

## 2.3 Lokale effekter af luftforurening

### 2.3.1 Udvikling i luftkvaliteten lokalt

#### Indledning

Det er velkendt at menneskelig aktivitet har en betydelig indflydelse på luftkvaliteten i byområder og har skadelige effekter på mennesker, dyr og planter, bygninger og materialer. –Forureningen med partikler (støv) har i de senere år givet anledning til stigende bekymring. Luftforurening er ikke kun et lokalt problem. Viden kan transportere skadelige stoffer over lange afstande. I Danmark kommer en stor del af luftforureningen langvejs fra – også fra kilder, der ligger op til flere tusinde km væk. Denne fjerntransporterede luftforurening bidrager sammen med den lokale forurening til den aktuelle luftkvalitet.

Luftkvaliteten i de danske byer følges med et landsdækkende LuftkvalitetsMåleProgram (LMP) som omfatter København, Odense, Aalborg og Århus, som er kommet til i 2001. Programmet har målestationer både i gadeplan (Figur 3.2.1) og i bybaggrund, fx over tagniveau. Stationerne over tagniveau er desuden suppleret med meteorologisk måleudstyr. Endvidere er der nogle få målestationer i landdistrikter (Keldsnor på Langeland og Lille Valby ved Roskilde). Målestrategien giver mulighed for adskille trafikens forurening fra byens forurening i øvrigt, samt byernes forurening fra naturlig baggrund og fjerntransporteret luftforurening. I måleprogrammet undersøges koncentrationen af de mest betydende luftforurenende stoffer: kvælstofoxider, svovldioxid, bly, benzen, kulmonoxid, ozon og partikler.



Figur 2.3.1 Målestation på Jagtvej i København. Stationen indgår i det landsdækkende Luftkvalitetsmåleprogram LMP III (Palmgren et al. 1997)

#### Udvikling i luftkvaliteten

De senere års målinger i danske byområder (Palmgren m.fl. 1997; Kemp & Palmgren 2000) har vist en generel forbedring af luftkvaliteten i vore byer. Bly er stort set forsvundet som luftforurening med indførelsen af blyfri benzin; niveauet er lavere end 5% af de nyeste EU-grænseværdier (Tabel 2.3.2). Forureningen med svovldioxid er drastisk reduceret som følge af de generelle reduktionsbestræbelser (renere brændsler, naturgas, røggasrensning og overgang fra individuelle

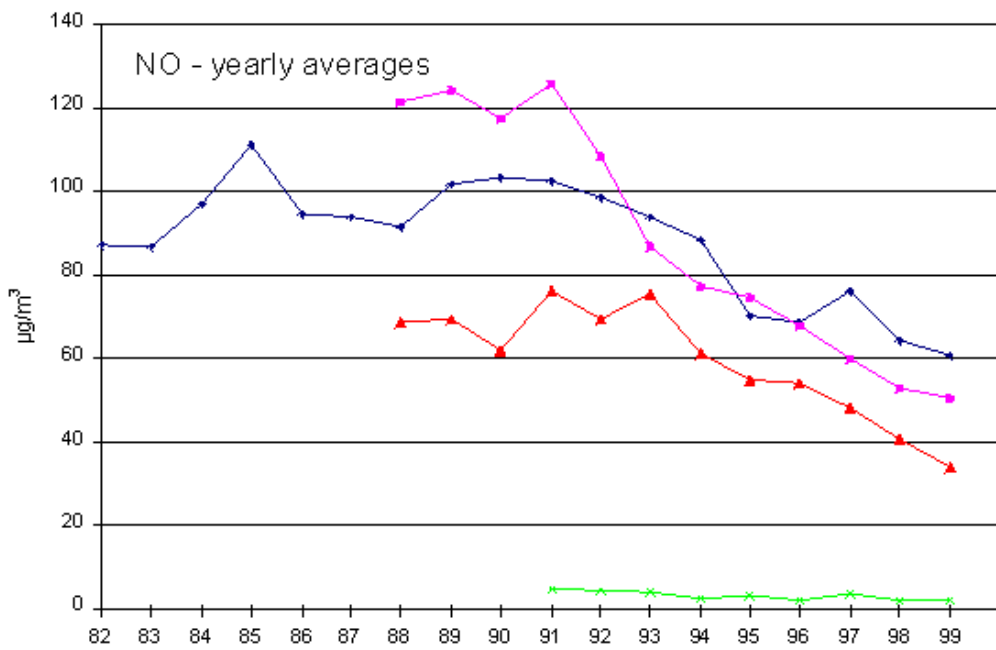
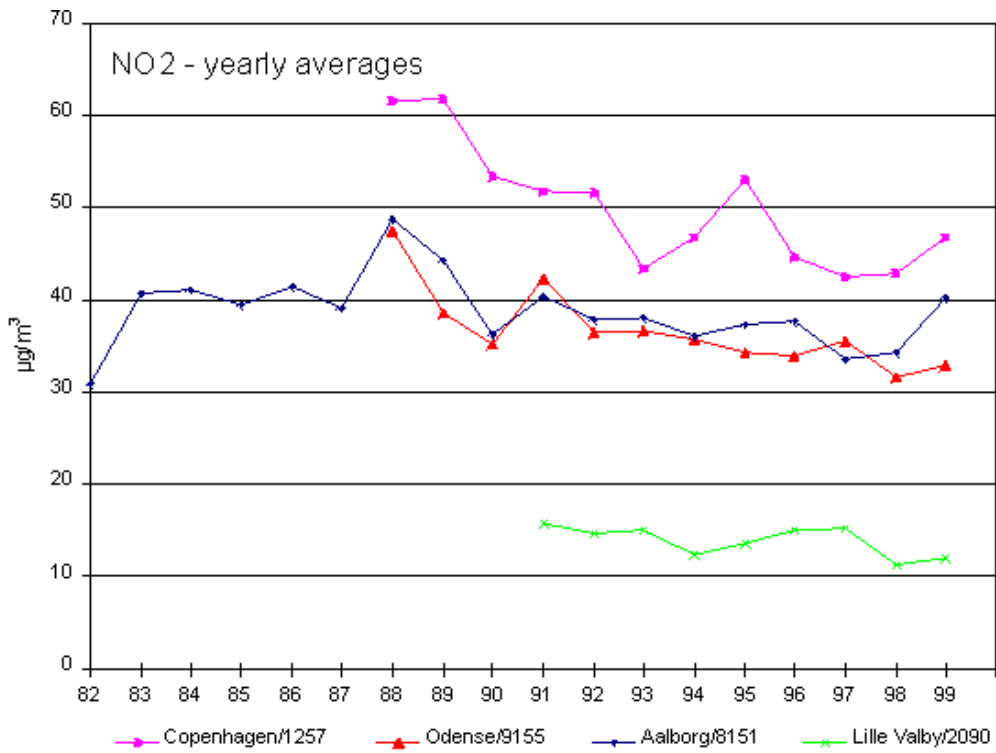
små fyringsanlæg til fjernvarme); niveauet er langt under de nyeste EU-grænseværdier (Tabel 2.3.2). Også niveauerne af kulmonoxid og kulbrinter, herunder benzen (Palmgren m.fl. 2000) er reduceret med indførelsen af katalysatorer på benzinbiler.

### **Kvælstofoxider og ozon**

Det samlede udslip af kvælstofoxider ( $\text{NO} + \text{NO}_2$ ) er faldet, og det samme gælder niveauerne af  $\text{NO}$ . Faldet i  $\text{NO}_2$ , der er den egentlige sundhedsrisiko er dog beskedent (Figur 2.3.2). Det skyldes at  $\text{NO}_2$  kun i beskedent omfang udsendes direkte fra biler; det meste dannes ved reaktioner mellem  $\text{NO}$  og ozon, hvis koncentration dermed bliver bestemmende for hvor meget  $\text{NO}_2$  der kan dannes. På landet er der stort set ingen  $\text{NO}$ . Det er blevet omdannet på vej ud fra byen. (Kemp & Palmgren 2000). Koncentrationen af  $\text{NO}_2$  er omtrent ens for Ålborg og Odense, men højere for København formodentlig pga. højere direkte udslip af  $\text{NO}_2$  i København. Kvælstofmonoxid niveauet er ens i Ålborg og København, men lavere i Odense.

I Danmark har vi generelt ikke problemer med ozon i byerne, fordi ozondannelsen under danske forhold er beskedent (Tabel 2.3.1). Ozonniveauet har været næsten konstant i Danmark over en tiårig periode. Mange steder i Syd- og Mellemeuropa opstår episode med meget høje ozonkoncentrationer i og omkring de store byer. Sådanne ozonepisoder kan opstå i Danmark, når ozon dannet i Centraleuropa breder sig til Danmark.

I almindelighed er ozonniveauet lavere i byerne end i landdistrikterne, fordi ozon reagerer med  $\text{NO}$  og danner  $\text{NO}_2$ . Derfor vil summen af  $\text{NO}_2$  og ozon være næsten konstant, når man bevæger sig land til by; kun det direkte udslip af  $\text{NO}_2$  (5-10% af  $\text{NO}_x$ ) vil give anledning til større sum af  $\text{NO}_2$  og ozon i byerne.



Figur 2.3.2. Koncentrationen af kvælstofoxider i danske byer og på en enkelt landdistriktstation 1982 – 1999. (Kemp og Palmgren 2000)

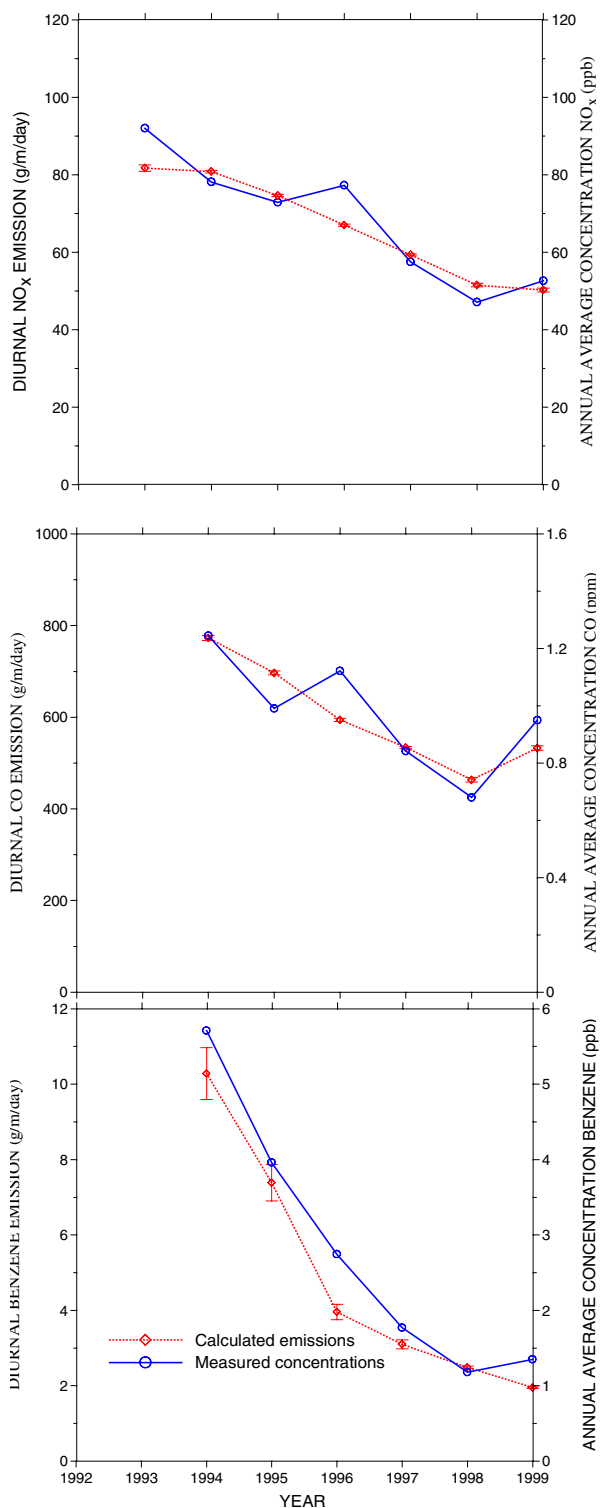
Tabel 2.3.1. Årligt gennemsnit og maksimum værdier for ozon i 1999, sammenlignet med tærskelværdier (Miljøministeriet 1994, EEC 1992).

O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		Gennemsnit	max. 24 timer	max. 8 timer	max. 1 time
<b>Bybaggrund:</b>					
Odense		51	107	146	180
Aalborg		51	98	125	142
<b>Landdistrikter:</b>					
Lille Valby		59	118	174	188
Keldsnor		66	113	130	154
<b>Trafik:</b>					
København		33	77	92	119
Tærskelværdi	-	65	110	200	
Gennemsnitlige antal af overskridelser af tærskelværdier	-	100	10	0	

### Benzen

Frem til midten af 1990'erne var benzenkoncentrationen i luften i trafikerede gader ret høj og de nyeste EU grænseværdier ville ikke kunne overholdes på de mest trafikerede og smalle gader (Tabel 2.3.2). Kilden hertil var benzinbiler, både udstødningssgas og fordampning fra tank og motor. De følgende år reducerede olieselskaberne benzenindholdet i benzinen, som var 3-4 %, og nyere biler har et mere lukket system, som reducerer fordampningen. I løbet af 1998 reducerede de to danske raffinaderier indholdet af benzen til 1% og fra 1. januar 2000 indførtes 1% i hele EU.

Med anvendelse af målinger og modelberegninger er det påvist en effekt af disse reduktioner (Figur 2.3.3). Der er en klar sammenhæng mellem benzen i benzin og i luft (Palmgren m.fl. 2000). Luftforureningen med benzen er således faldet drastisk, både fordi indholdet i benzin er reduceret, og fordi katalysatorerne også fjerner benzen. I dag har alle benzinbiler katalysatorer, hvis de er indregistreret første gang efter oktober 1990. De udgør mere end 60% og på stærkt trafikerede gader er procentdelen oftest endnu større.



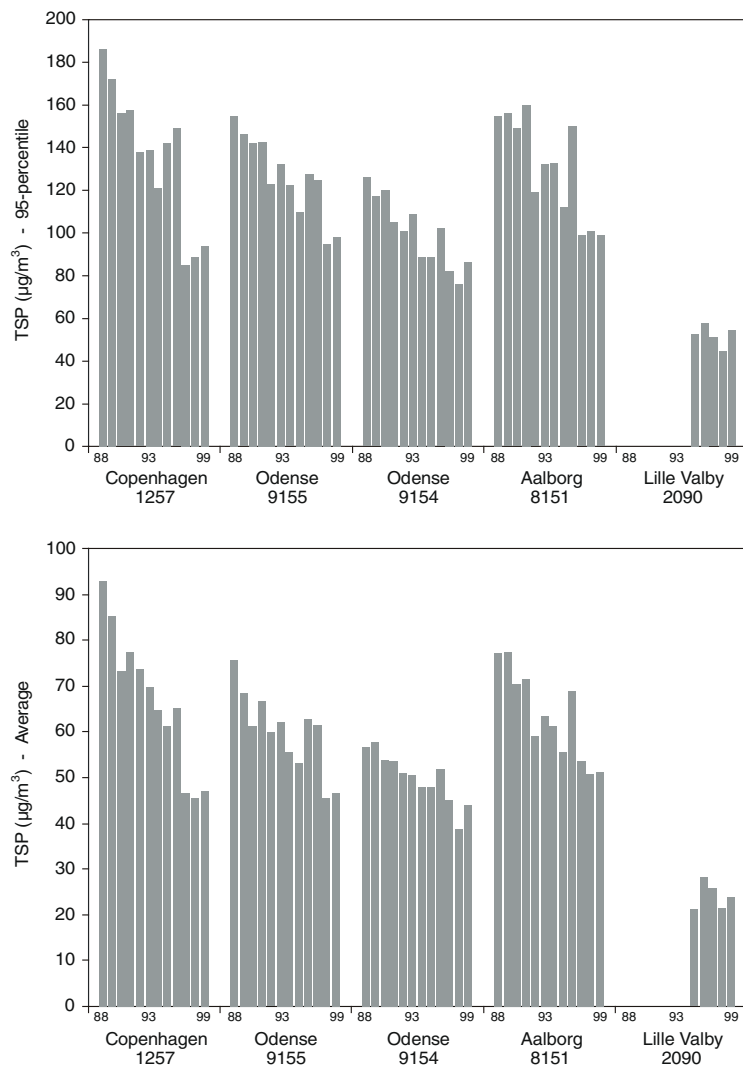
Figur 2.3.3. Udvikling i NO<sub>x</sub>, CO og benzen koncentrationen og en beregnet trafik emission i København (Jagtvej). Bybaggrund er fratrukket (Kemp og Palmgren 2000).

### Partikler

Partikler i luften har altid været betragtet som en helbredsrisiko, men i de senere år har specielt små partikler været i fokus. Det skyldes dels, at deres væsentligste kilde er den voksende trafik og dels, at der er påvist en sammenhæng mellem partikelforureningen og for tidlig død og øget sygelighed, specielt i amerikanske undersøgelser i begyndelsen og midten af 1990'erne. Dette er senere også påvist i europæiske undersøgelser.

I modsætning til andre "klassiske" luftforureninger, fx svovldioxid, kvælstofoxider og bly, er der ikke tale om en veldefineret forbindelse. Oprindeligt blev forurening med partikler bestemt som sod. Senere indførte man begrebet TSP (den totale mængde partikulært materiale), PM<sub>10</sub> og PM<sub>2.5</sub> (partikler med en diameter under hhv. 10 µm og 2.5 µm).

Den generelle udviklingstendens har været faldende værdier af TSP over en årrække, formentlig især på grund af bedre "husholdning" ved byggerier, andre konstruktionsarbejder, industrier, "grønne marker" om vinteren m.v. Dette forventes at fortsætte de kommende år. En væsentlig del af massen af partiklerne (de grove partikler) er vindophvirvlet støv og er af naturlig oprindelse, fra byggerier eller genophvirvlet støv fra veje.



Figur .2.3.4 Udviklingen i partikelkoncentrationen (TSP) som årlige gennemsnitsværdier og 95-percentiler i Danmark fra 1988-1999.

En mere dybtgående omtale af partikelforureningen ses i temaafsnittet om partikler.

### Grænseværdier for luftkvalitet

I EU har man siden 1980 fastsat grænseværdier for luftkvalitet. De er derefter blevet overført til dansk lov i form af bekendtgørelser. Hidtil er grænserne blevet fastsat på basis af effektvurderinger kombineret med en afvejning af tekniske, økonomiske og politiske hensyn.

Grænseværdierne er under revision og nye grænseværdier vil gælde fra år 2005 eller 2010 afhængigt af det stof det drejer sig om (Tabel 2.3.2). Revisionen udspringer af at EU i 1996 vedtog

et nyt såkaldt rammedirektiv for luftkvalitet (EC, 1996), som skal udfyldes med datterdirektiver for enkelte stoffer. Grænseværdierne skal nu fastsættes på grundlag af effektvurderinger, primært baseret på WHO's anbefalinger. Foruden grænseværdier, der i de fleste tilfælde bliver skærpede, vil disse datterdirektiver indeholde krav til målemetoder, offentliggørelse af resultater mv. Der er vedtaget et datterdirektiv for svovldioxid, nitrogendioxid, partikler (PM<sub>10</sub>) bly (EC, 1999) og et datterdirektiv for benzen og kulmonoxid (EC, 2000) (Tabel 2.3.2). Direktiver er under udarbejdelse for ozon, PAH, kviksølv, nikkel cadmium og arsen.

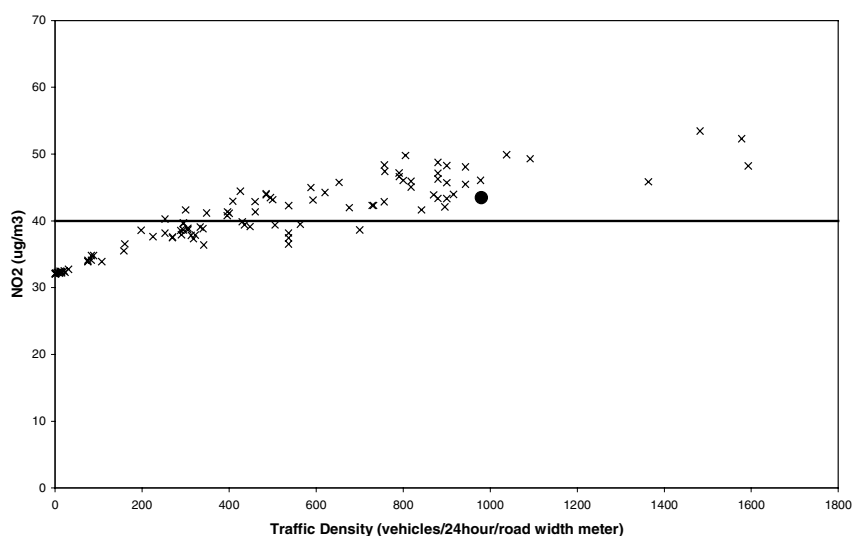
Tabel 2.3.2. Grænseværdier ifølge datterdirektiverne af EUs rammedirektiv for luftkvalitet.

Stof	Grænseværdi, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Midlingstid	Statistik	Beskyttelse af	Skæringsdato
NO <sub>2</sub>	200	1 time	18 gange pr. år	Mennesker	2010
	40	-	Gennemsnit, år	Mennesker	2010
NO <sub>x</sub>	30	-	Gennemsnit, år	Vegetation	2010
SO <sub>2</sub>	350	1 time	24 gange pr. år	Mennesker	2005
	125	24 timer	3 gange pr. år	Mennesker	2005
	20		Gennemsnit, år og vinter	Vegetation og økosystemer	2005 2001
Partikler (PM <sub>10</sub> )	50	24 timer	35 gange pr. år	Mennesker	2005
	40	-	Gennemsnit, år	Mennesker	2005
	50	24 timer	7 gange pr. år	Mennesker	2010
	20	-	Gennemsnit, år	Mennesker	2010
Bly	0,5	-	Gennemsnit, år	Mennesker	2005
Benzen	5	-	Gennemsnit, år	Mennesker	2005
CO	10.000	8 timer (glidende)	Maks.	Mennesker	2005

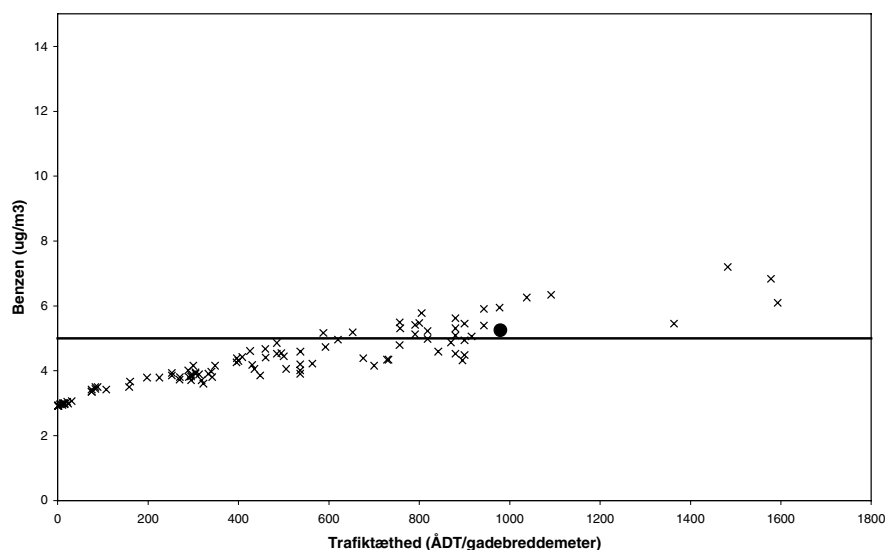
### Boks 2.3.1 Implementering af EU direktiverne om luftkvalitet

I forbindelse med gennemførelse af EU direktiverne om luftkvalitet skal der gennemføres en såkaldt indledende vurdering af luftkvaliteten i Danmark med henblik på at fastlægge et måleprogram. Princippet er at man skal finde de områder, hvor der er fare for at grænseværdierne overskrides og så etablere luftmålestationer og gennemføre en mere omhyggelig vurdering af luftkvaliteten i de områder (zoner). I den forbindelse er det bl.a. undersøgt, hvorledes forureningen i en gade varierer med trafiktæthed og gadebredde. Forureningen med både NO<sub>2</sub> (Figur 2.3.5) og benzen (Figur 2.3.6) overskrider de nye grænseværdier på de mest trafikerede og smalle gader. I København viser Scenarieregninger dog, at grænseværdierne vil kunne opfyldes 2010, som direktiverne kræver.

Udover den indledende vurdering på trafikens forureninger er der også foretaget vurdering af forureningen fra punktkilder. Resultatet er, at EU grænseværdierne med stor sandsynlighed vil være opfyldt, hvis forureningskilderne overholder Miljøstyrelsens Luftvejledning (Miljøstyrelsen, 1990).



Figur 2.3.5. Modelberegninger af årsmiddelværdi af NO<sub>2</sub> i 2000 for 103 gader i København. Den vandrette akse er trafiktætheden angivet pr. m. Jagtvej er markeret med en lukket cirkel. EU grænseværdien er vist som en vandret linie (Kilde: Miljøstyrelsen 1990).



Figur 2.3.6. Modelberegninger af årsmiddelværdi af benzen i 2000 for 103 gader i København. Den vandrette akse er trafiktætheden angivet pr. m. Jagtvej er markeret med en lukket cirkel. EU grænseværdien er vist som en vandret linie (Miljøstyrelsen 1990).




### Boks 2.3.2 Luftforureningsudsigter

Et modelsystem gør muligt at forudsige luftforureningen helt nede i de enkelte gader i byerne. Prognoserne bygger dels på en vejrudsigt, dels på et sæt af fysisk/kemiske computermodeller for spredning og kemisk omdannelse af luftforurening.

Man kan dagligt på hjemmesiden <http://luft.dmu.dk> finde en tre-døgns prognose for luftforureningen for regionale områder i Danmark, for luftkvaliteten over tagniveau i København og i gadeniveau specifikt for Jagtvej i København. Ligeledes kan man få at vide, hvordan forureningen med f.eks. ozon, kvælstofilter, CO eller benzen ventes at udvikle sig de kommende dage på begge sider af Jagtvej eller over Danmark. Prognoserne er udvidet til at omfatte mange flere gader i København og andre større danske byer og dette er allerede gennemført i Ålborg. Luftudsigten bliver beregnet fire gange i døgnet.

Det er kun stofferne kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>), kulilte (CO) og ozon der bliver brugt til meldingerne i luftudsigten. Alle kurver, der viser tidsudviklingen i de følgende tre dage og den geografiske fordeling af luftforureningen over København og Danmark kan dog ses i detaljer i de underliggende sider på hjemmesiden.

Systemet vil kunne bruges til at informere og evt. advare befolkningen og myndighederne, når man kan forudsige en overskridelse af kritiske grænseværdier.. Det er specielt mennesker med luftvejslidelser, som fx astma og bronchitis, der vil have nytte af at bruge luftudsigten, Det skal dog understreges at EU's nuværende grænseværdier for de enkelte stoffer meget sjældent eller aldrig bliver overskredet i Danmark, men disse grænseværdier er jf ovenfor under revision og vil blive skærpet.

 <b>Luftudsigten for de næste 3 dage</b>			
	<i>Mandag</i> 11/09-00	<i>Tirsdag</i> 12/09-00	<i>Onsdag</i> 13/09-00
<b>Trafikeret gade:</b>			
<a href="#">Jagtvej, Kbh.</a>	Middel	Over middel	Middel
<b>Byområde:</b>			
<a href="#">København</a>	Middel	Over middel	Middel
<b>Landområder:</b>			
<a href="#">Sjælland</a>	Middel	Middel	Middel
<a href="#">Fyn</a>	Middel	Over middel	Over middel
<a href="#">Nordjylland</a>	Middel	Middel	Middel
<a href="#">Midtjylland</a>	Middel	Over middel	Over middel
<a href="#">Sydjylland</a>	Middel	Over middel	Over middel
<a href="#">Bornholm</a>	Middel	Middel	Middel

*Klik på et område for at se tidsudviklingen i detaljer*

Figur 2.3.7 Eksempel på luftudsigten for 3 dage i september 2000, for Jagtvej i København, København som helhed og for forskellige regioner i Danmark. Der er 5 forskellige mulige meldinger: "under middel", "middel", "over middel", "høj" og "varsling" Luftudsigten kan findes på <http://luft.dmu.dk>

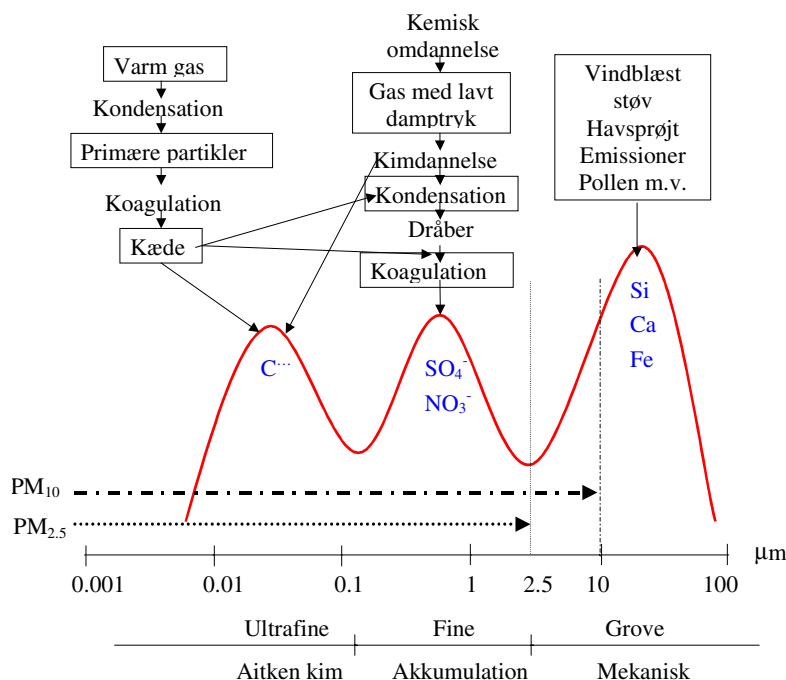
## 2.3.2 TEMA: Forurening med partikler

### Indledning

Luftforurening med partikler eller støv i byområder giver anledning til alvorlige sundhedsskadelige effekter, såvel langtids effekter fx cancer og hjertekar sygdomme som akutte effekter fx allergi eller irritation af øjne, næse eller hals. Partiklerne har meget forskellig størrelse lige fra støv og jord som man kan se, til ultrafine partikler, som er 1000 gange mindre. Undersøgelser har vist, at korrelationen mellem partikelkoncentrationen og sundhedsskadelige effekter vokser med aftagende partikelstørrelse. Det er derfor vigtigt, at undersøge specielt forekomsten af de meget små partikler.

Den grove fraktion af partikler er større end  $2.5 \mu\text{m}$ . De dannes typisk mekanisk, ved trafikskabt turbulens, vind erosion, havsprøjt etc.. En anden fraktion af partikler er de fine partikler mellem  $0.2 \mu\text{m}$  og  $2.5 \mu\text{m}$ , som typisk dannes ved kemiske reaktioner (fx omdannelse af  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$  til sulfat og nitrat i atmosfæren), koagulation, kondensation af gasser på partikler eller andre langsomme processer. Disse partikler er således bl.a. et resultat af udslip af kvælstofoxider og svovldioxid fra forbrændingsanlæg og biler. Den tredje fraktion er der ultrafine partikler, som er mindre end  $0.2 \mu\text{m}$ . Partikler emitteret fra bilmotorer, benzin- såvel som dieselmotorer, dannes ved høje temperaturer i motorerne, i udstødningsrørene eller umiddelbart efter udslip til luften. Også andre forbrændingsprocesser og visse atmosfærekemiske processer giver anledning til dannelse af ultrafine partikler.

Størrelse og de væsentligste karakteristika af partikler i byluft er vist skematisk i Figur 2.3.8 Der findes forskellige mål for mængden af partikler i luft. Det hidtil mest anvendte er TSP (Total Suspended Particulate Matter – den totale mængde suspendet materiale). Ellers bruges  $\text{PM}_{10}$  eller  $\text{PM}_{2.5}$ , som er mængden af partikulært materiale med en diameter på hhv.  $10 \mu\text{m}$  eller  $2,5 \mu\text{m}$ . I Danmark er alle målestationer under ombygning til måling af  $\text{PM}_{10}$ , hvilket er tilendebragt i 2010. Endvidere foretages der kampagnemålinger af  $\text{PM}_{2.5}$  på udvalgte stationer



Figur 2.3.8 Skematisk tegning af størrelsesfordelingen af partikler i byluft. Den lodrette akse har en arbitrær skala (Kilde: Danmarks Miljøundersøgelser, Afdelingen For Atmosfærekemi)

## Partiklers oprindelse

TSP i byluft er en blanding fra forskellige kilder, men de grove partikler fra vindophvirvlet støv af lokal oprindelse dominerer massen af denne del af partiklerne. De fine partikler stammer som nævnt især fra forbrænding af fossile brændsler i Europa. En meget stor del af disse partikler er (ammonium)-sulfat og -nitrat, som er dannet fra ammoniak,  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$ . De udgør en meget stor del af  $\text{PM}_{2,5}$  i Danmark. De er typisk dannet i løbet af nogle døgn under transport fra Centraleuropa til Danmark. Denne del forventes at aftage i fremtiden på grund af emissionsreduktioner. Det er et resultat af bedre rensning af røggasser fra kraftværker m.v., krav om trevejs katalysatorer (TWC) på alle nye benzindrevne biler og begrænsninger i diesebilernes udslip. Udslip af fine og især de ultrafine partikler sker specielt fra diesel- og benzindrevne biler.

## Trafikken som kilde til luftforurening med partikler

Luftforureningen i fx en gade er en sum af bidrag fra trafikken i gaden, fra trafikken i de øvrige gader, andre kilder i byen, regionens kilder, det øvrige Danmarks kilder og udenlandske kilder. De enkelte bidrag varierer i tid som følge af udslippetenes størrelse, omdannelse af forureningen, afsætning på overflader og de meteorologiske forhold, fx vindretning, vindhastighed, stabilitet mv. Dette gælder naturligvis også for partikler. Imidlertid er beskrivelse og vurdering af forureningen med partikler mere kompliceret end de fleste øvrige luftforureninger, bl.a. fordi det er nødvendigt ikke kun at angive koncentrationen, men også den kemiske sammensætning og størrelsesfordelingen.

Mange kilder giver anledning til udslip af forskellige typer af partikler, med forskellige størrelser og kemisk sammensætning. Vejtrafikken er et eksempel på, at den samme kilde skaber partikler af vidt forskellig art afhængigt af dannelsesprocesserne. En del af partiklerne dannes i motoren, i udstødningssystemet eller umiddelbart udenfor udstødningsrøret; disse partikler udgør for en stor del de fine og ultrafine partikler. Andre partikler dannes som ophvirvlede partikler fra kørebanen, kørebaneslid, dækslid samt slid på bremses, koblinger m.v.; de er oftest grovere partikler. Udslip af  $\text{NO}_x$  fra biler i Centraleuropa giver anledning til dannelse af partikler under transport til Danmark, hvorunder de også optager ammoniak, som bl.a. udledes fra landbruget, også dansk landbrug.

Nedbringelse af partikeludslip fra trafik kan fx ske ved at sætte partikelfiltre på dieselmotorer. Der findes mange forskellige typer og fabrikater af filtre til dieselmotorer og undersøgelsen er langt fra komplet. Målinger i Danmark og undersøgelser andre steder i Verden viser, at mange af filtrene har stor effektivitet (>90%) overfor partikler, også de ultrafine partikler. Nogle motorfabrikanter er desuden i gang med at udvikle nye teknologier, som skulle reducere partikeludslippet væsentligt. Katalysatorer på benzinbiler viser sig at have stor effektivitet (>90%) over for partikler, også de ultrafine partikler.

## Niveauer og udvikling

TSP bliver målt i det Landsdækkende Luftkvalitetsmåleprogram (LMP) (Kemp and Palmgren, 2000). TSP måles som 24 timers gennemsnitsværdier i København, Odense, Aalborg og Lille Valby (Tabel 2.3.3). Grænseværdierne blev ikke overskredet. Udviklingstendenserne er vist i Figur 2.3.4 på målestationer på trafikerede gade og en målestation i et landdistrikt ca. 40 km vest for København.

Tabel 2.3.3. Gennemsnitsværdier, 95-percentiler og maksimum værdier for TSP i 1999. Dataene er baseret på 24 timers gennemsnit (Kemp og Palmgren 2000).

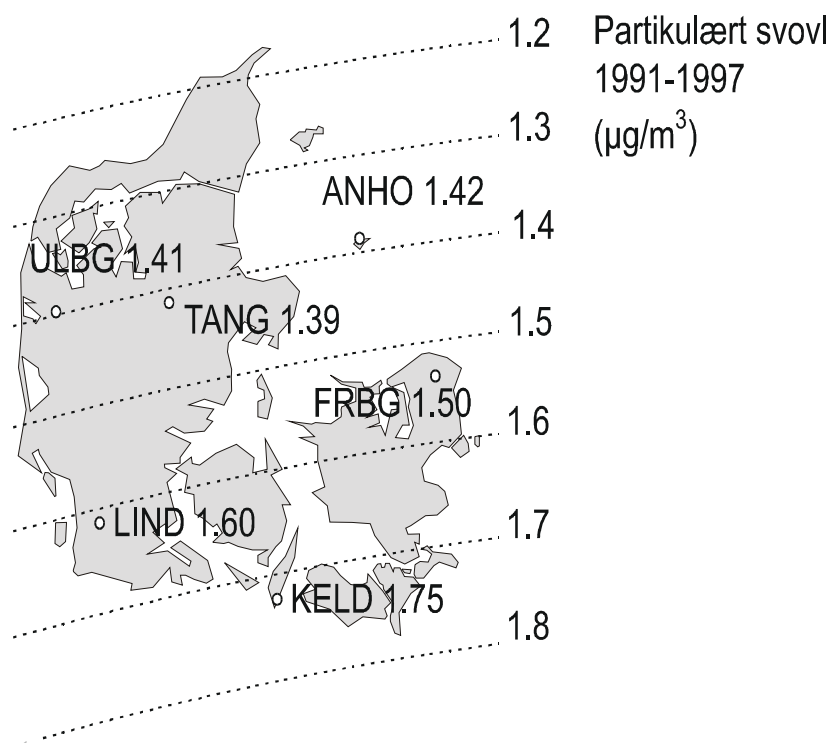
Station	Antal data	TSP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
		Gennemsnit for året	95-perc.	Maks. value	Dag
København/1257	356	47	97	159	990331
Odense/9155	359	49	104	269	990129
Odense/9154	362	44	89	125	990331
Aalborg/8151	358	51	99	153	990403
Lille Valby/2090	360	24	54	79	990918
Grænseværdi	Min. 100	150	300	-	-

Målingerne fra Lille Valby startede i begyndelsen af 1995. TSP er blevet målt på målestationen Lille Valby/2090 i næsten 4 år. Resultaterne ligger på et niveau mellem en tredjedel og halvdelen af niveauet i gadestationerne i byerne.

Kontinuerte målinger af  $\text{PM}_{10}$  blev startet i juli 1998 på Jagtvej i København. TSP viste sig generelt at være ca. 35% højere end  $\text{PM}_{10}$ . Dette svarer til, hvad man finder i andre byer. Denne forskel udgøres altså af meget store partikler.

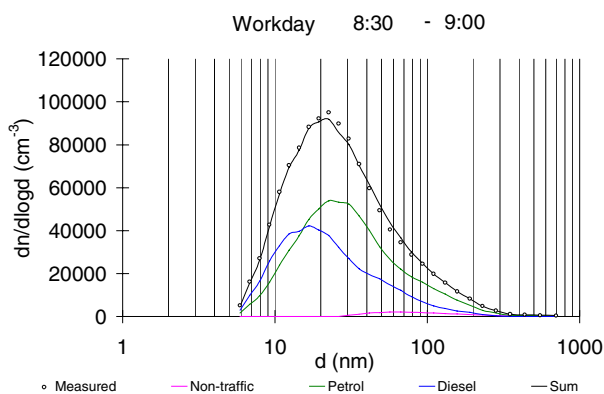
EU direktivernes nye grænseværdier (fx årsmiddelværdien på  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  målt som  $\text{PM}_{10}$  der skal opfyldes i 2005) er formodentlig overskredet flere steder, når TSP omregnes til  $\text{PM}_{10}$ . Grænseværdien for 2010 ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) er klart overskredet, og det er tvivlsomt om den vil kunne overholdes, bl.a. fordi en del af  $\text{PM}_{10}$  forureningen er af naturlig oprindelse eller ophvirvlet støv fra forskellige aktiviteter, bl.a. byggerier og jordbrug.

Koncentrationen af de fine partikler varierer kun lidt over Danmark (Figur 2.3.9). I byområder (bybaggrund) er forureningen med partikulært svovl (og nitrat) næsten den samme som i det åbne land. Kun i trafikerede gader er denne forurening lidt højere (20-40%) på grund af trafikens bidrag. I de seneste 10 år er det sket et klart fald i koncentrationen af svovlholdige partikler over Danmark. Det skyldes først og fremmest reduktionerne i svovldioxid udslippet i Europa, specielt Østeuropa.

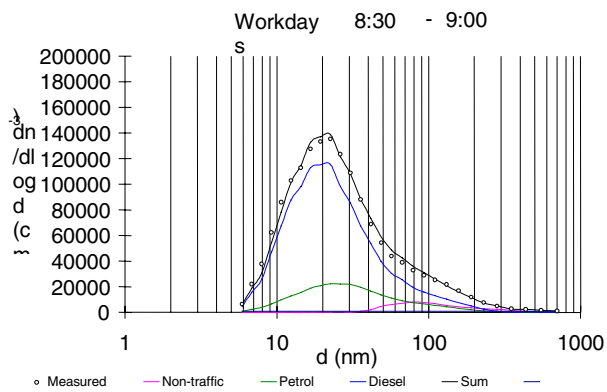


Figur 2.3.9. Den geografiske fordeling af partikulært svovl målt på en række baggrundsstationer i Danmark.

Målinger af ultrafine partikler fordeling på størrelse er blevet gennemført på stærkt trafikerede gader i København (Jagtvej) (Figur 2.3.10) og i Odense (Albanigade) (Figur 2.3.11). Bidragene fra benzin- og dieseldrevne bilers bidrag til partikelforureningen er næsten den samme på Jagtvej, fordi andelen af dieslbiler her er meget lille. Bidraget med ultrafine partikler fra dieslbiler på Albanigade i Odense, som er en mere typisk gade, var meget højere end fra benzinbiler (Wåhlin et al 2001).



Figur 2.3.10. Partikel antalsfordeling på Jagtvej i København i morgenmyldretiden.



Figur 2.3.11. Partikel-antalsfordelingen på Albanigade i Odense i morgenmyldretiden.

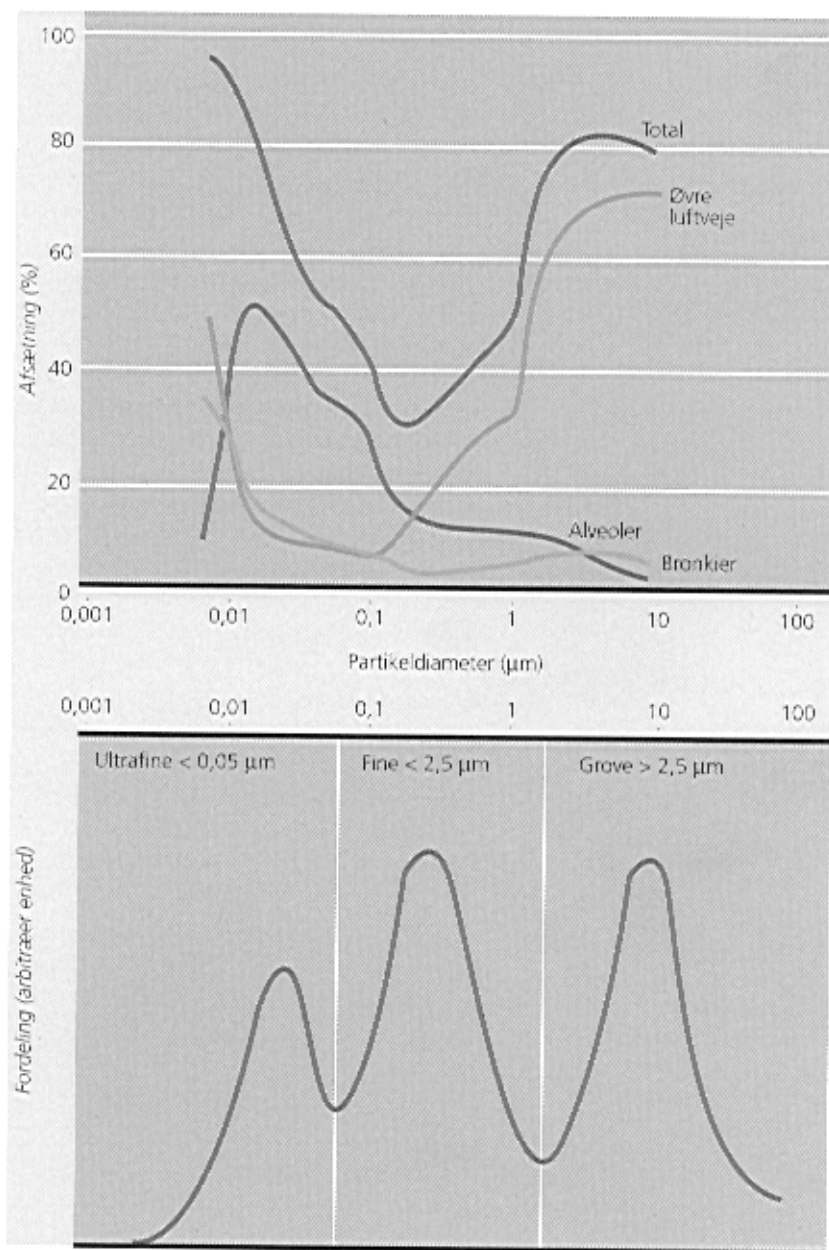
I sommeren 1999 gik vi i Danmark over til diesel olie med lavere svovlindhold, fra maksimum 500 ppm til under 50 ppm. I samme periode blev der målt ultrafine partikler i København. På grundlag af målinger i vintrene 1999 og 2000 viste det sig klart, hvorledes antallet af nanopartikler fra dieslbiler blev stærkt reduceret ved overgang til dieselolie med lavere svovlindhold (Wåhlin et al 2001b). Det viser sig, at svovlmængden ikke er tilstrækkelig til at forklare mængden af disse partikler. Årsagen er, at de ekstremt små svovl(syre) partikler danner kim for partikler, der dannes ved absorption af forskellige andre stoffer, bl.a. organiske forbindelser, på disse kim. En yderligere reduktion af svovlindholdet vil ikke nødvendigvis nedsætte partikeludslippet, men der kan være andre grunde til at nedsætte svovlindholdet, bl.a. længere holdbarhed af katalysatorer eller korrosion på motor og udstødningssystem. I samme periode blev det konstateret (som ventet) at størrelsesfordelingen for benzinbiler forblev uændret.

### Partiklers helbredseffekter

Det vides, at partikler har negative helbredseffekter. Det er bl.a. dokumenteret gennem undersøgelser i USA og Europa (Dockery et al. 1993; Pope et al. 1995; Katsouyanni et al. 1997), som har omfattet undersøgelser af  $PM_{10}$  og i nogen grad  $PM_{2.5}$ . Det er dog uklart, hvilke egenskaber ved partiklerne, der gør dem skadelige, men nogle undersøgelser peger dog på, at de meget små (ultrafine og fine) partikler er de farligste.

Ovennævnte undersøgelser af sammenhæng mellem dødsrate og partikelforureningen i USA og Europa er alle gennemført på grundlag af en meget forenklet vurdering af befolkningens eksponering, idet man har anvendt den årlige gennemsnitlige koncentration af  $PM_{10}$  den såkaldte bybaggrund, d.v.s. i en vis afstand fra gader og forureningskilde, som man finder i parker, i boligkvarterer uden væsentlig trafik, over hustagene eller bag husrækker langs gader. Det er sket ud fra den betragtning at befolkningen er eksponeret svarende til luften udenfor deres boliger, men ikke i gader. Der blev således ikke taget hensyn til, at en stor del af befolkningen er udsat for stærk forurening fra trafikken under transport i fx trafikerede gader mellem hjem og arbejdsplads. Der blev heller ikke taget hensyn til at kortvarig høj eksponering kan være mere skadelig end tilsvarende lavere eksponering over lang tid.

Der findes ikke i dag grundlag for at vurdere sundhedsskader ved hjælp af en mere detaljeret bestemmelse af befolkningens eksponering med partikler i tid, rum, partikelstørrelse og kemisk sammensætning.



Figur 2.3.12. Øverst: Afsætning af partikler i forskellige områder af luftvejene hos en voksen mand. Sandsynligheden for afsætning afhænger af partiklernes størrelse og er generel størst for små partikler. En høj totalafsætning for store partikler skyldes, at disse afsættes i de øvre åndedrætsorganer, hvor de formentlig har mindre helbredsmæssige virkninger. Nederst: Størrelsesfordeling af luftbårne partikler i byluft. TSP er den samlede partikelmængde angivet som vægt. PM<sub>10</sub> er partikler under 10 µm og PM<sub>2,5</sub> er partikler under 2.5 µm (Kilde: Palmgren et al. 1997).

Partikelforureningen betyder, at eksponerede personer dør tidligere, end de ellers ville have gjort. Udenlandske vurderinger peger på, at den gennemsnitlige levealder falder med 0,4-0,6 år pr. 10 µg/m<sup>3</sup> (PM<sub>10</sub>) i luften. Miljø- og Energiministeriet og sundhedsstyrelsens fælles arbejdsgruppe for udendørs luftforurening har således vurderet, at en reduktion af det gennemsnitlige partikelniveau i danske byer med ca. 1/3 ville medføre et fald i dødeligheden svarende til ca. 400 dødsfald per år blandt 1 million indbyggere. Hertil kommer, at et betydeligt antal personer må antages at have en forringelse af sundhedstilstanden og øget sygelighed. En analyse af de seneste udenlandske undersøgelser konkluderer, at en stigning i det gennemsnitlige partikelindhold på 10 µg/m<sup>3</sup> (PM<sub>10</sub>) fører til 2% stigning i antallet af hospitalsindlæggelser og skadestuebesøg p.g.a. luftvejslidelser, en 2% nedsættelse af lungefunktionen og en øget forekomst på 10-25% i

befolkningen af bronkitis og kronisk hoste. Sammenhæng mellem afsætningen af partikler i luftvejene hos mennesker og partikelstørrelse fremgår af figur 2.3.12.

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

De tilgængelige epidemiologiske undersøgelser af ultrafine partikler og eksisterende viden om mekanismer peger på at den ultrafine fraktion af trafikrelaterede partikler og deres antal er væsentlig for helbredseffekter. Det er således helt overvejende sandsynligt at ultrafine partikler fra dieselemission bidrager væsentligt mere til negative helbredseffekter end deres masse antyder. Det gælder forværring af luftvejssygdomme og hjertesygdom, herunder risiko for død. For raske, der bliver eksponeret, tyder undersøgelser af personer erhvervsmæssigt udsat for dieselemission ikke på væsentlig risiko for udvikling af luftvejs- og hjertesygdomme, men peger kun på risiko for kræft (Kilde: Palmgren et al. 2001).

Hvilken andel af de helbredseffekter, som tilskrives hele  $\text{PM}_{10}$  fraktionen i nærværende beregninger, kan tilskrives alene trafikrelaterede ultrafine partikler kan ikke fastslås. Den øverste grænse for effekt af ultrafine partikler må antages at være svarende til den andel af  $\text{PM}_{10}$ , der kan tilskrives trafik, dvs. op til 40-60% som vurderet i WHO rapport (2000) afhængig af trafiktæthed. Af de ultrafine partikler stammer ca. 40% fra tunge køretøjer. Man kan derfor forvente en effekt af fjernelse af 80% af denne emission af på op til ca. 33% af de samlede effekter som tilskrives  $\text{PM}_{10}$ .

## Konklusion

Partikelforureningen er et af de største luftforureningsproblemer i Danmark i relation til negative helbredseffekter. Der mangler meget viden internationalt på området, men der er også sat mange ressourcer ind på at forbedre denne viden. Der er klare tegn på, at især de fine og ultrafine partikler er de mest skadelige, og at det måske er deres antal der er afgørende. Vi kender dog endnu ingen klare årsagssammenhænge mellem partiklernes egenskaber og helbredsmæssige skadevirkninger, men national og international forskning øger til stadighed vores viden om området.

Der derimod ingen tvivl om, at trafikken er den væsentligste kilde til (især) ultrafine partikler i Danmark, og at vi især udsættes for dem i trafikerede gade, når vi færdes der eller bor eller arbejder i huse langs gaderne. Trafikken giver også anledning til forurening med grove partikler fra kørebane, dæk, bremses m.v. . Der findes effektive filtre til dieselmotorer fjernelse af disse partikler, men de fjerner kun de partikler der udsendes via udstødningsrøret og heller ikke de gasformige stoffer, som kan føre til partikeldannelse. Katalysatorerne på benzinbiler synes også at være effektive.

For at kunne gennemføre en effektiv indsats overfor skadevirkninger af partikelforureningen er det nødvendigt både at kende partiklernes egenskaber og at kunne sætte dem i relation til skadevirkningerne. Det nytter således ikke at reducere udslippet af partiklerne målt som masse, hvis det er antallet, der er det væsentlige, eller at reducere antallet, hvis det er visse kemiske stoffer, der er væsentlige. Disse forhold ventes at blive afklaret i de kommende år i et omfattende internationalt samarbejde