

Luftkvalitet i danske byer

Finn Palmgren
Ruwim Berkowicz
Steen Solvang Jensen
Kåre Kemp

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
1997

TEMA-rapport fra DMU, 16/1997
Luftkvalitet i danske byer

Forfattere: Finn Palmgren, Ruwim Berkowicz,
Steen Solvang Jensen og Kåre Kemp
Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Atmosfærisk Miljø
URL: <http://www.dmu.dk>
Udgiver: Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser
Udgivelsestidspunkt: December 1997

Layout, illustrationer og produktion: ArtGrafik
Tryk: Scanprint as, Århus, ISO 9002 kvalitetsgodkendt,
Svanemærkegodkendt,
ISO 14001 Miljøcertificeret og ENMAS Miljøregistreret
Trykt på Cyclus Print, 100% genbrugspapir med vegetabiliske
miljøvenlige trykfarver uden opløsningsmidler.
Omslag lakeret med vegetabilisk lak

Denne publikation er Svanemærket



Sidetal: 64
Oplag: 1500

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
ISSN: 0909-8704
ISBN: 87-7772-363-5

Pris kr. 90,- sæt á 10 stk kr. 450,-
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. 46 30 12 00
Fax 46 30 11 14

Miljøbutikken
Information og bøger
Læderstræde 1
1201 København K
Tlf. 33 92 76 92 (Information)
Tlf. 33 37 92 92 (Bøger)

Indhold

Forord	5
Oversigt	
Luftforurening i byer	6
Eksposering	8
Luftforurening	
Luftforureningens spredning og kemi	10
Gadeluftforurening	12
Kemi og partikler	14
Sundhedsskadelige effekter	
Hvor farlig er luftforurening?	16
Sundhedsvurdering	18
Grænseværdier	20
Måleresultater	
Luftkvalitetsmålinger i byer	24
Årsresultater og grænseværdier	26
Smogvarsling - episoder	28
Udvikling	30
Luftforurening og meteorologi	32
NO _x - ozon kemi	34
Diverse stoffer	36
Luftforurening i andre lande	38
Modelberegninger	
Luftforureningsmodeller	40
Eksposering	
Hvad bestemmer eksposeringen?	42
Hvem er især eksponeret?	44
Hvordan vurderes eksposeringen?	46
Tiltag	
Muligheder for forbedring af luftkvaliteten	48
Sammenfatning	53
Litteratur	56
Ordlister og definitioner	58
Danmarks Miljøundersøgelser	62
Tidligere Tamarapporter	63

Fra DMU's hjemmeside på Internettet. Kortet viser de byer, der deltager i det Landsdækkende Luftkvalitetsmåleprogram (LMP). Tidligere har Næstved, Fredericia, Esbjerg, Århus og Randers deltaget i perioder. Kortet viser endvidere målesteder i DMU's måleprogram i baggrundsområder.

Department of Atmospheric Environment / Afdeling for Atmosfærisk Miljø

Air quality monitoring

The National Environmental Research Institute (NERI) is responsible for the two nation-wide

- The urban network (LMP)
- The background network (BOP)

Results from the networks

- Recent ozone concentrations
The data are usually updated every workday
- Overviews of quality assured results from a three month period (Danish)
The data are updated when new results have passed quality assurance
- Annual statistics, trends

Gases and particles

Measuring program (click on the map to obtain network and site information (Dietzsche or equivalent))

Station id	location	type	CO	NO _x	SO ₂	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}	Precip
Averaging time			1h	24h	1h	24h	24h	24h	24h	
8151	Aalborg	kerb-side	x	x	x	x	x	x	x	
8159	Aalborg	roof								
2090	Lille Valby	rural	x	x	x	x	x	x	x	
1257	Copenhagen	kerb-side	x	x	x	x	x	x	x	
1259	Copenhagen	kerb-side	x	x	x	x	x	x	x	
9155	Copenhagen	kerb-side	x	x	x	x	x	x	x	
9129	Odense	roof								
9055	Keldsnor	coast	x	x						
6001	Keldsnor	coast								
7001	Lindø	forest	x	x						
6903	Lindø	rural								
2002	Århus	forest								
4001	Lindø	farmland								
9055	Keldsnor	coast								
9020-22	Federikse	coast								

Forord

Luftforurening giver anledning til adskillige negative effekter på mennesker, miljø, materialer og klima. Vi hører ofte at luftforureningen er voldsomt stigende og at byernes befolkninger er ved at blive kvalt af luftforurening. Er det rigtigt og hvad betyder luftforurening for danske byers indbyggere?

De fleste kilder til luftforurening findes i byerne. De bidrager til luftforurening på alle skalaer fra helt lokalt i en gade, omkring industrier m.v., over den regionale forurening og eutrofiering til globale effekter ved udsendelse af drivhusgasser og ozon-nedbrydende stoffer.

Vi bor, arbejder og færdes især i byerne tæt ved kilderne til luftforurening. Her bliver vi, såvel som bygninger og kulturgenstande, udsat for den største luftforurening. Ozonforureningen er dog højest udenfor byerne.

Denne TEMA-rapport sætter fokus på de danske byers luftforurening i de seneste 10-15 år og den forventede udvikling i de kommende år.

Vi har undersøgt luftforureningen i danske byer systematisk siden begyndelsen af 1980'erne, hvor det første Landsdækkende Luftkvalitetsmåleprogram (LMP) startede i et samarbejde mellem Miljøstyrelsen, Danmarks Miljøundersøgelser og en række kommuner og amter. Med 5-6 års mellemrum er måleprogrammet blevet revideret, med indragelse af andre byer og nye typer af luftforurening. Resultater fra måleprogrammerne er rapporteret løbende i detaljerede årsrapporter, samt i TEMA-rapport nr. 2, der gav en mere populær beskrivelse af luftforureningen i danske byer frem til begyndelsen af 1990'erne. Data rapporteres i øvrigt kvartalsvis og helt aktuelt på Internettet.

Denne TEMA-rapport giver en ajourført oversigt over luftforureningen i danske byer og sætter den i relation til kilder, befolkningseksposering og sundhedseffekter.

På side 58 findes ordliste og definitioner.

På DMU's hjemmeside findes bl.a. informationer om luftforurening. Hovedadressen for data om luftforurening er:

(<http://www.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/netw.htm>).

På forskellige underadresser findes:

- Sammendrag af årsrapporter
- Kvartalsrapporter
- Aktuelle data fra udvalgte målestationer
- Henvisninger til relevante adresser.

Luftforurening i byer

Effekterne af luftforurening kan opfattes som det sidste led i en kæde af begivenheder: Emission, luftkvalitet, eksponering, dosis og effekt. Det gælder såvel sundhedseffekter som effekter på materialer m.m.

Luftforurening skyldes primært menneskeskabte kilder, men naturlige kilder kan i visse tilfælde bidrage, f.eks. vulkaner og vegetation.

I byområder er menneskeskabte kilder helt dominerende. I denne rapport vil vi især behandle lokal luftforurening og lægge hovedvægten på sundhedseffekter. Byen som forureningskilde har også betydning for drivhuseffekt (CO₂), eutrofiering og forsuring, men det vil ikke blive behandlet her, der henvises til andre TEMA-rapporter.

Luftforureningskilder

De væsentligste kilder til luftforurening i byer er trafik, rumopvarmning, industri

og elproduktion. Trafikken er den dominerende kilde. I gaderum kan op til 90 % stamme fra trafikken.

Luftkvalitet

Stoffernes spredning i atmosfæren er bestemt af de meteorologiske forhold, især vind og solopvarmning. Byernes huse begrænser spredningen. Det betyder, at forureningen er højere i gaderum, men lavere bag husrækkerne, i gårde, haver og parker.

Transport af luftforurening, f. eks. fra Central- og Østeuropa kan til tider betyde en del for luftkvaliteten i danske byer. Det gælder især ozon, men også andre stoffer kan have betydning i danske byer.

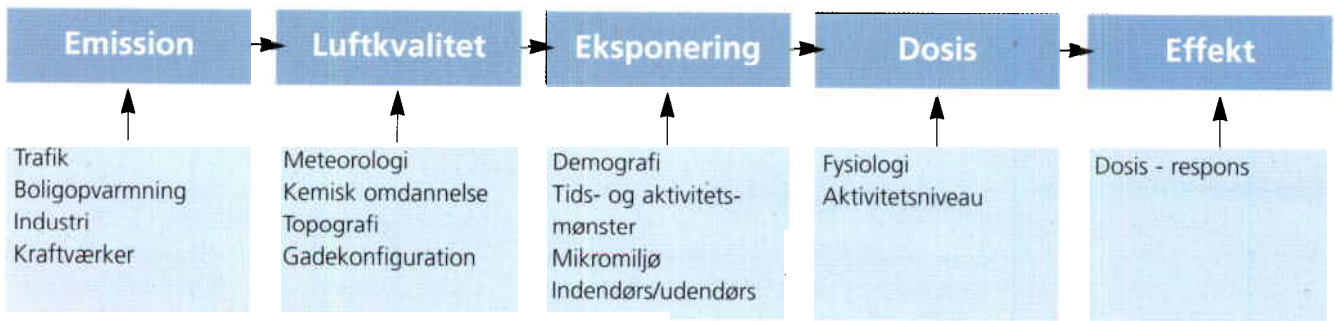
Luftkvalitetsmålinger

Vi måler løbende luftforureningen med elektroniske/optiske apparater. De registrerer koncentrationen af stofferne ved hjælp af fysiske/kemiske metoder. Eksempler er: Absorption af lys, emission af lys ved kemiske reaktioner (chemiluminescens) eller belysning (fluorescens), elektrokemiske egenskaber, absorption af radioaktiv stråling. Nyere metoder benytter sig bl.a. af lysabsorption i en lysstråle i udeluft. Alle disse metoder giver mulighed for on-line registrering af luftforureningen og aktuel offentliggørelse af resultater på f.eks. Internettet og tekst-TV.

En række målemetoder er baseret på indsamling af prøver af gas eller partikler, som efterfølgende analyseres i laboratoriet. Indsamlingen kan ske enten aktivt ved at man suger luft gennem et filter

Stoffer, som traditionelt har indgået i luftforureningsvurderinger, og de tilhørende kildegrupper. Andre stoffer kan også, som det fremgår af senere kapitler, være mere kritiske.

Stoffer	Kilder eller oprindelse
Partikler	Trafik, især dieslbiler Ophvirvlet fra gader og byggerier Industri Havsprøjt
PAH på partikler	Brændeovne Trafik, især dieslbiler
NO ₂	Benzin- og dieslbiler Store fyringsanlæg og kraftværker Sekundær forurening
O ₃	Sekundær forurening
SO ₂	Kul- og oliefyrede anlæg
Bly	Benzinbiler (blyholdig benzin)
Benzen	Benzinbiler
CO	Benzinbiler



eller en væske eller passivt ved at den pågældende forurening afsættes på en absorberende overflade.

Af tekniske og ressourcemæssige grunde er det ikke muligt at måle alle steder i et byområde. Derfor vælger man måle-

punkter, som kan beskrive luftforureningen for et stort område, eller som repræsenterer mange tilsvarende steder, f.eks. gader. Dette giver en generel beskrivelse af luftforureningen og dens udvikling i danske byer ved hjælp af relativt få målestationer.

Illustration af kilde-effekt kæden for luftforurening og de faktorer, som påvirker hvert af ledene i kæden.



Målestationen på Albanigade i Odense indgår i det Landsdækkende Luftkvalitetsmåleprogram LMP III. Det er en typisk gademålestation. I målehuset findes automatisk måleudstyr, der via telefonnettet løbende sender data til DMU's databaser.

Luftkvalitetsmodeller

Luftforureningen kan beskrives detaljeret ved hjælp af modeller for spredning og omdannelse af de forurenende stoffer.

Modellerne udvikles og kontrolleres ved hjælp af målinger. Modellerne kan derefter anvendes til at bestemme forureningen på steder, hvor der ikke er målt. De kan også bruges til at beregne konsekvenser af ændringer i kilderne, f. eks. reduktion af emissionen fra bestemte kilder.

Ved at kombinere modelberegninger af luftkvaliteten med oplysninger om hvor længe folk opholder sig forskellige steder kan befolkningens eksposering med luftforurening beregnes.

Befolkningens eksposering og dosis

Eksposering udtrykkes ved koncentrationen og den tid vi er udsat for luftforureningen. Dosis er den mængde luftforurening, som vi indånder og optager i kroppen.

I hvile indånder vi ca. 15 liter luft pr. minut, men ved øget fysisk aktivitet stiger dette, til f.eks. omkring det tre dobbelte ved cykling. Med indåndingsluften modtager vi luftforureningen døgnet rundt udendørs såvel som indendørs. En cykeltur i stærkt trafikerede gader i kortere tid kan give anledning til lige så stor dosis som hele resten af dagen i renere omgivelser.

Vi tilbringer størstedelen af vores tid indendørs i boliger, og på arbejde. Ved naturlig eller mekanisk ventilation ud-

skiftes luften med udeluft, som kan indeholde forurening. Indendørs er der imidlertid også andre kilder til luftforurening i arbejdsmiljøet eller husholdningen (gaskomfurer, tobaksrygning, brændeovne, støv m.v.). Ved vurdering af sundhedsskader må der tages hensyn til den samlede eksposering.

Sundhedsskadelige effekter

Sundhedsskader kan skyldes kortvarige påvirkninger af høje koncentrationer, hvilket fører til akutte sygdomme, f.eks. astmaanfald. Der kan endvidere være tale om langtidspåvirkninger, der fører til kroniske sygdomme, f. eks. kræft eller bronkitis.

Rapportens opbygning

Vi har valgt ikke at følge systematikken i kilde-effektkæden for luftforurening direkte. For at give læseren bedre muligheder for at forstå de følgende afsnit har vi valgt at indlede med en gennem-

gang af de fysik/kemiske processer, der er væsentlige for at forstå luftforureningens spredning og forekomst. Derefter følger et afsnit om sundhedsskadelige effekter, der leder frem til grænseværdier for luftforurening.

I de følgende afsnit giver vi oversigter over målte og beregnede forekomster af luftforurening. Dette følges op af afsnit om befolkningens eksponering.

Til slut giver vi en gennemgang af de vigtigste vedtagne og evt. kommende tiltag til reduktion af luftforureningen i danske byer.

Cykeltrafik nedsætter luftforureningen, hvis den erstatter transport med bil, bus, motorcykler eller knallerter, men det er ikke altid godt for cyklisterne at køre i trafikerede gader. (Foto: Sonja Iskov, 2.maj)

Luftforureningens spredning og kemi

Forskellige kilder, forskellige processer

Lidt forenklet, kan man sige, at luftforureningen er bestemt af:

- kilderne, som udsender forurening til luften,
- de meteorologiske forhold, som fører til spredning og transport af forureningen, og
- kemiske processer, der fører til omdannelse til andre stoffer, som kan være mere eller mindre farlige end de oprindelige.

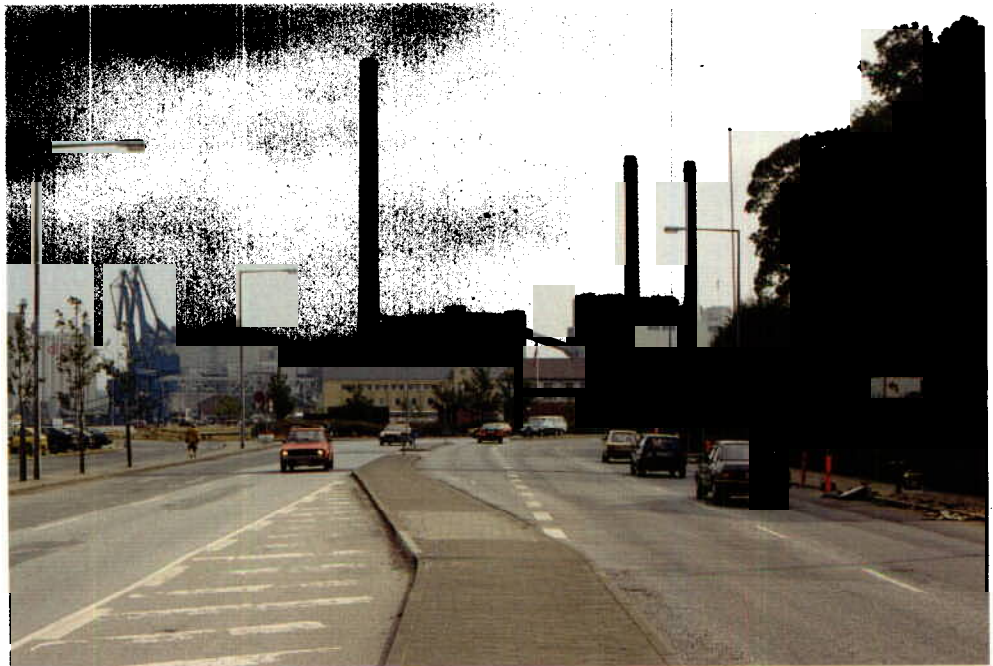
Desuden kan forureningen fjernes fra luften ved, at den tør-deponeres på forskellige overflader (jord, træer, afgrøder, bygninger, hav og søer) eller bliver "vasket ud" med regn, d.v.s. våd-deponeres.

Betragtes luftforurening på meget stor geografisk skala, som f.eks. hele jordkloden, er det mængden af de udsendte forurenende stoffer, som er mest afgørende. Gode eksempler er "drivhuseffekt" og "ozonhuler". For disse effekter er det af mindre betydning om forureningen bliver udsendt i Danmark eller i Sydtyskland. Meteorologiske forhold er heller ikke så vigtige for disse processer. Ser man på, hvordan forureningen fra et land påvirker forholdene i et andet land, d.v.s. den såkaldte grænseoverskridende luftforurening, er transport med vinden, samt kemiske omdannelser og fjernelsesprocesser af stor betydning.

Byernes forurening

Luftforurening i en by afhænger af mange forskellige kilder. De processer, som

Røgen fra høje skorstene spredes effektivt så den ikke påvirker de nære omgivelser. Luftforureningen fra vejtrafikken emitteres tæt på befolkningen og giver derfor de største lokale gener. (Foto Jes Fenger, DMU)



bestemmer forureningens niveau, kan være meget komplicerede og ikke mindst, variere efter kildetyper. Overordnet taler man om

- høje kilder, og
- lave kilder.

Høje kilder er f.eks. industrivirksomheder, kraftværker og fjernvarmeverker med høje skorstene. Forureningen fra høje kilder giver kun sjældent anledning til høje koncentrationer i de lokale omgivelser, fordi den hurtigt fortyndes med ren luft. Røgfanen fra kraftværker og industrivirksomheder er som regel, betydeligt varmere end den omgivende luft. Det resulterer i, at den varme og derfor lette luft, hurtigt stiger til vejrs og bliver transporteret over store afstande uden at give anledning til høje koncentrationer ved jordoverfladen.

I nærheden af de høje kilder er befolkningen derfor normalt ikke udsat for høje forureningsniveauer. Udslip fra de høje kilder kan derimod medføre andre effekter, såsom forsuring og eutrofiering af jord-, sø- eller havområder. Helt anderledes forholder det sig med den forurening, som udsendes fra lave kilder. Lave kilder er f.eks. biltrafik og lokal boligopvarmning. For disse kilder gælder det, at befolkningen i byer bliver udsat for forureningen, før den bliver fortyndet.

I byer beskriver vi luftforurening ved bybaggrunds- og gadeforurening. Bybaggrundsforureningen er de koncentrationsniveauer, som råder over byens tage eller i åbne områder uden betydelige kilder (parker m.v.). Gadeforureningen er de niveauer, som findes i gaderummet.

Bybaggrund

Byens baggrundsforurening afhænger af bidrag fra samtlige kilder i byen og af

den forurening, som kommer til byen udefra (den såkaldte fjerntransport). Mange kildetyper er involveret, og afhængigheden af de meteorologiske forhold kan derfor være meget kompleks. Forurening fra trafikken domineres af bidraget fra den lokale trafik.

Spredningen af disse forureninger er meget afhængig af vindhastigheden, og de højeste niveauer forekommer ved lave vindhastigheder. Desuden har to andre faktorer betydning for baggrundsniveauet:

- emissionstæthed (dvs. trafiktætheden), og
- byens udstrækning.

På grund af forureningens fortynding aftager kildernes betydning hurtigt med afstanden. De nærmeste kilder bidrager mere end de fjernere kilder. Derfor ser man ofte at baggrunds niveauer i bycentrum i mindre byer ikke er meget forskellig fra niveauerne i centrum af større byer, hvis blot trafiktætheden i disse byområder er sammenlignelig. Emissionstætheden betyder altså mere end udslippet ud over byområdet.

At der forekommer større forskelle i forureningsniveauer mellem store europæiske byer, skyldes primært forskelle i de dominerende meteorologiske forhold. En sammenligning mellem forureningsniveauer i København og Milano viste, at niveauerne i de to byer var omtrent ens ved de samme vindhastigheder. De generelt højere niveauer i Milano skyldes, at lave vindhastigheder forekommer langt hyppigere i Milano end i København. Omtrent den samme trafikmængde giver altså anledning til betydeligt dårligere luftkvalitet i byer med ugunstige vejrforhold end i byer som København, hvor vinden oftest fører til en effektiv fortynding af forureningen.

Gadeluftforurening

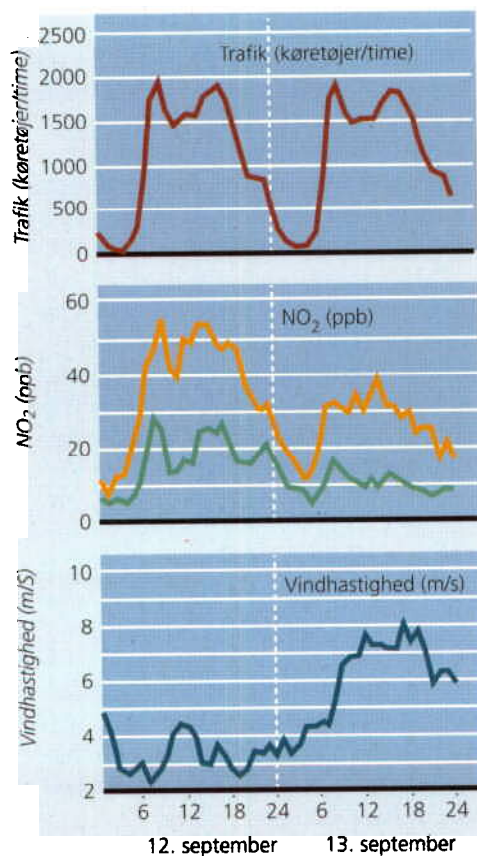
Meteorologi og forurening i gader

Emissionen fra trafikken ændrer sig som regel ganske lidt fra dag til dag, hvori- mod luftforureningsniveauerne kan være meget forskellige. Dette hænger sammen med de meteorologiske forhold. Jo mere blæst, desto bedre fortynding og dermed renere luft. De alvorligste forureningssituationer forekommer derfor i stille vejr. Fortyndingen er i disse situationer dårlig og forureningen ophobes praktisk talt, der hvor den udsendes.

Trafikken har en fast døgnrytme på alle normale hverdage.

Luftforureningen varierer dog meget fra dag til dag, som vist her for NO₂ på Jagtvej (den gule kurve) og på taget af H.C. Ørsted Instituttet (den grønne).

Lav vindhastighed den 12. september gav højere luftforurening end høj vindhastighed den 13. september.



Specielle forhold gør sig gældende i lukkede gaderum (de såkaldte gadekløfter eller "street-canyons") med meget trafik. Fortyndingen af udstødningssgasser fra bilerne bliver her kraftigt reduceret, fordi udskiftningen af luften i gaden begrænses af bygningerne langs gaden.

De specielle luftstrømme i gader og omkring bygninger kan resultere i meget forskellige koncentrationer på forskellige steder i gaden. Hvis vinden f.eks. blæser på tværs af gaden, kan der være betydeligt højere (op til 5-6 gange) forureningsniveau i læsiden af gaden end i vindsiden. I nærheden af et gadekryds, eller ved enkeltstående bygninger, kan der forekomme store koncentrationsforskelle over afstande på ganske få meter.

Selvom forureningsniveauerne kan være høje i en stærkt trafikeret gade, aftager de hurtigt med afstanden fra gaden. Bag bygningerne i en gade med 20 m høje huse vil forureningen fra gaden være fortyndet 5-6 gange i forhold til i gaden. Forureningsniveauet i en baggård vil derfor ofte kun være lidt højere end baggrundsniveauet.

Ved åbne vejstrækninger er forureningen som regel lavere end i lukkede gaderum. Dels er der mere blæst, da der ikke er læ fra bygninger m.v., og dels bliver den forurenede luft hurtigt transporteret væk fra vejen og ikke recirkuleret som i lukkede gaderum.

Når vinden blæser på tværs af en åben vejstrækning, finder man de højeste koncentrationer ved vejkanten, nedstrøms i vindens retning. Derefter vil forureningen aftage gradvist, efterhånden som den blandes med renere baggrundsluft.

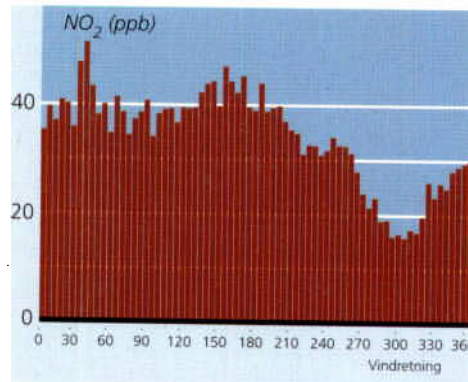
Typisk vil man opleve, at i en afstand af 50 m fra vejkannten, vil luftforureningsniveauerne være ca. det halve af hvad de er ved vejkannten. I en afstand af omkring 200 m, vil koncentrationen sjældent være mærkbart højere end baggrunds niveauet.

Trafikken kan også fortynde forurening

De værste forureningsepisoder i bygader forekommer ved lave vindhastigheder, når luften står næsten stille. I sådanne situationer betyder bilernes bidrag til omrøring af luften meget. Vi taler her om den såkaldte trafikskabte turbulens. Jo større bilernes hastighed er i en gade, desto hurtigere bliver udstødningsgasserne blandet med den renere omgivende luft, og det resulterer i lavere koncentrationer i gaden. Etablering af hastighedsdæmpende foranstaltninger ved miljøtilpasset eller miljøprioriteret gennemkørsel reducerer trafikens hastighed. Dette bevirker en lille stigning i emissionen af en række stoffer (f.eks. CO og kulbrinter), når motoren anvender brændstoffet mindre effektivt ved kørsel med lavere og mere ujævn hastighed. Samtidig reduceres den trafikskabte turbulens, således at den resulterende luftforurening bliver højere.

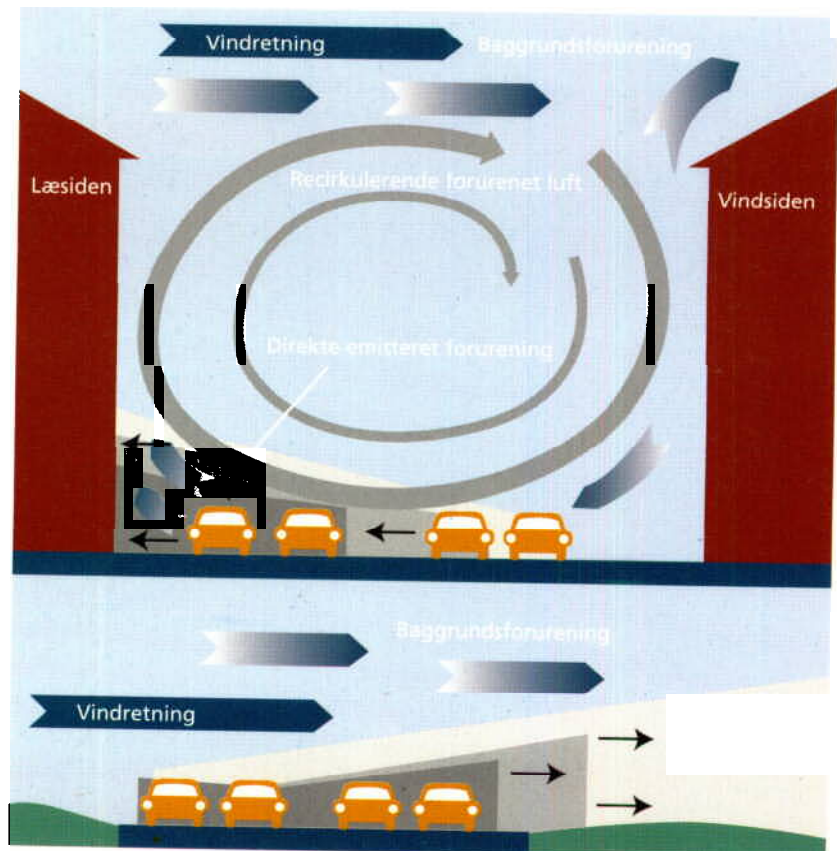
Samlet er der ved uændret trafikmængde således tale om en mindre negativ effekt for luftforureningen. Endvidere er der selvfølgelig mange andre gode grunde til at tilstræbe en reduceret trafikhastighed, bl.a. højere trafikikkerhed, mindsket støj og mindre barriereeffekt.

Luftforureningen fra en åben vejstrækning bliver væsentligt spredt. Fortyndingen vokser med afstanden fra vejen, og få hundrede meter fra vejkannten er luftforureningen tæt på baggrunds niveauet.



Gennemsnit af målt NO₂ på Jagtvej ved forskellige vindretninger. Når vinden er fra vest (omkring 300 grader, d.v.s. vinkelret på gaden), måles væsentligt lavere koncentrationer, end når vinden er fra øst. Målestationen ligger i læ, når vinden er fra øst.

I et lukket gaderum bliver bilernes udstødningsgasser fanget af hvirvler, som dannes, når vinden blæser på tværs af gaden. Forureningen bliver ført direkte mod læsiden af gaden. Koncentrationen på læsiden af gaden er derfor betydeligt højere end på vindsiden. Bag husene vil man kun måle den luftforurening, som er undsluppet fra gaden, og som er stærkt fortyndet.



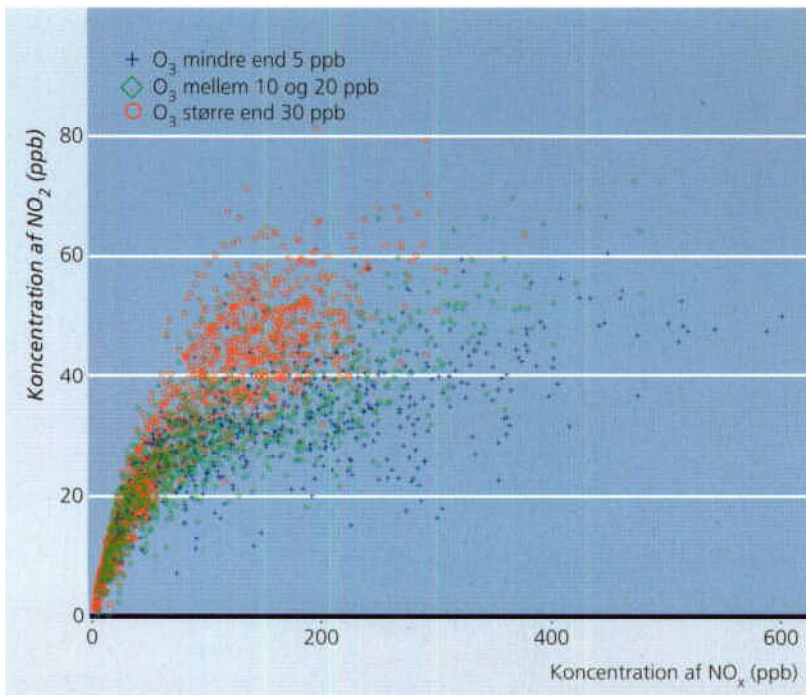
Kemi og partikler

Kemiske processer

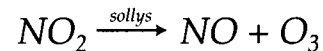
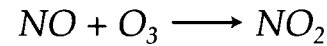
Når forureningen transporteres over store afstande, hvor transporttiden regnes i timer til dage, sker der mange kemiske processer. Svovldioxid omdannes til svovlsyre, som igen reagerer f.eks. med ammoniak og danner ammoniumsulfat. Kvælstofoxider omdannes til salpetersyre, som ved reaktion med ammoniak danner ammoniumnitrat.

En række kemiske processer, hvori indgår kvælstofoxider og kulbrinter, foregår under påvirkning af sollys (fotokemiske processer). De fleste af disse processer er dog relativt langsomme. De foregår i en tidsskala på timer eller dage og har derfor mest betydning for den luft, som kommer til byen udefra.

Figuren viser samtidigt målte værdier af NO₂- og NO_x-koncentrationer på LMP-målestationen på Jagtvej. Målingerne er opdelt i tre grupper, svarende til ozonkoncentrationen målt på tag-stationen på HC. Ørsted Institutet. Når ozonkoncentrationen er høj, måles der væsentligt højere NO₂-koncentrationer end når ozonkoncentrationen er lav.



Forureningen, som emitteres i danske byområder, og som kan genfindes der, er sjældent mere end én time gammel. Luftens opholdstid i gaderummet er sekunder til minutter. Der er derfor kun få kemiske processer, som er relevante for lokal luftforurening i danske byer. Bilerne udstødningsgasser indeholder bl.a. en blanding af kvælstofoxider, som hovedsageligt består af NO og nogle få procent NO₂. Summen af NO og NO₂ betegnes NO_x. Forholdet mellem NO₂ og NO_x-koncentrationerne i luften er som regel betydeligt højere end i udstødningsgasserne. Det skyldes, at luften indeholder ozon (O₃), som hurtigt reagerer med NO, hvorved der dannes NO₂. NO₂ nedbrydes af sollys ved såkaldt fotolyse. Dette kan let forenklet skrives som



Mængden af NO₂ i luften er således i høj grad afhængig af tilstedeværelsen af ozon. Da koncentrationen af NO i trafikerede gader, som regel er betydeligt højere end koncentrationen af ozon i luften, bestemmes koncentrationen af NO₂ af koncentrationen af ozon. NO_x-koncentrationen, som er upåvirket af ozonkoncentrationen, varierer i takt med trafikintensiteten. NO₂-koncentrationen varierer derimod meget mindre.

Ozon er i sig selv en sundhedsskadelig forurening. Den er et resultat af en række atmosfærekemiske processer (se i øvrigt TEMA-rapport nr. 3). Ozon findes i større mængder i den øverste del af atmosfæren, kaldt stratosfæren. Her virker den beskyttende mod det skadelige ultraviolette lys. I de seneste år har man hørt meget

om den menneskeskabte forurening nedbrydning af ozon i stratosfæren og deraf følgende skader på livet på Jorden. I den nederste del af atmosfæren, troposfæren, bestemmes ozonen i det væsentligste af processer, hvor der indgår kvælstofoxider og kulbrinter. Disse stammer for en stor del fra biltrafikken.

Ozondannelsen er en langsom proces (timer eller dage) og ret lille i Danmark. Ozon-forureningen er derfor et stor-skala fænomen. Her i landet kan den derfor oftest tilskrives forureningen fra Central- og Østeuropa. På grund af reaktioner mellem ozon og NO finder man lavere ozon-niveauer i byer end på landet.

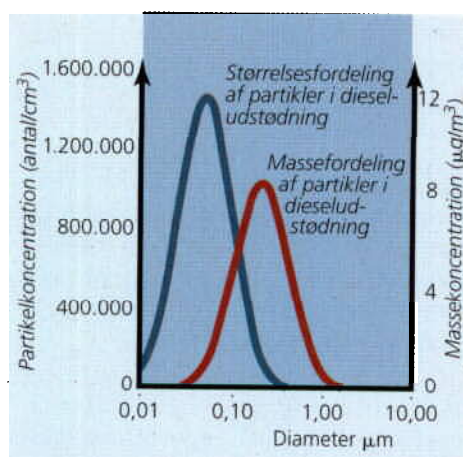
Partikler

Spredning af partikler i luften er ikke meget forskellig fra spredning af gasser. Tyngdekraften er kun af betydning for de større partikler med en diameter på mere end 10 μm .

Partikler dannes ved de fleste forbrændingsprocesser. Vejtrafikken er en af de væsentligste kilder til partikulær forurening. Det er specielt diesel biler, som påkalder sig opmærksomhed. Udstødningsgasser fra dieselmotorer indeholder meget små partikler. Hovedparten af disse partikler har en diameter på mindre end 0,1 μm .

I luften klumper disse partikler hurtigt sammen til større partikler ved koagulationsprocesser. Vand og gasformige forureninger kondenserer på partiklerne og får dem til at vokse. Luftens partikler indeholder således relativt større partikler end bilernes udstødningsgasser.

Støv, som er hvirvlet op fra vejbelægningen og dækslid, kan være en meget dominerende kilde til partikulær forurening i gader, men dette er dog som regel lidt



større partikler. Disse partikler er ikke direkte relateret til emissioner fra bilmotorer, men det er trafikken i gaden, som er årsagen til forekomsten af disse partikler i luften.

En væsentlig del af den partikulære forurening kan tilskrives dannelsen af partikler ved reaktioner mellem gasformige forureninger. Svovldioxid bliver omdannet til sulfat-holdige partikler, kvælstofoxider til nitrat-holdige partikler og ammoniak til ammonium-holdige partikler. En række organiske forbindelser, nogle af dem fra naturlige kilder, kan også forekomme i partikelform. De partikelformige organiske forbindelser fra naturlige kilder er især hyppige i Sydeuropa, og er af mindre betydning under danske klimaforhold. Disse sekundære partikler er meget små. Da de kun fjernes effektivt fra atmosfæren ved nedbør, kan de opholde sig i luften i 7 til 10 døgn og transporteres flere tusinde kilometer. En del af de partikler, som findes i byområder, stammer således fra fjerne kilder.

I blæsevejr kan jordfygning endvidere give ret høje koncentrationer af store partikler. I kystnære områder kan havsprøjt bidrage til partikler i form af små vanddråber indeholdende forskellige havsalte og forureninger, som er optaget fra luften.

Partikelkoncentrationen angivet som masse bestemmes af antallet af de store partikler. De små partikler bidrager kun lidt til massen. De nuværende grænseværdier for partikler er relateret til partiklernes masse, mens de sundhedsmæssige effekter især bestemmes af antallet af små partikler.

Hvor farlig er luftforureningen?

WHO udgiver redegørelser om de sundhedsmæssige aspekter af luftforurening. Disse redegørelser er baseret på tilgængelig viden bl.a. i litteratur og giver anbefalinger til grænseværdier, se f. eks. "Air Quality Guidelines for Europe".

En række nyere internationale undersøgelser peger på en sammenhæng mellem luftforurening og sundhedseffekter for befolkningen i byområder. Disse forhold er nærmere beskrevet og sat i relation til danske forhold i rapporten "Sund-

hedsmæssig vurdering af luftforurening fra vejtrafik", Miljøprojekt nr. 352, udgivet af Miljøstyrelsen i foråret 1997.

I det følgende giver vi en kort oversigt over undersøgelsesmetoder og effekter af luftforurening.

Undersøgelsesmetoder

Sundhedsskadelige effekter af luftforurening vurderes ved hjælp af epidemiologiske undersøgelser af befolkningen eller kontrollerede laboratorieforsøg på frivillige forsøgspersoner og dyreforsøg.

Ved epidemiologiske befolkningsundersøgelser vurderes effekten af den samlede forurening som folk udsættes for. Sammenhængen mellem luftforurening og effekt vurderes typisk ud fra: Dødelighed, sygelighed, antal lægebesøg/indlæggelser, lungefunktionsmål og forekomst af generende symptomer.

Ved kontrollerede forsøg med mennesker undersøges effekten på frivillige forsøgspersoner ved kortvarig udsættelse for

Dyreforsøg anvendes til at vurdere farligheden af forskellige stoffer. Resultaterne overføres til mennesker ved anvendelse af modeller for luftvejenes opbygning i dyr og mennesker. (Foto: Arbejds miljøinstituttet).



Kontrollerede laboratorieforsøg med mennesker gennemføres på mange måder. Her undersøges inhaleringen under fysisk aktivitet ved samtidig eksponering med NO₂. (Foto: Institut for Miljø- og Arbejdsmedicin, Århus Universitet).



givne koncentrationer af en eller flere luftforureninger i et laboratorium. Ved dyreforsøg udføres typisk et større antal forsøg, og der kan anvendes højere koncentrationer og mere tilbunds-gående undersøgelser af væv og organer, end det er praktisk og etisk forsvarligt med forsøgspersoner. Disse undersøgelser bruges til at bestemme sundhedsskadelige stoffer og vurdere sammenhængen mellem eksponering og effekter.

Kritiske stoffer

Luftforurening omfatter mange forskellige stoffer. Ofte fremhæves et mindre antal, som menes at være de mest kritiske luftforureninger vurderet ud fra eksisterende niveauer og antagede sundhedsskadelige effekter.

Bly og andre tungmetaller samt CO, SO₂, som tidligere har været udpeget som kritiske, er gennem en årrække reduceret så meget, at de ikke længere er sundhedsmæssig kritiske. I Danmark tilsættes benzin ikke længere bly, heller ikke "blyholdig benzin". CO vil yderligere blive reduceret fremover som følge af udbredelsen af katalysatorer på benzindrevne biler. SO₂, som primært emitteres fra kul- og olieafbrænding, er reduceret væsentligt gennem røgrønsning og brændsler med lavere svovlindhold. En række af disse stoffer måles fortsat rutinemæssigt for at følge udviklingen, for at studere sammenhænge med andre stoffer, og for at vurdere kildebidrag og langtransport m.v.

Effekter

NO₂, ozon, formaldehyd og acrolein virker luftvejsirriterende, og er især generende for personer som lider af luftvejsygdomme, f.eks. astma og kronisk bronkitis, og kan være en medvirkende årsag til udvikling af luftvejsygdomme.

Stof	Sundhedsskadelig effekt		
	Irritation	Kræft	Allergi
Partikler	a	a	a
Kvælstofdioxid	x		
Ozon	x		(x)
PAH		x	
Benzen		x	
1,3-butadien		x	
formaldehyd	x	x	
acrolein	x		

PAH, benzen, 1,3-butadien og formaldehyd anses for kræftfremkaldende. Det samme gælder partikler, enten direkte eller som bærere af kræftfremkaldende stoffer. Risikoen for at udvikle kræft forøges for alle befolkningsgrupper ved stigende eksponering, men personer som i forvejen har svækket immunforsvar har større risiko.

Luftforureningen kan forværre tilstanden hos personer med luftvejsallergi. Undersøgelser antyder, at partikler og ozon kan fremme udviklingen af allergi. Resultaterne er dog ikke entydige.

Især små partikler vurderes at være meget kritiske, idet de trænger dybt ned i lungerne, og afsættes der. Koncentrationen af partikler i luften målt som TSP (Total Suspended Particulates) har været svagt faldende i Danmark, men det er sandsynligt, at antallet af de mindste partikler er steget pga. stigende vejtrafik. Målinger fra Erfurt i det tidligere DDR viser således, at partikelindholdet (her målt som PM_{2,5}) er faldet markant efter genforeningen, hvor der blev indført rumopvarmning med gas i stedet for brunkul og udskiftning af østtyske biler med moderne vesteuropæiske modeller. Alligevel er antallet af de mindre partikler (0,01-0,1 µm) mere end fordoblet, og det samlede antal partikler, i luften er således forøget.

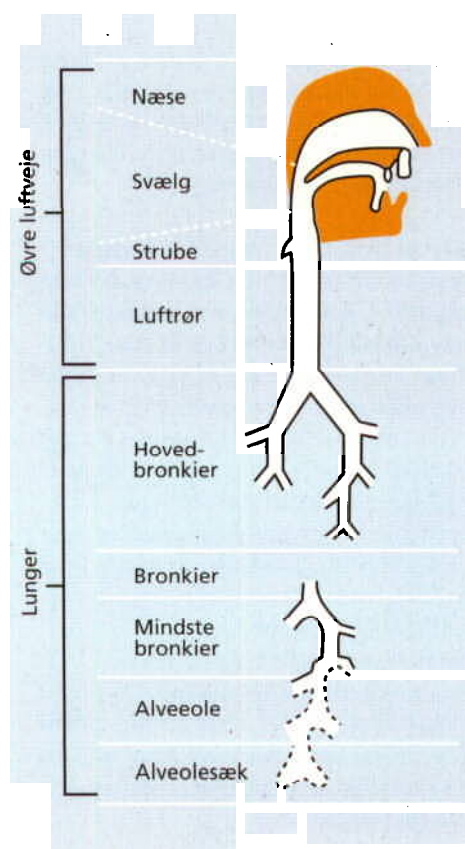
Sundhedsmæssigt kritiske luftforurenende stoffer i Danmark. a: se teksten, idet effekterne for partiklerne ikke alene er beskrevet herved. x: indikerer en medvirkende faktor.

Sundhedsvurdering

Kombinationseffekter

Luftforurenende stoffer optræder ofte sammen. Kombinationseffekter kan derfor forstærke effekten af de enkelte stoffer. Sundhedseffekter er derfor i høj grad knyttet til påvirkningen fra den samlede luftforurening. For luftvejsirritanter som NO₂ og ozon regner man med en additiv effekt. Man har på nuværende tidspunkt langt fra identificeret alle kræftfremkaldende stoffer, og man ved derfor ikke meget om kombinationseffekter mellem de kræftfremkaldende stoffer og andre stoffer. Foreliggende data tyder dog på,

Oversigt over de menneskelige luftveje.



at den kræftfremkaldende effekt af den samlede luftforurening overstiger summen af de enkelte kræftfremkaldende stoffer.

Sundhedsbelastning

Irritative stoffer er til størst gene for personer, som lider af luftvejsygdomme. Omkring 6% blandt den voksne del af den danske befolkning har langvarige eller kroniske luftvejsygdomme, f.eks. astma og kronisk bronkitis.

For kræftfremkaldende stoffer anser Miljøstyrelsen et eksponeringsniveau svarende til en livstidsrisiko på 10⁻⁶ for tolerabel. Det er et niveau, der over en 70-årig periode statistisk set vil medføre et ekstra kræfttilfælde blandt en million personer. Ud fra beregninger af livstidsrisiko ved de målte niveauer af PAH og benzen, samt skønnede niveauer af 1,3-butadien i København, kan det årlige ekstra antal kræfttilfælde pr. en million byboere skønnes til 3-6 for disse stoffer. Dette skøn undervurderer dog den samlede effekt, da der ikke tages højde for kombinationseffekter bl.a. med partikler.

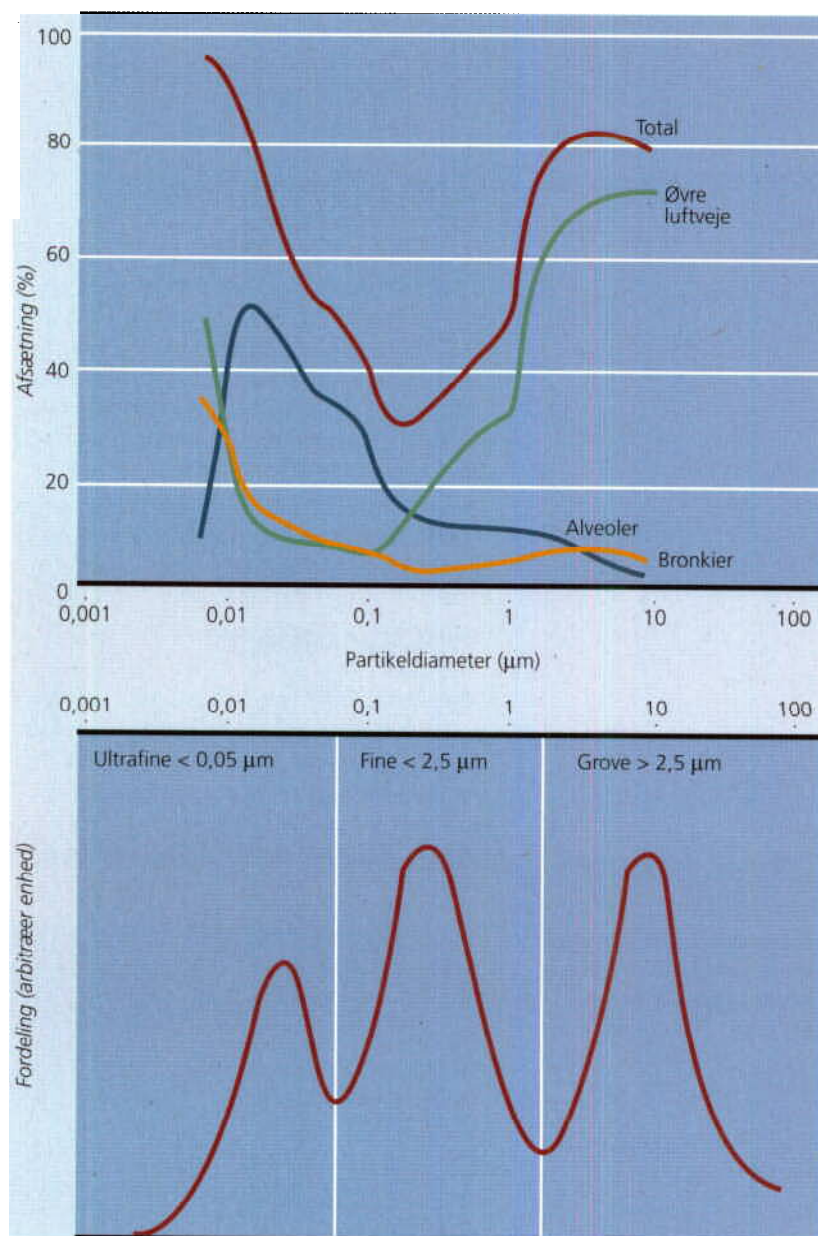
Partikler

Såfremt man kan overføre udenlandske undersøgelser til danske forhold, vil en reduktion på ca. 30% af den aktuelle partikelkoncentration målt som PM₁₀ svare til et fald i den årlige dødelighed på omkring 500 personer pr. 1 million mennesker i de større byområder. Til sammenligning dør der årligt omkring 550 personer ved trafikulykker i Danmark.

Den øgede dødelighed som følge af partikelforureningen betyder, at eksponerede personer dør tidligere, end de ellers ville have gjort. Udenlandske vurderinger peger på, at den gennemsnitlige levealder falder med 0,4-0,6 år pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}) i luften.

Hertil kommer, at et betydeligt antal personer må antages at have en forringelse af sundhedstilstanden og øget sygelighed som følge af partikelforureningen. De mest følsomme personer er personer med luftvejs- og hjerte-karsygdomme. Ca. 6% af den voksne danske befolkning lider af hjerte-karsygdomme. En analyse af de seneste udenlandske undersøgelser konkluderer, at en stigning i det gennemsnitlige partikelindhold på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}) fører til 2% stigning i antallet af hospital-sindlæggelser og skadestuebesøg p.g.a. luftvejslidelser, en 2% nedsættelse af lungefunktionen og en øget forekomst på 10-25% i befolkningen af bronkitis og kronisk hoste.

Samlet vurderes den aktuelle partikelforurening i Danmark at medføre betydelige sundhedsskadelige effekter. Endnu kan man ikke fuldt ud forklare, hvorfor partikler har de nævnte effekter. Bl.a. savnes der en afklaring af, i hvor høj grad det er koncentrationen af de helt fine partikler (ultrafine partikler mindre end $0,05 \mu\text{m}$), der er ansvarlig for de sundhedsmæssige effekter, og hvilken rolle den kemiske sammensætning af partiklerne spiller.



Øverst: Afsætning af partikler i forskellige områder af luftvejene hos en voksen mand. Sandsynligheden for afsætning afhænger af partiklernes størrelse og er generel størst for små partikler. En høj totalafsætning for store partikler skyldes, at disse afsættes i de øvre åndedrætsorganer, hvor de formentlig har mindre helbredsmæssige virkninger (figuren er baseret på HMSO 1995).

Nederst: Størrelsesfordeling af luftbårne partikler i byluft. TSP er den samlede partikelmængde angivet som vægt. PM_{10} er partikler under $10 \mu\text{m}$ og $\text{PM}_{2,5}$ er partikler under $2,5 \mu\text{m}$.

Grænseværdier

Typer af grænseværdier

Grænseværdier for luftkvalitet fastsætter hvor meget, der må være af forskellige stoffer i luften. I tillæg til disse er der defineret grænseværdier for emission af luftforurenende stoffer, enten direkte for emissionen eller for indhold af det pågældende stof i brændstof, f.eks. benzen i benzin. Endelig er der aftaler om den samlede maksimale emission fra en gruppe af kilder, f.eks. som kvoter for svovlemission fra kraftværker.

WHO's vurderinger

Verdenssundhedsorganisationen, WHO, giver anbefalinger til grænseværdier. For stoffer der har en tærskelværdi, d.v.s. stoffer, der antages kun at give sundhedsskader ved niveauer over en vis værdi, anbefaler WHO grænseværdier.

De er typisk baseret på NOAEL (No Observed Adverse Effect Level).

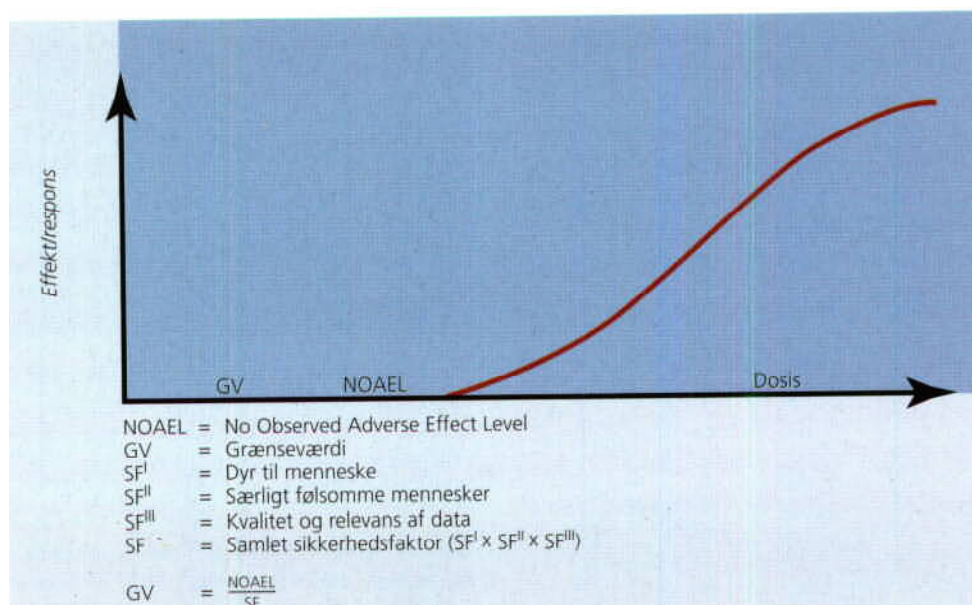
For stoffer, som ikke har en tærskelværdi angiver WHO en livstidsrisiko, f.eks. en risiko på 1 ud af en million for at man udvikler kræft ved en bestemt konstant påvirkning i løbet af en normal levetid. Det er så op til "samfundet" at vælge en acceptabel risiko.

WHO baserer sine anbefalinger på tilgængelige undersøgelser i den internationale litteratur.

Miljøstyrelsens vejledninger

I Danmark anbefaler Miljøstyrelsen, at man ved godkendelse af nye forurenende virksomheder begrænser emissionen så meget, som det er teknisk og økonomisk muligt. I samarbejde med Sundhedssty-

Beskrivelse af fremgangsmåden med anvendelse af NOAEL og sikkerhedsfaktorer fra Miljøstyrelsens luftvejledning ved fastsættelse af grænseværdier for stoffer, som har en nedre effektgrænse. Den samlede sikkerhedsfaktor er typisk mellem 10 og 1000.



relsen og Veterinær- og Fødevaredirektoratet har Miljøstyrelsen desuden fastsat vejledende B-værdier. Det er værdier, som anvendes til beregning af tilladelig emission for den enkelte virksomhed med den pågældende skorsten, rensudstyr m.v.

B-værdierne er fastsat på grundlag af stoffernes skadelige effekter, bl.a. baseret på ovennævnte WHO vurderinger og andre relevante danske og udenlandske undersøgelser. Der er endvidere taget højde for at flere kilder kan emitte det samme stof i et givet område.

Emissionsgrænser

Fra oktober 1990 indførtes grænser for emission af kvælstofoxider, kulilte og kulbrinter fra nye benzindrevne biler, som i praksis opfyldes ved montering af trevejs katalysatorer, hvilket nu sker på alle nye biler.

Der er løbende sat lavere og lavere grænser for motorbenzins blyindhold. I dag sælges næsten udelukkende blyfri benzin. Også den benzin, som ikke kaldes blyfri, indeholder kun meget lidt bly, og tilsættes ikke bly.

Motorbenzin må indeholde 5% benzen, men i praksis er indholdet lavere i de fleste benzinkvaliteter. Der vil blive sat en grænse på maksimalt 1% i de kommende år.

De største problemer med dieslbiler er emission af partikler. Der er sat visse grænser for emission af partikler og disse grænser vil blive skærpet i de kommende år.

Svovlindholdet i olie og kul er reguleret af bekendtgørelser. Ligeledes findes bekendtgørelser for store fyrings anlæg og affaldsforbrændingsanlæg.

Internationale aftaler

De samlede danske emissioner af luftforurenende stoffer er reguleret af internationale konventioner. Der findes aftaler om samlet emission af svovl- og kvælstofforbindelser, der har betydning for forsurening, eutrofiering og ozondannelse. Desuden er der aftaler om emission af organiske forbindelser, som især har betydning for fotokemisk luftforurening som ozon.

EU grænseværdier for luftkvalitet

I EU har man gennem de seneste 10-15 år fastsat grænseværdier for luftkvalitet, som er blevet overført til dansk lov i form af bekendtgørelser. For ozon omfatter disse grænseværdier desuden SMOG-varslingsgrænser.

Hidtil er EU grænseværdierne for det meste blevet fastsat ud fra effektvurderinger kombineret med tekniske, økonomiske og politiske afvejsninger.

Nyt EU rammedirektiv

I 1996 vedtog EU et nyt såkaldt rammedirektiv for luftkvalitet, som fastsætter rammerne for indførelse af nye grænseværdier for luftkvalitet. I de kommende år udfyldes disse med såkaldte datterdirektiver for de enkelte stoffer, i første omgang NO₂, SO₂, partikler, bly, ozon, benzen og CO. Datterdirektiverne vil for de enkelte stoffer, foruden grænseværdier, omfatte krav til målestrategi, målemetoder, målenøjagtighed, offentliggørelse af data m.v. Direktiverne skal bl.a. sikre, at luftkvaliteten vurderes ensartet i EU.

Hovedkriterierne for de nye grænseværdier er at forhindre sundhedsskader på mennesker under hensyntagen til særligt udsatte grupper, som børn, gamle og syge. Desuden tages hensyn til skader på

Stof	Grænseværdi, µg/m ³	Midlingstid	Statistik	Periode	Type
NO ₂	200	1 time	98 percentil	År	Bindende
	135	1 time	98 percentil	År	Vejledende
	50	1 time	Median	År	Vejledende
SO ₂	250	1 time	98 percentil	År	Grænseværdi
	130	1 time	Median	Vinter	Grænseværdi
	80	1 time	Median	År	Grænseværdi
Partikler (TSP)	300	24 timer	95 percentil	År	Grænseværdi
	150	24 timer	Gennemsnit	År	Grænseværdi
Bly	2	-	Gennemsnit	År	EU grænseværdi, ikke indført i Danmark
O ₃	360	1 time	Maks. 1 time	-	Varsling
	180	1 time	Maks. 1 time	-	Information
	200	1 time	Maks. 1 time	År	Tærskelværdi
	110	1 time	Maks. 8 time	År	Tærskelværdi
	65	24 timer	Maks. 24 timer	År	Tærskelværdi

Gældende danske grænseværdier.

EU Kommissionens forslag til nye grænseværdier. Alle gælder for kalenderår. Sidste kolonne angiver året for grænseværdiernes opfyldelse (EEC 1997).

miljøet, specielt på vegetation og materialer, bl.a. kulturgenstande.

Grænseværdierne skal først gælde efter en overgangsperiode, hvor man gradvist arbejder på at undgå overskridelser af grænseværdierne i hele EU, idet det erkendes, at det ikke er teknisk og økonomisk muligt at opfylde den i hele EU i løbet af kort tid.

EU-Kommissionens forslag til nye grænseværdier, bliver en del lavere end de

nuværende. Grænseværdier for de første stoffer skal overholdes før 2005 eller før 2010.

Grænseværdier for luftkvalitet

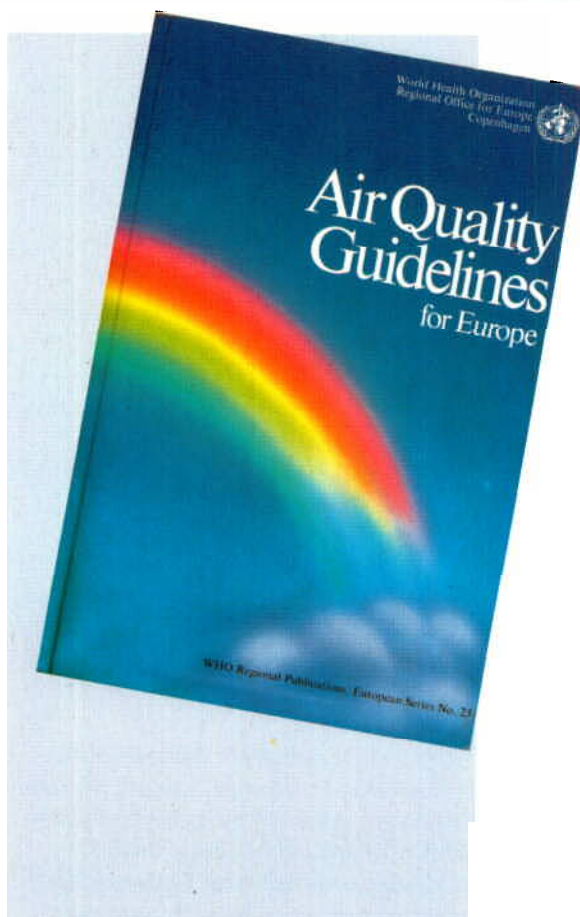
Danske grænseværdier er fastsat for partikler, SO₂, NO₂, bly og O₃. De vil blive revideret i overensstemmelse med de nye EU grænseværdier i løbet af 1998. Umiddelbart efter, formentlig også i 1998, vil følge grænseværdier for benzen og CO,

Stof	Grænseværdi, µg/m ³	Midlingstid	Statistik	Beskyttelse af	År
NO ₂	200	1 time	8 gange pr år	Mennesker	2010
	40	-	Gennemsnit	Mennesker	2010
	30	-	Gennemsnit	Vegetation	2010
SO ₂	350	1 time	24 gange pr år	Mennesker	2005
	125	24 timer	3 gange pr år	Mennesker	2005
	20	-	Gennemsnit	Vegetation	2005
Partikler, (PM ₁₀)	50	24 timer	25 gange pr år	Mennesker	2005
	30	-	Gennemsnit	Mennesker	2005
	50	24 timer	7 gange pr år	Mennesker	2010
	20	-	Gennemsnit	Mennesker	2010
Bly	0,5	-	Gennemsnit	Mennesker	2005

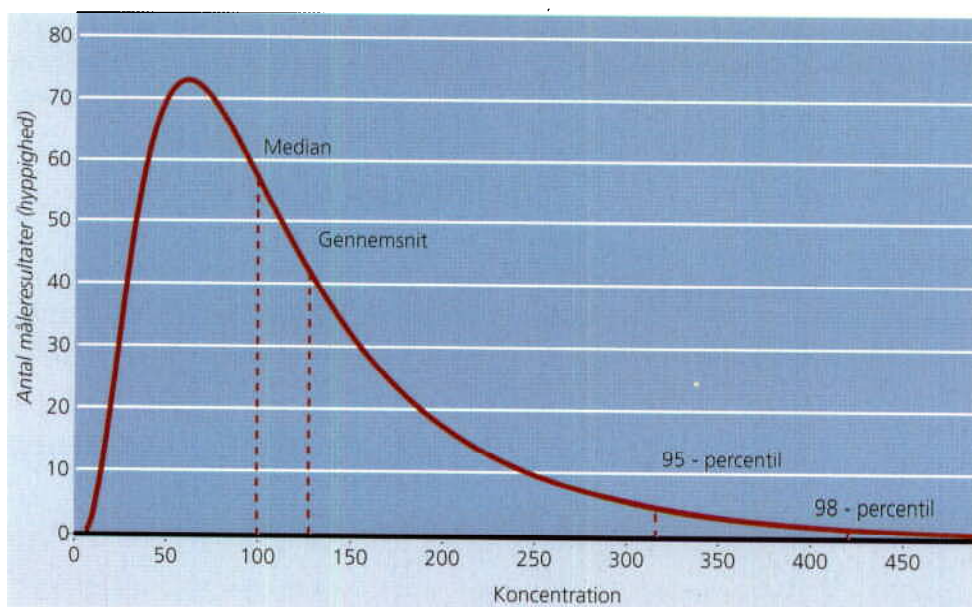
og senere følger grænseværdier for PAH, kviksølv mv.

Tærskelværdier for ozon

For ozon er der fastsat såkaldte tærskelværdier, der kræver, at EU landene informerer offentligheden, når de overskrides. Hvis den laveste tærskelværdi overskrides skal der blot gives information om at ozon-niveauet er over $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, således, at særligt følsomme mennesker kan tage deres forholdsregler, f. eks. blive indendørs, undgå stor fysisk aktivitet eller tilpasse et evt. medicinforbrug. Hvis den højeste tærskelværdi på $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overskrides, skal der udsendes en egentlig advarsel, og restriktioner kan indføres efter det pågældende lands love.



WHO's vurderinger og anbefalinger er samlet i denne bog fra 1987. Der kommer en revideret udgave i 1998.



En serie måleresultater er som regel tilnærmelsesvis "logaritmisk normalt fordelt". Nedad er fordelingen begrænset af, at koncentrationerne ikke kan blive mindre end 0, mens den i princippet ikke har nogen øvre grænse. I alt 50% af fordelings areal ligger lavere end medianen, som er identisk med 50-percentilen. D.v.s. at 50% af måleresultaterne er mindre end medianen. Tilsvarende er 95% af måleresultaterne mindre end 95-percentilen og 98% mindre end 98-percentilen. På grund af fordelings skævhed er gennemsnittet normalt lidt større end medianen.

Luftkvalitetsmålinger i byer

LMP III programmet

LMP programmet har til formål at bestemme luftforureningen i udvalgte større danske byer med henblik på,

- at vurdere luftforurening i forhold til grænseværdier,
- at undersøge udviklingen i relation til gennemførte tiltag og udviklingen i emissionen af forurenende stoffer,
- at levere data om luftforureningen til danske beslutningstagere og EU-Kommissionen, og
- at formidle information til den danske befolkning.

Programmet omfatter i dag målinger i København, Odense og Aalborg. Resultaterne indsamles i et samarbejde mellem DMU, Miljøstyrelsen, HLU (Hovedstadsregionens luftovervågningsenhed) samt Odense og Aalborg kommuner.

Systematiske luftkvalitetsmålinger i danske byer startede i 1982. Ved revisioner i 1987 og 1991 er programmet tilpasset så det bedst muligt giver svar på de mest aktuelle luftforureningsproblemer.

Det nuværende program bygger i princippet på to målestationer i hver by. Den ene står på en meget trafikeret gade, mens den anden står på et hustag i nærheden, således at samspillet mellem tra-

fikforureningen og den generelle luftforurening i byområdet (bybaggrunden) kan belyses. Der måles desuden på to landstationer ved Lille Valby nær Roskilde og ved Keldsnor Fyr på Langeland.

I Odense har man desuden fortsat målinger på en station, som blev startet i 1982 på Ringvejen (Hunderupgade).

Andre programmer

HLU har et netværk, der supplerer LMP III i Hovedstadsområdet.

DMU har sammen med andre interesse-rede parter flere forskningsprojekter baseret på LMP. Eksempler er et trafikprojekt (SMP), som var rettet specielt mod forureningen i gader, et projekt til vurdering af forureningen med PAH, og et projekt til bestemmelse af trafikens bidrag til forureningen (TOV).

I det følgende er måleresultater fra LMP opsummeret og suppleret med resultater fra de tilknyttede projekter, hvor det kan forbedre overblikket.

Målestationer i LMP programmet

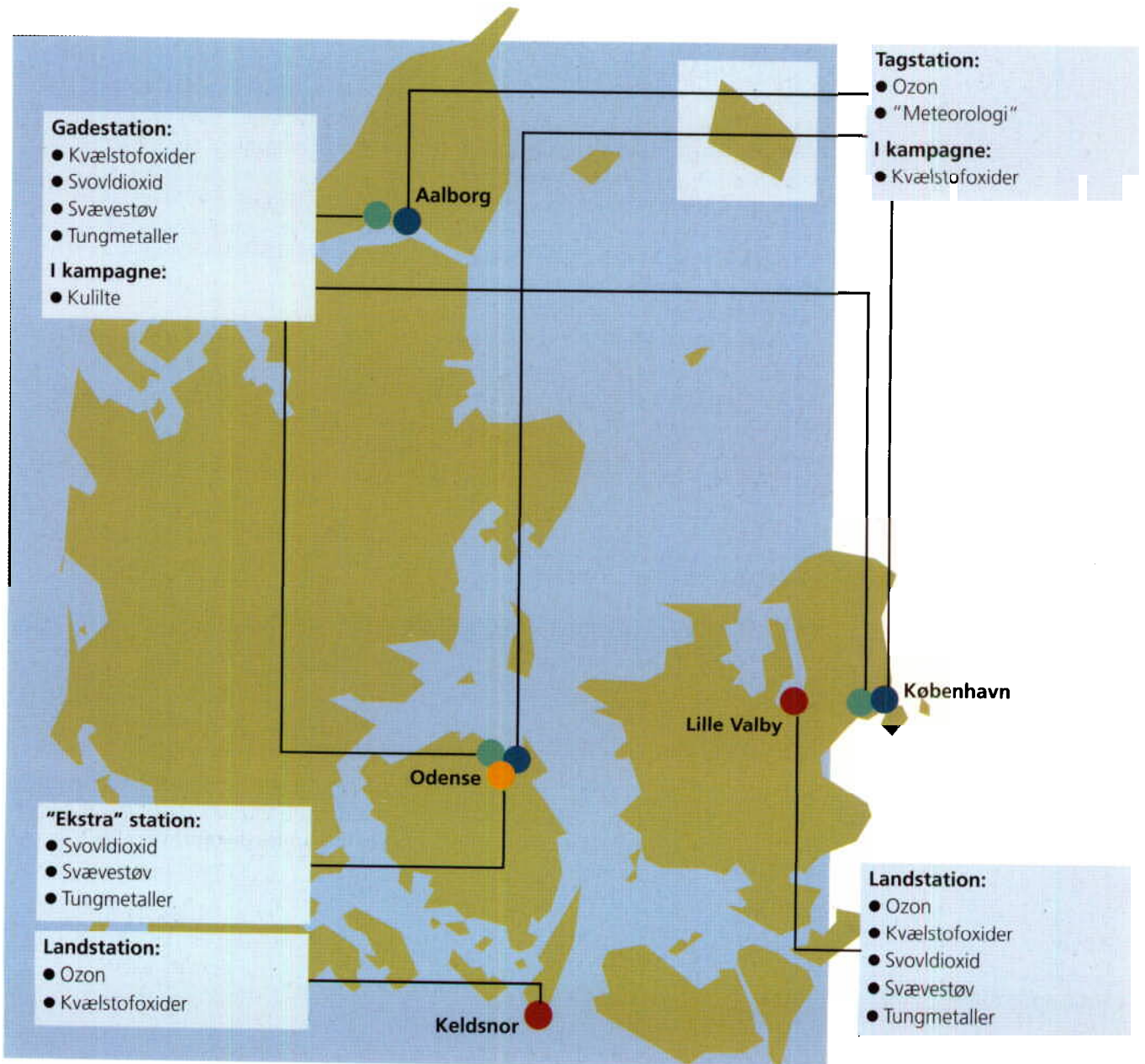
NO_x, (dvs NO og NO₂) ozon og SO₂ måles som 1/2 times gennemsnit. Endvidere indsamles døgnprøver af SO₂ samt

Målestationer i byerne

By	Gade	Tag
København	Jagtvej	H.C. Ørsted Institutet
Odense	Albanigade og Hunderupgade	Odense Rådhus
Aalborg	Vesterbro (Limfjordsbroen)	Aalborg tekniske forvaltning

svævestøv, der analyseres for en række grundstoffer bl.a. partikulært svovl og tungmetaller.

Meteorologiske parametre: vindretning, vindhastighed, temperatur, relativ fugtighed og solindstråling måles som 1/2-times gennemsnit.



Årsresultater og grænseværdier

Målte koncentrationer i 1996 er i det følgende sammenlignet med grænseværdier og WHO's vejledende værdier. I et senere afsnit findes oversigter over udviklingen i luftforureningen og på DMU's hjemmeside på Internettet findes opdaterede aktuelle data.

Målestationernes placering og de anvendte metoder tillader direkte sammenligning med grænseværdierne.

Korttidsværdierne er baseret på maksimumværdier eller høje percentiler, f. eks. 98-percentilen; mens langtidsværdier er baseret på årsgennemsnit eller medianer.

For kræftfremkaldende stoffer anvendes livstidsrisiko til vurdering af forureningsniveauet.

For ozon findes ikke egentlige grænseværdier, men EU har fastsat "tærskelværdier". Oplysninger om overskridelse af tærskelværdierne samles af EU. Her indgår de i fastlæggelsen af en europæisk strategi til emissionsreduktion for de stoffer, der er med til at danne ozon. Det er målet på længere sigt at opnå, at koncentrationerne ikke overskrider tærskelværdierne.

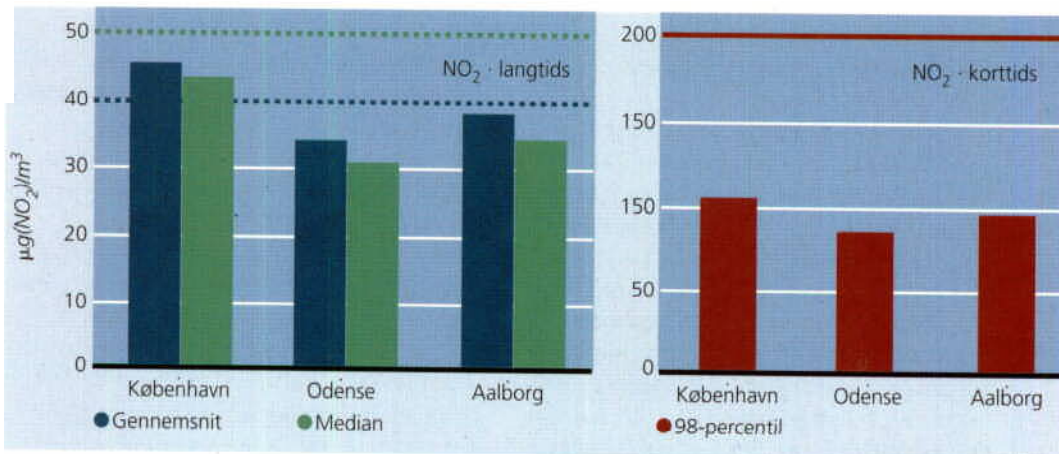
Antal dage med overskridelser af tærskelværdier for ozon i 1996 på to de landstationer.

Midlingstid	1 døgn	8 timer	1 time
Tærskelværdi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	65	110	200
Keldsnor	145	8	0
Lille Valby	77	7	0

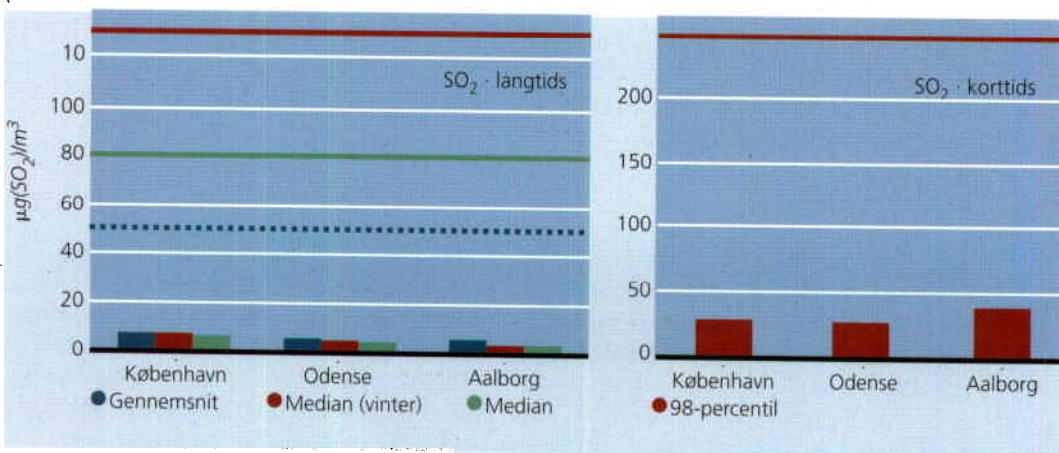
Årsværdier og grænseværdier for NO_2 , SO_2 , svævestøv og bly i 1996. Resultaterne er fra gadestationerne.

Enhed ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2			SO_2				Svævestøv		Bly
	Gennem snit	Median år	98-percent.	Gennem snit	Median vinter	Median år	98-percent.	Gennem snit	95-percent.	Gennem snit
København	45	43	104	7,1	6,8	5,4	28	65	149	0,025
Odense	34	31	85	4,9	4,1	3,2	26	63	129	0,022
Aalborg	38	34	96	5,0	3,3	2,5	39	69	151	0,019
Grænse-værdi			200		130	80	250	150	300	2
Vejledende værdi	40	50	135	40-60						0,5

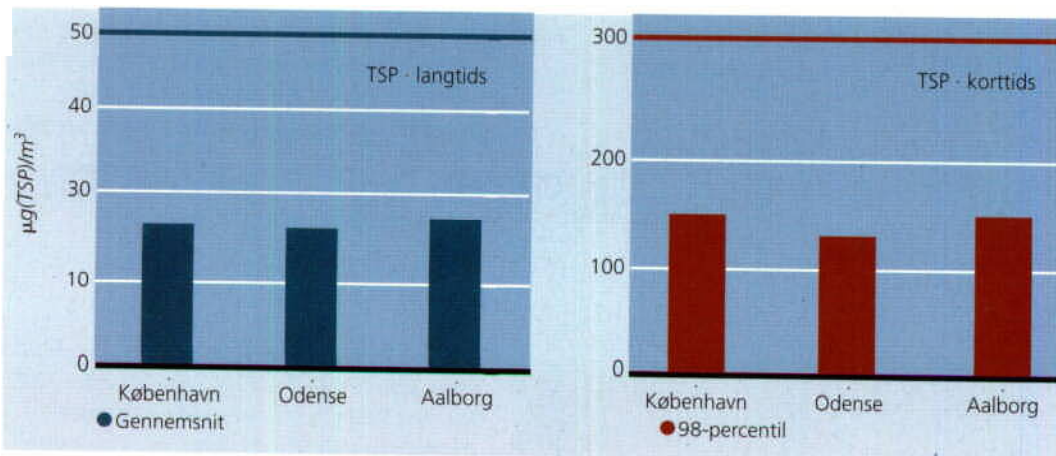
De målte værdier i 1996 er indtegnet på figurerne. Bindende og vejledende grænseværdier er indtegnet som hhv. fuldt optrukne og stiplede linier



Målte 98-percentiler for NO₂ i 1996 var ca. halvdelen af den bindende grænseværdi på 200µg/m³. I København var den vejledende gennemsnitsværdi på 40µg/m³ overskredet.



Koncentrationen af SO₂ er i byerne i dag meget langt under grænseværdierne. For 10-15 år siden var niveauer tæt på den vejledende grænseværdi ikke usædvanlige.



Svævestøv (TSP) koncentrationen er i byerne 30-50% af grænseværdierne; Bly koncentrationen i trafikerede gader i danske byer var for 15 år siden ca. halvdelen af grænseværdien; koncentrationen er faldet kraftigt med indførelse af blyfri benzin til ca. 1% af grænseværdien.

Smogvarsling - episoder

Risiko ved smog episoder

Meget høje koncentrationer af luftforureninger kan som nævnt give umiddelbar forværring af symptomerne hos mennesker med f. eks. astma eller bronkitis. Det er vigtigt for disse personer at kende årsagen til forværringen, så de kan træffe de rigtige forholdsregler. Derfor indførte Miljøstyrelsen i 1994 et varslingssystem i samarbejde med Danmarks Miljøundersøgelser, Sundhedsstyrelsen, Danmarks Meteorologiske Institut og Miljøkontrollen i København. Smog-varslingssystemet skal sikre, at offentligheden varsles, hvis luftforureningen giver risiko for akut påvirkning af den del af befolkningen, der lider af luftvejssygdomme.

Smogvarsling

Systemet omfatter NO₂, SO₂ og ozon. Ved overskridelse af varslingsgrænserne bliver der orienteret om episoden i DR's radioavis. Orienteringen vil indeholde information om

- de målte koncentrationer i relation til varslingsgrænserne,
- den forventede udvikling, og
- hvem der kan blive berørt.

Målte koncentrationer i µg/m³ i 1996 sammenlignet med varslingsværdier. De målte værdier er beregnet så de umiddelbart kan sammenlignes med varslingsgrænserne.

	NO ₂ 3 timer	SO ₂ 3 timer	Ozon 1 time
København	189	103	157
Odense	141	104	166
Aalborg	132	91	157
Lille Valby	90	65	151
Keldsnor	77	-	173
Varslingsgrænse	350	350	360
Informationstærskel			180

Systemet giver ikke, som det f. eks. er tilfældet i Frankrig og nogle tyske delstater, mulighed for at nedsætte emissionerne ved at regulere industriens produktion eller helt eller delvis at forbyde bilkørsel.

Smog episoder forekommer kun under specielle vejrforhold. Der kan enten være tale om en massiv og stabil transport af luft fra områder i Central- og Østeuropa eller om perioder med vejrforhold, der fører til ophobning af luftforurening i byerne. Specielt i disse perioder følger DMU løbende udviklingen med henblik på evt. udsendelse af varslinger.

NO₂ og SO₂ episoder

For NO₂ og SO₂ varsles, hvis koncentrationen overskrider 350 µg/m³ i tre sammenhængende timer, og der ikke er udsigt til en snarlig forbedring. Varslingsgrænsen er så høj, at den aldrig vil blive overskredet med mindre forureningssituationen ændres radikalt. For 10-20 år siden kunne især SO₂ koncentrationerne om vinteren komme op på niveauer omkring varslingsgrænsen. Det var typisk perioder med lave vindhastigheder og inversionslag, der forhindrede spredning af forureningen i byerne. Det kunne også være perioder med stabil vind fra syd og sydøst, der bragte forurennet luft hertil fra bl.a. Ruhr eller "den sorte trekant" mellem Polen, Østtyskland og Tjekkoslaviet.

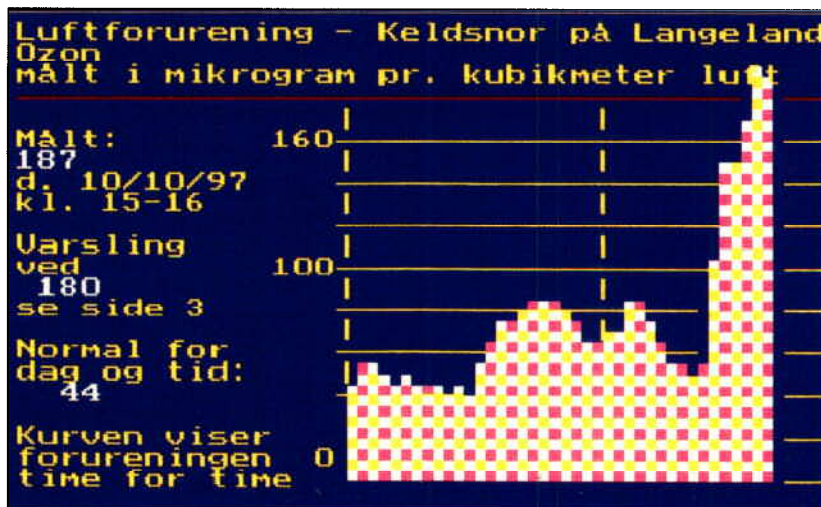
Ozon episoder

For ozon bliver der udsendt information, hvis timemiddelværdien overskrider 180 µg/m³. Informationen udsendes efter samme retningslinier som smogvarsling.

Det sker i gennemsnit lidt mindre end én gang om året i Danmark og oftest udenfor byerne. Episoderne opstår som regel på sommerdage, når luften kommer fra Centraleuropa med et stort indhold af NO_x og organiske forbindelser. Ozonen dannes af disse stoffer under transporten ved fotokemiske reaktioner. På disse sommerdage er det ofte diset og temperaturen er over 25 grader. Ozonkoncentrationen vil kun sjældent overskride $200\mu\text{g}/\text{m}^3$. I Danmark vil det være så godt som udelukket, at der kan forekomme koncentrationer på over $360\mu\text{g}/\text{m}^3$, som er tærskelværdien for en egentlig advarsel af befolkningen.

“Hot-spot” episoder

De såkaldte “hot-spot” episoder kan give anledning til koncentrationer af SO_2 , som overskrider $350\mu\text{g}/\text{m}^3$. De vil imidlertid normalt være så kortvarige, at de ikke giver anledning til varsling. “Hot-spot” episoder skyldes “nedslag” af røgfaner fra industri- og kraftværksskorstene. På målestationerne i Odense og Aalborg optræder der nogle få gange om året “hot-spot” episoder, som skyldes røgfaner fra henholdsvis Fynsværket og Cementfabrikkerne. Tilsvarende episoder optræder også i København, men det er her vanskeligere at identificere de enkelte kilder.



DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
DMU

Der er i dag kl. 15 målt ozon over 180 mikrogram pr. km³ luft vest for Storebælt
Koncentrationen ventes at falde til aften; men den kan blive høj igen i morgen
Personer med luftvejsproblemer kan få forværret symptomerne

Der er udsendt en pressemeddelelse, som kan fås hos DMU

Mere info fås hos DMU
Telefon: 4630 1200, fax: 4630 1214
netadresser: kke@dmu.dk og
www.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/netw

DMU har sammen med Miljøstyrelsen planer om at offentliggøre luftkvalitetsdata på tekst TV. Dette er et forslag til tekst TV sider ved overskridelse af informationstærsklen for ozon.

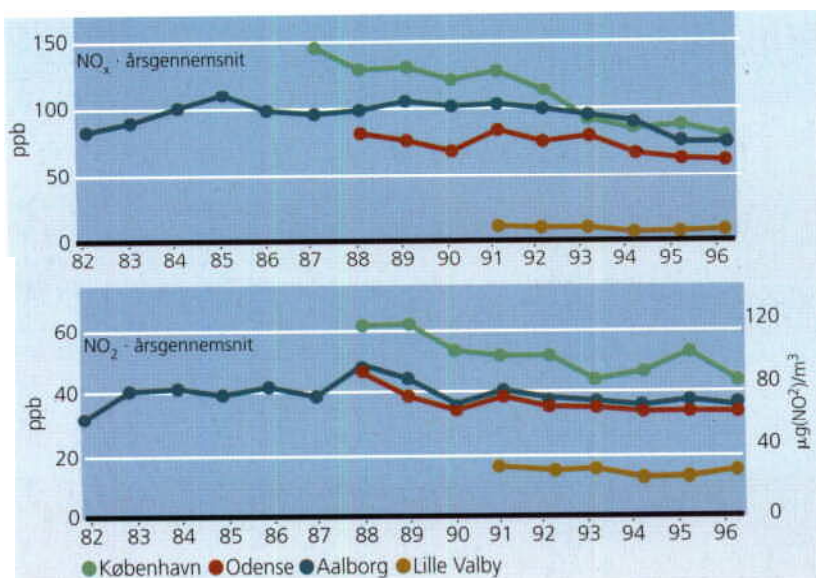
For at vurdere udviklingen af luftforureningen er det nødvendigt at måle flere år på de samme steder med sammenlignelige målemetoder. Forureningsmønsteret kan ændre sig væsentligt blot stationen flyttes fra den ene side af gaden til den anden (se f.eks. side 12).

To målestationer i LMP programmet har været uændret siden 1982. Det er gade-stationerne ved Limfjordsbroen i Aalborg og på Ringvejen (Hunderupgade) i Odense. For de fleste stoffer repræsenterer målingerne fra disse stationer de længste tidsserier fra byområder i Danmark.

NO_x - NO₂

Der er sket et tydeligt fald i NO_x niveauerne siden 1990, hvor katalysatorer blev obligatoriske på alle nye benzindrevne biler. Specielt på Jagtvej i København har faldet været markant, fordi andelen af benzindrevne biler her er meget stor. Der-

Rettelse til nederste graf:
Enheden på venstre lodrette akse skal være µg/m³.
Højre lodrette akse skal slettes.



imod har NO₂ niveauet stort set været konstant i hele perioden siden 1982. Faldet i NO_x emissionen fra bilerne slår ikke igennem, fordi mængden af ozon, som er nødvendig for dannelse af NO₂, ikke er ændret væsentligt.

I København er NO₂ niveauet stadig ca. 25% højere end i provinsbyerne, fordi koncentrationen generelt er højere i storbyområdet. De lave værdier fra landstationen ved Lille Valby viser, at NO_x i byerne er af lokal oprindelse.

Variationen fra år til år kan skyldes forskellige meteorologiske forhold eller ændringer i de lokale forhold. Fx var målingerne i København afbrudt fire sommermåneder i 1995 p.gr.a. vejarbejde, hvilket førte til højere gennemsnit, fordi koncentrationen normalt er højere om vinteren.

SO₂ og partikulært svovl

SO₂ koncentrationerne er i gennemsnit faldet meget siden 1982. Faldet har været størst i byerne - en faktor 3-5, mens der på landstationen ved Keldsnor kun er sket godt en halvering. Der er sket flere ændringer i perioden, som har medvirket til dette fald. Den største effekt havde den lovmæssige begrænsning af svovlindholdet i fossilt brændsel i 1986. Siden er svovl så godt som fjernet fra diesel og let fyringsolie. Overgangen til naturgas og udbredelse af fjernvarme har også spillet en væsentlig rolle.

Niveauerne under forureningsepisoder, repræsenteret ved 98-percentilerne, er faldet omtrent lige så meget som gennemsnitsværdierne på landet. Der er desuden ikke større forskel på by og land. Når

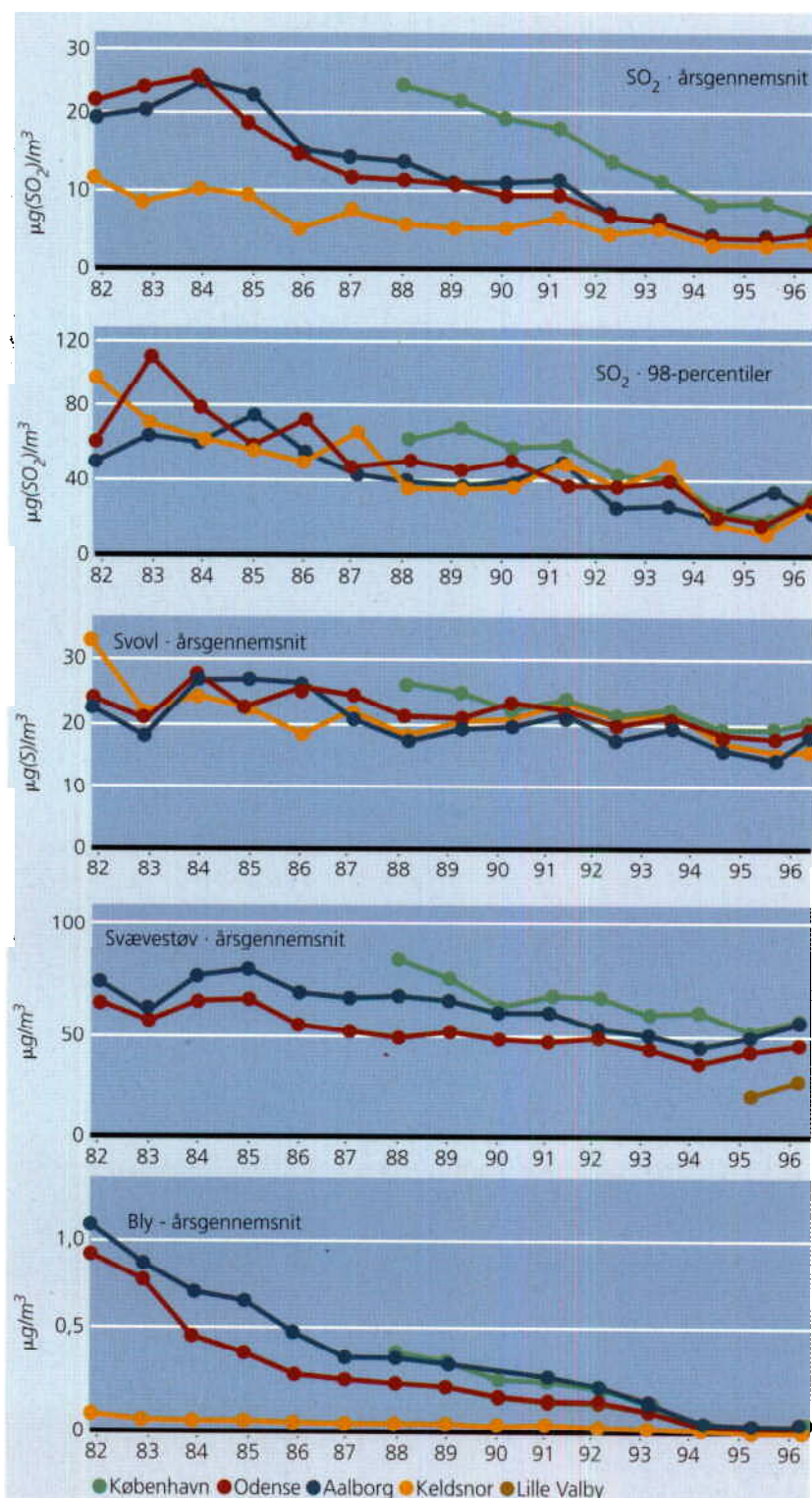
koncentrationerne er størst er langtransport af forurening fra Øst- og Centraleuropa den væsentligste kilde. Koncentrationerne er nu så lave, at SO_2 er uden sundhedsmæssig betydning selv i byerne. Men depositionen af svovl kan stadig være skadelig for miljøet i form af forsurening. Som det ses er koncentrationen af partikulært svovl ikke faldet nær så meget som SO_2 . Partikulært svovl dannes ved oxidation af SO_2 i atmosfæren. Da processen tager omkring et døgn, er partikulært svovl en langtransporteret forurening. En reduktion vil derfor kræve nedsættelse af emissionen i andre lande. Her er internationale protokoller om reduktion af bl.a. svovludledning et vigtigt redskab.

Svævestøv

Niveauet af svævestøv har været svagt faldende i de seneste 10-15 år. Ca. halvdelen kommer fra forskellige antropogene kilder og består af meget små partikler, som er mere skadelige end de store partikler af naturlige oprindelse (se side 15). Overvågning af partikelforureningen vil have høj prioritet i de kommende år. Svævestøv omfatter alle partikler mindre end ca. $25 \mu\text{m}$. De kommende EU grænseværdier skal gælde for partikler mindre end $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}). Til vurdering af sundhedsskader ser man også på koncentrationen af partikler mindre end $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$). Som tommelfingerregel kan man regne med, at PM_{10} er ca. 60% og $\text{PM}_{2,5}$ er ca. 35% af TSP.

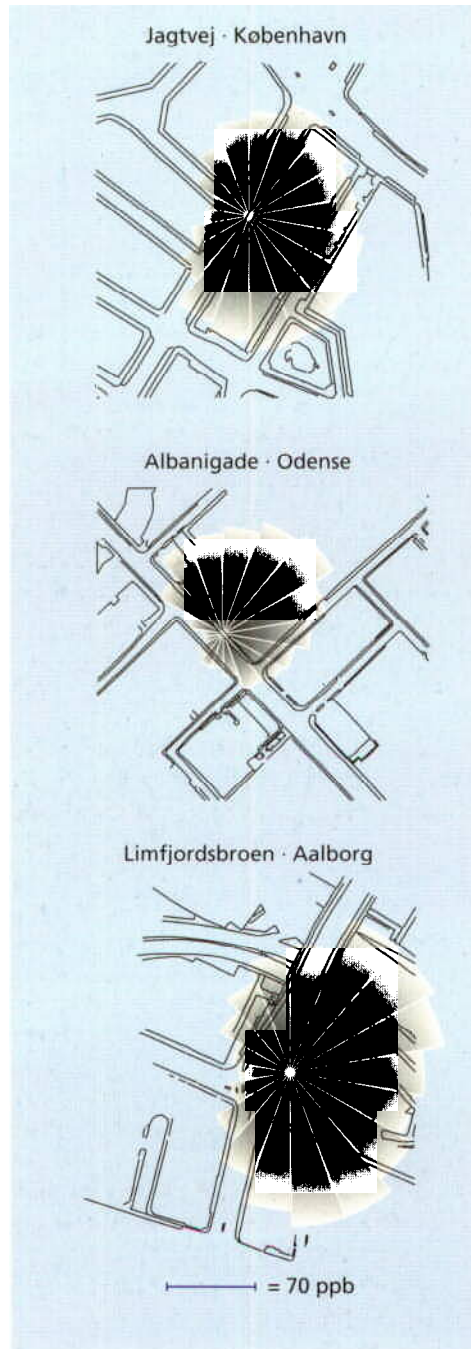
Bly

I takt med at bly er fjernet fra benzin, er koncentrationen i luften i byerne faldet til 1-2 % af 1982 værdierne. Niveauet var dengang over halvdelen af grænseværdien og over det dobbelte af den vejledende værdi. Bly i luften er ikke længere et sundhedsmæssigt problem. Det resterende bly er mest langtransporteret.



Luftforurening og meteorologi

Vindretningsafhængighed for koncentrationerne af NO_x . Radierne i cirkeludsnitten er proportionale med gennemsnitskoncentrationen ved vindretninger i den retning sektoren peger imod. Sektoren nedenfor svarer således til vind fra øst ($\pm 10^\circ$).



Gadekløft

Vindretning, vejorientering og vejtype er som nævnt afgørende for, hvordan forureningen spredes i et gaderum. Den såkaldte "gadekløft" effekt, som bevirker at koncentrationen normalt er størst i læsiden af gaden, er beskrevet på siderne 12-13.

Jagtvej i København er et typisk eksempel på en gadekløft. Målestationen er placeret på det østlige fortov. Der er meget lave koncentrationer ved vestenvind og høje koncentrationer ved østenvind og ved vindretning på langs ad vejen.

Albanigade i Odense kan ikke karakteriseres som en typisk gadekløft, men der findes bebyggelse på begge sider af gaden, som trods alt giver gadekløft lignende tilstande.

På Vesterbro i Aalborg ved Limfjordsbroen, hvor husene øst for gaden er meget lavere end på vestsiden er gadekløft effekten mindre end på Jagtvej i København. De største koncentrationer observeres, når vinden blæser i gadens retning.

Vindhastighed

Den 26. januar 1995 om morgenen blev der registreret meget høje koncentrationer af NO_x på gadestationerne i København, Odense og Aalborg. NO_x forureningen i de tre byer er givetvis af lokal oprindelse (trafik) og det fælles forløb

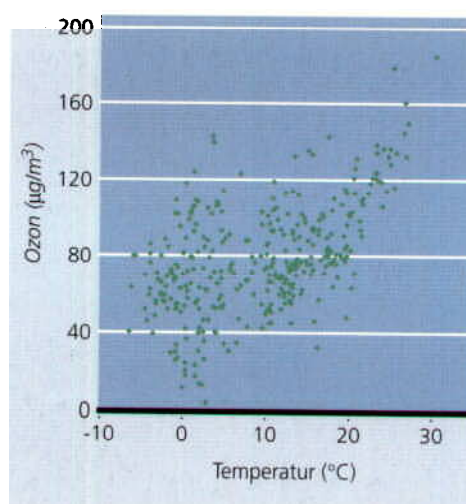
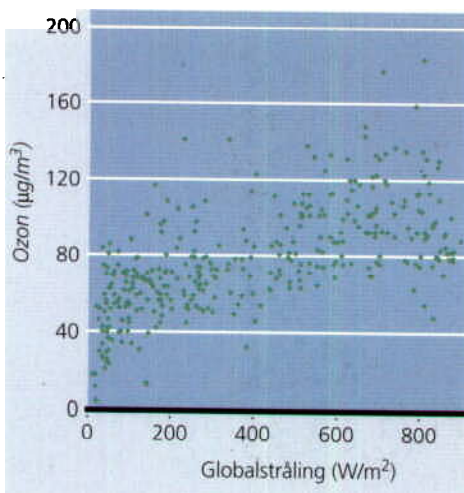
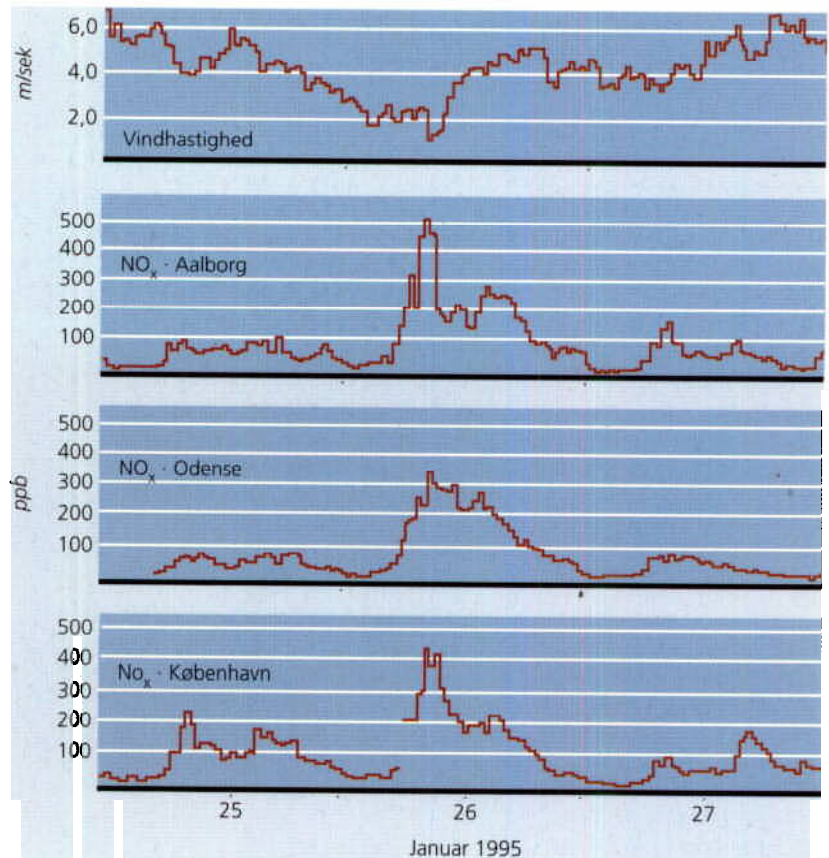


skyldes ensartede meteorologiske forhold den pågældende dag. Ved vindstille vil trafikforureningen i gadeniveau ikke blive ført væk. Sker det i myldretiden bliver effekten naturligvis større. Eksemplet viser, at et fælles forløb på forskellige lokaliteter ikke altid er tegn på bidrag fra fjerntransport, men kan skyldes ensartede meteorologiske og emissionsmæssige forhold.

Solstråling og temperatur

Ozon dannes som nævnt ved lysets påvirkning af NO_x og organiske gasformige stoffer. Derfor kunne man umiddelbart vente en nær sammenhæng mellem ozon niveauet og solindstrålingen. Det er imidlertid ikke tilfældet (se figuren).

Derimod forekommer høje ozonværdier kun ved temperaturer over 25°C . Forklaringen er, at ozonen dannes under transport fra kildeområderne i Centraleuropa. Luften herfra er varm og giver anledning til varmt og diset vejr i Danmark. Den største solindstråling forekommer, når vi får klar og kølig luft fra nordvest. Denne luft er normalt relativt ren.

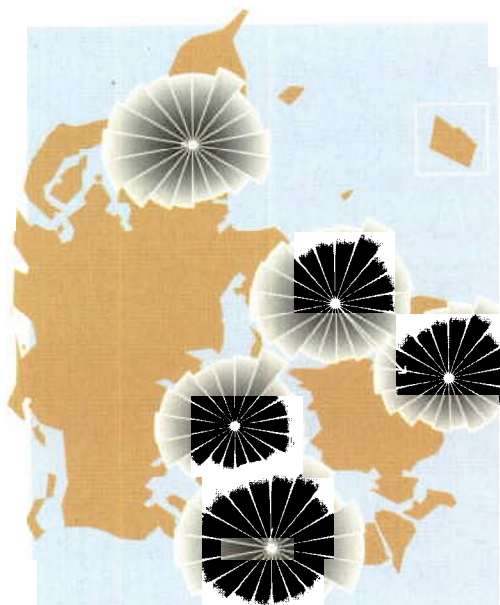


Sammenhængen mellem døgn maximum for ozon målt som halvtimesgennemsnit ved Keldsnor i 1996 og solindstråling (globalstråling) og temperatur.

NO_x - ozon kemi

De gennemsnitlige ozonkoncentrationer svarende til forskellige vindretninger.

Vindretningsfordelinger for resultater fra København. Radierne i cirkeludsnittene er proportional med gennemsnitskoncentrationer i 1996 ved vindretninger indenfor udsnittet. Gadestationen på Jagtvej er til venstre og tagstationen til højre. For at gøre resultaterne sammenlignelige er der brugt enheden ppb, som er proportional med antallet af molekyler.



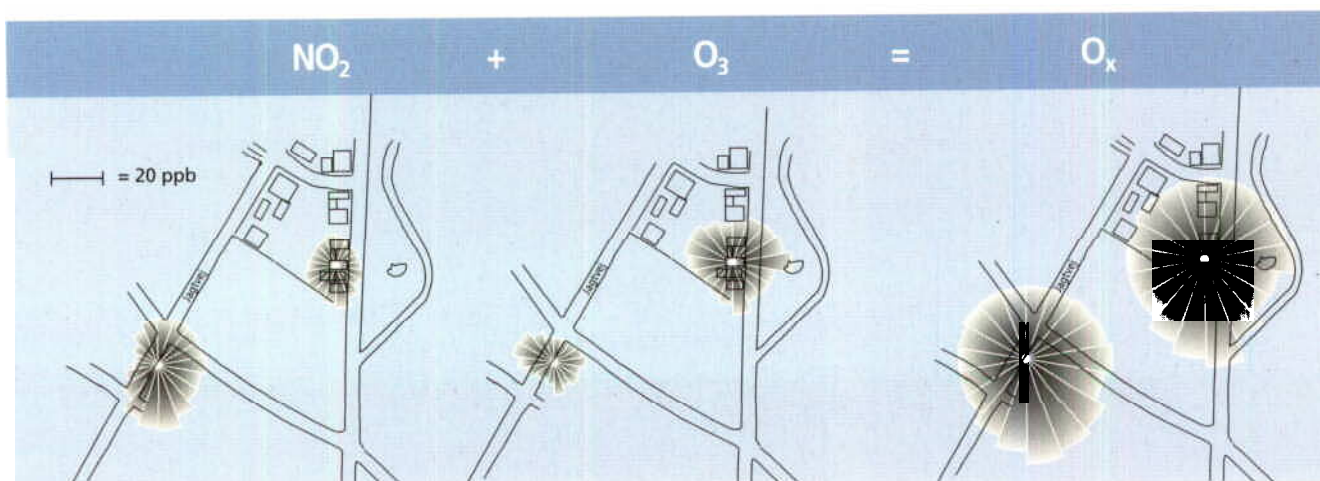
Af de utallige kemiske reaktioner, som sker i atmosfæren, har vi i LMP programmet især undersøgt ozons oxidation af NO til NO₂. Processen er vigtig, fordi NO er næsten ugiftig, mens NO₂ er sundhedsskadelig.

Ozonen dannes ikke i Danmark

Som det fremgår af vindroserne er ozonkoncentrationerne i gennemsnit næsten uafhængig af vindretningen. Man taler om, at der er en "troposfærisk baggrund" over den nordlige halvkugle på 30-40 ppb, som bliver holdt vedlige af naturlige og menneskeskabte emissioner af flygtige organiske forbindelser og kvælstofoxider. De meget høje koncentrationer findes dog især om sommeren, når vind fra syd til øst bringer forurenede luft til Danmark fra Centraleuropa.



Ozon kommer især med langtransport og kun i meget ringe grad lokalt dannes i luften i de danske byer. Kvælstofoxider emitteres hovedsageligt som NO fra bilernes motorer. Når NO og ozon findes sammen i luften vil de meget hurtigt reagere og danne NO₂. Denne reaktion ændrer ikke summen af NO₂ og ozon, som betegnes O_x. Figuren nedenfor viser



vindretningsfordelinger for gade- og tagstationerne i København. NO₂ koncentrationen er størst i gadeniveau, hvor emissionen af NO sker og ozon koncentrationen er tilsvarende lavere. O_x-niveauet er imidlertid så godt som ens på de to stationer, både hvad angår fordeling og niveauer. Normalt vil man have lidt højere O_x-niveau i gaden end på bybaggrundstationen. Det skyldes den direkte emission af NO₂. Ud fra resultaterne kan det konkluderes, at den direkte emission af NO₂ fra bilerne højst kan udgøre nogle få procent af den totale kvælstofoxid emission, hvilket er mindre end måleusikkerheden.

Ugevariation

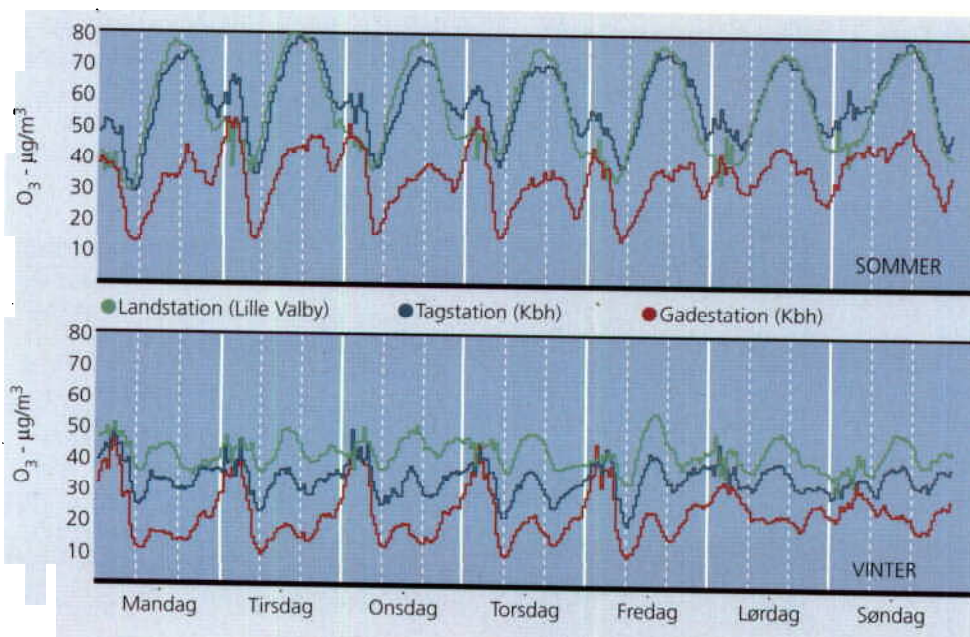
Der er stor forskel på variationen af NO_x og ozon i løbet af ugedagene om sommeren og om vinteren.

Om sommeren er ozonkoncentrationen på "landet" mindst i nattetimerne. Det skyldes at "blandingshøjden" ofte bliver meget lav om natten, dvs. kun de neder-

ste 50-100 m af atmosfæren opblandes. På grund af det tynde blandingslag udtynnes zonen ved at den deponeres på planter o.a. eller reagerer med kvælstofoxider. Da det samtidig bliver næsten vindstille, kan der ikke tilføres ny ozon udefra. Det har altså ikke noget med fotokemien at gøre. På tagstationen i byen er forløbet næsten det samme. Dog er dagværdierne på hverdage her lidt lavere som følge af bilernes NO udslip. Om natten finder man til gengæld lidt højere værdier af ozon på bystationen. Det skyldes sandsynligvis højere blandingslag i byen. I gadeniveau reduceres ozonkoncentrationerne med en faktor 2-3 i dagtimerne; men når trafikken stilner af om natten bliver koncentrationen næsten den samme som på landet.

Om vinteren er gennemsnitskoncentrationen på landet tæt på troposfærisk baggrund og varierer kun lidt i løbet af ugen. Ligesom om sommeren aftager værdierne i dagtimerne jo tættere man kommer på trafikken.

Gennemsnitsvariation for ozon på landstationen ved Lille Valby og stationerne i København. Kurverne repræsenterer gennemsnittene for halvtimesværdier målt i 1996 på samme klokkeslet og ugedag. Resultaterne er delt op i sommer og vinter.



Diverse stoffer

CO målinger fra gade-
stationerne i 1996

Enhed: mg/m ³	Årgennemsnit	max. 1/2 time	max. time	max. 8 timer
København	1,47	14,3	9,7	5,5
Odense	1,06	10,6	9,8	6,0
Aalborg	1,07	13,3	9,5	5,5
WHO's anbefaling -	-	60	30	10

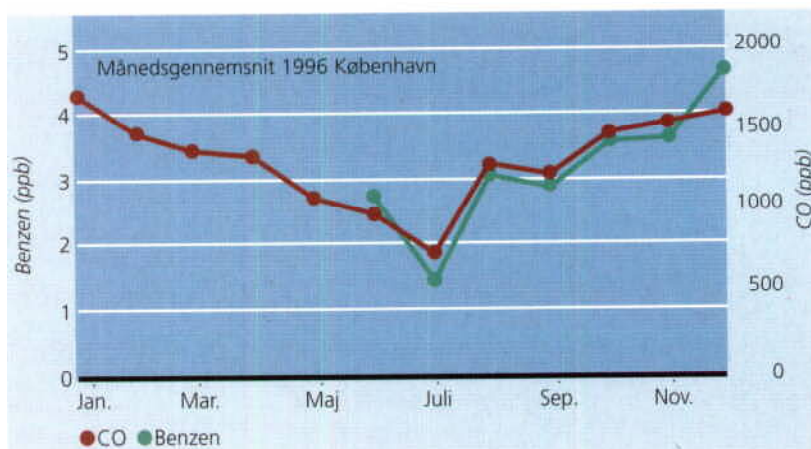
CO

Kulilte udsendes mest fra benzinmotorer. Den er som bekendt giftig selv i små mængder. Som det ses af tabellen, forekommer der i gadeniveau i Danmark maksimalt koncentrationer på ca. halvdelen af WHO's vejledende 8 timers værdi. CO er imidlertid et af de stoffer bilernes katalysatorer er effektive over for, så det forventes, at niveauet vil falde i de kommende år. CO benyttes ofte som indikator for forurening fra benzindrevne biler.

VOC

Flygtige organiske forbindelser (Volatile Organic Compounds) er en meget stor gruppe luftforurenende stoffer. De stammer både fra antropogene kilder, som industri og trafik, og fra naturlige kilder.

Månedsgennemsnit fra gade-
stationen i København.



(bl.a. vegetation). I byluft er især benzen og 1,3-butadien problematiske, fordi de er kræftfremkaldende.

Benzen har været målt i København ved kampanjer gennem flere år. Resultaterne viser, at niveauet i gennemsnit ligger på ca. 3 ppb (~10 µg/m³). Til sammenligning har WHO anslået sandsynligheden for at udvikle kræft til 6 ud af en million ved en eksponering på 1 µg/m³ livet igennem. Benzen findes i benzin, men kan også dannes ved benzinforbrændingen i biler. Der er en meget god korrelation mellem forekomsten af benzen og CO. I begyndelsen af 1996 gik man på Sjælland over til benzin med væsentligt lavere benzenindhold, fra ca. 3,5% til ca. 2%. Dette har resulteret i en mærkbar reduktion i benzenkoncentrationen i luften, bl.a. på Jagtvej.

1,3-butadien er kræftfremkaldende, men WHO har endnu ikke lavet en livstidsrisikovurdering. Hovedkilden til 1,3-butadien i byer er især trafik.

Der er god korrelation mellem benzen og 1,3-butadien i gadeniveau. Vi har ikke udført systematiske målinger af 1,3-butadien i Danmark. Men fra målinger i f.eks. London, kan det anslås, at niveauet ligger på mellem 20 og 25% af benzen niveauet (angivet i ppb).

PAH

En anden stor gruppe organiske forbindelser er de såkaldte PAH (Polycykliske Aromatiske Hydrocarboner). PAH findes i atmosfæren mest som partikler, men forekomsten kan veksle mellem gas og partikler. Mange PAH'er er kræftfremkaldende og mutagene. PAH dannes ved ufuldstændig forbrænding, d.v.s. de emitteres bl.a. fra biler og brændeovne. En del langtransporteres.

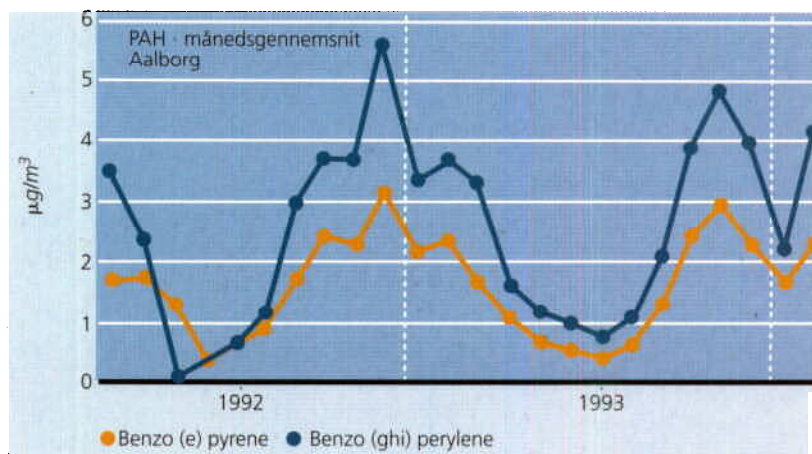
Partikelfiltre indsamlet i LMP er analyseret for PAH. Der blev bestemt syv af de vigtigste PAH forbindelser. Figuren viser månedsmiddelværdier for to af disse forbindelser. Der er en meget kraftig årstidsvariation. Det er imidlertid ikke klart, om det skyldes variation i emissionen eller nedbrydning af PAH forbindelserne i atmosfæren eller på filtret før analysen. Der er derfor behov for yderligere forskning på området.

Tungmetaller

Flere tungmetaller er toksiske. WHO har angivet vejledende værdier for V, Mn, Cd, Hg og Pb. WHO har endvidere for Cr, Ni og As anslået livstidsrisici for udvikling af kræft. Disse tungmetaller på nær Hg måles i LMP programmet. Hg er ikke målt systematisk i Danmark. På grundlag af emissionen anslår vi, at koncentrationerne ligger mellem 1 og 20 ng/m³ - altså langt under den vejledende værdi.

Enhed: ng/m ³	År	V	Mn	Cd	Hg	Pb	Cr	Ni	As
Aalborg	1982	22	20	<2	i.m.	1100	2,9	7	i.m.
Aalborg	1996	6	18	0,9	i.m.	19	3,7	3,8	1,6
København	1996	7	22	0,7	i.m.	25	5,6	4,2	2,1
Vejledende		1000	150	5	~1000	500	-	-	-
Livstidsrisiko		-	-	-	-	-	x)	3,8·10 ⁻⁴	1,5·10 ⁻³

x) Den anslåede livstidsrisiko er 4·10⁻² for hexavalent Cr, mens de målte værdier er total Cr.



Cr kan være enten hexavalent Cr(VI) eller trivalent Cr(III). Det er kun Cr(VI), som er kræftfremkaldende. Da Cr(VI) nemt omdannes til Cr(III) må det formodes, at Cr(III) udgør så godt som al Cr i atmosfæren. Cr(VI) vil normalt kun forekomme i større mængder nær kilden, f.eks. ved svejsning.

V og Ni stammer især fra fuelolie. Koncentrationerne er faldet i takt med at svovlindholdet er blevet nedsat i fuelolie. Mn og Cr kan stamme fra industriprocesser og kulfyrede kraftværker. Koncentrationerne har stort set været uændrede siden 1982. As og Cd stammer især fra kulfyrede kraftværker. På grundlag af målinger på landstationerne kan det vurderes, at der er sket et fald på omkring en faktor 3 siden 1982. Tungmetalforureningen i luften menes at være uproblematisk i Danmark, men udviklingen bør fortsat følges.

Månedsgennemsnit fra en gadestation i Aalborg fra marts 1992 til februar 1994.

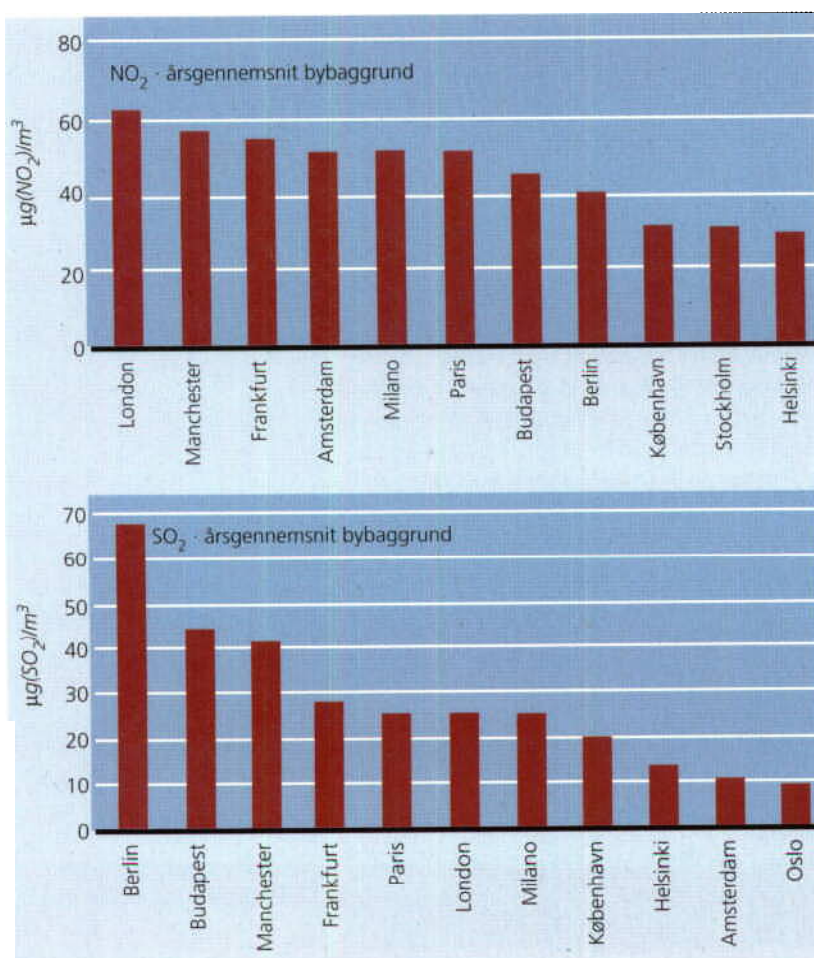
Målte koncentrationer for tungmetaller sammenlignet med WHO's vejledende værdier samt anslåede livstidsrisici ved en eksponering på 1000 ng/m³. i.m. = ikke målt.

Luftforurening i andre lande

Luftforureningsmålinger fra forskellige lande er ikke altid direkte sammenlignelige. Den strategi, der er lagt til grund for etablering af målenetværk, kan være meget forskellig fra land til land. I flere lande fokuseres på målinger i bybaggrunden med den begrundelse, at den er repræsentativ for befolkningens gennemsnitseksposering i byerne. I Danmark måler vi også på de mest forurenede steder - d.v.s. stærkt trafikerede gader - idet mange mennesker, der arbejder, bor eller

færdes ved/på gaden en stor del af dagen får en langtidspåvirkning her. Desuden forekommer her høje korttidspåvirkninger, bl.a. i forbindelse med transport.

Selv om vi så vidt muligt har søgt at bruge sammenlignelige data for de enkelte stoffer skal resultaterne derfor tages med et vist forbehold. Der er brugt data, som er samlet og behandlet af EU kommissionen og det Europæiske Tema Center for Luftkvalitet under EU's miljøagentur. Desuden har vi hentet data fra nationale internetsider.



NO₂

Resultaterne for NO₂ fra de enkelte byer stammer fra et af årene 1989 -1996. Da niveauerne i Europa har været nogenlunde uændrede gennem det senest tiår, spiller det formodentlig ikke så stor rolle, at data stammer fra forskellige år. På trods af at "bybaggrund" kan fortolkes forskelligt i de forskellige lande er niveauerne forbløffende ensartede.

SO₂

Resultaterne for SO₂ er fra et af årene 1989 -1991. Da der har været en kraftig nedadgående tendens, er det vigtigt så vidt muligt at benytte samme år til sammenligningen. Det meget høje niveau i Berlin skyldes nok, at emissionerne i store dele af Østeuropa toppede lige omkring 1990 ved "murens" fald.

NO_x i London og København

Resultater fra 1996 fra en gade- og en bybaggrundsstation i hhv København og London er sammenlignet i tabellen. Ni-

Enhed: $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO				NO ₂			
	Gade		Bybaggrund		Gade		Bybaggrund	
	gns	98-prc	gns	98-prc	gns	98-prc	gns	98-prc
København	72	298	6	50	45	104	30	77
London	183	501	43	235	91	194	62	135

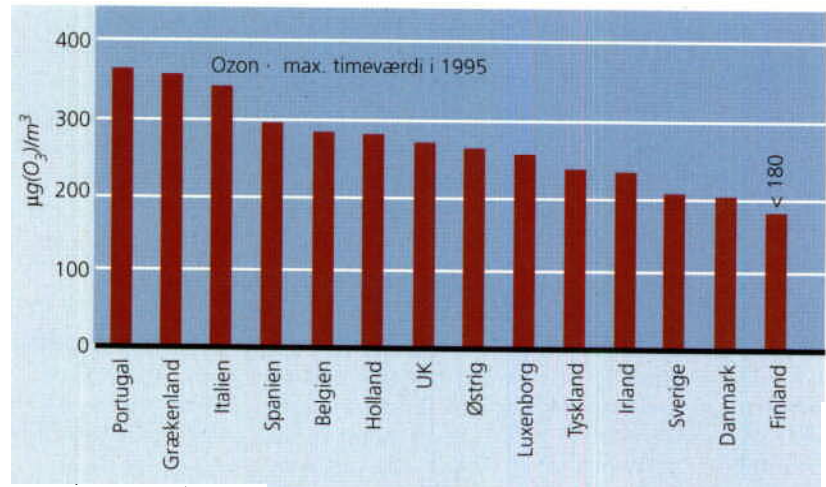
veauerne i London er omkring dobbelt så høje som dem fra København, bortset fra NO i bybaggrunden, hvor forholdet er omkring en faktor 5. Det kan forklares ved at NO_x niveauet i London er så højt, at der ikke er ozon nok til oxidationen af NO. I København er NO_x niveauet i bybaggrund derimod lavere end ozon-niveauet.

Ozon

De højeste ozonværdier inden for EU-landene findes i Middelhavsområdet, mens de her i Norden kun er godt halvt så store. I EU-direktivet for ozon er der fastlagt en informationstærskel på $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og en varselstærskel på $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Det betyder, at varsling er utænkelig i de nordiske lande; men at den kan forekomme i Sydeuropa. Der er år, hvor end ikke information er påkrævet i Norden.

Sammenfatning

Luftforureningen i de nordiske lande er gennemgående lavere end i den øvrige del af Europa. For Danmark kan det forklares ved at emissionerne er relativt lave. Vi har ingen sværindustri og befolkningstætheden er noget mindre end i Centraleuropa. En meget væsentlig faktor er imidlertid også klimaet. I luftforureningssammenhæng er vi begunstiget af hyppige lavtrykspassager, der giver anledning til en frisk vind fra vest og sydvest, der dels er relativt ren og dels hurtigt fjerner lokal forurening. Det flade land giver heller ikke mulighed for ophobning af forurening i lukkede dale. Det er et problem som kendes mange steder fx



Mexico City, Los Angeles og - for den sags skyld - Oslo.

Internet info

Som det er tilfældet med de danske data er der efterhånden luftforureningsdata fra mange lande på internettet. De findes enten på nationalt plan eller for enkelte byer eller regioner. Et par eksempler kan findes i tabellen. (alle adresser indledes med <http://>).

Belgien	www.irceline.be/~celinair/homeeng.html
Danmark	www.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/netw.htm
Mexico	www.calidad-del-aire.gob.mx
Stockholm	www.slb.mf.stockholm.se
UK	www.open.gov.uk/doe/envir/airq/aqinfo.htm
USA	www.epa.gov/airs/airs.html
Østrig	www.ubavie.gv.at/info/emi/luft.htm

Luftforureningsmodeller

De forskellige fysiske og kemiske processer, som styrer spredning og omdannelser af luftforurening kan beskrives ved matematiske ligninger og formler, i såkaldte luftforureningsmodeller. Kort fortalt, beskriver luftforureningsmodeller de matematiske forbindelser mellem emissioner og forureningens koncentration i luften.

Modeller og målinger

Vores viden om luftforureningsprocesser stammer hovedsageligt fra målinger af såvel luftforurening, som af andre processer i atmosfæren. Målingerne foretages i overvågningsprogrammer, som f.eks. LMP, men også fra specielt designede, mere forskningsrelaterede programmer. Det Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP) omfattede et specielt projekt om luftforurening fra trafikken i byområder. Projektet var bl.a. baseret på målinger i LMP. Indenfor projektet har man desuden udført en række supplerende

OSPM- modellen benyttes til beregning af forurening fra trafikken i bygader. Spredning og kemiske omdannelser af forureninger i gaderummet er i modellen beskrevet ved en række matematiske formler. Luftforureningen kan herefter beregnes, når man kender emissionen fra trafikken (emissionsfaktorer og trafikdata), gadens udformning, meteorologiske data og byens baggrundsforurening

målinger af de meteorologiske forhold i gaderummet og specielle trafiktællinger. Endvidere undersøgte man relationerne mellem forskellige forureningskomponenter. Af speciel interesse var målingerne af benzen, som anses for at være en af de mest sundhedsfarlige luftforureninger. Resultaterne fra SMP har i væsentlig grad forøget vores viden om spredning og omdannelse af luftforurening fra trafikken i danske byområder og har dermed bidraget til forbedring af vores luftforureningsmodeller.

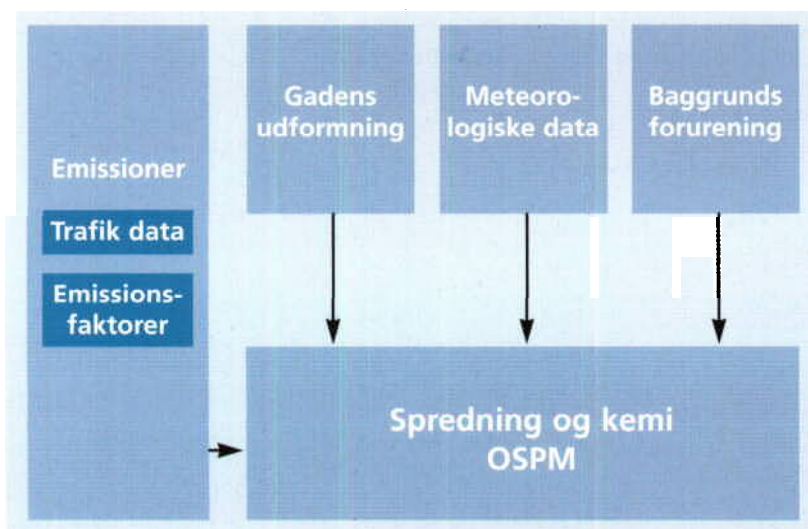
OSPM

DMU har udviklet den såkaldte Operational Street Pollution Model (OSPM), der kan anvendes til kortlægning af trafikens luftforurening i danske byer.

Anvendelser af OSPM

Modellen er meget brugt i forbindelse med undersøgelser af konsekvenserne af planlagte nye trafik anlæg, f.eks. den planlagte faste forbindelse over Øresund, kortlægning af luftforurening af den fremtidige udvidelse af Billund Lufthavn. DMU's OSPM-model anvendes også i forbindelser med undersøgelser af befolkningens eksponering for luftforurening. Her drager man specielt nytte af mulighederne for at beskrive luftforureningen under forskellige forhold i byer, kombineret med befolkningsdata under anvendelse af Geografiske Informationssystemer (GIS).

En speciel anvendelse af modellen er til analyse af måledata. Ved at kombinere modelberegninger med målingerne kan



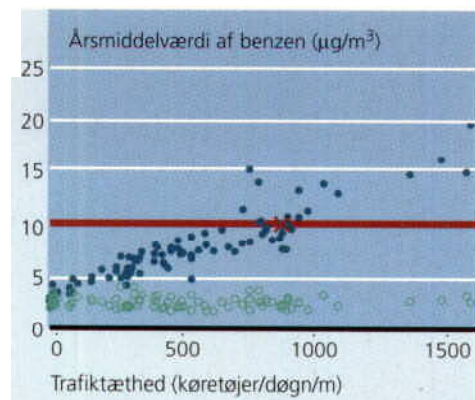
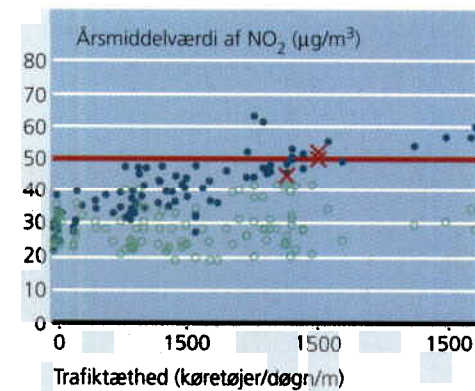
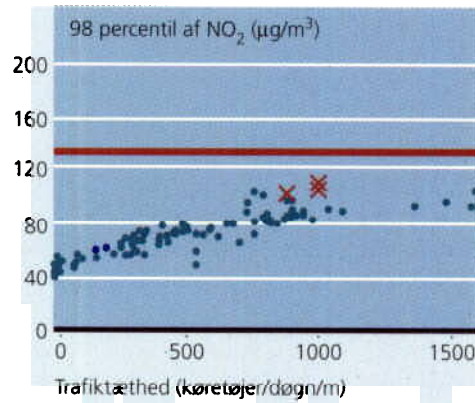
man bestemme trafikens emissioner. Tilstedeværelse af gode emissionsdata er en forudsætning for pålidelige luftforureningsberegninger. Denne metode har vi bl.a. anvendt til bestemmelse af emissionsfaktorerne for benzen, og vi planlægger nu også at anvende den til bestemmelsen af partikelemissioner.

Kortlægning med OSPM

OSPM-modellen kan benyttes til kortlægning af forurening fra trafikken. I forbindelse med en epidemiologisk undersøgelse af sammenhæng mellem børnekræft og forurening fra trafikken, har Kræftens Bekæmpelse indsamlet data om trafik og gadens udformning for 103 vejstrækninger i København. For disse vejstrækninger har DMU ved hjælp af OSPM-modellen beregnet luftforureningen med NO_2 og benzen for året 1995. Det er langt flere vejstrækninger end man ville kunne overkomme at måle på.

Figureerne kan man selv anvende til at give en første vurdering af forureningen i en gade, hvis man kender trafiktætheden (årsdøgntrafikken) og gadens bredde.

Koncentrationerne er afbildet som funktion af trafiktætheden for den pågældende vejstrækning. Trafiktætheden er her defineret som forholdet mellem årsdøgntrafik og gadens bredde. Den samme trafikmængde vil resultere i højere koncentrationer af luftforurening i en smal gade end i en bred gade.



Beregningerne er vist for 98-percentil og årsmiddelværdi af NO_2 , samt årsmiddelværdi af benzen. Vejledende værdier er indtegnet i figurerne som stiplede linier: En vejledende værdi på $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for korttidseffekter af NO_2 , en vejledende værdi på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for langtidseffekter af NO_2 , samt en uofficiel grænseværdi på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for langtidseffekter af benzen.

For årsmiddelværdier af NO_2 og benzen er desuden vist de estimerede baggrundskoncentrationer for området omkring den pågældende vejstrækning (grønne cirkler). På grund af forenklinger i beregningsmetoden er disse estimerede baggrundsniveauer behæftet med en ret stor usikkerhed.

Til sammenligning er vist målinger fra de faste mallestationer i København: Jagtvej, Bredgade og H.C. Andersens Boulevard (røde krydser). Benzen målinger findes kun fra Jagtvej.

Forurening med det kræftfremkaldende stof benzen udgør stadigvæk et væsentligt problem i de københavnske gader. De nye EU-grænseværdier forventes at være lavere end den midlertidige værdi på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Hvad bestemmer eksponeringen?

Eksponering

Eksponering eller udsættelse for en luftforurening er givet ved kontakten med stoffet i en vis tid.

Vores tids- og aktivitetsmønster d.v.s. hvor lang tid vi opholder os i forskellige mikromiljøer er derfor afgørende for vores samlede eksponering. Den kan være meget forskellig fra person til person.

Mikromiljøer er f.eks. indendørs hjemme, udendørs hjemme, på arbejde, og i trafikerede gader. Selv om en dansker i gennemsnit kun bruger omkring en time på transport, kan dette give et væsentligt bidrag til den samlede eksponering, idet de højeste koncentrationer af luftforurening optræder i trafikerede bymiljøer.

Koncentrationen i udeluft er afgørende for en persons samlede eksponering, fordi den påvirker såvel udendørs som indendørs. Ophold indendørs i bygninger yder dog en vis beskyttelse mod indtrængende luftforurening. I nogle tilfælde kan indendørskilder dog bidrage med de samme stoffer. Hvis man er udsat for indendørs udslip f.eks. fra passiv rygning, gaskomfur eller forurenende stoffer fra byggematerialer, kan det påvirke den samlede eksponering væsentligt. En typisk dansker opholder sig indendørs i gennemsnit ca. 22 timer i døgnet.

Dosis og sundhedseffekt

Dosis er den mængde forurening vi indånder, og som er afgørende for de sundhedsskadelige effekter. Dosis afhæ-

Vi måler høje koncentrationer af luftforurening ude på gaden, f.eks. på Jagtvej i København. (Foto: Jes Fenger, DMU).





Luftforureningen i gårdene bag ved husrækkerne er væsentligt lavere end i de tilstødende gader. (Foto: Jes fenger, DMU).

ger af fysiologi (mængden af inhaleret luft afhænger af alder) og af det fysiske aktivitetsniveau (f.eks. inhalerer en cyklist mere luft end en bilist).

Følsomhed overfor luftforurening er meget forskellig for forskellige mennesker. F.eks. er børn, allergikere og ældre mere følsomme end gennemsnittet. Men det vil generelt være sådan, at jo højere niveauer vi eksponeres med, og jo længere det varer, jo større er risikoen for sundhedsskadelige effekter.

By og land

Som vi har set er luftforureningen generelt højere i byerne end på landet. De målte årsniveauer af NO₂ er således 3-5 gange så høje i de største byer (København, Odense, Aalborg) som på landet (Lille Valby, Keldsnor).

Ozon er som nævnt en undtagelse. Årsniveauerne af ozon er omkring 20% højere på landet end i de største byer, fordi der er mindre NO emission på landet til at omdanne ozon til NO₂.

Mikromiljøer

Luftforureningen er højest i stærkt trafikerede gaderum med tæt høj randbebyggelse. Bag husrækken og i en vis afstand fra de trafikerede gader vil luftforureningen være som byens generelle baggrundniveau. Samtidige målinger i trafikerede gader og bag husrækkerne viser, at NO₂ niveauerne er omkring 30-50% højere i gaden. For CO kan niveauerne i gaden være omkring 3-4 gange så høje.

Da hovedparten af befolkningen bruger langt størstedelen af deres tid indendørs er befolkningens samlede eksponering væsentligt påvirket af forholdet mellem indendørs- og udendørskoncentrationer (I/U-forhold).

Stof:	I/U-forhold
PM _{2.5}	0,85 - 5
NO ₂	0,5 - 2
Ozon	0,2
VOC	> 1
CO	1 - 2
SO ₂	0,75

Omtrentlig forhold mellem indendørs- og udendørskoncentrationer for forskellige luftforureninger som interval fra ekskl. til inkl. indendørs kilder. Indendørskilder for partikler er f.eks. tobaksrygning og for NO₂ og CO f.eks. gaskomfur.

Hvem er især eksponeret?

Udsatte befolkningsgrupper

Generelt vil luftforureningen stige med stigende bystørrelse og stigende trafik-tæthed, og falde fra bycenteret til forstæderne og falde yderligere ud til landdistrikterne. En undtagelse er ozon, hvor niveauer er højere på landet. Omkring 1,8 million danskere bor i større byområder, hvor luftforureningsniveauerne kan have sundhedsskadelige effekter.

Personer med bopæl eller arbejdssted langs stærkt trafikerede gader vil være særligt udsatte. Antallet af boliger, som er stærkt belastede med vejtrafikstøj, kan anvendes som en grov indikator for eksponering med luftforurening. Omkring 185.000 boliger er udsat for stærkt generende støj over 65 dB(A). Hovedparten af de mest støjbelastede boliger er lokaliseret i de største byer og langs indfaldsvejene. Det skønnes på denne baggrund, at omkring 300.000 mennesker bor langs veje med særlig høj luftforurening.

I gader med stærk trafik er pendlere med lang transporttid i bil eller bus samt gående og cyklister særligt udsatte.

I forbindelse med særlige aktiviteter udsættes befolkningen for kortvarig, høj eksponering, f.eks. under ophold i lukke-

de parkeringshuse og -kældre, ved tankpåfyldning på benzinstationer mv.

Visse erhvervsgrupper udsættes for høj eksponering og dosis i udemiljøet. Det er især mennesker, som arbejder udendørs i trafikerede bymiljøer, og som samtidig er fysisk aktive. Det gælder bl.a. postbude, cykelbude og arbejdere, som udfører vedligeholdelsesarbejder i forbindelse med vejbelægninger og installationer placeret i eller ved gader (belysning, el, gas, vand, telefon mv.). Bus- og taxachauffører og andre erhvervsgrupper, som kører meget er ligeledes særligt udsatte, hvis de kører i trafikerede gader i de større byer. Ansatte i butikker og boder langs trafikerede gader er ligeledes udsat for høje koncentrationer.

Bilister og cyklister

De forskellige trafikantgrupper, som færdes i trafikerede gaderum er ikke lige udsatte. Det kan illustreres ved at sammenligne bilister og cyklister. Bilisters eksponering afhænger af bilens egen emission (fordampningstab, utætheder mv.), ventilationsforholdene i bilen, og koncentrationen i udeluften. Cyklistens eksponering er bestemt af placeringen i forhold til trafikken, blandt bilerne eller ved fortovs-kanten. En cyklist, som færdes mellem bilerne, kan i værste fald indånde en uforyndet røgfane fra en enkelt bil.

Den dosis som bilisten og cyklisten indtager vil endvidere afhænge af deres vejrtrækning. Cyklisten indånder således betydeligt mere luft pr. tidsenhed end bilisten. Ved sammenligning mellem bilisten og cyklisten beregnes dosis således

Danskernes fordeling på bystørrelse. København omfatter kommunerne København og Frederiksberg fra Danmarks Statistik (1994).

Bystørrelse	Indbyggere
København (inkl. Frederiksberg)	551.000
Hovedstadsområdet (ekskl. København og Frederiksberg)	788.000
Større byer (over 100.000)	460.000
Mellemstore byer (10.000 to 100.000)	1.075.000
Små byer (1.000 to 10.000)	1.094.000
Landsbyer og huse på landet (0-1.000)	1.194.000
I alt	5.162.000

Eksponerings- og dosisforholdene er forskellige for de forskellige trafikantgrupper, når de færdes i trafikerede gaderum. (Foto: Sonja Iskov, 2. maj)

som luftkoncentrationen gange indåndet luftmængde.

En hollandsk undersøgelse har vist, at bilister eksponeres med højere koncentrationer af CO, benzen, toluen og xylen end cyklister, men at cyklisternes dosis var tæt på bilisternes pga. øget vejtrækning. For NO₂ var cyklisternes dosis højere end bilisternes.

Følsomme befolkningsgrupper

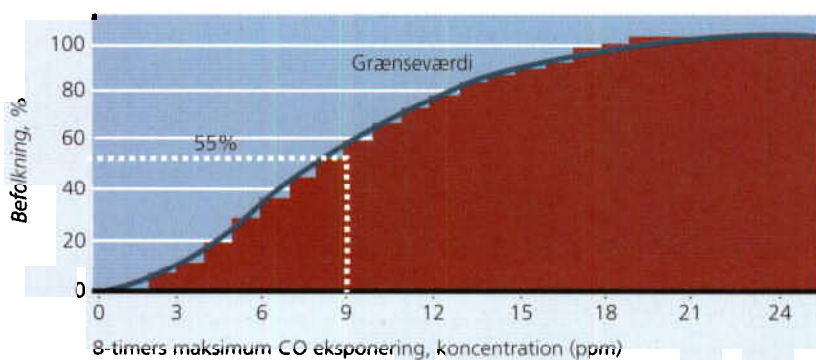
Luftforureningen skønnes at forværre tilstanden hos personer med luftvejslidelser og hjerte-karsygdomme samt at øge forekomsten af visse kræftformer f.eks. lungekræft. Personer med hjerte-karsygdomme er særligt følsomme, fordi luftforureningen kan påvirke åndedrætsfunktionen og medføre hjerteanfald. Disse følsomme grupper har risiko for øget sygelighed eller dødelighed. Selv forholdsvis moderate luftforureningsniveauer kan påvirke svækkede og syge personer, personer med luftvejslidelser, samt børn og ældre.



Astmapatienter og andre personer som lider af luftvejslidelser er særligt følsomme overfor luftforurening. Undersøgelser har vist, at velhandlede astmapatienter er i stand til at justere deres medicinforbrug efter bl.a. luftforureningen. (Foto: Gert S. Laurisen, Biofoto)

Hvordan vurderes eksponering?

Et eksempel på befolknings-eksponering modelleret i USA. 45% af befolkningen er eksponeret med niveauer over WHO's grænseværdi på 9 ppm (Ott 1985).



Vores eksponering med luftforurening kan vurderes på forskellige måder. Det kan ske ved at bestemme enkelte personers eller befolkningens gennemsnitlige eksponering. Endvidere kan vurderingen foretages direkte ved at måle på personerne eller indirekte ved at skønne eksponeringen ved hjælp af luftkoncentrationen.

mens befolkningseksponering bestemmes ved at sammenstille luftforureningsdata og befolkningsdata. I det sidste tilfælde vil resultaterne ikke kunne knyttes til enkeltpersoner.

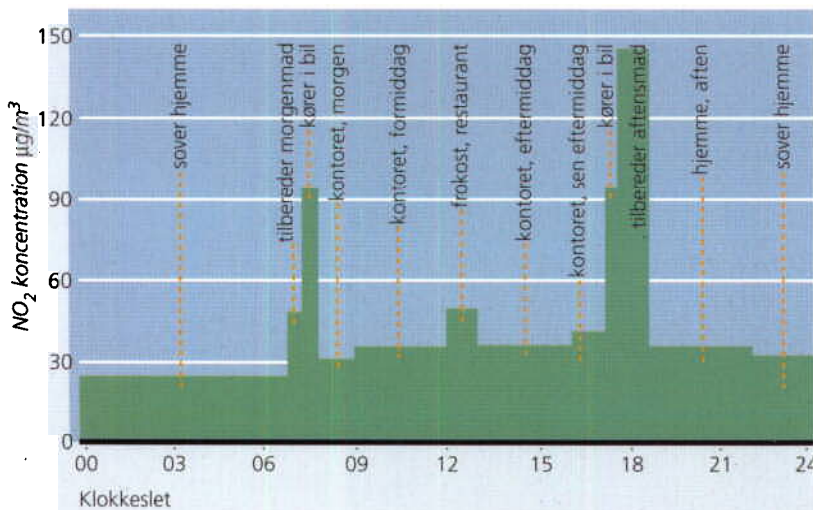
Kortids- og langtidseksponering

Korttidseksponering med høje niveauer af NO₂ kan eksempelvis udløse akutte symptomer hos astmapatienter. I dette tilfælde er det vigtigt at vurdere de høje koncentrationer. Den gældende grænseværdi for NO₂ afspejler denne situation, idet niveauet på 200 µg/m³ kun må overskrides i 2% af tiden (175 timer på et år), og i det nye EU direktiv kun 8 timer om året.

Visse kræftfremkaldende stoffer formodes ikke at have en nedre tærskel for sundhedsskadelige effekter. For effekter, der udvikles over længere tid, er det den samlede dosis, der er afgørende. D.v.s. gennemsnitsniveauet kan anvendes som eksponeringsmål. I denne sammenhæng benyttes begrebet livstidsrisiko.

Personlig og befolknings-eksponering

Ved personlig eksponering bestemmes eksponeringen af den enkelte person,



Faste målestationer

De faste målestationer i det landsdækkende måleprogram kan benyttes til indirekte vurdering af eksponeringen. Måleresultater fra gader eller bybaggrund kan benyttes som en grov indikator for bybefolkningens eksponering, og måleresultater fra baggrundsstationer som grov indikator for landbefolkningens eksponering.

Et eksempel på personlig eksponering med NO₂ målt i USA. Døgnprofil over eksponeringen med tilhørende tids- og aktivitetsmønster (Sexton og Ryan 1988)

Mikromiljøtilgang

Målte og/eller modelberegned koncentrationer for en række forskellige mikromiljøer kan sammen med data for tids- og aktivitetsmønster for enkeltpersoner eller grupper benyttes som en anden type indirekte vurdering af eksponeringen. Her ved opnås detaljeret viden om forskellige personers eksponering, bidrag fra forskellige mikromiljøer og aktiviteter mv.

Personlig monitoring

Personlig monitoring er en direkte metode, hvor personbåren måleudstyr anvendes til at måle luftforureninger, som personen er udsat for. Der kan enten være tale om aktivt måleudstyr med luftpumpe, eller passivt måleudstyr baseret på diffusion af luftmolekyler.

Biomarkører

Biologisk monitoring er en personlig målemetode, hvor prøver udtages fra organismen i form af f.eks. blod eller urin. Metoden tillader ikke adskillelse mellem eksponering gennem luften og andre veje,



Computermodeller til vurdering af befolkningens eksponering, men også til personlig eksponering, finder stigende anvendelse. (Foto: Jes Fenger, DMU)

f.eks. maden. Der eksisterer for eksempel biomarkører for PAH, som måles i urin.

Modeller

Målinger kan give præcise bestemmelser af luftkvaliteten eller eksponeringen i konkrete situationer, men er ofte ressourcetrækkende at gennemføre for mange lokaliteter. Derfor anvendes modeller til bestemmelse af luftforureningen på steder, hvor der ingen målinger findes, samt til estimering af luftforureningen under historiske og fremtidige forhold. Endvidere kan modeller anvendes til kortlægning af luftkvaliteten og eksponeringen, samt til konsekvensvurdering af forskellige indgreb overfor forureningen. Modeller er også velegnede til at analysere sammenhænge.



En NO₂-opsamler af badge-typen, som f.eks. kan bæres på tøjet. Badgen er i stand til måle den akkumulerede eksponering over en længere periode f.eks. en dag eller uge. Fordelen ved personlig monitoring er, at eksponeringen kan relateres direkte til det enkelte individ. (Foto: Kræftens Bekæmpelse).

Muligheder for forbedring af luftkvaliteten

Myndighedernes regulering af luftkvaliteten i byerne er først og fremmest begrundet i sundhedshensyn. Forureningens skadelige virkning på bygningsmaterialer har dog også en vis betydning. Regulering af den regionale og globale luftforurening spiller især en rolle for effekter på økosystemerne, men sådanne indgreb påvirker selvfølgelig også luftkvaliteten i byerne og omvendt.

Indgreb mod luftforurening omfatter generelle virkemidler som grænseværdier, økonomiske styringsmidler, planlægning og information. Disse indgreb kan foregå på skalaer, fra internationalt (EU), statsligt, amtsligt og kommunalt niveau helt ned til den enkelte borger.

Regulering af virksomheders luftforurening sker ved anvendelse af både emissionsbegrænsning gennem renere teknologi, fortynding ved etablering af skorstene, og adskillelse ved lokalisering i industriområder. (Foto: Jes Fenger, DMU).

Emissionsbegrænsning

Den mest drastiske reduktion af luftforurening sker ved reduktion af emissionen fra selve forureningskilden ved hjælp af filtre, katalysatorer, bedre brændselsøkonomi, mindre forbrug m.v. Alt andet lige er det naturligvis den bedste metode til begrænsning af luftforureningen, men tekniske og økonomiske forhold sætter grænser for, hvor langt man kan gå ad denne vej.

Fortynding

Mere effektiv fortynding af et luftafkast kan f.eks. opnås gennem etablering af en højere skorsten, hvorved der sker en bed-



re opblanding af de skadelige stoffer med ren luft, således at koncentrationen i omgivelserne bliver mindre. Fortyndingsstrategien bidrager ikke til mindre samlet forurening, men alene til bedre spredning og dermed forbedring af forholdene lokalt.

Adskillelse mellem kilde og mennesker/miljø

Adskillelse mellem forureningskilder og befolkningen er en anden metode til reduktion af eksponeringen. Denne adskillelse kan f.eks. sikres gennem byplanlægningen.

De seneste års miljøindsats har vist, at det ikke er tilstrækkeligt at fortynde sig ud af miljøproblemerne, men at man må forhindre at emissionerne finder sted, eller i det mindste begrænse dem mest muligt.

Regulering af luftforureningen fra vejtrafikken

Vejtrafikken er den dominerende kilde til luftforurening i danske byer. Derfor er virkemidler overfor vejtrafikken særlig vigtige. De vigtigste virkemidler er:

- Renere teknologi
- Miljøkontrol af køretøjer i brug
- Overflytning til mindre forurenende transportformer
- Luftkvalitetsplanlægning
- Byplanlægning
- Trafikplanlægning

Renere teknologi

Ved anvendelse af renere teknologi kan emissionen reduceres fra det enkelte køretøj. Skærpede grænseværdier for emissions- og brændstofkvalitet opfyldes typisk ved forbedret forbrændingsteknik, montering af katalysator mv. Katalysatorer på benzindrevne biler reducerer emis-

sionerne kraftigt. Når katalysatoren er varm efter 2-3 minutters kørsel reducerer den emissionen af CO, HC og NO_x med 85-90%. Men tages der hensyn til kørsel med kold motor under normal kørsel er den samlede reduktion kun 60-80%. Tidligere krav omhandlede kun delvist emissioner ved koldstart. Fremtidige krav vil også afhjælpe dette. Emissionsgrænser indført i oktober 1990 er blevet opfyldt ved at alle nye benzindrevne biler fra denne dato har monteret katalysatorer. Antallet af kørte km med benzindrevne personbiler med katalysator udgjorde i 1996 omkring 50%. Katalysatorer forventes yderligere at forbedre luftkvaliteten for CO og HC, men i noget mindre grad for NO₂, fordi dieselskøretøjerne bidrager meget til NO_x emission og p.g.a. kemiske omdannelser med ozon, som danner NO₂.

Katalysatorbiler har mindre partikelemission end biler uden katalysator. Det skyldes, at katalysatoren fjerner gasformige stoffer, der senere bliver til partikler, at disse biler har bedre elektronisk styring

Elbiler er et eksempel på renere teknologi, som ikke giver nogen emission i selve gaderummet, og elbiler kan derfor ved større udbredelse markant forbedre luftkvaliteten i byerne. Da elektriciteten i Danmark overvejende produceres på kulkraftværker vil den regionale luftforurening øges, dog uden at det skønnes at kunne påvirke luftkvaliteten i byerne væsentligt. Øget elproduktion med f.eks. vindmøller og solceller vil ikke bidrage til øget regional luftforurening.

Ved god vedligeholdelse af biler kan man reducere forureningen væsentligt. (Foto: Elvig Hansen, Biofoto)

og indsprøjtning af benzin og at blyet er fjernet fra benzinen.

Nye transportteknologier som f.eks. elbiler ville kunne forbedre luftkvaliteten væsentligt lokalt.

Renere brændstofkvaliteter med lavere indhold af f.eks. svovl, benzen og aromater reducerer også emissionen. Alternative drivmidler f.eks. naturgas, LPG (Liquified Petroleum Gas), etanol, RME (Rapsolie MetylEster) og DME (DiMethylEter) kan også reducere emissionen.

Miljøkontrol af køretøjer i brug

Ved løbende miljøkontrol af biler forventes det, at der kan opnås en mindre emission. Dette opnås ved bedre motorjuste-

ring, bedre motorvedligeholdelse, og kontrol af katalysatorens effektivitet. Som følge af et EU-direktiv indføres i 1998 periodisk syn af biler i Danmark, bl.a. med henblik på miljøkontrol.

Udstyr, som kan afsløre nedsat effektivitet af katalysatoren, vil sandsynligvis blive et EU-krav i nye biler i fremtiden (OBD - On Board Diagnostics). Det vil endvidere formentlig være muligt at gennemføre "overenstemmelseskontrol" af biler i brug (recall). Stikprøver af et bestemt bilmærke og årgang udtages for at undersøge om bilerne overholder emissionsgrænseværdierne. Såfremt stikprøven ikke lever op til kravene tilbagekaldes og justeres hele bilårgangen. Et sådan system har stor præventiv effekt, idet tilbagekaldelse er meget dyr for bilproducenterne.

Danmarks Miljøundersøgelser har anvendt FEAT-måleudstyr (Fuel Efficient Automobile Testing) til at undersøge den aktuelle emission fra biler under almindelig kørsel. Måleudstyret opstilles ved vejkanterne og måler emissionen fra den enkelte bil, som kører forbi. Undersøgelsen viste, at ca. 10% af bilerne stod for 50% af CO og HC emissionen, og tilsvarende udenlandske undersøgelser tyder på, at det er halvgamle dårligt vedligeholdte biler (5-9 år), der forurener mest. Der er generelt flere storforurenere blandt de ældre biler, men deres bidrag til den samlede forurening er lille, fordi der er relativt få, og de kører ikke så mange km. Miljøkontrol af biler i brug kan derfor forventes at føre til en væsentlig reduktion af emissionen, hvis det er muligt at udpege og efterjustere disse biler.

Overflytning til mindre forurenende transportformer

Emissionen kan generelt reduceres ved at flytte transport af personer eller gods til transportformer med mindre emission. Emissionen fjernes helt, hvis biltrafik overflyttes til cykeltrafik. Hvis personbiltrafik overflyttes til effektivt udnyttet kollektiv trafik, vil emissionen generelt falde. Det er dog helt afgørende, hvilken type kollektiv trafik, der anvendes. Anvendes traditionelle dieselbusser kan partikelemissionen stige.

Planlægning

Emissionen kan mindskes eller fordeles mere hensigtsmæssig gennem planlægning.

Luftkvalitetsplanlægning kan omfatte fastsættelse af vejledende og bindende grænseværdier for luftkvaliteten, monitoring af luftforurenende stoffer, information og varsling af befolkningen, samt ud-

arbejdelse af luftkvalitetskortlægning og handlingsplaner.

Byplanlægningen påvirker bystrukturen og arealanvendelsen, og kan derfor være med at mindske transportarbejdet og dermed mindske den samlede emission fra trafikken.

Trafikplanlægningen kan være med til at mindske emissionen og ændre dens geografiske fordeling ved at påvirke trafikens omfang, fordeling og køremåde.

Til støtte for planlægningsaktiviteter er Danmarks Miljøundersøgelser bl.a. i gang med at udvikle et integreret miljøinformationssystem. Dette gør det muligt at kortlægge luftkvaliteten og befolkningseksposeringen i en hel by ved anvendelse af Geografiske Informations Systemer (GIS), digitale kort, registeroplysninger og en gadeluftkvalitetsmodel (OSPM). Modellen muliggør endvidere konsekvensanalyser af by- og trafikplanlægnings tiltag, trafikstigninger og ændrede emissionsforhold mv.

Målsætninger om grænseoverskridende luftforurening

Danmark har tilsluttet sig den internationale Geneve konvention, som regulerer grænseoverskridende luftforurening, og som trådte i kraft i 1983. Princippet bag de senest opstillede mål i konventionens forskellige protokoller er baseret på naturens kritiske "tålegrænse", som er den forurening økosystemet kan tåle uden at lide væsentlig skade (se TEMA rapport nr. 1996/7). De seneste mål for Danmarks indsats er en reduktion i emissionen på 80% for SO₂ i perioden 1980-2000, 30% for NO_x fra 1986-1998 og 30% for VOC fra 1985-1999. Desuden har Danmark tilsluttet sig internationale konventioner om beskyttelse af ozonlaget (CFC gasser mv.) og klimaet (CO₂).

Nationale målsætninger om reduktion af transportsektorens emissioner

For Transportsektoren er der opstillet særskilte reduktionsmål i "Transporthandlingsplanen" og "Trafik 2005". Udslippet af NO_x og HC skal reduceres med 40% i perioden 1988-2000 og 60% fra 1988-2010. Derefter skal der ske en yderligere reduktion. For partikler skal der ske en 50% reduktion i byerne i perioden 1988-2010, og derefter en yderligere reduktion. Under forudsætning om en forventet fremtidig trafikvækst skønnes målene for år 2000 stort set at kunne opfyldes ved allerede vedtagne skærpede emissionskrav til køretøjer. Målene for år 2010 kan kun opfyldes, hvis Auto-Oil Pakkens forslag om skærpede emissionskrav gennemføres.

EU-direktiver om luftkvalitet og Auto-Oil Pakken

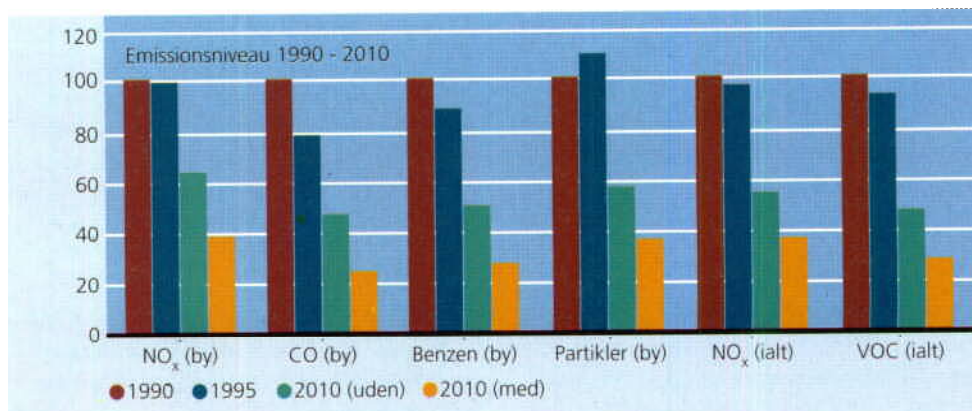
For at kunne leve op til de skærpede grænseværdier for luftkvalitet, som er fastsat i de nye EU-direktiver foreslår EU-Kommissionen væsentlige reduktioner i emissionerne fra vejtrafikken frem mod år 2010.

EU-Kommissionen har i samarbejde med repræsentanter for den europæiske bil- og olieindustri gennemført det såkaldte "Auto-Oil" program. Dets formål er at fastlægge den mest omkostningseffektive metode til overholdelse af fastsatte grænseværdier for luftkvaliteten i byer i 2010. Inden for regulering er den omkostningseffektive tilgang ny, idet tidligere regulering har taget udgangspunkt i bedst tilgængelig teknologi. Hvis de traditionelle tekniske tiltag (motorteknik, bedre brændstof m.v.) ikke fører til opfyldelse af kvalitetskravene, kan der lokalt suppleres med ikke-tekniske tiltag. Det kan f.eks. være vejafgifter (road pricing), bedre offentlig transport, trafikrestriktioner, alternative drivmidler til busser mv.

De forventede samlede reduktioner i emissionerne som følge af allerede vedtagne tiltag og EU-Kommissionens forslag vil sandsynligvis være tilstrækkelige til at Danmark kan opfylde de nye grænseværdier. Der er dog en vis usikkerhed omkring muligheden for opfyldelse af grænseværdierne for partikler.

Derimod vil der være problemer i nogle europæiske storbyer, hvor der derfor må iværksættes yderligere tiltag.

Forventet emissionsreduktion som følge af EU-Kommissionens forslag til Auto-Oil Pakken omfattende tekniske tiltag. For 2010 er resultaterne vist med og uden pakkens gennemførelse. (Iversen, 1997).



Sammenfatning

Er luftkvaliteten god i danske byer?

Vi hører ofte, at luftforureningen bliver værre og værre i danske byer. Er det nu rigtigt? LMP (det Landsdækkende Luftkvalitetsprogram) giver svar på dette.

Et hurtigt indtryk af situationen kan man få ved at slå op på DMU's hjemmeside på Internettet. Her findes oplysninger om, hvor og hvad der måles. Endvidere findes oversigter over luftkvaliteten gennem de seneste 15 år. Endelig giver vi sammendrag af data fra de seneste kvarterer samt helt aktuelle måleresultater.

I det følgende gives et mere uddybende sammendrag af luftforureningsforholdene i danske byer.

Luftforurening i byer

De væsentligste forureningskilder i byer er trafik, rumopvarmning og industri. De emitterer bl.a. stoffer som kvælstofoxider, svovldioxid, bly, benzen og kulilte, samt partikler, som kan indeholde andre skadelige stoffer

Luftkvaliteten bestemmes bl.a. ved hjælp af målinger, som det sker i LMP III. Det er det tredje program i rækken af bymåleprogrammer, som er blevet gennemført i et samarbejde mellem Miljøstyrelsen, Danmarks Miljøundersøgelser og visse kommuner, for tiden Hovedstadsregionen, Odense og Aalborg.

Luftforureningens processer

Efter emissionen fra luftforureningskilderne gennemgår luftforureningen en

række processer. Luftforureningen fra høje skorstene spredes meget effektivt med vinden. Koncentrationen ved jordoverfladen, hvor vi indånder den, bliver således ret lav. Forurening fra høje kilder fører dog til forurening fjernt fra kilderne og kan give anledning til eutrofiering og forsuring af følsomme økosystemer.

Lave kilder som vejtrafik giver anledning til den største forurening i byerne, hvor vi bor, færdes og arbejder. Husene ved trafikerede gader skærmer gårde, haver og parker mod forureningen. Til gengæld er der så meget mere forurening i gaderummet. Her kan luftforureningen være 5-10 gange højere end bag husene.

De vigtigste kemiske processer i danske byer er omdannelse af kvælstofoxider. De emitteres fra bilerne især som kvælstofmonoxid og oxideres af ozon til det mere giftige kvælstofdioxid. Ozon kommer i det væsentlige ved fjerntransport fra vore nabolande mod syd.

Små partikler er en type luftforurening, som især i de senere år opfattes som det største sundhedsproblem ved luftforurening.

Sundhedsskadelige effekter

Sundhedsskader kan skyldes kortvarige påvirkninger af høje koncentrationer, hvilket fører til akutte sygdomme, f.eks. astmaanfald. Der kan endvidere være tale om langtidspåvirkninger, der fører til kroniske sygdomme, f.eks. kræft eller bronkitis.

Sundhedsskadelige effekter bliver undersøgt overalt i verden og bl.a. WHO sam-

ler denne viden og udgiver anbefalinger til grænseværdier for luftforurening.

Grænseværdier

Danske grænseværdier for luftkvalitet er normalt baseret på EU's direktiver. For tiden er EU-Kommissionen ved at udarbejde nye direktiver med grænseværdier for kvælstofdioxid, svovldioxid, partikler (PM_{10} og $PM_{2,5}$), bly, ozon, benzen og kulilte. For de 4 første stoffer er der tale om en væsentlig skærpelse i forhold til eksisterende grænseværdier. Der har ikke tidligere været grænseværdier for benzen og kulilte.

Princippet er, at EU grænseværdierne udelukkende fastsættes, således at sundhedsskadelige effekter skulle kunne undgås, bl.a. baseret på WHO's anbefalinger. Medlemslandene får dog en vis tid, frem til år 2005 eller 2010 til at nå ned på disse grænseværdier.

Luftforureningssituationen i Danmark

LMP giver måleresultater, som direkte kan sammenholdes med grænseværdierne. Koncentrationerne af svovldioxid og bly ligger overalt i Danmark langt under nugældende grænseværdier og de er stadig faldende. Kulilte, der især emitteres fra benzindrevne biler, er heller ikke noget større problem i Danmark. Dels ligger niveauerne ret lavt i forhold til WHO's vejledende værdier og dels vil kulilte niveauet reduceres yderligere de kommende år på grund af katalysatorer på alle nye biler.

Kvælstofdioxid

Anderledes er det for kvælstofdioxid og partikler. Kvælstofdioxidniveauet i trafikerede gader har været næsten konstant over en årrække siden 1982. Koncentra-

tionen ligger under den bindende grænseværdi. Derimod ligger vi tæt på og i visse tilfælde over vejledende grænseværdier. De nuværende niveauer ligger over forslag til de nye EU-grænseværdier. Med de tiltag vi allerede har vedtaget og planlagt, bl.a. katalysatorer på alle biler, forventes det dog, at vi inden år 2010 vil være i stand til at opfylde disse meget strenge grænseværdier

Partikler er et sundhedsproblem

Vi overskrider ikke de nuværende grænseværdier for partikler. De nye meget strenge grænseværdier vil vi dog sandsynligvis overskride adskillige år endnu og det er ikke sikkert at vi vil være i stand til at opfylde dem i år 2005 og 2010, som er planen. Det er partikler fra vejtrafikken, der menes at være problemet, især fra dieslbiler og ophvirvlet støv fra kørebanen. Partikler i udstødningsgasserne fra bilerne er meget små og kan derfor trænge dybt ned i lungerne. Udenlandske undersøgelser tyder på, at antallet af de mindste partikler er steget p.g.a. stigende trafik, selv om mængden af partikler (TSP) har været svagt faldende. I de kommende måleprogrammer vil mindre partikler blive målt som PM_{10} og $PM_{2,5}$, d.v.s. partikler som er mindre end henholdsvis 10 og 2,5 μm .

Andre væsentlige kilder er brændeovne samt støv fra byggeri og anlægsvirksomhed, sidstnævnte menes dog ikke at være så sundhedsfarlige, da der er tale om ret store partikler.

Ozon

Høje ozonniveauer giver af og til anledning til udmelding om overskridelse af "informations" tærskelværdien. Den er baseret på et EU direktiv og er tænkt som en information til folk med luftvejslidelser. De har så mulighed for at tage deres

forholdsregler, f.eks. i form af passende medicin.

Lokalt i Danmark kan vi ikke gøre noget ved disse situationer, idet selv lukning af alle danske kilder ikke ville føre til mindre ozon. Problemet skal løses på europæisk plan.

Flygtige organiske forbindelser

Benzen, som stammer fra benzindrevne biler, forekommer i relativt høje koncentrationer i forhold til sundhedsmæssige kritiske niveauer. Katalysatorerne vil hjælpe noget og desuden vil maksimalt tilladeligt benzen-indhold i motorbenzin blive nedsat til 1% fra de nuværende 2-3% som følge af EU regler.

Andre kræftfremkaldende stoffer som PAH'er 1,3-butadien og formaldehyd menes at forekomme i betænkelige niveauer. Det samme gælder det luftvejssirriterende stof acrolein.

Luftforureningen hvor der ikke måles?

Vi har ikke ressourcer til at måle alle steder, men ved hjælp af modelberegninger er vi i stand til at generalisere målingerne. Danmarks Miljøundersøgelser har udviklet modeller, der kan beregne koncentrationen nøjagtigt f.eks. i trafikerede gader. De kan anvendes i trafik- og byplanlægning. Det er endvidere muligt ved hjælp af modellerne at give et overblik over forureningen blot man kender trafikken og gadens bredde.

Eksposering

Ved hjælp af målinger og modeller er vi i stand til at bestemme befolkningens eksposering med luftforurening. Det betyder bl.a. at vi kan gennemføre detaljerede undersøgelser af sammenhæng mellem luftforurening og sundhedsskader.

Endvidere kan disse værktøjer bruges til at planlægge trafik- og byudvikling således, at også de miljømæssige aspekter bedst muligt kan tages i betragtning. Endelig kan man anvende dem til f. eks. at fastsætte miljøafgifter alt efter hvor meget vi bliver udsat for af luftforurening.

Forbedring af luftkvaliteten

Luftkvaliteten i danske byer kan karakteriseres som ret god i forhold til mange andre lande, selv om der fortsat er et sundhedsproblem p.g.a. små partikler, ozon, NO₂, og visse kræftfremkaldende stoffer. Imidlertid ønsker vi, ikke alene på grund af helbredsmæssige grunde, men også af hensyn til livskvaliteten at have ren luft i byerne. Dette vil sikkert i fremtiden blive et konkurrenceelement for de enkelte byer, og for Danmark som sådan.

Der er allerede vedtaget en række tiltag, som vil forbedre luftkvaliteten, således at vi vil kunne opfylde de fleste af EU's nye grænseværdier. Med de planlægningsværktøjer, som er til rådighed nu og de kommende år, er der gode muligheder for yderligere at forbedre kvaliteten ved at vælge de mest effektive tekniske og ikke-tekniske tiltag.

Berkowicz, R, Hertel, O, Larsen, S.E, Sørensen, N.N og Nielsen, M. (1997). Modelling traffic pollution in streets. National Environmental Research Institute, Roskilde, Denmark. 52pp.

EEC (1980). Directive 80/779/EEC of July 15 on Air Quality Limit Values for Sulphur Dioxide and Suspended Particles. J. Europ. Commun. L229/30.

EEC (1982). Directive 82/884/EEC of December 3 on Air Quality Limit Values for Lead. J. Europ. Commun. L378/15.

EEC (1985). Directive 85/203/EEC of March 7 on Air Quality Standards for Nitrogen Dioxide. J. Europ. Commun. L87/1.

EEC (1989). Directive 89/427/EEC of June 21 on Revision of Directive 80/779/EEC on Air Quality Limit Values for Sulphur Dioxide and Suspended Particles. J. Europ. Commun. L201/53.

EEC (1992). Directive 92/72/EEC of September 21 on Ozone Air Pollution. J. Europ. Commun. L297/1.

EEC (1996). Rådets Direktiv 96/62/EF af 27. september 1996 om vurdering og styring af luftkvalitet. De Europæiske Fællesskabers Tidende nr. L 296/55. 21 november.

EEC (1997). Air Pollution: Commission proposes limit values for ambient air quality. Europe Environment no. 508, October 14.

European Environment Agency. (1997). Air Pollution in Europe 1997. København. Danmark. 107 s.

Fenger, J., Tjell, J. C. (red.) 1994. Luftforurening. Polyteknisk Forlag. Lyngby, 479 s.

HMSO (1995) Non-biological particles and health. Committee on the medical effects of air pollutants. Department of Health, HMSO publication centre, London. 139 s., 1995.

Iversen, E. (1997) Kommende EU-regulering om luftforurening fra motorkøretøjer (auto/olie-pakken) i Lahrman, H. og Pedersen, L.H. (ed.) Trafikdage på Aalborg Universitet '97. Konferencerapport 1, s. 125-131, 1997.

Kemp, K., Palmgren, F. (1994): Luftforurening i danske byer. Danmarks Miljøundersøgelser, Temarapport fra DMU, nr. 2, 1994.

Kemp, K., Palmgren, F., Manscher, O.H. (1996). Danish Air Quality Monitoring Program. Annual Data Report 1996. National Environmental Research Institute, Roskilde Denmark, 63 s. NERI Technical Report No. 216.

Larsen, P.B., Larsen, J.C., Fenger, J., Jensen, S.S. (1997) Sundhedsmæssig vurdering af luftforurening fra vejtrafik. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 352, 1997.

Miljøministeriet (1986). Bekendtgørelse om grænseværdier for luftens indhold af svovldioxid og svævestøv. Bekendtgørelse nr. 836. 10 december. Miljøministeriet, København, Danmark. 3 s.

Miljøministeriet (1987). Bekendtgørelse om grænseværdi for luftens indhold af kvælstofdioxid. Bekendtgørelse nr. 119 af 12 marts. Miljøministeriet, København, Danmark. 5 s.

Miljøministeriet (1994). Bekendtgørelse om overvågning af luftens indhold af ozon. Bekendtgørelse nr. 184 af 11. marts. Miljøministeriet, København, Danmark. 8 s.

Miljøstyrelsen (1990) Begrænsning af luftforurening fra virksomheder. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 6, 1990.

Ott, W.R. (1985) Total Human Exposure. Environmental Science and Technology, Vol.19, No.10, 880-886.

Sexton, K., Ryan, P.B. (1988) Assessment of Human Exposure to Air Pollution: Methods, Measurements, and Models, 1988, 207-238 in Watson, A.Y., Bates, R.R., Ken-

nedy, D. (editors). Air Pollution, the Automobile, and Public Health.

Strandberg, M. og Mortensen, L. (1996) Naturens tålegrænse for luftforurening. Danmarks Miljøundersøgelser, Tema-rapport fra DMU, 1996/7.

Trafikministeriet (1990) Regeringens Transporthandlingsplan for Miljø og Udvikling, 1990.

Trafikministeriet (1993) Trafik 2005. Problemstillinger, mål og strategier, 1993.

WHO (1987). Air Quality guidelines for Europe, WHO regional publications, European series No. 23, Copenhagen.

WHO (1998). Air Quality guidelines for Europe, WHO regional publications, Under forberedelse. Copenhagen.

Ordliste og definitioner

Ordliste

Antropogen Biomarkør	Menneskeskabt Indikator for eksponering med et sundhedsskadeligt stof. Selve stoffet eller dets nedbrydningsprodukter måles ved udtagning af prøve fra en persons kropsvæske f.eks. blod eller urin.
Diffusion	Spredning eller blanding som følge af molekylers egne bevægelser.
Dosis	Den mængde af et luftforurenende stof, som en person udsættes for. Ved et givent eksponeringsniveau afhænger dosis af, hvor meget luft personen inhalerer.
Dosis-respons	For en given sundhedseffekt er det sammenhængen mellem dosis, som en befolkning udsættes for, og andelen af befolkningen, hvor effekten optræder.
Emission	Udslip
Eksponering	En persons kontakt med et luftforurenende stof over et vist stykke tid. Måles som en koncentration.
Epidemiologi	Studier af fordelingen af sygdom i befolkningen og sammenhængen med bestemmende faktorer. Inden for luftforurenings-epidemiologi er det studier i sammenhængen mellem sundhedseffekter i befolkningen og luftkvaliteten.
Følsomme personer	Personer som lider af sygdomme eller er svækkede således, at disse personer er særligt følsomme over for luftforurening.
Gadekløft	Gade med sammenhængende bygninger på begge sider.
Gadekonfiguration	Beskriver den geometriske udformning af gaderummet, som har betydning for luftforureningens spredning f.eks. vejbredde, hushøjder, gadens orientering i forhold til nord osv.
Globalstråling	Den del af solens lys, som når jordoverfladen kaldes globalstråling. Den måles i W/m^2 , hvor W står for Watt - en energienhed.
Grænseværdi	Værdi som ikke må overskrides. Grænseværdier fastsættes f.eks. for luftkvalitet, emission fra køretøjer, og indhold af stoffer i brændstof.
Inversion	Temperaturen i luften aftager normalt i højden med ca. 1 grad per 100 m. Dette kaldes for en normal eller neutral atmosfærisk tilstand. Om natten og ofte også i løbet af vinterdagene afkøles jordoverfladen hurtigere end luften. Det bevirker, at lufttemperaturen, i stedet for at aftage, stiger med højden. Dette fænomen kaldes inversion, og det fører til en dårlig spredning af luftforurening. De højeste koncentrationer af forurenin-ger fås under inversionsforhold.

I/U-forhold	Forholdet mellem niveauet af et luftforurenende stof indendørs og udendørs. Angives normalt som et tal mellem 0-1.
Langtransport	Transport af luftforurening over store afstande fra f.eks. Øst- eller Centraleuropa.
Livstidsrisiko	Miljøstyrelsen anser et eksponeringsniveau for kræftfremkaldende stoffer som tolerabelt ved et livstidsrisikoniveau på 10^{-6} dvs. det eksponeringsniveau der over en 70-årig periode teoretisk set vil medføre et ekstra kræfttilfælde blandt en million personer.
Koagulation	Når to eller flere partikler i luften støder sammen, danner de en ny, større partikel. Denne proces kaldes koagulation.
Kombinations-effekter	De sundhedseffekter som kan optræde som konsekvens af at en person udsættes for en blanding af kemiske stoffer. En blanding af stoffer kan have en additiv effekt (effekten er summen af stoffernes virkning enkeltvis), synergistisk effekt (en forstærket effekt som er større end en additiv effekt) og en antagonistisk effekt (stofferne kan modarbejde hinandens virkning således at effekten er mindre end en additiv effekt).
Kondensation	Vanddamp eller andre gasformige luftforureninger kan afsættes på partiklernes overflader, således at partiklens diameter bliver større. Denne proces kaldes kondensation.
Luftkvalitet	Vurdering af luftens indhold af sundhedsskadelige stoffer i forhold til grænseværdier.
Lysabsorption	Lys bliver svækket af tilstedeværelsen af forskellige kemiske forbindelser i luften. Ved at måle hvor meget, og hvordan lyset svækkes (absorberes), kan koncentrationen af forureninger i luften bestemmes.
Mikromiljø	Et typemiljø, hvor variationen i luftforureningen er ensartet f.eks. indendørs hjemme, udendørs hjemme, på arbejdspladsen, trafikerede gader mv. Anvendes ofte sammen med en persons tids- og aktivitetsmønster til bestemmelse af en persons eksponering.
Mutagen	Som fremmer eller fremkalder mutationer dvs. celleforandringer.
NOAEL	Niveau uden observerede negative sundhedseffekter. Er en forkortelse for "No Observed Adverse Effect Level".
Percentil	Koncentrationsniveau, som en vis procent af måleresultater i en tidsserie ikke overskrider. F.eks. angiver 98 percentilen det niveau som 98% af resultaterne ligger under.
Sikkerhedsfaktorer	Ved fastsættelse af grænseværdier for stoffer med en nedre effekt grænse fastsættes først NOAEL, hvorefter der divideres med sikkerhedsfaktorer. Sikkerhedsfaktorerne fastsættes for at tage hensyn til særligt følsomme grupper, at resultater måske skal overføres fra dyreforsøg, og kvaliteten af foreliggende data.

Smog	Sammentrækning af de engelske ord "smoke" (røg) og "fog" (tåge). Smog blev først omtalt under en alvorlig forureningsepisode i London i 1952.
Svævestøv	Luftbåret støv.
Tids- og aktivitetsmønster	Den tid som en person opholder sig i forskellige mikromiljøer, samt personens fysiske aktivitetsniveau (relateres til inhaleret luftmængde for at kunne bestemme dosis).
Topografi	Detaljeret beskrivelse af et sted. Spredning af luftforurening er kraftigt påvirket af de topografiske forhold. Der er f.eks. stor forskel på spredningsforholdene i et dalområde og i fladt terræn.
Tørdeposition	Når luftforureninger kommer i kontakt med forskellige overflader, det kan være jordoverfladen, træer, planter, hav, o.l., afsættes en del af de forurenende stoffer på disse overflader. Denne proces kaldes for tørdeposition, i modsætning til våddeposition, som beskriver udvaskning af forureninger fra luften med nedbør.
Udsatte personer	Personer som opholder sig på steder med høj luftforurening, og/eller personer som via et højt aktivitetsniveau inhalerer meget luftforurening.

Forkortelser

TOV	Trafikovervågnings programmet. Opstilling af indeks for vejtrafikkens bidrag til luftforureningen i danske byer. Programmet er især baseret på eksisterende måleprogrammer (bl.a. LMP III). Samarbejde mellem Danmarks Meteorologiske Institut, DMU, Miljøkontrollen i København og Vejdirektoratet. Støttes af Trafikministeriet.
WHO	Verdenssundhedsorganisationen, World Health Organization .
LMP	Det Landsdækkende LuftkvalitetsmåleProgram. Måleprogrammet omtalt i denne rapport.
HLU	Hovedstadsregionens Luftovervågningsenhed.

Kemiske stoffer og symboler

As	arsen
Cd	cadmium
CO	kulmonoxid (kulilte)
Cr	krom
Hg	kviksølv
Mn	mangan
NO	nitrogenmonoxid
NO ₂	Nitrogendioxid
NO _x	NO + NO ₂
Ni	nikkel
O ₃	ozon
O _x	NO ₂ + O ₃
Pb	bly
SO ₂	svovldioxid
V	vanadium
VOC	flygtige organiske forbindelser (Volatile Organic Compounds)
PAH	Polycycliske Aromatiske Hydrocarboner
TSP	Svævestøv. På engelsk Total Suspended Particulate matter
SPM	Svævestøv. På engelsk "Suspended Particulate Matter".
PM ₁₀	Den del af TSP/SPM, som består af partikler mindre end 10 µm.
PM _{2,5}	Den del af TSP/SPM, som består af partikler mindre end 2,5 µm.

Enheder og enhedsomregning:

µg/m ³	mikrogram = milliontedel gram per kubikmeter luft.
ng/m ³	nanogram per kubikmeter luft = 1/1000 µg/m ³
ppb	parts per billion = 1:10 ⁹ , angiver forholdet mellem antal molekyler af et stof i forhold til alle molekyler i samme luftmængde. (1 USA billion = 1 milliard)
ppm	parts per million = 1:10 ⁶
µm	mikrometer = milliontedel meter

Omregning mellem ppb og µg/m³ afhænger af molekylvægten:

NO	1 ppb = 1,25 µg/m ³
NO ₂	1 ppb = 1,88 µg/m ³
O ₃	1 ppb = 2,00 µg/m ³
Benzen	1 ppb = 3,19 µg/m ³
CO	1 ppb = 1,145 µg/m ³

Danmarks Miljøundersøgelser

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

Henvendelser kan rettes til:

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

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

*Direktion og Sekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Miljøkemi
Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi*

Danmarks Miljøundersøgelser
Postboks 314
Vejlsøvej 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.
2200 København
Tlf. 3582 1415
Fax 3582 1420

Afd. for Arktisk Miljø

Publikationer:

DMU udgiver temarapporter, 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 46 30 12 00.

Tidligere TEMA-rapporter fra DMU

- | | | | |
|------------|--|-------------|---|
| Nr. 1/1994 | Kvælstoftilførsel til Limfjorden
<i>Brian Kronvang m.fl.</i>
16 sider, kr. 50,- | Nr. 9/1996 | Kvælstofbelastning af havmiljøet
<i>Henrik Paaby og Flemming Møhlenberg</i>
40 sider, kr. 60,- |
| Nr. 2/1994 | Luftforurening i danske byer
<i>Kåre Kemp og Finn Palmgren Jensen</i>
41 sider, kr. 100,- | Nr. 10/1996 | Havets usynlige liv
<i>Åke Hagström m.fl.</i>
33 sider, kr. 50,- |
| Nr. 3/1995 | Ozon som luftforurening
<i>Jes Fenger m.fl.</i>
40 sider, kr. 80,- | Nr. 11/1997 | En atmosfære med voksende problemer
<i>Jes Fenger</i>
64 sider, kr. 90,- |
| Nr. 4/1996 | Tungmetaller i danske jorder
<i>John Jensen m.fl.</i>
40 sider, kr. 100,- | Nr. 12/1997 | Reservatnetværk for vandfugle
<i>Preben Clausen m.fl.</i>
52 sider, kr. 80,- |
| Nr. 5/1996 | Forureningsbekæmpelse med mikroorganismer
<i>Ulrich Karlson m.fl.</i>
32 sider, kr. 30,- | Nr. 13/1997 | Næringsstoffer - arealanvendelse og naturgenopretning
<i>Brian Kronvang m.fl.</i>
40 sider, kr. 60,- |
| Nr. 6/1996 | Status og jagttider for danske vildtarter
<i>Jesper Madsen m.fl.</i>
112 sider, kr. 110,- | Nr. 14/1997 | Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktion - muligheder og risici
<i>Niels Bohse Henriksen m.fl.</i>
28 sider, kr. 40,- |
| Nr. 7/1996 | Naturens tålegrenser for luftforurening
<i>Morten Strandberg og Lisbeth Mortensen</i>
40 sider, kr. 60,- | Nr. 15/1997 | Kemikalier i hverdagen
<i>Lars Carlsen m.fl.</i>
40 sider, kr. 60,- |
| Nr. 8/1996 | Anskydning af vildt
<i>Henning Noer m.fl.</i>
52 sider, kr. 80,- | | |

De enkelte hæfter i serien "TEMA-rapport fra DMU" beskriver resultaterne af DMU's forskning indenfor et afgrænset område. Rapporterne er skrevet på et 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.

