

# Hvor kommer luftforureningen fra?

- fakta om  
kilder, stoffer og udvikling

TEMA-rapport fra DMU



# Hvor kommer luftforureningen fra?

- fakta om  
kilder, stoffer og udvikling

---

Jytte Boll Illerup  
Morten Winther  
Erik Lyck  
*Afdeling for Systemanalyse*

Jes Fenger  
*Afdeling for Atmosfærisk Miljø*

Miljø- og Energiministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser  
1999

TEMA-rapport fra DMU, 29/1999  
Hvor kommer luftforureningen fra?  
- fakta om kilder, stoffer og udvikling

Forfattere: Jytte Boll Illerup, Morten Winther, Erik Lyck, Afdeling for Systemanalyse,  
Jes Fenger, Afdeling for Atmosfærisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser.

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser ©  
URL: <http://www.dmu.dk>  
Udgivelsestidspunkt: November 1999

Layout, illustrationer og produktion: Grafisk Værksted, DMU, Roskilde  
Forsidefoto: Biofoto/Erik Thomsen  
Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Tryk: Scanprint, ISO 14001 Miljøcertificeret, EMAS miljøregistreret DK-S-0015.  
ISO 9002 kvalitetsgodkendt. Papir: Cyclus Print, 100% genbrugspapir med vegetabiliske  
trykfarver uden opløsningsmidler. Omslag lakeret med vandbaseret vegetabilisk lak.



Sideantal: 32  
Oplag: 2.000

ISSN: 0909-8704  
ISBN: 87-7772-490-9

Pris kr. 40,-. Klassesæt á 10 stk. kr. 200,-. Abonnement (5 numre) kr. 225,-  
(Alle priser er incl. 25% moms, excl. forsendelse)

Købes i boghandelen eller hos:

Danmarks Miljøundersøgelser  
Frederiksborgvej 399  
Postboks 358  
4000 Roskilde  
Tlf: 4630 1200  
Fax: 4630 1114

Miljøbutikken  
Information & bøger  
Læderstræde 1-3  
1201 København K  
Tel: 3395 4000  
Fax: 3392 7690

# Indhold

Problemstilling .....	4
Hvordan opstår luftforurening .....	6
Fra udslip til skader .....	8
Opgørelser over udslip .....	10
Kilder og udviklingstendenser .....	12
Kraft- og fjernvarmeværker .....	16
Transport .....	18
Industri .....	20
Landbrug .....	22
Naturens egne udslip .....	24
Konventioner og handlingsplaner .....	26
Sammenfatning .....	28
Litteratur .....	30
DMU .....	31
Tidligere Temarapporter .....	32

---

# Problemstilling

---

## Forureningsproblemet

Forurening af atmosfæren har en lang række veldokumenterede og uønskede virkninger. De spænder fra helt lokale, forbigående problemer som lugtgener - over regionale fænomener som forsurening, hvor effekterne synes at udspille sig over en forholdsvis kort årrække - til globale effekter, der over nogle hundrede år måske kan medføre ændrede betingelser for mennesker og natur på hele kloden.

Luftforurening begynder med en aktivitet, for eksempel bilkørsel, der medfører udslip - teknisk kaldet "emission" - af stoffer til atmosfæren. Både en vurdering af forureningens effekter og tilrettelæggelse af en bekæmpelsesstrategi kræver kendskab til mængder og egenskaber af de stoffer, der udsendes og de betingelser, det sker under. *Det er det, denne rapport handler om.*

## Rapportens afgrænsning

Hovedvægten er lagt på danske udslip af luftforurening - hvilke stoffer der er tale om, hvilke kilder de kommer fra, og hvordan udviklingen har været. Mere kortfattet behandles forskellige tekniske muligheder for begrænsning af forureninger samt den nødvendige lovgivning og regulering. Luftforurening kan selvfølgelig begrænses gennem reduceret aktivitet og forbrug; mulighederne herfor er kun antydningssvis behandlet.

Luftforureningen kender ikke til grænser! Det betyder, at danske udslip skal ses i relation til udslip i andre lande, og at megen bekæmpelse af luftforurening må ske i et internationalt samarbejde. Derfor behand-

les også - dog mere kortfattet - europæiske og globale udslip samt internationale aftaler og konventioner.

Opgørelser af de enkelte landes udslip af forskellige stoffer giver et indtryk af den generelle udvikling af luftforureningen og de skader, den kan forvolde på regional og global skala. Derimod kan man ikke umiddelbart slutte noget om forholdene på enkelte lokaliteter og derfor heller ikke noget om lokalt betingede skader som påvirkning af menneskeligt helbred og velfindende, nedbrydning af materialer eller belastning af naturen; hertil kræves mere detaljerede undersøgelser, og der henvises til andre rapporter fra Danmarks Miljøundersøgelser - for eksempel TEMA-rapporterne 7/1996: Naturens tålegrænser for luftforurening og 16/1997: Luftkvalitet i danske byer.

## Baggrundsmateriale

Denne TEMA-rapport er i det væsentlige baseret på det danske bidrag til den europæiske emissionsdatabase "CORINAIR". Siden 1994 har Danmarks Miljøundersøgelser udarbejdet de danske emissionsopgørelser, der er samlet i en database. Database danner grundlag for officielle indberetninger til internationale organisationer og omfatter årlige emissioner på nationalt plan af en række stoffer. I denne rapport behandles især svovldioxid ( $\text{SO}_2$ ), kvælstofoxider regnet som summen af kvælstofmonoxid og kvælstofdioxid ( $\text{NO}_x = \text{NO}$  og  $\text{NO}_2$ ), kuldioxid ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), øvrige flygtige organiske forbindelser (NMVOC), ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) og lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Disse stoffer har alle betydning for regionale og globale forurenings effekter. De seneste

opgørelser er fra 1997; der er dog intet, som tyder på, at der har været drastiske ændringer i løbet af 1998.

Emissionsopgørelserne opdateres og revideres løbende, når der fremkommer ny viden, eller bedre data bliver tilgængelige. Man vil derfor kunne opleve, at tidligere publicerede data ikke er i fuld overensstemmelse med data i denne rapport. Det betyder også, at der i fremtiden vil kunne ske en revision af de opgørelser over danske udslip, der er givet her.

Litteraturlisten side 30 indeholder forslag til supplerende læsning, men giver ikke nogen fuldstændig dokumentation for de citerede data. Hvor figurer eller tabeller er mere eller mindre direkte taget fra andre publikationer, er det angivet i teksten.

Navn(e)	Formel, forkortelse	Vigtigste kilder i Danmark	Miljøproblem
Svovldioxid	SO <sub>2</sub>	Kraft- og fjernvarmeværker	Forsuring
Kvælstofoxid, nitrogenoxid	NO	Vejtransport, anden transport, kraft- og fjernvarmeværker	Forsuring, overgødsning (eutrofiering)
Kvælstofdioxid, nitrogendioxid	NO <sub>2</sub>	Vejtransport, anden transport, kraft- og fjernvarmeværker	Forsuring, overgødsning (eutrofiering)
Kvælstofoxider, nitrogenoxider	NO <sub>x</sub>	Vejtransport, anden transport, kraft- og fjernvarmeværker	Forsuring, overgødsning (eutrofiering)
Kuldioxid, carbondioxid	CO <sub>2</sub>	Kraft- og fjernvarmeværker, vejtransport, anden transport	Øget drivhuseffekt
Kulilte, kulmonoxid	CO	Vejtransport og anden transport	Fotokemisk luftforurening
Øvrige flygtige organiske forbindelser	NMVOG	Vejtransport, brug af opløsningsmidler, skov	Fotokemisk luftforurening
Metan	CH <sub>4</sub>	Landbrug	Øget drivhuseffekt, fotokemisk luftforurening
Flygtige organiske forbindelser (metan+NMVOG)	VOC	Vejtransport, brug af opløsningsmidler, skov, landbrug	Fotokemisk luftforurening
Lattergas	N <sub>2</sub> O	Landbrug	Øget drivhuseffekt
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	Landbrug	Overgødsning (Eutrofiering)
CFC'er	C <sub>x</sub> F <sub>y</sub> Cl <sub>z</sub>	Laboratorier, skumplast, kølemidler	Nedbrydning af ozonlaget
Tetraklormetan	CCl <sub>4</sub>	Laboratorier	Nedbrydning af ozonlaget
1,1,1-trikloretan	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	Skumplast	Nedbrydning af ozonlaget
Haloner	C <sub>x</sub> F <sub>y</sub> Br <sub>z</sub> Cl <sub>p</sub>	Brandslukningsmateriale	Nedbrydning af ozonlaget
Metylbromid	CH <sub>3</sub> Br	Pesticid	Nedbrydning af ozonlaget
HCFC'er	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> F <sub>z</sub> Cl <sub>p</sub>	Kølemidler, skumplast (substitut for CFC'er)	Nedbrydning af ozonlaget
HFC'er	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> Cl <sub>z</sub>	Skumplast, kølemidler	Øget drivhuseffekt
PFC'er	C <sub>x</sub> F <sub>y</sub>	Kølemiddel Laboratorier	Øget drivhuseffekt
Svovlhexafluorid	SF <sub>6</sub>	Kraftværker Glasindustri	Øget drivhuseffekt

Oversigt over forurenende stoffers formler, kilder og miljøproblemer.



# Hvordan opstår luftforurening?

Ved bestemmelse af hvor store udslippene er - og ved forsøg på at begrænse mængderne - er det væsentligt, at man gør sig klart, at forskellige former for luftforurening opstår på forskellige måder og af helt forskellige grunde.

## Menneskeskabte og naturlige udslip

Med ganske få undtagelser er de stoffer, vi betragter som luftforurening, almindelige kemiske forbindelser, der altid findes som en baggrund i atmosfæren. Det skyldes naturlige fænomener som for eksempel skovbrande, vulkanudbrud, forrådnelse eller afdampning fra planter. Når stoffer bliver til forurening, er det kun fordi de optræder i for store mængder på ubekvemme steder.

I daglig tale opfatter man kun bidraget fra menneskelige aktiviteter som forurening, men for at kunne vurdere i hvor høj grad man overhovedet kan nedbringe luftforurening, må man kende niveauerne af de forskellige stoffer både fra menneskeskabte og naturlige kilder. De vigtigste danske naturlige kilder er gennemgået på side 24-25.

## Forurening ved forbrænding

En af de væsentligste årsager til menneskeskabt luftforurening er energiproduktion ved forbrænding, fortrinsvis ved anvendelse af de fossile brændsler: Kul, olie og naturgas, men også ved brug af bio-brændsler: Træ, halm, indtørret gødning osv. Forbrænding af affald, der i vidt omfang benyttes til varmeproduktion, er af samme type. De stoffer, der udsendes, kan groft opdeles i tre grupper:

*Produkter af den forbrænding, der frigør energien. Af kulbrinter dannes som slutprodukt ved fuldstændig forbrænding kuldioxid (CO<sub>2</sub>) samt vand. Dannelsen af kuldioxid kan ikke forhindres, fordi det er herved der frigøres energi. Mulighederne for begrænsning af udslip består derfor i valg af brændsler med mindre udslip af kuldioxid per produceret energienhed (for eksempel naturgas i stedet for kul eller olie), mindre energiforbrug og derfor mindre produktion, eller (endnu kun på forsøgsstadiet) rensning og oplagring. Til gengæld er opgørelserne ret simple, idet de uden videre kan baseres på kendskab til forbruget af brændslerne og deres stofindhold.*

**Manglende  
ophavsret  
til  
Internettet**

*Figur 1.*  
Forbrændingsprocesser i forbindelse med energiproduktion er en af de største kilder til luftforurening med en række stoffer.

Foto: Bjarne/Morten Rasmussen

Stoffer der skyldes, at forbrændingen er ufuldstændig eller fører til dannelse af nye forbindelser. Kulilte (CO) og flygtige organiske forbindelser (VOC) er af denne type. Et specielt, men vigtigt eksempel er dannelsen af kvælstofoxider (NO og NO<sub>2</sub>, samlet betegnet NO<sub>x</sub>), der dels kan skyldes kvælstof i organisk materiale, dels sker ved en oxidation (forbrænding) af kvælstoffet i den luft, hvis ilt er nødvendig til forbrændingen. Mulighederne for at begrænse udslippene består i optimering af betingelserne under forbrændingen og rensning af udslip. Opgørelserne er usikre, fordi de må baseres på antagelser om forholdene under forbrændingen.

Stoffer der opstår på grund af urenheder eller tilsætningsstoffer (additiver) i brændslet.

Typiske eksempler er svovl i kul og olie eller bly i benzin (nu udfaset i Danmark). Ubrændbare bestanddele af brændslet, for eksempel mineraler i kul, der fører til dannelse af aske, er af samme type. Reduktionsmulighederne består i anvendelse af renere brændsler eller rensning af udstødning eller røggas. Opgørelserne af udslip kræver kendskab til renhedsgrader og rensningseffektiviteter, der kan variere fra kilde til kilde.

### Forurening ved fordampning

Fordampning af flydende eller gasformige brændsler kan ske under transport, tankning og drift. Gødning fra landbrugets husdyrhold giver anledning til en væsentlig afdampning. Mange industrielle processer giver ligeledes fordampningstab bl.a. af opløsningsmidler og via udslip af affaldsprodukter. Bestemmelse og begrænsning af udslip kan undertiden være vanskelig, fordi der kan være tale om dif-fuse udslip af delvist ukendte forbindelser. Ofte kræves en nøje gennemgang af hele produktionsprocessen.

### Forurening fra biologiske processer

Biologisk betinget forurening kommer især som udslip fra landbrugssektoren. Ved oplagring og senere anvendelse af husdyrgødning dannes metan (CH<sub>4</sub>) samt ammoniak (NH<sub>3</sub>) og lattergas (N<sub>2</sub>O). Også anvendelse af handelsgødning medfører dannelse af ammoniak og lattergas. Desuden sker der dannelse af metan (CH<sub>4</sub>) i fordøjelsessystemet hos husdyr, specielt drøvtykkere som køer. I alle tilfælde er der tale om komplicerede processer ved dannelse og udslip. Derfor er opgørelser af udslip usikre.

Også fra naturlige kilder, hvilket især er vådområder, sker der udslip af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O fra biologiske processer.

## Manglende ophavsret til Internettet

Foto: Biologiklaus Bentzen

**Figur 2.** Urenheder eller tilsætningsstoffer i brændsler kan være en væsentlig kilde til luftforurening. Den mest effektive løsning er renere brændsler - som for eksempel blyfri benzin.

## Manglende ophavsret til Internettet

Foto: Biologiklaus Bentzen

**Figur 3.** Biologiske processer under opbevaring og anvendelse af husdyrgødning giver dannelse af bl.a. metan og ammoniak.



Foto: DMU/ies Fenger

**Figur 4.** Afdampning fra industriprocesser kan for eksempel skyldes anvendelse af opløsningsmidler, der udluftes, eller utætheder i rørsystemer.



# Fra udslip til skader



Foto: 2. maj 2013, Klov

Figur 5.

I det åbne land er spredningsforholdene normalt gode. Den udsendte forurening mærkes ikke meget i nærområdet, men den indgår i fænomener på regional og global skala.

Når de *primære* luftforurenende stoffer udsendes fra en kilde vil de spredes med vinden, indtil de igen fjernes fra atmosfæren. Nogle stoffer vaskes ud med regn eller sne eller afsættes direkte på overflader. Andre optages i havet eller indgår i biologiske kredsløb. I mellemtiden kan stofferne have undergået kemiske reaktioner i atmosfæren og dermed dannet helt nye forbindelser - såkaldt *sekundær forurening*. Svovl- og kvælstofoxider vil således omdannes til sulfater og nitrater på partikelform. Et vigtigt eksempel er den såkaldte fotokemiske luftforurening, hvor kvælstofoxider og kulbrinter reagerer under indvirkning af sollys og bl.a. danner ozon. Efter at stofferne er afsat, kan nogle spredes videre i vand eller jord. Det betyder, at der undertiden kun er en beskeden sammenhæng mellem *forureningsudslippet* og det resulterende *forureningsniveau* et givet sted - og en endnu mindre mellem udslippet og skadevirkningerne.

## Lokale effekter

Hvis forureningen udsendes i lav højde - og specielt i en gade omgivet af høje bygninger - vil mulighederne for spredning være ringe. En given trafik vil derfor have langt større umiddelbar lokal virkning på luftkvaliteten end den samme trafik på en motorvej i et åbent, fladt landskab (figur 5). Tilsvarende vil forureningen fra en række små tætliggende villafyr med lave skorstene umiddelbart virke meget mere generende end den samme stofmængde udsendt fra et enkelt større varmeanlæg med en høj skorsten, måske endda placeret uden for boligområdet.

## Regionale effekter

Størstedelen af forureningen vil imidlertid - i primær eller sekundær form - normalt spredes bort fra nærområdet. Når stofferne først er blevet effektivt blandet op i luften, er det uden betydning, hvor de er kommet fra; det afgørende er deres levetid, dvs. den tid der går, inden de igen fjernes fra atmosfæren. Mange forurenende stoffer har levetider af størrelsesordenen dage. Med typiske vindhastigheder på 5 meter i sekundet vil en stor del derfor spredes ud over områder af størrelse som det meste af Europa. Det gælder for eksempel de svovl- og kvælstofforbindelser, som er ansvarlige for umiddelbare skader på planter og skader via forsuring. På grund af Danmarks placering i forhold til Europas andre lande og den fremherskende vestenvind vil vi sende langt mere forurening ud af landet, end vi modtager.

Eutrofiering eller overgødskning, der bl.a. medfører iltsvind i indre farvande, er et kompliceret fænomen, fordi der både tilføres forurening ved afstrømning og via luften. Luftbårent kvælstof har stor betydning for overgødskning og forsuring af næringsfattig natur og skove i Danmark og vore nabolande, men kun ringe betydning for vandmiljøet.

## Globale effekter

Nogle stoffer har levetider, der måles i år. De kan nå at blive opblandet i hele jordens atmosfære. Typisk gælder det for kuldioxid ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ) og lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) samt de industrielt fremstillede og anvendte CFC- og beslægtede forbindelser, der alle, gennem en påvirkning af atmosfærens varmebalance, bidrager til den forøgelse af drivhuseffekten, som man frygter vil give globale klimaændringer.

CFC-forbindelser og lignende gasser kan endvidere nedbryde ozonlaget. Da de under normale omstændigheder er kemisk stabile kan de blive blandet højt op i atmosfæren (stratosfæren). Her vil de blive spaltet af den kraftige UV-stråling, der er i stor højde, hvorefter frigjorte kloratomer vil angribe ozonen.

## Fænomener med forskellige tidshorisonter

Levetiden af stofferne i atmosfæren og den eventuelle senere spredning i jord og vand er samtidigt bestemmende for, hvor hurtigt en reduktion af udslip får virkning. En omlægning af trafik kan give en øjeblikkelig forbedring af luftkvaliteten i en gade. En reduktion af udslip af de forsurende stoffer, som giver økologiske skader, vil først kunne mærkes efter nogle år. Og selv et fuldstændigt stop for udslip af de stoffer, som forøger drivhuseffekten eller nedbryder

ozonlaget, vil først begynde at slå igennem efter flere årtier.

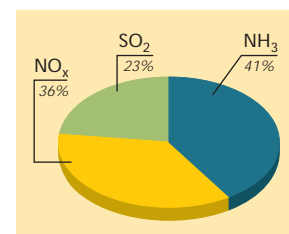
## Forskellige slags opgørelser af udslip

Alle disse komplicerende forhold betyder, at opgørelserne skal tilrettelægges efter det, de skal anvendes til, både hvad angår tidsmæssig og geografisk detaljering.

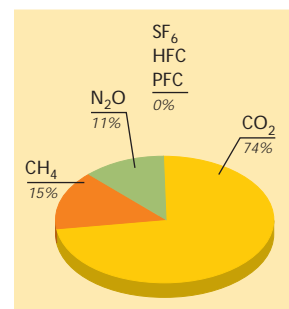
Ved opgørelser af udslip af drivhusgasser, for eksempel kuldioxid, er det for selve effektens skyld nok at beregne årlige gennemsnit for hele Jorden. Normalt vil man dog, til brug ved nationale målsætninger og indgreb, arbejde med en finere detaljering, for eksempel med udslip fordelt på nationale sektorer (trafik, rumopvarmning osv.). Opgørelser, der skal bruges til beregning af langtransporteret eller "grænseover-skridende" luftforurening, bliver typisk foretaget i geografiske net med 50 km eller 150 km masker. Gælder det derimod forurening i byområder, må man gå helt ned på gadeniveau og samtidigt opgøre udslip time for time for at belyse betydningen af bl.a. myldretider.

## Sammenvejning

Forskellige stoffer kan have samme virkning på miljøet. Men man kan ikke ud fra en vægtmæssig fordeling slutte noget om stoffernes bidrag til et givet forureningsproblem. Det kan derfor være instruktivt at sammenveje dem for at se, hvad den samlede virkning af udslippene er, og hvilke stoffer, der betyder mest. Vægtningstaktorerne afhænger af stoffernes fysiske og kemiske egenskaber, der igen bestemmer deres levetid i atmosfæren. Diagrammerne viser som eksempler, hvor meget de danske udslip potentielt kan bidrage til forsuring (figur 6) og drivhuseffekt (figur 7).



Figur 6. Fordeling af danske udslip af forsurende stoffer omregnet til syreækvivalenter. Forsuring kan bl.a. føre til skader på skove og fiskedød i søer og vandløb. Den væsentligste forurening i europæisk målestok var i mange år svovldioxid, men nu har kvælstofoxider samme betydning. Ammoniak medvirker gennem kemiske omdannelser og spiller den største rolle i Danmark.



Figur 7. Fordeling af danske udslip af drivhusgasser omregnet til  $\text{CO}_2$ -ækvivalenter. Forøget drivhuseffekt skyldes mange forskellige stoffer. For at kunne sammenligne udslip af andre drivhusgasser med  $\text{CO}_2$  benyttes globale opvarmningspotentialer (GWP), og udslippet angives da i  $\text{CO}_2$ -ækvivalenter. De enkelte stoffers GWP er meget forskellige. Det betyder for eksempel at  $\text{CH}_4$ , som udsendes i meget mindre mængder end kuldioxid, alligevel har en væsentlig betydning, da metan har større evne til at opvarme atmosfæren end  $\text{CO}_2$ .

# Opgørelser over udslip

Det første trin i en systematisk undersøgelse af luftforurening er en bestemmelse af *udslippet* eller med det mere tekniske udtryk *emissionen* af de forurenende stoffer.

## Målinger og beregninger

Det er muligt direkte at måle på enkelte menneskeskabte kilder, som skorstene på kraftværker og forbrændingsanlæg. Det sker i forbindelse med løbende miljøkontrol og ved konkrete tekniske eller videnskabelige undersøgelser. Man kan også lave laboratorieforsøg på for eksempel bilmotorer, der køres på et rullefelt efter fastlagte mønstre, som anses for karakteristiske for virkelig trafik (figur 8).

Ved større opgørelser er det imidlertid umuligt at måle på alle relevante kilder - for eksempel alle de biler, der kører rundt i Danmark. Derfor vil de fleste opgørelser af ud-

slip ske som beregninger ved hjælp af såkaldte *emissionsfaktorer*. De udtrykker, hvor meget forurening der dannes ved en given aktivitet for eksempel målt som kørte km eller ved forbrug af en given mængde brændstof eller råmateriale. Bestemmelsen af sådanne emissionsfaktorer vil oftest være baseret på målinger.

## Enheder

Forureningsudslip opgøres normalt i stofvægt per tidsenhed - for eksempel ton per år. Det sker også i denne rapport. De fleste grundstoffer kan imidlertid optræde i flere forskellige kemiske forbindelser. For at kunne holde rede på de globale kredsløb, hvor de forskellige stoffer omdannes, angiver man derfor i visse sammenhænge i stedet vægten af det relevante grundstof - for eksempel kulstof.

## Fordeling af udslip på sektorer

Det er sædvane - og det er også tilfældet i det følgende - at opgøre umiddelbare forureningsudslip fordelt på aktivitetsområder (sektorer): Trafik, landbrug osv. Man må imidlertid ikke tro, at man herved har gjort regnskab for, hvordan den samlede forurening totalt er fordelt på de enkelte aktiviteter. Biler giver således ikke alene luftforurening ved for eksempel den direkte anvendelse, men også ved produktionen af brændstof, ved fremstilling og skrotning af selve køretøjet. Denne forurening *er* medregnet, men bliver opført under andre sektorer, dog ikke nødvendigvis i det land, hvor bilerne hører hjemme. Det er også en fejl at tro, at S-tog ikke giver luftforurening; den figurerer bare ikke under trafik, men under elproduktion!

Figur 9.

Laboratiormålinger kan som vist danne basis for fastlæggelse af emissionsfaktorer. Man kan også måle udslippet af forurening i en naturlig situation. Fx kan man måle forureningen fra en bil, mens den kører forbi, ved at sende en lysstråle igennem udstødningen.

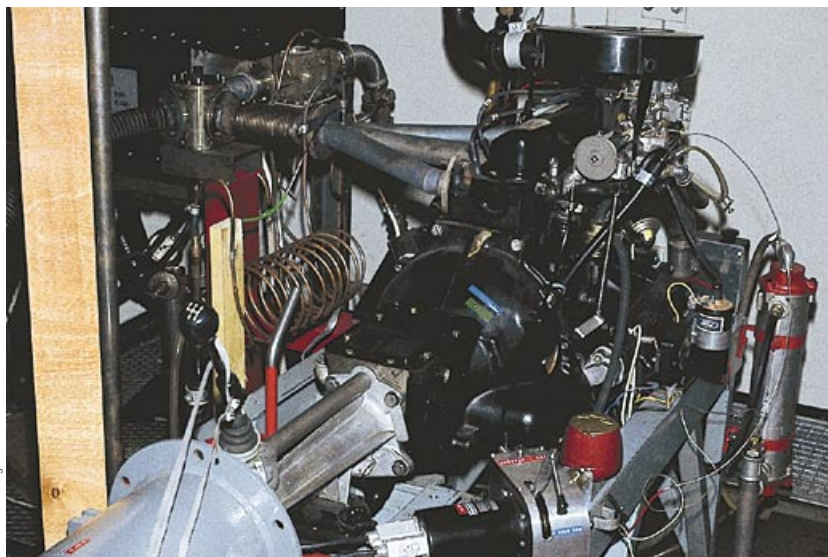


Foto: DMU/Isa Fenger



## Globale opgørelser

Globale opgørelser af udslip - og i særdeleshed fra naturlige kilder (figur 9) - skal tages med forbehold. De er behæftet med stor usikkerhed, og det er sjældent muligt at få balance i de naturlige kredsløb. Forskellige opgørelser kan derfor ofte kun opfattes som en angivelse af størrelsesforhold, og de kan ikke altid benyttes til en mere præcis vurdering af mulige skadevirkninger.

Ganske vist svarer de menneskeskabte udslip af kuldioxid kun til få procent af de mængder kulstof, der indgår i naturens stofkredsløb. Men alligevel kan der, på grund af kulstoffets langsomme omsætning i jorden og atmosfæren, opbygges en globalt stigende koncentration af kuldi-oxid i atmosfæren. De menneskeskabte udslip af kulbrinter og kulilte er ligeledes meget mindre end de naturlige udslip, men de sker på steder, hvor de kan være skadelige, for eksempel i byområder. De menneskeskabte udslip af svovl- og kvælstofforbindelser er derimod af samme størrelsesorden som de naturlige udslip.

## Danmark og Verden

Et lands udslip af luftforurening, og dets muligheder for at reducere det, afhænger af mange forhold - både naturlige og menneskeskabte.

Da energisektoren er en af de dominerende kilder til udslip af luftforurenende stoffer, er landets energiforbrug og produktionsmetoder af afgørende betydning for forureningens størrelse. I lande med en stor produktion af vandkraft (for eksempel Norge og Sverige) eller A-kraft (for eksempel Frankrig) er udslippene i forbindelse med elproduktion relativt små. I Danmark derimod, hvor man ikke har disse muligheder eller politisk har fravalgt dem, er udslippene større, men naturlig-

vis med andre konsekvenser end eksempelvis radioaktive udslip og affaldsprodukter.

Med behovet for opvarmning eller aircondition får det herskende klima betydning for udslip i de relevante sektorer. I Danmark bruges der således meget energi til opvarmning og mindre til aircondition.

Et lands størrelse og befolkningstæthed er afgørende for transportbehovet og dermed for udslip fra transportsektoren. Danmark har stor befolkningstæthed og korte afstande; alligevel betyder den høje levestandard et relativt højt bidrag til luftforureningen fra trafikken.

Omfanget og arten af landets industri er ikke alene afgørende for energiforbruget, men også for udsendelsen af forurening fra selve produktionen. Her har Danmark med sin overvejende lette industri relativt små udslip. På den anden side giver det omfattende danske landbrug høje udslip af stoffer med relation til husdyrhold og anvendelse af gødning. Den høje animalske produktion er således årsag til store udslip af ammoniak.

*Figur 8.* Naturlige udslip af forurening kan have stor betydning, men er vanskelige at bestemme nøjagtigt.



# Kilder og udviklingstendenser

For at kunne begrænse udslippene af de luftforurenende stoffer mest effektivt må man vide, hvilke kilder der er de væsentligste. Forskellige sektors bidrag til udslippene af  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , NMVOC,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  og  $\text{NH}_3$  er gennemgået nedenfor på grundlag opgørelserne af de danske udslip for 1997. Sektorenes udslip er her de direkte udslip; det vil sige udslip fra for eksempel produktion af fjernvarme henregnes under fjernvarmeværker og ikke under de sektorer - blandt andet boligsektoren - hvor fjernvarmen anvendes.

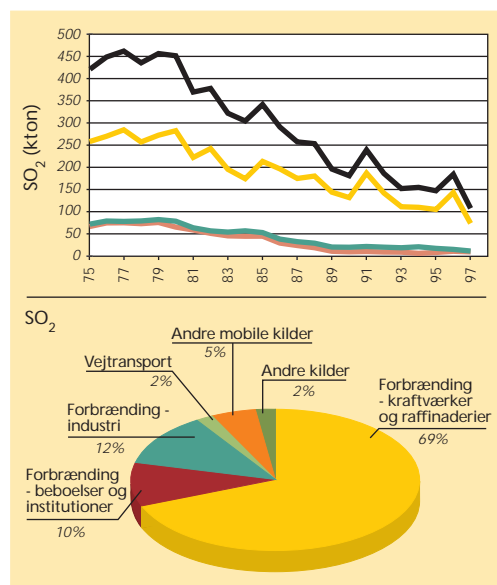
## Svovldioxid

Langt den største del af  $\text{SO}_2$ -udslippet stammer fra forbrænding af fossile brændsler - hovedsagelig kul og olie - på kraft- og fjernvarmeværker, og udgør 69% af det samlede udslip på 109 kton om året.  $\text{SO}_2$ -udslippet fra forbrændingsprocesser i industri, institutioner og beboelse udgør tilsammen 22%, mens kun en lille andel stammer fra vejtransport og andre mobile kilder, så som indenrigs skibs- og flytransport.

Det totale  $\text{SO}_2$ -udslip samt udslippene for de mest betydende sektorer er faldet kraftigt i perioden 1980 til 1997; det totale udslip med næsten 76%. Dette skyldes anvendelse af brændsler med lavere indhold af svovl samt stigende anvendelse af afsvovlingsanlæg på de største værker. Kraftværkernes udslip og dermed også det totale udslip er dog meget ujævnt. Det skyldes, at der sker en udveksling af elektricitet mellem Danmark og de andre nordiske lande. Nogle år sælger de danske kraftværker elektricitet til de øvrige lande, hvilket medfører stigninger i udslippene. Men i de år, hvor Sverige og Norge har overskud af

elektricitet produceret ved hjælp af vandkraft, køber Danmark elektricitet, og de danske udslip bliver derfor forholdsvis lavere.

For de europæiske lande som helhed er der i perioden 1980 til 1994 sket et fald på næsten 50%.



Under Genevekonventionen (se afsnittet om Konventioner og Handlingsplaner) har Danmark forpligtet sig til at reducere  $\text{SO}_2$ -udslippet med 80% inden udgangen af år 2000 i forhold til 1980. Dette mål forventes opfyldt.

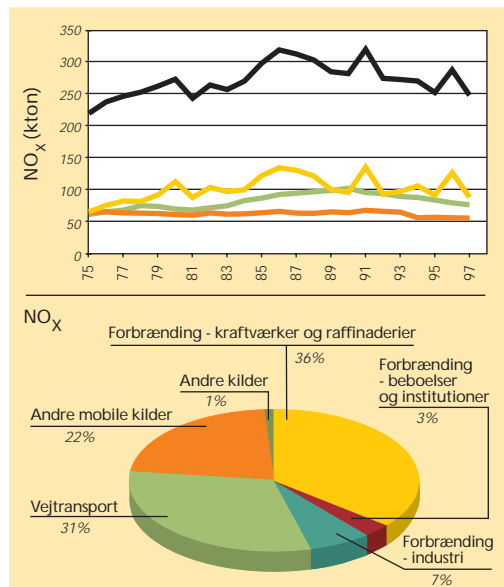
## Kvælstofoxider

Halvdelen af det danske udslip af  $\text{NO}_x$  stammer fra vejtransport og anden transport, der dermed er de største kilder til  $\text{NO}_x$ -forureningen. Den anden store bidrager er kraftværker, der bidrager



med 36% af de i alt 248 kton om året.

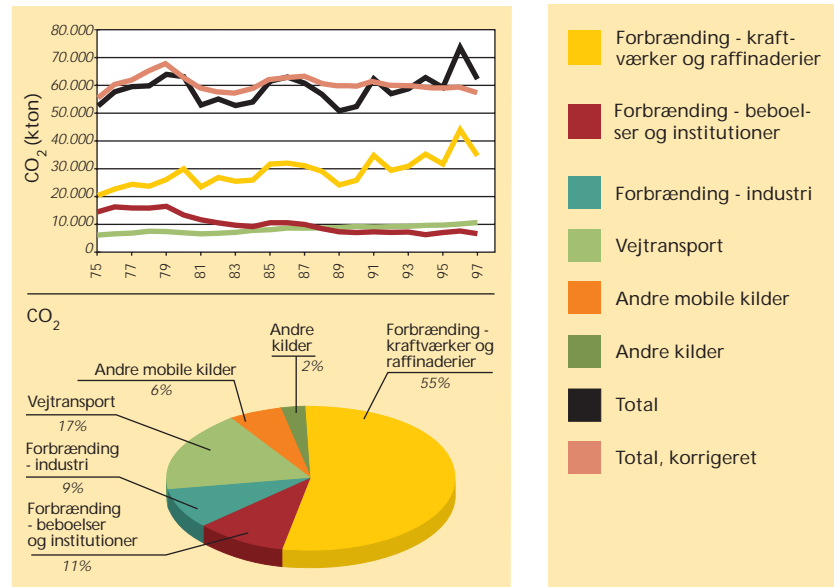
I modsætning til, hvad der er tilfældet for SO<sub>2</sub>, er der - og først i de senere år - kun sket et mindre fald i det samlede udslip af NO<sub>x</sub>. Selvom vejtrafikken er øget, er dens udslip faldet siden 1990. Det er resultatet af indførelse af katalysatorer. Som for SO<sub>2</sub> skyldes udsvingene i de totale emissioner udveksling af elektricitet med andre lande. Det danske mål for reduktion af NO<sub>x</sub> er 30% i 1998 i forhold til 1986; i 1997 var der sket en reduktion på 22%.



Fra 1987 til 1994 har de europæiske lande mindsket det samlede udslip med 13%, hvilket er mere end den stabilisering, som var målet. Det er dog tvivlsomt, om EU-landene når målet om at reducere udslippet med 30% fra 1990 til 2000, som landene enedes om i EU's femte miljøhandlingsprogram. Det skyldes blandt andet en stigning i vejtrafikken.

## Kuldioxid

Det menneskeskabte CO<sub>2</sub>-udslip stammer altovervejende fra forbrænding af fossile brændsler. I Danmark bliver mere end 70% af de 62.000 kton om år dannet ved forbrænding af kul, olie og naturgas på kraftværker samt i beboelsesejendomme og industri. Alene forbrændingen af kul på kraftværkerne udgør ca. 40%. CO<sub>2</sub>-udslippet fra personbiler udgør kun en mindre del på knap 10%.



Det store udslip af CO<sub>2</sub> i 1996 skyldtes en stor eksport af elektricitet til Sverige og Norge. Fra vejtrafikken ses en jævn stigning i udslippet af CO<sub>2</sub> fra starten af 1980'erne og frem til 1997.

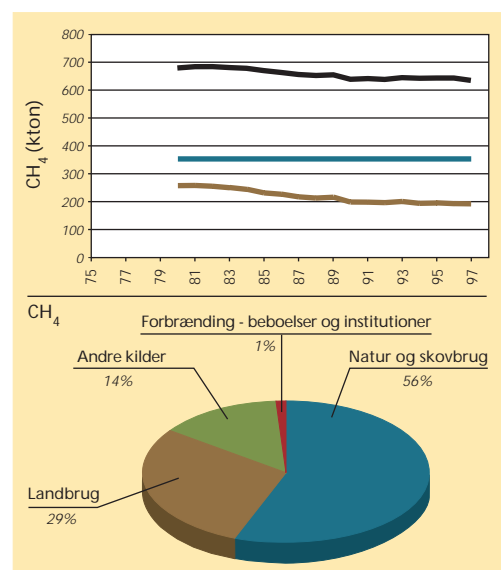
I nogle sammenhænge vil man se opgørelser over CO<sub>2</sub>-udslip, der er korrigeret for import/eksport af elektricitet samt klimatiske udsving. Disse opgørelser bruges til vurdering af den reelle udviklingstendens i det indenlandske energiforbrug. Danmark har som nationalt mål, at landets samlede udledning af CO<sub>2</sub> (korrigeret)

skal mindskes med 20% i 2005 i forhold til 1988-niveauet. I 1997 var der opnået en reduktion på godt 6%. Det bliver formentlig vanskeligt at nå målet, hvis ikke det lykkes at bremse væksten af vejtrafikken.

Fra 1990 til 1994 er der sket et lille fald på 2-3% i det samlede europæiske udslip, hvilket hovedsageligt skyldes en - formentlig kun foreløbig - tilbagegang i industri og økonomi i visse europæiske lande samt omstrukturering af industrien i Tyskland. Også Storbritanniens skift fra kul til naturgas har haft en betydning for faldet.

### Metan

Der er to store kilder til udslip af metan: Natur og landbrug. Det totale årlige danske udslip er 637 kton, hvoraf 56% kommer fra naturlige kilder. Disse kilder er dels vådområder, hvor der dannes metan ved iltfri nedbrydning af organisk stof, dels naturgasforekomster, hvorfra der sker udsivning af metan fra havbunden. Udslippet fra landbruget skyldes dannelse af metan i husdyrenes fordøjelsessystem samt ved håndtering af husdyrgødning.



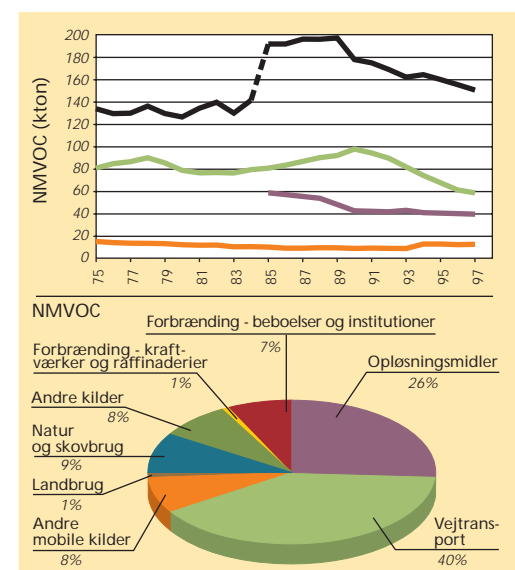
Siden 1980 har udslippet af metan været svagt faldende. Det skyldes et fald i bidraget fra landbrug på grund af en lidt lavere bestand af malkekvæg.

### Øvrige flygtige organiske forbindelser

Udslippet af NMVOC'er kommer fra mange principielt forskellige kilder - både menneskeskabte og naturlige. I Danmark er de to største kilder ufuldstændig forbrænding af benzin og diesel fra person- og lastbiler samt fordampning ved brug af opløsningsmidler.

Den tilsyneladende pludselige stigning i det totale udslip af NMVOC i 1985 skyldes, at udslippene fra brugen af opløsningsmidler medregnes fra dette år. Fra 1990 til 1997 er der et jævnt fald i udslippene fra vejtrafik, hvilket skyldes, at en stigende andel af bilparken har fået installeret katalysatorer. Udslippene af NMVOC fra industri viser ligeledes en faldende tendens frem til 1997.

I 1999 skal NMVOC-udslippene være reduceret med 30% i forhold til 1985. Frem til



1997 er der for Danmark sket et fald på ca. 20%. For Europa ses et mindre fald på 12% frem til 1994.

## Lattergas

Det danske udslip af lattergas er på 31 kton om året. Landbruget udgør langt den største kilde, idet lattergas dannes i jord ved bakteriel omdannelse af kvælstof i udbragt handels- og husdyrgødning. Andre væsentlige kilder til udslip af lattergas er drænvand og kystvand, hvor der sker en bakteriel omdannelse af kvælstof. Dette kvælstof stammer dog i vid udstrækning fra landbrugets gødskning.

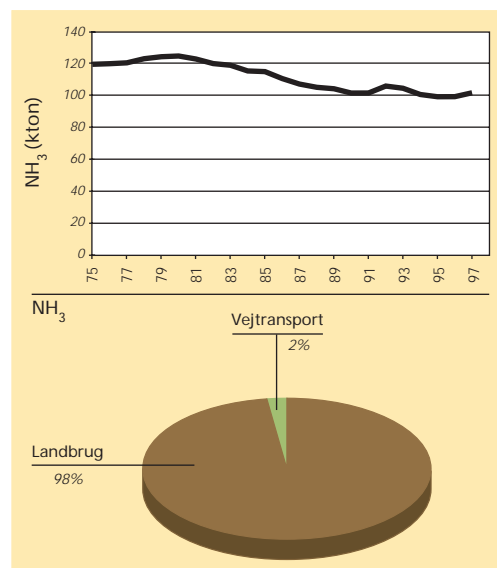
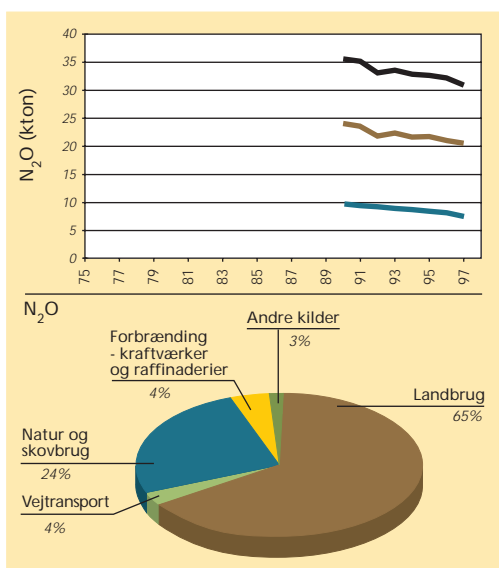
Fra 1990 ses et tydeligt fald i  $N_2O$ -udslippet. Det skyldes mindre brug af handelsgødning samt bedre udnyttelse af gødningen.

## Ammoniak

Næsten al den ammoniak, der tilføres atmosfæren, stammer fra landbruget. Hovedparten af det totale danske udslip på omkring 100 kton kommer fra håndtering af husdyrgødning, mens en mindre del stammer fra brug af kunstgødning. Ved håndtering af husdyrgødning sker fordampningen af ammoniak fra staldene, ved opbevaring på møddinger eller i tanke og under udbringning af gødning på markerne.

Fra 1991 til 1996 er udslippet reduceret. Det er hovedsageligt et resultat af anvendelsen af andet foder, der har medført en mindre udskillelse af  $NH_3$  i husdyrgødningen. Handlingsplaner rettet mod landbrugets nitratforurening har imidlertid også mindsket ammoniaktabet. Det skyldes for eksempel hurtigere nedpløjning af husdyrgødning på markerne, etablering af flydelag på gylletanke samt øget udnyttelse af husdyrgødningens indhold af kvælstof.

Det samlede europæiske  $NH_3$ -udslip er faldet 12% fra 1990 til 1994.



# Kraft- og fjernvarmeværker

Kraft- og fjernvarmeværker er de helt store kilder til udslip af stofferne  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  og  $\text{CO}_2$ . Som tidligere nævnt dannes disse stoffer på forskellig vis, og der er flere muligheder for teknologisk og forbrændingsteknisk at begrænse udslippene. Desuden er det muligt at anvende brændsler med lavere emissionsfaktorer.

## Svovldioxid

Ved forbrænding af kul og olie, som er de brændsler, der anvendes i de største mængder, omdannes svovl i brændslet til  $\text{SO}_2$ . For at reducere de skadelige virkninger af  $\text{SO}_2$ -forureningen har der siden 1984 i henhold til Miljøloven og forskellige bekendtgørelser været stillet krav om, at kraftværkerne skulle nedbringe udslippet af  $\text{SO}_2$ . Lovgivningen har medført, at der er anvendt brændsler med et lavere indhold af svovl, og at der på en lang række af de store danske kraftværker er installeret afsvovlingsanlæg.

Den mest udbredte type afsvovlingsanlæg i Danmark anvender kalksten ( $\text{CaCO}_3$ ) som tilsætning, således at der dannes gips

( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) i en salgbar kvalitet. I 1998 blev der i Danmark produceret ca. 360.000 ton gips, som blev solgt til produktion af blandt andet gipsplader, figur 10.

I 1985 var udslippet fra kraft- og fjernvarmeværker 215 kton mod 75 kton i 1997; altså en reduktion på mere end 65%.

## Kvælstofoxider

I modsætning til dannelse af  $\text{SO}_2$  er dannelse af  $\text{NO}_x$  ikke kun afhængig af brændsels sammensætningen. Det skyldes, at  $\text{NO}_x$  kan dannes ud fra både kvælstof i brændslet og kvælstof i forbrændingsluften. Hvor meget  $\text{NO}_x$  der dannes ved forbrænding af et givet brændsel, vil derfor afhænge af såvel anlægstype som forskellige driftsforhold. Nogle af de vigtigste forhold er temperaturen og iltkoncentrationen i flammen. Jo højere temperatur og iltkoncentration, jo mere  $\text{NO}_x$  dannes der.

Begrænsningen af  $\text{NO}_x$ -udslippet kan enten ske ved at begrænse  $\text{NO}_x$ -dannelsen i fyrrummet ved fyringstekniske ændringer, såkaldt lav- $\text{NO}_x$ -teknologi, eller ved at rense røggassen. En stor del af de danske kraftværker har installeret særlige brændere, hvor forbrændingsluften tilføres i flere trin. Herved undgås, at der opstår områder i flammen, hvor temperatur og iltkoncentration bliver meget høje. Ved denne teknik begrænses dannelsen af  $\text{NO}_x$ , og der foregår samtidig en række kemiske reaktioner, der omdanner  $\text{NO}_x$  til frit kvælstof ( $\text{N}_2$ ).

En mindre del af kraftværkerne har installeret anlæg til fjernelse af  $\text{NO}_x$  fra røggassen. Anlæggene består af en katalysator,



Foto: Sjællandske kraftværker

Figur 10.  
Gips fra afsvovlingsanlæg.  
Dette anvendes til fremstilling af gipsplader.

hvori ammoniak reagerer med røggassens indhold af  $\text{NO}_x$ , hvorved der dannes vand og frit kvælstof.

Udslippet fra kraft- og fjernvarmeværker er fra 1985 til 1997 reduceret med knap 30%; fra 122 kton til 88 kton per år.

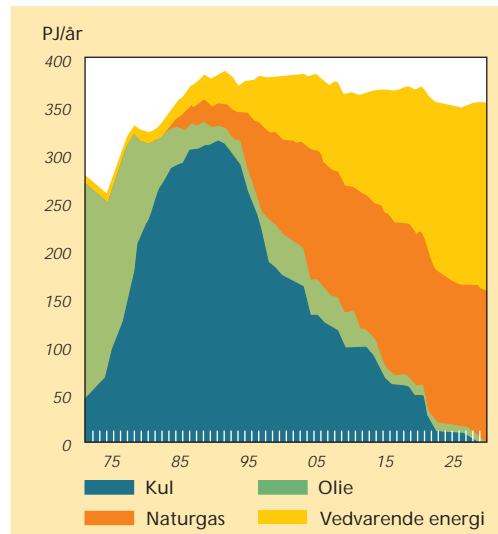
### Kuldioxid

Ønsket om at reducere udslippet i de kommende år har ført til regeringens handlingsplan - Energi 21 - som blandt andet fastslår, at der skal gennemføres omfattende el- og varmebesparelser, og at der i stigende grad skal anvendes vedvarende energi og naturgas i stedet for kul og olie. Energihandlingsplanen har som mål, at der i år 2030 stort set kun skal anvendes naturgas og vedvarende energi til el- og fjernvarmeproduktion, figur 11.

Vedvarende energi dækker over energiformer som biobrændsler (halm, træ, affald) og vind. Fra anvendelse af vindenergi er der selvfølgelig ingen udledning af  $\text{CO}_2$ . Også fra forbrænding af biobrændsler regner man med, at netto  $\text{CO}_2$ -udslippet er nul. Det skyldes, at den dannede  $\text{CO}_2$  inden for en forholdsvis kort tid igen optages af planter, hvis der ikke ændres på mængden og typen af afgrøder.

Grunden til at naturgas bidrager mindre til  $\text{CO}_2$ -udledningen end kul og olie er, at forholdet mellem brint og kulstof er større i naturgas. Der dannes derfor forholdsvis mere  $\text{H}_2\text{O}$  end  $\text{CO}_2$  ved forbrændingen.

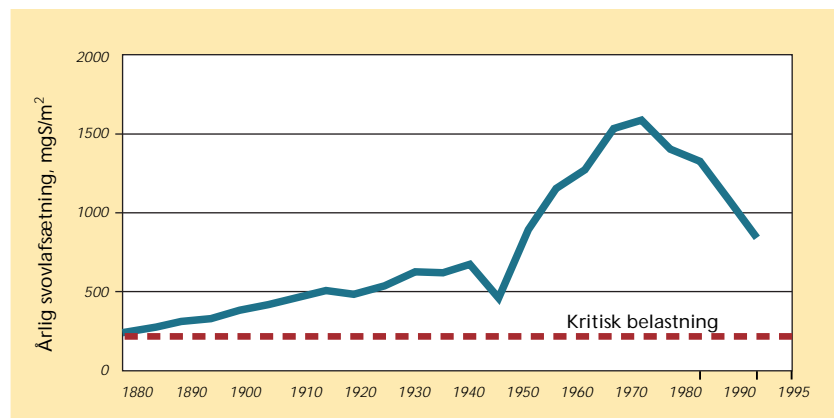
Da  $\text{CO}_2$  bidrager til globale miljøproblemer, er det af stor betydning, hvordan energiforbruget forventes at udvikle sig i verden som helhed. Selv med en forudsætning om øget politisk vilje til at fremme energieffektive systemer forventes en global stigning i  $\text{CO}_2$  udslippet med 36% fra 1993 til 2010.



Figur 11. Udviklingen i brændselsanvendelsen til elproduktion og fjernvarme i henhold til handlingsplanen - Energi 21. (Reference: Energi 21, Regeringens energihandlingsplan 1996, Energi-styrelsen).

Udviklingslandene har mere end 80% af verdens befolkning, men tegner sig kun for omkring en tredjedel af verdens energiforbrug. Det vil sandsynligvis hurtigt ændres, og især i Kina og Sydøstasien vil det ske ved et øget brug af fossile brændsler. Disse områder er meget afhængige af kul, som der lokalt er store reserver af. Kul er det brændsel, der giver det højeste  $\text{CO}_2$ -udslip af alle brændsler. Elektricitetsforbruget i disse områder stiger med 6 til 7% per år, hvilket kan resultere i en fordobling af  $\text{CO}_2$ -udledningen fra 1990 til 2010.

Figur 12. Forsurende stoffer medfører en række økologiske skader. Svovlafsætningen steg med udslippet af  $\text{SO}_2$  op til omkring 1970 og er derefter igen faldet. Kurven, der er beregnet for Sydsvrige, viser, at belastningen stadig ligger over det kritiske niveau. (Efter S. Mylona: Tellus 48B, 662-689 (1996)).





# Transport

## Manglende ophavsret til Internettet

Foto: Bechtel/Per Elisson

Figur 13.

Trafikkens udslip er den væsentligste kilde til fotokemisk luftforurening, der dannes ved at kvælstofoxider og kulbrinter reagerer under indvirkning af sollys. Selvom udslippene ofte sker i byområder, kan der være tale om fænomener med en udstrækning over flere lande. Den vigtigste fotokemiske luftforurening er ozon ( $O_3$ ), men der dannes også mange andre stoffer, der samlet påvirker menneskets åndedrætsorganer og skader planter og materialer. I visse tilfælde kan der også dannes partikler, der nedsætter sigtbarheden.

Udslip af luftforurenende stoffer fra transportsektoren opgøres særskilt for trafikken indenrigs og udenrigs. Som indenrigs transport regnes trafikken på vej og jernbane - samt med skibe og fly, der bevæger sig mellem to danske destinationer. Som udenrigstransport regnes skibs- og flytrafikken fra en dansk havn eller lufthavn med udenlandsk bestemmelsessted.

Der er gjort et stort arbejde i EU for at nedbringe især vejtrafikkens udslip, og indførelsen af katalysatorer på benzinkøretøjer - der fjerner meget af udstødningsgassens indhold af CO, NMVOC og  $NO_x$  - har allerede haft en god virkning. Fremtidige trinvist lavere grænseværdier vil gøre udslippene endnu mindre.

## Kuldioxid

Næsten 20% af Danmarks totale  $CO_2$ -emission kommer fra transporten her i landet. Det ekstra udslip fra internationale skibe og fly svarer til hhv. 36% og 17% af indenrigstrafikkens udslip.

Over halvdelen af vejtrafikkens  $CO_2$ -udslip kommer fra personbiler. Udslippet har været støt stigende i mange år, 13% alene fra 1990 til 1997, og mange forslag til at vende udviklingen har været overvejet, såsom væsentligt dyrere brændstof, vejafgifter, bompenge, højere ejerafgifter, iblanding af biobrændstof i benzin og diesel, afskaffelse af befordringsfradraget, støtte til elbiler eller billigere kollektiv transport.

Et indgreb er allerede aftalt mellem EU og bilindustrien. Det kræver, at gennemsnittet af  $CO_2$ -udslippet for samtlige nye personbiler solgt efter 2008 skal være under

140 g/km. For benzinbiler svarer det til en gennemsnitlig brændstoføkonomi på 17 km/l. I forhold til 1995-bilparken er det en forbedring på 25%.

## Kvælstofoxid

Over 40% af Danmarks totale  $NO_x$ -udslip kommer fra den indenlandske transport. Dertil kommer, at  $NO_x$ -udslippet fra skibe i udenrigsfart er lige så stor som udslippet fra hele den indenlandske transport. Dieselmotorer arbejder ved høje temperaturer og stort luftoverskud, og disse driftsbetingelser skaber netop store  $NO_x$ -udslip fra lastbiler, busser og skibe.

Personbilerne er dog stadig transportens største kilde til  $NO_x$ -udslippet, og de bidrager med over halvdelen af vejtrafikkens samlede udslip. Udslippet steg støt frem til i begyndelsen af 1990'erne, men med indførelsen af katalysatorer i 1990 vendte kurven. Udslippet er siden faldet med næsten 35% frem til 1997. Faldet fortsætter i fremtiden, når gamle biler udskiftes til nye biler med mere og mere effektive katalysatorer.

I fremtiden vil der blive gjort en ekstra indsats for at mindske person- og varebilers udslip af  $NO_x$  - og iøvigt også CO, VOC og partikler. EU-grænseværdierne omfatter nye testprocedurer fra år 2000, hvor den første del af bilernes koldstart medtages. Senere testes udslippene specielt ved lave temperaturer, for personbiler i 2003 og varebiler i 2004.

Nye EU-regler åbner mulighed for, at de enkelte lande kan foretage kontrol af de faktiske emissioner i trafikken ved stik-

prøvemålinger af bestemte bilmærker og -modeller. Overholdes grænseværdierne ikke, kan alle landets biler af den pågældende type sendes retur til producenten for udbedring af fejl.

En ny, og måske mere effektiv kontrol af bilernes udslip end det periodiske bilsyn fra 1998, bliver indførelsen af en elektronisk kontrol i nye benzinbiler fra år 2001 og i dieslbiler fra år 2004. Det kan afsløre, om bilens emissionsbegrænsende udstyr virker.

For lastbiler og busser inkluderer EU's gradvist skrappe begrænsninger for udslip en forbedring i år 2001 af den indtil nu brugte test ved miljøgodkendelse. For at kunne overholde senere normer skal nye lastbiler og busser fra år 2009 desuden være udstyret med katalysatorer, der særligt fjerner  $\text{NO}_x$ .

Den internationale skibstransport er steget meget siden midten af 1980'erne. For at dæmpe det afledte udslip vil skibenes  $\text{NO}_x$ -afgivelse fra år 2000 blive pålagt en grænseværdi, der afhænger af motorstørrelse og -omdrejningstal. Grænseværdien tænkes gradvist sænket fremover.

## Flygtige organiske forbindelser

VOC-udslippet regnes som det samlede udslip af NMVOC og  $\text{CH}_4$ . Omtrent 40% af Danmarks totale VOC-udslip kommer fra vejtrafikken, og udslippene fra benzinbiler uden katalysatorer er størst. For vejtrafikken udgør  $\text{CH}_4$  kun 5% af VOC'erne. Knallerter og motorcykler er også relativt store kilder, hvilket i høj grad skyldes 2-taktsmotorernes dårlige forbrænding.

VOC-udslippet er, ganske som  $\text{NO}_x$ , steget frem til katalysatorbilernes indførelse i 1990 og er siden faldet mærkbart. Udslippet var blevet næsten 40% mindre i 1997 og faldet vil fortsætte i fremtiden p.g.a. de

før omtalte tiltag. Fra årtusindskiftet reguleres også nogle af de mest giftige bestanddele i VOC-udslippet, således at indholdet af benzen og aromater i benzin højst må være henholdsvis 1 og 42%. I år 2005 sættes det tilladelige aromatindhold yderligere ned til 35%.

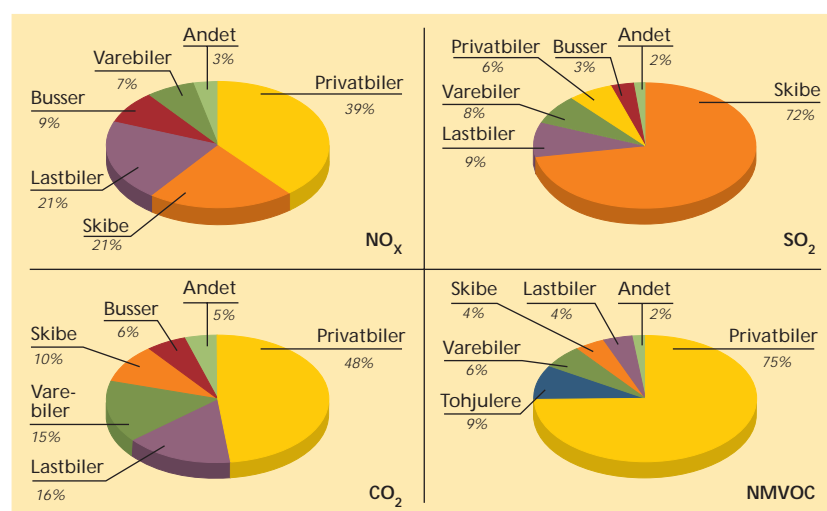
## Svovldioxid

Skibsfarten bidrager med næsten 3/4 af indenrigstransportens samlede  $\text{SO}_2$ -udslip.

$\text{SO}_2$ -udslippet fra international skibstrafik er hele 9 gange større end udslippet fra den samlede indenlandske transport. Det skyldes det store svovlindhold i den tunge dieselolie, som skibene bruger. Noget er der dog blevet gjort for at nedbringe  $\text{SO}_2$ -emissionen. Færger bruger for eksempel nu diesel med et lavt svovlindhold. Derimod kan økonomiske hensyn betyde, at det stadig kan vare år, før den tunge olies svovlindhold bliver sat ned.

Vejtrafikkens  $\text{SO}_2$ -bidrag er til gengæld minimalt. Svovlprocenten i benzin har altid været lav, og diesels svovlindhold er blevet mindre i de senere år, således at det nu opfylder EU's år 2005 krav.

Figur 14.  
Fordeling af trafikens udslip af  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  og VOC.



# Industri

Industriens udledninger omfatter ud over luftformige udslip andre udledninger, som har stor betydning for miljøet, herunder udledning af spildevand og fast affald. Men her er emnet de luftformige udslip.

## Svovldioxid, kvælstofoxider og kuldioxid

Udslip af  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  og  $\text{CO}_2$  sker især fra industriens fyringsanlæg og udgør henholdsvis 12%, 7% og 9% af de totale udslip. Udledningerne af  $\text{CO}_2$  og  $\text{NO}_x$  har siden 1975 stort set været konstante, hvorimod udslippet af  $\text{SO}_2$  har været stærkt faldende og er i denne periode reduceret til mindre end 25%. Dette store fald skyldes anvendelse af mindre svovlholdige brændsler samt i mindre grad indførelse af røgrensningsanlæg.

Foruden de udslip, der stammer fra energiproduktion, udleder industrien også stoffer, der har relation direkte til de industrielle processer.

## Flygtige organiske forbindelser

Industriens udslip af flygtige organiske forbindelser består i alt væsentligt af NMVOC. Brug af opløsningsmidler udgør her 26% af de totale danske udslip. En stor del af dette udslip stammer fra industrielle processer, fortrinsvis i levedsmiddelindustrien, træ- og møbelindustrien, jern- og metalindustrien samt autobranchen.

For at nedbringe det store udslip af NMVOC'er har regeringen og størstedelen af industrien indgået en aftale om at reducere udslippet med 40% i år 2000 i forhold til 1988-niveauet. Det skal ske ved indførelse af ny og mere miljørigtig teknologi i virksomhederne. For autobranchen betyder det blandt andet, at forbruget af rustbeskyttelsesmidler og lak til hellakeringer reduceres, og at der i højere grad anvendes vandbaserede malinge og rengøringsmidler. Denne aftale kan ses som en dansk opfølgning på Genèvekonventionens protokol om begrænsning af de totale danske NMVOC udslip med 30% fra 1985-1999. Siden 1985 er udslippet faldet med ca. 20%.

## Stoffer der nedbryder ozonlaget

En lang række menneskeskabte kulbrinter indeholdende klor, fluor og brom virker ozonlagnedbrydende. De vigtigste er CFC'er, tetraklormetan, 1,1,1-trikloretan, haloner, metylbromid og HCFC'er. En række af disse stoffer anvendes eller har været

Figur 15.

CFC og lignende gasser nedbryder ozonlaget. På Antarktis har der gennem flere år været egentlige ozonhuller, hvor ozonkoncentrationen har været mere end halveret i forhold til det normale. Ozonlaget over Danmark er blevet 8% tyndere siden 1979, hvilket betyder, at mængden af den skadelige UV-B stråling er steget med 10%. Forøget stråling medfører alvorlige sundhedsskader for mennesker og dyr i form af flere tilfælde af hudkræft, øget hyppighed af øjensygdomme som grå stær samt en forringelse af immunforsvarets evne til nedkæmpe infektioner.

**Manglende  
ophavsret  
til  
Internettet**

Foto: Biofoto/kin Conrad Petersen

anvendt i industrien til fremstilling af blandt andet skumplast, køleskabe og brandslukningsmateriale. Udslippet af stofferne kan finde sted såvel ved fremstilling af produkter som ved brug og bortskaffelse.

Internationalt er stofferne blevet reguleret af Montrealprotokollen, der pålægger landene at udfase disse stoffer. En dansk handlingsplan på dette område har betydet, at der inden for de sidste ti år næsten er sket en fuldstændig afvikling af brugen i Danmark af de mest ozonlagsnedbrydende stoffer (CFC'er, tetraklormetan, 1,1,1-triklorethan, haloner og metylbromid). Også internationalt har afviklingen været succesfuld. Siden 1987 har det internationale samfund arbejdet for at udelukke fremstilling, handel og brug af stofferne, og det har medført et fald på mere end 70%.

HCFC'erne, som er meget mindre skadelige for ozonlaget, er dog ikke fuldt afviklede hverken i Danmark eller internationalt.

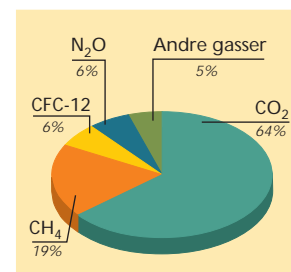
## HFC'er, PFC'er og SF<sub>6</sub>

En række af de ozonlagsnedbrydende stoffer har desuden en kraftig drivhuseffekt; men herudover er der de såkaldte 'rene' drivhusgasser, der ikke har ozonlagsnedbrydende effekt; de omfatter HFC'er, PFC'er og SF<sub>6</sub>. Disse stoffer bruges blandt andet som kølemidler, til opskumning af isoleringsmateriale og skumgummi og som isolatorgas i støjdempende vinduer. I forhold til udslippene af de andre drivhusgasser (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) udgør udslippene fra danske kilder af de såkaldte tre industrigasser opgjort på vægtbasis en forsvindende lille del. Stoffernes drivhuseffekt er imidlertid meget kraftig, således svarer effekten af et kg SF<sub>6</sub> til effekten af 23.900 kg CO<sub>2</sub>. Selv med en omregning med disse stoffers forholdsmæssige større bidrag til drivhuseffekten, udgør de alligevel under

én procent af de samlede udslip af drivhusgasser (se figur 7 i afsnittet fra 'Udslip til skader'). I andre industrilande spiller brugen af de kraftige drivhusgasser en større rolle, og globalt er gasserne ikke uden betydning, figur 16.

Undersøgelser viser, at de kraftige drivhusgasser for en meget stor dels vedkommende kan erstattes med andre stoffer med mindre eller ingen drivhuseffekt inden for få år. Den danske regering har planer om at fremlægge en handlingsplan for reduktion af brugen af de kraftige drivhusgasser.

Stofferne vil blive regulerede internationalt af Kyoto-protokollen under klimakonventionen, når protokollen ratificeres af de enkelte lande. EU-landene vil blive forpligtede til en samlet reduktion af drivhusgasserne - de tre industrigasser samt CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O - på 21% inden år 2012. For Danmarks vedkommende skal der ske en reduktion på 21% i forhold til 1990 på basis af de korrigerede CO<sub>2</sub>-emissioner i 1990.



Figur 16. Stoffernes relative bidrag til drivhuseffekten globalt. (J.T. Houghton et al., eds., *Climate Change 1995*)

## Manglende ophavsret til Internettet

Foto: BldFoto: Ole Akhøj

Figur 17. En del af industriens udslip af NMVOC'er stammer fra sprøjtelakering af bl.a. biler.

# Landbrug

Landbrugsaktiviteter medfører udslip af en række stoffer; de vigtigste er metan ( $\text{CH}_4$ ), ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) og lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Hertil kommer de udslip som følge af landbrugets forbrug af energi og brændstoffer, der medregnes under henholdsvis energi- og transportsektoren.

## Metan

Udslip af  $\text{CH}_4$  skyldes, at  $\text{CH}_4$  dannes i den animalske produktion, dels i forbindelse med dyrs fordøjelse dels ved håndtering og anvendelse af husdyrgødning.

I fordøjelsesprocessen er  $\text{CH}_4$  et biprodukt ved nedbrydning af planteføde. Udslip fra fordøjelsen stiger med mængden af indtaget føde, dyrets vægt, vækstraten samt dyrets produktion af eksempelvis mælk. Drøvtyggerses fordøjelsesproces giver langt den største dannelse af  $\text{CH}_4$ . Det væsentligste bidrag til  $\text{CH}_4$ -udslip fra fordøjelse kommer derfor fra malkekøer.

Ved omdannelse af husdyrgødning under iltfattige (anaerobe) betingelser dannes ligeledes  $\text{CH}_4$ . Disse betingelser vil ofte være til stede i stalde med malkekøer eller svin, hvor der produceres meget gødning. Beregninger af udslippet bygger på viden om mængden af produceret gødning, gødningens sammensætning og de anvendte gødningssystemer. Endvidere afhænger  $\text{CH}_4$ -udslip fra gødning af klimatiske forhold, idet dannelsen af  $\text{CH}_4$  stiger med temperaturen.

På verdensplan regner man med, at ca. 25% af udslippet af  $\text{CH}_4$  kommer fra husdyrhold. For Danmark udgjorde den tilsvarende andel 29% i 1997, heraf bidrog kvæg med ca. 3/4.

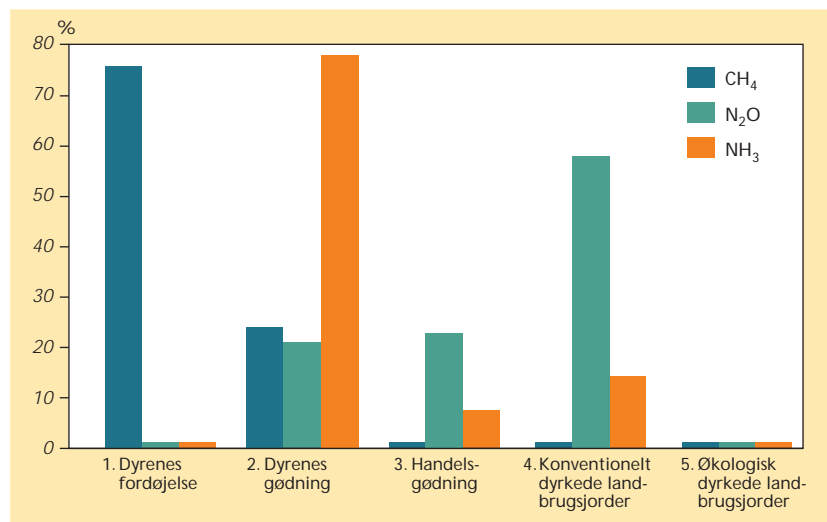
Fra starten af 1980'erne til 1997 er udslippet af  $\text{CH}_4$  fra landbrug faldet med næsten 30%. Den væsentligste årsag er, at antallet af kvæg og dermed udslip fra fordøjelse og gødning, har været faldende. En anden årsag er, at der siden 1989 har været forbud mod halm-afbrænding, hvor  $\text{CH}_4$  dannes ved ufuldstændig forbrænding af planterester.

## Ammoniak

$\text{NH}_3$ -udslip fra landbrug kommer fra husdyrgødning, handelsgødning, tilført slam, afgrøder og halmludning med ammoniak. Udslippet er et resultat af en række komplicerede processer, som det kun i meget forenklet form er muligt at medtage ved beregninger.

Landbrugets andel af det samlede danske  $\text{NH}_3$ -udslip er helt dominerende og udgjorde 98% i 1997. Udslip af  $\text{NH}_3$  fra husdyrgødning udgør langt det største bidrag.

**Figur 18.** Landbrugets udslip af metan, lattergas og ammoniak for 1997. En søjle repræsenterer bidraget i procent fra den pågældende aktivitet til landbrugets samlede udslip af det pågældende stof. Bidraget fra økologisk jordbrug er lille, hvilket skyldes aktivitetens lille areal.





For Europa var bidraget 72% i 1990, og for Danmark 77% i 1997. Dette bidrag kommer fra gødning i stalde, i lagre, under og efter udbringning samt fra græssende dyr. Bidraget kommer fra gødningens indhold af ammonium, der under givne betingelser omdannes til  $\text{NH}_3$ , som fordamper. Anvendelsen af handelsgødning giver også anledning til fordampning af  $\text{NH}_3$ . Bidraget udgjorde i 1997 7% af det danske udslip.

Af øvrige kilder til  $\text{NH}_3$ -udslip er planter formentlig den væsentligste, men bidraget er vanskeligt at opgøre. Udslippet synes især at finde sted når gødskning med kvælstof har medført et højt indhold af kvælstof i planterne.

## Lattergas

Forekomsten af  $\text{N}_2\text{O}$  i atmosfæren skyldes udslip i forbindelse med omdannelse af kvælstofforbindelser i jord, vand og luft. Fra jord afgives  $\text{N}_2\text{O}$ , hvor det dannes ved mikrobielle processer, der kaldes nitrifikation (omdannelse af ammonium til nitrat) og denitrifikation (nitrat til frit kvælstof). Dannelsen af  $\text{N}_2\text{O}$  afhænger af en række faktorer, som for eksempel surhedsgrad, temperatur samt adgang til ilt. Dannelsen afhænger desuden af tilstedeværelse af mineralisk (ikke organisk bundet) kvælstof. Derfor er tilførsel til jorden af kvælstof i handels- og husdyrgødning samt i planterester en hoveddrivkraft til udslip af  $\text{N}_2\text{O}$ . Ud over bidraget fra gødning er der  $\text{N}_2\text{O}$ -udslip fra udvaskning af kvælstof fra landbrugsjorde samt fra spildevand, som i noget omfang anvendes som gødning.

For Danmark udgjorde landbrugets direkte udslip 65% af det totale udslip af  $\text{N}_2\text{O}$ . Til landbrugets udslip bidrog handelsgødning og husdyrgødning omtrent lige meget til det samlede bidrag fra gødning på 41%. Bidraget fra udvaskning var 25%.  $\text{N}_2\text{O}$  er en drivhusgas, og der er siden 1950 sket

en stigning i atmosfærens koncentration af  $\text{N}_2\text{O}$  på næsten 10%.

## Usikkerhed

Man ved ganske meget om de processer, der fører til udslip fra landbrugssektoren, men alligevel er der en betydelig grad af usikkerhed ved beregning af disse udslip. Det skyldes, at oplysninger om parametre, som for eksempel anvendelsen af forskellige gødningssystemer, som man ved er af stor betydning, ofte i praksis er mangelfulde eller helt mangler.

## Regulering

Udslip af  $\text{NH}_3$  og  $\text{N}_2\text{O}$  fra landbrug reguleres ved afpasning af tilførsel af kvælstof til markerne i forhold til afgrødernes behov. Sigtet er en maksimal optagelse af kvælstof i de høstede afgrøder. Således foreskriver de danske vandmiljøplaner en begrænsning af gødning udbragt på ubevoksede arealer, en reduceret gødningsnorm, reduktion i anvendelse af handelsgødning samt regler for tildækning af gødningsbeholdere etc. Resultatet af disse tiltag er en reduktion af udslip af  $\text{NH}_3$ , men også udslippet af  $\text{N}_2\text{O}$  kan forventes reduceret.

Figur 19.

Overgødskning med kvælstof fra luften skader i særlig grad næringsfattige naturtyper som højmoser og heder. Især højmoserne er i fare for at forsvinde, da de normalt udelukkende vokser i kraft af regnvandet, som optages i tørvemos og lyngplanter. Danske heder er bevokset med rensdyrlav og lyng. I de senere år er der sket skader på laverne, og græs og buske trænger i stigende grad ind på hederne.



Foto: DNU/Morten Strandberg

# Naturens egne udslip

---

Man kan diskutere, om udslip til atmosfæren af stoffer fra naturlige kilder som for eksempel moser, skovbrande og vulkaner skal opfattes som forurening. Men når det gælder virkningerne, er det uden betydning, hvor stofferne kommer fra; derfor må man vide, hvilke mængder der er tale om. Hertil kommer, at det kan være vanskeligt at adskille menneskeskabte og naturlige udslip, fordi menneskelige aktiviteter undertiden påvirker naturlige udslip. Således vil en afvanding af et moseområde medføre, at det naturlige udslip af metan går ned eller helt forsvinder. Til gengæld vil det organiske materiale, der findes på bunden af mosen, iltes, og der vil dannes CO<sub>2</sub>.

I Danmark bidrager naturen væsentligt til udslippet af stofferne CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O og NMVOC. Som omtalt under 'Kilder og udviklingstendenser' er vådområder, det vil sige, moser, søer og andre lavvandsområder, nogle af de helt store bidragydere til udslip af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O.

## Metan

Under iltfattige forhold kan der i jord, der periodisk eller konstant er oversvømmet med vand, dannes CH<sub>4</sub>. Metandannelsen er her det sidste trin i nedbrydningen af organisk materiale, der hovedsageligt omfatter plantedele. Anaerobe bakterier omdanner organiske biprodukter fra andre bakterier til metan, som transporteres til atmosfæren via planter eller ved diffusion gennem vandet. Mængden af CH<sub>4</sub>, der dannes, afhænger af en række vigtige faktorer: Niveauet af grundvandsspejlet, vegetationstype, jordtype, tilført gødning samt det lokale klima.

## Øvrige flygtige organiske forbindelser

Skov er den tredjestørste kilde til udslip af NMVOC, og bidraget udgør næsten 10% af udslippene i Danmark. Træernes blade afgiver en række forskellige isoprener, monoterpener samt andre organiske forbindelser som alkoholer og aldehyder. Hvor store mængder, der afgives, afhænger især af træsorten og det lokale klima. Jo mere lys og varme jo større mængder NMVOC frigøres der. Det er meget vanskeligt at identificere de organiske forbindelser og at bestemme de nøjagtige mængder. Derfor skal opgørelser over udslip fra skove tages med store forbehold.

Det virker umiddelbart meget vanskeligt at kontrollere og nedsætte udslippene af NMVOC'er fra skov. Da al skov i Danmark er dyrket, og træsorterne derfor er bestemt af mennesker, vil det imidlertid være muligt i et vist omfang at vælge sorter, der afgiver mindre mængder NMVOC'er.

## Lattergas

Lattergas er en anden drivhusgas, der kan dannes under iltfattige forhold; hovedsageligt i drænvand, kystvand, marsk samt moser og enge. Lattergas dannes ud fra nitrat, der enten findes naturligt eller tilføres via husdyrgødning eller kunstgødning. Nitrat nedbrydes af bakterier, der lever af organisk materiale og er i stand til at udnytte iltindholdet i nitraten i stedet for frit ilt. Afhængig af forholdene kan der som stabilt produkt dannes nitrit, lattergas eller frit kvælstof.





Foto: DMU/Morten Strandberg

I fugtige områder kan der dannes og frigøres metan,



Foto: DMU/Morten Strandberg

- og ved skovrejsning kan der bindes kuldioxid.

### Kuldioxid

Skov har ikke bare stor landskabsmæssig og rekreativ værdi men også en række positive virkninger på miljøet. Øget skovrejsning vil ud over en gunstig virkning på vandmiljøet (beskeden udvaskning af kvælstof til vandløb og søer samt lille pesticidforbrug) også kunne have en gunstig virkning på det atmosfæriske miljø, fordi træer ved deres vækst binder CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. CO<sub>2</sub> oplagres herved og frigives først til atmosfæren, når træet nedbrydes. I 1997

udgjorde CO<sub>2</sub>-optaget fra nyplantet skov - det vil sige skov plantet efter 1990 - 30 kton ud af et totalt udslip i Danmark på i alt ca. 63.000 kton; det vil sige under 0.5 promille. Beregninger fra Landbohøjskolen og Skov- og Naturstyrelsen viser, at den planlagte skovrejsning over de næste 150 år vil opbygge et lager på ca. 350.000 kton CO<sub>2</sub>. Det svarer til, hvad Danmark i dag udleder på knap 6 år, så skovrejsningen alene vil altså ikke kunne løse CO<sub>2</sub>-problemet.

# Konventioner og handlingsplaner

## Internationale konventioner

*UNECE konventionen (Geneve-konventionen)*, også kaldet konventionen om langtransporteret, grænseoverskridende luftforurening, blev vedtaget i 1979, efter at blandt andet forsurening havde vist sig at være et miljøproblem. Konventionens hensigt er at beskytte miljøet mod forurening, eutrofiering og direkte effekter på planter, mennesker og dyr samt at afbøde skader på materialer.

Geneve-konventionen er en såkaldt rammekonvention. Den er med årene blevet udvidet til at omfatte i alt 7 protokoller, der bl.a. indeholder mål for nedsættelse af SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og NMVOC-udslippene. Danmark har bundet sig til at nedbringe SO<sub>2</sub>-emissionen med 80% i år 2000 i forhold til udslippet i 1980. Den generelle målsætning i protokollen er en stabilisering af NO<sub>x</sub>-udslippet i 1994 i forhold til 1978. Derudover har Danmark sammen med 12 andre lande frivilligt påtaget sig en målsætning med at reducere udslippet af NO<sub>x</sub> med 30% i 1998 i forhold til 1986. NMVOC-udslippet skal ligeledes være reduceret med 30% i 1999 med 1985 som basisår.

Konventionen griber nu - via to nye protokoller - også ind over for den stigende opbygning i miljøet af visse tungmetaller og svært nedbrydelige organiske forbindelser (POP'er). Således er der begrænsninger omkring produktion og brug af visse POP'er og forbud mod at fremstille og anvende andre. Udslippet af tungmetallerne cadmium, kviksølv og bly fra industrien, kraftvarmesektoren, transport og affaldsforbrænding søges også nedbragt i overensstemmelse med fremtidige grænseværdier.

*Brundtland kommissionens rapport "Vores fæl-*

*les fremtid"* fra 1987 gjorde begrebet bæredygtig udvikling almindeligt kendt. Rapportens konklusion var bl.a., at de industrialiserede lande burde halvere deres energiforbrug frem til år 2030. Energibesparelserne skulle give plads til et merforbrug i udviklingslandene, samtidigt med at miljø og ressourcer blev beskyttet. Som det blev udtrykt: den globale vækst skulle være bæredygtig. Dette var en af årsagerne til, at Rio-topmødet kom i stand. Mødet blev afholdt i 1992 og havde deltagelse af alle verdens statsledere. På mødet blev FN's klimakonvention, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), vedtaget.

*UNFCCC konventionens* formål er at bremse den globale opvarmning. I en protokol til konventionen, Kyoto-protokollen, blev det i 1997 vedtaget, at de industrialiserede lande skal nedbringe udslippene af de vigtigste drivhusgasser CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC og SF<sub>6</sub> med 1990 som basisår. Målet for nedsættelse er fastlagt til 5,2% udtrykt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter og skal gælde for et gennemsnit af alle i-landenes udslip i perioden 2008-2012.

EU-landene - og deriblandt Danmark - har skærpet deres målsætning til en samlet 8% reduktion i perioden. Det enkelte EU-lands reduktion bestemmes bl.a. af social og økonomisk formåen og øvrige karakteristika, for eksempel brugen af kul og olie i energiforsyningen. Målet er for Danmarks vedkommende en reduktion på 21%, under hensyntagen til el-udveksling med Norge og Sverige samt temperaturforhold i 1990.

Luftforureningen påvirker også havets miljøtilstand, der samlet søges beskyttet af Oslo/Paris- (OSPARCOM) og Helsingfors-

(HELCOM) konventionerne. OSPARCOM dækker det marine miljø i det Nordøst-atlantiske område, herunder Nordsøen, mens HELCOM beskytter Østersøen. Konventionerne, der blev vedtaget i 1970'erne, er siden blevet gradvist udvidet, og i al væsentlighed forbyder de nu dumpning og afbrænding af affald på havet. Det er bl.a. målet at formindske udslippet af næringsstoffer til farvandene fra vand og nedfald af luftforurening. Konventionerne indeholder også mål for begrænsningen af visse tungmetaller og POP'er.

## Danske handlingsplaner

I Danmark er der vedtaget handlingsplaner for miljøbeskyttelse på en lang række områder. De giver konkrete retningslinjer for, hvordan miljøet kan forbedres, for eksempel ved at udfase de mest forurenende teknologier eller produktionsmetoder og ved at tilskynde til brug af renere teknologi. Dette kan ske ved at indføre standarder, tilskud og afgifter, ved at indgå frivillige aftaler eller ved at vedtage love og regler, som giver mere præcise anvisninger for miljøvenlig brug.

En vigtig handlingsplan for Danmarks energiforsyning er *Energi-21*, hvis mål er at nedbringe CO<sub>2</sub>-udslippet med 20% i år 2005 i forhold til udslippet i 1988. De vigtigste virkemidler er indførelse af kraftvarme produktion også på mindre kraftværker, at bruge CO<sub>2</sub>-afgifter og tilskudsordninger som tilskynder til energibesparelser samt at vedtage en handlingsplan for brugen af naturgas, biomasse og anden vedvarende energi.

Energi-21 indeholder også en separat handlingsplan for transportsektoren, *Regeringens handlingsplan for reduktion af transportsektorens CO<sub>2</sub>-udslip*. Målsætningerne er for NO<sub>x</sub> og VOC en 40%'s nedsættelse inden år 2000 og for CO<sub>2</sub> en stabilisering regnet ud

fra 1988-niveauet. De vigtigste virkemidler er større energieffektivitet samt satsning på kollektiv transport.

Luftforurening knyttet til affald bliver reguleret i *Regeringens handlingsplan for affald og genanvendelse (Affald 21)*. Når mængden af organisk affald på lossepladserne reduceres, vil der også ske en reduktion i dannelsen og udslippet af CH<sub>4</sub>. Derudover kan lossepladsgas som brændsel i biogasanlæg erstatte fossile brændsler og dermed mindske det samlede udslip af CO<sub>2</sub>.

*Vandmiljøhandlingsplanen og Vandmiljøplan II* søger bl.a. at formindske landbrugets nitratforurening, men tiltagene har også en positiv virkning på NH<sub>3</sub>-udslippet. Bidraget til luften kan bl.a. gøres mindre ved hurtigere at sprede og nedpløje husdyrgødningen på markerne og ved at etablere flydelag eller lignende på gylletanke. Netop ved at nedbringe NH<sub>3</sub>-udslippet kan kravet om en øget anvendelse af husdyrgødning opfyldes i en anden handlingsplan, *Handlingsplanen for et bæredygtigt landbrug*. Udslippet kan nedbringes ved at minimere lager- og staldtab, ved at ændre på tidspunktet for udbringning, ved hurtig nedpløjning eller ved brug af slæbeslanger i voksende afgrøder.

Også industriens udslip af organiske opløsningsmidler søges begrænset gennem VOC-aftalen. Her er målet inden år 2000 at nedbringe NMVOC-udslippet fra visse sektorer med 40% i forhold til niveauet i 1988.

Handlingsplan rettet mod landbruget har en positiv virkning på NH<sub>3</sub>-udslippet.

**Manglende  
ophavsret  
til  
Internettet**



# Sammenfatning

## Opgørelser over udslip

Det første skridt i en systematisk undersøgelse af luftforurening og en tilrettelæggelse af en national bekæmpelsesstrategi er bestemmelse af udslippene af de luftforurenende stoffer. Siden 1994 har Danmarks Miljøundersøgelser bidraget med opgørelser til den europæiske database CORINAIR, der danner grundlag for officielle indberetninger til internationale organisationer. Den omfatter årlige opgørelser over de totale udslip af en række stoffer. Stoffer som svovldioxid ( $\text{SO}_2$ ), nitrogenoxider ( $\text{NO}_x$ ) og ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), der er ansvarlige for forsurening og eutrofiering, vil med vinden kunne spredes til områder over det meste af Europa.

Andre stoffer kan blive opblandet i hele jordens atmosfære. Det gælder for kuldioxid ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), og visse klorerede og fluorerede kulbrinter (HFC'er, PFC'er og  $\text{SF}_6$ ), der medvirker til den forøgelse af drivhuseffekten, som man frygter vil give globale klimaændringer.

Betydningen af langtransporteret luftforurening har medført, at det igennem internationalt samarbejde er blevet pålagt landene at mindske udslippene af de skadelige stoffer. Danmark er på denne måde forpligtet til at opfylde krav, der er formuleret i en række internationale konventioner heriblandt Genevekonventionen og Klimakonventionen. Som en opfølgning på dette arbejde er der vedtaget nationale handlingsplaner specielt rettet mod udslip fra de enkelte sektorer.

## Forsuring og overgødskning

Forsuring fra danske kilder skyldes  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  og  $\text{NH}_3$  med potentielle relative bi-

drag på henholdsvis 23%, 36% og 41%. Også hvad angår bidraget til den potentielle eutrofiering er  $\text{NH}_3$  den største kilde og udgør 53%.

Langt den største del af  $\text{SO}_2$ -udslippet (69%) skyldes anvendelse af fossile brændsler på kraft- og fjernvarmeværker. Som følge af anvendelse af brændsler med lavere indhold af svovl samt stigende anvendelse af afsvovlingsanlæg på de centrale værker, er det totale udslip siden 1980 faldet med næsten 75%. Det forventes, at Danmark kan leve op til den nationale forpligtelse til at reducere udslippet med næsten 80% inden udgangen af år 2000.

Vejtransport og anden transport bidrager med mere end 50% til  $\text{NO}_x$ -udslippene i Danmark og er dermed den største kilde til  $\text{NO}_x$ -forurening. Den anden store kilde, kraftværkerne, bidrager med 36%. I modsætning til  $\text{SO}_2$  ses der kun et mindre fald i  $\text{NO}_x$ -udslippet.

Næsten al den  $\text{NH}_3$  der tilføres atmosfæren, stammer fra landbruget. Hovedparten kommer fra husdyrgødning og en mindre del fra kunstgødning. En reduktion af udslippet inden for de seneste år er blandt andet et resultat af regeringens handlingsplan, der pålægger landbruget hurtigere nedpløjning af husdyrgødning på markerne og etablering af flydelag på gylletanke.

For de europæiske lande som helhed ses den samme udviklingstendens som for Danmark: Store fald i  $\text{SO}_2$ -udslippene og mindre fald i  $\text{NO}_x$ - og  $\text{NH}_3$ -udslippene. En ny kvælstofprotokol under Genevekonventionen vil omfatte reguleringen af de nationale udslip af  $\text{NH}_3$ , parallelt med

yderligere reduktioner i udslippene af  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  og NMVOC (øvrige flygtige organiske forbindelser).

## Fotokemisk luftforurening

Fotokemisk luftforurening opstår når  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$  og NMVOC reagerer under indvirkning af sollys og blandt andet danner ozon. De to største kilder til udslip af NMVOC er ufuldstændig forbrænding af benzin og diesel fra biler samt fordampning af opløsningsmidler. Skov er den tredje største kilde til NMVOC og bidrager med næsten 10%. Fra 1990 er der sket et fald i udslippene fra vejtrafik pga. stigende anvendelse af katalysatorer. Udslip af NMVOC fra industri viser ligeledes en faldende tendens. For Europa ses et mindre fald på 12% for de totale NMVOC-emissioner frem til 1994.

I 1999 skal det totale NMVOC-udslip være mindsket med 30% i forhold til 1985, hvis Danmark skal opfylde de internationale forpligtelser.

## Klimaændringer

Forøget drivhuseffekt skyldes mange forskellige stoffer. Omregnet til  $\text{CO}_2$ -ækvivalenter er de vigtigste for Danmark  $\text{CO}_2$  (74%),  $\text{CH}_4$  (15%) og  $\text{N}_2\text{O}$  (11%).

I Danmark bliver mere end 70% af det udsendte  $\text{CO}_2$  dannet ved forbrænding af kul, olie og naturgas på kraftværker, i beboelsejendomme og industri.  $\text{CO}_2$ -udslippet fra personbiler udgør under 10%, men har været støt stigende fra starten af 1980'erne og frem til 1997.

Siden 1989 har der været en klart stigende tendens i det totale  $\text{CO}_2$ -udslip. Danmark har som nationalt mål at mindske udledningen af  $\text{CO}_2$  (korrigeret) med 20% i 2005 i forhold til 1988-niveauet. Det har ført til regeringens handlingsplan – Energi 21 –

som blandt andet fastslår, at der skal gennemføres omfattende el- og varmebesparelser, og at der i stigende grad skal anvendes vedvarende energi og naturgas i stedet for kul og olie.

Landbrug er en stor kilde til såvel  $\text{CH}_4$ - som  $\text{N}_2\text{O}$ -udledning, men også naturlige kilder såsom moser, søer og drænvand bidrager væsentligt til udslippene. Fra starten af 1980'erne er udslippet af  $\text{CH}_4$  fra landbrug faldet med ca. 30%. Det skyldes især et faldende kvæghold og et forbud mod halmafbrænding. Under Kyoto-protokollen er Danmark forpligtet til at nedbringe udslippene af de vigtigste drivhusgasser med 21% i 2008-2012 under hensyntagen til eludveksling og temperatur i 1990.

Fra 1990-1994 er der sket et lille fald på 2-3% i det samlede europæiske udslip af  $\text{CO}_2$ , hvilket hovedsageligt skyldes en – formentlig kun foreløbig – tilbagegang i industri og økonomi i visse europæiske lande samt en omstrukturering af industrien i Tyskland. Globalt forventes en stigning i  $\text{CO}_2$ -udslippet med 36% fra 1993 til 2010.

## Nedbrydning af ozonlaget

De vigtigste ozonlagsnedbrydende stoffer, herunder CFC'er, er internationalt reguleret af Montrealprotokollen, der pålægger landene at udfase disse stoffer. En dansk handlingsplan har medført, at der inden for de sidste ti år er sket en næsten fuldstændig afvikling af brugen af de mest ozonlagsnedbrydende stoffer. Også internationalt har afviklingen været succesfuld. Siden 1987 er der sket et fald på mere end 70%.

Forbrænding af fossile brændsler er en stor kilde til luftforurening.



# Litteratur

---

Listen indeholder både litteratur, der er baggrundsmateriale for denne rapport, og forslag til supplerende læsning. Enkelte mere specielle referencer er angivet i teksten.

*CORINAIR (1996): Atmospheric Emission Inventory Guidebook. Det europæiske Miljøagentur, København.*

*Energistyrelsen (1997): Energistatistik korrigeret for klimaforskelle og import/eksport. Faktuel Nr. 3. Miljø- og Energiministeriet, København. 7 s.*  
(Internet: [www.mem.dk/faktuelt/indeks.htm](http://www.mem.dk/faktuelt/indeks.htm)).

*Fenger J., (1995): Ozon som luftforurening. Temarapport fra DMU nr. 3. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde. 48 s.*

*Fenger J., Tjell JC. (red.), (1994): Luftforurening. Polyteknisk Forlag, Lyngby. 479 s.*

*Holten-Andersen J., Christensen N., Kristiansen LW., Kristensen P., Emborg L. (red.), (1998): Natur og miljø 1997 - Påvirkninger og tilstand. Faglig rapport fra DMU nr. 224. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde. 288 s.*

*Jensen M., Gudmundsson H., Fenger J., Christensen L (1998): Bilisme og miljø - en svær balance. Temarapport fra DMU nr. 18. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde. 48 s.*

*Jol A., Kielland G., editors (1997): Air Pollution in Europe 1997. Det europæiske Miljøagentur, København. 107 s.*

*Miljø- og Energiministeriet (1995): Natur- og Miljøpolitisk Redegørelse 1999. Miljø- og Energiministeriet, København. 664 s.*

*Miljø- og Energiministeriet (1996): Energi 21. Miljø- og Energiministeriet, København. 76 s.*

*Miljø- og Energiministeriet (1999): Natur og Miljø 1998. Miljø- og Energiministeriet, København. 55 s.*

*Palmgren F., Berkowicz R., Jensen SS., Kemp K., (1997): Luftkvalitet i danske byer. Temarapport fra DMU nr. 16. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde. 63 s.*

*The World Resources Institute m.fl. (1998): World Resources 1998-99. A Guide to the Global Environment. Environmental Change and Human Health. Oxford University Press, Oxford. 369 s.*

*Vesselbo E. (red.), (1998): Miljøstatistik 1998. Danmarks Statistik, København. 235 s.*  
(Delvis baseret på miljøstatistikker i serien "Miljø", der udgives i Statistiske Efterretninger fra Danmarks Statistik).

*Winther M., Ekman B. (1998): Emissioner fra vejtrafikken i Danmark 1980-2010. Faglig rapport fra DMU, nr. 256. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde. 75 s.*

*Winther M., Illerup J., Fenhann J., Kilde NA. (1999): The Danish Corinair inventories - Timeseries 1975-1996 of Emissions to the Atmosphere. Faglig rapport fra DMU, nr. 287. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde. 83 s.*

Danmarks Miljøundersøgelser er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelse kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

## **Danmarks Miljøundersøgelser**

Postboks 358  
Frederiksborgvej 399  
4000 Roskilde  
Tlf. 4630□1200  
Fax 4630□114

*Direktion*

*Personale- og Økonomisekretariat*  
*Forskning- og udviklingssektion*  
*Afd. for Systemanalyse*  
*Afd. for Atmosfærisk Miljø*  
*Afd. for Miljøkemi*  
*Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi*

## **Danmarks Miljøundersøgelser**

Postboks 314  
Vejløvej 25  
8600 Silkeborg  
Tlf. 8920□1400  
Fax 8920□1414

*Afd. for Terrestrisk Økologi*  
*Afd. for Sø- og Fjordøkologi*  
*Afd. for Vandløbsøkologi*

## **Danmarks Miljøundersøgelser**

Grenåvej 12, Kalø  
8410 Rønde  
Tlf. 8920□1700  
Fax 8920□1514

*Afd. for Landskabsøkologi*  
*Afd. for Kystzoneøkologi*

## **Danmarks Miljøundersøgelser**

Tagensvej 135, 4. sal  
2200 København N  
Tlf. 3582□1415  
Fax 3582□1420

*Afd. for Arktisk Miljø*

### **DMU rapporter:**

*Tema-rapporter, faglige rapporter, arbejdsrapporter, tekniske anvisninger, årsberetninger samt et kvartalsvis nyhedsbrev, DMU Nyt. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web. I årsberetningen findes en oversigt over årets publikationer. Årsberetning og DMU Nyt fås gratis ved henvendelse på telefon 4630 1200.*

# Tidligere Temarapporter fra DMU



- 1/1994 Kvælstof tilførsel til Limfjorden,  
*Brian Kronvang m.fl., 16 sider, kr. 50,-.*
- 2/1994 Luftforurening i danske byer,  
*Kåre Kemp og Finn Palmgren, 42 sider, kr. 50,-.*
- 3/1995 Ozon som luftforurening,  
*Jes Fenger, 48 sider, kr. 80,-.*
- 4/1996 Tungmetaller i danske jorder,  
*John Jensen m.fl., 48 sider, kr. 80,-.*
- 5/1996 Forureningsbekæmpelse med mikroorganismer  
*Ulrich Karlson m.fl., 32 sider, kr. 30,-.*
- 6/1996 Status og jagttider for danske vildtarter  
*Jesper Madsen m.fl., 112 sider, kr. 110,-.*
- 7/1996 Naturens tålegrenser for luftforurening  
*Morten Strandbjerg og Lisbeth Mortensen, 40 sider, Kr. 60,-.*
- 8/1996 Anskydning af vildt  
*Henning Noer m.fl., 52 sider, Kr. 80,-.*
- 9/1996 Kvælstofbelastning af havmiljøet  
*Henrik Paaby og Flemming Møhlenberg, 40 sider, Kr. 60,-.*
- 10/1996 Havets usynlige liv  
*Åke Hagström m.fl., 33 sider, Kr. 50,-.*
- 11/1997 En atmosfære med voksende problemer..., luftforureningens historie  
*Jes Fenger, 64 sider, Kr. 90,-.*
- 12/1997 Reservatnetværk for vandfugle  
*Preben Clausen m.fl., 52 sider, kr. 80,-.*
- 13/1997 Næringsstoffer – arealanvendelse og naturgenopretning  
*Brian Kronvang m.fl., 40 sider, kr. 60,-.*
- 14/1997 Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktion – muligheder og risici  
*Niels Bohse Hendriksen m.fl., 28 sider, kr. 40,-.*
- 15/1997 Kemikalier i hverdagen  
*Suresh C. Rastogi m.fl., 40 sider, kr. 60,-.*
- 16/1997 Luftkvalitet i danske byer  
*Finn Palmgren m.fl., 64 sider, kr. 90,-.*
- 17/1998 Olieeftersforskning og miljø i Vestgrønland  
*David Boertmann m.fl., 56 sider, kr. 80,-.*
- 18/1998 Bilisme og miljø – en svær balance  
*Mette Jensen m.fl., 48 sider, kr. 60,-.*
- 19/1998 Kemiske stoffer i landbruget  
*John Jensen m.fl., 32 sider, kr. 40,-.*
- 20/1998 Naturen og landbruget  
*Rasmus Ejrnæs m.fl., 76 sider, kr. 100,-.*
- 21/1998 Skov og skovvandløb  
*Nikolai Friberg, 32 sider, kr. 40,-.*
- 22/1998 Hvordan står det til med naturen?  
*Michael Stoltze, 76 sider, kr. 100,-.*
- 23/1998 Gensplejede planter  
*Christian Damgaard m.fl., 40 sider, kr. 60,-.*
- 24/1999 Danske søer og deres restaurering  
*Martin Søndergaard m.fl., 36 sider, kr. 50,-.*
- 25/1999 Tropisk diversitet - skov og mennesker i Ecuador  
*Flemming Skov, m.fl., 56 sider, kr. 80,-.*
- 26/1999 Bekæmpelsesmidler - anvendelse og spredning i miljøet  
*Bety Bügel Mogensen m.fl. 48 sider, kr. 60,-.*
- 27/1999 Giftige alger og algeopblomstringer  
*Hanne Kaas, m.fl. 64, kr. 80,-.*
- 28/1999 Dyreplankton i danske farvande  
*Torkel Gissel Nielsen, m.fl. 64 sider, kr. 80,-.*

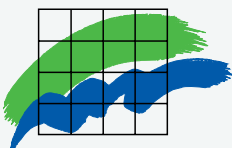
De enkelte hæfter i serien beskriver resultaterne af DMU's forskning inden for et afgrænset område. Rapporterne er skrevet på letforståeligt dansk og henvender sig til alle, der er interesseret i miljø og natur. Serien er udformet, så den kan bruges i undervisningen i folkeskolens ældste klasser og i gymnasiet.



Forurening af atmosfæren har en lang række veldokumenterede, uønskede virkninger - fra regionale effekter som forsuring, hvor effekterne udspiller sig over en forholdsvis kort årrække, til globale effekter, der over nogle hundrede år måske kan medføre ændrede betingelser for mennesker og natur på hele kloden.

Det første skridt i en systematisk undersøgelse af luftforurening og tilrettelæggelse af en national bekæmpelsesstrategi er bestemmelse af udslippene af de luftforurenende stoffer. Siden 1994 har Danmarks Miljøundersøgelser bidraget med opgørelser, der danner grundlag for officielle indberetninger til internationale organisationer. Disse omfatter årlige opgørelser over de totale udslip af en række stoffer, der blandt andet bidrager til forsuring og eutrofiering (svovldioxid, nitrogenoxider og ammoniak) samt øget drivhuseffekt (kuldioxid, metan, lattergas og visse klorerede og fluorerede kulbrinter). De årlige opgørelser af udslippene giver et overblik over udviklingen i udslippene af de luftforurenende stoffer fra forskellige sektorer.

*Omslagsfoto: Biofoto/Erik Thomsen*



Miljø- og Energiministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser

