

Vurdering af partikelforureningens og dieselpartiklers sundhedsskadelige effekter

Miljøministeriets og Sundhedsstyrelsens
arbejdsgruppe for udendørs luftforurening
april 2003

Forord

I 1998 tog Sundhedsstyrelsen initiativ til at nedsætte en fælles arbejdsgruppe for Miljøministeriet (det daværende Miljø- og Energiministerium) og Sundhedsstyrelsen med henblik på at foretage vurderinger af de sundhedsmæssige aspekter i forbindelse med udendørs luftforurening, samt løbende at vurdere betydningen af nye EU-grænseværdier på området. I forbindelse med gruppens arbejde og som resultat af gruppens diskussioner udarbejdes der kortfattede monografier, der sammenfatter gruppens holdning med hensyn til sundhedsmæssige aspekter vedrørende konkrete luftforureningskomponenter og spørgsmål knyttet hertil.

Gruppen er pr. april 2003 sammensat af følgende personer:

Læge Jette Blands, Sundhedsstyrelsen
Læge Barbara Hjalsted, Sundhedsstyrelsen
Professor Steffen Loft, Københavns Universitet
Lektor, læge Torben Sigsgaard, Århus Universitet
Overlæge dr. med. Ebbe Taudorf, Ålborg Sygehus
Seniorforsker Finn Palmgren, Danmarks Miljøundersøgelser
Civilingeniør Christian Lange Fogh, Miljøstyrelsen
Cand. scient. Ulrik Torp, Miljøstyrelsen
Cand. pharm. Poul Bo Larsen, Miljøstyrelsen (formand)

Vurdering af partikelforureningens og dieselpartiklers sundhedsskadelige effekter

1. baggrund og formål

Denne sammenfatning er udarbejdet som et baggrundsdokument om partikelforureningens sundhedsskadelige effekter som et indspil til regeringens kommende partikelredegørelse. Fokus i vurderingen er på betydningen af de ultrafine forbrændingspartikler fra dieseludstødning.

Nærværende vurdering er en opdatering og sammenstilling af tidligere vurderinger og en tilføjelse af den seneste nyere viden på området. Som væsentlige referencer og arbejder indgår:

"Vurdering af partikler i udeluft". Statuspapir pr. august 2000" Miljøministeriets og Sundhedsstyrelsens arbejdsgruppe for udendørs luftforurening.

"Partikelfiltre på tunge køretøjer i Danmark". Rapport nr. 358, 2001. Danmarks Miljøundersøgelser samt opdateret notat af rapporten pr. 5. juni 2002.

"Partikelfiltre på tunge køretøjer" rapport fra Færdselsstyrelsen, juni 2001

"Helbredseffekter af partikulær luftforurening i Danmark – et forsøg på kvantificering" artikel i Ugeskrift for Læger, august 2002

"Helbredseffekter af trafikgenererede ultrafine partikler" artikel i Ugeskrift for Læger, august 2002,

"Samfundsøkonomisk vurdering af partikelfiltre" rapport fra Institut for Miljøvurdering, november 2002

"Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study" artikel publiceret i Lancet oktober 2002.

"Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study", artikel publiceret i Lancet, oktober 2002.

"Air pollution and health", oversigtsartikel publiceret i Lancet, oktober 2002.

"On health risks of ambient PM in the Netherlands", national hollandsk vurdering oktober 2002.

Sammenfatningen skal i videst muligt omfang søge at besvare en række sundhedsfaglige problemstillinger og spørgsmål formuleret af Trafikministeriet. For i videst mulig udstrækning af besvare de ofte sammensatte spørgsmål og fremlagte problemstillinger er det fundet mest hensigtsmæssigt at foretage en opdeling i en række enkeltspørgsmål:

I hvilken udstrækninger er der dokumentation for at der er en sammenhæng mellem partikelniveauer og effekter ?

Hvilke sammenhænge er der fundet mellem partikelniveauer i luften og effekter?

Hvad betyder undersøgelsesernes forskellige målemetoder for partikler i forhold til vurdering af helbredseffekter?

Er der en nedre tærskelværdi?

Er der særlige egenskaber ved partiklerne der er afgørende for effekt fx kemisk indhold eller partikelstørrelse (grove, fine og ultrafine partikler), og hvad betyder de forskellige kilder til partikelforureningen?

Hvilken indflydelse har øget dødelighed på tabte leveår?

Hvordan skal øget sygelighed tolkes?

Hvad betyder effekterne på befolkningsniveau?

Hvor hurtigt og i hvilket omfang opnås helbredsmæssig gevinst ved reduktion af partikeludsættelsen?

I hvilken udstrækning kan helbredseffekterne værdisættes?

I hvilken udstrækning kan effekten af regulering af konkrete partikelkilder forudsiges fx regulering af dieselmotørens partikeludslip?

Hvilke konklusioner kan der drages ud fra en overordnet sundhedsfaglig vurdering – er der grundlag for tiltag?

2 Dokumentation fra befolkningsundersøgelser

Såvel blandt forskere som blandt internationale organisationer og nationale myndigheder synes der at være en bred erkendelse af, at partikelforureningen kan tilskrives en række betydelige sundhedsskadelige effekter i befolkningen. Denne erkendelse er gradvist opbygget i takt med den øgede viden der er fremkommet på området som følge af de seneste 10 års meget store internationale forskningsmæssige indsats, hvor et meget stort antal befolkningsundersøgelser har vist sammenhænge mellem luftens indhold af partikler og helbredseffekter.

Man må imidlertid være opmærksom på at befolkningsundersøgelser kun vanskeligt kan anvendes som endelige beviser for årsags-sammenhænge, idet de som oftest belyser og beskriver sammenhænge mellem miljøfaktorer og specifikke effekter/sygdomme, og således ikke kan anvendes til mekanistisk til at forklare disse sammenhænge. Jo oftere, og jo tydeligere denne sammenhæng påvises - og gerne ved forskelligartede metoder -, jo større er imidlertid sandsynligheden for at der foreligger en reel årsags-virkningssammenhæng.

Ved en videnskabelig vurdering af befolkningsundersøgelser kan der opstilles en række kriterier, hvis opfyldelse giver stigende tiltro til, at der foreligger en reel årsags-virkningssammenhæng mellem de sammenhænge der ses i undersøgelserne. Disse såkaldte kausalitetskriterier er udviklet af Hill i 1965 og kan oplistes på følgende måde:

- a) **tidsmæssig sammenhæng**, dvs. effektmålene er optrådt i en logisk tidsfølge efter eller i forbindelse med udsættelse.

b) **konsistens**, dvs. at der fundet tilsvarende sammenhæng i andre undersøgelser også hvor evt. øvrige faktorer, herunder tid og sted har varieret

c) **kohærens/ sammenhæng**, dvs. at der fx er biologisk sammenhæng mellem de forskelligartede effekter der er registreret.

d) **sammenhængens størrelse**, dvs. er der en tydelig forøget risiko knyttet til udsættelsen

e) **biologisk gradient**, dvs. om der kan observeres en dosis-respons-sammenhæng således at øgede eksponeringsniveauer giver forøget effekt

f) **plausibilitet**, dvs. at sammenhængen mellem udsættelse og effekt kan forklares ud fra kendte mekanismer vedrørende skadevirkning eller de kan eftervises eksperimentelt i laboratoriet

g) **effekternes specificitet**, dvs. at effekterne er specifikke og at sammenhængen er så entydig som mulig for de udvalgte effektmål

h) **belysning mulige bias/ confoundere**, dvs. at undersøge om der kan være en systematisk fejl i design eller i målingerne i undersøgelserne, og om der er taget højde for andre faktorer som kan have indflydelse på effektmålet.

i) **effekt ved intervention**, kan der ses ophør/ reduktion af effekterne ved afbrydelse for udsættelsen

Hvorvidt befolkningsundersøgelserne vedrørende partikler opfylder disse kriterier skal kort beskrives nedenfor:

a) tidsserieundersøgelserne (mere end 100 undersøgelser) bekræfter i rigt mål den tidsmæssige sammenhæng mellem forøget udsættelse og effekternes optræden i umiddelbar tilknytning hertil. Sammenhængen er også underbygget ud fra et begrænset antal undersøgelser, hvor afbrydelse/ begrænsning af udslip har medført reduktion i de sundhedsskadelige effekter

b) det meget store antal af undersøgelser (> 100) med en række regionale forskelle og forskelle i forsøgsdesign, i klima/ temperatur, og i partikelsammensætningen viser påfaldende ensartede resultater m.h.t. effekter af partikelforurening både kvalitativt og kvantitativt (dosis-respons).

c) der er en logisk sammenhæng mellem registreringen af en række forskellige typer af effekter fx påvirkning af lungefunktion, luftvejssymptomer, forbrug af luftvejs medicin, hospitalsindlæggelser og død som følge af luftvejslidelse. Endvidere påvisning af effekter på blodets viskositet, påvirkning af hjertefunktion, hospitalsindlæggelse som følge af hjertekarsygdomme, og hjertekardødsfald.

d) sammenhængens størrelse kan generelt ikke siges at være stor, idet den forøgede risiko der findes ved de forholdsvis begrænsede forskelle i eksponering inden for de enkelte undersøgelser må anses for forholdsvis lille, set i forhold til fx undersøgelser omhandlende rygning, eller undersøgelser fra arbejdsmiljøet, hvor der kan være tale om meget kraftige udsættelser og dermed stærkt forøgede risici. Materialets størrelse og den gentagne påvisning af de anførte sammenhænge understøtter imidlertid at sammenhængen er til stede, om end forøgelsen af

den relative risiko er forholdsvis begrænset. (Forholdsvis små værdier i forbindelse med øget risiko vil i tilfældet udeluftforurening imidlertid have stor betydning i samfundsmæssig målestok, idet hele befolkningen og især bybefolkningen er omfattet af udsættelse og risiko).

e) Der foreligger i de enkelte undersøgelser ofte meget velbelyste dosis-respons-sammenhænge, dels m.h.t. forskellige partikelfraktioner (PM10 og PM2,5) og dels med hensyn til proxy-mål for eksponering fx nærhed af trafikerede vej, således at der påvises en gradvis stigning af effekterne ved stigende udsættelse.

f) de biologiske mekanismer og betydningen af de forskellige partikelfraktioner er endnu ikke klarlagt. Viden inden for området er dog øget i stigende grad inden for de seneste år, således at både luftvejslidelser, forøget lungecancer og hjertekar-påvirkninger nu i stigende omfang kan forklares/ eftervises.

g) effekterne der måles på, typisk død, lungecancer, luftvejslidelser og hjerte-kar-sygdomme kan ikke siges at være entydige for udendørs partikelforurening, idet partikelforureningen synes at virke ind på effektområder, der overordnet kan karakteriseres som generelle folkesygdomme.

h) generelt vil ikke-optimalt forsøgsdesign, ikke-repræsentative måledata og tilstedeværelse af andre faktorer der har indflydelse på de målte effekter være medvirkende til at undersøgelsen enten ikke finder nogen sammenhænge, eller at disse sammenhænge bliver tilfældige og forskelligartede. Systematiske fejl vil dog kunne give tendens til enslydende sammenhænge, men der er intet, der tyder på at dette er tilfældet, idet der dels er anvendt forskelligartede forsøgsdesign, og idet der ved analyse af resultaterne i vid udstrækning er anvendt metoder der tager højde for, og kompenserer for effekten af en række andre betydende faktorer.

i) der er i tilfælde ved reduktion af partikelniveauer og ved ophør fra en konkret kilde påvist sundhedsmæssige forbedringer for en række af de relevante effektmål bl.a. dødelighed, hospitalsindlæggelser og luftvejssymptomer

Af ovenstående fremgår at kriterierne i fuldt mål er opfyldt hvad angår påvisning af en årsags-virkningssammenhæng mellem partikelforurening og påvirkning af hjerte-kar-sygdomme og luftvejslidelser samt øget forekomst af lungecancer og dødsfald. Årsags-virkningssammenhængen understøttes i stigende omfang af øget viden om bagvedliggende biologiske virkningsmekanismer. Der foreligger kun for et fåtal af andre miljøområder så veldokumenterede sammenhænge for sundhedsmæssig påvirkning som inden for partikel- og luftforureningsområdet.

Mens der således næppe er tvivl om at partikelforureningen medfører sundhedsskadelige effekter er der usikkerheder med hensyn til en række detailspørgsmål, der søges diskuteret mere indgående i det efterfølgende:

De udførte undersøgelser kan således ikke umiddelbart give svar på hvad partikelforureningen betyder i tabte leveår for den enkelte, da det er af stor betydning om de fremrykkede dødsfald forekommer hos ældre, svækkede person eller i andre aldersgruppe fx hos børn.

Effekten af langvarig udsættelse for partikler formodes at medvirke til udviklingen af og forværre eksisterende lidelser, således at andelen stiger af personer der efterfølgende har øget risiko for indlæggelser/ død. Det er imidlertid ikke klart i hvilket omfang disse risikogrupper øges.

Andre usikkerhedsmomenter er betydningen af de forskellige kilder og deres bidrag til de sundhedsskadelige effekter samt i hvilken udstrækning de fine (PM_{2,5}) eller de ultrafine partikler eller øvrige specifikke indholdskomponenter, der kan gøres til hovedansvarlige for effekterne.

Endelig er der ud fra de foreliggende undersøgelser usikkerhed om, hvorvidt der eksisterer et nedre eksponeringsniveau, der er tærskelværdi for partiklers sundhedsskadelige effekter, idet en sådan tærskelværdi har kunnet påvises i de hidtidige undersøgelser. I denne sammenhæng er betydningen af dosis-respons kurvens forløb ved de lavere niveauer og tilstedeværelsen af et naturligt partikelbaggrunds niveau af stor vigtighed.

3. Hvad er partikler og hvor kommer de fra?

Partikler i luften kan skematisk opdeles efter størrelse:

Partikelbenævnelse	Størrelse (diameter) i mikrometer (µm)
Grove partikler	> 2,5
Fine partikler	0,1 – 2,5
Ultrafine partikler Nanopartikler	< 0,1 < 0,02

De mindste partikler (ultrafine partikler) i området ca. 0,010-0,1 µm dannes fra dampfase ved høj temperatur, fx i forbrændingsmotorer, kraftværkskedler eller industrielle processer. Den væsentligste kilde til ultrafine partikler er trafik, især dieselmotorer. Sodpartikler fra forbrændingsprocesser har typisk størrelsen 0,05 – 0,2 µm.

De fine partikler er et resultat af en række kemiske/fysiske omdannelser, dvs. de er ældre end de ultrafine partikler. En del af de fine partikler er dannet som følge af koagulation mellem ultrafine partikler indbyrdes eller mellem fine og ultrafine partikler. Denne proces tager en vis tid, som bl.a. betyder, at ultrafine partikler fra biler normal ikke når at koagulere, mens de findes i gaden, hvor opholdstiden kun er nogle få minutter. De fine partikler kan holdes svævende i mange døgn og dermed transporteres over adskillige tusinde kilometer. De væsentligste kilder til fine partikler er afbrænding af svovlholdigt brændsel samt alle forbrændingsprocesser, der giver anledning til dannelse af kvælstofoxider, dvs. trafik, kraftværker, opvarmning m.v.

Grove partikler dannes typisk ved forskellige mekaniske processer, fx jord- og vejtøv ophvirvlet af vinden, havsprøjt (som tørrer ud til saltpartikler), vulkaner, vegetation (pollen), dæk- og kørebaneslid, trafikskabt turbulens i gader, byggeri og industrielle aktiviteter. Disse partikler har en væsentlig kortere levetid, idet de p.g.a deres tyngde kun holder sig svævende i kortere tid og afsættes på overflader. Desuden undergår de kun i begrænset omfang i kemiske/fysiske omdannelser.

Vejtrafikken udgør ca. 54% af den samlede PM₁₀ emissionen herhjemme, hvor især tunger køretøjer (22%) og varebiler er dominerende (22%). Af faste kilder udgør emissioner fra brændeovne den betydeligste kilde (21%), idet denne kilde er omtrent lige så stor som den samlede PM₁₀-emission fra kraftværker, industri og anden opvarmning.

Herhjemme er gennemsnits PM10-niveauet i bybaggrund i København i 2002 målt til ca. 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mens gennemsnits PM10 langs trafikerede veje i København er målt til 31-47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Gennemsnit for baggrundsniveauet i landområder er målt til ca. 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.¹

4. Anvendte eksponeringsmål

I befolkningsundersøgelserne er partikelindholdet målt som en eller flere af følgende partikelparametre : TSP, PM10, sodpartikler, PM2,5 eller sulfatindhold (har navnlig tidligere været meget tæt relateret til PM2,5). Færre undersøgelser har inkluderet mål for ultrafine partikler (PM0,1 og mindre) mens andre undersøgelser har anvendt proxy-mål såsom nærhed ved trafikerede veje, NO_x eller CO-niveauer.

Langt de fleste anvender måledata fra målestationer i byområder som en tilnærmelse til hele bybefolkningens udsættelse. Dette synes relevant i forhold til en generel vurdering af fx PM10 og især PM2,5, mens udsættelse for sod og ultrafine partikler er mere afhængig af nærhed til kilden fx brændeovne og trafikerede veje.

Kun ganske få og typisk mere begrænsede undersøgelser har anvendt personbåret måleapparatur, som giver det bedste mål for den *personlige* udsættelse. Denne form for eksponeringsmål er dog alt for resursekrævende for større befolkningsundersøgelser, men metoden er værdifuld i forbindelse opnåelse af større forståelse for individuel/ befolkningsgruppers udsættelse samt ved udvikling af modelberegninger til estimering af befolkningens udsættelse .

Amerikanske undersøgelser med personbårne målinger angiver dog en god sammenhæng mellem målestationens PM2,5-målinger og den personligt målte eksponering for PM2,5 i udemiljøet, hvilket indikerer at PM2,5 fra de amerikanske målestationer har en forholdsvis god korrelation til befolkningens PM2,5 udsættelse (Sarnat et al. 2001; Brunekreef & Holgate 2002). I disse undersøgelser var målestationernes niveauer af svovldioxid, ozon og nitrogendioxid kun dårligt korreleret med de personbårne målinger af de samme stoffer, men kunne ofte anvendes som proxy-mål (indirekte relaterede mål) for PM2,5 målinger, idet de var tæt forbundet med PM2,5 i udemiljøet. For danske forhold er NO_x -niveauer tæt korreleret til trafikrelateret PM.

US EPA (2002) konkluderer i deres seneste udkast til baggrundsdokument for luftkvalitetskriterium for partikler, at PM2,5 målinger fra faste målestationer er en anvendelig indikator for befolkningens udsættelse, hvorimod sammenhængen ikke er så stærk for PM10. Der synes således i en række tilfælde at findes en stærkere sammenhæng mellem PM2,5 og helbredseffekter end for PM10. Endvidere konkluderes ud fra analyse af en række tidsseriestudier, at de målte niveauer af gasformige komponenter (kulilte, kvælstofoxider, svovldioxid og ozon) ikke kan være bagvedliggende årsager til de observerede sammenhænge mellem PM2,5 og effekter, men at niveauerne af disse gasser i højere kan anses som indirekte mål PM2,5 niveauerne fremfor at optræde som konfoundere. En lignende vurdering er gengivet i den hollandske vurdering vedrørende partikelforureningens helbredseffekter (RIVM 2002).

En større engelsk undersøgelse udført med personbårne målinger viser tilsvarende en forholdsvis konstant sammenhæng mellem befolkningens udsættelse for fine partikler målt ved personbåret udstyr ved færdene i udemiljøet og de målte niveauer fra faste målestationer, der måler bybaggrund.

¹ Tallene vedr. emissioner og niveauer opdateres løbende. Nyere vil evt. fremgå af partikelredegørelsen

I undersøgelsen fandt man, at personer der bevæger sig af forskellige ruter i byrummet, og ved benyttelse af forskellige transportmidler udsættes for et partikelniveau der er ca. dobbelt så stort som måleniveauerne for bybaggrund angiver. Dvs. målinger vedrørende bybaggrund vil generelt undervurdere befolkningens udsættelse (Adams et al. 2001) .

Baggrunds niveauer for ultrafine partikler er kun målt i ganske få europæiske byer, og det er fortsat ikke nøjere undersøgt, hvorvidt baggrunds niveauet er relateret til den personlige udsættelse for ultrafine partikler.

Målestationers data vedrørende PM_{2,5} og PM₁₀ er et anvendeligt mål i relation til befolkningens gennemsnitlige udsættelse for disse fraktioner. Målestationers PM_{2,5} og PM₁₀ måledata syntes ikke at kunne repræsentere et mål for befolkningens udsættelse for ultrafine partikler.

5 Betydning af partikelstørrelse og -indhold

Partiklernes størrelse har betydning for hvor i luftvejene og i hvilket omfang partiklerne aflejres. Grove partikler aflejres hovedsageligt i de øvre luftveje efter indånding. Partikler mindre end 10 μg^3 i diameter aflejres længere nede i bronkierne, hvor de kan fjernes ved hjælp af luftvejenes små fimrehår, der børster partiklerne op i svælget. De fine og ultrafine partikler kan nå helt ud i de yderste forgreninger af lungerne, alveolerne, hvor der ikke er fimrehår, men hvor partiklerne fjernes væsentligt langsommere af makrofager eller trænger ind i lungevævet. Ultrafine partikler har i højere grad tendens til at aflejres i luftvejene end de fine og grovere partikelfraktioner, hvor en større andel udåndes eller aflejres øverst i luftvejene. Personer med luftvejslidelser og børn tilbageholder i større omfang end raske voksne personer partikler i luftvejene (MM & SST 2000).

Befolkningsundersøgelserne peger på, at det især er den fine partikelfraktion PM_{2,5} der er forbundet med de sundhedsskadelige effekter, men det er i dag uafklaret om effekterne alene vil kunne tilskrives nogle enkelte partikelkarakteristika, eller det snarere er summen af en række forhold, der er afgørende for skadevirkningerne. En række særligt betydende forhold har været forslået:

- antallet af partikler (bestemmes stort set alene af de ultrafine partikler)
- størrelsen af den samlede partikeloverflade (igen vil de ultrafine partikler være afgørende)
- indhold af metaller fx, jern, nikkel
- indhold af syre
- indhold af skadelige organiske stoffer fx PAH-stoffer (polyaromatiske hydrocarboner)
- vedhæftning af skadelige gasser og andre komponenter til partikeloverfladen

(MM & SST 2000)

Det er i dyreeksperimentelle forsøg påvist, at ultrafine partikler i højere grad end de fine og grovere partikelfraktioner fremkalder oxidativt stress og betændelsesreaktioner i lungerne, hvorfor der er fremsat teorier om de ultrafine partikler som særligt skadelige (Seaton et al. 1995; Donaldson et al. 2001). Ved partiklernes fremkaldelse af betændelsesreaktioner frigives en række signalstoffer fra lungevævet som dels påvirker lungefunktionen og frembringer luftvejssymptomer (hvor personer med luftvejslidelser er særligt følsomme). Derudover har man i befolkningsundersøgelser fundet resultater der tyder på at partikelniveauerne både kan påvirke blodet koaguleringssevne, blodets viskositet og have indflydelse på hjertefunktionen (Vrang et al. 2002; Dockery 2001). Dette kan være en forklaring på af personer med hjerte-kar-sygdomme også er særligt følsomme, men der savnes flere data på dette område for en bedre forståelse af de mekanistiske sammenhænge.

Endelig er det velkendt at partiklerne indeholder eller kan være vedhæftet en række potente sundhedsskadelige og kræftfremkaldende stoffer som PAH, visse metaller, samt flygtige organiske forbindelser som benzen, 1,3-butadien og formaldehyd. Ved aflejring af partikler i lungevævet kan der lokalt på celleniveau således opstå koncentreret udsættelse.

Endelig kendes også fra en række sammenhænge af kombinationen med udsættelse af flere stoffer samtidig kan medføre en forstærket effekt. Således er det i dyreeksperimentelle undersøgelser fundet at samtidig udsættelse med partikler og ozon medfører et forstærket sundhedsskadeligt potentiale (MST 1997).

M.h.t. partikelforurening og allergi peger dyreeksperimentelle og humane undersøgelser på at udsættelse med dieselpartikler kan virke forstærkende m.h.t. fremkaldelse af allergi over for andre stoffer fx pollen (MM & SST 2002).

Ved at sammenkæde viden fra laboratorieundersøgelser med viden fra befolkningsundersøgelserne vinder opfattelsen i stigende grad frem, at de skadelige effekter af partikelforureningen i betydeligt omfang må anses at være forbundet med forbrændingspartikler fra diverse forbrændingsprocesser (boligopvarmning, energiproduktion og trafik). Toksikologiske undersøgelser giver således ikke umiddelbart grundlag for at tilskrive opløselige sulfat og nitrat i partiklerne den afgørende betydning, selvom betydningen af disse partikler ikke kan udelukkes ud fra befolkningsundersøgelserne (RIVM 2002).

Epidemiologiske undersøgelser har primært fundet helbredseffekter relateret til PM10 og PM2,5, da det er disse parametre, der er blevet målt. Der savnes bedre viden om i hvilken udstrækning partiklernes sammensætning eller særlige størrelsesfraktioner er af betydning for de observerede effekter. Det er således næppe sandsynligt at en enkelt partikelparameter kan relateres til de samlede helbredseffekter, idet effekterne snarere må anses at være en følge af de forskellige partikelfraktioners individuelle effekter, samt de vekselvirkninger der kan opstå i forbindelse hermed og med de øvrige forureningskomponenter i luften. Ud fra den eksisterende viden synes det ved regulatoriske tiltag især relevant at fokusere både på partikelmassekoncentrationen (PM10 eller PM2,5) og på ultrafine forbrændingspartikler.

6. Effekter og dosis-respons

6.1 Tidsserieundersøgelser

Der foreligger et meget stort antal befolkningsundersøgelser, såkaldte tidsserieundersøgelser, der beskriver sammenhængen mellem dag-til-dag variationer i luftforureningen og forekomsten af sundhedsskadelige effekter i befolkningen. Disse undersøgelser viser i meget stor udtrækning, at navnlig luftens indhold af partikler udviser sammenhæng med øget dødelig, og øget sygelighed i befolkningen.

Dødelighed

Health Effects Institute i USA udgav i 2000 en rapport med en meget omfattende og grundig vurdering af måledata for luftforurening og sygelighed og dødelighed for de 90 største byer i USA (HEI 2000). Forfatterne og en særligt nedsat komite til vurdering af deres arbejde fandt en meget stærk og ensartet sammenhæng mellem daglige variationer i partikelniveauer (angivet som PM10) og dødelighed. I den statistiske bearbejdning af data blev der tages hensyn til eventuelle effekter fra øvrige forureningskomponenter, men dette svækkede ikke effekten af PM10.

Samlet for de 90 byer fandtes at en stigning på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ svarede til en øget dødelighed på 0,5% (gennemsnit for stigning i antal dødsfald på selve dagen med PM-stigning og de to første dage efter).

I forbindelse med det store europæiske forskningsprogram vedrørende luftforurening og sundhed "APHEA" har man fundet tilsvarende sammenhænge ved en fælles analyse af data for 29 europæiske byer (i alt 43 millioner indbyggere). Her fandt man at en stigning på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i PM10 eller sodpartikler var sammenkædet med 0,6% stigning i dødsfald. For personer over 65 år var stigningen 0,8% (Katsouyanni et al. 2001).

Det har været diskuteret, hvorvidt øget dødelighed i forbindelse med en forureningsepisode blot har medført en fremskyndelse af dødstidspunktet med forholdsvis få dage hos hovedsageligt ældre, svækkede og syge personer med hjerte-kar-sygdomme og luftvejslidelser. Dette spørgsmål er ikke umiddelbart besvaret i ovenstående undersøgelser. En nyere undersøgelse, der undersøgte effekten på dødeligheden i op til 40 dage efter forøgede partikelniveauer viste, at effekten på dødeligheden blev mere end fordoblet (fra 0,7% til 1,6% pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10) ved således at forlænge "observationsperioden" fra 2 til 40 dage. Dette peger på en længerevarende effekt af episodisk forhøjede partikelniveauer end blot nogle få dage (Zanobetti et al. 2001).

Tilsvarende finder Schwartz (2000), ved at se på måned-til-måned variationer i partikelniveau frem for dag-til-dag variationer, at effekten af ændringer i PM2,5-niveau øges, hvilket ifølge forfatteren indikerer, at partikelforureningen ikke blot påvirker levetiden med nogle få dage. Ved dag-til-dag variationer medførte en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stigning i PM2,5 en øget dødelighed på 2,1%, mens tilsvarende forskel i partikelniveau over en måned var relateret til en øget dødelighed på 3,75%.

At dødsfaldene ikke er særligt knyttet til terminalt syge patienter på hospitalerne er endvidere blevet underbygget af at stigningen i dødsfald i tilknytning til partikelforureningen i stor udstrækning sker som følge af dødsfald uden for hospitalet (Brunekreef & Holgate 2002).

Laden et al. (2000) opdelte ud fra kemisk analyse PM2,5 partikler i forskellige fraktioner alt efter kilde. Ved at følge dødelighed og niveauerne af fine partikler i seks amerikanske byer fandt forfatterne, at en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stigning i PM2,5 var sammenkædet med en øget dødelighed på 1,6%. For PM2,5-fraktionen fra trafik var en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stigning sammenkædet med en øget dødelighed på 3,4%, mens en tilsvarende stigning for fine partikler fra kulafbrænding var relateret med en øget dødelighed på 1,1%. PM2,5 af mineralsk oprindelse var ikke forbundet med stigning i dødelighed. Den del af fine partikler der kunne henføres til trafik blev således fundet til at have mere end dobbelt så stor dosis-respons som totalmålet for fine partikler indeholdende alle fraktioner (3,6% mod 1,6% pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2,5).

I en nyere undersøgelse fra Erfurt i Tyskland, hvor man bestemte partikelforureningen ved en række forskellige partikelmål fandt man, at en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stigning i PM2,5 var sammenkædet med en stigning i dødelighed på 2,5%, når dødeligheden blev kumuleret over fem dage efter forureningsepisoden. Undersøgelsen viste endvidere at antallet af ultrafine partikler på tilsvarende vis var sammenkædet med dødelighed, og at en 2,5 gangs stigning i antallet af partikler (stigning på 12.700 partikler pr. cm^3 luft fra 8.000 til 20.700 partikler pr. cm^3) var relateret til en øget dødelighed på 4,6%, mens en 2,5 gangs øgning i PM2,5 niveauet (en stigning på $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fra $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$) var relateret til en øget dødelighed på 5%. Undersøgelsen viste således, at de aktuelle niveauer af ultrafine partikler og PM2,5 påvirkede dødeligheden i lige stort omfang og

næsten uafhængigt af hinanden (HEI 2000, Palmgren et al. 2002). Niveauerne af fine og ultrafine partikler er forholdsvis uafhængige (dvs tyder på forskellige betydende kilder) og ultrafine partikler udgør vægtmæssigt en varierende, men meget lav procentdel af PM_{2,5} (i Erfurt omkring 2,5%), hvorfor en vurdering af effekter af de ultrafine partikler alene p.b.a. deres vægtmæssige andel af PM_{2,5} vil underestimere effekten af de ultrafine partikler betydeligt (ca. 40 gange).

Nogle undersøgelser har endvidere fundet sammenhæng mellem forøgede partikelniveauer og øget spædbørnsdødelighed (Brunekreef 1997).

Sygelighed

En række andre undersøgelser viser sammenhæng mellem partikelforureningen og nedsat lungefunktion, øget forekomst af luftvejssymptomer og øget brug af astma-medicin samt øget fravær fra arbejde og skole (WHO 2000; MM/SST 2000). For tidsserie-undersøgelserne angiver WHO (2000) at de skadelige effekter, der er observeret forbundet med PM₁₀ niveauer i stort omfang kan tilskrives den finere partikelfraktion PM_{2,5} indeholdt i PM₁₀, frem for de grovere partikler. Således angiver WHO en stejlere dosis-respons sammenhæng for PM_{2,5} end for PM₁₀. Fra tidsserieundersøgelserne angives således, at en episodisk stigning på 10 µg/m³ i PM_{2,5} og PM₁₀ er relateret til en øget dødelighed på henholdsvis 1,5%, henholdsvis 0,7%. Tilsvarende angives også for langtidsundersøgelserne en større effekt af PM_{2,5} end af PM₁₀ m.h.t. dødelighed og m.h.t. fremkaldelse af bronkitis hos børn.

WHO (2000) angiver følgende sammenhæng mellem kortere episoders (dage) partikelniveau og sygelighed:

Effekt	Procentvis stigning per 10 mg/m³ PM₁₀
Dødelighed (af alle årsager)	0,7 % (1,5% PM _{2,5})
Hospitalsindlæggelser, Luftvejssygdomme	0,8 %
Hyppigere brug af astmamedicin	3,1 %
Hyppigere symptomer med hoste	3,6 %
Hyppigere forekomst af Vejrtrækningsbesvær	3,2 %
Fald i lungefunktion	0,13 %

I den opdaterede analyse fra Health Effects Institute vedrørende de 90 største byer i USA fandt man en statistisk sikker sammenhæng mellem PM₁₀ og sygelighed, hvor en 10 µg/m³ stigning var sammenkædet med en stigning på 1% stigning af hospitalsindlæggelser som følge af hjerte-kar-sygdomme og en indlæggelsesstigning på 2% som følge af luftvejslidelser (HEI 2000).

Ved vurdering af data for 29 europæiske byer fandt man blandt ældre over 65 år at en stigning i PM10 på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ var sammenkædet med en 1% stigning i indlæggelser som følge af kroniske luftvejssygdomme og en 0,5 % stigning i indlæggelser som følge af hjerte-kar-sygdomme. I de tilfælde partikelniveauerne var målt som sodpartikler var stigningen pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på 1% for hjertekarindlæggelser, hvilket peger på sod-/dieselpartikler som særligt problematiske (Brunekreef & Holgate 2002).

Wichman & Peters (2000) fandt endvidere ved undersøgelse af astmapatienter i Erfurt, at effekten af ultrafine partikler var større m.h.t. til at påvirke lungefunktion end PM2,5 og PM10. I Helsinki fandt man i en undersøgelse med voksne astmapatienter nedsat lungefunktion relateret til antallet af ultrafine partikler, hvorimod effekten ikke kunne påvises i relation til PM2,5 og PM10 (Wichman & Peters (2000)). En anden undersøgelse i Finland med børn med astma viste også en sammenhæng mellem niveauet af ultrafine partikler og lungefunktion, men effekten relateret til PM10 og sodniveauer var tydeligere (Wichman & Peters 2000).

6.2 Undersøgelser vedrørende lang tids udsættelse

I hvilken udstrækning partikelforureningen påvirker den generelle sygelighed og dødelighed i befolkningen kan imidlertid bedre belyses af nedennævnte undersøgelser, hvor man sammenligner den vedvarende udsættelse af befolkninger i områder med forskellige luftforureningsniveauer.

Dødelighed

To amerikanske undersøgelser fra 1993 og 1995 var især med til at sætte fokus på partikelforureningen. I den første undersøgelse fulgte man over 8000 personer fra seks byer i 14-16 år, for at undersøge sammenhængen med niveauerne af de forskellige luftforureningskomponenter og dødeligheden. Efter justering for en række andre medvirkende årsagsfaktorer (aldersfordeling, legemsvægt, rygning osv.) fandt man for PM2,5 en statistisk sikker sammenhæng mellem partikelniveauerne og årlige dødsfald i befolkningen, hvor en stigning på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2,5 var forbundet med en øget dødelighed på 14%. For de grovere partikelmål PM10 og TSP sås ligeledes en statistisk sikker – men ikke så udpræget – sammenhæng. For PM10 var en stigning på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ forbundet med en øget årlig dødelighed i befolkningen på 10% (Dockery et al. 1993; WHO 2000). Den gennemsnitlige betydning af partikelforureningen for forkortelsen af levealder blev for denne undersøgelse opgjort til 2-3 år. (Lippmann 1998).

I en noget større undersøgelse fra 1995 fulgte man på lignende måde 552.000 personer i 151 byområder i syv år og fandt tilsvarende en tydelig sammenhæng mellem partikler (PM2,5) og dødelighed, idet antallet af årlige dødsfald her steg 7% pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2,5 i luften (Pope et al. 1995; WHO 2000). Det gennemsnitlige fald i levealder som følge af partikelforureningen er for denne undersøgelse opgjort til 1,5-2 år (Lippman 1998).

Denne undersøgelse er for nyligt blevet opdateret, så befolkningen nu er blevet fulgt i 16 år frem til 2000, hvor antallet af dødsfald blandt de undersøgte var blevet tredoblet. Analysen blev nu foretaget med mere avancerede metoder, hvor der endvidere kunne tages hensyn til fødevarer hos de involverede. Igen fandt man statistisk sikker sammenhæng mellem PM2,5 og dødelighed. Dette var mindre tydeligt for partikler målt som PM10 og PM15, og ingen sammenhæng kunne eftervises i for partikler større end PM15. Som et gennemsnit over hele perioden på de 16 år fandt man at

dødeligheden pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5} steg med 6%². Partikelforureningen blev af forfatterne fundet at have samme indflydelse på dødeligheden som moderat overvægt. Den øgede dødelighed blev fundet overvejende at skyldes øgede dødsfald som følge af hjerte-kredsløbslidelser og luftvejslidelser (tilsammen øget med 9% pr $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5}) og lungecancer (øget 14% pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5}). De gennemsnitlige PM₁₀ niveauer for alle byer i hele perioden lå på $28,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. For PM_{2,5} var gennemsnitsniveauet på $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ or den seneste periode fra 1999-2000 mod $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for perioden 1979-1983 (Pope et al. 2002). Skønt lavere niveauer i den seneste periode sås en større dosis-respons i den sene periode, hvilket enten peger på stejlere dosis-respons ved de lavere niveauer eller at nutidens partikelforureningen er mere skadelig end tidligere tiders forurening.

En helt ny hollandsk undersøgelse har fulgt 5000 personer i alderen 55 - 69 år fra 1986 til 1994. I denne undersøgelse målte bybaggrunds-niveauer for kvælstofdioxid (NO₂) og for sodpartikler. Endvidere vurderede man effekten af at bo i nærheden (mindre end 100 meter) fra trafikerede veje., Undersøgelsen viste en 95% forøgelse af dødsfald som følge af hjerte-kar-sygdomme og luftvejslidelser blandt de personer der boede inden for 100 meters afstand fra trafikerede veje (disse personer udgjorde ca. 5% af personerne der indgik i undersøgelsen). Ud fra de målte niveauer af sodpartikler samt under hensyntagen til et ekstra bidrag med sodpartikler ved bopæl nær en trafikeret vej fandt man, at en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stigning i sodpartikler (fra et niveau på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) for personer nær trafikerede veje var sammenkædet med en forøgelse i hjertekar- og luftvejsdødsfald på 71%. Dødsfald som følge af andre årsager var lettere forøget, men ikke i et omfang der var statistisk sikkert (Hoek et al. 2002).

I Undersøgelsen af Pope et al. 2002 er stigningen i hjertekardødsfald og luftvejsdødsfald øget med 9% pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5}, mens den hollandske undersøgelsen af Hoek et al. (2002) blandt 55-69 årige finder en 95% forøgelse i denne type dødsfald som følge af bopæl nær ved trafikerede veje. Denne væsentligt større effekt kan dels forklares ved, at den selekterede aldersgruppe i større omfang er følsom overfor partikelforureningen, men måske også ved at personerne som følge af bopæl i nærhed ved trafikken i betydeligt højere grad har været udsat for ultrafine forbrændingspartikler, idet relativt ensartede niveauerne af fine partikler i de to undersøgelser ikke umiddelbart skulle give anledning til store forskelle i effekter.

En ny Irsk undersøgelse har fulgt luftforureningen og dødsfald i Dublin m.h.p. at vurdere effekten af forbud mod salg af kul til privat opvarmning som blev indført i 1990. Antal dødsfald i en seksårig periode før forbuddet blev sammenlignet med antal dødsfald i en seksårig periode efter og sat i relation til luftforureningsniveauerne. Efter forbuddet sås et fald i luftforureningen for svovldioxid og for sodpartikler, hvor gennemsnitsniveauerne for svovldioxid faldt fra $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og gennemsnitsniveauet for sod faldt fra $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til $14,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, svarende til et fald på 70%. I sammenhæng med denne reduktion, fandt man et fald i dødeligheden på 5,7%, hvor antal af hjertekar-dødsfald faldt med 10,3% (243 dødsfald pr. år) og dødsfald som følge luftvejslidelser faldt med 15,5% (116 dødsfald pr. år). Forfatterne vurderede ikke at andre forhold såsom forskelle i temperatur, rygevaner, sygdoms epidemier etc. havde nogen afgørende betydning for dette meget hurtige fald i dødelighed, og konkluderede at faldet i dødeligheden måtte tilskrives den forbedrede luftkvalitet, især m.h.t. sodpartikler.

² Ved at se på øget dødelighed hos personer henholdsvis over og under 75 år fandt man, at dødeligheden blandt personer på 75 år eller derover steg med 10% pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5}, mens stigningen for befolkningen under 75 år var på 5 % (Thurston et al. 2003).

De nævnte undersøgelser vedrørende langtidsudsættelse for partikler peger således på væsentligt større effekt på dødsfald pr. 10 mg/m³ partikler end ved kortvarige forhøjede partikelniveauer. Dette indikerer at partikelforureningen ikke blot fremskynder dødsfald nogle få dage, men at den medfører en generel forringelse af helbredet, således at en større andel af borgerne bliver bragt i højrisikogrupper og dermed bidrager til en øget dødelighed i befolkningen.

Beregninger ud fra de amerikanske data peger på et fald i den forventede middellevealder for hele befolkningen på ca. 1 år for hver gang det gennemsnitlige PM_{2,5} niveau stiger 10 µg/m³ (Brunekreef 1997; Brunekreef & Holgate 2002). Lippmann (1998) anfører at for de personer som rammes af den nedsatte levertid mister ca. 14 år (beregningsgrundlaget ikke anført!), mens en norsk vurdering angiver 7 tabte leveår som et gennemsnit for de dødsfald der skyldes partikelforureningen (SFT 2000).

sygelighed

WHO (2000) anfører følgende sammenhænge mellem langvarig udsættelse for partikler (år) og effekter:

Effekt	Procentvis stigning per 10 mg/m ³	
	PM _{2,5}	PM ₁₀
Bronkitis blandt børn	+ 34%	+ 29%
% ændring i FEV₁ hos børn	- 1,9%	- 1,2%
% ændring i FEV₁ hos voksne	-	- 1,0%

Endvidere angiver WHO (2000) et estimat over, hvad niveauer på 10 og 20 µg/m³ PM_{2,5} over baggrundsniveau ville betyde mht. antallet af børn med bronkitissymptomer og børn med nedsat lungefunktion.

Effekt	Øget PM _{2,5} niveau over baggrundsniveau:	
	10 mg/m ³	20 mg/m ³
Øget antal børn med Bronkitissymptomer	ca. 3350	ca. 6700
Øget antal børn med reduceret lungefunktion (under 85% af normal lungefunktion)	ca. 4000	ca. 8000

Beregningsen er foretaget med udgangspunkt i en befolkning på 1 million personer, hvoraf 200.000 er børn.

Horak et al. (2002) undersøgte knap 975 skoleelever fra forskellige egne af Østrig og fandt ved måling af lungefunktionen hos børnene 2 gange årligt i 3 år, at børn udsat for højere PM10 niveauer havde dårligere udviklet lungefunktion i forhold til børn ved lavere PM10-niveauer.

I Schweiz fandt man blandt 2500 voksne i områder med årsmiddelværdier fra 10 til 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10, at en 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ stigning i gennemsnitsniveau var forbundet med et fald i lungefunktionsmålene FEV₁ på 1,6% og i FVC på 3,4% (Heinrich et al. 2002).

I det tidligere Østtyskland er der efter sammenlægningen med Vesttyskland set et markant fald i partikler og svovldioxid. I en række regioner er der foretaget undersøgelser, hvor der er fundet en meget betydelig nedgang i hyppigheden af ikke-allergiske luftvejslidelser og –symptomer hos grupper af skolebørn, der dels blev undersøgt lige efter sammenlægningen og dels nogle år senere. (Heinrich et al. 2002)

6.3 Tærskelværdi

WHO (2000) angiver ingen vejledende grænseværdier for partikler, da der ikke kan fastsættes et nedre eksponeringsniveau uden sundhedsskadelige effekter, hverken i forbindelse med tidsserieundersøgelserne eller undersøgelserne vedrørende lang tids udsættelse.

Daniels et al. (2000) undersøgte dosis-respons kurvernes forløb for partikelniveauernes effekt på dødelighed for de 20 største byer i USA. Der kunne ikke påvises nogen nedre grænse uden påvirkning af dødelighed. Ved opsplitning i dødelighed af forskellige årsager fandt man, at det specifikt var dødelighed som følge af luftvejslidelser og hjerte-kar-sygdomme, der var uden nogen nedre tærskel. Dødsfald af andre årsager syntes at have en tærskelværdi på omkring 50-65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, hvorunder partikelforureningen ikke havde indflydelse på disse andre dødsårsager. Forfatterne angiver at den bedste dosis-responsbeskrivelse kunne opnås ved at anvende en simpel lineær sammenhæng.

HEI (2000) anfører imidlertid i deres analyse over 90 byer, at der var en tendens til at dosis-respons m.h.t. sygelighed og dødelighed var højere ved variationer i PM10 niveau ved lavere niveauer (under 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) end ved tilsvarende partikelvariationer over dette niveau, altså et stejlere dosis-responsforløb ved lave eksponeringsniveauer.

Et stejlere dosis-responsforløb ved de lavere niveauer er også fundet i forbindelse med lang tids udsættelse, idet man i den største undersøgelse omfattende 150 byområder fandt større effekt ved de lavere niveauer i dag i forhold til de højere niveauer tidligere. Dette forhold kan også være en følge af en ændret sammensætning af forureningen, hvor nutidens forurening medfører et større skadeligt potentiale end tidligere.

I forbindelse med diskussionen om tærskelværdi er det i øvrigt væsentligt at holde sig for øje, at der altid vil eksistere et vist naturligt baggrundsniveau bestående bl.a. af vandopløselige salte, af mineralske støvpartikler og af organiske partikler stammende fra vegetationen. Sådanne baggrundspartikler anses for mindre sundhedsskadelige end forbrændingspartiklerne.

6.4 Følsomme og udsatte grupper

Personer med hjerte-kar-sygdomme og kroniske luftvejslidelser er såvel i tidsserieundersøgelserne samt i undersøgelser, der belyser lang tids udsættelse, fundet at være særlige risikogrupper. Disse

grupper omfatter hver især ca. ¼ million danskere. Især de ældre grupper af befolkningen, men også de mindre børn er fundet at være i risiko for partikelforureningens effekter. Hos børn er flere faktorer af betydning for en øget følsomhed. Hos spædbørn er lungerne stadig i et følsomt udviklingsstadium, og børn indånder pr. kg legemsvægt større luftmængde end voksne, hvilket ved et givent partikelniveau vil medføre større udsættelse end hos voksne.

Personer med bopæl tæt ved trafikerede veje må ud fra de tilgængelige data anses for en særlig risikogruppe.

Også andre grupper vil være særligt udsatte for trafikforureningen i byer, fx chauffører, cykelbude, gadehandlere og andre der opholder sig i miljøer med tæt trafik, samt personer med højt aktivitetsniveau og øget vejtrækning (kondiløbere, legende børn).

Epidemiologiske data vedrørende dosis-respons giver ikke altid et entydigt billede vedrørende betydningen af de grovere partikelfraktioner. Generelt synes det dog m.h.t. dødelighed og sygelighed at effekten pr. masseenhed i luften er stigende i rækkefølgen TSP, PM10, PM2,5. I relation til helbredseffekter anses ultrafine forbrændingspartikler (sod) at være betydende. Dosis-responsammenhænge i forbindelse med dag-til-dag variationer set i forhold til dosisresponsammenhænge i tilknytning til langvarig udsættelse indikerer at reducere af de gennemsnitlige niveauer i højere grad end reducere af kortvarige topniveauer vil medføre de største sundhedsmæssige gevinster. Der synes ikke at være en nedre tærskelværdi for de sundhedsskadelige effekter som dødelighed forårsaget af luftvejslidelser og hjerte-kar-sygdomme. Tværtimod angives i visse tilfælde stejlere dosis-responsammenhænge ved de lavere niveauer som er relevante for de danske byområder.

Befolkningsundersøgelserne peger på børn, ældre og personer med hjerte-kar-sygdomme og kroniske luftvejslidelser samt særligt udsatte personer (dvs. bopæl ved eller ophold/ færden tæt ved trafikeret vej) som risikogrupper i forbindelse med partikelforureningen. Undersøgelser der baserer vurderingerne på baggrundsmålinger og effekter i den generelle befolkning anses at undervurdere partikelforureningens effekter i undergrupper der er særligt udsatte og i undergrupper der er særligt følsomme.

7. Vurderinger af befolkningsmæssige helbredseffekter og samfundsøkonomiske konsekvenser

7.1 Betydningen af øget dødelighed og tabte leveår.

Som nævnt ovenfor anses partikelforureningen ikke udelukkende at fremskynde dødstidspunktet nogle få dage. Øget dødelighed er ikke kun fundet hos den ældre del af befolkningen, men også i andre aldersgrupper, bl.a. børn.

Øget dødelighed knyttet til partikelforurening er overvejende forårsaget af et stigende antal dødsfald som følge af luftvejslidelser (astma, kronisk bronchitis, luftvejsinfektioner og lungecancer) og hjertekarsygdomme, hvor partikelforureningen i sidstnævnte tilfælde fremmer risikoen for slagtilfælde, herunder blodpropper. M.h.t. sidstnævnte kan det anføres, at fremkomst af en blodprop i høj grad kan være en alt eller intet effekt, således at hvis begivenheden hos en risikoperson ikke indtræder i dag, så kan der gå mange år før den pludselig opstår. For visse kroniske luftvejslidelser fx astma gælder, at disse ofte følger et cyklisk forløb med gode og dårlige

perioder, hvor sammenfald mellem flere betydende faktorer samtidig (fx luftforurening) kan være afgørende for at et dødeligt anfald fremprovokeres (MM & SST 2000).

Herhjemme optræder årligt ca. 12.000 dødsfald pr. 1 million indbyggere. De lidelser, hvor partikelforureningen især har indflydelse er i betydeligt omfang årsag til disse dødsfald, idet hjertekar-sygdomme, apopleksi og alderdomssvaghed, luftvejslidelser, samt lungekræft, hver især tegner sig for ca. 25%, 14%, 10% og 6% af det samlede antal dødsfald.

I et forsøg på at vurdere partikelforureningens effekt på tabte leveår har man ud fra de to amerikanske befolkningsundersøgelser vedrørende effekterne af langvarig partikeludsættelse beregnet, at pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5} påvirkes den forventede middellevetid for hele befolkningen med ca. 1,1 år (Brunekreef 1997; WHO 1996). Ved beregningen tages udgangspunkt i at $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5} medfører en 10% stigning i dødelighed (gennemsnit for de to undersøgelser) og den øgede dødelighed indregnes for alle årgange mellem 25 og 90 år.

WHO (2000) udtrykker resultatet for en tilsvarende beregninger lidt anderledes, idet man med tager udgangspunktet i en fødselsårgang på 100.000 individer og for $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ øgning af PM₁₀ beregner, at når årgangen bliver 50 år, så vil antallet af overlevende som følge af partikelforureningens bidrag være reduceret yderligere med 383, ved 60 år yderligere med 1250 og ved 70 år yderligere med 3148 i forhold til et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lavere niveau.

Pope (2001) beregner med samme metode et worst-case estimat og anvender en øget dødelighed på 25%, der er forskellen i dødelighed mellem den mest og mindst forurenende by i USA. Såfremt den øgede dødelighed gør sig gældende lige fra fødslen medfører forureningen et tab på 3,1 år i den forventede gennemsnitlige levetid for befolkningen. Antages den øgede dødelighed først at gøre sig gældende efter 45 års alderen medfører partikelforureningen et tab på 2,5 år i den forventede levetid. Til sammenligning anfører forfatteren, at en fordoblet dødelighed som følge af cigaretrykning vil medføre 8,6 tabte leveår.

Nevalainen & Pekkanen (1998) anvender en tilsvarende metode til at beregne partikelforureningens indflydelse på levealderen i Finland. Ved anvendelse af den øgede dødelighed for hver af de to amerikanske undersøgelser beregnedes et tab i forventet levealder for den finske befolkning på 0,7 henholdsvis 1,4 år.

Rabl (2001) beregner partikelforureningens effekt i tabte leveår. Ved at anvende effekten på dødelighed for den største af de amerikanske undersøgelser beregnedes 6000 tabte leveår pr. år for 1 million mennesker pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stigning i PM_{2,5}. Såfremt data vedrørende spædbørnsdødelighed også blev indregnet blev tallet 10% højere.

Leksell & Rabl (2001) beregnede partikelniveauernes effekt på tabte leveår under anvendelse af en ny dynamisk model, som gjorde det muligt at tage hensyn til ændringer i de gennemsnitlige partikelniveauerne over tid. Forfatterne fandt ved at anvende data fra den største af de amerikanske befolkningsundersøgelser, at effekten pr. $\mu\text{g}/\text{m}^3$ var forholdsvis kontant uanset hensyntagen til disse ændringer over tid og at effekten således kunne beskrives ved en lineær sammenhæng i forhold til partikelniveauet. Ved denne metode kunne beregnedes, at en ændring i det gennemsnitlige niveau på $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5} over et år modsvarede en ændring i forventet levetid hos en person på 0,22 dage. For en ændring på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ over et år ville dette således for en million mennesker svare til en ændring i levetid på 6000 år.

Såfremt $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5} over et år medfører et tab i levetid på 2,2 dage pr. person pr år, betyder dette, at der over en livstid på en 70 årig periode mistes 154 dage sv.t til 0,4 år for en person. Dvs. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5} over livstid modsvarer et fald i befolkningens forventede levealder på 0,4 år ud fra denne ovenstående beregningsmetode (dvs ca. den halve effekt i forhold til Brunekreef's beregninger). Hvis man antager at det kun er en vis andel af befolkningen der oppebærer den øgede risiko for at dø af luftforureningen, vil denne andel være udsat for et tilsvarende højere tab i forventet levealder.

US EPA (1999) anfører i en rapport til kongressen vedrørende cost-benefit vurdering af tiltag på luftforureningsområdet, hvad forbedringen i partikelniveauerne betyder for dødeligheden i forskellige aldersgrupper. Det vurderes, at efterlevelse af reguleringen pr. 2010 vil medføre 23.000 færre dødsfald pr. år i USA. Af disse dødsfald vil 1% spares i aldersgruppen 30-34 (forventet restlevetid i denne gruppe. 48 år) , 4% i gruppen mellem 35-44 (forventet restlevetid 38 år), 6% i gruppen 45-54 (forventet restlevetid 29 år), 12 % i gruppen 55-64 (forventet restlevetid 21 år), 24% i gruppen 65-74 (forventet restlevetid 14 år), 30% i gruppen 75-84 (forventet restlevetid 9 år), og 24% i gruppen over 85 (forventet restlevetid 6 år).

Beregningerne er foretaget ud fra dosis-responsammenhængen i den største af de to amerikanske undersøgelser vedr. langtidsudsættelse for luftforurening. Det anføres, at det også ville være fagligt korrekt at anvende dosis-respons fra den mindre undersøgelse, og at dette ville medføre noget større tal.

Det gennemsnitlige niveau af partikelforureningen i Danmark må anses at påvirke den forventede levealder af befolkningen. De udenlandske beregninger der er udført m.h.t. tabt levealder angiver et tab i den forventede gennemsnitslevetid for befolkningen som helhed på 0,4-1,1 år pr. $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ PM_{2,5}. Det anses hovedsageligt at være blandt ældre og personer med hjertekar-sygdomme og kroniske luftvejslidelser hvor dødeligheden er påvirket, hvorfor påvirkningen i levetid hos disse undergrupper er forholdsmæssigt større end et befolkningsvægtet gennemsnit. Øget dødelighed hos børn vil selvsagt have stor betydning for antal tabte leveår.

På grund af aldersfordelingen i vort samfund bliver der til stadighed flere ældre i Danmark, hvorfor luftforureningsniveauerne i dag er med til at forøge andelen af følsomme personer, således at der kan forventes flere følsomme, ældre fremover.

Yderligere anses andelen af personer med luftvejsallergi at være i stigning, hvilket også fremover vil øge antallet i denne risikogrube. Inden for risikogrupperne med kronisk obstruktive lungelidelser (KOL) har Danmark p.t. verdensrekord i dødsfald forårsaget af disse lidelser. Med hensyn til hjertekarsygdomme er tendensen imidlertid modsat, idet dødsfald forårsaget af disse lidelser er faldende, som følge af betydeligt fald hos især den mere velstillede del af befolkningen.

7.2 Betydningen af øget sygelighed

Såvel tidsserieundersøgelserne som undersøgelserne der omfatter sammenligninger mellem befolkninger, der vedvarende er udsat for forskellige partikelniveauer finder sammenhæng mellem partikelniveauer og øget sygelighed. De effekter der hyppigst beskrives, er øget forekomst af luftvejssymptomer, hoste, brug af astmamedicin, vejrtrækningsbesvær, samt fald i lungefunktion. Endvidere er partikelforureningen knyttet til et øget antal indlæggelser forårsaget af kroniske

luftvejslidelser (astma og bronchitis) og hjerte-kar-sygdomme. Øget forekomst af luftvejsinfektioner og øget forekomst af lungecancer er ligeledes relateret til partikelforureningen. Hos børn er der endvidere konstateret sammenhæng mellem partikelforurening og påvirkning af tilvækst i lungefunktion.

I øjeblikket er de dokumenterede effekter primært relateret til forværring af symptomer hos personer der i forvejen lider af luftvejslidelser og hjertekarsygdomme. En sådan forværring af eksisterende lidelser må på befolkningsniveau anses at medføre, at en andel af befolkningen får forværret deres tilstand, dvs. bliver mere syge og har større risiko for alvorlige og dødelig følgevirkninger.

Det er vanskeligt ud fra det foreliggende grundlag at sige noget vedrørende omfanget af forværringen af eksisterende sygdomme og i hvilken udstrækning dette rammer en bred gruppe eller det primært omhandler en mindre gruppe der således belaster sundhedssystemet særligt hårdt med gentagne indlæggelser etc. Den øgede dødelighed som følge af luftvejslidelser og hjerte-kar-sygdomme i relation til vedvarende partikelforurening tyder dog på at effekterne rammer forholdsvis bredt i befolkningen således at en betydelig andel af befolkningen disponeres. Et andet aspekt der er mindre belyst i befolkningsundersøgelserne er om partikelforureningen medfører nye tilfælde med luftvejslidelser og hjerte-kar-sygdomme.

Dyreforsøg peger på at partikelforureningen kan virke fremmede for udvikling af luftvejsallergi, og at den kan påvirke udviklingen af åreforkalkning. Man har dog ikke fra de hidtidige befolkningsundersøgelser kunne påvise, at luftforureningen i sig selv skulle medføre en stigning i forekomsten af allergiske luftvejslidelser.

For danske forhold vides, at den ældre del af befolkningen, og derved den sårbare andel, er stigende, hvorfor det vil det være en fordel at påbegynde reduktionen af PM så tidligt som muligt. Dette begrundes såvel i de akutte effekter som i det faktum at den fulde effekt af en reduktion først vil slå fuldt igennem, når effekten på de kroniske skader også er indtrådt. For hjertekarsygdomme ved man fra rygestop, at risikoen for at få coronar sygdom først er nede på normalt niveau efter ca. 3-5 år. For lungerne ser ud til at det øgede rygebetingede tab af lungefunktion ikke genvindes ved rygestop, og at dette øgede tab i lungefunktion bibeholdes gennem det fortsatte aldersbetingede tab af lungefunktion.

I Danmark skønnes ca. 230.000 personer at lide af kroniske obstruktive lungesygdomme og astma og ca. 260.000 personer at lide af hjertekarsygdomme (der vil være et vist overlap mellem disse grupper). I alt tegner hjertekarsygdomme sig for ca. 1.026.000 sengedage på de danske hospitaler, mens luftvejslidelserne er årsag til ca. 440.000 sengedage, hvilket i alt udgør ca. 20% af det årlige sengedagsforbrug.

I 2001 var udgifterne til lægemidler inden for hjerte-kar-sygdomme opgjort til 1.729 millioner kroner, mens udgifter til astmamidler androg 827 millioner kroner.

Forskellen mellem at reducere partikelniveauet nu i forhold til om fx 3 år vurderes ikke umiddelbart at ændre på omfanget af de helbredsmæssige gevinster, men blot at medføre en tidsforskydning. Da den ældre del af befolkningen er stigende, og da der er kroniske effekter af luftforureningen, som netop rammer denne gruppe og øger dens følsomhed, vil det være en fordel at påbegynde reduktionen af PM så tidligt som muligt for denne gruppe.

7.3 Vurderinger af samfundsmæssige konsekvenser

En forskergruppe fra Frankrig, Østrig og Schweiz præsenterede i en WHO-rapport i 1999 en opgørelse over partikelforureningens betydning for befolkningssundheden og de samfundsøkonomiske konsekvenser heraf. I undersøgelsen anvendtes en dosis-respons-sammenhængen fra den største amerikanske undersøgelse, hvor man omregnede PM_{2,5} dosis-respons til PM₁₀ dosis-respons da det luftforureningen for de tre lande er opgjort i PM₁₀. Dette sv.t. at en 10 µg/m³ stigning i PM₁₀ medfører en øget årlig dødelighed på 4,3%.

I undersøgelsen blev 7,5 µg/m³ PM₁₀ anset for et naturligt baggrundsniveau, hvorfor effekterne kun blev beregnet som følge af partikelniveauer over dette baggrundsniveau. For de tre lande beregnedes ud fra de aktuelle partikelniveauer som befolkningerne var udsat et øget antal årlige dødsfald i forhold til baggrundsniveauet på 5.600 for Østrig (8,1 millioner indbyggere) , 31.700 for Frankrig (58,7 millioner indbyggere) og 3.300 for Schweiz (7,4 millioner indbyggere), svarende til mellem 340 og 370 årlige dødsfald pr. 1 million indbyggere i de tre lande, eller 6% af den samlede årlige dødelighed. Trafikken blev ud fra dens bidrag til partikelforureningen (PM₁₀) anset at bidrage med mellem 42 og 55% af den forøgede dødelighed.

Forfatterne prissatte herefter de samfundsøkonomiske omkostninger i forbindelse med disse dødsfald ud fra metode om befolkningens betalingsvillighed sv.t. 0,9 millioner Euro pr. dødsfald (aldersjusteret i forhold til et udgangspunkt på 1,4 millioner Euro pga. dødsfaldene hovedsageligt indtræder hos ældre).

For Østrig beregnedes de årlige omkostningerne som følge af dødsfaldene sig til 5.019 millioner Euro, for Frankrig 28 523 millioner Euro, og for Schweiz til 2983 millioner Euro. Partikelbidraget fra trafikken blev vurderet til at andrage mellem 42 og 53% af disse omkostninger.

Også partikelforureningens effekter m.h.t. sygelighed og prissætning heraf blev vurderet. De samfundsøkonomiske omkostninger som følge af sygelighed androg ca. 1/3 af omkostningerne i forbindelse med dødelighed (Seethaler 1999).

For Norge (4,5 millioner indbyggere) har man tilsvarende ud fra dosis-respons-sammenhængen fra de to store amerikanske langtidsundersøgelser beregnet at PM₁₀ niveauet er årsag til 2200 årlige dødsfald (ingen nedre tærskelværdi for effekt). Såfremt der blev indregnet en tærskelværdi på 7,5 µg/m³ som anført ovenfor i trelandeundersøgelsen var effekterne halveret. Antallet af tabte leveår pr. dødsfald er angivet til 7 år. De totale samfundsøkonomiske omkostninger som følge af øget antal dødsfald og øget sygelighed i befolkningen blev opgjort til mellem 10 og 28 milliarder N-kroner, idet der ikke blev indregnet nogen tærskelværdi for effekt, mens omkostningerne lå mellem 3 og 16 milliarder N-kroner med tærskelværdi indregnet. Omkostningerne som følge af for tidlige dødsfald var klart dominerende over for omkostningerne i forbindelse med sygelighed i opgørelsen. De nedre niveauer for omkostningerne er resultatet ud fra en værdisætning af tabte leveår, mens de øvre omkostningsniveauer repræsenterer værdisætning af et statistisk liv ud fra befolkningens betalingsvillighed (SFT 2000).

Miljøministeriet og Sundhedsstyrelsen vurderede ud fra målinger af de aktuelle partikelniveauer i byer (gademålinger) at en reduktion i partikelniveauet med ca. 1/3, dvs. en reduktion med 5 µg/m³ PM_{2,5} ville medføre et fald i dødelighed på 3,5% i byområder sv.t. ca. 400 sparede dødsfald pr. 1 million byboere. Endvidere vurderedes at en sådan reduktion blandt 200.000 børn ville medføre ca. 1700 færre børn led af bronkitissymptomer og at 2000 færre børn fik nedsat lungefunktion. Endvidere kunne forventes et fald i antal lungekræfttilfælde. Vurderingen blev foretaget ud fra dosis-respons-sammenhænge angivet af WHO (MM & SST 2000).

I Storbritannien (59,7 millioner indbyggere) har den statslige komite vedrørende helbredseffekter af luftforurening (Committee on the Medical Effects on Air Pollutants) tilsvarende vurderet at dag-til-dag variationer i PM10-niveauer i byområder årligt medfører 8.100 dødsfald og 10.500 hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser. Det anføres, at hvis man skulle tage højde for lang tids udsættelse for partikler og anvende dosis-respons-sammehængen fra de amerikanske undersøgelser, ville effekterne blive betydeligt større (Department of Health 1998).

I Holland (15,9 millioner indbyggere) har man netop afsluttet en vurdering af helbredseffekterne af partikelforureningen. Ved udelukkende at forholde sig til dødelighed som følge af dag-til-dag variationer i partikelniveauerne beregnes partikelforureningen at medfører 1700 – 3000 årlige dødsfald årligt. Såfremt effekten af lang tids påvirkning af de gennemsnitlige partikelniveauer i Holland beregnes v.h.a. dosis-respons fra de amerikanske undersøgelser (som i undersøgelserne ovenfor) anslås partikelforureningen at medføre mellem 10.000 og 15.000 dødsfald årligt (RIVM 2002).

I forbindelse med det europæiske samarbejde APHEIS er der blevet indsamlet data vedrørende partikelniveau (PM10 og sod) og dødelighed i 26 større europæiske byer. Byerne omfattede fra Tel Aviv og Madrid i syd til Stockholm og Dublin i nord. Toulouse i Frankrig havde den laveste dødelighed på 456 årlige dødsfald pr. 100.000 indbyggere, mens størst dødelighed fandtes i Bucharest med 1127 årlige dødsfald pr. 100.000 indbyggere. Ud fra dødelighedstallene blev det beregnet at en årlig reduktion m.h.t. PM10 på $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ville medføre et reduceret antal dødsfald på mellem 13 og 32 pr. 100.000 indbyggere afhængigt af de årlige dødsrater i byerne. Ved en tilsvarende reduktion af de daglige niveauer beregnedes 2 til 5 sparede dødsfald pr. år pr. 100.000 indbyggere som følge af gevinsten for akutte effekter. Der observeredes således en ca. 6 gange større gevinst, når de langvarige effekter blev inddraget. For sod blev en reduktion af det daglige niveau på $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beregnet til at medføre 2-4 reducerede dødsfald pr. år pr. 100.000 indbyggere i byerne. I vurderingerne anvendtes tilsvarende dosis-repsonssammenhænge som i WHO-trelandeundersøgelsen (APHEIS 2002).

Palmgren et al. (2000) anvendte samme dosis-repons-sammenhæng som i WHO's trelandeundersøgelse til vurdering af de helbredsmæssige følger af luftforureningen i Danmark. PM10 niveauerne (gennemsnitsniveau på $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10) vurderes, under forudsætning at ingen nedre tærskel eksisterer, at medføre 5000 årlige dødsfald i Danmark, 3300 ekstra hospitalsindlæggelser som følge af hjerte-kar-sygdomme og 2250 ekstra hospitalsindlæggelser som følge af luftvejssygdomme, 2,7 millioner persondage med begrænset aktivitet som følge af luftvejssygdomme og 210.000 astmaanfald hos personer over 15 år og 28.000 astmaanfald hos personer under 15 år.³

Undersøgelsen fandt kun yderst marginal påvirkning af det gennemsnitlige PM10-niveau ved at montere partikelfiltre på alle tunge dieselkøretøjer, idet dieseludstødning består af ultrafine partikler som kun udgør en forsvindende lille vægtmæssig andel af PM10. Såfremt de helbredsmæssige gevinster alene skulle relateres til denne vægtmæssig reduktion af PM10, kunne det beregnes, at man ville opnå en reduktion med 22 sparede dødsfald pr. år ved at montere partikelfiltre. Såfremt man modsat antog at antallet af ultrafine partikler alene var betydende for de sundhedsskadelige effekter, vurderede man at en reduktion på 33% i den samlede emissionen af ultrafine partikler i byområder som følge af montering af dieseliltre på tunge dieselkøretøjer

³ Ved vurdering af en nedre tærskel sv.t. et formodet ikke-menneskeskabt baggrundsniveau på $7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 vil effektberegninger for den menneskeskabte andel (ca. $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) udgøre ca. 2/3 af de angivne tal.

medføre ca. 1250 sparede dødsfald pr. år, samt en reduktion i den ovenfor anførte sygelighed med ca. 25% (Palmgren et al., 2000; Raashou- Nielsen et al., 2002).

Angivelse af det meget store interval for sundhedsmæssige gevinster (fra 22 og op til 1250 sparede dødsfald pr. år) er en følge af, at viden vedrørende betydningen af de enkelte delkomponenter i partikelforureningen er meget begrænset, og det anføres, at man må formode at effekten af de ultrafine partikler er ansvarlig for en meget større del af helbredseffekterne end deres masse antyder (Raashou-Nielsen et al. 2002).

Denne vurdering var udgangspunkt for Færdselsstyrelsens rapport (2001), hvor man søger at prissætte helbredsgevinster og omkostninger ved montering af partikelfiltre. I rapporten lægges hovedvægten på en omkostningsbaseret værdisætning af et dødsfald, idet omkostningerne opgøres til 1,5 millioner kr. pr. dødsfald. Med hovedvægten lagt på 22 sparede dødsfald (dvs. reduktionen i ultrafine partikler menes udelukkende at medføre sundhedsmæssige gevinster i forhold til deres vægtmæssige bidrag til PM10) opnås en sundhedsøkonomisk gevinst på 33 millioner kr., hvortil der lægges 16 millioner kroner som følge af reduktioner i sygeligheden. Denne gevinst skal ses over for en udgift på 1,5 – 2,0 milliarder kr. til montering af partikelfiltre på tunge køretøjer.

Hvis der imidlertid tages udgangspunkt i ca. 1000 sparede dødsfald (dvs. ultrafine partikler anses for at være hele årsagen til sundhedsskader) opnås en sundhedsmæssig gevinst på 2,2 milliarder kroner.

Såfremt et dødsfald prissættes ud fra WHO's angivelse for betalingsvillighed (7,4 millioner pr. dødsfald) øges værdien for de sundhedsøkonomiske gevinster til 9 milliarder kr. årligt.

Efterfølgende har gruppen bag de sundhedsmæssige vurderinger i lyset af nyere undersøgelser opdateret deres vurdering, idet man nu anvender dosis-reponsammenhængen for PM_{2,5} direkte fra den opdaterede amerikanske undersøgelse af Pope et al., 2002. Dette øger det nedre estimat med 50%, således at der nu som et minimum regnes med 33 sparede dødsfald, mens det øvre estimat nu sættes til 1000 sparede dødsfald. Samtidig introduceres en ny beregningsmetode, hvor ny viden inddrages om effekter af ultrafine partikler (Erfurt-undersøgelsen af Wichmann et. al., se HEI 2001): I denne tidsserieundersøgelse er fundet et 4,6% fald i forbindelse med et 60% procents fald i antallet af ultrafine partikler. Denne dosis-respons for ultrafine partiklers effekter anvendes nu på danske forhold, idet man i de nye beregninger skønner at montering af partikelfiltre på tungekøretøjer vil medføre en reduktion af det samlede udslip af ultrafine partikler på 20% i byområderne. Et fald på 20% sidestilles ud fra undersøgelsen med en reduktion i dødelighed på 1,5%. En sådan reduktion blandt 3 millioner byboere i Danmark, hvor der skønsmæssigt dør 30.000 pr år, vurderes at svare til en reduktion på ca. 450 dødsfald pr. år (Palmgren et al. 2002).

Denne gevinst må anses at optræde umiddelbart ved reduktionen af de ultrafine partikler, idet udgangspunktet for beregningerne som nævnt er effekterne som følge af dag-til-dag variationer i partikelniveauerne.

Sidstnævnte beregning er foretaget ud fra dosis-responsmål fra en enkelt undersøgelse hvorfor den må vurderes med forsigtighed. Imidlertid må estimatet på 450 sparede dødsfald alligevel anses som mere sandsynligt og troværdigt, end de hver især meget usandsynlige yderestimer på 33 henholdsvis 1000 sparede dødsfald. At de ultrafine partikler har væsentligt større betydning end deres ringe massebidrag til PM_{2,5} og PM₁₀ tilsiger understøttes af den nye undersøgelse af Hoek et al. (2002), hvor vedvarende partikeksposering nær trafikerede veje (dvs. hvor eksponeringen af ultrafine partikler er høj) netop bidrager til at give en betydelig højere effekt end PM₁₀-niveauet umiddelbart giver anledning til at formode.

Som en kommentar til det nedre estimat på 33 sparede dødsfald kan nævnes, at dette under anvendelse af data vedrørende dosis-respons for den trafikrelaterede del PM_{2,5} (Laden et al. 2000) kan sættes til ca. 70 sparede dødsfald, idet undersøgelsen af Laden et al. (2000) fandt at dosis-respons for den andel af PM_{2,5}, der stammer fra trafik er mere end dobbelt så stor som dosis-respons for det samlede PM_{2,5} niveau.

Der er således en generel tendens til at tilskrive de ultrafine partikler fra trafikudstødning og andre forbrændingsprocesser en selvstændig betydning for de skadelige effekter. Vurderes den helbredsmæssige betydning af disse bidrag vil udgangspunkt i baggrundsniveauer for PM_{2,5} eller PM₁₀ undervurdere effekterne af to grunde. Dels vil en vægtbaseret dosis-reponsammenhæng være uegnet, da de ultrafine partikler kun udgør en forsvindende del af massen, og dels vil PM_{2,5} eller PM₁₀ målene i baggrunden være et meget ringe eksponeringsindikator for de ultrafine partikler, da befolkningen overvejende udsættes for disse i umiddelbar nærhed af kilden.

Dette må have in mente når man vurderer den nyligt udarbejdede rapport ”Samfundsøkonomisk vurdering af partikelforurening” fra Institut for Miljøvurdering (IMV 2002).

I denne rapport værdisættes hvert enkelttilfælde af de helbredsmæssige effekter, dvs. prisen pr. dødsfald, pr. indlæggelse, pr. dag med astma- og bronkitissymptomer, og pr. tabt arbejdsdag. Værdisætningen sker dels ud fra en omkostningsbaseret metode, der tidligere har været anvendt af Færdselsstyrelsen (Færdselsstyrelsen 2001), og dels ved en metode angivet af WHO, der indebærer en noget højere prissætning, idet man her har forholdt sig til befolkningens betalingsvillighed for at undgå at blive udsat effekterne.

Som for de udenlandske opgørelser er prissætningen m.h.t. dødsfald den mest betydende post inden for den økonomiske opgørelse over sundhedsskaderne.

Tunge dieselmotorer angives at stå for 33% af trafikens partikelemission i byer. Når udgifter til montering af partikelfiltre på ca. 60.000 tunge køretøjer var modregnet, fandt rapporten, at baseret på betalingsvillighed ville det rent samfundsøkonomisk kunne betale sig at montere filtre på de tunge køretøjer, hvis dette medførte et fald i årlige dødsfald på 51 eller mere. Ud fra den omkostningsbaserede metode hvor værdisætningen var sat noget lavere for sundhedsskaderne optrådte der først samfundsøkonomiske gevinster, hvis der kunne spares mere end 204 årlige dødsfald.

Varebiler angives at bidrage til 55% af trafikens partikelemission i byer. De tilsvarende tal for at opnå samfundsøkonomiske gevinster ved at montere partikelfiltre på ca. 244.000 varebiler blev opgjort mindst 99 sparede dødsfald (betalingsvillighed) henholdsvis mindst 425 sparede dødsfald (omkostningsbaseret). For montering af partikelfiltre på ca. 5400 taxaer var grænserne for samfundsmæssig gevinst 4 sparede dødsfald (betalingsvillighed) henholdsvis 17 sparede dødsfald (omkostningsbaseret).

Sammenholdes disse beregninger med den opdaterede sundhedsvurdering i forbindelse med partikelfiltre på tunge køretøjer (Palmgren et al. 2002), hvor reduktion i udslippet af ultrafine partikler beregnes at spare ca. 450 dødsfald pr. år, så fremgår det, at der er samfundsøkonomisk gevinst ved at montere partikelfiltre på tunge køretøjer ved begge beregningsmetoder (betalingsvillighed og omkostningsbaseret).

Tilsvarende gør sig gældende for montering af partikelfiltre på varevogne, idet disse bidrager med 66% højere partikelemission end de tunge køretøjer, hvorfor de sundhedsmæssige gevinster vil ligge højere end for de tunge dieselmotorer.

Opgørelserne over de sundhedsmæssige gevinster ved at reducere udslip og dermed befolkningens udsættelse for ultrafine dieselpartikler er usikre. Såfremt den sundhedsmæssige gevinst ved montering af partikelfiltre alene beregnes ud fra nedgangen i PM_{2,5} (sv.t. vægten af de ultrafine partikler) undervurderes effekten betydeligt. Dvs. der må regnes med væsentligt større effekt end de tidligere beregnede 33 sparede dødsfald pr. år ved montering af partikelfiltre på tunge dieseldrøjetøjer. Regnes udelukkende med, at antallet af ultrafine partikler er ansvarlige for alle skadeeffekter og at disse skader reduceres proportionalt med reduktion af udslippet af ultrafine partikler, vil denne beregningsmetode medføre en overestimering af de gavnlige effekter, beregnet til ca. 1000 sparede dødsfald pr år. På den baggrund synes en beregning baseret på et datasæt vedrørende dosis-responsammenhængen for ultrafine partikler, på trods af materialets begrænsede karakter, at angive en mere sandsynlig størrelsesorden for de sundhedsmæssige gevinster, idet der beregnes ca. 450 sparede dødsfald.

Ved opgørelse af de samfundsøkonomiske omkostninger ved øget sygelighed og dødelighed kan det konstateres at de beregnede beløb er meget afhængige af metoden for prissætningen. I alle former for beregninger synes øget dødelighed at belaste med de største samfundsøkonomiske omkostninger. Værdien af et menneskeliv er meget vanskelig at prissætte på en meningsfyldt måde, og valg af prissætningsmetode for dødsfald får således en afgørende betydning for udfaldet af de samfundsøkonomiske konsekvenser af luftforureningen.

8. Vurdering, konklusion og anbefaling

Dette afsnit er formuleret så det i videst muligt omfang besvarer de i indledningen stillede spørgsmål:

I hvilken udstrækning er der dokumentation for at der er en sammenhæng mellem partikelniveauer og effekter?

Sammenhængen mellem partikelforurening og sundhedsskader er påvist i et meget omfattende antal befolkningsundersøgelser, hvor der er opnået forholdsvis ensartede sammenhænge uanset variationer i undersøgelserne m.h.t. til tid og sted og i analysemetoder. Omend de biologiske mekanismer for årsagsvirkningssammenhængen ikke er fuldt klarlagt, foreligger der i dag en række laboratorieundersøgelser og forklaringsmodeller, der understøtter opfattelsen af en reel årsagsvirknings-sammenhæng. Der foreligger kun for et fåtal af andre miljøområder så veldokumenterede sammenhænge for sundhedsmæssig påvirkning som inden for partikel- og luftforureningsområdet. Såvel kvalitativt som kvantitativt opfylder befolkningsundersøgelserne på området i fuldt mål de valideringskriterier man anvender for underbyggelse af årsagssammenhænge.

Hvilke sammenhænge er der fundet mellem partikelniveauer i luften og effekter?

Partikelniveauer i luften er fundet at have påvirkning på dødelighed og sygelighed. Den øgede dødelighed er primært en følge af dødsfald forårsaget af kroniske luftvejslidelser og hjerte-kar-sygdomme, men øget dødelighed er også fundet som følge af lungecancer og øget dødelighed blandt spædbørn.

Påvirkning af sygelighed er påvist i form af øget antal hospitalsindlæggelser forårsaget af forværring af luftvejslidelser og hjerte-kar-sygdomme, samt i forbindelse med registrering af øget forekomst af luftvejsgener og -symptomer, og ved øget anvendelse af astmamedicin, ved forringet lungefunktion, og ved øget sygefravær.

Den gennemsnitlige partikeludsættelse over lang tid anses at betyde væsentligt mere for de skadelige effekter end kortvarige episoder med forhøjede partikelniveauer. En forskel på 10 µg/m³

i PM2,5 årsgennemsnittet modsvarer således en forskel i dødeligheden i befolkningen på 6%.

Hvad betyder undersøgelsesernes forskellige målemetoder for partikler i forhold til vurdering af helbredseffekter?

Anvendelse af forskellige målemetoder har medført øget forståelse, men også genereret nye spørgsmål i forbindelse med vurdering af partikelforureningens effekter. Forskellige målemetoder, kan være mere eller mindre repræsentative for befolkningens udsættelse, og vurdering af helbredseffekter må ses i sammenhæng hermed. Anvendelse af måledata for PM2,5 og PM10 fra faste målestationer, der måler baggrunds niveauer i byer, er relevante mål til anvendelse af vurderinger af helbredsmæssige effekter i befolkningen. For sodpartikler og ultrafine partikler vil målestationers data for disse fraktioner næppe udgøre et godt mål for befolkningens eksponering, idet nærhed af kilderne vil være af afgørende betydning for udsættelse.

Er der en nedre tærskelværdi?

Der er ikke fundet nogen nedre tærskelværdi for partikelniveauet med hensyn til de sundhedsmæssige påvirkninger som fx øget dødelighed forårsaget af luftvejslidelser og hjerte-kar-sygdomme. Tværtimod angives i visse tilfælde stejlere dosis-respons sammenhænge ved de lavere niveauer som er relevante for danske byområder.

Er der særlige egenskaber ved partiklerne der er afgørende for effekt fx kemisk indhold eller partikelstørrelse (grove, fine og ultrafine partikler), og hvad betyder de forskellige kilder til partikelforureningen?

Epidemiologiske undersøgelser har primært fundet helbredseffekter relateret til PM10 og PM2,5, da det er disse parametre, der er blevet målt. Der savnes bedre viden om i hvilken udstrækning partiklernes sammensætning eller særlige størrelsesfraktioner er af betydning for de observerede effekter. Det er således næppe sandsynligt at en enkelt partikelparameter kan relateres til de samlede helbredseffekter. Ud fra den eksisterende viden anbefales det ved regulatoriske tiltag især relevant at fokusere både på partikelmassekoncentrationen (PM10 eller PM2,5) og på ultrafine forbrændingspartikler. Dieselpartikler er særlig i fokus, dels er partiklerne ultrafine, og dels indeholder de en række kendte meget sundhedsskadelige stoffer. Endvidere er befolkningen pga. nærhed ved kilderne i høj grad udsat for disse partikler.

Sammensætningen af partikelforureningen i dag synes ikke at være mindre sundhedsskadelig end tidligere tiders partikelsammensætning, snarere tværtimod. Partikler bestående af vandopløselige salte og mineralholdigt jordstøv anses for mindre betydelige i sundhedsmæssig henseende.

Hvilken indflydelse har øget dødelighed på tabte leveår?

Ud fra de nordamerikanske data vedrørende dødeligheden ved forskellige partikelforureningsniveauer er der foretaget en række beregninger vedrørende betydningen med hensyn til tabte leveår. Disse beregninger angiver et tab i den forventede gennemsnitslevetid for befolkningen som helhed på 0,4-1,1 år pr. 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2,5. Det anses hovedsageligt at være blandt ældre og personer med hjerte-kar-sygdomme og kroniske luftvejslidelser hvor dødeligheden er påvirket, hvorfor påvirkningen i levetid hos disse grupper er forholdsmæssigt større.

Hvordan skal øget sygelighed tolkes?

Befolkningsundersøgelserne peger på børn, ældre og personer med hjerte-kar-sygdomme og kroniske luftvejslidelser samt særligt udsatte personer (dvs. bopæl ved eller ophold/ færden tæt ved trafikeret vej) som risikogrupper i forbindelse med partikelforureningen. Det er således et vist

udsnit af befolkningen det er særligt relevant af fokusere på i forbindelse med partikelforureningen og luftforureningen generelt.

Partikelforureningen anses at forværre tilstanden hos personer med kroniske luftvejslidelser og hjerte-kar-sygdomme, således at disse er i øget risikovirkninger for alvorlige følgevirkninger og død. Partikelforureningens rolle i forbindelse med frembringelse af nye tilfælde med allergiske luftvejslidelser og hjerte-kar-sygdomme er endnu ikke afklaret.

Hvad betyder effekterne fra partikelforureningen på befolkningsniveau?

Partikelforureningen må anses at medføre betydelige sundhedsmæssige konsekvenser for befolkningen, som følge af en reduktion i den forventede levetid og øget sygelighed.

For danske forhold er det beregnet op til 5000 årlige dødsfald på landsplan som følge af partikelforureningen. Såfremt man forstillede sig at reducere 1/3 (proportionalt på alle fraktioner) ville dette ud fra de hidtidige effektvurderinger svare til en nedgang i årlige dødsfald på ca. 1700; 1100 færre hospitalsindlæggelser som følge af hjerte-kar-sygdomme og 750 færre hospitalsindlæggelser som følge af luftvejssygdomme; 900.000 færre persondage med begrænset aktivitet som følge af luftvejssygdomme og 70.000 færre astmaanfald hos personer over 15 år og 9.000 færre astmaanfald hos personer under 15 år.

Hvor hurtigt og i hvilket omfang opnås helbredsmæssig gevinst ved reduktion af partikeludsættelsen- og hvad betyder en evt. udskydelse af reduktionstiltag?

Erfaringer fra andre lande, hvor partikelniveauerne er blevet reduceret viser at der opnås helbredsgevinster umiddelbart i forbindelse med reduktionen. I Irland kunne effekten på dødelighed således registreres inden for de første 6 år efter et markant fald i sodpartikler som følge af forbud mod salg af kul til opvarmning. Fald i dag-til-dag partikelniveauer må forventes umiddelbart at medføre et fald i akutte effekter i overensstemmelse med de fundne dosis-responsammenhænge.

For de omfangsmæssigt mere betydende dosis-responsammenhænge baseret på gennemsnitsniveauer over tid kan man ikke udelukke, at der vil gå en kortere årrække, førend der opnås fuld sundhedsmæssig gevinst m.h.t. reduceret sygelighed og dødelighed.

Forskellen mellem et reduceret partikelniveau i dag i forhold til om fx 3 år vurderes ikke umiddelbart at ændre på omfanget af de helbredsmæssige gevinster, idet gevinsterne da blot vil optræde med tilsvarende tidsforskydning. Da den ældre del af befolkningen, og dermed den sårbare andel, er stigende, vil det være en fordel at påbegynde reduktionen af partikelforureningen så tidligt som muligt.

I hvilken udstrækning kan helbredseffekterne værdisættes?

Ved opgørelse af de samfundsøkonomiske omkostninger ved øget sygelighed og dødelighed kan det konstateres at de beregnede beløb er meget afhængige af metoden for prissætningen. I alle former for beregning synes øget dødelighed at belaste med de største samfundsøkonomiske omkostninger. Værdien af et menneskeliv er meget vanskelig at prissætte på en meningsfyldt måde, og valg af prissætningsmetode for dødsfald får således en afgørende betydning for udfaldet af de samfundsøkonomiske konsekvenser af luftforureningen.

I hvilken udstrækning kan effekten af regulering af konkrete partikelkilder forudsiges fx regulering af dieseldrøjetøjers partikeludslip?

Opgørelse over de sundhedsmæssige gevinster ved at montere partikelfiltre og derved nedbringe udslip og niveauer af ultrafine dieselpartikler er usikre. Regnes med en effekt udelukkende svarende til partiklernes vægt, og dermed reduktion i PM_{2,5}-niveauet undervurderes effekten betydeligt. Dvs. der må regnes med væsentligt større effekt end de tidligere beregnede 33 sparede dødsfald pr. år

ved montering af partikelfiltre på tunge dieselkøretøjer. Regnes udelukkende med at antallet af ultrafine partikler er ansvarlige for alle skadeeffekter, og at disse skader reduceres proportionalt med reduktion af udslippet af ultrafine partikler, vil denne beregningsmetode medføre en overestimering af de gavnlige effekter, som tidligere er beregnet til ca. 1000 sparede dødsfald pr år. På baggrund heraf vurderes en beregning baseret på et datasæt vedrørende dosis-responssammenhængen for ultrafine partikler, på trods af materialets begrænsede karakter, at angive en mere sandsynlig størrelsesorden for de sundhedsmæssige gevinster, idet der beregnes ca. 450 sparede dødsfald ved montering af partikelfiltre på tunge køretøjer.

Hvilke konklusioner kan der drages ud fra en overordnet sundhedsfaglig vurdering – er der grundlag for tiltag?

På baggrund af den foreliggende internationalt baserede viden om partikelforureningens sundhedsskadelige effekter og omfanget af disse effekter, vurderes det overvejende sandsynligt, at der i Danmark kan opnås betydelige samfundsmæssige helbredsgevinster ved at nedbringe befolkningens udsættelse for partikler.

Størst viden haves om de fine partiklers betydning for de sundhedsskadelige effekter, men ultrafine forbrændingspartikler herunder dieselpartikler mistænkes i stigende grad for at have en betydelig rolle. Kilder til fine og ultrafine partikler er ofte forskellige og tiltag der samtidig, eller hver især nedbringer befolkningens udsættelse for fine og ultrafine forbrændingspartikler må derfor anbefales.

Reduktion af befolkningens udsættelse for dieselpartikler vurderes at ville medføre betydelige sundhedsmæssige gevinster (skønsmæssigt i størrelsesordenen 450 sparede dødsfald pr. år ved montering af filtre på tunge dieselkøretøjer), og montering af partikelfiltre på dieselkøretøjer kan således anbefales ud fra en sundhedsfaglig synsvinkel.

Referencer

Adams HS, Nieuwenhuijsen MJ, & Colville RN (2001). Determinants of fine particles (PM_{2.5}) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *Atmospheric Environment* **35**, 4557-4566.

APHEIS (2002). Air Pollution and Health: A European Information System, Health Impact Assessment of Air Pollution in 26 European Cities. APHEIS Second-year Report 2000-2001.

Brunekreef B (1997). Air pollution and life expectancy. Is there a relation? *Occupational and Environmental Medicine* **54**, 781-784

Brunekreef B & Dybing E (2002) WHO project "Systematic review of health aspects of air quality in Europe": Particulate Matter. Draft 15 Nov 2002, 29p.

Brunekreef B & Holgate ST (2002). Air pollution and health. *The Lancet* **360**, 1233-1242.

Clancy L, Goodman, Sinclair H, & Dockery DW (2002). Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study. *The Lancet* **360**, 1210-1214.

- Daniels MJ, Dominici F, Samet JM, & Zeger SL (2000). Estimating particulate matter-mortality dose-response curves and threshold levels: An analysis of daily time-series for the 20 largest US cities. *American Journal of Epidemiology* **152**, 397-406.
- Dockery DW (2001). Epidemiologic evidence of cardiovascular effects of particulate air pollution. *Environmental Health Perspectives* **109**, suppl 4, 483-486.
- Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG, & Speizer FE (1993). An association between air pollution and mortality in six US cities. *New England Journal of Medicine* **329**, 1753- 1759.
- Donaldson K, Stone V, Seaton A, & MacNee (2001). Ambient particle inhalation and the cardiovascular system: Potential mechanisms. *Environmental Health Perspectives* **109**, suppl 4, 523-527.
- Færdselsstyrelsen 2001. Partikelfiltre på tunge køretøjer. Færdselsstyrelsen, 87 p.
- HEI (2000a). The national morbidity, mortality, and air pollution study. Part II: Morbidity and Mortality from air pollution in the United States. Research report no. 94. Health Effects Institute, 82 p.
- HEI (2000b). Daily mortality and fine and ultrafine particles in Erfurt, Germany, Part I: Role of particle number and particle mass. Health Effects Institute, research report no. 98, 96p.
- Heinrich J, Grote V, Peters A, & Wichmann H-E (2002). Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub: Epidemiologie der Langzeiteffekte. *Umweltmed. Forsch. Prax* **7**, (2), 91-99.
- Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm 'S, Fischer P, & van der Brandt PA (2002). Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* **360**, 1203-1209.
- Horak F, Studnicka M, Gartner C, Spengler JD, Tauber E, Urbanek R, Veiter A, & Frischer T (2002). Particulate matter and lung function growth in children: a 3 year follow-up study in Austrian Schoolchildren. *European Respiratory Journal* **19**, 838-8845.
- IMV (2002). Samfundsøkonomisk vurdering af partikelfiltre. Institut for Miljøvurdering, 65 p.
- Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopoli Y, Rossi G, Zmirou D, Ballester F, Boumghar A, Andersen HR, Wojtyniak B, Paldy A, Braunstein R, Jm Pekkanen J, Schindler C, & Schwartz J (2001). Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology* **12**(5), 521-531.
- Laden F, Neas LM, Dockery DW, & Schwartz (2000). Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities. *Environmental Health Perspectives* **108**(10), 941-947.

Leksell I & Rabl A (2001). Air pollution and mortality: Quantification and valuation of years of life lost. *Risk Analysis* **21**, 843-857.

Lipmann M (1998). The 1997 US EPA standards for particulate matter and ozone. In: *Air Pollution and Health. Issues in Environmental Science and Technology* **10**, 75-100.

MM & SST (2000). Vurdering af partikler – status pr. august 2000-. Miljø- og Energiministeriets og Sundhedsstyrelsens fælles arbejdsgruppe for udendørs luftforurening, 22p.

Nevalainen J & Pekkanen (1998). The effect of particulate air pollution in life expectancy. *The Science of the Total Environment* **217**, 137-141.

Palmgren F, Wåhlin P, Berkowicz R, Hertel O, Jensen SS, Loft S, & Raashou-Nielsen O (2001). Partikelfiltre på tunge køretøjer i Danmark. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 358. 91p.

Palmgren F, Wåhlin P, Berkowicz R, Loft S, & Raashou-Nielsen O (2002). Opdatering pr. 5. juni 2002 af undersøgelsen: Partikelfiltre på tunge køretøjer i Danmark, 11p.

Pope CA (2001) Epidemiology of mortality and chronic exposure to air pollution. Presented at the symposium “The measurement and economic valuation of the health effects of air pollution”, London, February 19-20 2001.

Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, & Thurston GD (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of American Medical Association* **287**(9), 1132-1141.

Pope CA, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer E, & Heath CW (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *Am J Respir Crit Care Med* **152**, 669-674.

Raashou-Nielsen O, Palmgren F, Jensen SS, Wåhlin P, Berkowicz R, Hertel O, Vrang M-L, & Loft S (2002). Helbredseffekter af partikulær luftforurening i Danmark – et forsøg på kvantificering. *Ugeskrift for Læger* **164**, 3959-3963.

Rabl A (2001). Interpretation of air pollution mortality: number of deaths or years lost? Presented at the symposium “The measurement and economic valuation of the health effects of air pollution”, London, February 19-20 2001.

RIVM (2002). On health risks of ambient PM in the Netherlands. Executive summary, Netherlands Aerosol Programme. RIVM (National Institute for Public Health and the Environment), report no. 650010033, 70 p.

Sarnat JA, Schwartz J, Catalano PJ, & Suh HH (2001). Gaseous pollutants and particulate matter epidemiology: confounders or surrogates? *Environmental Health Perspectives* **109**, 1053-1061.

Schwartz J (2000). Harvesting and long term exposure effects in the relation between air pollution and mortality. *American Journal of Epidemiology* **151**, 440-448.

Seethaler R (1999). Health costs due to road traffic-related air pollution – an impact assessment project of Austria, France and Switzerland. Prepared for WHO Ministerial Conference on Environment and Health, London 1999, 105 p.

SFT (2000). Helseeffekter og samfunnsøkonomiske kostnader av luftforurensning. Rapport fra Statens Forurensningstilsyn, 55 p.

Thurston G, DeLeon S, Ito K, Burnett R, Shi Y, & Pope CA (2003). The susceptibility of older adults to PM air pollution. Presentation og poster præsenteret ved konferencen 'Particulate matter: Atmospheric sciences, exposure and the fourth colloquium on PM and human health' Pittsburgh 31. marts-4. april 2003.

US EPA (1999). The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010. EPA Report to Congress, EPA-410-R-99-001, 114 p.

US EPA (2002). Air quality criteria for particulate matter (third external review draft, April 2002). <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/partmatt.cfm?ActType=default>

Vrang M-L, Hertel O, Palmgren F, Wåhlin P, Raashou-Nielsen O, & Loft SH (2002). Ugeskrift for Læger **164**, 3937-41.

Wichmann HE & Peters A (2000). Epidemiological evidence of the effects of ultrafine particle exposure. Phil Trans R Soc Lond **358**, 2751-2769.

WHO (2000). Air Quality Guidelines for Europe. Particulate Matter. WHO Regional Publications, European Series no 91, 186-193.

Zanobetti A, Schwartz J, Samoli E, Gryparis A, Touloumi G, Atkinson R, Le Tertre A, Bobros J, Celko M, Goren A, Forsberg B, Michelozzi P, Rabczenko D, Ruiz EA, & Katsouyanni K (2002). The temporal pattern of mortality responses to air pollution: A multicity assessment of mortality displacement. Epidemiology 13, 87-93.

Bilag

Rapportering af sundhedseffekter (sygelighed og dødelighed) som følge af luftforurening – her især partikelforurening.

Luftforureningens sundhedsskadelige effekt omfatter **akutte og kroniske sygdomme i luftveje og hjerte-kar system**. Forskellige studier medtager i den forbindelse forskellige sygdomsgrupper alt efter fokus. Oftest er der tale om hospitalsindlæggelser og dødsfald opgjort efter den internationale sygdomsklassifikation International Classification of Diseases and Related Health Problems, 9. eller 10. revision⁴ (ICD9/ICD10), dvs. registerbaserede oplysninger af sygdomsgruppens hoveddiagnose, den såkaldte aktionsdiagnose⁵. I Danmark indrapporteres disse data efter ICD10 til Sundhedsstyrelsens Landspatientregister og Dødsårsagsregister. Herved bliver kun sygdomsforekomst, der omfatter hospitalsindlæggelser, ambulatorie- og skadestuebesøg medregnet, medens sygdomme, der ”alene” kræver kontakt til den praktiserende læge/ speciallæge, eller slet ikke kræver lægekontakt, ikke medtages.

Andre studier medtager i stedet selvrapporterede data, dvs. de involverede personers egen opfattelse og oplevelse af deres symptomer/ sygdomme. Det er således studiets design og metode, der afgør karakteren af sygdomsregistreringen/ sygdoms-symptom rapporteringen.

Sundhedseffekter som følge af partikelforurening omfatter følgende:

Luftvejsslidelser – dvs. sygdomme i åndedrætsorganerne:

Her drejer det sig for indlæggelsernes vedkommende om akutte infektioner i øvre luftveje, influenza og lungebetændelse, akut og kronisk bronkitis, kronisk obstruktiv lungesygdom (KOL eller rygerlunger), astma samt kræft i åndedrætsorganerne, hvor især lungekræft er betydende. De tilsvarende sygdomsklassifikationer er for ICD9's vedkommende 460-519 og 160-165 (kræftlidelserne), og for ICD10's vedkommende diagnoserne J00-J99 samt for kræftsygdommens vedkommende C30-39.

Eksempel:

Ofte deles befolkningen op i aldersgrupper hvortil de relevante sygdomsgrupper så allokeres. Som f.eks. i APHEA⁶, hvor følgende indlæggelser registreres:

Astma: 0-14 år og 15-64 år: ICD9 493,

KOL (kronisk bronkitis, rygerlunger) og astma: 65+ år: ICD9 460-519 og

alle luftvejsslidelser 65+ år: ICD9 460-519

Hjerte-kar sygdomme – dvs. sygdomme i hjerte og kredsløb:

Her tænkes især på sygdommene blodtryksforhøjelse, iskæmiske hjertesygdomme (hjertesygdom pga nedsat ilttilførsel) inkl. AMI (blodprop i hjertet), rytmeforstyrrelser, hjerneblødning og blodprop i hjernens kar samt åreforkalknings sygdomme andetsteds. For ICD9's vedkommende drejer det sig her om ICD9 390-438, for ICD10's vedkommende I00-I99.

⁴WHO's internationale sygdomsklassifikation, en sygdomsklassifikation, der indebærer en gruppering af sygdomme efter fastlagte kriterier.

⁵ Udover aktionsdiagnosen registreres patienter ved udskrivelsen ofte med 2 eller flere betydende diagnoser.

⁶ Air Pollution and Health: a European Approach

Eksempel:

I APHEA således:

Hjertesygdomme: 0-64 år og 65+ år: ICD9 390-429

Iskæmisk hjertesygdom: 0-64 år og 65+ år: ICD9 410-414

Hjerneblødning, blodprop i hjernen: 65+ år: ICD9 430-438

Danske tal for nævnte sygdomsgrupper:**Dødsårsagsregisteret:**

Ved ethvert dødsfald i Danmark skal en læge foretage ligsyn og udfærdige dødsattest, som herefter skal indsendes til Sundhedsstyrelsen, hvor den indgår i dødsårsagsstatistikken. Til kodning benyttes som anført ICD10.

Af Sundhedsstyrelsens seneste dødsårsagsstatistik fra 1999 (Dødsårsagsregisteret, Nye tal fra Sundhedsstyrelsen. Årg. 6. nr. 8 2002) ses det, at dødsfald i absolutte tal forårsaget af sygdomme i åndedrætsorganerne samlet for mænd og kvinder har været stigende fra 1985 til 1995 (4.566 til 5.622), og herefter igen har udvist en stigning fra 1998 til 1999 (5.284 til 5.628), medens de aldersstandardiseret rater samlet har været lidt svingende men nogenlunde uændret omkring 100 pr. 100.000 indbyggere fra 1985-99. Opdeles dødsfaldene imidlertid på køn ses kvinderne nu i absolutte tal at have indhentet mændene i 1995 (2.824 mod 2.789) for fortsat i 1999 at ligge højere (2.971 mod 2.657), således at stigningen efter 1995 næsten udelukkende hviler på kvinder. På de aldersstandardiserede rater ses kvinderne dog fortsat at ligge lavere end mændene (i 1999 91 mod 134 pr. 100.000), med en noget svingende, men alligevel stigende tendens.

Dødsfald på grund af hjertesygdomme (absolutte tal, samlet for mænd og kvinder) er derimod faldet konstant fra 19.281 i 1985 til 14.449 i 1999, aldersstandardiseret fra 415 i 1985 til 268 i 1999. Også her har kvinderne, men dog først i 1999, indhentet mændene i absolutte tal (7.250 mod 7.190). De aldersstandardiserede rater for begge køn viser indtil 1998 en smuk faldende tendens, som dog for kvinderne afløses af en lille stigning i 1999 (3,5%). Hjertesygdom domineres helt af iskæmisk hjertesygdom, hvor tallet for mænds vedkommende siden 1985 er faldet med 45% og blandt kvinder 35%. Anden hjertesygdom end iskæmisk (her findes bl.a. ledningsforstyrrelser) er steget indtil 1995 og har siden ligget stabilt, medens forhøjet blodtryk siden 1995 har vist en stigende tendens.

Cancerregisteret:

Af Sundhedsstyrelsens seneste rapport fra Cancerregisteret 1998 (Nye tal fra Sundhedsstyrelsen. Årg. 6. nr. 6 2002) ses lungekræft stadig at være en stor sygdomsgruppe hos især midaldrende og ældre. Knap 40% flere mænd end kvinder rammes, men medens forekomsten for mænd synes at have toppet (1990 2048 nye tilfælde eller 86 pr. 100.000 indb., 1998 1942 eller 79 pr. 100.000 indb.) synes tallet for kvinder fortsat at stige (1990 1120 nye tilfælde eller 39 pr. 100.000 indb., 1998 1422 eller 48 pr. 100.000 indb.), selvom der ses en tendens til stagnation (1997 1427 eller fortsat 48 pr. 100.000 indb.)

Landspatientregisteret:

Der har ikke siden 1995 været foretaget regelmæssige rapportering af sygdomsmønstre fra Sundhedsstyrelsens Landspatientregister, og der foreligger således ikke umiddelbare tal herfra for indlæggelser for luftvejslidelser og hjerte-kar sygdomme. (Kan dog skaffes!)

Fra Danmarks Statistik (Stat. årbog 2002, tal fra 2000) ses sygdomme i hjerte-kredsløbsorganer med ca. 87.000 indlæggelser at svare til ca.13% af de samlede indlæggelser i Danmark og er dermed én af de hyppigste årsager til sygehusindlæggelser. Der er dog stor forskel på de enkelte aldersgruppers indlæggelsesmønster og blandt de 1-4 årige drenge og piger har godt hver tredje (henholdsvis 39% og 33%) i denne aldersgruppe været indlagt for sygdomme i åndedrætsorganer. I alt 58.000 personer blev indlagt for sygdomme i åndedrætsorganer

Selvrapporterede data:

Fra Statens Institut for Folkesundheds (SIF) sundheds- og sygelighedsundersøgelse fra 2000, oplyste 5% af voksenbefolkningen at have langvarig åndedrætssygdom, hyppigst i aldersgruppen 67-79 år. I de yngste aldersgrupper højest blandt kvinder, men omvendt i de 2 ældste aldersgrupper, og for de yngste aldersgruppers vedkommende stigende siden 1987.

Forældre til 7,6% børn under 16 år rapporterede, at børnene har haft astma eller astmatisk bronkitis – en nogenlunde uændret andel siden 1994.

6,5% angav, at de havde langvarig hjerte-kar sygdom, væsentlig højere blandt ældre end blandt yngre, og uden kønsforskel - og uændret siden 1987.

Endelig skal det bemærkes, at ca 1/6 (ca. 1,7 mia. kr.) af medicinomsætningen på årligt 10 mia. kr., herhjemme udgøres af medicin mod hjerte-kar lidelser, og at den hyppigst anvendte form for receptpligtig medicin er blodtrykssænkende midler (Stat. årbog 2002).