

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
Ordliste og definitioner	58
Danmarks Miljøundersøgelser	62
Tidligere Temarapporter	63

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 forsurening 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 inddragelse 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.

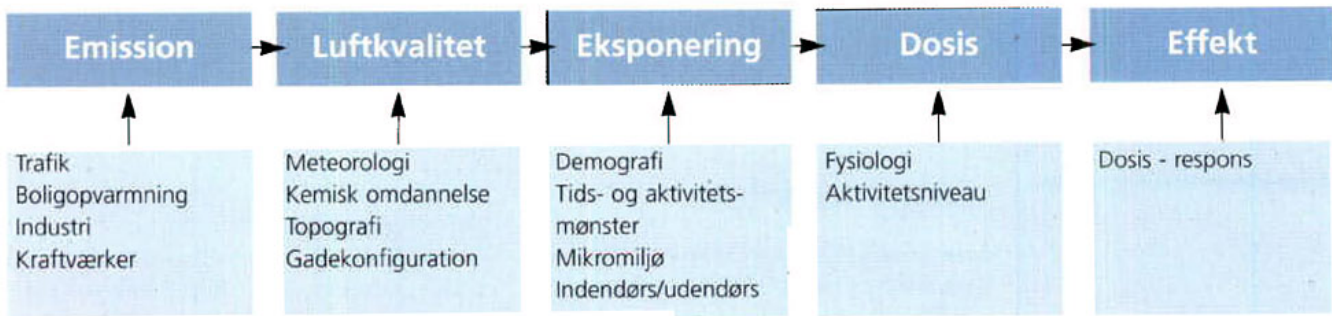
Luftkvalitetsmålinger

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 dieselmotorer Ophvirvlet fra gader og byggerier Industri Havsprøjt
PAH på partikler	Brændeovne Trafik, især dieselmotorer
NO ₂	Benzin- og dieselmotorer Store fyringsanlæg og kraftværker Sekundær forurening
O ₃	Sekundær forurening
SO ₂	Kul- og oliefyrede anlæg
Bly	Benzinmotorer (blyholdig benzol)
Benzen	Benzinmotorer
CO	Benzinmotorer



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.

Eksposering

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.

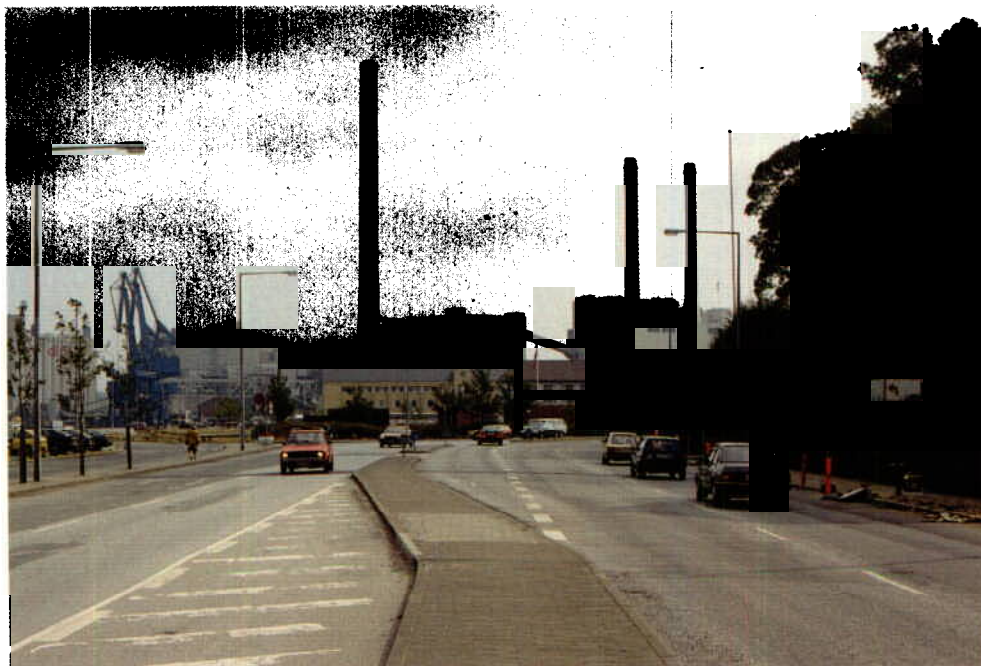
Desuden kan forureningen fjernes fra luften ved, at den tør-deponeres på forskellige overflader (jord, træer, afgrøder, bygninger, hav og søer) eller bliver "vasket ud" med regn, d.v.s. våd-deponeres.

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 Sydtykland. 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 baggrunds-niveaulet:

- emissionstæthed (dvs. trafik-tætheden), 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 by-centrum i mindre byer ikke er meget forskellig fra niveauerne i centrum af større byer, hvis blot trafik-tætheden i disse byområder er sammenlignelig. Emissionstætheden betyder altså mere end udslippet ud over byområdet areal.

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

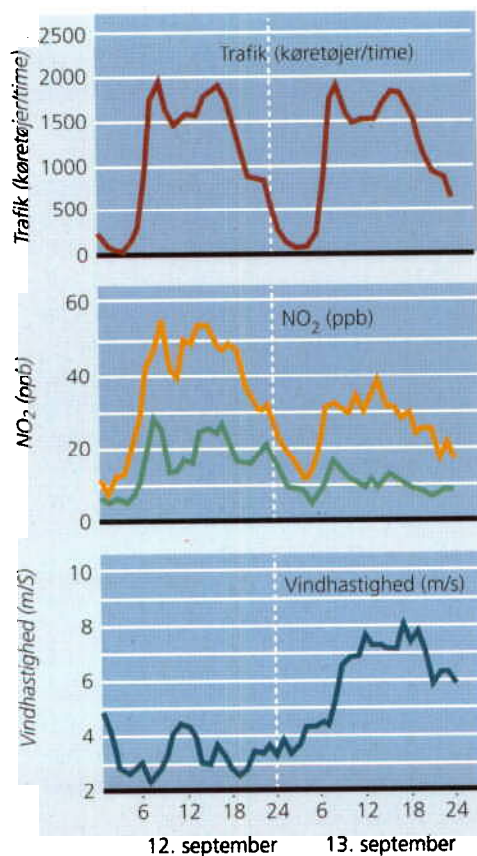
Meteorologi og forurening i gader

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 forurenings- situationer 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 Institutet (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 vejkanterne, nedstrøms i vindens retning. Derefter vil forureningen aftage gradvist, efterhånden som den blandes med renere baggrundsluft.

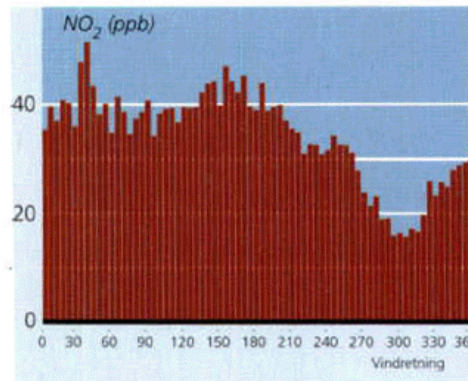
Typisk vil man opleve, at i en afstand af 50 m fra vejkanthen, vil luftforureningsniveauerne være ca. det halve af hvad de er ved vejkanthen. I en afstand af omkring 200 m, vil koncentrationen sjældent være mærkbart højere end baggrunds niveauet.

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.

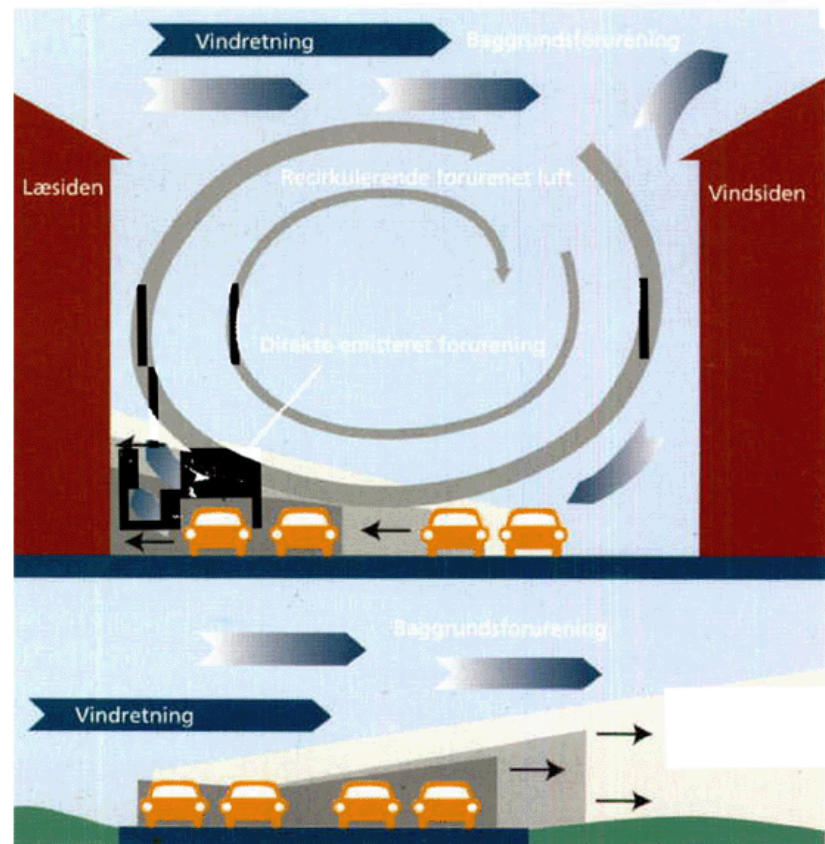
Samlet er der ved uændret trafikmængde således tale om en mindre negativ effekt for luftforureningen. Endvidere er der selvfølgelig mange andre gode grunde til at tilstræbe en reduceret trafikshastighed, bl.a. højere trafiksikkerhed, mindsket støj og mindre barriereeffekt.

Luftforureningen fra en åben vejstrækning bliver væsentligt spredt. Fortyndingen vokser med afstanden fra vejen, og få hundrede meter fra vejkanthen 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.



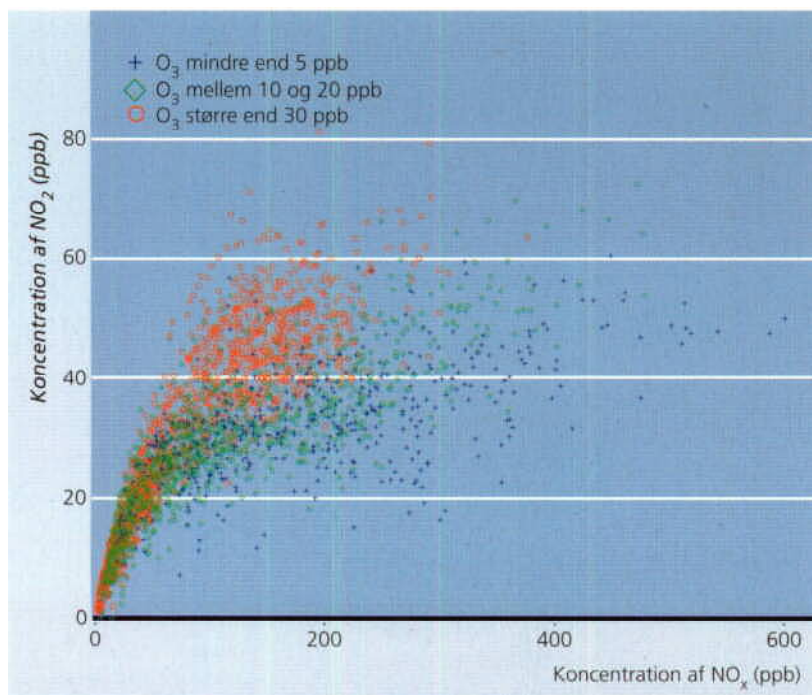
Kemi og partikler

Kemiske processer

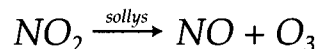
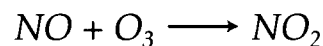
Når forureningen transporteres over store afstande, hvor transporttiden regnes i timer til dage, sker der mange kemiske processer. Svovldioxid omdannes til svovlsyre, som igen reagerer f.eks. med ammoniak og danner ammoniumsulfat. Kvælstofoxider omdannes til salpetersyre, som ved reaktion med ammoniak 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 NO_2 - 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 NO_2 -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. Bilernes udstødningssgasser indeholder bl.a. en blanding af kvælstofoxider, som hovedsageligt består af NO og nogle få procent NO_2 . Summen af NO og NO_2 betegnes NO_x . Forholdet mellem NO_2 og NO_x -koncentrationerne i luften er som regel betydeligt højere end i udstødningssgasserne. Det skyldes, at luften indeholder ozon (O_3), som hurtigt reagerer med NO, hvorved der dannes NO_2 . NO_2 nedbrydes af sollys ved såkaldt fotolyse. Dette kan let forenklet skrives som



Mængden af NO_2 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 NO_2 af koncentrationen af ozon. NO_x -koncentrationen, som er upåvirket af ozonkoncentrationen, varierer i takt med trafikintensiteten. NO_2 -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 forurenings 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.

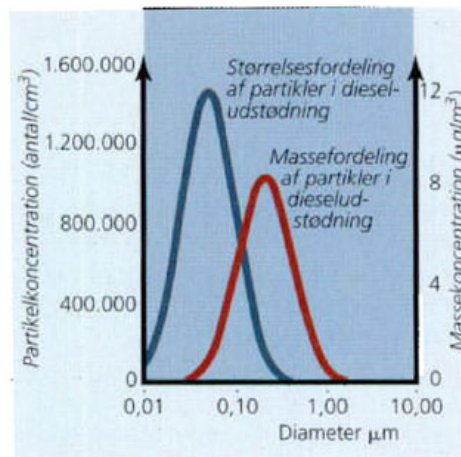
Partikler

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. Svovdioxid 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.

Partikkelkoncentrationen 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.

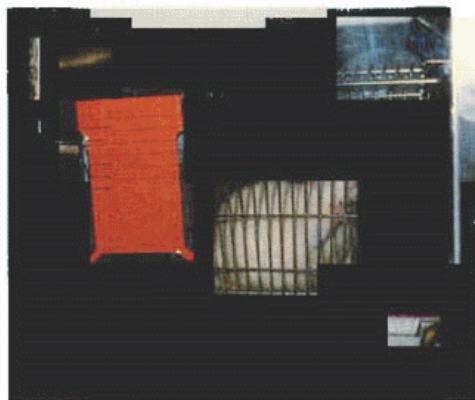
Undersøgelsesmetoder

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

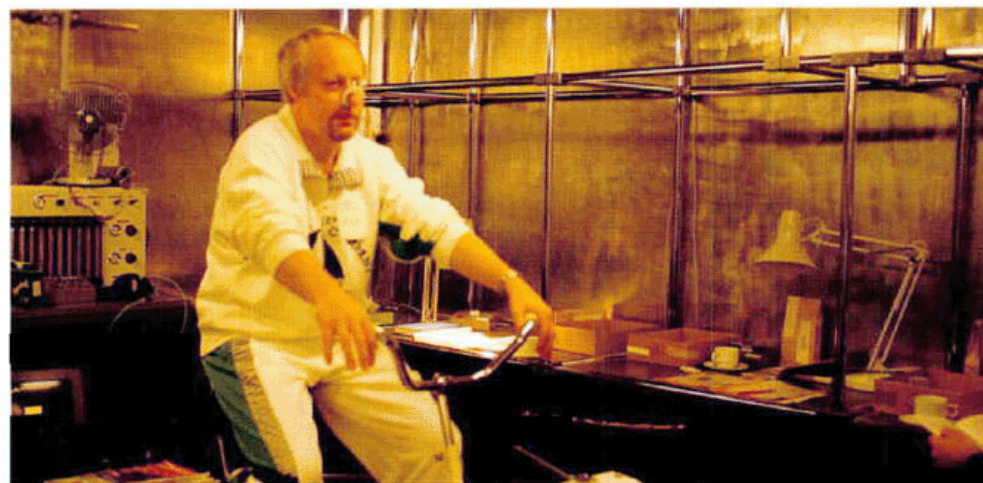
Ved epidemiologiske befolkningsundersøgelser vurderes effekten af den samlede forurening som folk udsættes for. Sammenhængen mellem luftforurening og effekt vurderes typisk ud fra: Dødelighed, sygelighed, antal lægebesøg/indlæggelser, lungefunktionsmål og forekomst af generende symptomer.

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.

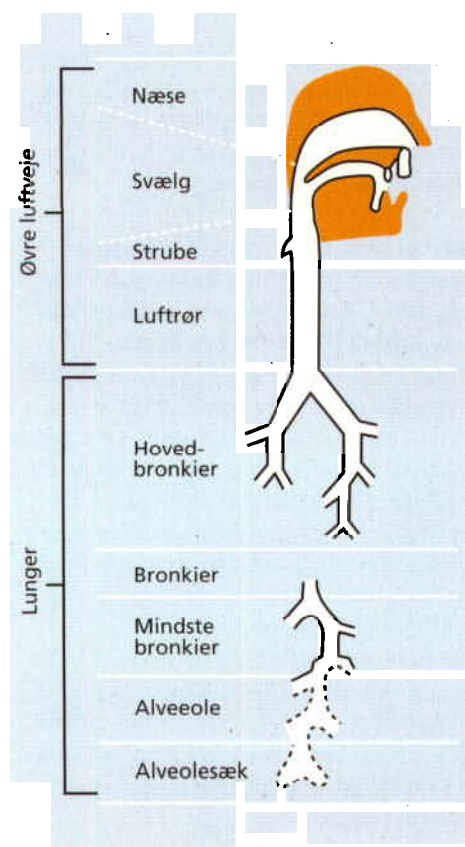
Sundhedsmæssigt kritiske luftforurenende stoffer i Danmark. a: se teksten, idet effekterne for partiklerne ikke alene er beskrevet herved. x: indikerer en medvirkende faktor.

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 NO_2 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 luftvejssygdomme. Omkring 6% blandt den voksne del af den danske befolkning har langvarige eller kroniske luftvejssygdomme, 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.

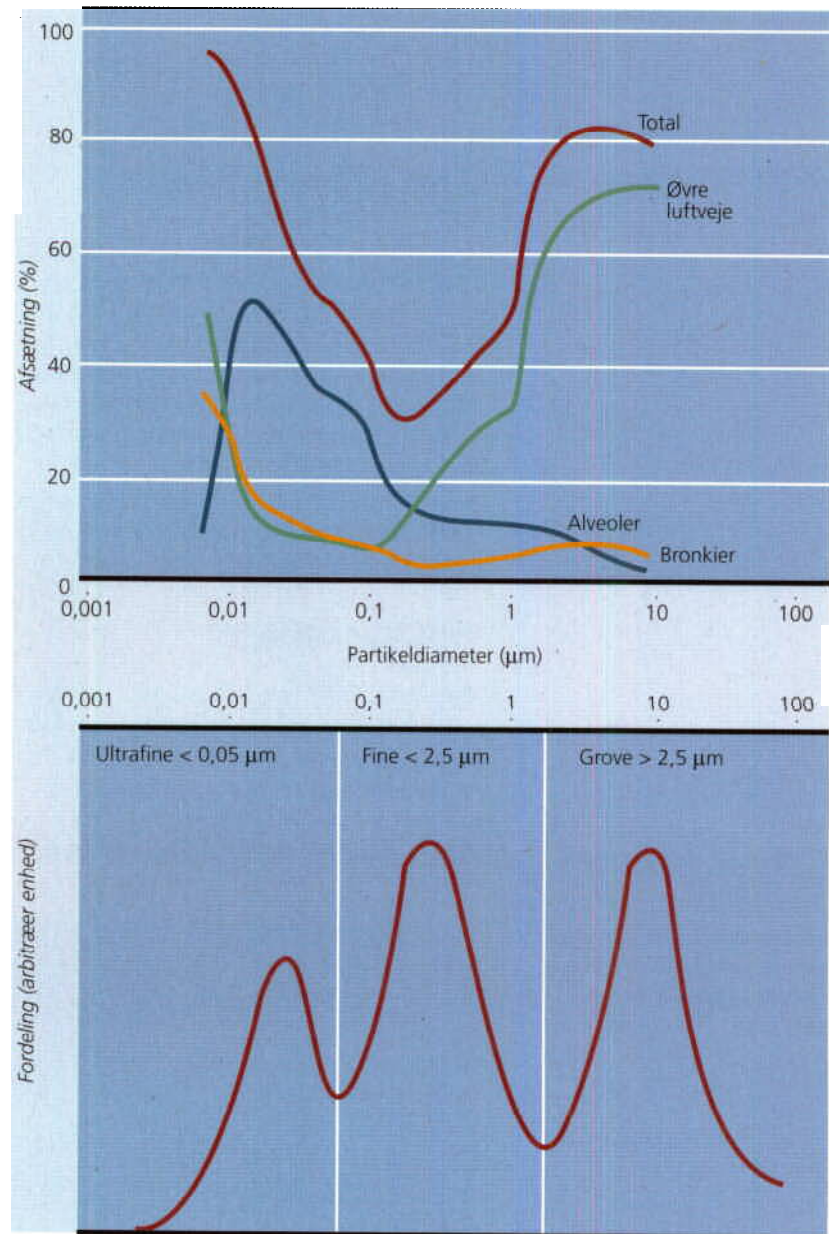
Partikler

Såfremt man kan overføre udenlandske undersøgelser til danske forhold, vil en reduktion på ca. 30% af den aktuelle partikelkoncentration målt som PM_{10} 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).

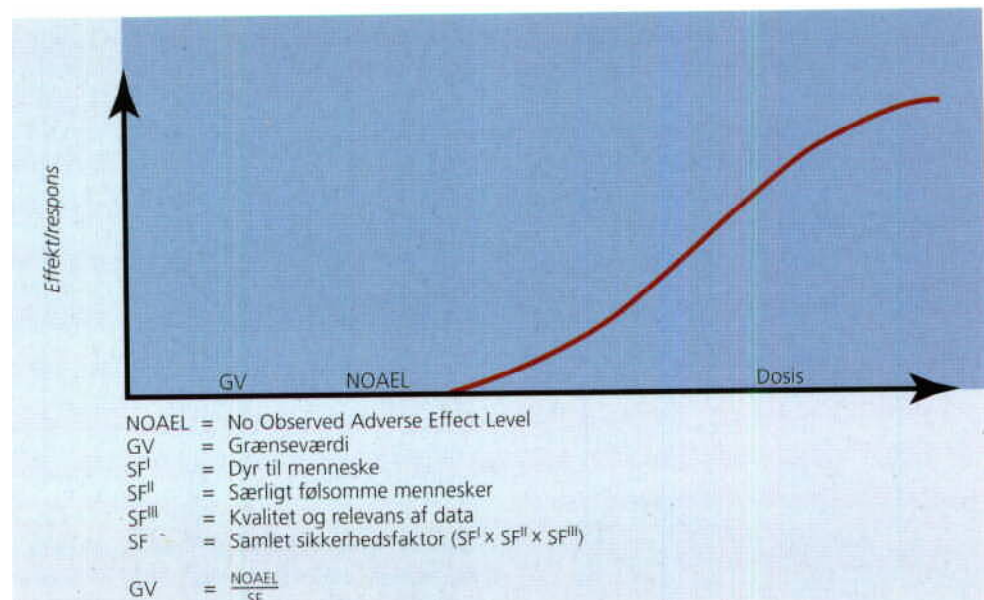
For stoffer, som ikke har en tærskelværdi angiver WHO en livstidsrisiko, f.eks. en risiko på 1 ud af en million for at man udvikler kræft ved en bestemt konstant påvirkning i løbet af en normal levetid. Det er så op til "samfundet" at vælge en acceptabel risiko.

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 Fødevarerdirektoratet 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, renseudstyr 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 fyringsanlæg 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 afvejninger.

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

Grænseværdier

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. kulturgjenstande.

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

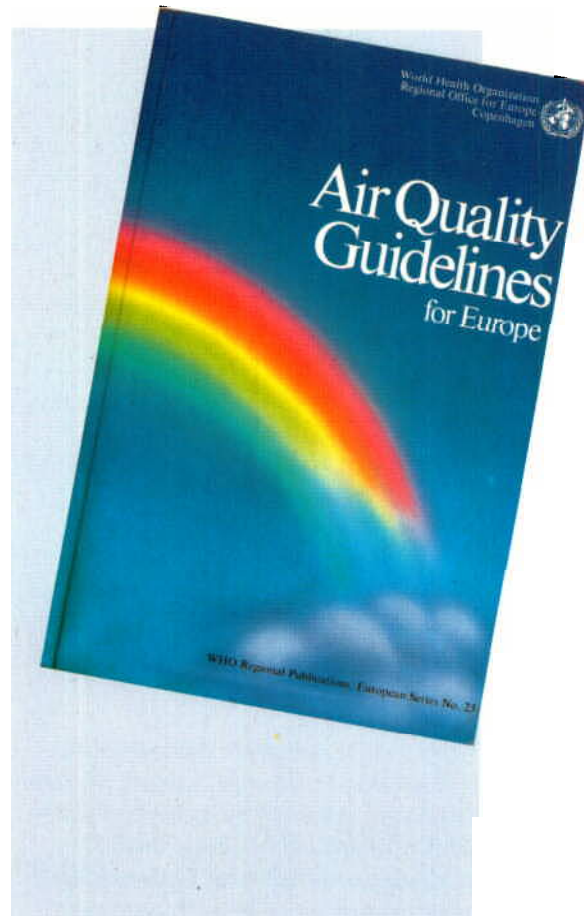
Danske grænseværdier er fastsat for partikler, SO₂, NO₂, bly og O₃. De vil blive revideret i overensstemmelse med de nye EU grænseværdier i løbet af 1998. Umiddelbart efter, formentlig også i 1998, vil følge grænseværdier for benzen og CO,

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

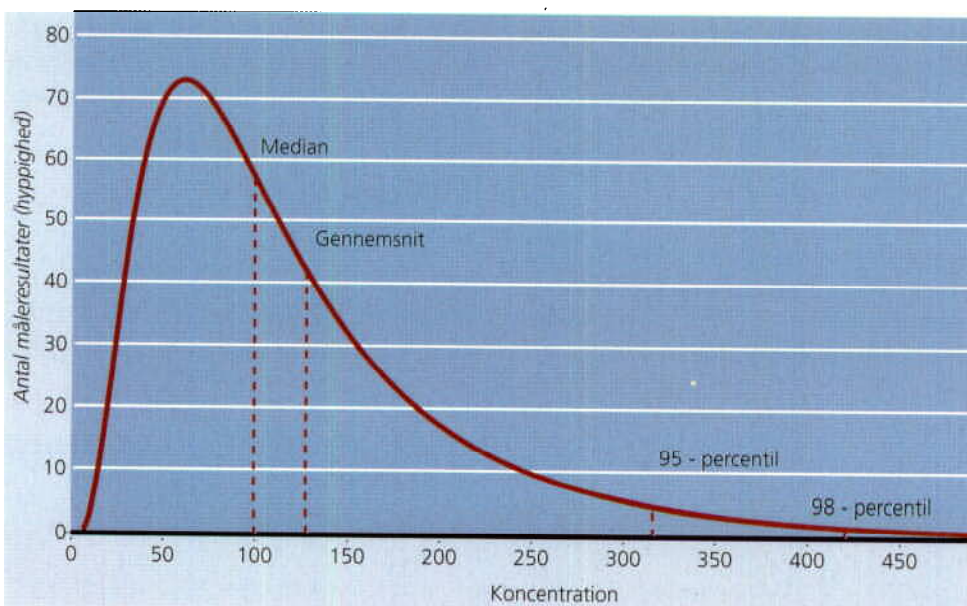
og senere følger grænseværdier for PAH, kviksløv mv.

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 interesserede 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

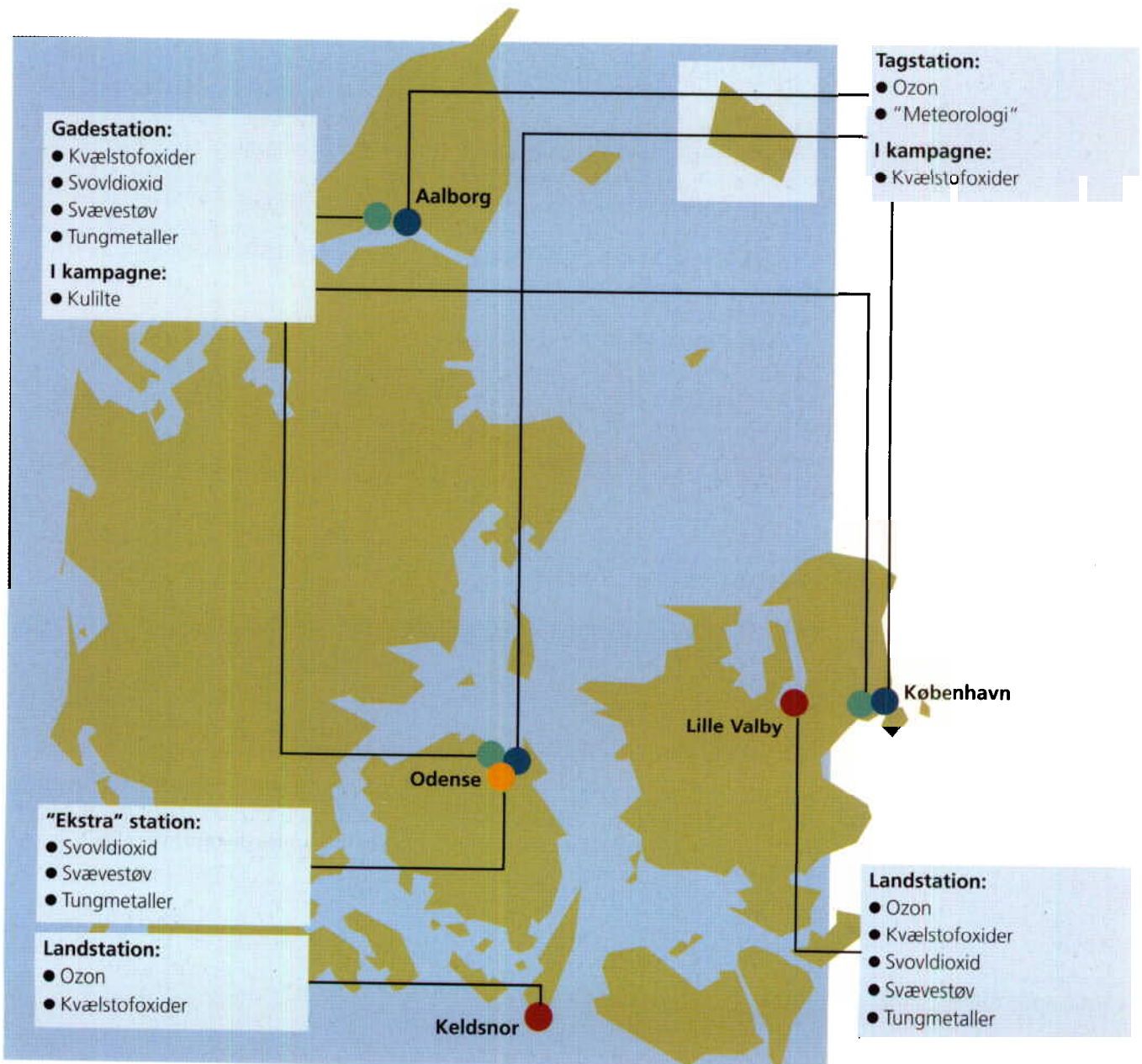
NO_x, (dvs NO og NO₂) ozon og SO₂ måles som 1/2 times gennemsnit. Endvidere indsamles døgnprøver af SO₂ samt

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.

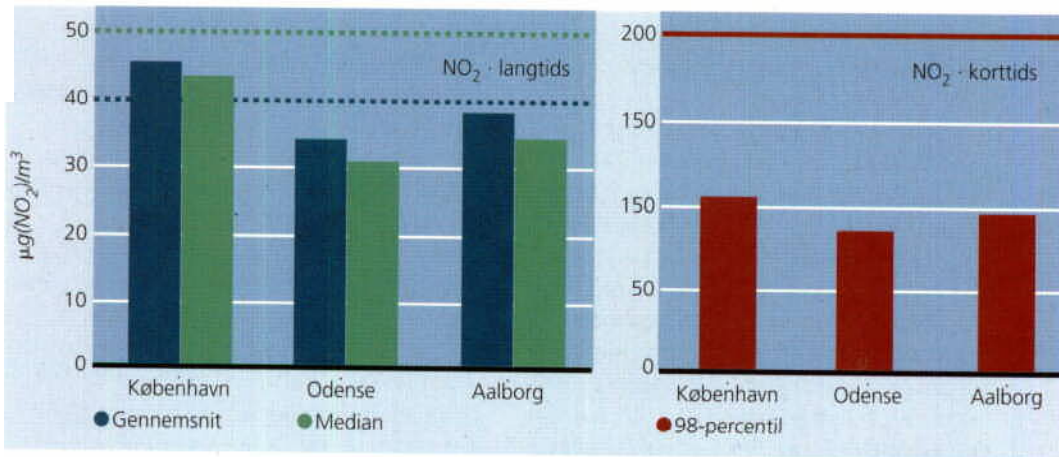
Antal dage med overskridelser af tærskelværdier for ozon i 1996 på to landstationer.

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

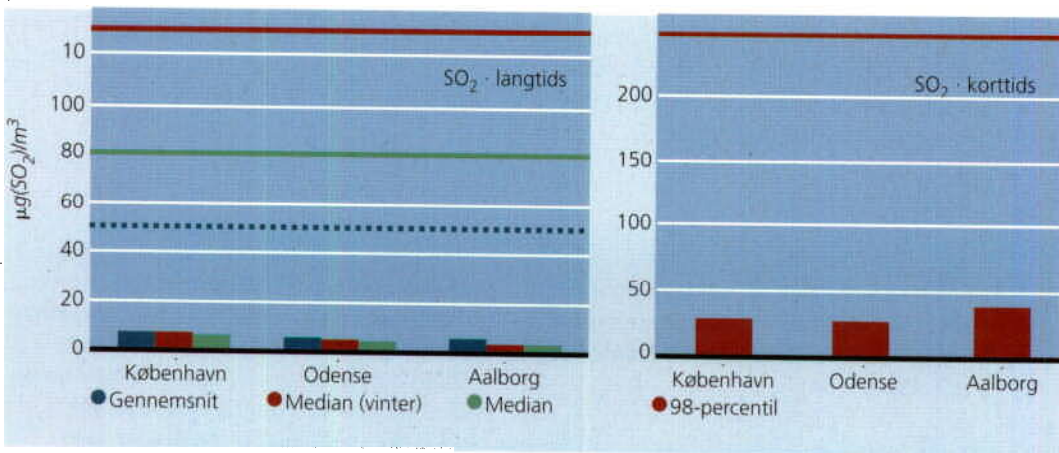
Årsværdier og grænseværdier for NO_2 , SO_2 , svævestøv og bly i 1996. Resultaterne er fra gadestationerne.

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

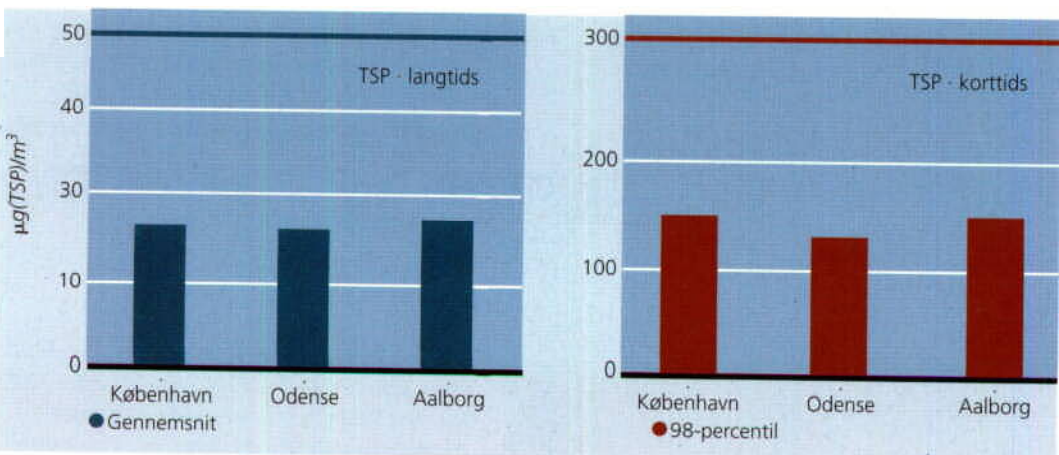
De målte værdier i 1996 er indtegnet på figurerne. Bindende og vejledende grænseværdier er indtegnet som hhv. fuldt optrukne og stiplede linier



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 varslingsystem i samarbejde med Danmarks Miljøundersøgelser, Sundhedsstyrelsen, Danmarks Meteorologiske Institut og Miljøkontrollen i København. Smog-varslingsystemet skal sikre, at offentligheden varsles, hvis luftforureningen giver risiko for akut påvirkning af den del af befolkningen, der lider af luftvejs sygdomme.

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.

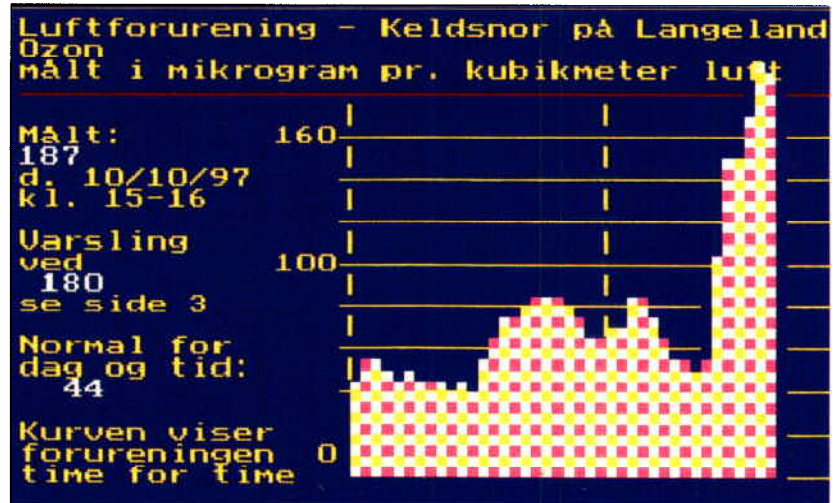
Ozon episoder

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. kbm 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@dnu.dk og
www.dnu.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.

Udvikling

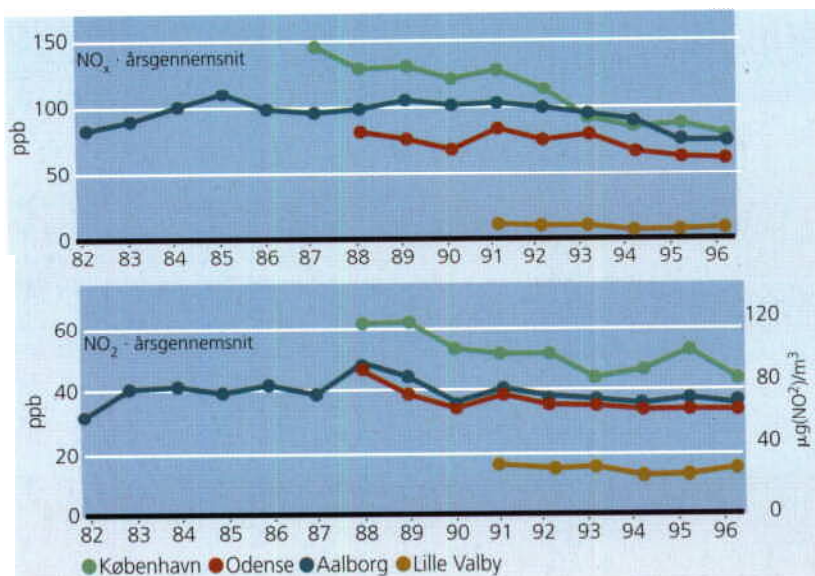
For at vurdere udviklingen af luftforureningen er det nødvendigt at måle flere år på de samme steder med sammenlignelige målemetoder. Forureningsmønstret kan ændre sig væsentligt blot stationen flyttes fra den ene side af gaden til den anden (se f.eks. side 12).

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.

