsudvikling og industrialiseringen. Samtidig er der ved udviklingen og væksten i trafik og industri kommet nye stoffer til.

Det er velkendt, at menneskelige aktiviteter har betydelig indflydelse på luftkvaliteten i byområder og her har skadelige virkninger på mennesker, dyr, planter, bygninger og materialer. Især har forureningen med partikler i de senere år givet anledning til bekymring, på grund af de sundhedsskadelige effekter der er knyttet til - især- de små partikler. Dette problem er nærmere belyst i en tema-artikel.

Luftforurening er ikke kun et lokalt problem. Vinden kan transportere skadelige stoffer over lange afstande. I Danmark kommer en stor del af luftforureningen langvejs fra - også fra kilder, der ligger op til flere tusinde kilometer væk (afsnit 2.4). På *regionalt niveau* fører det til negative påvirkninger som f.eks. forsuring af skovøkosystemer, søer og vandløb samt eutrofiering af havet. Forurening med ammoniak, der i det væsentlige stammer fra landbrugsaktiviteter, er et voksende problem, ikke kun for vandmiljøet, men også for en række sårbare naturtyper på land. Det emne behandles også i en tema-artikel.

De menneskelige aktiviteter har efterhånden nået et omfang, hvor udslip til atmosfæren ændrer dens *globale sammensætning* – ikke i de basale komponenter, men for koncentrationen af en række væsentlige sporstoffer. Det giver anledning til to problemer:

- En nedbrydning af ozonlaget, der skyldes anvendelsen af en række - i det væsentlig industrielt fremstillede - forbindelser (CFC mv.).
- En forøgelse af den naturlige drivhuseffekt, der er afgørende for Jordens og atmosfærens varmebalance og dermed for det globale klima. Her er årsagen de såkaldte drivhusgasser – i det væsentlige kuldioxid, metan og lattergas.

Det er karakteristisk, at der i begge tilfælde er tale om helt ugiftige forbindelser – altså om mere indirekte miljøpåvirkninger end ved de "klassiske" luftforureninger.

En nedbrydning af ozonlaget (afsnit 2.5) vil føre til forøget UV-stråling ved jordoverfladen og dermed have en række skadelige virkninger på natur og menneskelig sundhed. Virkningerne vil ikke være ens overalt, men de vil alle steder være negative. Hovedårsagen - anvendelsen af CFC og lignende forbindelser - er identificeret, stoffernes udfasning er mulig, og den er i mange tilfælde iværksat som følge af internationale aftaler.

Forøgelsen af drivhuseffekten og de deraf følgende klimaændringer (afsnit 2.6) er et langt mere kontroversielt problem. Selvom der efterhånden stort set er videnskabelig enighed om mekanismerne, er omfanget og fordelingen af effekterne endnu ikke afklaret. I spillet vil der både blive vindere og tabere, og en bekæmpelse vil kræve globale omstruktureringer i både energi og fødevarersektoren. Dette skal ske samtidigt med at verdensbefolkningen fortsat stiger, og udviklingslandene får en højere materiel levestandard. Til trods for internationale bestræbelser for

at begrænse udslippet af drivhusgasser og en forventet udvikling af mere bæredygtig teknologi, må det derfor anses for overvejende sandsynligt, at et vist mål af klimaændringer er uundgåeligt.

Det overordnede mål er stadig en opbremsning af udviklingen, men samtidigt er det nødvendigt at forberede sig på uundgåelige ændringer.

Både på det videnskabelige og det samfundsmæssige plan hænger de to globale problemstillinger sammen – og sammen med andre luftforureningsproblemer:

- Flere forbindelser kan både nedbryde ozonlaget og forøge drivhuseffekten.
- En nedbrydning af ozonlaget kan modvirke den globale opvarmning, og omvendt kan en global opvarmning påvirke nedbrydningen.
- Luftforurening i troposfæren med ozon forøger drivhuseffekten, medens svovlforurening modvirker opvarmningen.

Hertil kommer, at de forskellige miljøpåvirkninger vekselvirker og antagelig i mange tilfælde vil forstærke hinanden.

## **2.2 Luftforurening - kilder og udslip**

Virksomheden af forurenende stoffer i atmosfæren er uafhængig af, om der er tale om menneskeskabte eller naturlige udslip. Det er selvfølgelig umiddelbart lettere at regulere menneskeskabte udslip, men grænsen mellem det naturlige og det menneskeskabte er ikke skarp. F.eks. udsender nåleskove og anden vegetation flygtige kulbrinter (isoprener og terpener), og moser og andre vådområder udsender metan. Udslippet af disse stoffer afhænger derfor af vores arealanvendelse. Således skønnes det at en stor del (ca. 30%) af de samlede udslip af kulbrinter stammer fra skovområder og landbrug i Europa. Det har en væsentlig betydning for dannelsen af fotokemisk luftforurening.

### **Menneskeskabte udslip**

Hovedkilden til den menneskeskabte luftforurening er anvendelsen af de fossile brændsler kul-, olie- og gasprodukter. Ved forbrændingen dannes forskellige stoffer, nogle er direkte forbrændingsprodukter andre skyldes urenheder i brændslet. Fra trafik dominerer fx kvælstofoxider ( $\text{NO}_x$ ), forskellige flygtige organiske forbindelser (VOC), kulilte (CO) og partikler. Industrien udsender de samme stoffer, men ofte i væsentligt andre blandingsforhold, typisk flere kulbrinter, end trafikken. Fra fx de danske kulfyrede kraftværker er der et væsentligt indhold af svovldioxid ( $\text{SO}_2$ ), selvom diverse tiltag har medført en væsentlig reduktion. Fra landbrugets husdyr er der store emissioner af ammoniak ( $\text{NH}_3$ ). Forbruget i husholdningen af flygtige organiske forbindelser såsom forskellige opløsningsmidler, maling, lakker, osv., der indeholder flygtige organiske forbindelser (VOC), er desuden væsentligt. Eksempler på flygtige organiske forbindelser er: ethen, propen, ethyn, benzen og toluen, som har gode egenskaber som opløsningsmidler for fedt og lim.

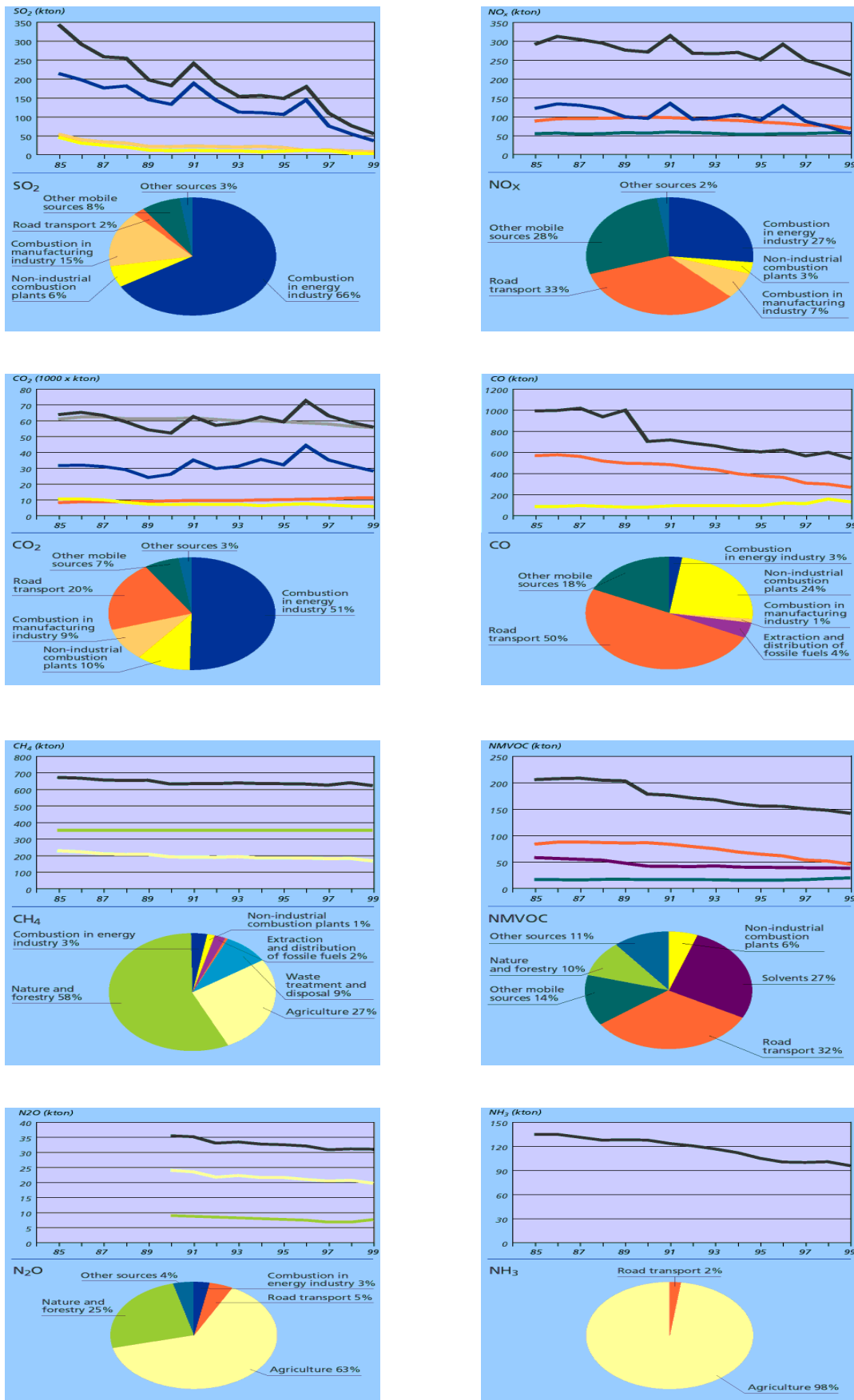
### **Opgørelser og usikkerheder**

Det er vanskeligt at opgøre udslip af luftforurening præcist, fordi kilderne er så forskelligartede og mangfoldige. Fx afhænger en bils udslip af dens type og alder, indstillingen af motoren, om den har katalysator, og af temperaturen i luften. Desuden er kørselsmønstret af betydning – såvel kørselens type som førerens temperament. Ved specielle undersøgelser kan man måle udslip fra en konkret kilde - fx en bil eller en skorsten – direkte. Man kan også foretage direkte trafiktællinger. Men i de fleste tilfælde beregnes udslip ved anvendelse af såkaldte emissionsfaktorer, der er

eksperimentelt bestemte gennemsnitsværdier for udslip som funktion af brændstofforbrug, eller omfang af aktivitet.

**Nationale udslip**

De Europæiske lande er forpligtede til at lave opgørelse over emissionerne i de enkelte lande.



2000).

Figur 2.2.1. Udviklingen i danske udslip af de væsentligste luftforureninger for perioden 1985-1999 samt fordelingen på sektorer. (Kilde: Illerup m.fl. 2000)

Typisk vil resultatet være ét samlet tal pr år pr land for hvert stof. Nogle lande opgiver imidlertid tallene i et gitternet, der i bedste tilfælde har en opløsning på 50 km x 50 km. Det anvendes til beregning af langtransporteret luftforurening, men det er for upræcist, hvis man i lokalskala vil beregne, hvordan niveauerne varierer med årstiden og tiden på døgnet og hvilke typer af kilder, der fører til de forskellige emissioner. Her kræves detailundersøgelser.

### Udviklingen i danske udslip

Figur 2.2.1. viser de danske udslip af en de væsentligste luftforureninger, både fordelt på sektorer og med forløb i tid.

#### SO<sub>2</sub>

Langt den største del af SO<sub>2</sub>-udslippet stammer fra forbrænding af fossile brændsler – hovedsageligt kul og olie – på kraft- og fjernvarmeværker. Emissionerne er faldet markant gennem 80'erne og 90'erne. Det skyldes anvendelse af brændsler med lavere indhold af svovl samt stigende anvendelse af afsvovlingsanlæg på de større værker. Fra 1998 til 1999 er SO<sub>2</sub>-emissionen faldt med 27%. Det er et resultat af reduceret forbrænding af kul mens anvendelsen af naturgas og vedvarende energi er forøget. Faldet skyldes også forsat udbygning med afsvovlingsanlæg. De relativt store udsving i emissionerne skyldes handel med elektricitet på tværs af landegrænser, og de store emissioner i 1991 og 1996 er et resultat af stor eksport.

#### NO<sub>x</sub>

Omkring halvdelen af de danske NO<sub>x</sub>-emissioner stammer fra vejtrafik og andre mobile kilder. En anden stor kilde er kraftværkerne. I de senere år er der sket et fald i det samlede udslip af NO<sub>x</sub> og som for SO<sub>2</sub>-emissionen er NO<sub>x</sub>-emissionen faldet markant fra 1998 til 1999. Det skyldes at emissionerne er reduceret fra såvel kraftværker som vejtrafik. Mindre eksport af elektricitet er sammen med mindre anvendelse af kul årsagen til en reduktion på 24% fra kraftværkerne. Selvom vejtrafikken er steget, er dens emissioner faldet siden 1990. Det skyldes indførelsen af katalysatorbiler fra dette år.

#### CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>-udslippet stammer altovervejende fra forbrænding af kul, olie og naturgas på kraftværker samt i beboelsesejendomme og industri. Den aktuelle CO<sub>2</sub>-emission er faldet med 5% fra 1998 til 1999. Det skyldes hovedsagelig mindre eksport af elektricitet og højere udendørstemperatur i 1999 i forhold til 1998. Men også ændrede brændselsanvendelse fra kul til naturgas og vedvarende energi har bidraget til den lavere emission. Som et resultat de seneste års laver forbrug af kul stammer hovedparten af CO<sub>2</sub> emission nu fra forbrænding af olie.

#### CO

På trods af at alle nye benzinbiler siden 1990 er udstyret med katalysatorer, er vejtrafikken stadigvæk den dominerende CO-emissionskilde. men som det ses for NO<sub>x</sub>-emissionen har der været et signifikant fald i emissionen fra 1998 til 1999. Det skyldes at en stadig stigende andel af bilerne er udstyret med katalysatorer. Også andre mobile kilder og ikke-industrielle forbrændingsanlæg giver betragtelige bidrag til den samlede emission.

#### CH<sub>4</sub>

Der er to store kilder til udslip af metan: Natur og landbrug. De naturlige kilder bidrager med mere end halvdelen af det samlede udslip, og dette bidrag kommer hovedsageligt fra iltfri nedbrydning af organisk stof. Udslippet fra landbruget skyldes dannelse af metan i husdyrenes fordøjelsessystem samt håndtering af husdyrgødning.

#### NMVOC

Udslippet af NMVOC kommer fra mange principielt forskellige kilder – både menneskeskabte og naturlige - og kan inddeles i to hovedtyper: Ufuldstændig forbrænding og fordampning. Vejtrafik og andre mobile kilder, såsom skibe og arbejdsredskaber, er hovedkilderne til NMVOC-emissioner

## Natur og Miljø, 2001, Udkast

fra ufuldstændig forbrænding. Vejtrafik er stadig den største kilde, selvom emissionerne er faldet siden indførelse af katalysatorbiler i 1990. Emissioner fra fordampning stammer fra skov og brug af opløsningsmidler.

### N<sub>2</sub>O

Landbruget udgør langt den vigtigste kilde til udslip af lattergas (N<sub>2</sub>O), da dette kan dannes i jord ved bakteriel omdannelse af kvælstof i udbragt handels- og husdyrgødning. Andre væsentlige kilder er drænvand og kystvand, hvor der ligeledes sker en bakteriel omdannelse af kvælstof. Dette kvælstof stammer dog i vid udstrækning fra landbrugets gødskning.

### NH<sub>3</sub>

Landbruget tegner sig for næsten alt atmosfærisk emission af ammoniak. Kun en mindre del (2%) stammer fra trafiksektoren. Denne del er dog stigende som følge af stigende brug af katalysatorer mens landbrugets andel er faldende.

Hovedparten af ammoniakemissionen fra landbruget stammer fra husdyrgødningen (76%).

Herudover er der bidrag fra tilførslen af handelsgødning (7%), afgrøder (15%) og ammoniakforbruget ved halmludning (2%). Der er også et bidrag fra tilførslen af spildevandsslam, men det er forsvindende (<1%).

## Tungmetaller

Totale emissioner for 1990 og 1999:

(kg)	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
1990	1447	1125	6211	10036	3171	26474	126788	4236	34569
1999	846	713	2650	9609	1976	15200	7337	3514	22887
% red.	42	37	57	4	38	43	94	17	34

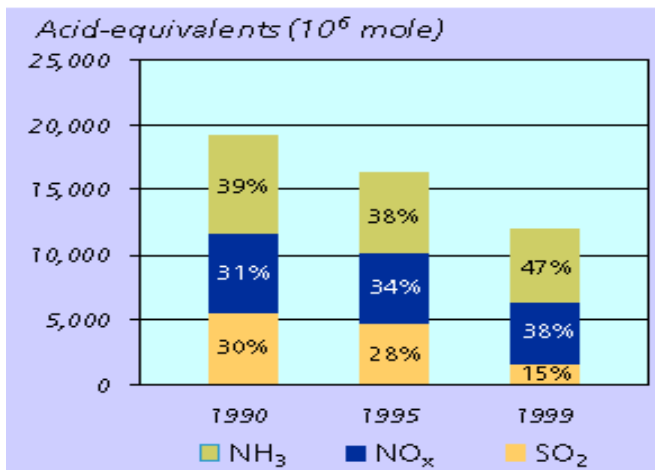
De vigtigste kilder til emission af tungmetaller er forbrændingen af fossile brændsler og affald. På trods af et øget brændselsforbrug fra 1990 til 1998, er der sket et markant fald i tungmetalemissionerne. Reduktionen ligger mellem 4% og 94% for henholdsvis Cu og Pb. De mindskede udslip skyldes i vid udstrækning øget anvendelse af røgrensningsudstyr på kraft- og fjernvarmeværker; herunder affaldsforbrændingsanlæg. For Pb skyldes faldet dog overvejende indførelse af blyfri benzin.

## Forsurende gasser

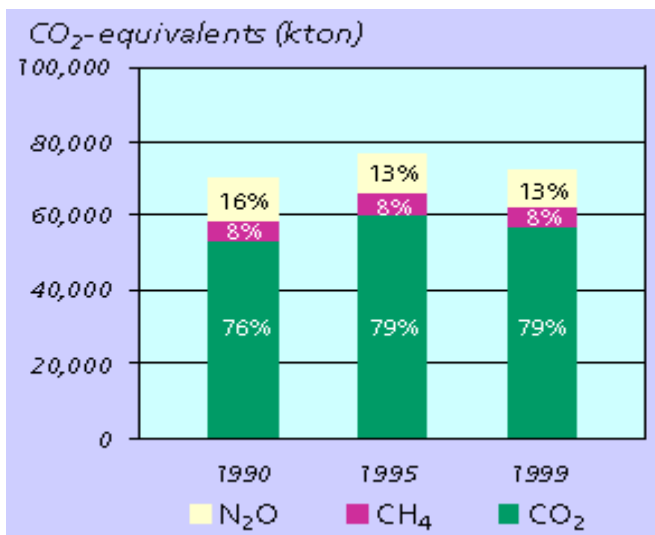
Emission af danske forsurende gasser kan omregnes til syreækvivalenter, hvorved stoffernes potentielle syrevirkning kan sammenlignes (figur 2.2.2). Den største forsurende faktor i Danmark er kvælstof som stammer fra landbrugets ammoniakudslip. Emissionerne fra alle de forsurende gasser er faldet siden 1990; specielt er emission for SO<sub>2</sub> faldet markant, og bidraget fra ammoniak er steget i relativ betydning fra 39 % til 47 %.

## Drivhusgasser

Udslippet af danske drivhusgasser fordelt på menneskeskabte udslip og omregnet til CO<sub>2</sub>-ækvivalenter fremgår af figur 2.2.3. CO<sub>2</sub> er den vigtigste drivhusgas efterfulgt af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O. De øvrige drivhusgasser HFC, PFC og SF<sub>6</sub> har en samlet andel af den totale CO<sub>2</sub>-ækvivalent på mindre end 1%. I modsætning til de forsurende gasser er reduktionen for drivhusgasserne meget mindre udtalt (jvf. i øvrigt afsnit 1.3, Energi).



Figur 2.2.2 Fordelingen af Danmarks udslip af forsurende gasser for 1990, 1995 og 1999 omregnet til syrækvivalenter. (Kilde: Illerup m.fl. 2000).



Figur 2.2.3. Danmarks udslip af drivhusgasser for 1990, 1995 og 1999 omregnet til CO<sub>2</sub> ækvivalenter. Tallene er beregnet på basis af det faktiske udslip, som ikke er korrigeret for elimport (Kilde: Illerup m.fl. 2000).

### Status i forhold til målsætninger

Den grænseoverskridende luftforurening reguleres bl.a. gennem en række internationale konventioner under FN. De vigtigste konventioner er "Convention on Long Range Transboundary Air Pollution" (CLRTAP) som er nærmere omtalt i afsnit 2.4 (regional luftforurening), samt FN's konvention om klimaændringer (UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) under IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) som er omtalt i afsnit 2.5 om klimaændringer, samt i energiafsnittet (1.3). Status for Danmarks udslip af stoffer som er målsat i henhold til disse konventioner er samlet i *tabel 2.2.1*.

Reduktionsmålet i VOC-protokollen er en reduktion af de antropogene emissioner på 30% fra 1985 til 1999. Dette er opfyldt med en reduktion på 35%. I svovlprotokollen (Osloprotokollen 1994) under UNECE-konventionen er Danmark forpligtet til at reducere SO<sub>2</sub>-emissionen med 80% fra 1980 til 2000. Dette mål vil sandsynligvis blive nået. Det generelle mål i NO<sub>x</sub>-protokollen er en stabilisering af NO<sub>x</sub> emissionen på 1987-niveau i 1994. I denne periode opnåede Danmark en reduktion på 11% og i 1999 var reduktionen 31%. Derimod må Danmark iværksætte nye tiltag hvis målet i henhold til Kyoto-protokollen skal nås – jævnfør iøvrigt afsnit 1.3 "Energ".

*Natur og Miljø, 2001, Udkast*

Tabel 2.2.1 Status for Danmarks udslip af stoffer målsat i henhold til de internationale konventioner om globale og grænseoverskridende luftforureninger. (Kilde: Illerup m.fl. 2000).

Protokol	Stoffer	Basisår	Målar	Reduktions mål [%]	Reduktion i 1999 [%]	Fremskrivning til målar (Fenhann, 1999)
CLRTAP svovl-protokol	SO <sub>2</sub>	1980	2000	80	88	-
CLRTAP NO <sub>x</sub> -protokol	NO <sub>x</sub>	1987	1994	0	11 (1994) 31	-
CLRTAP VOC-protokol	VOC	1985	1999	30	32	-
UNFCCC Kyoto-protokol <sup>1)</sup> (endnu ikke ratificeret)	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFC's, PFC's, SF's	1990: CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> 1995: HFCer, PFCer, SF <sub>6</sub>	2008-2012	21 <sup>2)</sup>	5	17

1) EU's byrdefordelingsaftale om en EU 8% reduktion under Kyoto-protokollen.

2) Baseret på CO<sub>2</sub>-emissioner korrigeret for import af elektricitet i 1990.