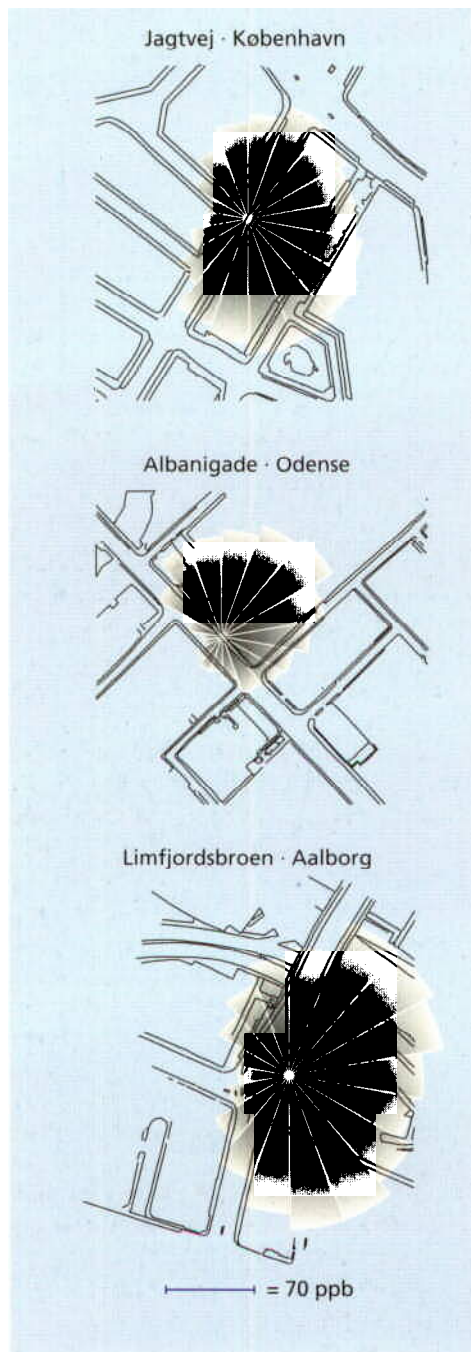


# Luftforurening og meteorologi

Vindretningsafhængighed for koncentrationerne af  $\text{NO}_x$ . 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  $\text{NO}_x$  på gadestationerne i København, Odense og Aalborg.  $\text{NO}_x$  forureningen i de tre byer er givetvis af lokal oprindelse (trafik) og det fælles forløb

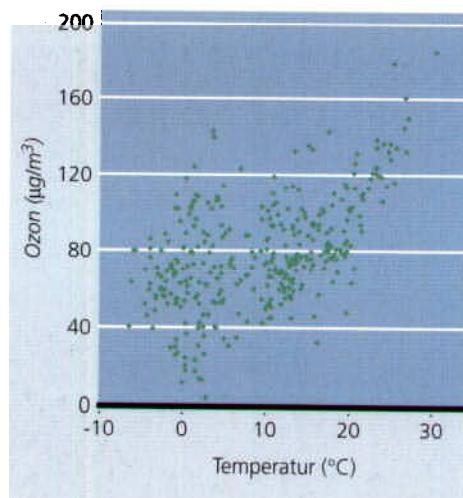
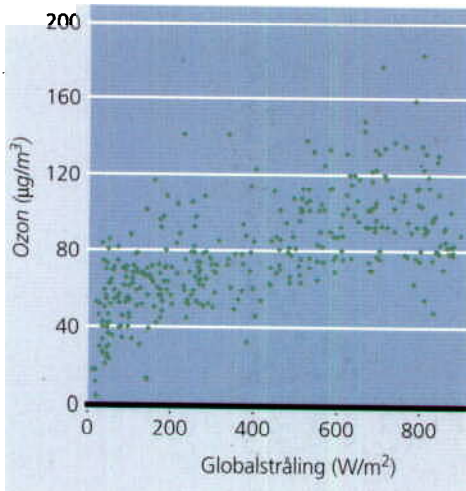
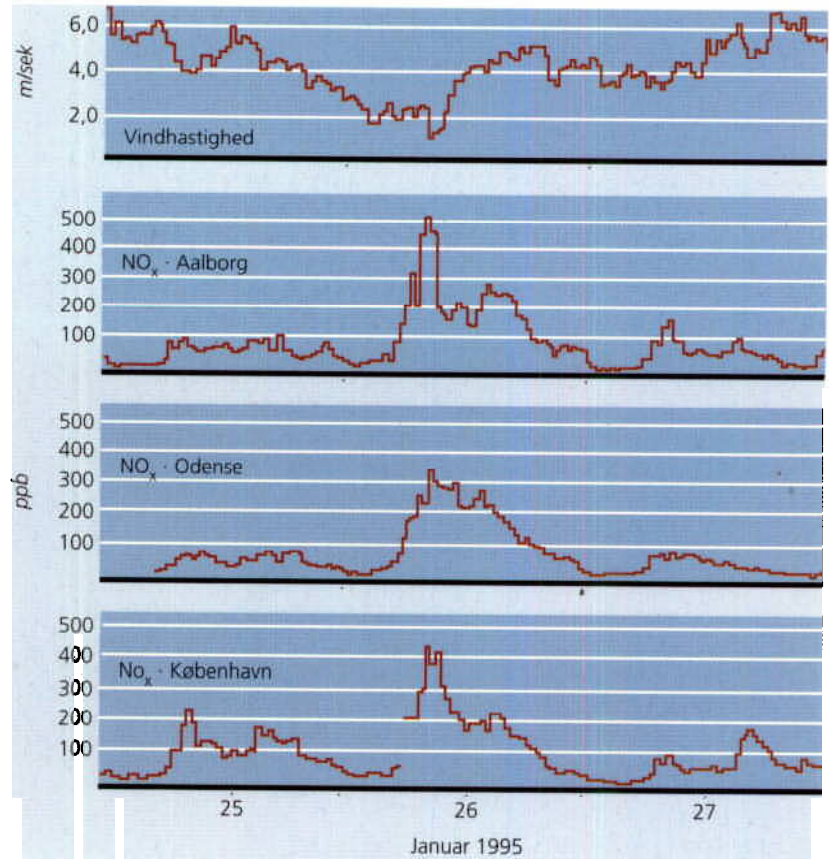


skyldes ensartede meteorologiske forhold den pågældende dag. Ved vindstille vil trafikforureningen i gadeniveau ikke blive ført væk. Sker det i myldretiden bliver effekten naturligvis større. Eksemplet viser, at et fælles forløb på forskellige lokaliteter ikke altid er tegn på bidrag fra fjerntransport,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

### Solstråling og temperatur

Ozon dannes som nævnt ved lysets påvirkning af  $\text{NO}_x$  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  $25^\circ\text{C}$ . 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.

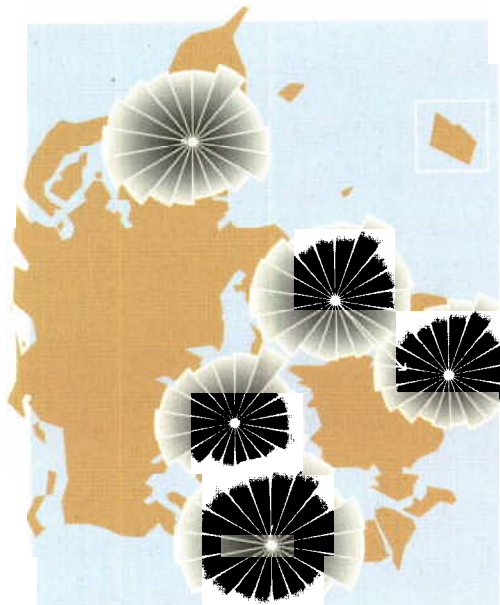


Sammenhængen mellem døgn maximum for ozon målt som halvtimesgennemsnit ved Keldsnor i 1996 og solindstråling (globalstråling) og temperatur.

# NO<sub>x</sub> - 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.



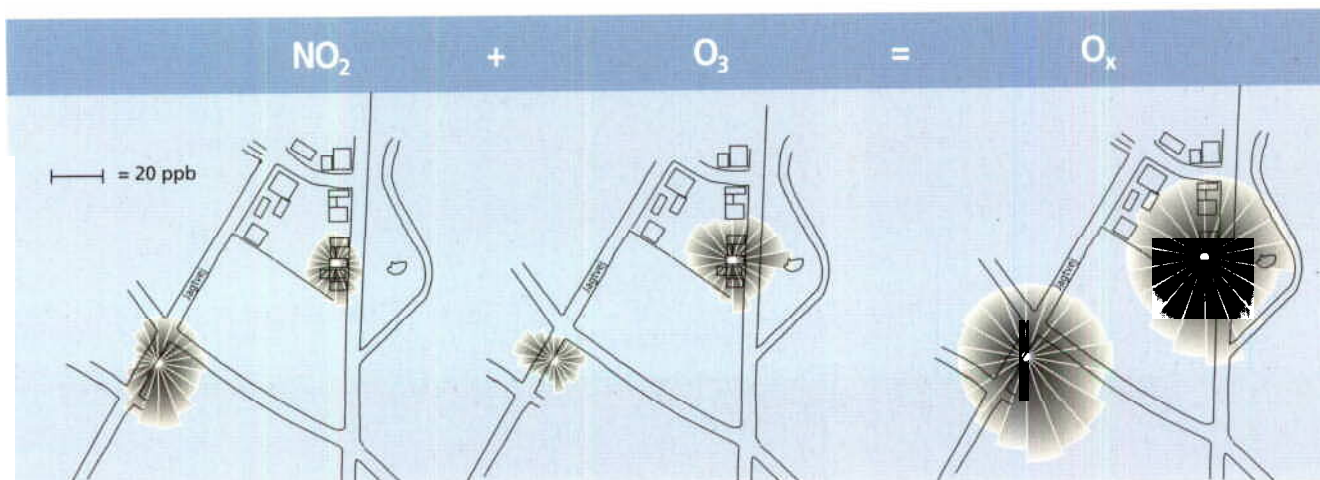
Af de utallige kemiske reaktioner, som sker i atmosfæren, har vi i LMP programmet især undersøgt ozons oxidation af NO til NO<sub>2</sub>. Processen er vigtig, fordi NO er næsten ugiftig, mens NO<sub>2</sub> er sundhedsskadelig.

## 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 NO<sub>2</sub>. Denne reaktion ændrer ikke summen af NO<sub>2</sub> og ozon, som betegnes O<sub>x</sub>. Figuren nedenfor viser



vindretningsfordelinger for gade- og tagstationerne i København. NO<sub>2</sub> koncentrationen er størst i gadeniveau, hvor emissionen af NO sker og ozon koncentrationen er tilsvarende lavere. O<sub>x</sub>-niveauet er imidlertid så godt som ens på de to stationer, både hvad angår fordeling og niveauer. Normalt vil man have lidt højere O<sub>x</sub>-niveau i gaden end på bybaggrundstationen. Det skyldes den direkte emission af NO<sub>2</sub>. Ud fra resultaterne kan det konkluderes, at den direkte emission af NO<sub>2</sub> fra bilerne højst kan udgøre nogle få procent af den totale kvælstofoxid emission, hvilket er mindre end måleusikkerheden.

## Ugevariation

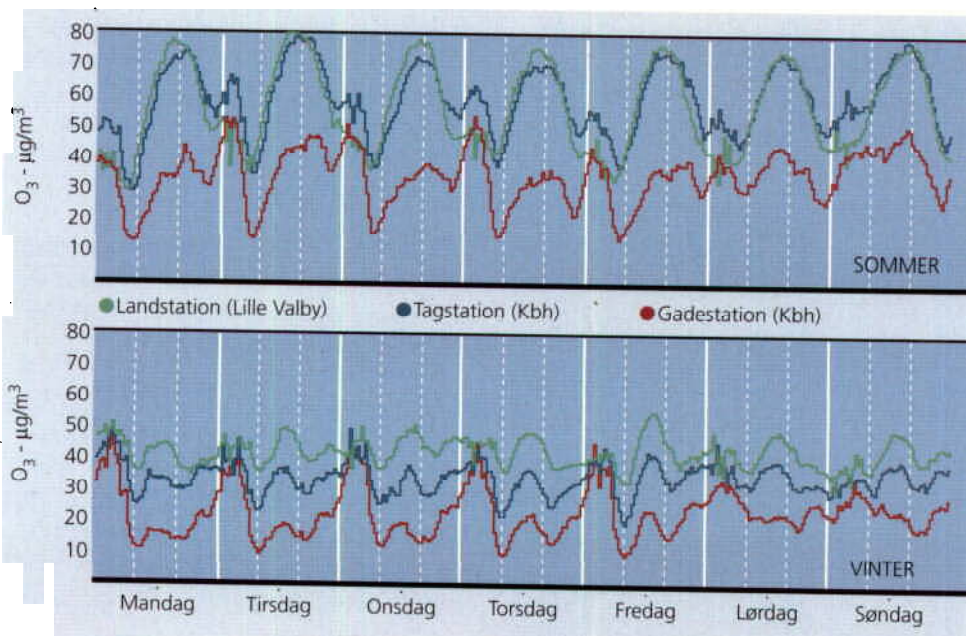
Der er stor forskel på variationen af NO<sub>x</sub> og ozon i løbet af ugedagene om sommeren og om vinteren.

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 udtyndes 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 <sup>3</sup>	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

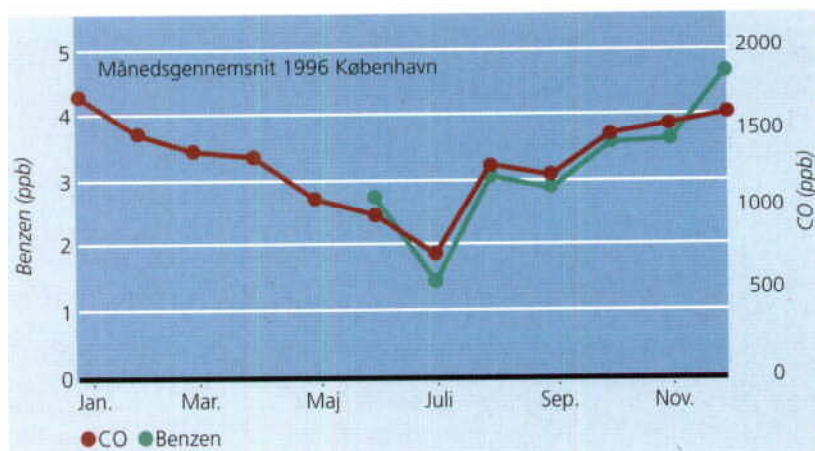
## CO

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. halvdel 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 kampagner gennem flere år. Resultaterne viser, at niveauet i gennemsnit ligger på ca. 3 ppb (~10 µg/m<sup>3</sup>). Til sammenligning har WHO anslået sandsynligheden for at udvikle kræft til 6 ud af en million ved en eksponering på 1 µg/m<sup>3</sup> 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).

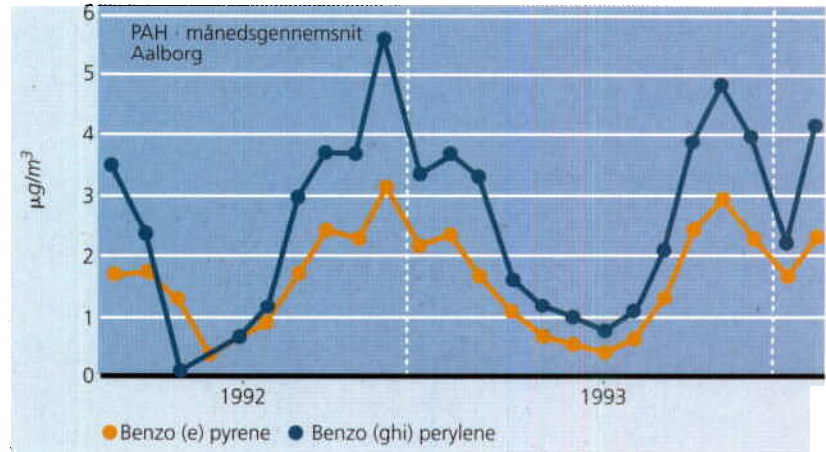
## PAH

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/m<sup>3</sup> - altså langt under den vejledende værdi.



Månedsgennemsnit fra en gade station i Aalborg fra marts 1992 til februar 1994.

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.

Enhed: ng/m <sup>3</sup>	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 <sup>-4</sup>	1,5·10 <sup>-3</sup>

x) Den anslåede livstidsrisiko er 4·10<sup>-2</sup> for hexavalent Cr, mens de målte værdier er total Cr.

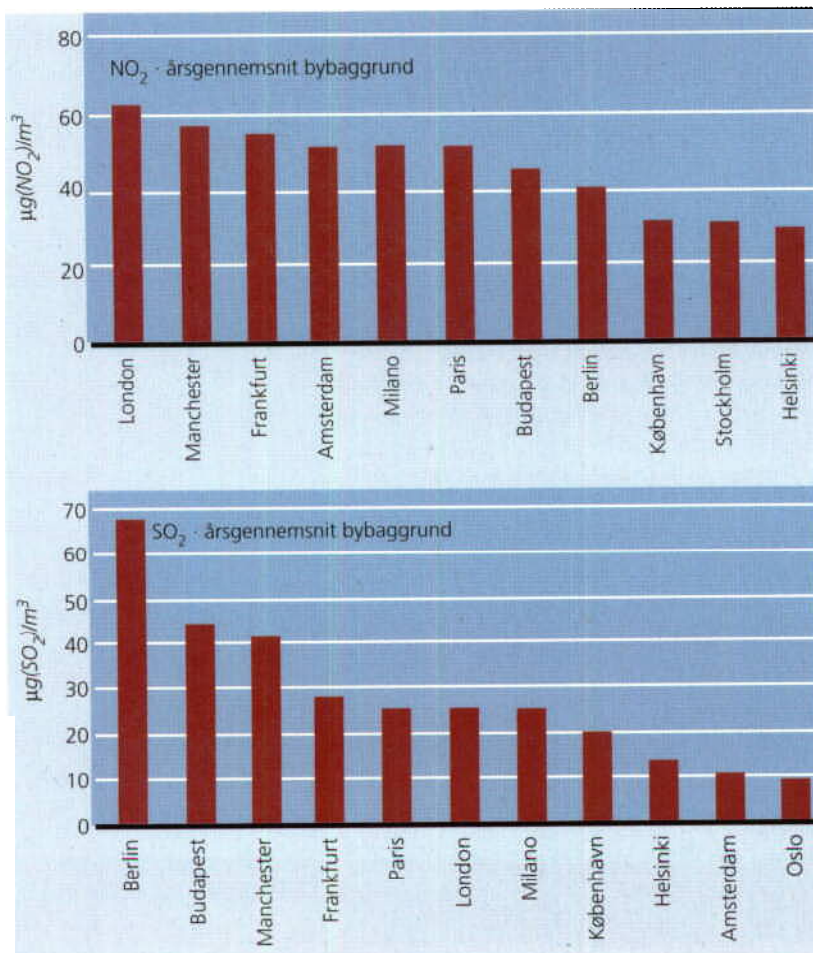
Målte koncentrationer for tungmetaller sammenlignet med WHO's vejledende værdier samt anslåede livstidsrisici ved en eksponering på 1000 ng/m<sup>3</sup>. i.m. = ikke målt.

# 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 gennemsnitseksposeringen 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.



## NO<sub>2</sub>

Resultaterne for NO<sub>2</sub> 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.

## SO<sub>2</sub>

Resultaterne for SO<sub>2</sub> 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<sub>x</sub> 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 <sub>2</sub>			
	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

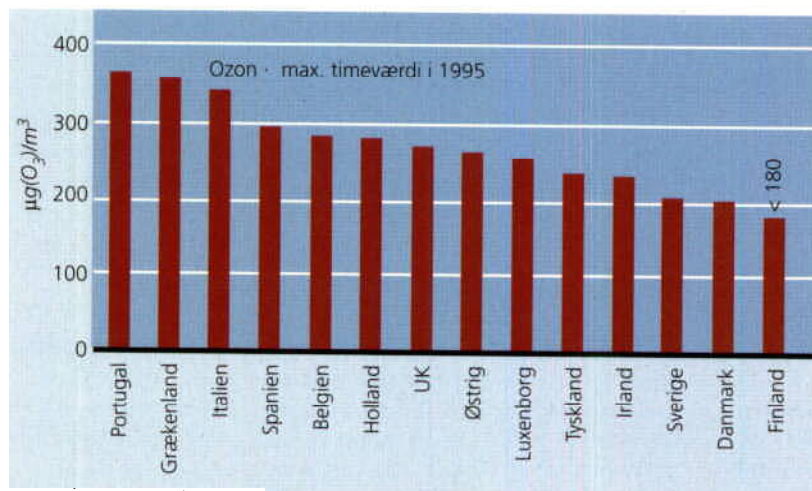
veauerne i London er omkring dobbelt så høje som dem fra København, bortset fra NO i bybaggrunden, hvor forholdet er omkring en faktor 5. Det kan forklares ved at NO<sub>x</sub> niveauet i London er så højt, at der ikke er ozon nok til oxidationen af NO. I København er NO<sub>x</sub> niveauet i bybaggrund 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 varslingsstærskel 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://).

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

# 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

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 luftforurenings. 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

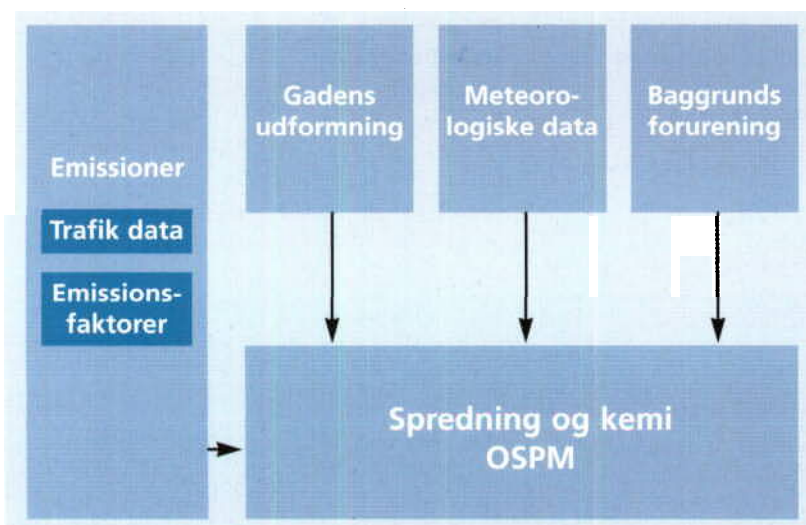
DMU har udviklet den såkaldte Operational Street Pollution Model (OSPM), der kan anvendes til kortlægning af trafikens luftforurening i danske byer.

## 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 i Køge og effekten for 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

*OSPM- modellen benyttes til beregning af forurening fra trafikken i bygader. Spredning og kemiske omdannelser af forurenings 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*



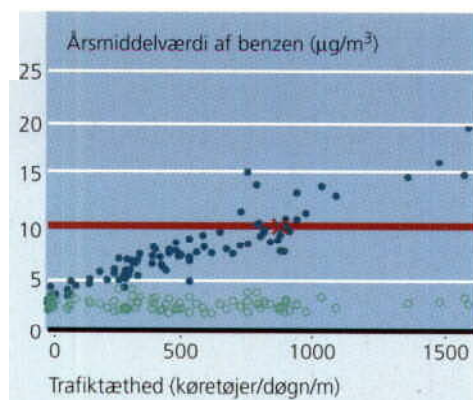
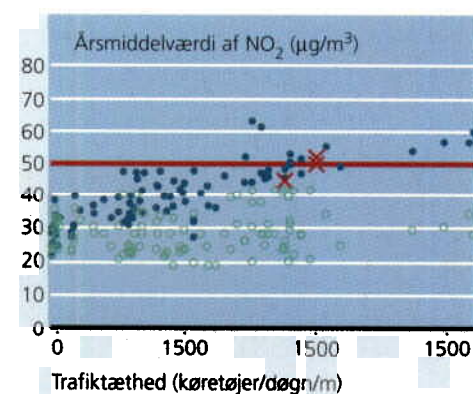
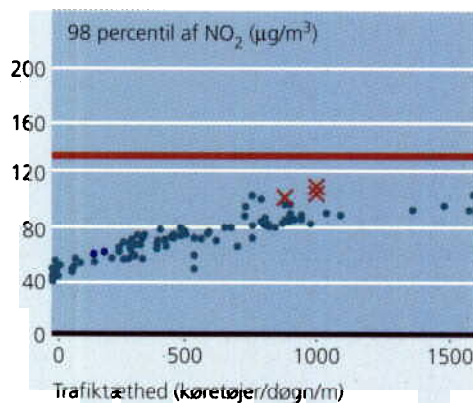
man bestemme trafikens emissioner. Tilstedeværelse af gode emissionsdata er en forudsætning for pålidelige luftforureningsberegninger. Denne metode har vi bl.a. anvendt til bestemmelse af emissionsfaktorerne for benzen, og vi planlægger nu også at anvende den til bestemmelsen af partikelemissioner.

## 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  $\text{NO}_2$  og benzen for året 1995. Det er langt flere vejstrækninger end man ville kunne overkomme at måle på.

Figurerne 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  $\text{NO}_2$ , samt årsmiddelværdi af benzen. Vejledende værdier er indtegnede i figurerne som stiplede linier: En vejledende værdi på  $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for korttidseffekter af  $\text{NO}_2$ , en vejledende værdi på  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for langtidseffekter af  $\text{NO}_2$ , samt en uofficiel grænseværdi på  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for langtidseffekter af benzen.

For årsmiddelværdier af  $\text{NO}_2$  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 målestationer 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 afhæn-

*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  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}$  emission på landet til at omdanne ozon til  $\text{NO}_2$ .

### 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  $\text{NO}_2$  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
$\text{PM}_{2.5}$	0,85 - 5
$\text{NO}_2$	0,5 - 2
Ozon	0,2
VOC	> 1
CO	1 - 2
$\text{SO}_2$	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  $\text{NO}_2$  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 (fordampningstabs, utætheder mv.), ventilationsforholdene i bilen, og koncentrationen i udeluften. Cyklstens 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 vejtrækning. 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 (ovér 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
<b>I alt</b>	<b>5.162.000</b>

*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 NO<sub>2</sub> var cyklisternes dosis højere end bilisternes.

### Følsomme befolkningsgrupper

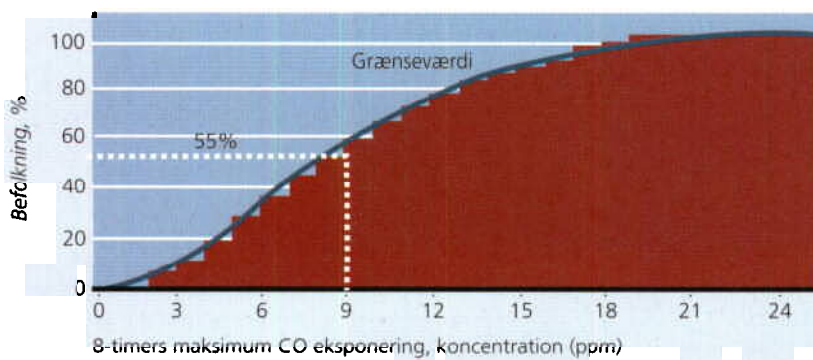
Luftforureningen skønnes at forværre tilstanden hos personer med luftvejslidelser og hjerte-karsygdomme samt at øge forekomsten af visse kræftformer f.eks. lungekræft. Personer med hjerte-karsygdomme er særligt følsomme, fordi luftforureningen kan påvirke åndedrætsfunktionen og medføre hjerteanfald. 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. Laurssen, 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.

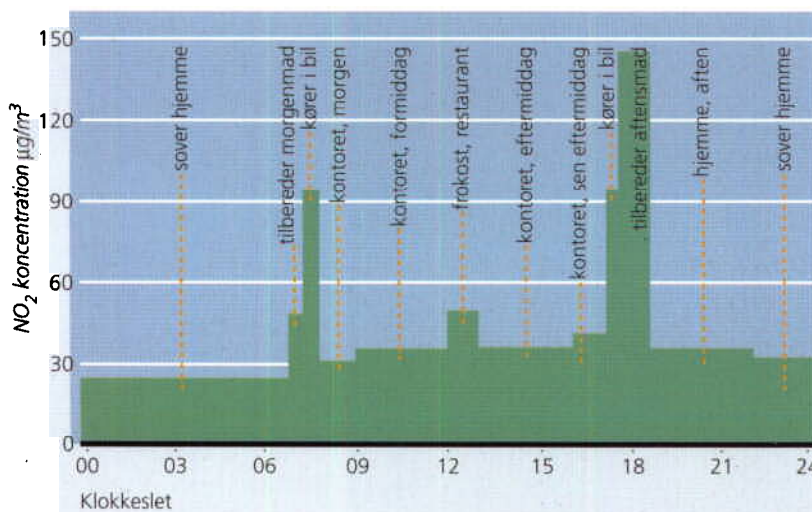
## Korttids- og langtidseksponering

Korttidseksponering med høje niveauer af  $\text{NO}_2$  kan eksempelvis udløse akutte symptomer hos astmapatienter. I dette tilfælde er det vigtigt at vurdere de høje koncentrationer. Den gældende grænseværdi for  $\text{NO}_2$  afspejler denne situation, idet niveauet på  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  kun må overskrides i 2% af tiden (175 timer på et år), og i det nye EU direktiv kun 8 timer om året.

## Personlig og befolknings-eksponering

Ved personlig eksponering bestemmes eksponeringen af den enkelte person,

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.



## 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  $\text{NO}_2$  målt i USA. Døgnprofil over eksponeringen med tilhørende tids- og aktivitetsmønster (Sexton og Ryan 1988)

### Mikromiljøtilgang

Målte og/eller modelberegnete koncentrationer for en række forskellige mikromiljøer kan sammen med data for tids- og aktivitetsmønstre 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 NO<sub>2</sub>-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<sub>x</sub> 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 NO<sub>2</sub>, fordi dieselskøretøjerne bidrager meget til NO<sub>x</sub> emission og p.g.a. kemiske omdannelser med ozon, som danner NO<sub>2</sub>.

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: Elvíg 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 partikelemmissionen 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 trafikplanlægningstiltag, 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 SO<sub>2</sub> i perioden 1980-2000, 30% for NO<sub>x</sub> 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 (CO<sub>2</sub>).

### Nationale målsætninger om reduktion af transportsektorens emissioner

For Transportsektoren er der opstillet særskilte reduktionsmål i "Transporthandlingsplanen" og "Trafik 2005". Udslippet af NO<sub>x</sub> 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

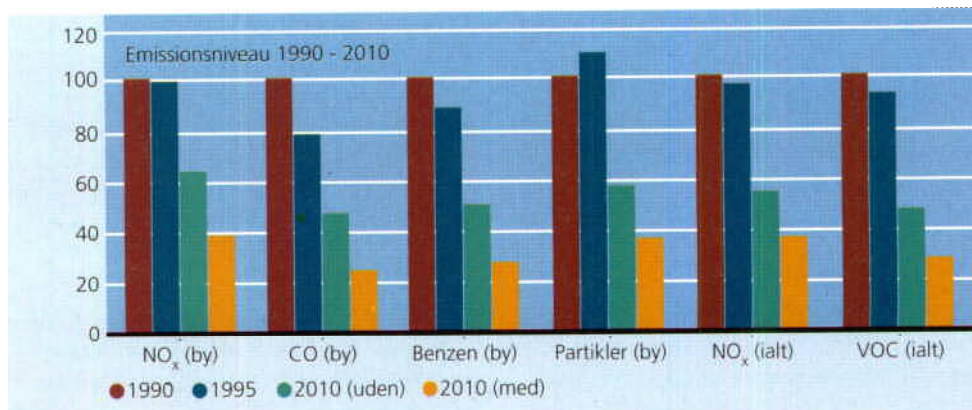
For at kunne leve op til de skærpede grænseværdier for luftkvalitet, som er fastsat i de nye EU-direktiver foreslår EU-Kommissionen væsentlige reduktioner i emissionerne fra vejtrafikken frem mod år 2010.

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 Luftkvalitetetsprogram) 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 forsurening 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.

### Luftforureningsituationen 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. Koncentrati-

onen 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  $\mu m$ .

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 luftvejsirriterende 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 miljøgifter 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, NO<sub>2</sub>, 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., Kennedy, 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 Eksponering	Udslip 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 Gadekonfiguration	Gade med sammenhængende bygninger på begge sider. 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 forurenninger 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	Lyset 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	Luftbårent 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, <b>World Health Organization</b> .
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 <sub>2</sub>	Nitrogendioxid
NO <sub>x</sub>	NO + NO <sub>2</sub>
Ni	nikkel
O <sub>3</sub>	ozon
O <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub> + O <sub>3</sub>
Pb	bly
SO <sub>2</sub>	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 <sub>10</sub>	Den del af TSP/SPM, som består af partikler mindre end 10 µm.
PM <sub>2,5</sub>	Den del af TSP/SPM, som består af partikler mindre end 2,5 µm.

## Enheder og enhedsomregning:

µg/m <sup>3</sup>	mikrogram = milliontedel gram per kubikmeter luft.
ng/m <sup>3</sup>	nanogram per kubikmeter luft = 1/1000 µg/m <sup>3</sup>
ppb	parts per billion = 1:10 <sup>9</sup> , 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 <sup>6</sup>
µm	mikrometer = milliontedel meter

## Omregning mellem ppb og µg/m<sup>3</sup> afhænger af molekylvægten:

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

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

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.

