SUNDHEDSEFFEKTER OG RELATEREDE EKSTERNE OMKOSTNINGER AF LUFTFORURENING I KØBENHAVN

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 64 2013

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

SUNDHEDSEFFEKTER OG RELATEREDE EKSTERNE OMKOSTNINGER AF LUFTFORURENING I KØBENHAVN

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 64 2013

Jørgen Brandt
Steen Solvang Jensen
Marlene Plejdrup

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 64
Titel:	Sundhedseffekter og relaterede eksterne omkostninger af luftforurening i København
Forfattere: Institution:	Jørgen Brandt, Steen Solvang Jensen, Marlene Plejdrup Institut for Miljøvidenskab (ENVS), Aarhus Universitet
Udgiver: URL:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi © http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	24. juni 2013 Tabel 4.3 rettet den 14. januar 2014
Redaktion afsluttet: Faglig kommentering:	20. juni.2013 Ole Hertel
Finansiel støtte:	Københavns Kommune.
Bedes citeret:	Brandt, J., Jensen, S.S., Plejdrup, M. (2013): Sundhedseffekter og relaterede eksterne omkostninger af luftforurening i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 46 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 64. http://www.dmu.dk/Pub/SR64.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning

Rapporten estimerer sundhedseffekter og eksterne omkostninger relateret til luftforurening i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune ved hjælp af det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution). EVA-systemet beregner sundhedseffekter og relaterede eksterne omkostninger baseret på informationer om forureningskilder og deres placering, spredning af luftforurening samt eksponering af befolkningen, dosis-respons sammenhænge mellem eksponering og sundhedseffekter samt værdisætning af sundhedseffekterne, også kaldet eksterne omkostninger relateret til sundhedseffekter fra luftforurening.

Emneord:	Sundhedseffekter, eksterne omkostninger, luftforurening, København
Layout:	Majbritt Ulrich
Foto forside:	Google maps
ISBN: ISSN (elektronisk):	978-87-7156-013-8 2244-9981
Sideantal:	46
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://www.dmu.dk/Pub/SR64.pdf

Indhold

1 Indledning 5

2 Sammenfatning 6

2.1 Baggrund og formål 6
2.2 Undersøgelsen 6
2.3 Hovedkonklusioner 7
2.4 Usikkerheder 10

3 English Summary 12

3.1 Background and Purpose 12
3.2 The study 12
3.3 Main Findings 13
3.4 Uncertainties 16

4 EVA-systemet 18

4.1 Beskrivelse af EVA-systemet 18
4.2 Emissionsopgørelse og geografisk fordeling 23
4.3 Koncentration og befolkningseksponering 25
4.4 Helbredseffekter 27
4.5 Dosis-respons funktioner og enhedspriser 28

5 Sundhedseffekter i Hovedstadsregionen og København 30

5.1 Sundhedseffekter i Hovedstadsregionen fra alle kilder 30
5.2 Sundhedseffekter i Hovedstadsregionen som skyldes lokale kilder fra København 32
5.3 Sundhedseffekter i København fordelt på lokale kilder fra København 33

6 Eksterne omkostninger 35

6.1 Totale eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen og i København 35
6.2 Eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen fra lokale emissionskilder i København 36
6.3 Eksterne omkostninger i København fra lokale emissionskilder i København 38

7 Diskussion af usikkerheder 40

7.1 Hovedelementerne i impact pathway metoden 40
7.2 De enkelte emissionskilder i København 41
7.3 Farlighed af partikler 42
7.4 Geografisk opløsning 43

Referencer 44

1 Indledning

Formålet med projektet er at beregne sundhedseffekter og eksterne omkostninger relateret til luftforurening i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune ved hjælp af det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution), og opgøre hvor meget der skyldes de forskellige forureningskilder.

Kapitel 2 og 3 er hhv. den danske og engelske sammenfatning. Kapitel 4 beskriver EVA-systemet og tilhørende input data. I kapitel 5 er opgørelsen af sundhedseffekter beskrevet og i kapitel 6 de tilhørende eksterne omkostninger. Kapitel 7 diskuterer usikkerheder på resultaterne.

Målgruppen for rapporten er teknikere, planlæggere og sagsbehandlere i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune, Miljøstyrelsen og rådgivere inden for området, men også den interesserede borger og interesseorganisationer inden for miljø.

Projektets kontaktperson i Københavns Kommune er Faris Salim Abdali, Center for Miljø, og projektet er finansieret af Københavns Kommune.

2 Sammenfatning

2.1 Baggrund og formål

Luftforurening har signifikante negative effekter på menneskers helbred og velbefindende, og dette har væsentlige samfundsøkonomiske konsekvenser.

Formålet med projektet er at beregne sundhedseffekter og eksterne omkostninger relateret til luftforurening i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune ved hjælp af det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution), og opgøre hvor meget der skyldes de forskellige forureningskilder. EVA-systemet beregner sundhedseffekter og relaterede eksterne omkostninger baseret på informationer om forureningskilder og deres placering, spredning af luftforurening samt eksponering af befolkningen, dosis-respons sammenhænge mellem eksponering og sundhedseffekter samt værdisætning af sundhedseffekterne, også kaldet eksterne omkostninger relateret til sundhedseffekter fra luftforurening. Beregningerne foretages således for de eksterne omkostninger ved de negative sundhedseffekter af luftforurening.

2.2 Undersøgelsen

Sundhedseffekter og relaterede eksterne omkostninger er beregnet for den totale luftforurening i Hovedstadsregionen og med en særskilt opgørelse for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. I den totale luftforurening indgår kilder i Hovedstadsregionen og alle øvrige kilder i Danmark og udlandet. Dette giver et billede af, hvad al luftforurening bidrager til sundhedsmæssigt uanset om det er lokale kilder eller øvrige kilder.

Endvidere er beregningerne gennemført for hver hovedkildetype i København, således at det er muligt at opgøre bidraget fra de enkelte kilder, som Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune har mulighed for at regulere. Emissionsgrundlaget herfor er det samme som i rapporten "Kortlægning af forskelige kilders bidrag til luftforureningen i København" (Jensen et al. 2013).

For sundhedseffekterne og tilhørende eksterne omkostninger er det beregnet, hvad effekterne er i Hovedstadsregionen af emissionerne i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune samt deres fordeling på de forskellige emissionskilder. Dernæst er der gennemført tilsvarende beregninger men for sundhedseffekter og eksterne omkostninger i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune på baggrund af lokale emissioner i disse to kommuner. De forskellige beregninger er opsummeret i Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Beregninger af sundhedseffekter og eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen og København

Beregning	Område	Emissioner
Sundhedseffekter og omkostninger fra al luftforurening i Hovedstadsregionen	Hovedstadsregionen	Alle inden- og udenlandske kilder
Sundhedseffekter og omkostninger fra al luftforurening i Kbh. Kom. og Frk. Kom.	Kbh. Kom. og Frk. Kom.	Alle inden- og udenlandske kilder
Sundhedseffekter og omkostninger i Hovedstadsregionen fra emissioner i Kbh. Kom. og Frk. Kom.	Hovedstadsregionen	Kun emissioner i Kbh. Kom. og Frk. Kom.
Sundhedseffekter og omkostninger i Kbh. Kom. og Frk. Kom. fra emissioner i Kbh. Kom. og Frk. Kom.	Kbh. Kom. og Frk. Kom.	Kun emissioner i Kbh. Kom. og Frk. Kom.

Beregningerne er gennemført med det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution (Brandt et al., 2011a,b; 2013a,b), som er baseret på den såkaldte "impact-pathway" metode. Modelsystemet har til formål at opgøre helbredsrelaterede eksterne omkostninger fra luftforureningen samt estimere, hvordan de eksterne omkostninger er fordelt på luftforureninger og emissionssektorer. Beregningerne af denne type er tidligere baseret på den regionale luftforureningsmodel DEHM med en opløsning på 16,7 km x 16,7 km for Denmark. Denne opløsning er imidlertid for grov i forhold til en vurdering for København og Frederiksberg, og der er foretaget en væsentlig videreudvikling af EVA-systemet til også at omfatte bybaggrundsmodellen UBM med input fra den regionale luftforureningsmodel DEHM, sådan at beregninger kan udføres på 1 km x 1 km opløsning i bybaggrunden for Hovedstadsregionen. Med denne videreudvikling er der opnået en unik høj geografisk opløsning i international sammenhæng.

Bybaggrundsforureningen er den generelle luftforureningen i byen, og afspejler koncentrationen som man vil opleve den i en park, en baggård eller på taget af bygninger. Bybaggrundskoncentrationer afskiller sig således fra gadekoncentrationer, hvor også det direkte bidrag fra trafikken i den pågældende gade er inkluderet.

Beregningsåret er 2010, som er det sidste år, hvor der findes opdaterede emissioner for Danmark på 1 km x 1 km opløsning.

2.3 Hovedkonklusioner

For tidlige dødsfald og sygelighed

Det totale årlige antal tilfælde af for tidlige dødsfald i 2010 i hele Hovedstadsregionen (modelområdet) er ca. 1500, hvoraf ca. 540 er indenfor Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune på baggrund af de totale luftforureningsniveauer baseret på både danske og udenlandske emissionskilder.

For tidlige dødsfald skyldes næsten udelukkende såkaldte kroniske dødsfald forårsaget af langtidspåvirkning af luftforurening i modsætning til såkaldte akutte dødsfald, som skyldes kortere tidsperioder med forhøjede koncentrationer (episoder).

De personer som dør for tidsligt pga. luftforurening er især ældre svagelige, samt personer som i forvejen lider af hjertekarsygdomme og luftvejslidelser. Dødsfald blandt spædbørn udgør en meget lille del.

Ud over for tidligere dødsfald er der mange tilfælde af sygelighed. Det gælder kronisk bronkitis og gener for børn og voksne med astma (brug af bronkodilatator, hoste, og luftvejssymptomer), hospitalsindlæggelser i forbindelse med luftvejslidelser og blodprop i hjernen, tilfælde af hjertesvigt, lungekræft, samt mange med nedsat aktivitet (sygedage).

Sundhedseffekter i Hovedstadsregionen og København fordelt på lokale emissionskilder

Det er undersøgt, hvor meget de lokale emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune bidrager til sundhedseffekterne i Hovedstadsregionen. I beregningerne er inddraget afstande op til ca. 20 km fra København. Formålet med disse beregninger er at kvantificere, hvor meget de lokale emissionskilder i København betyder for sundhedseffekterne i Hovedstadsregionen.

De lokale emissionskilder i København bidrager til omkring 80 for tidlige dødsfald i Hovedstadsregionen, mens al luftforurening i København (fra danske og udenlandske kilder) bidrager til omkring 540 for tidlige dødsfald. Dvs. at lokale emissionskilder i København bidrager til omkring 15% af de samlede for tidlige dødsfald i Hovedstadsområdet.

De vigtigste lokale kilder til de omkring 80 for tidlige dødsfald i Hovedstadsregionen er ikke-industriel forbrænding, som primært består af forbrænding fra brændeovne og –kedler (omkring 50 for tidlige dødsfald) og vejtrafik (omkring 20 for tidlige dødsfald). Det samme mønster ses for sygelighed.

Tilsvarende er undersøgt i hvilket omfang forskellige lokale emissionskilder i København bidrager til sundhedseffekterne for København. Formålet med disse beregninger er at kvantificere, hvor meget de lokale emissionskilder i København betyder for sundhedseffekterne i København.

De lokale emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune bidrager til omkring 67 for tidlige dødsfald i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune, mens kilder i København bidrog til omkring 80 for tidlige dødsfald i Hovedstadsområdet, som beskrevet ovenfor. Dvs. at Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune bidrager med omkring 13 for tidligere dødsfald til omegnskommunerne inden for en afstand af ca. 20 km fra København.

De lokale emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune bidrager til omkring 12% af de samlede for tidlige dødsfald i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.

De vigtigste lokale kilder er ligeledes ikke-industriel forbrænding, som primært består af forbrænding fra brændeovne og –kedler efterfulgt af vejtrafik. Det samme mønster ses for sygelighed. Forholdene mellem de forskellige kilder er relativt ens, når der kun ses på emissionsbidragene fra København i forhold til Hovedstadsområdet og København.

Eksterne omkostninger pga. al luftforurening

De totale eksterne omkostninger i Hovedstadsområdet i 2010 pga. al luftforurening fra både danske og udenlandske emissionskilder er omkring 12 milliarder kr. årligt, heraf omkring 4 milliarder kr. årligt i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.

De eksterne omkostninger er næsten alene relateret til partikler, som her omfatter primært emitterede partikler, sekundært dannede uorganiske partikler (nitrat, sulfat, ammonium), sekundært dannede organiske partikler (SOA) og "ukendt masse". Ukendt masse formodes bl.a. at være vand bundet til partiklerne. Da havsalt endnu ikke er inkluderet i DEHM modellen er en del af "ukendt masse" i denne sammenhæng også havsalt, da størrelsen af SOA og ukendt masse er inkluderet i beregningerne i EVA på baggrund af analyse af målinger.

De eksterne omkostninger relateret til ozon er opgjort til omkring 250 millioner kr. i Hovedstadsregionen heraf omkring 60 millioner kr. i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Ozon er ikke direkte emitteret, men dannes i atmosfæren ud fra emissioner af NO_x, kulbrinter og CO. O_3 er direkte sundhedsskadeligt, og resulterer derfor i eksterne omkostninger.

Bidrag fra CO til de eksterne omkostninger er meget lille med omkring 4 millioner kr. i Hovedstadsregionen heraf knap 2 millioner kr. i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.

Hovedparten af de eksterne omkostninger skyldes for tidlige dødsfald.

Eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen relateret til emissionskilder i København

Det er undersøgt, hvor meget de forskellige lokale emissionskilder i København bidrager til sundhedseffekterne i Hovedstadsregionen og i København.

De totale eksterne omkostninger er omkring 600 mio. kr. i Hovedstadsregionen pga. emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune i 2010. De totale eksterne omkostninger i Hovedstadsområdet pga. al luftforurening fra både danske og udenlandske emissionskilder var omkring 12 milliarder kr. dvs. at lokale emissioner i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune kun bidrager med omkring 600 mio. kr. i Hovedstadsregionen svarende til omkring 5%. Denne sammenligning er dog ikke helt reel, da vi kun medtager eksterne omkostninger i op til 20 km fra kommunegrænsen og sammenligner dette med de totale eksterne omkostninger indenfor Hovedstadsregionen, hvor vi burde sammenligne med de totale eksterne omkostninger inden for de 20 km. Dette er dog ikke pt. muligt pga. af den måde modellen er sat op. De 5% er derfor en underestimering.

De eksterne omkostninger skyldes næsten udelukkende $PM_{2.5}$, som for de lokale kilder kun er primært emitteret $PM_{2.5}$, da sekundære partikler ikke når at blive dannet på de korte transportafstande inden for Hovedstadsregionen.

De eksterne omkostninger for ozon er negative (-60 mio. kr.), hvilket i denne sammenhæng viser at ozon tæller positivt. Det skyldes, at lokale emissioner af kvælstofoxider (NO_x=NO+NO_2) i København og på Frederiksberg bidrager til en reduktion af O_3 niveauerne i byen (NO går sammen med O_3 og danner NO_2), og derfor er der en "positiv" effekt af NO_x, da det sundhedsskadelige O_3 reduceres.

De eksterne omkostninger relateret til CO er helt ubetydelige.

De vigtigste lokale kilder i København som bidrager til eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen er ikke-industriel forbrænding (som primært består af forbrænding fra brændeovne og –kedler), som står for omkring 2/3 af de eksterne omkostninger efterfulgt af vejtrafik med 1/4. Andre kildertyper som giver et vist bidrag er anvendelse af produkter (emissioner fra opløsningsmidler og brug af produkter) med omkring 5% og mobile kilder (ikke-vejgående maskiner mv.) med knap 4%.

Eksterne omkostninger i København relateret til emissionskilder i København

Tilsvarende er undersøgt de eksterne omkostninger for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune i 2010 pga. lokale emissioner i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.

De totale eksterne omkostninger er omkring 500 mio. kr. i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune pga. emissionskilder i disse to kommuner i 2010. De totale eksterne omkostninger i København pga. den totale luftforurening fra både danske og udenlandske emissionskilder er

omkring 4 milliarder kr. dvs. at lokale emissioner i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune kun bidrager med omkring 500 mio. kr. i disse to kommuner svarende til omkring 11%. Det betyder omvendt, at omkring 89% af alle eksterne omkostninger relateret til luftforurening i København skyldes emissioner uden for København.

Hvis vi sammenligner forskellen mellem bidraget fra emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune til hhv. eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen og i København ses at denne udgør omkring 100 mio. kr. Dvs. at emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune bidrager til eksterne omkostninger i størrelsesordenen 100 mio. kr. uden for Københavns Kommunes kommunegrænse i afstande op til omkring 20 km herfra.

De vigtigste lokale kilder i København som bidrager til eksterne omkostninger i København er ikke-industriel forbrænding (som primært består af forbrænding fra brændeovne og –kedler), som står for omkring 2/3 af de eksterne omkostninger efterfulgt af vejtrafik med 1/5. Andre kildertyper som giver et vist bidrag er anvendelse af produkter (emissioner fra opløsningsmidler og brug af produkter) med omkring 5% og mobile kilder (ikke-vejgående maskiner mv.) med knap 4%. Fordelingen mellem disse kilder er stort set tilsvarende med fordelingen mellem kilder for eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen pga. emissionskilder i København, som det fremgik af ovenstående.

2.4 Usikkerheder

Impact-pathway metoden

EVA-systemet er baseret på "Impact-pathway" kæden, som dækker alle leddene fra udslip af kemiske stoffer fra specifikke kilder, over spredning og kemisk omdannelse i atmosfæren, eksponering af befolkningen, beregning af helbredseffekter, til den økonomiske værdisætning af disse helbredseffekter. Der er usikkerheder i alle disse led.

Emissionskilder i København

Beregningerne af sundhedseffekter og eksterne omkostninger af emissionerne i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune er baseret på den officielle nationale emissionsopgørelse, som er fordelt efter nogle geografiske fordelingsnøgler.

Den vigtigste lokale kilde i København i forhold til eksterne omkostninger i København er ikke-industriel forbrænding (som primært består af forbrænding fra brændeovne og –kedler), som står for omkring 2/3 af de eksterne omkostninger. Der er dog betydelig usikkerhed på dette estimat, som knytter sig til både til niveauet af emissionerne og deres geografiske fordeling.

Den anden vigtigste lokale emissionskilde i København i forhold til eksterne omkostninger i København er vejtrafik, som står for omkring 1/4 af de eksterne omkostninger. Der er mindre usikkerheder på emissioner fra vejtrafik, da videngrundlaget og mulighederne for validering pt. er langt større end tilfældet er for brændeovne.

Beregning af spredningen af luftforureningen

I de nuværende beregninger indgår ikke bidraget til sundhedseffekterne og relaterede eksterne omkostninger fra emissionerne i København på regional skala dvs. uden for Hovedstadsregionen. Emissioner af luftforurening vil

spredes over større afstande og vil derfor give en eksponering af befolkningen længere væk – både i form af de primært emitterede stoffer som $PM_{2,5}$ og de sekundært dannede nitratpartikler fra emissioner af NO_x i København. Dette ville have krævet en tilbagekobling fra bybaggrundsmodellen UBM til den regionale model DEHM, og denne kobling har det ikke været muligt at udvikle indenfor rammerne af dette projekt. Dette betyder, at de samlede eksterne omkostninger pga. emission i København er undervurderet, da kun effekter inden for Hovedstadsregionen indregnes og ikke effekter udenfor. Det betyder også, at NO_x kilder bliver undervurderet fx vej transport i forhold til brændeovne.

Farlighed af partikler

Der er stor usikkerhed om, hvilken typer af partikler (både størrelse og kemisk sammensætning), der giver de største sundhedseffekter. Det internationale videngrundlag viser dog en klar sammenhæng mellem koncentrationen af partikler mindre end 2,5 mikrometer ($PM_{2.5}$ opgjort som masse) og f.eks. for tidlige dødsfald. Med den nuværende viden kan der ikke kvantitativt skelnes mellem sundhedseffekterne af partikler med forskellige størrelse og kemisk sammensætning, og derfor er disse behandlet ens i beregningerne. Nyere studier tyder dog på (Rohr & Wyzga 2012), at de kulstofholdige partikler (fx direkte emitterede) er mere sundhedsskadelige end de ikke-kulstofholdige partikler, fx de uorganiske sekundære partikler (dvs. partikler, der emitteres som gas og ved kemiske processer i atmosfæren bliver omdannet til partikler).

Der er fortsat behov for mere viden vedrørende luftforurening og de resulterende sundhedseffekter, og hvordan de afhænger af forskellige typer af partikler og forskellige typer af emissionskilder.

Geografisk opløsning

Modelsystemets geografiske opløsning har betydning for resultaterne af beregningerne af sundhedskonsekvenserne for især lokale kilder som vejtrafik og brændeovne. Ved en lav geografisk opløsning vil helbredseffekterne givet blive underestimeret for en befolkningsgruppe, der bor tæt på lokale kilder, da luftkoncentrationerne er større her end modellen beregner og tilsvarende overestimeret på dem, der bor lidt længere væk. Netop for at tage højde for dette er der i nærværende projekt udviklet en højere geografisk opløsning i modellen, hvor opløsningen er øget fra 16,7 km x 16,7 km til 1 km x 1 km for Hovedstadsregionen ved at integrere bybaggrundsmodellen UBM i EVA-systemet.

Befolkningseksponeringen er nu bestemt med en opløsning på 1 km x 1 km med bybaggrundskoncentrationen som indikator, men det kunne tænkes at endnu højere geografisk opløsning som adressen med tilhørende højere opløsning i koncentrationsberegningerne (fx integration af gademodel) ville give endnu mere pålidelige resultater. Studier har således vist at personer, som bor inden for 50 m af en trafikeret byvej og 100 m fra en motorvej har øget risiko for at dø for tidligt af hjerte-lunge relaterede sygdomme (Hoek et al. 2002). På nuværende tidspunkt er videngrundlaget mht. til dosis-respons sammehænge dog ikke fuldstændigt til at kvantificere de samlede sundhedseffekter for en befolkning på grundlag af eksponering på adresseniveau.

3 English Summary

3.1 Background and Purpose

Air pollution has significant negative effects on human health and wellbeing and this has significant socio-economic consequences.

The purpose of the project is to calculate the health impacts and external costs related to air pollution in the Municipalities of Copenhagen and Frederiksberg using the integrated model system EVA (Economic Valuation of Air pollution). The EVA-system calculates health impacts and related external costs based on information on locations of air pollution sources, the dispersion of air pollution and related population exposure, dose-response relationship between exposure and health effects, and valuation of health effects, also called external costs related to health effects of air pollution.

3.2 The study

Health effects and related external costs are first calculated for the total air pollution in the Copenhagen metropolitan area (approx. 1.8 million inh.) with separate estimates for the Municipalities of Copenhagen and Frederiksberg (approx. 0.7 million inh.). The total air pollution is a result of all sources in the Copenhagen metropolitan area and all other sources in Denmark and abroad. This gives a picture of how air pollution contributes to health impacts whether it's from local sources in Copenhagen or other sources.

Additionally, the calculations are carried out for each major type of emission source in Copenhagen providing the contribution from each source within the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg which are the sources that the cities are able to regulate. Emissions used for the calculation are equivalent to those used in the report "Kildebidrag til sundhedsskadelig luftforurening i København" (Jensen et al. 2013).

The health impacts and associated external costs are first calculated for the Copenhagen metropolitan area based on emissions from the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg and the impacts are distributed to the different emission sources. Then similar calculations are performed but only including impacts within the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg and based on local emissions within these two municipalities. The different calculations are summarized in Table 3.1.

Table 3.1. Calculations of health impacts and associated external costs in Copenhagen metropolitan area and municipalities of Copenhagen and Frederiksberg

Calculations	Area	Emissions
Impacts due to all air pollution in Copenhagen metropolitan area due to all sources	Copenhagen metropolitan area	All domestic and foreign sources
Impacts due to all air pollution in municipalities of Copenhagen and Frederiksberg due to all sources	Municipalities of Copenhagen and Frederiksberg	All domestic and foreign sources
Impacts due to all air pollution in Copenhagen metropolitan area due to emissions in municipalities of Copenhagen and Frederiksberg	Copenhagen metropolitan area	Only emissions in municipalities of Copenhagen and Frederiksberg
Impacts due to all air pollution Municipalities of Copenhagen and Frederiksberg due to emissions in municipalities of Copenhagen and Frederiksberg	Municipalities of Copenhagen and Frederiksberg	Only emissions in municipalities of Copenhagen and Frederiksberg

The calculations are carried out with the integrated model system EVA, Economic Valuation of Air pollution (Brandt et al., 2011a, b; 2013a, b), which is based on the so-called "impact pathway" approach. The calculations are based on the regional air pollution model DEHM with a resolution of 16.7 km x 16.7 km for Denmark. This solution is too coarse for an assessment for the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg, and there has been a significant development of the EVA-system to include the Urban Background Model (UBM) to be able to perform calculations on a 1 km x 1 km resolution in the Copenhagen metropolitan area. This development has achieved a unique high spatial resolution among systems for health impact and external costs assessment in an international context.

The urban background pollution in a city is the general air pollution in the city, and reflects the concentration in a park or on the roof of buildings. Urban background concentrations differ from street concentrations where also the direct contribution from the traffic in the specific street is included. Calculations are performed for 2010 which is the latest year where updated emissions are available for Denmark at 1 km x 1 km resolution.

3.3 Main Findings

Premature deaths and morbidity

The total annual number of premature deaths in 2010 in the Copenhagen metropolitan area (model domain) is approx. 1500 of which approx. 540 are within the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg due to all domestic and foreign emission sources.

Premature deaths are almost entirely due to so-called chronic deaths caused by long-term exposure to air pollution in contrast to so-called acute deaths due to short-term exposure during periods with elevated concentrations (episodes).

Those who die prematurely due to air pollution are especially elderly weakened persons who already suffer from cardiovascular and respiratory diseases. Deaths among infants represent a very small part.

In addition to premature deaths, there are many cases of morbidity. This include chronic bronchitis and discomfort for children and adults with asthma (use of bronchodilator, cough and respiratory symptoms), hospital admis-

sions for respiratory disease and stroke, heart failure, lung cancer, and many with reduced activity (sick days).

Health Impacts in Copenhagen metropolitan area due to local emissions sources in municipalities of Copenhagen and Frederiksberg

The purpose of these calculations is to quantify how much the local emission sources in Copenhagen contribute to health impacts in the Copenhagen metropolitan area. The calculations include distances up to approx. 20 kilometers from Copenhagen.

The local emission sources in Copenhagen contribute to approx. 80 premature deaths in Copenhagen metropolitan area while all air pollution in Copenhagen (domestic and foreign sources) contributes to about 540 premature deaths. This means that local emission sources in Copenhagen contribute to about 15% of all premature deaths in Copenhagen metropolitan area.

The main local sources to the approx. 80 premature deaths in the Copenhagen metropolitan area is non-industrial combustion which primarily consists of combustion from wood stoves and boilers (about 50 premature deaths) and road transport (about 20 premature deaths). The same pattern is observed for morbidity.

Similarly, it was examined to what extent local emission sources in Copenhagen contribute to health impacts in Copenhagen.

The local emission sources in the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg contribute to approx. 67 premature deaths in the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg while sources in Copenhagen contributed to about 80 premature deaths in Copenhagen metropolitan area as described above. This means that the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg contribute to approx. 13 premature deaths to surrounding municipalities within a distance of approx. 20 kilometers from Copenhagen.

The local emission sources in the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg contribute to about 12% of all premature deaths in the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg.

The main local sources are also non-industrial combustion which primarily consists of combustion in wood stoves and boilers followed by road traffic. The same pattern is observed for morbidity.

External costs due to all air pollution

The total external costs in the Copenhagen metropolitan area in 2010 due to all air pollution from both domestic and foreign emissions sources are about DKK 12 billion (DKK 10^9) per year, of which about DKK 4 billion per year in Copenhagen and Frederiksberg.

The external costs are almost entirely related to particles that here include primary emitted particles, and secondary inorganic particles formed in the atmosphere (nitrate, sulfate, ammonium), secondary formed organic particles (SOA) and "unknown mass". Unknown mass is likely to include water bound to the particles. Since sea salt is not yet included in the DEHM model sea salt is also part of "unknown mass" in this context, and the levels of SOA and unknown mass are included in the calculation with the EVA-system based on analysis of measurements.

External costs related to ozone have been calculated to about DKK 250 millions in Copenhagen metropolitan area, including about DKK 60 million for the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg. Ozone is not directly emitted but is formed in the atmosphere from emissions of NO_x, hydrocarbons and CO. Ozone is directly harmful to health, and therefore associated with external costs.

Contributions from CO to external costs are very small with about DKK 4 millions in Copenhagen metropolitan area including about DKK 2 million in the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg.

Most of the external costs are due to premature deaths.

External costs in the Copenhagen metropolitan area related to emission sources in Copenhagen

It is investigated how much the different local emission sources in Copenhagen contribute to health impacts in the Copenhagen metropolitan area.

The total external costs are about DKK 600 millions in Copenhagen metropolitan area due to emissions sources in municipalities of Copenhagen and Frederiksberg in 2010. The total external costs in the Copenhagen metropolitan area due to all air pollution from domestic and foreign emissions sources are approx. DKK 12 billion and local emissions in municipalities of Copenhagen and Frederiksberg contribute only about DKK 600 million corresponding to around 5%. This comparison is not entirely justified since we only include the external costs up to 20 km from the municipal border of Copenhagen and compares this with the total external costs within Copenhagen metropolitan area where we should compare with the total external costs within 20 km. However, this is not at present possible because of the way the model is set up. 5% is therefore an underestimation.

The external costs are due almost entirely to $PM_{2.5}$ as the local sources only are primarily emitted $PM_{2.5}$ as secondary particles are not formed on the short transport distances within the Copenhagen metropolitan area. The external costs of ozone are negative (DKK -60 million) which in this context shows that ozone counts positively. This is due to local emissions of nitrogen oxides (NO_x = NO + NO_2) in municipalities of Copenhagen and Frederiksberg and contribute to the reduction of O_3 levels in the city (NO reacts with O_3 to form NO_2), and therefore there is a "positive" effect of NO_x since it reduces harmful O_3.

External costs related to CO are negligible.

The main local source in Copenhagen that contributes to the external costs in the Copenhagen metropolitan area is non-industrial combustion (which consists primarily of combustion in wood stoves and boilers) which accounts for about 2/3 of the external costs followed by road transport with 1/4. Other types of sources which give a notable contribution is the use of products (emissions from solvents and use of products) with approx. 5% and mobile sources (non-road mobile machinery, etc.) with approx. 4%.

External costs in Copenhagen related to emission sources in Copenhagen

Similarly, external costs for the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg in 2010 due to local emissions in the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg have been calculated.

The total external cost is about DKK 500 million in Copenhagen and Frederiksberg due to emission sources in these two municipalities in 2010. The total external costs in Copenhagen due to the total air pollution from domestic and foreign emission sources are approx. DKK 4 billion and the local emissions in Copenhagen and Frederiksberg contribute only about DKK 500 million equal to 11%. On the other hand, this means that about 89% of all external costs related to air pollution in Copenhagen are caused by emissions outside Copenhagen.

If we compare the difference between external costs from the contribution of emission sources in the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg, and Copenhagen metropolitan area, it represents approx. DDK 100 million. Consequently, the emission sources in the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg contribute to external costs in the order of DKK 100 million outside the municipal border of Copenhagen at distances up to about 20 km.

The main local source in Copenhagen that contribute to the external costs is non-industrial combustion (which consists primarily of combustion in stoves and boilers) which accounts for about 2/3 of the external costs followed by road transport (1/5). Other types of sources with a notable contribution is the use of products (emissions from solvents and use of products) with approx. 5% and mobile sources (non-road mobile machinery, etc.) with approx. 4%. The distribution of external costs between these sources is roughly equivalent to the distribution in the Copenhagen metropolitan area due to emission sources in Copenhagen, as demonstrated above.

3.4 Uncertainties

Impact pathway method

The EVA-system is based on the impact pathway approach covering emissions from sources, the dispersion and chemical transformation in the atmosphere, exposure of the population, health effects, and economic valuation of these health effects. There are uncertainties in all these elements.

Emission sources in Copenhagen

The calculations of health effects and external costs of emissions in the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg are based on the official national emission inventory broken down by different geographical distribution keys.

The main local source in Copenhagen in relation to the external costs of Copenhagen is non-industrial combustion (which consists primarily of combustion in wood stoves and boilers) which accounts for about 2/3 of the external costs. However, there is considerable uncertainty in this estimate related to the level of emissions and their geographic distribution.

The other main local source of emissions in Copenhagen in relation to external costs is road transport which accounts for about 1/4 of the external costs. There is less uncertainty in emissions from road traffic since the knowledge base and the potential for validation of emissions is much greater than for wood-burning stoves.

Calculation of dispersion of air pollution

The current calculations do not include the contribution of the health effects and related external costs from emissions in Copenhagen on a regional scale, that is, outside the Copenhagen metropolitan area. Emissions of air pollution will disperse over greater distances leading to population exposure further away - in terms of the primarily emitted $PM_{2.5}$ and secondarily formed nitrate particles from NO_x emissions in Copenhagen. It has not been possible to take into account this effect within the framework of this project since it would require development of a feedback from the urban background model (UBM) to the regional model (DEHM). This means that the estimated external costs are underestimated since it does not include the impacts outside the Copenhagen metropolitan area. It also leads to an underestimation of NO_x sources e.g. road transport compared to wood stoves.

Health hazard of particles

There is great uncertainty about which types of particles (both size and chemical composition) cause health hazards. The international knowledge base, however, shows a clear correlation between the concentration of particles smaller than 2.5 microns ($PM_{2.5}$ measured as mass) and premature deaths. With the current knowledge, it is not possible to quantitatively distinct between health effects of particles of different sizes and chemical composition, and therefore these are treated equally in the calculations. However, recent studies (Rohr & Wyzga 2012) suggest that carbonaceous particles (e.g. directly emitted) are more harmful than non-carbonaceous particles, such as the inorganic secondary particles (e.g. particles that are emitted as gas and by chemical processes in the atmosphere are converted into particles).

There is still a need for more information about the relationship between air pollution and health effects, and how it depends on different types of particles and different types of emission sources.

Spatial resolution

The spatial resolution of the model system may affect the results of the calculations of the health impacts, especially for local sources of road traffic and wood stoves. At low spatial resolution will likely underestimate population exposure for persons living close to local sources since air concentrations are greater than predicted by the model and correspondingly overestimated for those who live further away. In order to partly account for this the present project has developed a higher spatial resolution of the model where the resolution is increased from 16.7 km x 16.7 km to 1 km x 1 km for Copenhagen metropolitan area by integration of the urban background model (UBM) into the EVA-system.

Population exposure is now determined with a resolution of 1 km x 1 km for urban background concentration as an indicator but it is likely that an even higher spatial resolution using the street addresses with associated higher resolution in concentration calculations (e.g. integration of street model) would give even more reliable results. Studies have shown that people who live within 50 meters of a busy urban street and 100 meters from a highway have increased risk of premature death from heart and lung diseases (Hoek et al. 2002). However, at present the knowledge about dose-response relationships is not comprehensive enough to quantify the overall health effects of a population on the basis of exposure at address level.

4 EVA-systemet

Dette kapitel beskriver EVA-systemet, og de metoder, og data det hviler på, samt hvad det kan anvendes til. Endvidere beskrives hvordan det er videreudviklet med henblik på højere geografisk opløsning velegnet til beskrivelse af forholdene i en by som København.

4.1 Beskrivelse af EVA-systemet

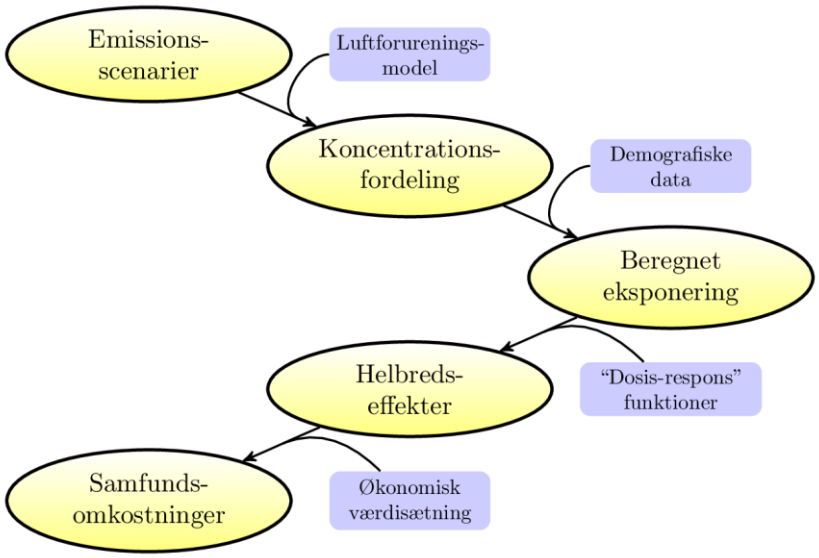
Anvendelse

EVA-systemet kan bruges til at undersøge hvilke kilder, der bidrager mest til luftforurening i et område. Udover en kvantificering af sundhedseffekterne, beregnes den indirekte (eller eksterne) omkostning af disse effekter, sådan at effekterne fra forskellige typer af kilder kan sammenlignes direkte, da der er en fælles enhed (penge).

Impact-pathway metoden

Det integrerede modelsystem, EVA (Economic Valuation of Air pollution (Brandt et al., 2011a,b; 2013a,b) er baseret på den såkaldte "impact-pathway" metode, og har til formål at kunne opgøre helbredsrelaterede eksterne omkostninger fra luftforureningen og estimere, hvordan omkostningerne er fordelt på de forskellige typer af luftforurening og emissionssektorer.

Det grundlæggende princip bag EVA-systemet er at bruge de bedst mulige videnskabelige metoder i alle leddene af "impact-pathway" kæden (se Figur 4.1) baseret på den bedst tilgængelige viden.



Figur 4.1. Et skematisk diagram over "impact-pathway" metoden. En emission fra en forurenende kilde et bestemt sted resulterer (via atmosfærisk transport og kemiske omdannelser) i en fordeling af koncentrationen i luften, som sammen med detaljerede befolkningsdata kan bruges til at beregne eksponeringen af befolkningen. Effekter på menneskers helbred findes ved brug af eksponering-respons funktioner og til sidst værdisættes de individuelle effekter for at finde de totale eksterne omkostninger.

"Impact-pathway" kæden dækker alle leddene fra udslip af kemiske stoffer fra specifikke kilder, over spredning og kemisk omdannelse i atmosfæren, eksponering af befolkningen, beregning af helbredseffekter, til den økonomiske værdisætning af disse helbredseffekter. Den økonomiske værdisætning af effekter kaldes også for indirekte omkostninger eller eksternaliteter (eksterne omkostninger). Der er direkte omkostninger forbundet med produktionen af elektricitet i form af opførelse af kraftværker og forbrug af kul, hvorimod de helbredsrelaterede omkostninger fra luftforureningen, der kommer fra kraftværket, ikke er relateret direkte til produktion og forbrug, og derfor betegnes som indirekte eller eksterne omkostninger. De indirekte omkostninger er knyttet til f.eks. sygdom, for tidlige dødsfald eller sygedage med deraf tabt arbejdsfortjeneste eller omkostninger for samfundet i form af tabt omsætning eller øgede sygehusomkostninger.

Udvikling af højere geografisk opløsning

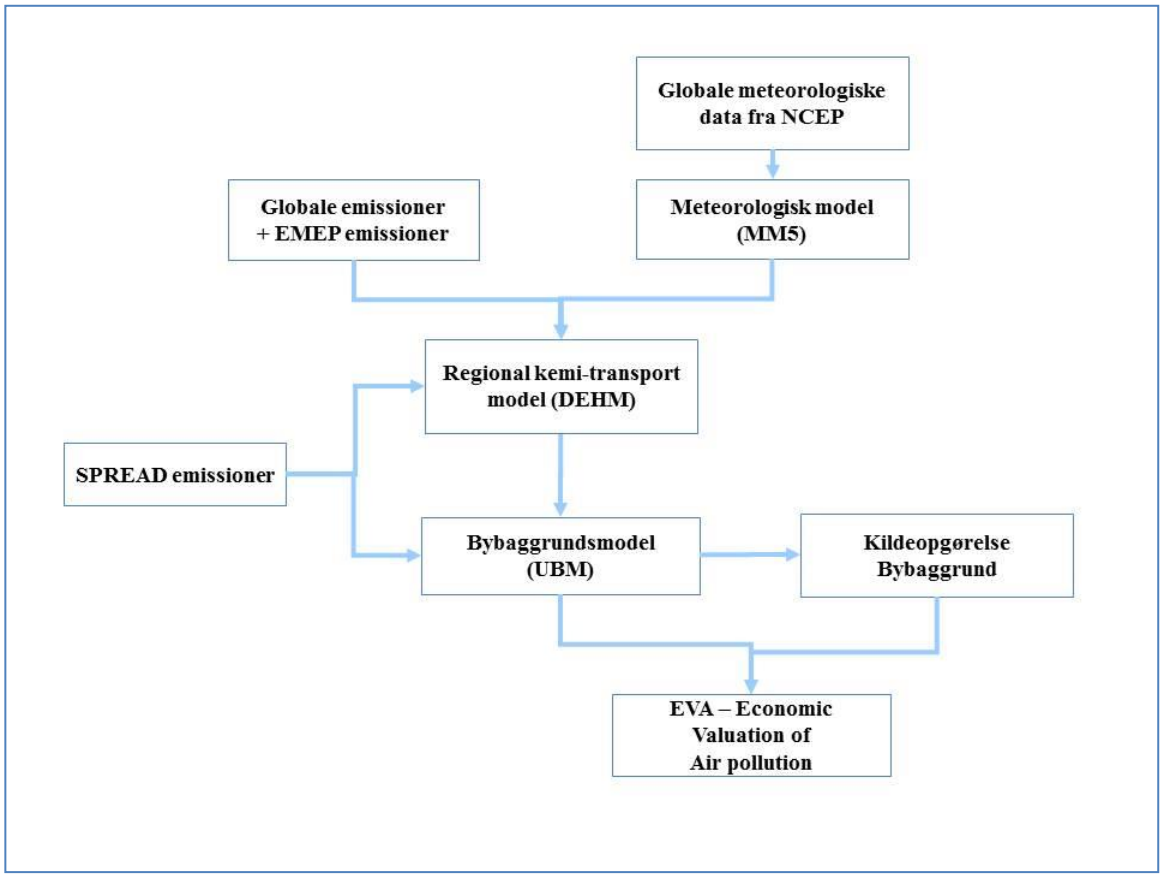
Beregningerne er udført ved en videreudvikling af EVA-systemet, som hidtil har baseret sig på resultater fra den regionale luftforureningsmodel DEHM (Danish Eulerian Hemispheric Model) med en opløsning på 16,7 km x 16,7 km for Denmark. Denne opløsning er imidlertid for grov i forhold til en vurdering for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Der er foretaget en væsentlig videreudvikling af EVA-systemet til også at omfatte bybaggrundsmodellen UBM (Urban Background Model) med input fra den regionale luftforureningsmodel DEHM, sådan at beregninger kan udføres på 1 km x 1 km opløsning i bybaggrunden. Dvs. der beregnes en koncentration af luftforureningen i byen inden for et kvadrat på 1 km x 1 km. Med denne videreudvikling er der opnået en unik høj geografisk opløsning i international sammenhæng for denne type beregninger.

Modelsetup i EVA-systemet med høj geografisk opløsning er vist i Figur 4.2.

Som det fremgår af Figur 4.2 kræver DEHM og UBM input data om emission og meteorologi. Danske emissioner er tilvejebragt på baggrund af nationale emissioner, som er fordelt via forskellige geografiske fordelingsnøgler (SPREAD -Spatial High Resolution Emission to Air Distribution) mens Europæiske emissioner er baseret på EMEP (The European Monitoring and Evaluation Programme) emissionsdatabase og øvrige emissioner for forskellige globale emissionsdatabaser, heriblandt også databaser og modeller for naturlige emissioner. Meteorologiske data er fra den meteorologiske model MM5.

Kombinationen af luftkvalitetsmodellerne DEHM og UBM beregner bybaggrundskoncentrationerne med en geografisk opløsning på 1x1 km^2 (beregningspunkt i centrum af disse kvadrater), og befolkningseksponeringen fås ved at gange med befolkningstætheden inden for dette kvadrat. Helbredseffekter beregnes ud fra dosis-respons sammenhænge, og de eksterne omkostninger fås ved at gange helbredseffekterne med enhedspriser for de enkelte helbredseffekter.

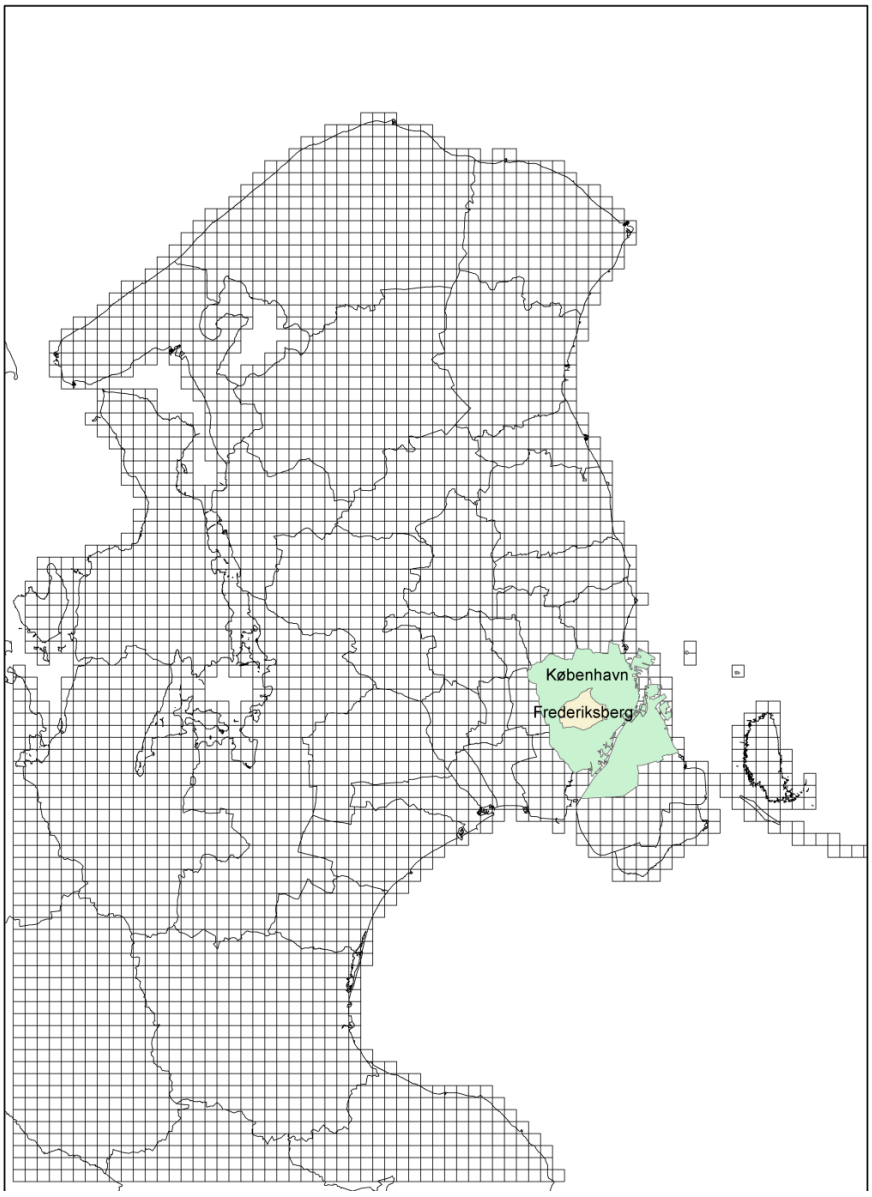
I nærværende projekt anvendes modelsystemet til at beregne den totale luftforurening i København, dvs. inkl. både kilder i København og alle øvrige kilder i Danmark og udlandet, og de tilhørende sundhedseffekter og eksterne omkostninger beregnes. Endvidere beregnes sundhedseffekter og eksterne omkostninger for hver hovedkildetype i København, således at det er muligt at opgøre bidraget fra de enkelte kilder med udledninger i København, som er de kilder som Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune har mulighed for at regulere.



Figur 4.2. Overordnet illustration af modelsystem til beregning af sundhedseffekter og sundhedsrelaterede eksterne omkostninger med høj geografisk opløsning.

Modelområde for nærværende projekt

I Figur 4.3 er modelområdet visualiseret, som de samlede sundhedseffekter og eksterne omkostninger bliver gjort op på i nærværende projekt. Der er dels hele Hovedstadsregionen, som i dette projekt er defineret som det pågældende 1x1 km^2 gitternet, som er lagt ned over dele af Sjælland. Udstrækningen af gitternettet er 90x90 km^2, hvor kun gitterceller på land er visualiseret i Figur 4.3, men det strækker sig også ud i fx Øresund. Der ud over er der en underopdeling på Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune, som dog bliver betragtet under ét. Der bor omkring 1,8 million mennesker i Hovedstadsregionens modelområde heraf omkring 550,000 i Københavns Kommune og 100,000 i Frederiksberg Kommune, dvs. i alt omkring 650,000 personer i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.



Figur 4.3. Modelområdet i projektet inkluderer Hovedstadsregionen (gitternet) med en underopdeling for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune under ét.

I det efterfølgende gøres der mere detaljeret rede for hvilke luftforureninger, som indgår i EVA-systemet, og de enkelte delelementer af modelsystemet.

Luftforureninger

Helbredseffekter for de kemiske stoffer, som er medtaget i EVA-systemet er: De primært emitterede partikler $PM_{2.5}$, de sekundært dannede uorganiske partikler SO_4^{2-} (sulfatpartikler), NO_3^- (nitratpartikler) og NH_4^+ (ammoniumpartikler), samt gasserne SO_2 (svovldioxid), CO (kulilte) og O_3 (ozon). For nuværende er det kun helbredseffekter, der er medtaget i EVA-systemet. Miljøeffekter og effekter på klimaet vil blive implementeret på et senere tidspunkt.

SO_2 er ikke medtaget i den emissionsopgørelse, som er lavet i projektet "Kortlægning af forskelige kilders bidrag til luftforureningen i København" (Jensen et al. 2013), og som ligger til grund for EVA-beregninger for bidragene fra kilder i København, og sundhedseffekterne kan derfor ikke umiddelbart beregnes fra dette stof, men pga. de lave emissioner af SO_2 vurderes at effekterne for dette stof vil være minimale.

Sekundære organiske partikler og ukendt masse

DEHM modellen inkluderer endnu ikke sekundære organiske partikler (SOA). Derfor er bidraget fra sekundære organiske partikler (SOA) i den totale luftforurening lagt til ud fra analyse af målinger. Der findes målinger af organisk kulstof (OC) på både Lille Valby/Risø og H.C. Andersens Boulevard (gade), og organiske partikler (OM) kan skønnes til omkring 3,3 $\mu g/m^3$ (Ellermann et al. 2012). Det er samme niveau på begge stationer, som derfor antages at være et regionalt bidrag, og det samme niveau antages for bybaggrund i København. Organiske partikler kan indeholde både primære og sekundære organiske partikler, men størstedelen antages at være de sekundære organiske partikler (SOA), og SOA er derfor anvendt i denne rapport til at beskrive denne del.

Endvidere er der lagt et bidrag til for "ukendt masse" sådan at den samlede masse passer med målinger af den samlede masse for hhv. PM_{10} og $PM_{2.5}$ i 2011 baseret på målinger fra NOVANA (Ellermann et al. 2012). Det er skønnet til hhv. omkring 6,9 $\mu g/m^3$ og 2,4 $\mu g/m^3$ for PM_{10} og $PM_{2.5}$. Ukendt masse formodes bl.a. at være vand bundet til partiklerne. Da havsalt endnu ikke er inkluderet i DEHM modellen er en del af "ukendt masse" i denne sammenhæng også havsalt. Der arbejdes pt. på at inkludere havsalt i DEHM modellen.

SOA og ukendt masse er lagt til det modellerede DEHM bidrag helt parallelt med, hvordan det blev gjort i forbindelse med rapporten "Kortlægning af forskelige kilders bidrag til luftforureningen i København" (Jensen et al. 2013). Opgørelsen af sundhedseffekterne og de tilhørende eksterne omkostninger er derfor baseret på det samlede partikelbidrag (DEHM modelleret plus SOA og ukendt masse). Dette har dog kun betydning for beregningerne for den totale luftforurening og ikke for bidraget fra de enkelte emissionssektorer i København, da SOA og ukendt masse er et regionalt bidrag, og således ikke stammer fra kilder i København.

EVA-beregninger

Stofferne beskrevet ovenfor, indgår alle i beregningen af sundhedseffekterne fra den totale luftforurening i Københavns og Frederiksberg kommuner.

I beregningen af de enkelte kilders bidrag fra emissioner inden for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune til sundhedseffekterne i Hovedstadsregionen og indenfor disse kommuner, er det kun de primært emitterede partikler $PM_{2.5}$ samt O_3, som er relevante for at kunne beregne bidragene til sundhedseffekterne. For O_3 er både de positive og negative sundhedseffekter medtaget i beregningerne. O_3 er direkte sundhedsskadeligt, og har derfor negative sundhedseffekter. Men lokale emissioner af kvælstofoxider (NO_x=NO+NO_2) emissioner i København og på Frederiksberg bidrager til en reducering af O_3 niveauerne i byen (NO går sammen med O_3 og danner NO_2), og derfor er der også en "positiv" effekt af NO_x, da O_3 reduceres. Beregninger for CO er også inkluderet, men effekten fra dette stof er minimal.

De sekundært dannede uorganiske partikler SO_4^{2-}, NO_3^- og NH_4^+ dannes via kemiske reaktioner i atmosfæren ud fra de primære emitterede stoffer (SO_2, NO_x, NH_3) i løbet af timer til dage, og derfor vil disse partikler allerede være blæst væk fra Hovedstadsregionen og København før de er dannet. De er derfor ikke relevante, når bidraget til sundhedseffekterne indenfor København og Frederiksberg kommuner fra emissioner inden for disse kommuner skal opgøres, men bidrager til sundhedseffekter og eksterne omkostninger

langt fra København. Det langtransporterede bidrag fra København af disse stoffer er ikke medtaget i beregningerne.

4.2 Emissionsopgørelse og geografisk fordeling

Udenlandske emissioner

Emissionsdata til DEHM er baseret på en række europæiske og globale emissionsopgørelser, da modellen dækker den nordlige halvkugle. Emissionsgrundlaget for Europa er baseret på de sidst tilgængelige emissionsdata fra EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme; www.emep.int) for året 2008, som har været anvendt til beregningerne for 2010 i NOVANA.

Der indgår en del naturlige emissioner i DEHM, bl.a. isopren fra vegetation, som spiller en rolle for beregninger af ozon, samt NO_x emissioner fra lyn og jord i relation til nitrifikation og denitrifikation, partikler fra skovbrande, mv. En beskrivelse af de naturlige emissioner i DEHM er givet i *Brandt et al.* (2012).

Danske emissioner

For Danmark er DEHM beregninger baseret på 1 x 1 km^2 emissionsdata for Danmark for alle emissionsklasser for 2010 baseret på SPREAD emissionsmodellen (Plejdrup & Gyldenkærne, 2011).

De nationale emissionsopgørelser omfatter summen af emissioner udledt i hele Danmark for en lang række kilder underopdelte i såkaldte SNAP koder. SNAP er en international nomenklatur for kildetyper til luftforurening – Selected Nomenclature for Air Pollution.

For at emissionerne fra de nationale opgørelser kan anvendes til modellering af fx luftkvalitet, er der tilføjet en geografisk komponent. Hertil har ENVS/AU udviklet den GIS- og database baserede model SPREAD (Plejdrup & Gyldenkærne, 2011). I modellen behandles emissionerne på det mest disaggregerede niveau som er muligt på basis af de disponible geografiske data. En række kilder behandles som punktkilder, hvor den eksakte geografiske lokalitet er kendt. Punktkilder omfatter hovedsageligt el- og varmeproducenter samt større industrivirksomheder. Ud over punktkilderne er der en lang række kilder, der ikke kan lokaliseres enkeltvis, men som behandles gruppevis ud fra kildernes fælles karakteristika. Disse kilder kaldes arealkilder, og omfatter bl.a. energiforbrug i husholdninger, industrielle processer, anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter, vejtransport, og andre mobile kilder, herunder ikke-vejgående maskiner i industrien. For hver enkelt kilde eller gruppe af kilder er der udviklet en nøgle til fordeling af de nationale emissioner ud fra de disponible geografiske data, fx arealanvendelse, befolkningstæthed, infrastruktur og trafikdata.

Den følgende opdeling af emissionskilderne fra SPREAD modellen er pt. implementeret i UBM modellen, se Tabel 4.1.

Tabel 4.1. SNAP koder for de forskellige kilder/emissionssektorer

SNAP kode	Beskrivelse
SNAP 01	Kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg
SNAP 02	Ikke-industriel forbrænding, f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service
SNAP 03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed
SNAP 04	Industrielle processer
SNAP 05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas
SNAP 06	Anvendelse af produkter
SNAP 07	Vej transport
SNAP 08	Andre mobile kilder:
SNAP 0801	- Militær transport
SNAP 0802	- Jernbaner
SNAP 0803	- Flodtransport
SNAP 0804	- Søfart
SNAP 0805	- Luftfart
SNAP 0806	- Landbrug
SNAP 0807	- Skovbrug
SNAP 0808	- Industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner
SNAP 0809	- Maskiner og redskaber i have/hushold
SNAP 0811	- Maskiner og redskaber i handel og service
SNAP 09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding
SNAP 10	Landbrug

SNAP kategori 2 omfatter boligopvarmning, som er domineret af brændeovne. Den geografiske fordeling af brændeovne er pt. meget simpel. Den geografiske fordeling er baseret på en opgørelse af brændselsforbruget til individuel opvarmning på kommuneniveau foretaget af Energistyrelsen. Denne opgørelse er baseret på en række antagelser, som ikke er blevet revurderet i en årrække. Som en konsekvens er udledningerne fra opvarmning i private hjem jævnt fordelt over hele kommunen. At forbedre den geografiske fordeling vil kræve oplysninger om det præcise antal og placering af brændeovnene i kommunen. Derudover vil der også skulle laves undersøgelser af det gennemsnitlige brændeforbrug afhængigt af om brændeovnen er placeret i et parcelhus eller i en lejlighed. Inden for rammerne af dette projekt, er det ikke muligt at forbedre grundlaget. Bidraget fra SNAP kategori 2 (boligopvarmning) er beregnet ud fra den nuværende emissionsopgørelse.

Mht. bidraget fra skibstrafikken (SNAP 0804) har det ikke været muligt indenfor rammerne af dette projekt at opdele bidraget i krydstogtskibe, Øresundstrafik, Østersø, mv. Bidraget fra skibstrafikken er derfor beregnet under ét og kun i en afstand op til 20 km fra København. Det væsentligste bidrag fra skibstrafikken består desuden af sekundære stoffer, som er langtransporteret.

Emissioner i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune

Emissionsbidraget fra de enkelte kilder inden for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune er tidligere beregnet (Jensen et al. 2013), og er opsummeret i Tabel 4.2 for NO_x, PM_{10} og $PM_{2.5}$ per sektor og som sum af alle sektorer.

Tabel 4.2. NO_x, PM_{10} og $PM_{2,5}$ emissioner for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune sektorvis og total i 2010. (Enhed: Mg = Mega gram = ton).

SNAP	Kilde	NO_x	PM_{10}	$PM_{2.5}$
01	Kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	988,46	16,11	13,55
02	Ikke-industriel forbrænding, fx forbrænding i husholdninger og handel og service	179,51	451,55	444,87
03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	55,68	3,81	2,32
05	Udledninger i forb. med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas		17,37	1,74
06	Anvendelse af produkter	4,98	30,12	26,20
07	Vej transport	2769,86	219,53	170,08
0802	Jernbaner	137,10	4,62	4,62
0803	Lystsejlads	0,22	0,02	0,02
0804	Søfart	3,50	0,06	0,06
0805	Luftfart	19,35	0,08	0,08
0806	Mobile kilder i landbrug	1,47	0,11	0,11
0807	Mobile kilder i skovbrug	0,04	0,01	0,01
0808	Mobile kilder i industri, inklusiv ikke-vejgående maskiner	261,88	21,04	21,04
0809	Mobile kilder, maskiner og redskaber i have/hushold	0,91	0,15	0,15
0811	Mobile kilder, maskiner og redskaber i handel og service	26,49	8,13	8,13
09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	5,79	0,92	0,92
10	Landbrug		0,16	0,08
Total		4455,24	773,81	693,99

Meteorologiske data

Udover emissionsdata kræver beregninger med luftkvalitetsmodellerne også adgang til meteorologiske data. Der anvendes modellerede meteorologiske data fra den meteorologiske model MM5v3 for 2010 (Grell et al., 1995), som køres rutinemæssigt på ENVS/AU, som er en del af NOVANA programmet.

Beregningsår

Da danske emissionsdata og også meteorologiske data er fra 2010, afspejler de beregnede koncentrationer og tilhørende sundhedseffekter og eksterne omkostninger situationen i 2010.

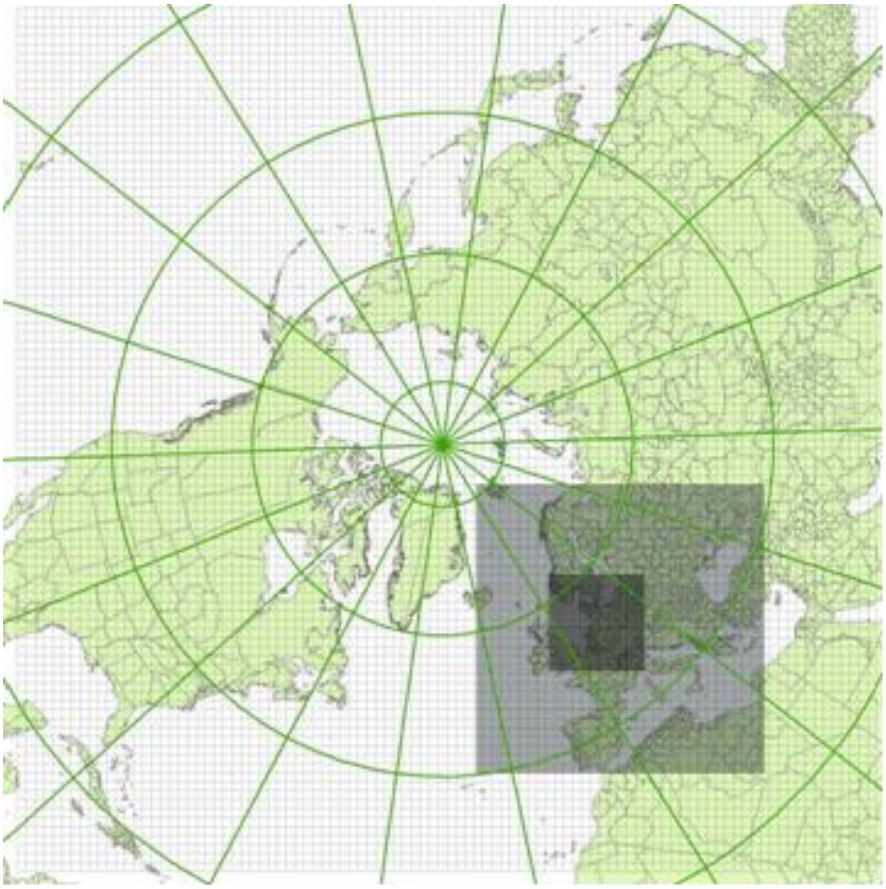
4.3 Koncentration og befolkningseksponering

Regional luftkvalitetsmodel

Først beregnes den regionale luftforurening med Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM) (Christensen, 1997; Brandt et al., 2012) som input til bybaggrundsmodellen. Den regionale baggrund repræsenterer koncentrationerne i landområder. Modellen beregner koncentrationen af 9 partikelkomponenter og 58 gasser, herunder NO_x, NO_2, O_3, CO, SO_2, NH_3, VOC, mv. Den totale $PM_{2.5}$ og PM_{10} i DEHM modellen består af summen af de følgende stoffer: primært emitteret mineralsk støv, sod (black carbon (fresh (friske) og aged (ældede)), organisk kulstof, og de sekundære uorganiske partikler i form af sulfater og nitrater (H_2SO_4, NO_3^- , NH_4NO_3, NH_4HSO_4 og $(NH_4)_2SO_4$). Modellen er ved at blive videreudviklet til også at inkludere sekundære organiske partikler (SOA) og havsalt, men de er ikke inkluderet i modellen pt., men disse bidrag er lagt til ud fra målinger.

Modeldomænet for DEHM dækker den nordlige halvkugle med en horisontal opløsning på 150 km x 150 km. På nuværende tidspunkt er der mulighed for at zoome ind til en højere opløsning over Europa (50 km x 50 km) og en

endnu højere opløsning over Danmark (16,67 km x 16,67 km) ved hjælp af to såkaldte nest (områder i modeldomænet hvor opløsningen er højere end i resten af domænet). Modeldomænet og de to nest er vist i Figur 4.4. Atmosfæren er i modellen beskrevet ved hjælp af 29 vertikale lag. Toppen af det øverste lag befinder sig i ca. 15 km højde og lagene bliver smallere og smallere jo tættere man kommer på jordoverfladen. Generelt giver modellen en god beskrivelse af de nederste ca. 15 km af atmosfæren. Modellen inkluderer emissioner af en række primære stoffer, fx kvælstofoxider (NO_x), svovldioxid (SO_2), ammoniak (NH_3), metan (CH_4) og andre flygtige organiske forbindelser (VOC'er) samt partikler (bl.a. $PM_{2.5}$). Emissionerne er baseret på data fra bl.a. EMEP (www.emep.int). Derudover inkluderer DEHM kemisk omdannelse af 63 stoffer i atmosfæren.



Figur 4.4. DEHM beregningsområdet med to nest – et over Europa (50x50 km^2) og et over Danmark og tilstødende områder (16,7x16,7 km^2). Uden for Europa er opløsningen 150x150 km^2.

Bybaggrundsmodel

Bybaggrundsforureningen repræsenterer den generelle forurening i byerne og er beregnet med Urban Background Model (UBM) (Berkowicz, 2000; Brandt et al., 2001a). DEHM- og UBM-beregningerne foregår i en koblet proces, således at UBM modellen får input om beregnede opstrøms regionale koncentrationer time for time fra DEHM (Brandt et al., 2001a;b;c; 2003). Modellen inkluderer simpel fotokemi (NO_x, NO_2, O_3) og øvrige stoffer, som ikke indgår heri spredes blot uden kemisk omdannelse.

UBM modellen tager i den nuværende version hensyn til emissioner, som ligger inden for 20 km fra receptorpunkterne fx i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Endvidere er medtaget bidraget fra den internationale skibstrafik i Øresund, hvor det lokale bidrag fra Øresund er defineret i

en afstand op til 20 km. Bidraget fra afstande over 20 km er således beregnet med DEHM.

Deltakoncentrationer

Mange atmosfærekemiske processer er ikke lineære, hvilket betyder at en ændring af emissionen af et stof kan medføre endnu større ændringer i koncentrationen af andre stoffer i atmosfæren. For at vurdere den marginale ændring i den årlige middelkoncentration som skyldes udledningen fra en specifik kildetype, foretages beregningerne med den regionale model og bybaggrundsmodellen to gange: med og uden emissionerne fra kilden. Denne marginale ændring kaldes delta-koncentrationen, og det er den som anvendes til at beregne befolkningseksponeringen relateret til den specifikke kilde, og de tilhørende sundhedseffekter og eksterne omkostninger.

I nærværende projekt gennemføres sådanne beregninger for de forskellige emissionskilder inden for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune for at kvantificere bidragene fra de forskellige kilder til sundhedseffekter og eksterne omkostninger forårsaget af kilder, som kan reguleres lokalt.

Befolkningsdata

Danmark er i den unikke position, at vi har et centralt register med information vedrørende adresse, køn og alder for alle personer i landet (det Centrale Persondata Register, CPR). Et udtræk af CPR for år 2000 danner grundlag for befolkningsdata i EVA for Danmark. For at få CPR data overført til et geografisk gitter, er modelgitrene for den regionale og lokale model overlejret på CPR datasættet ved hjælp af et GIS værktøj med udgangspunkt i den koordinatsatte adresse. For hver gittercelle i de to modellers beregningsområde er antallet af personer fordelt på køn og alder efterfølgende opsummeret til de aldersklasser, der svarer til forudsætningerne for de anvendte dosis-respons funktioner. På europæisk skala (det vil sige uden for Danmark) anvendes et tilsvarende, men knap så geografisk detaljeret, datasæt fra EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme; www.emep.int).

4.4 Helbredseffekter

De helbredseffekter som pt. er beskrevet i EVA systemet, er følgende:

- Kronisk bronchitis
- Dage med nedsat aktivitet (sygedage)
- Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser
- Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser
- Tilfælde af hjertesvigt
- Lungecancer
- Brug af bronkodilatatorer blandt børn
- Brug af bronkodilatatorer blandt voksne
- Episoder med hoste blandt børn
- Episoder med hoste blandt voksne
- Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn
- Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne
- Akutte tabte leveår (YOLL)
- Kroniske tabte leveår (YOLL)
- Dødsfald blandt spædbørn

Antallet af for tidlige dødsfald relateret til luftforurening beregnes ud fra YOLL (Years of Lifes Lost) divideret med en faktor for det typiske antal af tabte leveår i gennemsnit. I de nuværende EVA beregninger er denne faktor 10,6 år, og er baseret på et Europæisk gennemsnit fra Clean Air for Europe (CAFÉ; Watkis et al. 2005).

4.5 Dosis-respons funktioner og enhedspriser

Delta-koncentrationerne kobles til befolkningsdata for hver gittercelle for at beregne befolkningseksponeringen i dosis-respons beregningen.

Dosis-respons funktioner er typisk tilgængelige på formen: $R = \alpha \cdot \Delta c \cdot P$, hvor R er responset (fx *lungecancer*, *hoste* eller *tab af IQ-point*) målt i en passende enhed (fx. *tilfælde* af lungecancer, *dage* med hoste eller *antal* tabte IQ-point). Δc er delta-koncentrationen, det vil sige den marginale koncentrationsændring, som skyldes emissionerne fra den specifikke kilde, P er den berørte befolkningsdel og α er en empirisk bestemt konstant for den specifikke funktion, typisk tilvejebragt fra publicerede studier af større befolkningsgrupper (kohorter).

Der er bred enighed om at dosis-respons funktionerne og de tilhørende enhedspriser er lande-specifikke bl.a. fordi helbredsudfald hænger sammen med en række forskellige forhold, hvoraf levevis er en vigtig parameter. Desuden er befolkningernes almene sundhedstilstand og landenes økonomier forskellige. De funktioner der på nuværende tidspunkt er inkluderet i EVA (Tabel 4.3) er derfor tilpasset til danske betingelser. For referencer vedrørende dosis-respons funktionerne og enhedspriser, se *Brandt et al.* (2011; 2013a).

Tabel 4.3. Sundhedseffekter, dosis-respons funktioner og enhedspriser (for Danmark) som pt er inkluderet i EVA. (PM = Particulate Matter, og inkluderer primær $PM_{2.5}$, nitrat (NO_3^-) og sulfat (SO_4^{--}). YOLL står for "Years Of Life Lost" og angiver antallet af tabte leveår. SOMO35 er et navn for summen af 8-timers middelværdier over 35 ppb på et år (sum of means over 35 ppb (daily maximum 8-hour), som igen er et mål for eksponeringen. En Euro = 7,5 kr.

Sundhedseffekt (respons)	**Dosis-respons funktion**	**Enhedspris Euro (2006-priser)**
MORBIDITET		
Kronisk bronchitis	8,2E-5 tilfælde/ μgm^{-3} (PM)	52.962 per tilfælde
Dage med nedsat aktivitet	8,4E-2 dage/ μgm^{-3} (PM)	131 per dag
Hospitalsindlæggelser		
- luftvejsrelateret	3,46E-6 tilfælde/ μgm^{-3} (PM)	7.931 per tilfælde
- luftvejsrelateret	2,04E-6 tilfælde/ μgm^{-3} (SO_2)	7.931 per tilfælde
- kredsløbsrelateret	8,42E-6 tilfælde/ μgm^{-3} (PM)	10.047 per tilfælde
Blodprop i hjertet	3,09E-5 tilfælde/ μgm^{-3} (PM)	16.409 per tilfælde
Blodprop i hjertet	5,64E-7 tilfælde/ μgm^{-3} (CO)	16.409 per tilfælde
Lungekræft	1,26E-5 tilfælde/ μgm^{-3} (PM)	20.150 per tilfælde
Astmabørn (7,6 % < 16 år)		
- bronchodilator anvendelse	1,29E-1 tilfælde/ μgm^{-3} (PM)	23 per tilfælde
- hoste	4,46E-1 dage/ μgm^{-3} (PM)	59 per dag
- luftvejssymptomer	1,72E-1 dage/ μgm^{-3} (PM)	16 per dag
Astmavoksne (5,9 % > 15 år)		
- bronchodilator anvendelse	2,72E-1 tilfælde/ μgm^{-3} (PM)	23 per tilfælde
- hoste	2,8E-1 dage/ μgm^{-3} (PM)	59 per dag
- luftvejssymptomer	1,01E-1 dage/ μgm^{-3} (PM)	16 per dag
Tab af IQ		
bly (Pb) (<1 år)	1,3 IQ-point/ μgm^{-3} (Pb)	24.967 per IQ-point
kviksølv (Hg) (fostre)	0,33 IQ-point/ μgm^{-3} (Hg)	24.967 per IQ-point
MORTALITET		
Akut dødelighed (SO_2)	7,85E-6 tilfælde/ μgm^{-3}	2.111.888 per dødsfald
Kronisk dødelighed (PM)	1,138E-3 YOLL/ μgm^{-3} (>30 år)	77.199 per YOLL
Spædbarnsdødelighed (PM)	6,68E-6 tilfælde/ μgm^{-3} (> 9 mdr)	3.167.832 per dødsfald
Akut dødelighed (O_3)	3,27E-6*SOMO35 tilfælde/ μgm^{-3}	2.111.888 per dødsfald

Dosis-respons funktioner er indbygget i EVA-system for tab af IQ, men indgår ikke i nærværende studie.

5 Sundhedseffekter i Hovedstadsregionen og København

Dette kapitel opsummerer luftforureningens sundhedseffekter for hele Hovedstadsregionen (inkl. Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune) og særskilt for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.

Endvidere kvantificeres bidragene fra de forskellige emissionskategorier (SNAP kategorier) i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune til sundhedseffekterne i hhv. Hovedstadsregionen og København. Formålet med disse beregninger er at kvantificere, hvor meget de lokale emissionskilder i København betyder for sundhedseffekterne i Hovedstadsregionen og i København. I det følgende er Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune kort refereret til som København). Beregningerne er gennemført med EVA-systemet med de forudsætninger, som er beskrevet i det foregående kapitel.

5.1 Sundhedseffekter i Hovedstadsregionen fra alle kilder

For tidlige dødsfald

Det totale årlige antal tilfælde af for tidlige dødsfald i hele Hovedstadsregionen (modelområdet) er ca. 1500, hvoraf ca. 540 er indenfor Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune i 2010 på baggrund af de totale luftforureningsniveauer baseret på både danske og udenlandske emissionskilder (Figur 5.1).

Til sammenligning har EVA-systemet i forbindelse med et større forskningsprojekt CEEH – Center for Energi, Miljø og Sundhed (www.ceeh.dk) beregnet at al luftforurening i Danmark forårsager 3.200 for tidlige dødsfald i 2011 (Brandt et al. 2011a). Da Hovedstadsregionen omfatter omkring 1,8 mio. indbyggere og hele Danmark har 5,6 mio. indbyggere giver dette omkring 1,000 for tidlige dødsfald ud fra en ren forholdsmæssig betragtning. Det faktiske antal for tidlige dødsfald er beregnet til noget mere ca. 1,500, da koncentrationerne er højere i Hovedstadsregionen og især i København end i landet som helhed. Desuden er der i disse beregninger lagt målte værdier af SOA og ukendt masse til, som ikke var tilfældet i Brandt et al. (2011a).

De for tidlige dødsfald svarer til et tab af tabte leveår på omkring 16.000 i Hovedstadsregionen heraf omkring 5.800 i København. For tidlige dødsfald skyldes næsten udelukkende såkaldte kroniske dødsfald forårsaget af langtidspåvirkning af luftforurening i modsætning til såkaldte akutte dødsfald, som skyldes kortere tidsperioder med forhøjede koncentrationer (episoder). Antallet af for tidlige dødsfald relateret til luftforurening beregnes ud fra tabte leveår divideret med en faktor for det typiske antal af tabte leveår i gennemsnit. I de nuværende EVA beregninger er denne faktor 10,6 år (Watkis et al. 2005).

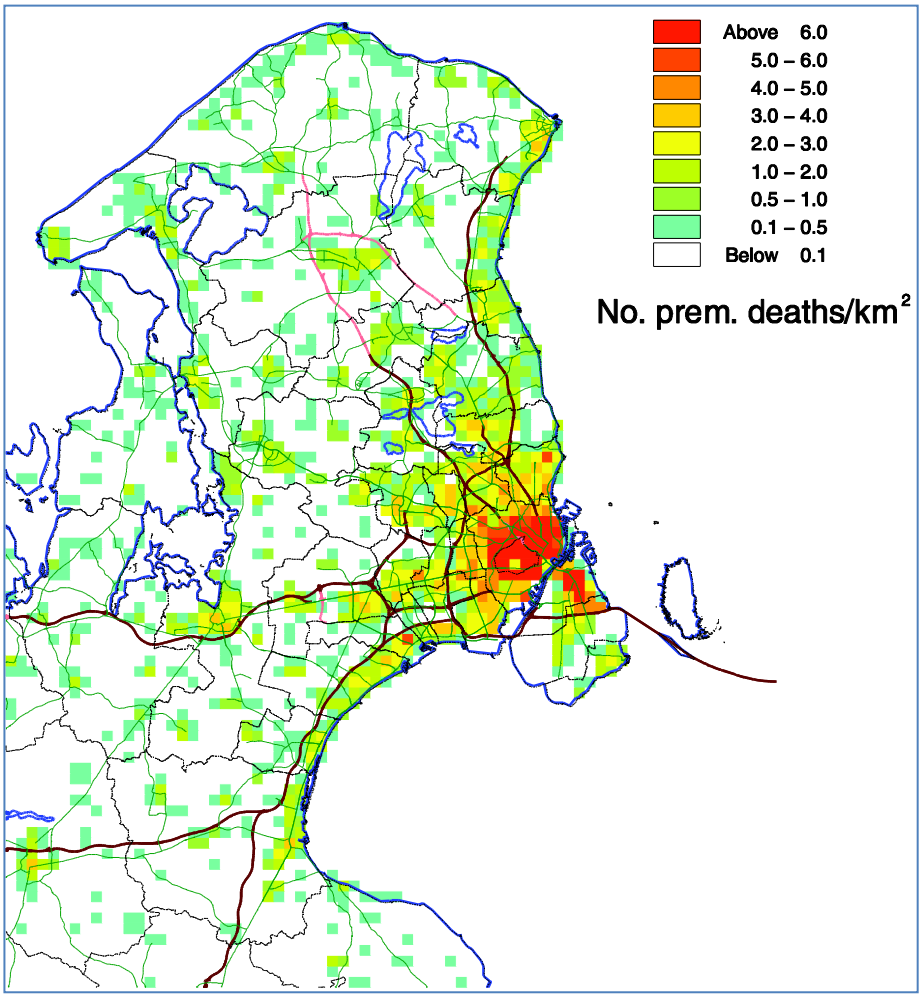
De personer som dør for tidligt pga. luftforurening er især ældre svagelige, og personer som i forvejen lider af hjertekarsygdomme og luftvejslidelser. Dødsfald blandt spædbørn udgør en meget lille del.

Et højt antal tilfælde af for tidlige dødsfald skyldes sammenfald af høj partikelforurening og høj befolkningstæthed, hvor denne kombination er højest i København i forhold til den øvrige Hovedstadsregion.

Fordelingen af for tidligere dødsfald (og også sygelighed) mellem Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune kunne trækkes ud af data. Dette er dog ikke gjort, men fordelingen mellem de to kommuner kan antages at være proportional med befolkningstallet for de to kommuner, idet koncentrationsniveauerne er relativt ens i de to kommuner.

Sygelighed

Ud over for tidlige dødsfald er der mange tilfælde af sygelighed. Det gælder kronisk bronkitis og gener for børn og voksne med astma (brug af bronkodilatator, hoste, og luftvejssymptomer), hospitalsindlæggelser i forbindelse med luftvejslidelser og blodprop i hjernen, tilfælde af hjertesvigt, lungekræft, samt mange med nedsat aktivitet (sygedage).



Figur 5.1. Antal tilfælde af for tidlige dødsfald pr km^2 i Hovedstadsregionen (modelområdet), beregnet med det integrerede modelsystem EVA for år 2010 for de totale luftforureningsniveauer baseret på både danske og udenlandske emissionskilder.

Tabel 5.1. Sundhedseffekter i hele modelområdet for alle SNAP kategorier dvs. både lokale og regionale kilder i 2010. København er vist separat og total for Hovedstadsregionen er inkl. København.

Sundhedseffekt:	Total Kbh. og Frk. kommuner (Antal tilfælde)	Total for Hovedstadsregionen (Antal tilfælde)
Kronisk bronkitis	601	1530
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	614000	1570000
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	30	78
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser	72	190
Tilfælde af hjertesvigt	53	132
Lungecancer	92	235
Brug af bronkodilatatorer blandt børn	11800	38700
Brug af bronkodilatatorer blandt voksne	118000	300000
Episoder med hoste blandt børn	40900	134000
Episoder med hoste blandt voksne	121000	309000
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	15800	51600
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	43700	111000
Akutte tabte leveår (YOLL)	4	16
Kroniske tabte leveår (YOLL)	5750	16100
For tidlige dødsfald	542	1519
Dødsfald blandt spædbørn	1	2

5.2 Sundhedseffekter i Hovedstadsregionen som skyldes lokale kilder fra København

Det er undersøgt, hvor meget de forskellige lokale emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune bidrager til sundhedseffekterne i Hovedstadsregionen. I beregningerne er inddraget afstande op til omkring 20 km fra København. Formålet med disse beregninger er at kvantificere, hvor meget de lokale emissionskilder i København betyder for sundhedseffekterne i Hovedstadsregionen, inkl. København. I Tabel 5.2 er vist sundhedseffekterne i Hovedstadsregionen fordelt på de forskellige lokale emissionskilder i København.

Som der fremgår af Tabel 5.2 bidrager lokale kilder i København til omkring 80 for tidlige dødsfald i Hovedstadsregionen, mens al luftforurening i København (fra danske og udenlandske kilder) bidrog til omkring 540 for tidlige dødsfald. Dvs. at lokale emissionskilder i København bidrager til omkring 15% af de samlede for tidlige dødsfald i Hovedstadsområdet.

De vigtigste lokale kilder til de omkring 80 for tidlige dødsfald i Hovedstadsregionen er ikke-industriel forbrænding, som primært består af forbrænding fra brændeovne og –kedler (omkring 50 for tidlige dødsfald) og vejtrafik (omkring 20 for tidlige dødsfald). Det samme mønster ses for sygelighed.

Tabel 5.2. Sundhedseffekter i Hovedstadsregionen pga. og fordelt på lokale emissionskilder i København efter SNAP-kode i 2010 (kun emissionskilder i København samt søfart i Øresund). Enhed: antal tilfælde.

	1 Kraft-Varme mv.	2 Ikke-industriel forbr. Mv.	3 Frem-Stilling mv.	5 Håndtering af olie og gas	6 Anv. af produkt	7 Vejtransport	802 Jernbane	808 Ikke-vejgående mask.	811 Mobile Kilder Handel og service	9 Affaldsbehandling	Int. søfart i Øresund	Alle kilder i Kbh samlet
Kronisk bronkitis	1	55	0	0	4	24	1	2	1	0	1	89
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	1100	56000	241	102	4200	24000	593	2160	1300	149	1260	91200
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser	0	7	0	0	0	3	0	0	0	0	0	11
Tilfælde af hjertesvigt	1	4	0	0	0	5	0	0	0	0	1	12
Lungecancer	0	8	0	0	1	4	0	0	0	0	0	14
Brug af bronkodilatatorer blandt børn	22	1130	5	2	82	474	12	44	26	3	28	1820
Brug af bronkodilatatorer blandt voksne	211	10700	46	20	804	4600	114	413	250	28	241	17500
Episoder med hoste blandt børn	76	3890	17	7	283	1640	41	150	88	10	96	6300
Episoder med hoste blandt voksne	217	11000	48	20	828	4740	117	426	257	29	248	18000
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	29	1500	6	3	109	632	16	58	34	4	37	2430
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	78	3980	17	7	299	1710	42	154	93	11	90	6480
Akutte tabte leveår (YOLL)	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	-4
Kroniske tabte leveår (YOLL)	11	535	2	1	39	226	6	20	12	1	13	867
For tidlige dødsfald	1	50	0	0	4	21	1	2	1	0	1	82
Dødsfald blandt spædbørn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.3 Sundhedseffekter i København fordelt på lokale kilder fra København

I Tabel 5.3 er vist sundhedseffekterne for København fordelt på de forskellige lokale emissionskilder i København i 2010. Formålet med disse beregninger er at kvantificere, hvor meget de lokale emissionskilder i København betyder for sundhedseffekterne i København.

Som det fremgår af Tabel 5.3 bidrager de lokale emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune til omkring 67 for tidlige dødsfald i disse to kommuner, mens kilder i København bidrog til omkring 80 for tidlige dødsfald i Hovedstadsområdet, som beskrevet ovenfor (Tabel 5.2). Dvs. at Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune bidrager med omkring 13 for tidligere dødsfald til omegnskommunerne inden for en afstand af omkring 20 km fra København.

Såfremt de 67 for tidlige dødsfald fra lokale kilder i København sættes i forhold til de omkring 540 for tidlige dødsfald pga. al luftforurening i København (fra danske og udenlandske kilder), så bidrager lokale emissionskilder i København til omkring 12% af de samlede for tidlige dødsfald i København.

De vigtigste lokale kilder er ikke-industriel forbrænding, som primært består af forbrænding fra brændeovne og –kedler efterfulgt af vejtrafik. Det samme mønster ses for sygelighed. Forholdene mellem de forskellige kilder er relativt ens, når der kun ses på emissionsbidragene fra København i forhold til Hovedstadsområdet og København.

Tabel 5.3. Sundhedseffekter i København fordelt på de forskellige lokale emissionskilder i København efter SNAP-kode i 2010 (kun emissionskilder i København samt søfart i Øresund). Enhed: antal tilfælde.

	1 Kraft-Varme mv.	2 Ikke-industriel forbr. Mv.	3 Frem-Stilling mv.	5 Håndtering af olie og gas	6 Anv. af produkt	7 Vejtransport	802 Jernbane	808 Ikke-vejgående mask.	811 Mobile Kilder Handel og service	9 Affaldsbehandling	Int. søfart i Øresund	Alle kilder i Kbh samlet
Kronisk bronkitis	1	46	0	0	4	20	0	2	1	0	1	76
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	909	47300	200	80	3680	20700	503	1780	1140	130	751	77100
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser	0	6	0	0	0	2	0	0	0	0	0	9
Tilfælde af hjertesvigt	1	3	0	0	0	5	0	0	0	0	0	10
Lungecancer	0	7	0	0	1	3	0	0	0	0	0	12
Brug af bronkodilatatorer blandt børn	17	890	4	1	68	383	9	33	21	2	14	1440
Brug af bronkodilatatorer blandt voksne	174	9050	38	15	705	3960	96	342	219	25	144	14800
Episoder med hoste blandt børn	58	3070	13	5	235	1320	32	116	73	8	49	4990
Episoder med hoste blandt voksne	179	9310	39	16	726	4070	99	352	225	26	148	15200
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	22	1190	5	2	91	511	12	45	28	3	19	1930
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	65	3360	14	6	262	1470	36	127	81	9	53	5480
Akutte tabte leveår (YOLL)	0	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	-3
Kroniske tabte leveår (YOLL)	8	440	2	1	34	190	5	16	10	1	7	714
For tidlige dødsfald	1	42	0	0	3	18	0	2	1	0	1	67
Dødsfald blandt spædbørn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6 Eksterne omkostninger

Dette kapitel opsummerer først de totale eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen og i København forårsaget af al luftforurening både fra danske og udenlandske emissionskilder.

Dernæst opsummeres luftforureningens sundhedsrelaterede eksterne omkostninger for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune og de samlede eksterne omkostninger for hele Hovedstadsregionen (inkl. disse to kommuner) af emissionerne i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.

De eksterne omkostninger er fordelt på luftforureningerne: CO, O_3 og $PM_{2.5}$ og underopdelt på de forskellige emissionskategorier (SNAP kategorier). Formålet med disse beregninger er at kvantificere, hvor meget de lokale emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune betyder for de eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen og i København.

Beregningerne er gennemført med EVA-systemet med de forudsætninger, som er beskrevet i kapitel 4.

6.1 Totale eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen og i København

I Tabel 6.1 er de totale eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen og i København vist, som er forårsaget af al luftforurening både fra danske og udenlandske emissionskilder.

Tabel 6.1. Totale eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen og i København pga. al luftforurening både fra danske og udenlandske emissionskilder i 2010 (2006-priser)

Område	Kilder	CO Mio. DKK	O_3 Mio. DKK	$PM_{2.5}$ Mio. DKK	Total Mio. DKK
Total i Hovedstadsregionen	Total luftforurening, inkl. langtransporterede og lokale kilder, og både antropogene og naturlige kilder	3,9	246	11.850	12.150
Total Kbh. og Frk. kommuner	Total luftforurening, inkl. langtransporterede og lokale kilder, og både antropogene og naturlige kilder.	1,7	61	4.320	4.380

De totale eksterne omkostninger i Hovedstadsområdet pga. al luftforurening fra både danske og udenlandske emissionskilder er omkring 12 milliarder kr., heraf omkring 4 milliarder kr. i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune i 2010.

Til sammenligning har EVA-systemet i forbindelse med et større forskningsprojekt CEEH – Center for Energi, Miljø og Sundhed (www.ceeh.dk) beregnet at eksterne omkostninger for al luftforurening i Danmark er 28 milliarder kr. i 2011 (Brandt et al. 2011a). Da Hovedstadsregionen omfatter omkring 1,8 mio. indbyggere og hele Danmark har 5,6 mio. indbyggere giver dette omkring 9 milliarder kr. ud fra en ren forholdsmæssig betragtning. De faktiske eksterne omkostninger er beregnet til noget mere ca. 12 milliarder kr., da koncentrationerne er højere i Hovedstadsregionen og især i København end i landet som helhed. Desuden er det regionale bidrag til SOA og

ukendt masse lagt til ud fra målinger i de nye resultater, hvilket ikke var tilfældet i Brandt et al. (2011a).

De eksterne omkostninger skyldes næsten udelukkende partikler, som her omfatter primært emitterede partikler, sekundært dannede uorganiske partikler (nitrat, sulfat, ammonium), sekundært dannede organiske partikler (SOA) og "ukendt masse".

De eksterne omkostninger relateret til ozon er omkring 250 millioner kr. i Hovedstadsregionen heraf omkring 60 millioner kr. i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Ozon er ikke direkte emitteret men dannes i atmosfæren ud fra emissioner af NO_x, kulbrinter og CO. O_3 er direkte sundhedsskadeligt, og er derfor også forbundet med ekstern omkostning.

Bidrag fra CO til de eksterne omkostninger er meget lille med omkring 4 millioner kr. i Hovedstadsregionen heraf knap 2 millioner kr. i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.

Hovedparten af de eksterne omkostninger skyldes for tidlige dødsfald, da enhedsprisen for disse er relativt høj i forhold fx til sygelighed og sygedage.

6.2 Eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen fra lokale emissionskilder i København

Tabel 6.2 er de eksterne omkostninger for Hovedstadsregionen fordelt på CO, O_3 og $PM_{2.5}$ og yderligere underopdelt på de forskellige emissionskategorier (SNAP kategorier) for de lokale emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Disse er således et udtryk for de eksterne omkostninger for Hovedstadsregionen pga. emissioner i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.

Tabel 6.2. Eksterne omkostninger for Hovedstadsregionen pga. de lokale emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune i 2010 fordelt på CO, O_3 og $PM_{2.5}$ og yderligere underopdelt på de forskellige emissionskategorier (SNAP kategorier). Bidraget for de forskellige emissionskilder er også vist i %. Alle eksterne omkostninger er angivet i Mio. DKK (2006-priser).

		CO	O_3	$PM_{2.5}$	Total	Bidrag
		Mio. DKK	Mio. DKK	Mio. DKK	Mio. DKK	%
SNAP01	Kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	0,10	-5,0	7,9	2,9	0,5
SNAP02	Ikke-industriel forbrænding, f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service	0,03	-1,5	400	398	66,4
SNAP03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	0,01	-0,4	1,7	1,3	0,2
SNAP05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas	0,00	0,0	0,7	0,7	0,1
SNAP06	Anvendelse af produkter	0,00	-0,1	29,5	29,4	4,9
SNAP07	Vej transport	0,49	-34,0	170	136	22,6
SNAP0802	Jernbaner	0,02	-1,3	4,2	2,9	0,5
SNAP0808	Industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner	0,03	-1,9	15,3	13,4	2,2
SNAP0809	Maskiner og redskaber i have/hushold	0,00	0,0	0,1	0,1	0,0
SNAP0811	Maskiner og redskaber i handel og service	0,01	-0,3	9,2	8,9	1,5
SNAP09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	0,00	-0,1	1,0	1,0	0,2
Int. søfart	International skibstrafik, Øresund	0,07	-3,8	9,3	5,5	0,9
Alle SNAP samlet	Alle ovenstående kilder samlet	0,76	-59,1	649	590	100

Af Tabel 6.2 fremgår, at de totale eksterne omkostninger er omkring 600 mio. kr. i Hovedstadsregionen pga. emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune i 2010. De totale eksterne omkostninger i Hovedstadsområdet pga. al luftforurening fra både danske og udenlandske emissionskilder var omkring 12 milliarder kr. (Tabel 6.1) dvs. at lokale emissioner i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune kun bidrager med omkring 600 mio. kr. i Hovedstadsregionen svarende til omkring 5%.

De eksterne omkostninger skyldes næsten udelukkende $PM_{2.5}$, som for de lokale kilder kun er primært emitteret $PM_{2.5}$, da sekundære partikler ikke når at dannes på de korte transportafstande inden for Hovedstadsregionen.

Bemærk at for ozon er de eksterne omkostninger negative (-60 mio. kr.), hvilket i denne sammenhæng viser, at ozon tæller positivt. Det skyldes, at lokale emissioner af kvælstofoxider (NO_x=NO+NO_2) i København og på Frederiksberg bidrager til en reduktion af O_3 niveauerne i byen (NO går sammen med O_3 og danner NO_2), og derfor er der også en "positiv" effekt af NO_x, da det sundhedsskadelige O_3 reduceres. I beregningerne forudsættes der ikke lokale sundhedseffekter af NO_2.

Det ses endvidere, at de eksterne omkostninger relateret til CO er ubetydelige.

De vigtigste lokale kilder i København til eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen er ikke-industriel forbrænding (som primært består af forbrænding fra brændeovne og –kedler), som står for omkring 2/3 af de eksterne omkostninger efterfulgt af vejtrafik med 1/4. Andre kildertyper som giver et vist bidrag er anvendelse af produkter (emissioner fra opløsningsmidler og brug af produkter) med omkring 5% og mobile kilder (ikke-vejgående maskiner mv.) med knap 4%.

SNAP kategorier som bidrager meget lidt eller ingenting er udeladt af

6.3 Eksterne omkostninger i København fra lokale emissionskilder i København

I Tabel 6.3 er de eksterne omkostninger for København pga. de lokale emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune fordelt på CO, O_3 og $PM_{2.5}$ og yderligere underopdelt på de forskellige emissionskategorier (SNAP kategorier). Det er således de eksterne omkostninger for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune pga. emissioner i disse to kommuner.

Af Tabel 6.3 fremgår, at de totale eksterne omkostninger er omkring 500 mio. kr. i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune pga. emissionskilder i disse to kommuner i 2010. De totale eksterne omkostninger i København pga. al luftforurening fra både danske og udenlandske emissionskilder var omkring 4 milliarder kr. (Tabel 6.1) dvs. at lokale emissioner i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune kun bidrager med omkring 500 mio. kr. i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune svarende til omkring 11%. Det betyder omvendt, at omkring 89% af alle eksterne omkostninger relateret til luftforurening i København skyldes emissioner uden for København.

Hvis vi sammenligner forskellen mellem bidraget fra emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune for hhv. eksterne omkostninger i Hovedstadsregionen (Tabel 6.2) og i København (Tabel 6.3) ses at denne forskel udgør omkring 100 mio. kr. Dvs. at emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune bidrager til eksterne omkostninger i størrelsesordenen 100 mio. kr. uden for disse to kommuner og i afstande op til omkring 20 km herfra.

Tabel 6.3. Eksterne omkostninger for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune pga. de lokale emissionskilder i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune i 2010 fordelt på CO, O_3 og $PM_{2.5}$ og yderligere underopdelt på de forskellige emissionskategorier (SNAP kategorier). Bidraget for de forskellige emissionskilder er også vist i %. Alle ekstene omkostninger er angivet i Mio. DKK (2006-priser).

		CO	O_3	$PM_{2.5}$	Total	Bidrag
		Mio. DKK	Mio. DKK	Mio. DKK	Mio. DKK	%
SNAP01	Kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	0,07	-4,3	6,4	2,0	0,4
SNAP02	Ikke-industriel forbrænding, f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service	0,02	-1,3	331	329	66,4
SNAP03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	0,01	-0,4	1,4	1,0	0,2
SNAP05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas	0,00	0,0	0,6	0,6	0,1
SNAP06	Anvendelse af produkter	0,00	-0,1	25,4	25,3	5,1
SNAP07	Vej transport	0,41	-31,0	143	113	22,7
SNAP0802	Jernbaner	0,02	-1,1	3,5	2,3	0,5
SNAP0808	Industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner	0,03	-1,7	12	11	2,1
SNAP0809	Maskiner og redskaber i have/hushold	0,00	0,0	0,1	0,1	0,0
SNAP0811	Maskiner og redskaber i handel og service	0,00	-0,3	7,9	7,6	1,5
SNAP09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	0,00	-0,1	0,9	0,8	0,2
Int. søfart	International skibstrafik, Øresund	0,04	-1,7	5,2	3,5	0,7
Alle SNAP samlet	Alle ovenstående kilder samlet	0,60	-51,4	538	486	100

De vigtigste lokale kilder i København til sundhedsrelaterede eksterne omkostninger i København er ikke-industriel forbrænding (som primært består af forbrænding fra brændeovne og –kedler), som står for omkring 2/3 af de eksterne omkostninger efterfulgt af vejtrafik med 1/5. Andre kildertyper som giver et vist bidrag er anvendelse af produkter (emissioner fra opløsningsmidler og brug af produkter) med omkring 5% og mobile kilder (ikke-vejgående maskiner mv.) med knap 4%. Fordelingen mellem disse kilder er derfor stort set den samme som i Tabel 6.2.

SNAP kategorier som bidrager meget lidt eller ingenting er udeladt af Tabel 6.3.

7 Diskussion af usikkerheder

7.1 Hovedelementerne i impact pathway metoden

EVA-systemet er baseret på "Impact-pathway" kæden, som dækker alle leddene fra udslip af kemiske stoffer fra specifikke kilder, over spredning og kemisk omdannelse i atmosfæren, eksponering af befolkningen, beregning af helbredseffekter, til den økonomiske værdisætning af disse helbredseffekter. Der er usikkerheder i alle disse led.

Emission

De væsentligste usikkerheder er forbundet med hvor godt vi kender emissionen af kemiske stoffer fra de forskellige sektorer, og hvor godt de er fordelt geografisk.

Luftkvalitet og befolkningseksponering

Der er usikkerheder forbundet med selve luftkvalitetsmodellernes beskrivelse af de fysiske og kemiske sammenhænge, og usikkerheder forbundet med de inputdata som anvendes, især emissionsdata. En overordnet måde at vurdere usikkerhederne i modellerne (DEHM og UBM) på er at sammenligne modelresultater med måleresultater, hvilket også tidligere er gennemført for det datagrundlag, som er anvendt i nærværende undersøgelse (Jensen et al. 2013). Sammenligning mellem model og målinger i bybaggrund viser god overensstemmelse for NO_x og NO_2, og for PM_{10} og $PM_{2.5}$ men kun grundet korrektion for SOA og ukendt masse.

Den regionale model (DEHM) inkluderer endnu ikke sekundære organiske partikler (SOA). Derfor er bidraget fra SOA lagt til ud fra målinger. Endvidere er der lagt et bidrag til for ukendt masse for at den samlede masse passer med målinger af den samlede masse for hhv. PM_{10} og $PM_{2.5}$. Havsalt som heller ikke er inkluderet i modellen er derfor en del af ukendt masse i denne sammenhæng. En væsentlig del af ukendt masse formodes at være vand bundet til partiklerne. SOA og ukendt masse udgør omkring 150% af DEHM bidraget. SOA og ukendt masse er lagt til DEHM beregningerne således at man opnår et så godt bud på hvad de samlede sundhedseffekter og eksterne omkostninger er af al luftforurening.

SOA og ukendt masse har kun betydning for beregninger vedrørende den totale luftforurening og ikke på bidragene fra de forskellige emissionssektorer. Bybaggrund er modelleret med UBM og indeholder bidrag fra DEHM (og for partikler også SOA og ukendt masse), samt bidrag fra emissioner i Hovedstadsregionen samt international skibstrafik i Øresund, og giver gode resultater i sammenligning med luftkvalitetsmålinger (Jensen et al. 2013).

I de nuværende beregninger indgår ikke bidraget til sundhedseffekterne og relaterede eksterne omkostninger fra emissionerne i København på regional skala dvs. uden for Hovedstadsregionen. Emissioner af luftforurening vil spredes over større afstande og vil derfor give en eksponering af befolkningen længere væk – både i form af de primært emitterede stoffer som $PM_{2,5}$ og de sekundært dannede nitratpartikler fra emissioner af NO_x i København. Dette ville have krævet en tilbagekobling fra bybaggrundsmodellen UBM til den regionale model DEHM, og denne kobling har det ikke været muligt at udvikle indenfor rammerne af dette projekt.

Usikkerheden på befolkningsdata i Danmark er meget lille, da data er baseret på CPR registeret og geografisk fordelt efter koordinatsatte adresser.

Dosis-respons og helbredseffekter

Sammenhængen mellem befolkningseksponering og helbredseffekter er baseret på international litteratur, som er anerkendt af verdenssundhedsorganisationen (WHO). Usikkerheden ligger i at det kun afspejler kendt viden, som også til stadighed udvikles.

Værdisætning

Hovedparten af de eksterne omkostninger er relateret til for tidlige dødsfald, og usikkerheden på værdisætningen af et for tidligt dødsfald har derfor væsentlig indflydelse på de samlede eksterne omkostninger.

7.2 De enkelte emissionskilder i København

Brændeovne og kedler

Den vigtigste lokale kilde i København i forhold til eksterne omkostninger i København er ikke-industriel forbrænding (som primært består af forbrænding fra brændeovne og –kedler), som står for omkring 2/3 af de eksterne omkostninger. Der er dog betydelig usikkerhed på dette estimat.

Brændefyring er formentligt den kildetype, hvor der er størst usikkerhed på emissionerne, idet både brændselsforbrug og emissionsfaktorer (gram forurening per kilo brændsel) er behæftet med stor variation og dermed usikkerhed. I praksis afhænger emissionsfaktorer ikke blot af anlæggets type, men også af installationen og i høj grad af brugerens betjening af brændeovnen. Beregningerne er baseret på en emissionsopgørelse, der opdeler brændeovne og -fyr i ti forskellige klasser, som hver er tildelt en gennemsnitlig emissionsfaktor. Emissionerne er opgjort på kommuneniveau, og brændeforbruget er taget fra en opgørelse, som Energistyrelsen har udarbejdet på baggrund af spørgeskemaundersøgelser. Dette er de samme forudsætninger som indgår i den nationale emissionsopgørelse.

I beregningerne er betydningen af dannelsen af sekundære organiske partikler fra udledning af NMVOC (andre flygtige organiske forbindelser end metan) fra brændeovne ikke medtaget. Hvis de medtages, så vil dette betyde en stigning i partikelkoncentrationerne, som stammer fra brændefyring, men der findes p.t. ikke det nødvendige videngrundlag til at afgøre hvor meget. Yderligere diskussion heraf er i Olesen et al. (2010) og Seljeskog et al. (2013).

Mens partikelemissionen fra andre sektorer som vejtrafik, kraftværker og landbrug er faldet de sidste 10 år er partikelemissioner fra brændeovne steget som følge af kraftig stigning i antal ovne og brændeforbrug.

Brændeovnsbekendtgørelse fra 2008 fastsætter grænseværdi for partikelemissionen (10 g/kg brænde) og en nye brændeovnsbekendtgørelse har i januar 2013 været i høring, som skærper kravene yderligere til nye ovne (Miljøstyrelsen 2013). For partikeludledningen fra nye fyringsanlæg skærpes grænseværdien fra 10 g/kg til 5 g/kg med en yderligere skærpelse fra 5 g/kg til 4 g/kg i 2016. Til sammenligning er kravene til Svanemærkede brændeovne 4 g/kg fra 1. november 2011. Da omkring 90% af alle nye solgte brændeovne i forvejen er Svanemærkede brændeovne kan der kun forventes en mindre effekt af reguleringen i forhold til den faktiske partikeludledning fra nye brændeovne. Bekendtgørelsen stiller ikke krav til eksisterende

brændeovne, som har meget lang levetid og høje emissionsfaktorer, og derfor fortsat kan forurene med partikler.

Ud over emissionskrav benyttes informationskampagner om optimal fyring, som kan have betydelig effekt, da brugeradfærden omkring fyring har stor indflydelse emissionerne.

Vejtrafik

Den anden vigtigste lokale kilde i København i forhold til eksterne omkostninger i København er vejtrafik, som står for omkring 1/4 af de eksterne omkostninger.

Der er mindre usikkerheder på emissioner fra vejtrafik, da emissionsmodellerne bygger på emissionsmålinger, og emissionerne kan indirekte valideres ved at sammenligne målte og beregnede koncentrationer i gaderum, hvor beregnede koncentrationer er udført med luftkvalitetsmodeller på basis af emissionsdata, hvilket giver rimelig overensstemmelse.

Emissioner fra vejtrafik vil fortsat falde fremover pga. den løbende udskiftning af bilparken, hvor Euro emissionsnormer med lavere emissioner bliver en stadig større andel af bilparken.

Lokale tiltag som fx skærpelse af miljøzonen i København (ren-luftzone) til også at omfatte person- og varebiler (Jensen et al. 2013) eller geografisk udvidelse af ren-luftzonen er eksempler på tiltag, som kan reducere emissionen, og dermed de eksterne omkostninger forbundet med bilkørsel.

Anvendelse af produkter

Anvendelse af produkter (emissioner fra opløsningsmidler og brug af produkter) i København står for omkring 5% af de eksterne omkostninger.

Der er også knyttet betydelige usikkerheder til emissioner fra anvendelse af produkter, men bidraget er meget beskedent.

Ikke-vejgående maskiner

Mobile kilder (ikke-vejgående maskiner mv.) i København står for omkring 4% af de eksterne omkostninger.

Der er også knyttet betydelige usikkerheder til emissioner fra ikke-vejgående maskiner, men bidraget fra ikke-vejgående maskiner er meget beskedent. Der pågår en udredning for Miljøstyrelsen bl.a. om yderligere kvantificering af bidragene fra denne kilde (Olesen et al., 2013). Det har desværre ikke været muligt at inddrage disse vurderinger i nærværende rapport.

Bidraget fra denne kilde er under alle omstændigheder beskeden.

7.3 Farlighed af partikler

Der er stor usikkerhed om, hvilken typer af partikler (både størrelse og kemisk sammensætning), der giver de største sundhedseffekter. Det internationale videngrundlag viser dog en klar sammenhæng mellem koncentrationen af partikler mindre end 2,5 mikrometer ($PM_{2.5}$ opgjort som masse) og f.eks. for tidlige dødsfald. Med den nuværende viden kan der ikke kvantitativt skelnes mellem sundhedseffekterne af partikler med forskellige størrelse og kemisk sammensætning, og derfor er de behandlet ens i beregningerne.

Nyere studier tyder dog på (Rohr & Wyzga 2012), at de kulstofholdige partikler (fx primært emitteret fra vejtrafik og brændeovne) er mere sundhedsskadelige end de ikke-kulstofholdige partikler, fx de uorganiske sekundære partikler (dvs. partikler, der emitteres som gas og ved kemiske processer i atmosfæren bliver omdannet til partikler). Endvidere har verdenssundhedsorganisationen WHO i 2012 klassificeret dieseludstødning som kræftfremkaldelse (gruppe 1) mod tidligere sandsynligvis kræftfremkaldende (gruppe 2A).

En tidligere gennemført følsomhedsanalyse, hvor det er forudsat at sundhedsskadeligheden af primære partikler er 1,3 gange gennemsnittet og skadeligheden af sekundære partikler er 0,7 gange gennemsnittet, viste også at fordelingen mellem de forskellige emissionssektorer var påvirket heraf. Denne følsomhedsanalyse viser, at ikke-industriel forbrænding (primært brændeovne og kedler), som er direkte emitterede partikler, får større vægt. Derimod bliver landbrugets andel mindre, da bidraget her hovedsageligt er relateret til de sekundære partikler, ellers er der kun mindre ændringer i de indbyrdes bidrag fra emissionssektorerne (Brandt et al. 2011a).

Der er fortsat behov for mere viden vedrørende luftforurening og de resulterende sundhedseffekter, og hvordan de afhænger af forskellige typer af partikler og forskellige typer af emissionskilder.

7.4 Geografisk opløsning

Den geografiske opløsning af modelsystemet har betydning for beregning af konsekvenser fra især lokale kilder som f.eks. vejtrafik og brændeovne. Ved en lav geografisk opløsning vil helbredseffekterne givet blive underestimeret på en befolkningsgruppe, der bor tæt på lokale kilder, da luftkoncentrationerne er større her end modellen beregner og tilsvarende overestimeret på dem, der bor lidt længere væk. Netop for at tage højde for dette er der i nærværende projekt udviklet en højere geografisk opløsning i modellen, hvor den er øget fra en opløsning på 16,7 km x 16,7 km til 1 km x 1 km for Hovedstadsregionen ved at integrere bybaggrundsmodellen UBM i EVA-systemet. Herved er der gjort en indsats i nærværende studie for at reducere denne usikkerhed.

Befolkningseksponering er nu bestemt med en opløsning på 1 km x 1 km med bybaggrundskoncentrationen som indikator, men det kunne tænkes at endnu højere geografisk opløsning som adressen med tilhørende højere opløsning i koncentrationsberegningerne (fx integration af gademodel) ville give endnu mere pålidelige resultater. Studier har således vist at personer, som bor inden for 50 m af en trafikeret byvej og 100 m fra en motorvej har øget risiko for at dø for tidligt af hjerte-lunge relaterede sygdomme (Hoek et al. 2002). På nuværende tidspunkt er videngrundlaget mht. til dosis-respons sammehænge dog ikke fuldstændigt til at kvantificere de samlede sundhedseffekter for en befolkning på grundlag af eksponering på adresseniveau.

Det har ikke været muligt inden for rammerne at nærværende projekt mere systematisk at undersøge betydningen for beregnede sundhedseffekter og eksterne omkostninger af at øge den geografiske opløsning yderligere.

Referencer

Berkowicz, R. (2000): A Simple Model for Urban Background Pollution. Environmental Monitoring and Assessment Vol. 65, Issue 1/2, pp. 259-267.

Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Palmgren, F., Berkowicz, R., Zlatev, Z. (2001a): Operational air pollution forecasts from European to local scale. Atmospheric Environment, Vol. 35, Sup. No. 1, pp. S91-S98, 2001.

Brandt, J., J. H. Christensen, L. M. Frohn and R. Berkowicz (2001b): "Operational air pollution forecast from regional scale to urban street scale. Part 1: system description", *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, Vol. 26, No. 10, pp. 781-786, 2001.

Brandt, J., J. H. Christensen, L. M. Frohn (2001c): "Operational air pollution forecast from regional scale to urban street scale. Part 2: performance evaluation", *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, Vol. 26, No. 10, pp. 825-830, 2001.

Brandt, J., J. H. Christensen, L. M. Frohn and R Berkowicz, 2003: "Air pollution forecasting from regional to urban street scale – implementation and validation for two cities in Denmark". *Physics and Chemistry of the Earth,* Vol. 28, pp. 335-344, 2003.

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2011a): Assessment of Health-Cost Externalities of Air Pollution at the National Level using the EVA Model System. CEEH Scientific Report No 3, Centre for Energy, Environment and Health Report series, March 2011, p. 98.

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. H. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2011b): EVA– en metode til kvantificering af sundhedseffekter og eksterne omkostninger. Temanummer om helbredseffekter af vedvarende energi. Sundhedsstyrelsens Rådgivende Videnskabelige Udvalg for Miljø og Sundhed. Formidlingsblad 17. årgang, suppl. 1, okt. 2011, pp 3-10.

Brandt, J., J. D. Silver, L. M. Frohn, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, C. A. Skjøth, H. Villadsen, A. Zare, and J. H. Christensen (2012): An integrated model study for Europe and North America using the Danish Eulerian Hemispheric Model with focus on intercontinental transport. *Atmospheric Environment*, Volume 53, June 2012, pp. 156-176, doi:10.1016/j.atmosenv.2012.01.011.

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2013a): "Contribution from the ten major emission sectors in Europe to the Health-Cost Externalities of Air Pollution using the EVA Model System – an integrated modelling approach". Atmospheric Chemistry and Physics Discussion. 13, 5871–5922, 2013. www.atmos-chem-phys-discuss.net/13/1/2013/, doi:10.5194/acpd-13-5871-2013.

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2013b): "Assessment of Past, Present and Future Health-Cost Externalities of Air Pollution in Europe and the contribution from international ship traffic using the EVA Model System". Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 13, pp. 5923-5959, 2013. www.atmos-chem-phys-discuss.net/13/1/2013/, doi:10.5194/acpd-13-5923-2013.

Christensen, J.H. (1997): The Danish Eulerian Hemispheric Model – a three-dimensional air pollution model used for the Arctic. Atmospheric Environment., 31, 4169–4191.

Ellermann, T., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M. & Jensen, S. S. (2012): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2011. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. No. 37. 63 pp. http://www2.dmu.dk/-Pub/SR37.pdf.

Grell, G. A., Dudhia, J., Stauffer, D. R. (1995): "A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)", NCAR/TN-398+STR, NCAR Technical Note, pp. 122. Mesoscale and Microscale Meteorology Division. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, June 1995.

Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., Brandt, P.A. (2002): Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. THE LANCET • Vol 360 • October 19, 2002.

Jensen, S.S., Brandt, J., Ketzel, M., Plejdrup, M. (2013): Kildebidrag til sundhedsskadelig luftforurening i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 86 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 57 http://www.dmu.dk/Pub/SRxx.pdf.

Olesen, H. R., Wåhlin, P. & Illerup, J.B. (2010): Brændefyrings bidrag til luftforurening. Nogle resultater fra projektet WOODUSE. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 71s. Faglig rapport fra DMU nr. 779. http://ww.dmu.dk/Pub/FR779.pdf.

Olesen, H.R., Winther, M., Plejdrup, M.S., Brandt, J., Ketzel, M., Ellermann, T., (2013): Luftforurening fra mobile ikke-vejgående maskiner i byområder. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Videnskabelig rapport fra DCE nr. 65. http://www.dmu.dk/Pub/SR65.pdf

Miljøstyrelsen (2013): Bekendtgørelse om regulering af luftforurening fra fyringsanlæg til fast brændsel op til 1 MW. U D K A S T version 28. november 2012.

Plejdrup, M.S. & Gyldenkærne, S. (2011): Spatial distribution of emissions to air – the SPREAD model. National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark. 72 pp. – NERI. Technical Report no. FR823. http://www.dmu.dk/Pub/FR823.pdf.

Rohr, A.C. & Wyzga, R.E, (2012): Attributing health effects to individual particulate matter constituents. Atmospheric Environment. Volume 62, December 2012, Pages 130–152.

Seljeskog, M., Goile, F., Sevault, A. (2013): Particle emission factors for wood stove firing in Norway. 66 p., SINTEF.

Watkiss, Paul, Steve Pye and Mike Holland (2005): CAFE CBA: Baseline Analysis 2000 to 2020. Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the clean Air for Europe (CAFE) Programme. April 2005. http://www.cafecba.org/assets/baseline_analysis_2000-2020_05-05.pdf.

SUNDHEDSEFFEKTER OG RELATEREDE EKSTERNE OMKOSTNINGER AF LUFTFORURENING I KØBENHAVN

Rapporten estimerer sundhedseffekter og eksterne omkostninger relateret til luftforurening i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune ved hjælp af det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution). EVA-systemet beregner sundhedseffekter og relaterede eksterne omkostninger baseret på informationer om forureningskilder og deres placering, spredning af luftforurening samt eksponering af befolkningen, dosis-respons sammenhænge mellem eksponering og sundhedseffekter samt værdisætning af sundhedseffekterne, også kaldet eksterne omkostninger relateret til sundhedseffekter fra luftforurening.

ISBN: 978-87-7156-013-8
ISSN: 2244-9981