

Luftforurening i danske byer

Kåre Kemp
Finn Palmgren

Danmarks Miljøundersøgelser, 1994

TEMA-rapport fra DMU, 1994/2,
Luftforurening i danske byer

Forfattere: Kåre Kemp, Finn Palmgren

Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Forureningskilder og Luftforurening

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser©
Udgivelsesår: Oktober, 1994

Lay-out og tegninger: Mary Imer Sørensen

Fotos: Billedhuset og DMU

Tryk: Grønager's

Oplag: 1.000 stk.

Sideantal: 42

Papirkvalitet: 100% dansk genbrugspapir, CyclusPrint 

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

ISSN: 0909-8704

ISBN: 87-7772-177-2

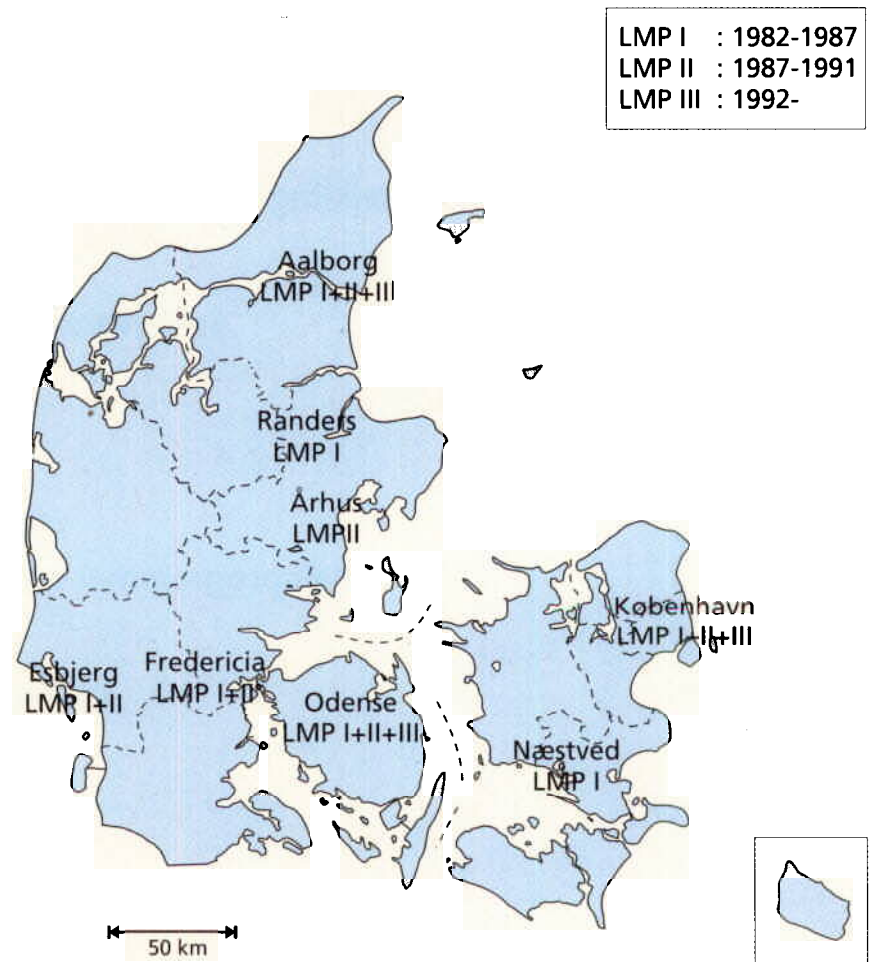
Pris kr. 100,00 (incl. 25% moms, excl. forsendelse)

Købes hos:

Danmarks Miljøundersøgelser
Afdeling for Forureningskilder
og Luftforurening
Frederiksborgvej 399, Postboks 358
DK-4000 Roskilde
Tlf. 46 30 12 00
Fax 46 30 11 14

Miljøbutikken
Information og bøger
Læderstræde 1
DK-1201 København K
Tlf. 33 92 76 92 (Information)
Tlf. 33 93 92 92 (Bøger)

Indledning	5
Byforurening: Kilder og stoffer	6
Effekter og grænseværdier	8
LMP II programmet	10
Forureningsniveauer	13
Udvikling og periodiske variationer	18
Smogvarsling, episoder	25
Kildebidrag	29
Måleprogrammer i danske byer	32
Sammenfatning	34
Litteratur	36
English summary	38



Figur 1. Siden 1982 er der foretaget luftkvalitetsmålinger i flere danske byer. Måleprogrammet er ved revisioner i 1987 og 1992 tilpasset, så det bedst muligt belyser de aktuelle forureningsproblemer.

Indledning

Luftforureningen i byområder blev for alvor kendt som et problem, da der opstod nogle meget voldsomme smog (smog=smoke+fog) episoder i London i 1950'erne. Boligopvarmningen var dengang, hvor næsten hver lejlighed i de centrale byområder havde sin egen kulkamin eller kakkelovn, den dominerende kilde til forureningen. Med indførelse af fjernvarme og brug af naturgas er den lokale forurening fra boligopvarmning faldet i Vesteuropa, mens stigningen i antal af motorkøretøjer har medført større forurening fra trafikken. Samtidig er de stationære kilder blevet samlet i større enheder (kraftværker, affaldsforbrændingsanlæg etc.) med højere skorstene, som spreder forureningen over store områder. Den langtransporterede forurening er derfor også blevet en væsentlig faktor i byerne.

Der er i de senere år blevet gennemført flere restriktioner med henblik på at nedsætte forureningen (fx. gradvis fjernelse af bly fra benzin, nedsættelse af svovlindholdet i olie og krav til bedre røgrensning). Sammensætningen af forureningen i byerne udvikler sig altså hele tiden. Udviklingen må derfor hele tiden følges med målinger af luftens indhold af de forurenende stoffer. Målingerne må tilrettelægges således, at de dels fortæller, om koncentrationen af toksiske stoffer nærmer sig eller overskrider det tilladte og dels dokumenterer virkningen af de restriktioner, der gennemføres. Måleprogrammerne må desuden justeres, så de til hver en tid fokuserer på de aktuelle problemer.

Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) har siden 1982 foretaget systematiske målinger og vurderinger af luftkvaliteten i danske byer i samarbejde med Miljøstyrelsen og kommunale myndigheder (figur 1). I denne rapport præsenteres hovedresultaterne fra det program, der blev gennemført fra 1987 til 1991 med målinger i København, Århus, Odense, Aalborg, Esbjerg og Fredericia. Det var det andet i serien af landsdækkende bymåleprogrammer, de såkaldte LMP programmer. Det tog især sigte på at beskrive forureningen på de steder, hvor forureningen var værst. Der blev bl.a. på meget befærdede gader målt en række uorganiske gas- og partikel-formige forureningskomponenter. På grundlag af målingerne blev belastningen fra forskellige forureningskilder, specielt trafikken, vurderet.

Målingerne viste, at koncentrationerne af flere forureningskomponenter var for nedadgående eller næsten uændrede. Særlig gunstig var udviklingen for bly, hvor koncentrationen på 10 år faldt med en faktor 5 og stadig er for nedadgående som en direkte følge af, at bly nu næsten er fjernet helt fra benzin. Et af de stoffer, der stadig påkalder sig speciel opmærksomhed, er NO_2 , idet koncentrationerne, som stort set har været uændrede siden 1982, er tæt på gældende grænseværdier og formentlig er høje nok til at forværre generne hos personer, der i forvejen har åndedrætsbesvær.

Byforurening: kilder og stoffer

DMU's landsdækkende luftkvalitetsmåleprogrammer (LMP) har hovedsageligt fokuseret på den generelle luftforurening i byområder. Problemer i forbindelse med forurening fra enkelte virksomheder behandles af de lokale myndigheder (amtslige og kommunale) og har således ikke været genstand for vurdering indenfor programmerne. Miljølovens kapitel 5 giver amter og kommuner myndighed til at godkende enkelte forurenende virksomheders (de såkaldte listevirksomheder) emission af toksiske stoffer, der er blevet undersøgt med LMP programmerne. Det er således især summen af bidrag fra ensartede "kildetyper". Disse kilder kan groft taget deles op i tre hovedkildetyper:

- 1) Trafik
- 2) Anden lokal forurening
- 3) Langtransporteret forurening.

Trafik: Målingerne er som nævnt foretaget i gadeniveau på trafikerede gader. Resultaterne er derfor direkte påvirket af udstødningsgassen fra de forbikørende biler. Fælles for både benzin og dieselmotorer er, at de bruger et let brændsel, og at forbrændingen i motorerne sker ved en relativ høj temperatur. Ved den høje temperatur oxideres noget af luftens kvælstof til kvælstofoxider (NO_x), især kvælstofmonoxid (NO). NO er ikke i sig selv særlig toksisk, men det oxideres ret hurtigt af ozon (O_3) i luften til det giftige kvælstofdioxid (NO_2). Ved dårlig justering af motorerne og den deraf følgen-

de ufuldstændige forbrænding udsendes også kulmonoxid (CO) og kulbrinter (HC).

Brændstoffet indeholder desuden stoffer, som kommer ud med udstødningen. For benzin drejer det sig især om det bly, der er tilsat som tetraalkylbly. Efter forbrændingen bliver blyet udsendt som partikler af bl.a. blyklorid og blybromid. I dieselolien findes en rest af råoliens oprindelige svovlindhold, der oxideres ved forbrændingen og udsendes i form af SO_2 . Det skal nævnes, at både bly og svovl nu er på vej ud af brændstoffet, og at emissionen af disse stoffer fra trafikken vil være uden praktisk betydning i løbet af nogle få år. Det skyldes at indførelse af katalysatorer på alle nye benzindrevne biler kræver anvendelse af blyfri benzin, og at der stilles krav om lavere svovlindhold i dieselolie.

Anden lokal forurening: Ud over trafikken bidrager boligopvarmning og industrier til forureningen i byområder. Det sker især ved forbrænding af naturgas, olieprodukter og kul. Olien indeholder bl.a. en del svovl, der udsendes som SO_2 , samt mindre mængder af en række andre stoffer, bl.a. vanadium og nikkel, som kan bruges til at spore forurening fra olie. Ved både naturgas- og olieforbrænding dannes kvælstofoxider. Desuden kan der være såvel CO som kulbrinter i røggassen, hvis forbrændingen ikke er fuldstændig. Brændeovne o.l. kan på grund af den ofte dårlige forbrænding give betydelige bidrag af kulbrinter i villakvarterer.

Kulfyrede kraftvarmeværker udsender både SO_2 og partikler. Da vi i Danmark ikke har sværindustri af betydning, stammer kun en mindre del af den industrielle forurening fra selve industriprocesserne. Størstedelen kommer fra energiproduktion og opvarmning. Der er således ingen generelle problemer med emission af tungmetaller.

Langtransporteret forurening: En del luftforurening transporteres til Danmark fra de tæt befolkede industriområder i alle dele af det nordlige Europa, fra Rusland i øst til Stor-

britannien i vest. Det er igen især komponenter fra forbrænding af fossilt brændstof, som dominerer. Desuden kan der være bidrag fra industrielle processer, bl.a. tungmetaller. I byområder vil den langtransporterede forurening optræde på samme måde som forurening fra store elværker og affaldsforbrændingsanstalter, der udsendes i stor højde og spredes meget effektivt. Under transporten sker der omdannelser af luftforureningen. Således skyldes "sur regn" og troposfærisk ozon typisk langtransport.



Effekter og grænseværdier

Det vigtigste formål med LMP programmerne er at bestemme de koncentrationsniveauer, der forekommer for potentielt toksiske stoffer i byområder, så stoffernes virkninger på mennesker, dyr, planter og ting kan bedømmes. Effekterne af forurening i de, trods alt, ret lave koncentrationer vi finder, er imidlertid dårligt undersøgt, men der foregår et betydeligt forskningsar-

bejde på dette område. Derfor ændres retningslinier og grænseværdier jævnlige i takt med denne udvikling.

De mest åbenlyse skader ses på bygninger, monumenter etc., der forvitrer under indvirkning af sur nedbør. Det er dog (naturligvis) forureningens betydning for menneskers helbred, der hidtil har været i fokus for fastlæggelse af normer og grænseværdier for enkelte komponenter. (Et andet væsentlig aspekt, skader på afgrøder, skove og naturarealer, falder udenfor denne rapports område: byforurening). Grænseværdierne fremkommer normalt ved at dividere de laveste koncentrationer, som giver påviselige sundhedsskader, med en faktor (sikkerhedsfaktor), som normalt er på mellem 2 og 10. De mest omfattende og oftest benyttede anbefalinger om øvre grænser for forureningskoncentrationer i luften er samlet og udgivet af WHO (Air Quality Guidelines for Europe). På basis af WHO's vejledende maksimalværdier har EU landene og dermed Danmark fastsat grænseværdier og vejledende værdier for flere stoffer. Danmark har ikke fastsat andre grænseværdier end de, der er pålagt af EU. Tabel 1 opsummerer de for tiden gældende grænseværdier.

Der vil desuden blive indført grænseværdier for O_3 i 1994 i henhold til et EF-direktiv (92/72/EØF), der pålægger medlemslandene at sørge for, at et sæt af grænseværdier for O_3 ikke overskrides. På lidt længere

Tabel 1. Gældende grænseværdier og vejledende værdier i Danmark ultimo 1993. Referencer: (1) Bekendtgørelse nr. 836 af 10. december 1986 fra Miljøministeriet; (2) EF direktiv 82/884/EØF af 3. december 1982; (3) Bekendtgørelse nr. 119 af 12. marts 1987 fra Miljøministeriet. (*) Vejledende værdi.

Stof	Måleperiode (timer)	Statistik	Grænseværdi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Beregningsperiode	Reference
SO_2	24	50-perc.	80	1/4 - 31/3	(1)
		98-perc.	250		
Svævestøv (TSP)	24	50-perc.	130	1/10 - 31/3	(1)
		Middel	150		
Bly		95-perc.	300	1/4 - 31/3	(1)
		Middel	2		
NO_2	1	98-perc.	200	1/1 - 31/12	(3)
		50-perc.	50 (*)		
		98-perc.	135 (*)		

sigt vil der sandsynligvis komme grænseværdier bl.a. for organiske forbindelser.

WHO's anbefalinger omfatter desuden vejledende maksimalværdier for en række tungmetaller, som også er målt i LMP II. De målte værdier ligger en størrelsesorden eller mere under de anbefalede grænser. Flere tungmetaller (fx krom og nikkel) og organiske stoffer (bl.a. benzen, formaldehyd og polycykliske aromatiske hydrocarboner) angives at være kræftfremkaldende. For disse stoffer angiver WHO ikke egentlige grænseværdier, da selv meget små koncentrationer øger risikoen for kræft. Det er derfor en politisk beslutning, hvor stor en risiko, der kan accepteres. Det er derfor vigtigt, at der gennem det nuværende LMP

program (LMP III) skaffes en systematisk viden om forekomsten i luften af disse stoffer.

Kulilte og ozon er også omfattet af WHO's anbefalinger. Målinger fra HLU's (Hovedstadsregionens Luftovervågningsenhed) målenet viser, at selv om koncentrationerne af disse stoffer i centrum af København ikke overskrider de anbefalede grænser, så kommer de dog ret tæt på (se side 17). Det er dog vigtigt at påpege, at selv om O_3 ikke er et generelt problem i byområder, så fører forureningen med bl.a. flygtige kulbrinter fra de større byområder til dannelse af O_3 udenfor byerne, hvor det kan give anledning til skader på planter og gener for mennesker.

Box

Statistiske parametre

Man kan meget groft dele skadevirkningen af et forureningsstof i to grupper. Derfor er der ofte fastlagt to grænseværdier for et stof:

1) Skader, som opstår ved en påvirkning af stoffet over længere tid.

Middelværdien eller medianen bruges ofte som grænseværdi i den forbindelse. Den aritmetiske middelværdi (gennemsnittet) findes ved at dividere summen af alle resultater med antallet. Middelværdien er den værdi, der ville fremkomme, hvis forureningen var opsamlet som én enkelt prøve i hele den periode, der er dækket af målingerne. Medianen er ganske simpelt værdien i midten, når resultaterne er sorteret efter størrelse. Den er som regel lidt mindre end middelværdien. Median og 50-percentil er det samme.

2) Skader, som opstår ved kortvarige påvirkninger af stoffet i høje koncentrationer.

Der bruges ofte en percentil som grænseværdi i den forbindelse. Percentilværdien angiver den procentdel af målingerne, der er lavere end percentilen. Således er 98-percentilen den koncentration, som er højere end 98% af de målte koncentrationer, men lavere end de 2% største. Opsamlingstiden for den enkelte prøve i forhold til variationshastigheden af koncentrationerne er af stor betydning for de store percentilværdier. Fx er 98-percentilen for døgnmålinger som regel væsentlig lavere end for timemålinger.

LMP II programmet

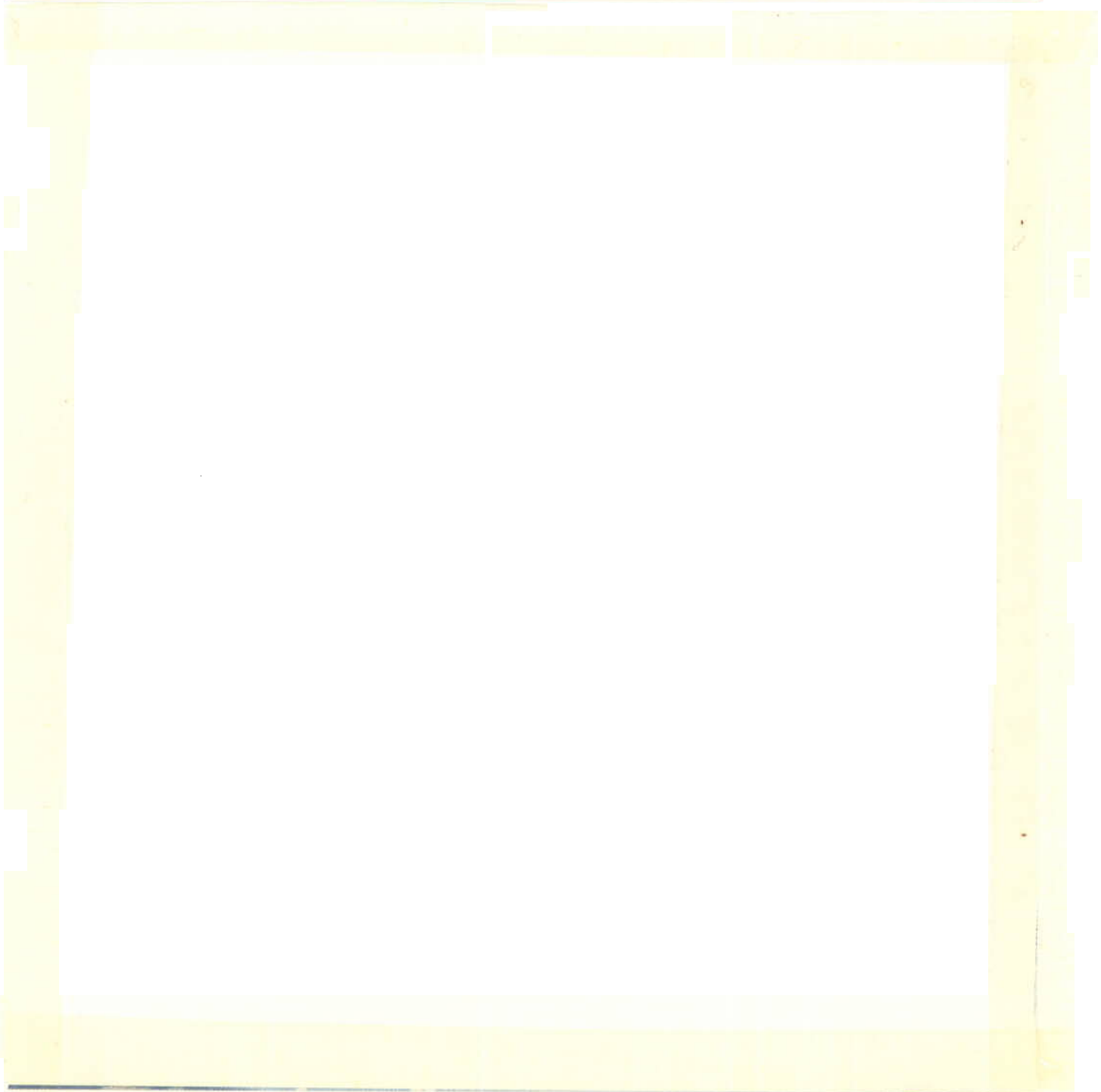
LMP II programmet har omfattet målinger i de fire største danske byer, København, Århus, Odense og Aalborg. Desuden har Esbjerg og Fredericia, hvor store enkeltkilder gav anledning til specielle forhold, deltaget i programmet (tabel 2). Der har i hver af provinsbyerne være to målestationer, mens der i København har været tre stationer, som i 1990-1991 er blevet suppleret af HLU's fem stationer. Alle stationer har

været placeret i gadeniveau og mindst én station i hver by har været placeret direkte i vejkanten på en af de kraftigst trafikerede gader.

For alle stationer er gennemført et basisprogram (tabel 3) med en såkaldt filterpack (figur 2), som indsamler prøver i 24 timers perioder. Luften suges først gennem et filter, som opsamler partiklerne i luften. Den

Tabel 2. Placering af målestationerne. Romertallene i sidste kolonne henviser til tabel 3, der giver en oversigt over målte stoffer og anvendte metoder.

By	Station nr.	Placering	Biler/døgn	Målte komponenter
København	1255	Åboulevarden	50.000	I+SO ₂ (½ time)
	1256	Trianglen	37.000	I+SO ₂ (½ time)
	1257	Jagtvej	22.000	I+II
Fredericia	5155	Danmarksport	6.000	I+II
	5152	Sygehuset	-	I
Esbjerg	5655	Skolegade	6.500	I+II
	5652	Jagtvej	6.000	I
Århus	6151	Åboulevard	13.000	I+II
	6152	Frederiks Allé	24.000	I
Ålborg	8151	Limfjordsbroen	28.500	I+II
	8153	Nyhavnsgade	22.000	I
Odense	9155	Albanigade	19.500	I+II
	9154	Ringvejen	19.500	I



Figur 2. Målestation med udvidet program i Esbjerg. Der er monteret 8 filtre, som eksponeres et ad gangen, til døgnmåling af partikler og SO_2 på standeren på det lille instrumentskab i forgrunden. Tilsyn og filterskift er kun nødvendig én gang om ugen. Indtag til $\frac{1}{2}$ time målingerne af SO_2 , NO og NO_2 ses på skuret i baggrunden. Skuret er termostateret og huser monitorer og data-loggere.

totale partikelkoncentration i luften findes ved vejning af partikelfiltrene før og efter eksponeringen. Partiklernes grundstofsammensætning måles med "Proton Induceret Röntgen Emissions spektroskopi" (PIXE). PIXE giver i en arbejdsgang en positiv bestemmelse af ca. 20 grundstoffer i hver enkelt filterprøve. Efter partikelfilteret ledes luften gennem et filter imprægneret med KOH, der blandt andet reagerer med luftens indhold af SO₂, som omdannes til sulfid på filteret. SO₂ koncentrationen i luften bestemmes ved ionchromatografisk analyse af de imprægnerede filtre.

Det udvidede program omfatter måling af SO₂, NO og NO₂ på mindst én station i hver

by (tabel 3). Middelværdierne for hver halvtime beregnes og transmitteres via telefon til en central database på DMU, hvor man til enhver tid kan følge den aktuelle forureningssituation.

Meteorologiske målinger har desuden i perioder været knyttet til programmet. Vindretning og -hastighed, temperatur, fugtighed og globalstråling er blevet målt på timebasis. Odense er den eneste by, hvor de meteorologiske målinger har været gennemført i hele måleperioden. Disse målinger er blevet anvendt til analyse af måleresultaterne samt til spredningsberegninger i forbindelse med godkendelse af virksomheder og til modelberegninger.

Tabel 3. Oversigt over målte komponenter og anvendte metoder.

	Prøvetagningstid	Komponenter	Metode
(I) Basisprogram	24 timer	Total partikler (TSP)	Vejning
	24 timer	Grundstoffer	PIXE
	24 timer	SO ₂	Imprægnerede filtre
(II) Udvidet program	½ time	SO ₂	Ultraviolet fluorescens
	½ time	NO	Chemiluminescens
	½ time	NO ₂	Chemiluminescens

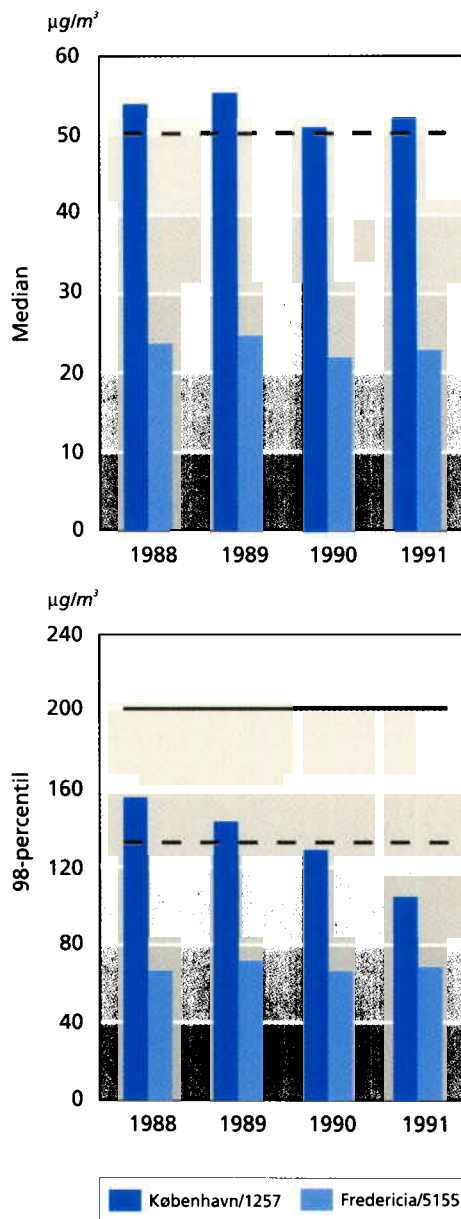
Forureningsniveauer

I det følgende er vist nogle eksempler på statistiske beregninger på de indsamlede data for de forurenende stoffer ¹⁾. De viste parametre er beregnet specielt med henblik på sammenligning med danske grænseværdier og vejledende værdier. En detaljeret oversigt findes i årsrapporterne fra 1987-89, 1990 og 1991. På figur 3-6 er vist et udvalg af de statistiske parametre for en målestation i København og i Fredericia. Værdierne fra Jagtvej i København (station 1257) var i alle tilfælde blandt de højeste i Danmark, mens værdierne fra Danmarksport i Fredericia (station 5155) var blandt de laveste. På figurerne er grænseværdierne afsat som fuldt optrukne linier og de vejledende værdier som stiplede linier.

NO₂

På ingen af målestationerne blev grænseværdien for NO₂ på 200 µg/m³ for 98-percentilen overtrådt (figur 3). De vejledende værdier blev derimod tangeret på flere stationer. I 1991 var det dog kun i København, at værdierne nåede op i nærheden af de vejledende grænser.

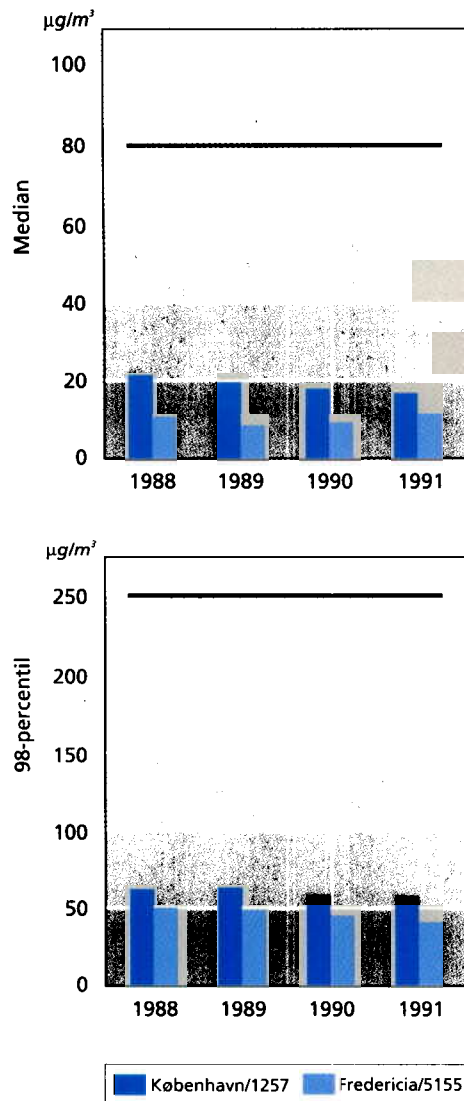
¹⁾ Koncentrationsværdierne er angivet i µg af det pågældende stof pr. kubikmeter normalluft, dvs luft ved en temperatur på 0°C og et tryk på 1 atm. For SO₂ skal enheden µg/m³ altså fortolkes som (µg SO₂)/Nm³, mens den for svovl er (µg S)/Nm³.



Figur 3. Årsværdier for 98-percentil og median for NO₂ målt i København og Fredericia. Grænseværdien og de vejledende værdier er indtegnet som henholdsvis fuldt optrukne og stiplede linier.

SO₂

De målte koncentrationer af SO₂ var lave i forhold til grænseværdierne (figur 4). Det betyder, at SO₂ i sig selv sandsynligvis ikke har nogen sundhedsskadelig effekt i de koncentrationer, vi finder i Danmark. Det er dog ikke nødvendigvis det samme som, at SO₂ eller de stoffer, det omdannes til, ikke har skadelige effekter på dyr, planter eller materialer.



Figur 4. Årsværdier for 98-percentil og median for SO₂ målt i København og Fredericia. Grænseværdierne er indtegnet som fuldt optrukne linier.

Box

Emission og omdannelse af svovlforbindelser

Svovlindholdet i levende organismer er fra lidt under én til nogle få procent af tørstoffet. Det var det også i de organismer, der danner grundlaget for de fossile kulbrintereservoarer. I kul og olie findes op til et par procent svovl; men indholdet varierer meget fra sted til sted. Da de fleste svovlforbindelser er faste eller flydende, er det meste naturgas næsten fri for svovl.

Størstedelen af svovlforbindelserne i byluft udsendes ved forbrænding af fossile brændsler. Når kul og olie brændes, oxideres svovlforbindelserne til gasarten SO₂. Det er muligt at fjerne det meste svovl fra olien, inden den brændes, og fra røggassen fra store fyringsanlæg, så kun en brøkdel af det oprindelige svovl kommer ud i atmosfæren.

SO₂ vil i luften gradvis blive omdannet til svovlsyre og sulfatforbindelser, og der dannes små partikler med en diameter på mellem 0,5 og 1 µm. Omdannelses-tiden er af størrelsesordenen ét døgn, men den varierer meget med luftens fugtighed og temperatur. Ved vindhastigheder på nogle meter i sekundet vil omdannelsen altså ske under transport over flere hundrede kilometer. Luftens indhold af ammoniak er væsentlig for neutralisering af svovlsyren og andre sure svovlforbindelser. Over Danmark vil det meste af det sure svovl blive neutraliseret af ammoniak fra landbruget.

Box

Svævestøv i atmosfæren

Der findes i gennemsnit omkring 50 µg per m³ "støv" i byluft. Støvet består af partikler med størrelser fra ca. 0,01 µm til ca. 100 µm.

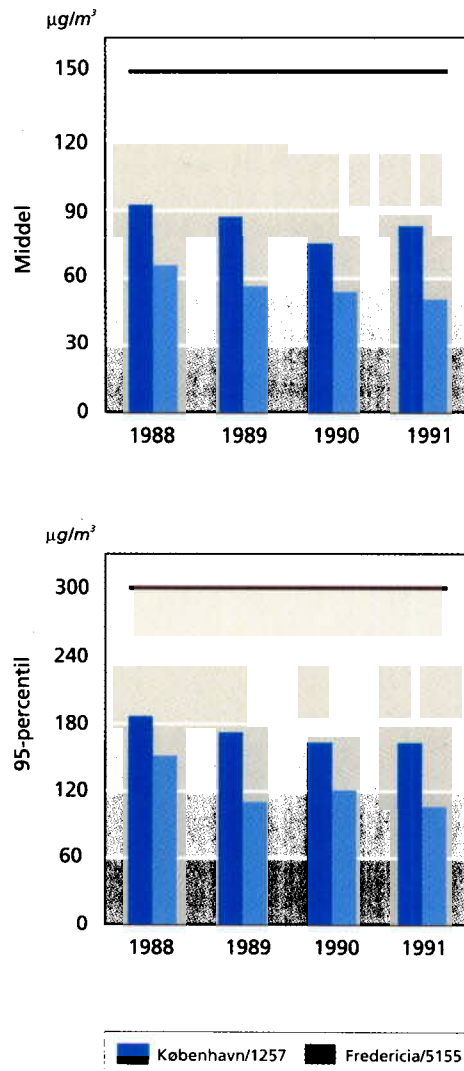
Langt de fleste af de partikler, som stammer fra ophvirvling og andre mekaniske processer, er mere end 2 µm store, mens størstedelen af de partikler, der dannes i atmosfæren ved kemiske processer eller udsendes fra forbrændingsprocesser findes i området 0,2-1 µm.

I den luft, der indåndes, vil partikler større end 2-3 µm blive afsat i den øverste del af åndedrætssystemet (dvs næse og svælg) og under normale omstændigheder ret hurtigt transporteres via spiserøret til maven. Partikler mellem ca. 0,5 og 1 µm afsættes dybt i lungerne, hvorfra de kun langsomt bliver fjernet og i et vist omfang kan overføres til blodet. Disse partikler vil, alt andet lige, kunne gøre større skade i organismen end de store partikler. De allermindste partikler udåndes igen.

Partiklernes oprindelse og dermed deres fysiske egenskaber er altså af betydning for, hvor de afsættes og dermed for deres skadevirkning.

TSP

Det totale partikel indhold (Total Suspended Particulates) i luften er næst efter NO₂ den komponent, der var tættest på grænseværdierne (figur 5). Det indsamlede støv repræsenterer en uspecifik sammenblanding af bidrag fra flere kildetyper. Den største enkeltkilde er normalt ophvirvlet jordstøv, som næppe er nogen væsentlig risikofaktor.



Figur 5. Årsværdier for 95-percentil og middel-værdi for TSP målt i København og Fredericia.

Grænseværdierne er indtegnet som fuldt optrukne linier.

Bly

Grænseværdien for bly ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) er ikke indtegnet på figur 6, fordi den ligger meget højt over de registrerede værdier. Den største årsmiddelværdi blev målt til $0,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i 1991 ved Limfjordsbroen i Aalborg (station 8151). Da grænseværdien i sin tid blev fastsat, var blykoncentrationerne i flere europæiske storbyer så høje, at det ville have medført hyppige og nogle steder konstante overskridelser, hvis man havde benyttet de sædvanlige kriterier for fastsættelse af sikkerhedsfaktoren. Grænseværdien blev derfor i første omgang sat meget højt af pragmatiske grunde. Egentlig burde grænseværdien ifølge WHO være $0,5\text{-}1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I løbet af nogle få år, når der ikke mere til sættes bly til benzin, vil koncentrationerne i luften blive så lave, at der ikke mere er behov for en grænseværdi i Danmark.

Andre stoffer

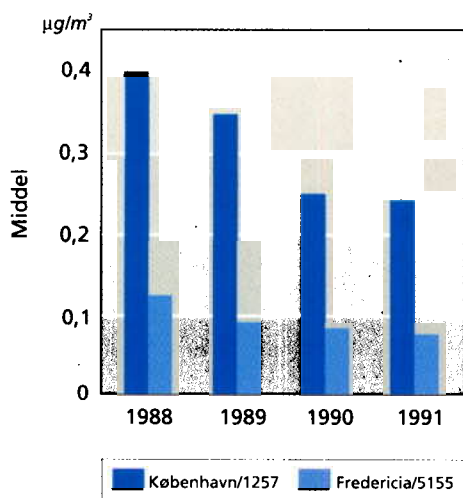
Ud over ovennævnte fire komponenter målt en række andre stoffer. Årsmiddelværdier for alle de målte stoffer fra Åboule-

vard i Århus (station 6151) er vist i tabel 4. Værdierne fra denne målestation er typiske "bykoncentrationer". De kan variere op til en faktor 5 fra sted til sted.

CO og O_3 er blevet målt som timemiddelværdier på flere af HLU stationerne. Tabel 5 viser nogle af disse resultater sammenholdt med WHO's vejledende maksimalværdier. O_3 koncentrationerne er større på "baggrundsstationen" i Skovbo uden for København end på H.C. Andersens Boulevard i centrum. Det viser, at der er en netto nedbrydning af O_3 i byområdet sandsynligvis ved omdannelsen af NO til NO_2 som den væsentligste proces.

Tabel 4: Årsmiddelværdier målt på Åboulevard i Århus (station 6151). De tre første stoffer er gasser, de øvrige findes i partikler. TSP er den samlede partikkelkoncentration i luften.

Stof	Konc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Stof	Konc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NO_2	22	Mn	0,021
NO	45	Fe	0,85
SO_2	12	Ni	0,007
TSP	57	Cu	0,026
Al	0,48	Zn	0,067
Si	1,11	Se	0,001
S	2,04	Br	0,022
Cl	2,20	Sr	0,005
K	0,33	Zr	0,003
Ca	0,68	Sb	0,006
Ti	0,062	Ba	0,026
V	0,011	Pb	0,11



Figur 6. Årsmiddelværdier for bly målt i København og Fredericia. Grænseværdien er $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabel 5. Årsmiddelværdier for 1990 fra H.C. Andersens Boulevard (station 1103) og Skovbo (station 3003) og WHO's tilsvarende vejledende maximalværdier.

Station	Ozon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Kulmonoxid (mg/m^3)		
	Middel	Max. 8 timer	Max. time	Middel	Max. 8 timer	Max. time
1103	11	52	62	2.2	9.4	28
3003	27	88	97			
WHO		100-120	150-200		10	30

Box

Vekselvirkning mellem kvælstofoxider og ozon

Forureningskomponenterne i atmosfæren indgår i en mangfoldighed af kemiske reaktioner. Temperatur, lysintensitet og fugtighed er afgørende for hvilke processer, der har betydning. Vi har i dag langt fra tilstrækkelig viden til at give en fyldestgørende beskrivelse af disse processer. Dannelsen af den giftige gas NO_2 , som har stor betydning for vurdering af sundhedseffekten af luftforureningen, er et af de mere indviklede eksempler

Ved al forbrænding ved høj temperatur, oxideres en del af luftens kvælstof. Der dannes hovedsageligt NO , som er en ret ugiftig luftart. Kun nogle få procent er NO_2 . I atmosfæren kan O_3 reagere med NO under dannelse af NO_2 . Hvis O_3 koncentrationen er tilstrækkelig høj, vil størstedelen af NO blive omdannet i løbet af nogle minutter. Under normale forhold er mængden af O_3 i høj grad bestemmende for NO_2 koncentrationerne i danske byer.

Kvælstofoxider og den O_3 , der findes i den nederste del af atmosfæren, dannes især ved fotokemiske reaktioner, hvor bl.a. organiske forbindelser, de såkaldte VOC (volatile organic compounds), spiller en væsentlig rolle som "basis produkter". VOC'erne kan enten dannes "naturligt" i skove o.l. eller ved menneskers anvendelse af fossile organiske stoffer (gas, olie, kul og opløsningsmidler). En væsentlig faktor ved O_3 produktionen er lysintensiteten. De største O_3 koncentrationer forekommer derfor især om foråret og sommeren, hvor lyset er kraftigst. Det sker bl.a. i forbindelse med lufttransport fra industriområderne i Centraleuropa, hvor udslippet af kvælstofoxider og VOC'er er stort. Høje koncentrationer af naturlige VOC'er kan også forekomme, fx når luften har passeret de svenske skovområder. Der dannes også O_3 i de danske byer, men mængden er normalt så lille, at det næsten umiddelbart reagerer med NO .

Udvikling og periodiske variationer

Koncentrationen af luftforurenende stoffer i atmosfæren hænger nøje sammen med emissionerne. De meteorologiske forhold har dog også meget stor indflydelse.

Vindretning samt mekanisk og termisk turbulens spiller en stor rolle for spredningen, mens såvel temperatur som sollys er vigtige faktorer for reaktionshastighederne for de kemiske reaktioner i atmosfæren. Spring i stofkoncentrationerne på en faktor 10 fra den ene dag til den næste er ikke usædvanlige, som følge af ændringer i de meteorologiske forhold. Et realistisk billede af sammenhængen mellem ændringer i emissionerne og koncentrationerne i atmosfæren, kan kun fås ved at følge udviklingen over så lang en periode, at indvirkningen af de skiftende vejrforhold bliver midlet ud; det vil i praksis sige over flere år.

Med LMP programmerne har vi nu en sammenhængende måleperiode på ca. 10 år. Selv om de fleste stationer desværre er flyttet indenfor perioden, findes der heldigvis komplette måleserier fra nogle få stationer. Centralstationen i Aalborg (station 8151) er den, der har kørt længst med det største måleprogram. I det følgende er det derfor især data fra denne station, der er anvendt til belysning af udviklingen og de systematiske variationer.

Det kan forventes, at luftforureningen varierer periodisk i løbet af et døgn, en uge og et år. Døgnvariationen kan skyldes virkningen

af lys og temperatur; men i byområder vil rytmen i aktivitetsniveauet og ikke mindst trafikken sandsynligvis være hovedårsagen. Ugevariationen skyldes kun skiftende aktivitet i løbet af ugen. Årsvariationen i den fotokemiske luftforurening skyldes ændringer i lys og temperatur. Temperaturen påvirker desuden emissionerne i forbindelse med boligopvarmning samt motorkøretøjernes effektivitet og dermed emissionerne fra trafikken. Ud over de periodiske variationer vil der som følge af generelle ændringer af emissioner og placering af kilderne være en gradvis udvikling af de gennemsnitlige niveauer.

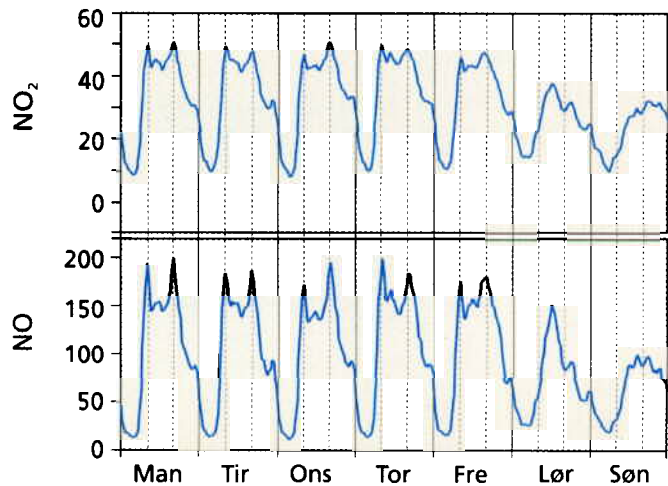
Både de periodiske variationer og udviklingen er belyst i det følgende. I de fleste tilfælde er der brugt data fra hele tiårsperioden 1982-1991 fra Aalborg (station 8151).

Døgnvariation

Døgnvariationerne er illustreret med data for NO og NO₂ fra Aalborg på figur 7 samt data for NO, NO₂ og O₃ fra HLU stationerne på H.C. Andersens Boulevard (station 1103) ved Rådhuspladsen i København og "baggrundsstationen" Skovbo (station 3003) syd for København på figur 8. Figurene viser de gennemsnitlige koncentrationer på samme tidspunkt og ugedag. Som forventet afspejler NO koncentrationer på såvel H.C. Andersens Boulevard som Limfjordsbroen rytmen i trafikintensiteten med myldretids-

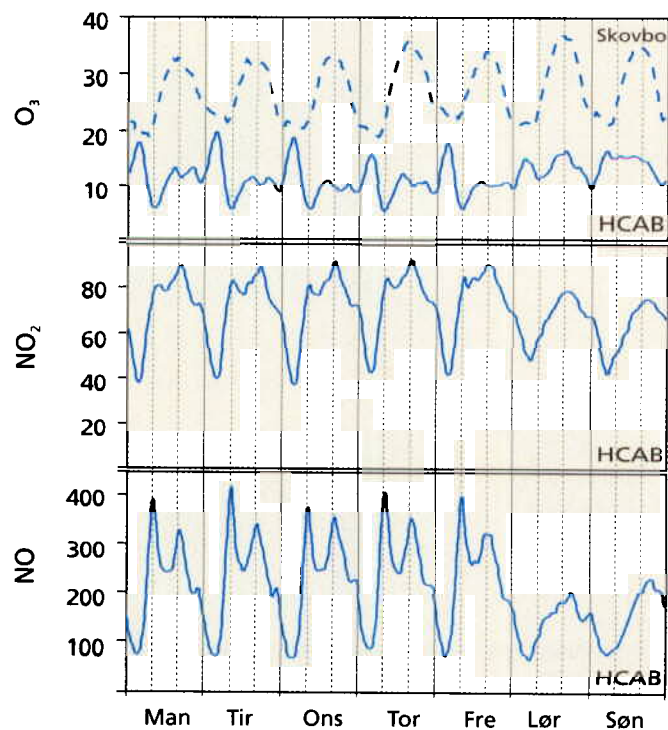
toppe morgen og aften. NO_2 har et lignende forløb, men tidsvariationen er lidt mindre skarp, og der er relativt højere koncentrationer i week-enden. Det skyldes, at NO_2 er en sekundær forurening, der danner kemiske reaktioner mellem NO og især O_3 .

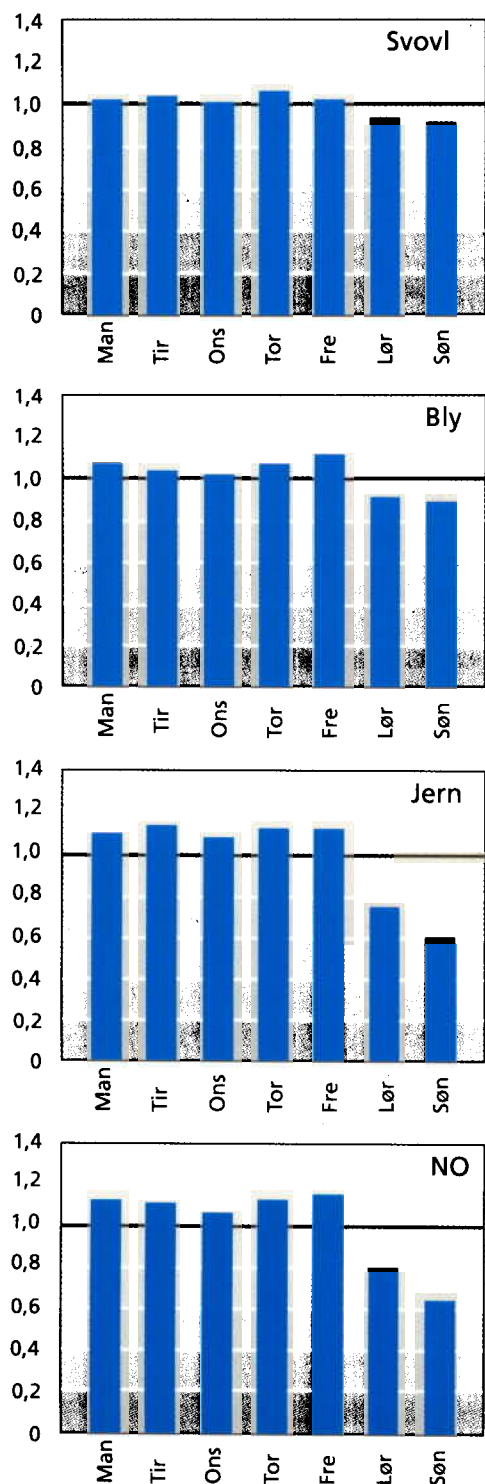
Betydningen af tilstedeværelsen af O_3 ved omdannelsen af NO til NO_2 ses ved sammenligning mellem H.C. Andersens Boulevard og Skovbo. Uden for byen vokser O_3 koncentrationen gradvis i dagtimerne, mens den i byen har et maksimum om natten, når NO koncentrationen er lavest. De absolutte koncentrationer af O_3 er væsentlig lavere i byen, men i løbet af natten nærmer de sig samme niveau på de to stationer. I week-enden vokser O_3 koncentrationen i byen gradvis. NO_2 koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard er stort set proportional med produktet af NO og O_3 værdierne.



Figur 7. Gennemsnitlige $\frac{1}{2}$ -time koncentrationer for NO og NO_2 i perioden 1982-1991 målt ved Limfjordsbroen i Aalborg. De stiplede linier markerer kl. 8 og 16. Tiden følger vinter og sommer tid. Enhed: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figur 8. Gennemsnitlige timekoncentrationer for NO , NO_2 og O_3 målt i 1990-1991 på H.C. Andersens Boulevard (HCAB) i København og for O_3 målt i Skovbo syd for København. Enhed: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.





Figur 9. Relative ugedagsværdier for partikulært svovl, bly, jern og NO. Værdierne er beregnet i forhold til middelværdierne over hele 10 års perioden. Søjlerne repræsenterer middelværdierne for alle mandage, tirsdage etc. i perioden 1982-1991 målt ved Limfjordsbroen i Aalborg.

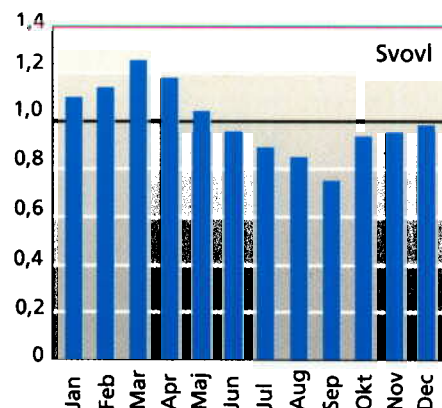
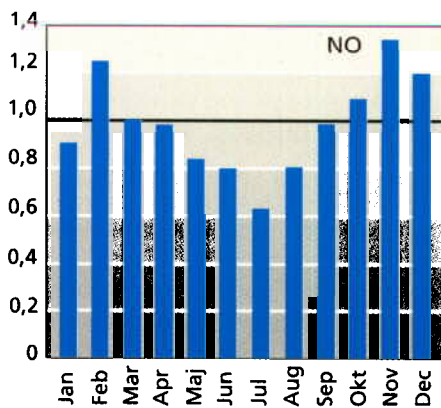
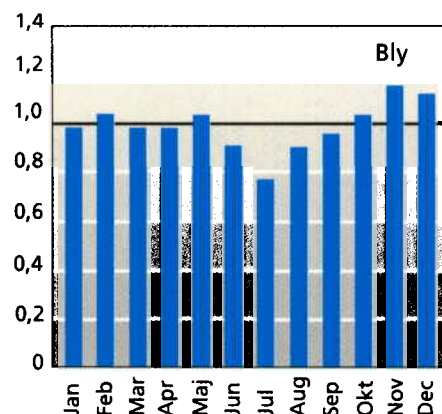
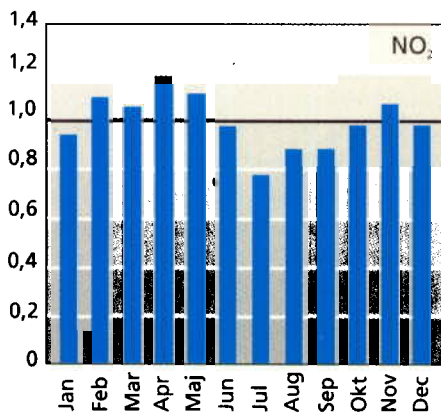
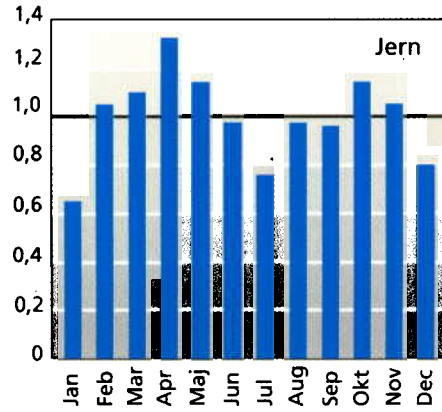
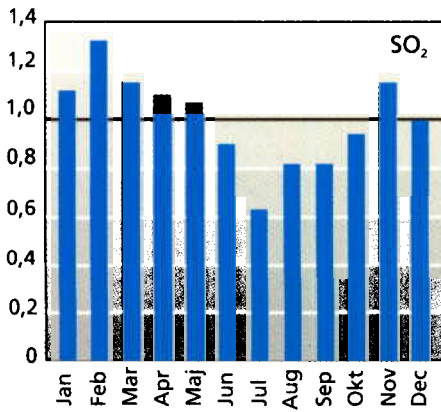
Ugevariation

Figur 9 viser de relative middelmiddelværdier for de enkelte ugedage for svovl på partikler, bly, jern og NO. Beregningerne er foretaget på grundlag af 10 års måleresultater. Alle de målte stoffer har en signifikant ugevariation.

Signifikansintervallet (90%) er ca. ± 0.05 . Yderpunkterne illustreres med partikulært svovl, hvor variationen kun akkurat kan måles, og jern, hvor der næsten er en faktor 2 mellem maksimum og minimum. I alle tilfælde er koncentrationerne konstante mandag-fredag, mens lørdag og søndag ligger lavere. Det tilsyneladende minimum onsdag er næppe signifikant, og det ses da heller ikke på andre stationer. Den lille variation for partikulært svovl skyldes, at det er "gammel" forurening, der er dannet ved oxidation af SO_2 . Dannelsesstiden er i gennemsnit ca. 1 døgn. Jern, der især stammer fra ophvirvlet jordstøv, afspejler aktivitetsniveauet i form af trafik, jordarbejde o.l. Både NO og bly stammer fra trafikken. Når NO værdierne, relativt set, er lavere i weekenden kan det skyldes, at en forholdsvis større del omdannes til NO_2 , når koncentrationen er lav (sml. foregående afsnit). Bly stammer udelukkende fra benzindrevne køretøjer.

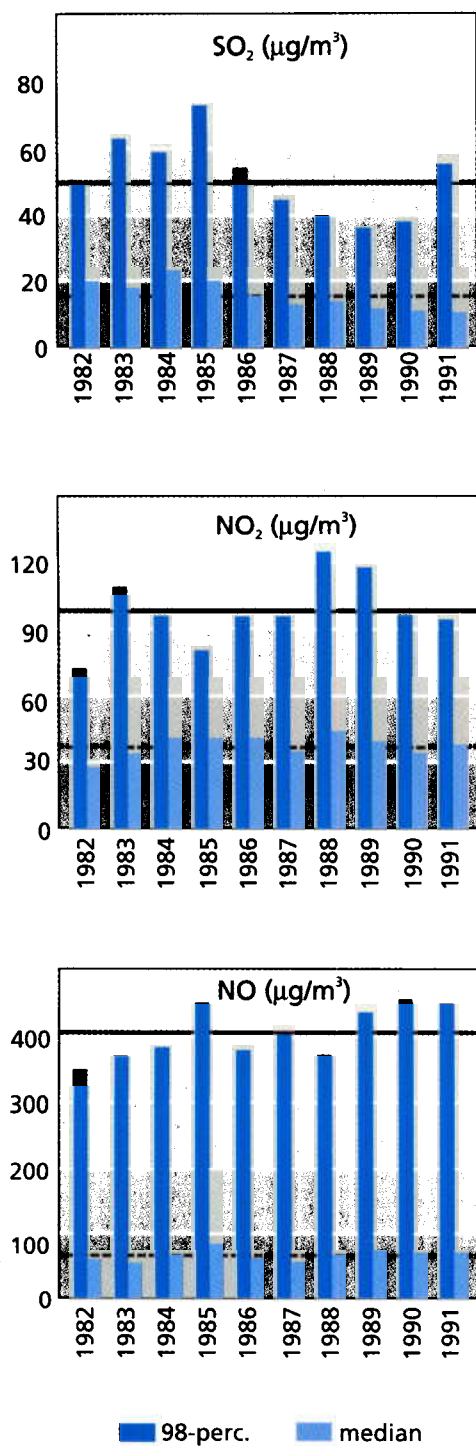
Årsvariation

Årsvariationen er vist for gasserne NO, NO_2 og SO_2 på figur 10 og for de partikelbundne komponenter svovl, bly og jern på figur 11. Søjlerne repræsenterer gennemsnittet for 1982-1991 af månedsmiddelværdierne i Aalborg på station 8151. Signifikansintervallet (90%) er ca. ± 0.05 . Den generelle tendens er, ikke uventet, at de laveste koncentrationer findes i sommermånederne; men der er i øvrigt store forskelle for de forskellige stoffer.



Figur 10. Relative månedskoncentrationer for gasserne SO₂, NO₂ og NO. Værdierne er beregnet i forhold til middelværdierne over hele 10 års perioden. Målt ved Limfjordsbroen i Aalborg fra 1982 til 1991.

Figur 11. Relative månedskoncentrationer for partikulært jern, bly og svovl. Værdierne er beregnet i forhold til middelværdierne over hele 10 års perioden. Målt ved Limfjordsbroen i Aalborg fra 1982 til 1991.



Figur 12. Udviklingen for 98 percentiler og medianer for SO₂, NO₂ og NO målt ved Limfjordsbroen i Aalborg. De vandrette linier er middelværdierne for hele perioden.

SO₂ koncentrationen er i vintermånederne hovedsageligt bestemt af brændselsforbrug til opvarmning. I månederne juni til september, hvor boligopvarmningen er uden betydning, er bidraget fra industrien og trafikken dominerende med et næsten konstant niveau uden for industriferien i juli. Udsvinget er størst fra 1983 til 1987 og lavest i årene 1988-1991, hvor vi havde en række milde vintre.

Blykoncentrationerne er praktisk taget konstant årets første fem måneder for så at sige i løbet af sommeren, sandsynligvis som følge af lavere trafikintensitet. Blykoncentrationerne er højest i november og december, hvilket kan hænge sammen med øget trafikintensitet op til jul. Sammenligning mellem bly og NO viser, at NO koncentrationerne, som omtalt tidligere, ikke blot afhænger af trafikken, men også af reaktionshastigheden for de kemiske processer, der omdanner NO til NO₂. I den lyse og varme tid findes derfor relativt lave NO koncentrationer. For NO₂ findes de højeste koncentrationer i april-maj, hvor den fotokemiske aktivitet er høj samtidig med, at udslippet af NO er stort. Størrelsen af årstidsvariationen for bly og NO er nogenlunde uændret fra år til år, mens den for NO₂ var meget stor i 1983 og lille fra 1989 til 1991. Dette skyldes sandsynligvis at varmebølgen, der ofte optræder i maj-juni, udeblev i 1989-1991.

Den gamle forurening, som repræsenteres af partikulært svovl, har et forløb, der er forskudt i forhold til de øvrige stoffer med maksimum omkring marts og minimum i september. Dette forløb kan skyldes, at episoder med stabil vind fra sydøst forekommer hyppigst i forårsmånederne. De største variationer fandtes i 1986 og 1987, hvor der forekom meget høje koncentrationer i marts.

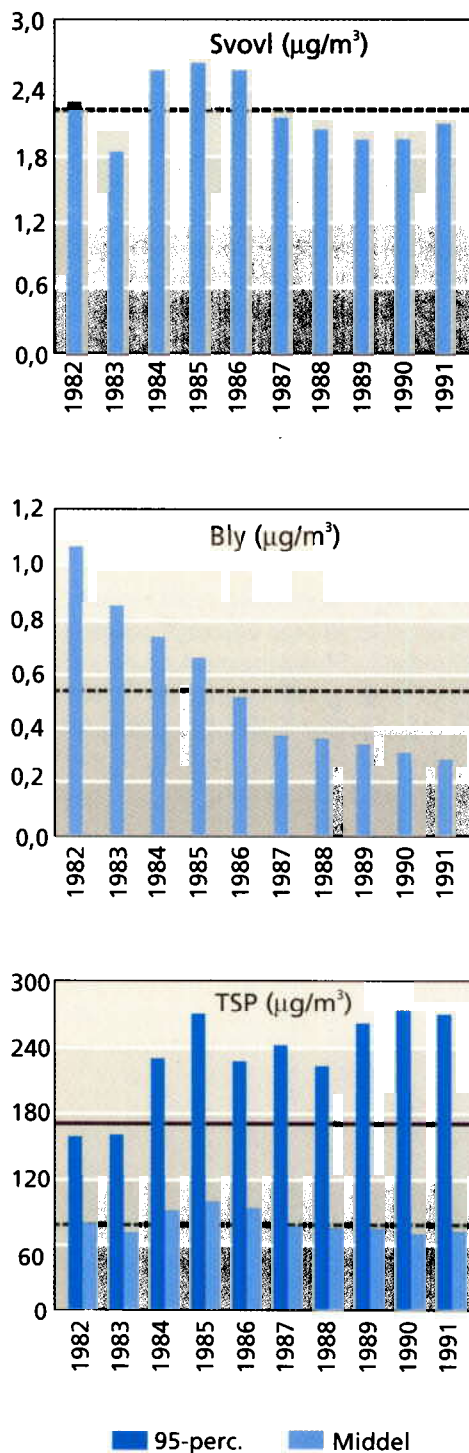
De største årsvariationer ses for jern, ligesom det er tilfældet for ugevariationerne. Det nøjagtige forløb kan være svært at for-

klare, men forskellen på forårs og efterårsperioden hænger utvivlsomt sammen med nedbøren. Gennemsnitsnedbøren fra februar til maj er ca. halvt så stor som fra juli til oktober. Nedbøren kan dels udvaske de store partikler i atmosfæren og dels forhindre ophvirvling af jordstøv. Et eventuelt snelag i vinter månederne vil også binde støvet til overfladen.

Langtidsudvikling

Udviklingen i luftforureningen gennem den ti års periode, LMP programmerne har eksisteret, er vist på figur 12 for gasserne SO₂, NO₂ og NO, og på figur 13 for svævestøv samt dets indhold af svovl og bly. Der er år for år afsat søjler bl. a. for de statistiske parametre, der findes danske grænseværdier for. De vandrette linier angiver middelværdierne over hele tiårs-perioden for de pågældende parametre.

I forbindelse med loven om begrænsning af SO₂ forureningen fra kraftværker fra 1984 blev de øvre grænser for svovlindholdet i fossilt brændsel, som anvendes i Danmark, fra januar 1986 nedsat til ca. det halve af de hidtidige værdier. Det ses af figuren, at dette indgreb har haft den tilsigtede virkning. For Aalborg stationen 8151 er 98 percentilen for SO₂ faldet fra i gennemsnit 61 µg/m³ i perioden 1982-1985 til 42 µg/m³ i perioden 1987-1991, dvs ca. 30%. For medianen er faldet næsten 50%, fra 20,2 µg/m³ til 10,4 µg/m³. Indflydelsen af de seneste års milde vintre er i denne forbindelse af mindre betydning, hvilket illustreres af, at medianerne for sommer målinger (april-september) er henholdsvis 18,2 og 9,2. Når 98 percentilerne ikke er faldet så meget, skyldes det, at spidsværdierne (som er bestemmende for 98 percentilerne) især forekommer under luftforureningsepisoder med et betydeligt bidrag af "udenlandsk" SO₂. Det er altså ikke nok kun at nedsætte de danske emissioner, hvis spidsværdien skal begrænses effektivt.



Figur 13. Udviklingen for årsmiddelværdierne for partikulært svovl, bly og svævestøv (TSP), samt for 95-percentilen for TSP. Målt ved Limfjordsbroen i Aalborg. De vandrette linier er middelværdierne for hele perioden.

NO og NO₂ er beregnet på grundlag af time-middel-værdier. For NO har der været en svagt stigende tendens for 98 percentilen, mens den ikke er så tydelig for 50 percentilen. I begge tilfælde angiver en lineær regression en signifikant (over 99% niveauet) stigning på ca. 2% per år over hele perioden. Det svarer nogenlunde til stigningen i trafikken i samme periode. Selv om der tilsyneladende var en svagt stigende tendens for NO₂ i begyndelsen af 1980'erne, er der ikke nogen signifikant ændring for hele tiårs perioden, idet de tilfældige udsving skjuler en eventuel systematisk ændring. På grundlag af spredningen af værdierne kan det beregnes, at en systematisk ændring over hele perioden på over 2% per år kunne være påvist.

Faldet i blykoncentrationerne er en efterhånden veletableret solstrålehistorie i bekæmpelsen af luftforurening. I de forløbne 10 år er blykoncentrationerne i byluft faldet med ca. en faktor 5. Det er en direkte følge

af nedsættelsen af blyindholdet i benzin. Faldet ventes at fortsætte, efterhånden som de gamle biler, der kræver bly i benzinen, skrottes og blyholdig benzin forsvinder fra markedet.

Hverken TSP eller partikulært svovl viser en signifikant ændring. De relativt høje koncentrationer i årene 1984-1986 skyldes sandsynligvis specielle meteorologiske forhold i de år. Svovl på partikelform består, som nævnt, hovedsageligt af sulfat, der er dannet ved oxidation af SO₂. Da omdannelses-tiden i gennemsnit er ca. 1 døgn betyder det, at emissionen er sket i en afstand på op til flere hundrede kilometer fra målestationen (gennemsnitsvindhastigheden er ca. 5 m/sek svarende til 400 km/døgn). Der er altså især tale om forurening fra kilder uden for landets grænser. (Jvf. udviklingen for 98 percentilen for SO₂). Den fortsatte udvikling er således i høj grad bestemt af den forureningspolitik, som vore nabolande mod syd-øst, syd og vest fører.

Smogvarsling, episoder

I det foregående afsnit blev systematiske variationer af forureningskoncentrationerne behandlet. Langt de største variationer er imidlertid ikke af systematisk karakter, men hænger nært sammen med de meteorologiske forhold. Det er som nævnt ikke usædvanligt, at koncentrationerne falder eller vokser en faktor 10 fra den ene dag til den næste. Et uheldigt sammenfald af flere specielle meteorologiske forhold kan lejlighedsvis give anledning til meget høje koncentrationer af enkelte stoffer. Man taler om "smog-episoder". Niveauerne kan under disse episoder blive så høje, at de kan give akutte åndedrætsgener, ikke mindst hos mennesker, der i forvejen har luftvejsproblemer (fx astmatikere). Der er derfor i flere lande indført en smogvarsling med udsendelse af advarsler mod at færdes i særligt ramte områder, ligesom der kan gennemføres midlertidige restriktioner, fx i form af begrænsning af biltrafik og reduktion af forurenende produktion, for at nedsætte emissionerne under episoderne. Selv om vi i Danmark ikke når op på så høje koncentrationer som i Centraleuropa, er der også i Danmark indført et varslingsystem, for alle tilfældes skyld.

Det danske smogvarslingsystem blev startet i 1987 som en forsøgsordning baseret på LMP II målingerne. Det går i korthed ud på følgende:

— Hvis koncentrationen af enten SO_2 eller NO_2 overstiger eller forventes at overstige $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i længere tid, skal en beredskabsgruppe med repræsentanter fra Miljøstyrelsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks Meteorologiske Institut og

Københavns kommune sammenkaldes og overvåge den videre udvikling.

— Hvis timeværdierne af et af stofferne så i en periode på over 3 timer overstiger $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og der ikke er tegn på et snarligt fald, skal Miljøstyrelsen sørge for at offentligheden orienteres gennem radio og/eller fjernsyn. Hvis episoden skønnes at være lokal varsles over lokalradioen i den pågældende by, ellers vil der blive foretaget en landsdækkende varsling. Varslingen vil indeholde informationer om de målte koncentrationer og den forventede udvikling samt en anbefaling om at undgå de værst belastede områder.

Der er derimod ikke lovmæssigt grundlag for at udstede egentlige forbud, fx mod bilkørsel eller energikrævende industriprocesser.

Smogberedskabet forventes at blive permanent fra april 1994. Som følge af gennemførelse af et EF direktiv (92/72/EØF om luftforurening med O_3) vil O_3 også blive inkluderet i varslingsystemet med en time-middelværdi på $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som varslingsgrænse og en timemiddelværdi på $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som alarmgrænse. Meldingen i tilfælde af overskridelse af alarmgrænsen vil blive suppleret med en mere detaljeret beskrivelse af de symptomer, forureningen kan forårsage og en opfordring til at søge læge i tilfælde af akutte gener.

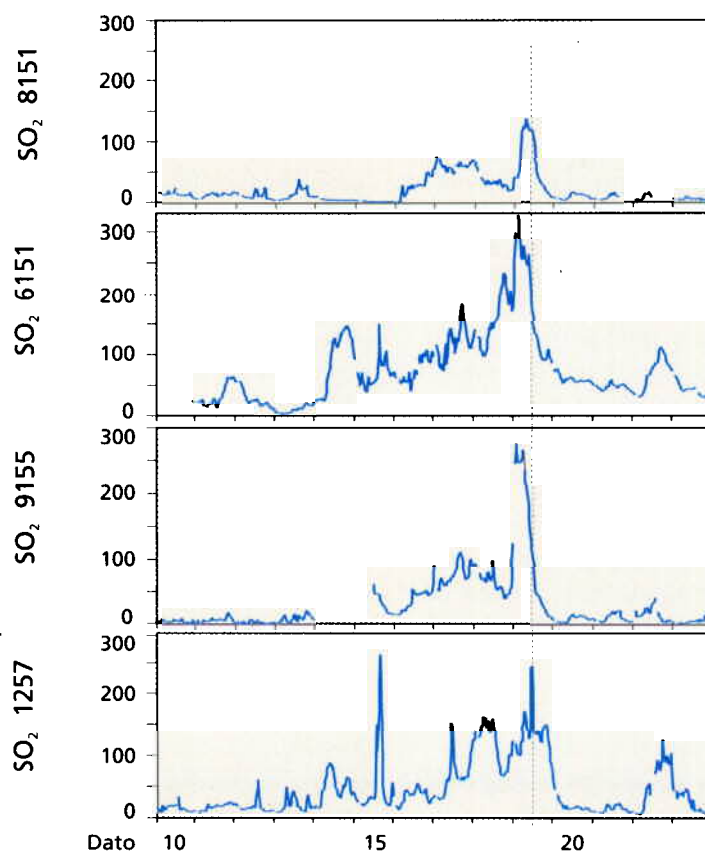
Københavns kommune har et informationssystem, hvor udmelding sker ved lavere koncentrationer. Det er beskrevet i pjecen "Luftforurening i København", som er udgivet af Miljøkontrollen i København.

Siden starten af systemet har koncentrationerne ikke givet anledning til varsling. I tabel 6 er vist forløbet af de smogepisoder, der fra 1988 til 1991 kom tættest på varslingsgrænserne i de fire største byer.

De højeste værdier for SO₂ målt under en episode, der kulminerede den 19. januar 1991. Forløbet er vist på figur 14. Det ses, at niveauet var ret højt dagene før den 19. Målingerne fra LMP meteorologimasten i

Tabel 6. De alvorligste episoder fra 1988 til 1991, dvs højeste koncentration, som er forekommet i mere end tre timer.

By/station	SO ₂		NO ₂	
	Konc. (µg/m ³)	Starttid (dato: kl)	Konc. (µg/m ³)	Starttid (dato: kl)
København/1257	212	20.04.88: 13	195	13.10.88: 12
Århus/6151	292	19.01.91: 02	159	14.01.91: 09
Odense/9155	246	19.01.91: 02	183	11.10.88: 09
Aalborg/8151	193	26.02.91: 20	160	25.10.88: 09

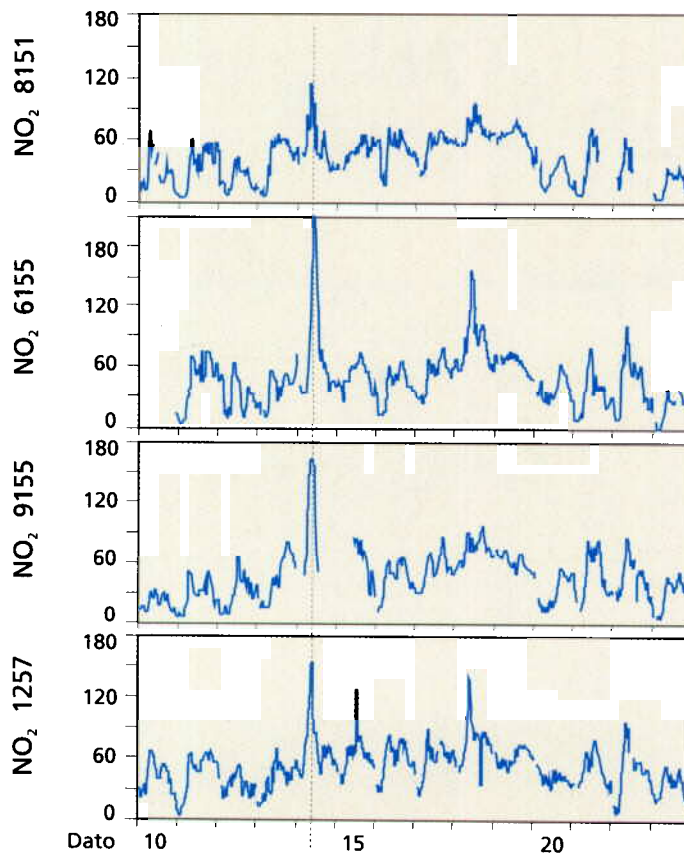


Figur 14. ½-times værdier for SO₂ målt i København (nederst), Odense, Århus og Aalborg i januar 1991. Enhed: µg/m³.

Odense viste, at vinden var jævn sydøstlig, hvilket gav transport af bl.a. SO_2 fra Centraleuropa. I løbet af den 19. blev vinden kraftigere og svingede herefter mod sydvest i forbindelse med en frontpassage. Faldet i koncentrationen skete nogenlunde samtidig i Århus, Odense og Aalborg, mens det først kom ca. 6 timer senere i København. Denne type SO_2 -episoder er meget karakteristiske. De kan vare fra nogle få timer til flere dage, afhængigt af hvor hurtigt frontpassagen sker. Figur 15 viser, at NO_2 i nogen grad følger SO_2 ; men at niveauerne slet ikke nåede så højt. Der var altså kun en beskedent mængde langtransporteret NO_2 . Når der ikke var mere skyldes det, at NO_2 omdannes til nitrat væsentlig hurtigere (reaktionstiden er nogle få timer), end SO_2 omdannes til sulfat. Det er iøjnefaldende, at døgnvari-

ationen næsten udviskes som følge af det langtransporterede bidrag.

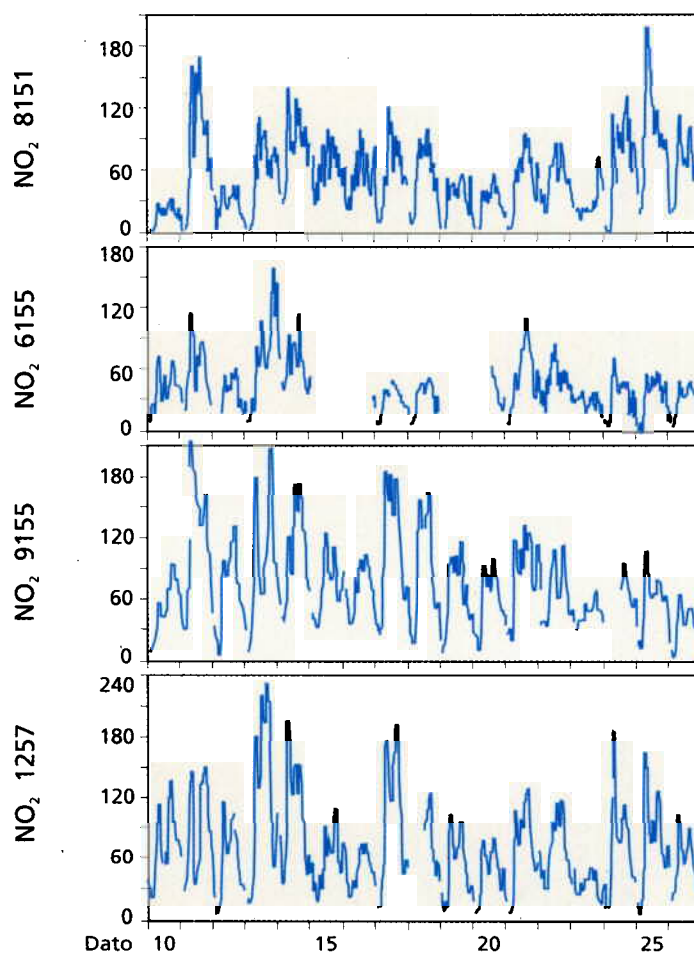
I tre ud af de fire byer målt de værste NO_2 episoder i oktober 1988, men ikke på samme tidspunkt. På figur 16 ses, at koncentrationerne generelt var høje i denne måned, og at det nok var lidt tilfældigt hvilken dag, der blev den værste. Sammenholdes de meteorologiske observationer i Odense med koncentrationerne sammesteds, er der ingen klar årsag til de høje koncentrationer. Det er dog fælles for den 11., 17. og 18. okt., at vinden var nordlig og vindhastigheden lav. Solindstrålingen nåede den 11. okt. op på ca. 400 W/m^2 , hvilket er ret meget i oktober. Til gengæld var den under 100 W/m^2 den 17. og 18. okt. Episoden den 14. januar 1991 (figur 15), som var den værste i Århus



Figur 15. ½-times værdier for NO_2 målt i København (nederst), Odense, Århus og Ålborg i januar 1991. Enhed: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

varede kun nogle få timer. Den gav høje NO₂-koncentrationer i alle fire byer nøjagtig samtidig (figur 15). Vinden var svag nordlig til nordvestlig under episoden. Solindstrålingen voksede i løbet af dagen til ca. 400 W/m², hvilket er usædvanlig meget i januar. Det er værd at bemærke, at de værste NO₂ episoder ofte findes, når vinden er nordlig, vindhastigheden er lav og baggrunds-O₃ koncentrationerne små. Den O₃ der er nødvendig for at oxidere NO til NO₂ må derfor blive dannet i byerne. Der var ikke specielt høje SO₂ koncentrationer under disse NO₂ episoder.

SO₂ og NO₂ episoder findes altså under vidt forskellige forhold. SO₂ er hovedsageligt langtransporteret, mens NO₂ mest er af lokal oprindelse under episoderne. Med de koncentrationer, der er målt i LMP II programmet, synes det ikke usandsynligt, at SO₂ koncentrationen under uheldige forhold kan nå op over varslingsgrænsen, mens NO₂ næppe vil passere grænsen. Her spiller de forholdsregler, der er gennemført for at reducere NO_x (NO+NO₂) emissionerne (ikke mindst bilernes katalysatorer), en vigtig rolle på længere sigt.



Figur 16. ½-times værdier for NO₂ målt i København (nederst), Odense, Århus og Aalborg i oktober 1988. Enhed: µg/m³.

Kildebidrag

De enkelte kilders bidrag til luftforureningen kan vurderes på grundlag af de målte koncentrationer. Der er i det følgende givet nogle eksempler på, hvordan simple overvejelser i flere tilfælde kan bruges til at vurdere, hvorfra de enkelte stoffer stammer.

Et helt oplagt eksempel er døgnvariationen for NO, der i gadeniveau følger trafikmønsteret med myldretidsmaksima og lave værdier om natten (figur 7). Der er ingen tvivl om, at størstedelen af den NO, der måles, kommer fra den trafik, der passerer umiddelbart forbi målestationen. Mønsteret for O₃ uden for byområder (figur 8) med nogenlunde lige store dagmaksima i løbet af eftermiddagen hele ugen tyder på, at en stor del O₃ dannes i atmosfæren under indflydelse af dagslyset, samt at dannelsen foregår regionalt. Der er dog et betydeligt basisniveau, som kan skyldes, at O₃ også tilføres fra fjernere områder.

Årsvariationen for SO₂ (figur 10) viser, at boligopvarmning er en betydelig kilde. Forholdet mellem sommerværdierne (excl. industriferien i juli) og vinterværdierne viser, at bidraget til SO₂ forureningen fra

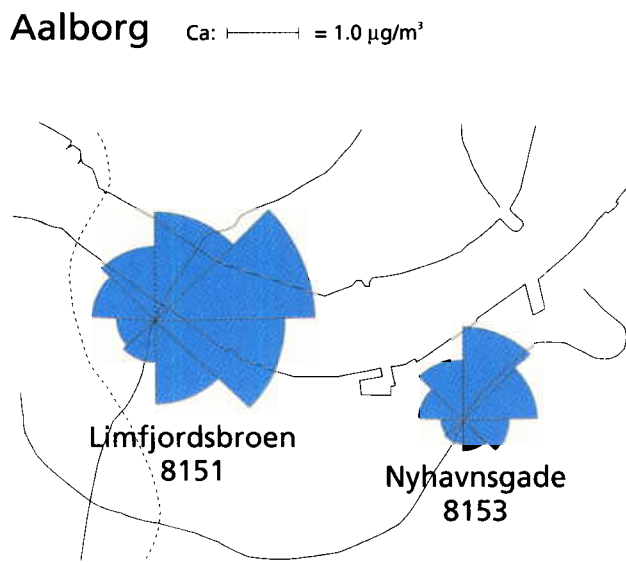
industri og opvarmning er af samme størrelsesorden.

Sammenligning mellem de målte koncentrationer på LMP stationerne og resultater fra DMU's baggrunds-målestation i Tange i Midtjylland viser, hvor stor en del af forureningen, der stammer fra de pågældende byer. Middelværdierne for bly i perioden 1989-1991 viser (tabel 7), at selv om der er meget forhøjede koncentrationer af bly på en trafikeret gade, så er niveauet i byen i øvrigt ikke en gang det dobbelte af baggrunds koncentrationen. Når man kommer væk fra de trafikerede gader er en meget stor del af blyet altså ikke fra byen selv. For SO₂ er der relativt meget forhøjede koncentrationer i byområder, men med et meget lille bidrag fra trafikken. For partikulært svovl er byernes eget bidrag kun en brøkdel af det, der kommer udefra.

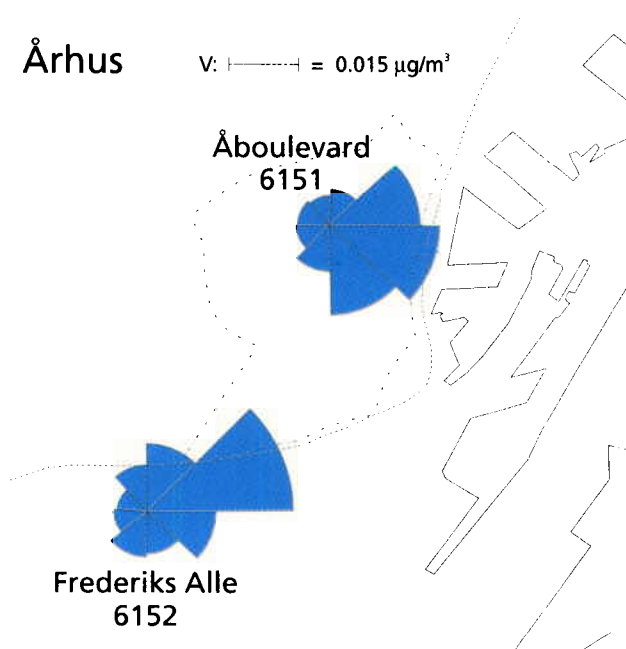
Middelkoncentrationer ved forskellige vindretninger kan give information om retningen til hovedkilder for enkelte stoffer. Ved hjælp af målinger fra to eller flere stationer kan man pejle sig ind på lokale kilder. Fig. 17 viser som eksempel vindretningsfor-

Tabel 7. Middelværdier for perioden 1989-1991 for to bystationer og en baggrundsstation. Enhed: µg/m³.

	Aalborg/8151	Fredericia/5152	Tange (Midtjylland)
Bly	0,300	0,037	0,020
SO ₂	11,7	11,0	3,5
Sulfat	2,0	2,1	1,8



Figur 17. Calcium koncentrationer i Aalborg opdelt efter forskellige vindretninger. Radierne i cirkeludsnittene er proportionale med middelkoncentrationen af de vindretninger, udsnittet peger imod.



Figur 18. Vanadium koncentrationer i Århus opdelt efter forskellige vindretninger. Radierne i cirkeludsnittene er proportionale med middelkoncentrationen af de vindretninger, udsnittet peger imod.

delinger for Calcium (Ca) i Aalborg, hvor cementfabrikkerne kan identificeres som en væsentlig kilde nordøst for målestationerne.

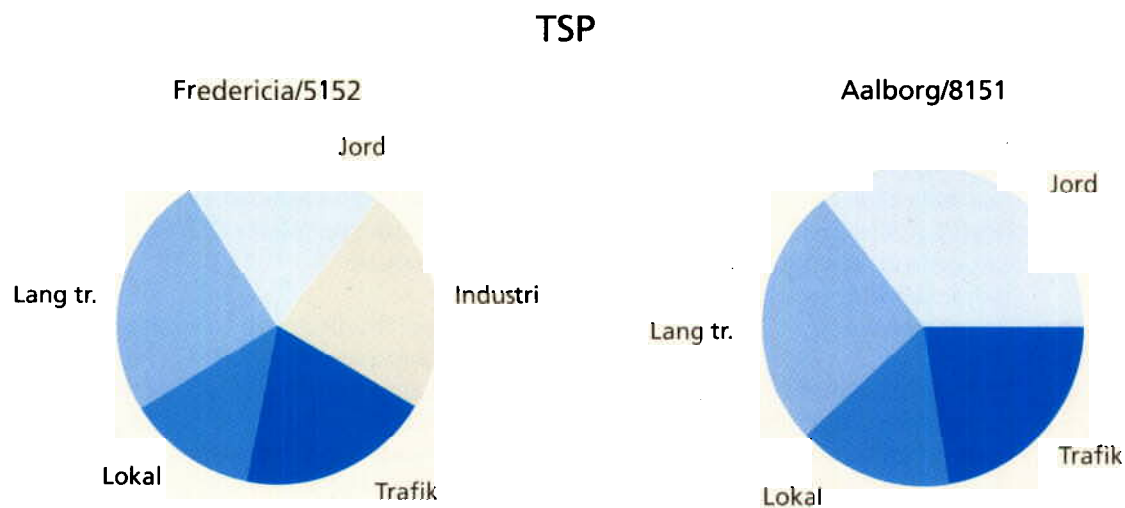
Figur 18 viser, at hovedbidraget i Århus for Vanadium (V), som udsendes sammen med SO₂ ved afbrænding af svær olie, kommer fra havneområdet. Kilden er sandsynligvis færgetrafikken. Der er ikke indført restriktioner for svovlindholdet i den olie, der bruges af skibsfarten. Det skal dog nævnes, at DSB er begyndt at bruge svovlfattig olie til færger i de seneste år.

Døgnmålingerne i LMP programmerne omfatter bestemmelse af koncentrationerne af en hel række stoffer i luften. Foruden SO₂ og TSP bestemmes ca. 20 grundstoffer i hver enkelt prøve. Det kan antages at der fra de enkelte kildetyper udsendes en række stoffer i nogenlunde samme forhold. Ved at sammenligne samvariationen for et antal stoffer, der kommer fra en kildetype, kan man således få en slags fingeraftryk af kildetyperne på målestedet. Jo højere koncentrationen er des større er kildebidraget. Med et tilstrækkeligt statistisk stort materiale er det muligt at fordele enkelte stoffer fra flere kildetyper i bidrag fra de enkelte kildetyper.

Den såkaldte faktoranalyse er en primitiv metode til opdelingen af de målte stoffer på kildetyper. Faktoranalyse er udelukkende baseret på variationen af stofkoncentrationerne. Ved at antage, at de målte koncentrationer er en sum af de enkelte kildebidrag og at de fleste stoffer hovedsageligt stammer fra én kildetype, er det fx muligt at give en grov opdeling af kildetypernes bidrag til den samlede partikelforurening (TSP). Figur 19 viser den beregnede opdeling af TSP på en trafikbelastet station i Aalborg (8151) og en station i Fredericia (5152). Det ses, at ikke kun én, men alle hovedkildetyper giver målelige bidrag. I Fredericia kan der på målestedet konstateres et betydeligt bidrag fra den nærliggende gødningsfabrik (Superfoss).

Som nævnt giver faktoranalysen, som udelukkende er baseret på variationen af de målte koncentrationer, kun en grov opdeling af kildebidragene. DMU forsker i udvikling af modeller, der på basis af målte

koncentrationer kan give en mere præcis viden om kildebidragene, ved at inddrage kendskab til såvel emissioner som meteorologiske forhold.



Figur 19. Relative kildebidrag til svævestøv (TSP) målt i Fredericia og Aalborg i årene 1989-1991.

Måleprogrammer i danske byer

I 1982 begyndte det daværende Miljøstyrelsens Luftforureningslaboratorium med det Landsdækkende Luftkvalitetsmåleprogram (LMP) at foretage systematiske målinger af luftforureningen i danske byer. Tidligere havde der kun været målt i længere perioder i København.

LMP programmerne blev oprindeligt til i et samarbejde mellem Miljøstyrelsen og de berørte amter og kommuner. I den første fase (LMP I) fra 1982 til 1987 blev der foretaget målinger i 7 byer (figur 1) på i alt 32 målestationer. Alle stationer var placeret i jordoverfladen med ind sugning i 2-3 meters højde. Mindst én station i hver by blev placeret direkte ved en meget trafikeret gade i centrum af byen, fordi trafikken var en af de dominerende kilder til luftforureningen. Samtidig blev der foretaget emissionsopgørelser og modelberegninger for SO_2

Det andet program (LMP II) startede i 1987 uden amternes deltagelse. Programmet blev væsentligt reduceret, idet resultaterne fra LMP I gav en rimelig beskrivelse af fordelingen af forureningen i byområderne. Med oprettelsen af Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) som selvstændig organisation under Miljøministeriet i 1989 overgik den daglige ledelse af programmet til DMU's afdeling for Forureningskilder og Luftforurening. Målingerne blev foretaget i København, Århus, Odense, Aalborg, Fredericia og Esbjerg. Hovedstadsområdet kommuner og amter har siden 1990 gennem

Hovedstadsregionens Luftovervågningsenhed (HLU) samarbejdet om et måleprogram i hovedstadsregionen. I Københavnsområdet supplerer de to måleprogrammer hinanden.

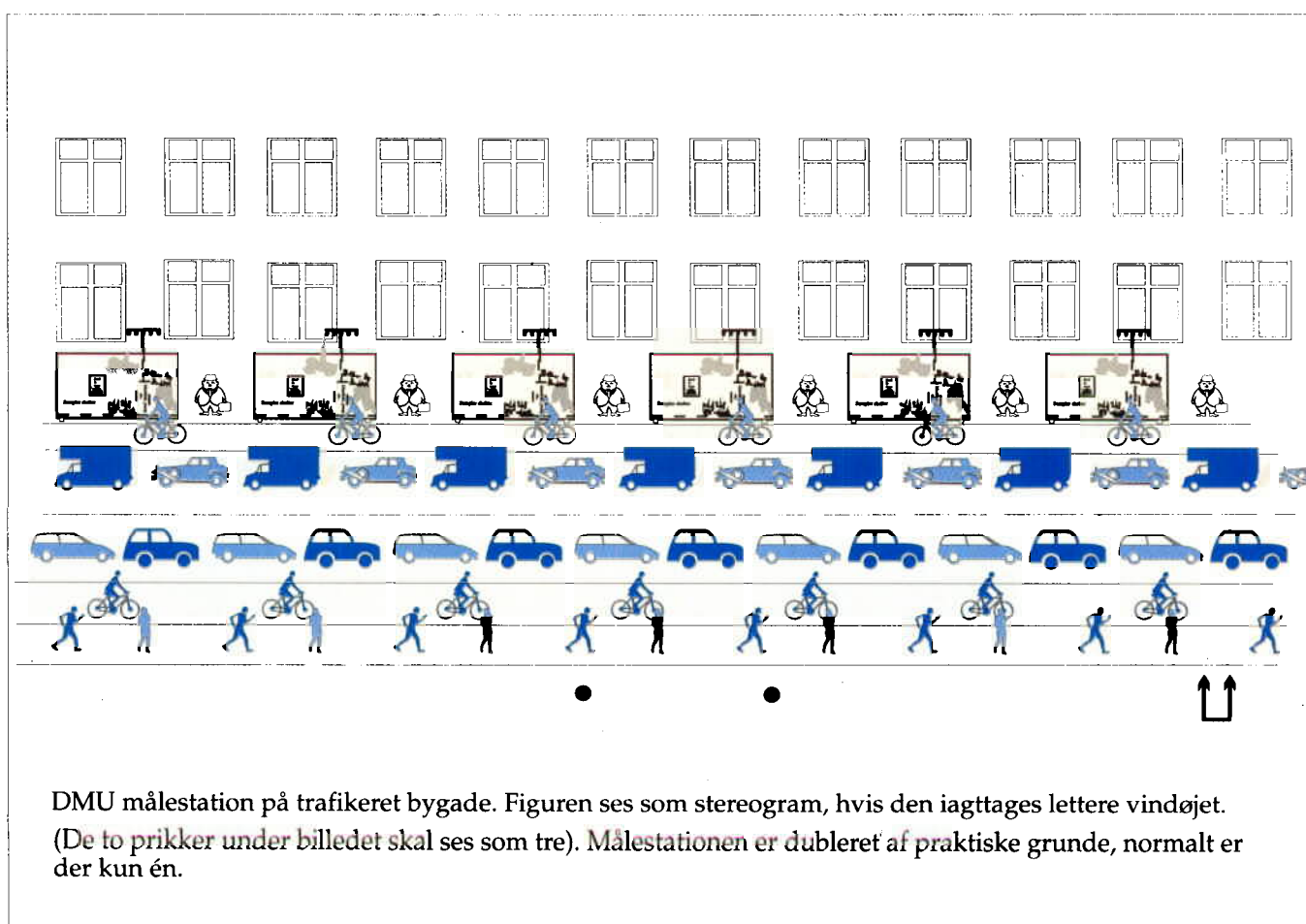
Kun "traditionelle" uorganiske forureningskomponenter såsom SO_2 , NO_x , svævestøv og tungmetaller blev bestemt i LMP I og LMP II. Resultaterne gav en god forståelse af kilderne, udbredelsen og omdannelserne i atmosfæren for disse stoffer. De luftforureningsmodeller, der er udviklet parallelt med LMP programmerne, har forbedret fortolkningen af resultaterne. Det drejer sig især om OML (Operationelle Meteorologiske Luftkvalitetsmodeller) modellen, der kan beskrive udbredelsen af SO_2 fra såvel punktkilder (kraft- og varmeværker og større industrier) som fladekilder (individuel boligopvarmning og trafik). OSPM (Operational Street Pollution Model) kan beskrive dannelse og transport af NO_2 i gaderum på basis af O_3 baggrundskoncentrationen og emissionen af NO_x fra trafikken. Udviklingen af OSPM er endnu ikke afsluttet, og den vil fortsætte parallelt med det nuværende program (LMP III).

Med baggrund i erfaringerne fra de første LMP programmer blev omfanget af målingerne af de "traditionelle" komponenter i gadeniveau reduceret i det tredje måleprogram (LMP III), der gennemføres som et samarbejde mellem DMU, Miljøstyrelsen, HLU og Odense og Aalborg kommuner. Til

gængæld måles flere komponenter, bl.a. en række organiske stoffer. Det gælder især en række flygtige organiske forbindelse (VOC - Volatile Organic Compounds) og polycykliske aromatiske hydrocarboner (PAH). VOC'er dækker et meget bredt spektrum af kulbrinter, der ved normale temperaturer har en betydelig gasfase fraktion. Metan (CH_4), som er det letteste i denne gruppe, regnes dog normalt ikke med til VOC, fordi det ikke spiller nogen større rolle i de fotokemiske processer i byområder. Ellers om-

fatter VOC stoffer som f.eks. ethan, propan, benzen, toluen. VOC'erne er af stor betydning for de fotokemiske processer i atmosfæren og er i mange tilfælde kræftfremkaldende. PAH'erne er især kendt for at være kræftfremkaldende.

I København, Odense og Aalborg suppleres målingerne i gadeniveau med målinger i "tag højde". Desuden foretages der i perioder bestemmelser af CO, VOC og PAH, bl.a. med nyudviklet måleudstyr.



Sammenfatning

LMP programmerne, som nu har eksisteret i over 10 år, har givet en betydelig viden om kilderne til og koncentrationsniveauerne for de uorganiske forureningskomponenter i de danske byer. De væsentligste bidrag til forureningen kommer fra lokale kilder som trafik, industri og boligopvarmning, men der er desuden et betydeligt bidrag af langtransporteret forurening fra vores nabolande i sydøst, syd og vest. Ved bedømmelsen af resultaterne har man især fokuseret på stoffer med danske grænseværdier, dvs. SO_2 , bly og NO_2 . Disse stoffer er toksiske selv i meget lave koncentrationer. Grænseværdierne er indført for at beskytte menneskers helbred.

For både SO_2 og ikke mindst bly er koncentrationsniveauerne reduceret væsentlig på grund af emissionsbegrænsende foranstaltninger.

For bly var reduktionen omtrent en faktor 5 over 10 års-perioden som følge af nedsættelsen af blyindholdet i benzin. Det tilladte indhold er nedsat til 0,15 g bly pr. liter benzin, og benzinmotorerne er blevet ændret så langt at de fleste nyere biler kan køre på blyfri benzin. Loven om montering af katalysatorer på alle nye biler fra oktober 1990 vil medføre, at blyemissionerne fra trafikken vil forsvinde helt i løbet af det næste årti fordi katalysatorerne bliver ødelagt, hvis der anvendes blyholdig benzin. Det er allerede nu sådan, at størstedelen af det bly, der er i luften i mindre byer (< ca. 50.000 indbyggere) kommer fra kilder uden for byen, formodentlig især udenlandske. Det samme kan antages at være tilfældet i utkanten af de store byer.

I 1986 blev der gennemført en nedsættelse af svovlindholdet i fossile brændsler, som anvendes i Danmark. Det medførte en halvering af middelkoncentrationerne af SO_2 i løbet af 1986. Det kunne imidlertid også konstateres, at spidsværdierne (repræsenteret ved 98 percentilen) kun faldt ca. 30 % som følge af, at den grænseoverskridende forurening ofte slår kraftigt igennem under forureningsepisoder. SO_2 -niveauerne er nu væsentligt under de fastsatte grænseværdier. Det må forventes, at niveauerne falder yderligere ved forsat reduktion af svovlindholdet i olieprodukter og som følge af den relative stigning af naturgasforbruget og forbedring af røgrænsningen i større fyringsanlæg. Det udenlandske bidrag vil sandsynligvis også falde, fordi bl.a. EU landene har tilsluttet sig en international konvention om at nedbringe SO_2 -emissionerne fra kraftværker inden år 2005 til under 60% af 1980-udslippet. En stor del af vores SO_2 forekomster i Danmark stammer fra de øst-europæiske lande, der sandsynligvis får bedre styr på deres miljøproblemer i fremtiden.

NO_2 er hovedsagelig en "sekundær" forurening, d.v.s. at den bliver dannet i atmosfæren ved en reaktion mellem O_3 og NO . For at nedbringe NO_2 koncentrationen må man altså starte med udgangsstofferne NO og O_3 . Ved al forbrænding ved høj temperatur dannes NO_x (især NO) ved iltning af luftens kvælstof. I gadeniveau emitteres størstedelen fra trafikken. Emissionen af NO_x kan begrænses noget ved ændring af motorerne, men den mest effektive måde er at fjerne NO fra udstødningen ved hjælp af katalysatorer, der nu findes på alle nye biler. O_3 er

i sig selv en sekundær forurening, idet O_3 dannes ved en række processer, hvor bl.a. tilstedeværelsen af lys, NO_x og forskellige organiske forbindelser spiller en betydelig rolle.

Der er, i den periode LMP II resultaterne dækker, dvs. til og med 1991, ikke foretaget nogen foranstaltninger, som skulle begrænse NO_2 koncentrationerne. Selv om der tilsyneladende var en svag stigning i begyndelsen af perioden, kan man da også konstatere, at NO_2 koncentrationerne set over hele perioden var praktisk talt uændrede. En svag stigning på nogle få procent per år i NO koncentrationerne som følge af den øgede trafik ser ikke ud til at have haft nogen indflydelse på dannelsen af NO_2 , fordi det er O_3 koncentrationerne, der har været den begrænsende faktor. Sammenhængen mellem O_3 , NO og NO_2 koncentrationerne er demonstreret med målinger i HLU programmet på H.C. Andersens Boulevard i København og en station syd for København. En effektiv begrænsning af NO_2 koncentrationerne vil kun kunne ske gennem en koordineret indsats, som reducerer såvel emissionerne af NO som af basisstofferne til O_3 , bl.a. kulbrinter (VOC'er). På længere sigt vil bilernes katalysatorer reducere NO emissionerne fra trafik væsentligt. Der eksisterer en international aftale om

at reducere NO_x ($NO+NO_2$) emissionerne fra kraftværker til 50% af 1980 niveauet inden år 2005. (Det er et mål, der vil blive meget vanskeligt at opfylde med den nuværende teknologi uden en voldsom nedskæring af brugen af fossile brændstoffer til el-produktion.) Der er på nuværende tidspunkt ikke truffet beslutning om at gennemføre en nedskæring af emissionen af basisstofferne for O_3 . Da disse stoffer transporteres over store afstande i luften vil en virkningsfuld reduktion kun kunne ske i et internationalt samarbejde i Europa.

På de kraftigst forurenede målesteder er koncentrationen af NO_2 tæt på grænseværdien og har i enkelte tilfælde overskredet de vejledende værdier. Det er derfor vigtigt, at der gøres en indsats for at nedbringe denne forurening. For at kunne bedømme befolkningens NO_2 eksponering er det nødvendigt at øge kendskabet til koncentrationsniveauerne de steder, hvor mennesker opholder sig i længere tid end på de mest befærdede veje. En af hovedopgaverne i LMP III vil være at bidrage med måleresultater, der dels kan belyse de processer, der fører til dannelsen af NO_2 , og dels kan bruges til at give en realistisk vurdering af koncentrationsniveauer andre steder end på de trafikerede veje.

Litteratur

Litteratur med direkte tilknytning til artiklens indhold

EØF (1980). Direktiv 80/779/EØF af 15. juli om grænseværdier for luftkvaliteten med hensyn til svovldioxid og svævestøv. J. Europ. Commun. L229/30.

EØF (1982). Direktiv 82/884/EØF af 3. december om en grænseværdi for bly i luften. J. Europ. Commun. L378/15.

EØF (1985). Direktiv 85/203/EØF af 7. marts om luftkvalitetsnormer for så vidt angår nitrogendioxid. J. Europ. Commun. L87/1.

EØF (1989). Direktiv 89/427/EØF af 21. juni om ændring af direktiv 80/779/EØF om grænseværdier for luftkvaliteten med hensyn til svovldioxid og svævestøv. J. Europ. Commun. L201/53.

EØF (1992). Direktiv 92/72/EØF af 21. september om luftforurening med ozon. J. Europ. Commun. L297/1.

HLU (1992). Luftkvalitet i Hovedstadsregionen 1990. Miljøkontrollen, Københavns kommune.

HLU (1993). Luftkvalitet i Hovedstadsregionen 1991. Miljøkontrollen, Københavns kommune.

Kemp, K. (ed.) (1993). Danish Air Quality Monitoring Network. Technical Description (1993). National Environmental Research Institute. Report LMP-4/93.

Kemp, K. and Manscher, O. H. (1993). Danish Air Quality Monitoring Program. National Environmental Research Institute. Annual Data Report 1992. Report LMP-5/93.

Miljøministeriet (1986). Bekendtgørelse om grænseværdier for luftens indhold af svovldioxid og svævestøv. Bekendtgørelse nr. 836 af 10. december.

Miljøministeriet (1987). Bekendtgørelse om grænseværdier for luftens indhold af nitrogendioxid. Bekendtgørelse nr. 119 af 12. marts.

Palmgren Jensen, F. (1987). Sammenfatning af hoveresultaterne i Det Landsdækkende Luftkvalitets Måleprogram 1987-1989. Danmarks Miljøundersøgelser. MST LUFT-A120.

Palmgren Jensen, F., Kemp, K. and Manscher, O. H. (1990). Det Landsdækkende Luftkvalitets Måleprogram 1987-1989. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU 14 (hoved- og bilagsrapport).

Palmgren Jensen, F., Kemp, K. and Manscher, O. H. (1992). The Danish Air Quality Programme (LMP II). Annual Data Report 1991. National Environmental Research Institute. NERI Technical Report 60.

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

Litteratur om beslægtede emner og luftforurening i almindelighed

Berkowicz, R., Rørdam Olesen, H. and Torp, U. (1986). The Danish Gaussian air pollution model (OML). In: Wispelaere, C. de, Schiermeier, F. A. and Gillani, N. V. (eds.). Air Pollution Modelling and Its Application V. Plenum Press, New York.

Christensten, N., Paaby, H. og Holten-Andersen, J. (red.) (1993). Miljø og Samfund - en status for udviklingen af miljøtilstanden i Danmark. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU 93.

Fenger, J. (1985). Luftforurening. En introduction. Teknisk Forlag A/S, København. (En ny dansk bog om luftforurening af J. Fenger og andre udkommer i efteråret 1994 på Polyteknisk Forlag.)

Hertel, O. and Berkowicz, R. (1989). Modelling NO₂ concentrations in a Street Canyon. Danmarks Miljøundersøgelser. MST LUFT-A131.

Hovmand, M. F. m.fl (1992). Atmosfærisk deposition. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1991. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU 59.

Miljøkontrollen (1993). Luftforureningen i København. Pjece fra Miljøkontrollen, Københavns Kommune.

Miljøstyrelsen (1989). Skærpede udstødningsnormer for biler. Orientering fra Miljøstyrelsen, nr. 3.

Pitts, B. F. and Pitts, J. N. Jr. (1986). Atmospheric Chemistry: Fundamentals and experimental techniques. Wiley, New York.

Seinfeld, J. H. (1986). Atmospheric chemistry and physics of air pollution. Wiley, New York.

Air pollution in Danish cities

*Kåre Kemp
Finn Palmgren
National
Environmental
Research Institute*

The Danish Air Quality Monitoring Programmes (LMP in Danish), which were started more than 10 years ago, have given a very useful knowledge about the air pollution sources and the concentration levels of inorganic compounds in Danish urban areas. The most important contributions to the air pollution originate from local sources like road traffic, industry and space heating, but long range transport of pollutants also occurs from our neighbour countries to the southeast, the south and the west. The evaluation of the monitoring data was based mainly on the pollutants for which limit values exist, i.e. sulphur dioxide (SO₂), lead and nitrogen dioxide (NO₂). These pollutants are toxic even at very low levels. The limit values have been introduced in order to protect human health.

The concentration levels of SO₂ and more pronounced of lead have been reduced substantially by the introduction of emission limits.

The concentration level of lead has decreased approximately a factor 5 progressively during 10 years by reduction of the lead content in petrol. The maximum allowable content is now 0.15 g of lead per liter petrol. In addition, most cars can run on lead free petrol. By law every new car (after October 1990) must be equipped with three way catalysts (TWC), which will be destroyed by lead. Therefore all new cars must run on lead free petrol and the lead emission from

road traffic will disappear within the next decade. The TWC will be destroyed by lead. Already now most of the lead in the air in smaller cities (< 50,000 inhabitants) originates from sources outside the city, probably foreign sources. This is also assumed to be the case at the outskirts of the bigger cities.

In 1986 a reduction was introduced of the sulphur content in fossil fuels used in Denmark. This led to a halving of the average concentrations of SO₂ during 1986. However, the peak values (represented by the 98-percentiles) were only reduced 30%, probably due to long range transport during episodes. The SO₂ levels are now significantly below the limit values. The levels should decrease further as a consequence of the continuous reduction of the sulphur content in oil products, the increasing use of natural gas and better flue gas cleaning of the bigger installations. The contribution from foreign sources may also decrease. The EU countries have signed international conventions for reduction of the SO₂ emissions from power stations to 60% of the emission in 1980 before year 2005. The East European countries, from which much of long range transported SO₂ originate, will probably also reduce the emission.

NO₂ is mainly a secondary pollutant; it is formed in the atmosphere by chemical reaction between ozone (O₃) and nitrogen monoxide (NO). In order to reduce the NO₂

concentration it is necessary to reduce the precursors O_3 and NO. By combustion at high temperature NO_x ($NO + NO_2$) (especially NO) will be formed by oxidation of the nitrogen in the atmosphere. In streets the main contribution originates from road traffic. The formation of NO_x can be reduced by reduction of the combustion temperature. However, this leads to lower efficiency of the motor. The only efficient way to reduce the NO_x emission is to remove it from the exhaust gas, e.g. by TWC. O_3 itself is a secondary pollutant formed by NO_x and volatile organic compounds under influence of UV light.

During the period of the second monitoring programme (LMP II), i.e. until the end of 1991, no measures have been taken in Denmark to reduce the NO_2 concentration in cities. There seemed to be a slight increase in the early eighties, but, seen over the whole period, the level of NO_2 was almost constant. A slight increase was observed for NO probably as a consequence of the increasing road traffic. This has apparently not lead to significantly higher NO_2 concentrations, because O_3 has been the limiting component. The relations between the O_3 , NO and NO_2 concentrations have been demonstrated by measurements at H.C. Andersens Boulevard in the centre of Copenhagen and at a monitoring station southwest of Copenhagen. An effective reduction of the NO_2 pollution can only be made by a coordinated reduction of O_3 and

NO. In the long run the TWC will reduce the NO emission from the cars.

An international convention has also been signed for the reduction of NO_x from power plants by 50% of the 1980 emission before year 2005. (This goal will be very difficult to fulfil by the present technology without a drastic reduction of the use of fossil fuels for power generation). So far no decisions have been made to reduce the precursors of O_3 . Since these pollutants are transported over long distances an effective reduction can only be obtained within an international cooperation.

At the most polluted monitoring sites the concentration of NO_2 is close to the limit values and the guidelines have been exceeded a few times. It is therefore very important to make an effort for reduction of this pollution. In order to estimate the exposure of the population by NO_2 it is necessary to improve the knowledge about the concentration levels where people stay for longer time far from the most crowded streets. One of the main tasks under the third monitoring programme (LMP III) is to get experimental data on the processes for formation of NO_2 and also to give good estimates of the pollution at other locations than crowded streets.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser – DMU – er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Direktion og Sekretariat</i>
Postboks 358	<i>Forsknings- og Udviklingssekretariat</i>
Frederiksborgvej 399	<i>Afd. for Forureningskilder og Luftforurening</i>
DK-4000 Roskilde	<i>Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi</i>
Tlf. 46 30 12 00	<i>Afd. for Miljøkemi</i>
Fax 46 30 11 14	<i>Afd. for Systemanalyse</i>

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Afd. for Ferskvandsøkologi</i>
Postboks 314	<i>Afd. for Terrestrisk Økologi</i>
Vejlsøvej 25	
DK-8600 Silkeborg	
Tlf. 89 20 14 00	
Fax 89 20 14 14	

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Afd. for Flora- og Faunaøkologi</i>
Grenåvej 12, Kalø	
DK-8410 Rønde	
Tlf. 89 20 14 00	
Fax 89 20 15 14	

DMU udgiver:

Faglige rapporter
Tekniske anvisninger
TEMA-rapporter
R&D Projects
Danish Review of Game Biology
særtryk af videnskabelige og faglige artikler samt
årsberetninger.

I årsberetningerne findes en oversigt over det pågældende års publikationer. Årsberetning samt en opdateret oversigt over årets publikationer fås ved henvendelse til telefon: 46 30 12 00.

Tidligere udgivelser i serien TEMA-rapporter fra DMU

Nr. 1994/1: Kvælstoftilførsel til Limfjorden