



HELBREDSEFFEKTER OG RELATEREDE EKSTERNE OMKOSTNINGER AF LUFTFORURENING I AARHUS KOMMUNE

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 225

2017



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

HELBREDSEFFEKTER OG RELATEREDE EKSTERNE OMKOSTNINGER AF LUFTFORURENING I AARHUS KOMMUNE

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 225

2017

Steen Solvang Jensen
Jørgen Brandt
Jesper Heile Christensen
Matthias Ketzel

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. 225
Titel:	Helbredseffekter og relaterede eksterne omkostninger af luftforurening i Aarhus Kommune
Forfattere:	Steen Solvang Jensen, Jørgen Brandt, Jesper Heile Christensen, Matthias Ketzel
Institution:	Institut for Miljøvidenskab (ENVS), Aarhus Universitet
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	2017
Redaktion afsluttet:	Juni 2017
Faglig kommentering:	Camilla Geels, Institut for Miljøvidenskab
Kvalitetssikring:	Vibeke Vestergaard Nielsen, DCE
Finansiel støtte:	Aarhus Kommune.
Bedes citeret:	Jensen, S.S., Brandt, J., Christensen, J.H., Ketzel, M. (2017): Helbredseffekter og relaterede eksterne omkostninger af luftforurening i Aarhus Kommune. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 76 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 225 http://www.dmu.dk/Pub/SR225.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten estimerer helbredseffekter og eksterne omkostninger relateret til luftforurening i Aarhus Kommune ved hjælp af det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution). EVA-systemet beregner helbredseffekter og relaterede eksterne omkostninger baseret på informationer om forureningskilder og deres placering, transport og spredning af luftforurening samt eksponering af befolkningen, eksponering-respons sammenhænge mellem eksponering og helbredseffekter samt værdisætning af helbredseffekterne, også kaldet eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening. Rapporten beskriver også koncentrationsfordelingen af baggrundskoncentrationer og gadekoncentrationer, og hvordan emissionskilderne bidrager til koncentrationer, samt hvor meget emissionskilderne bidrager til helbredseffekterne og de eksterne omkostninger.
Emneord:	Helbredseffekter, eksterne omkostninger, luftforurening, modellering, kildeopgørelse, Aarhus Kommune
Layout:	Majbritt Ulrich
Foto forside:	Aarhus Kommune
ISBN:	978-87-7156-013-8
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	76
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://www.dmu.dk/Pub/SR225.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	11
3.1	Background and Purpose	11
3.2	The study	11
3.3	Main Findings	12
3.4	Uncertainties	14
4	EVA-systemet	15
4.1	Beskrivelse af EVA-systemet	15
4.2	Emissionsopgørelse og geografisk fordeling	19
4.3	Koncentration og befolkningseksposering	21
4.4	Helbredseffekter	28
5	Luftkvalitetsvurdering	31
5.1	Bidrag til luftforurening	31
5.2	Fordeling af bybaggrundskoncentrationer	32
5.3	Fordeling af gadekoncentrationer	34
5.4	Udvikling på målestationer	37
6	Kildeopgørelse	41
6.1	Emissionsopgørelse	42
6.2	Kildebidrag fra Aarhus Kommune til Aarhus Kommune	45
6.3	Kildebidrag fra Aarhus Kommune til Aarhus by	51
6.4	Kildeopgørelse for gadekoncentration i Banegårdsgade	54
7	Helbredseffekter i Aarhus Kommune	58
7.1	Helbredseffekter i Aarhus Kommune fra alle kilder	58
7.2	Helbredseffekter i Aarhus Kommune fordelt på lokale kilder fra Aarhus Kommune	60
8	Eksterne omkostninger	63
8.1	Totale eksterne omkostninger i Aarhus Kommune	63
8.2	Eksterne omkostninger i modelområdet fra lokale emissionskilder i Aarhus Kommune	64
8.3	Eksterne omkostninger i Aarhus Kommune fra lokale emissionskilder i Aarhus Kommune	64
8.4	Eksterne omkostninger i Aarhus by fra lokale emissionskilder i Aarhus Kommune	66
9	Diskussion af usikkerheder	67
9.1	Hovedelementerne i impact-pathway metoden	67
9.2	De enkelte emissionskilder i Aarhus Kommune	68
9.3	Farlighed af partikler	69

9.4	Geografisk opløsning	70
	Referencer	72
	Bilag 1 Koncentrationsfordeling i modelområdet	75

1 Indledning

Hovedformålet med projektet er at beregne helbredseffekter og eksterne omkostninger relateret til luftforurening i Aarhus Kommune ved hjælp af det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution), samt at 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 udføres en luftkvalitetsvurdering for Aarhus Kommune med geografisk beskrivelse af luftkvaliteten. Kapitel 6 indeholder en kildeopgørelse, som beskriver emissionen fordelt på kilder, samt kildernes bidrag til luftkvaliteten. Kapitel 7 og 8 opgør hhv. helbredseffekter og tilhørende eksterne omkostninger af luftforureningen, og hvor meget de forskellige emissionskilder bidrager hertil. Kapitel 9 diskuterer usikkerheder på resultaterne.

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

Projektets kontaktperson i Aarhus Kommune er Henrik Skotte, Klimasekretariatet.

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 helbredseffekter og eksterne omkostninger relateret til luftforurening i Aarhus Kommune ved hjælp af det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution), og opgøre hvor meget der skyldes de forskellige forureningskilder. De eksterne omkostninger er de samfundsmæssige omkostninger.

2.2 Undersøgelsen

Luftkvalitetsvurdering

Undersøgelsen er indledt med en luftkvalitetsvurdering, som beskriver den geografiske fordeling af baggrundskoncentrationer med en opløsning på 1 km x 1 km samt gadekoncentrationer på adresseniveau i Aarhus Kommune. Denne beskrivelse er baseret på data fra et nationalt datasæt, som hedder Luft på din vej (<http://luftenpaadinvej.au.dk>). Datasættet indeholder udvalgte helbredsrelaterede luftforurenende stoffer med modelberegnete årsmiddelkoncentrationer i 2012 for tre stoffer, NO₂ (kvælstofdioxid) og massen af luftbårne partikler angivet ved PM₁₀ og PM_{2.5}, som er den samlede masse af partikler med en diameter under 10 og 2,5 mikrometer. Endvidere opsummeres resultater af målinger fra de to målestationer i Aarhus, bybaggrundsstationen (Botanisk Have) og gadestationen (Banegårdsgade).

Helbredseffekter og relaterede eksterne omkostninger

Helbredseffekter og relaterede eksterne omkostninger er beregnet for den totale luftforurening i Aarhus Kommune og opgjort for hele kommunen og særskilt for Aarhus by. I den totale luftforurening indgår kilder fra Aarhus Kommune, alle øvrige kilder i Danmark og udlandet. Dette giver et billede af, hvad al luftforurening betyder helbredsmæssigt, uanset om det er lokale kilder eller øvrige kilder.

Endvidere er beregningerne gennemført for hver hovedkildetype i Aarhus Kommune, således at det er muligt at opgøre bidraget fra de enkelte kilder, som Aarhus Kommune i princippet har mulighed for at regulere. Kildetyperne er de emissionssektorer, som indgår i den nationale emissionsopgørelse.

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. EVA-systemet beregner helbredseffekter 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 helbredseffekter samt værdisætning af helbredseffekterne. Denne værdisætning kaldes også de eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter fra luftforurening.

Beregningerne af luftkvaliteten er baseret på den regionale luftforureningsmodel DEHM og bybaggrundsmodellen UBM, sådan at beregninger kan udføres på 1 km x 1 km opløsning i bybaggrunden for Aarhus Kommune. 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. Bybaggrunds-koncentrationer adskiller sig således fra gadekoncentrationer, som repræsenterer koncentrationerne i 2 meters højde ved husfacaden. Gadekoncentrationerne er bestemt af bybaggrundskoncentrationen plus bidraget fra trafikken i den konkrete gade samt bygningernes indflydelse på spredningsforholdene.

Beregningsåret er 2014, som er det seneste år, hvor der findes opdaterede emissioner for Danmark på 1 km x 1 km opløsning.

I EVA-systemet indgår befolkningsdata fra 2008 med en geografisk opløsning på 1 km x 1 km. Ændringerne i hovedstatistikområderne i Aarhus Kommune er anvendt til at fremskrive befolkningsdata fra 2008 til 2014 i hver gittercelle vha. GIS analyser. For øvrige gitterceller uden for Aarhus Kommune er befolkningsdata fremskrevet fra 2008 til 2014 med landsgennemsnittet baseret på oplysninger fra Statistikbanken.

2.3 Hovedkonklusioner

Luftkvalitetsvurdering for bybaggrundskoncentrationer

De højeste bybaggrundskoncentrationer af NO₂ er i Aarhus by med faldende koncentrationer ud i forstæderne. De store transportkorridorer har også forhøjede koncentrationer. Studstrupværket bidrager også til baggrundskoncentrationerne i nærområdet, hvor koncentrationsniveauet er sammenligneligt med Aarhus by, men gadekoncentrationer i områderne er langt lavere end i Aarhus, da den lokale trafik er beskeden.

Den geografiske fordeling af bybaggrundskoncentrationer af PM_{2.5} og PM₁₀ følger i store træk hinanden med de højeste koncentrationer i Aarhus by, og omkring Studstrupværket, men også i den sydlige del af kommunen, som har væsentlige bidrag fra brændeovne. Bidraget fra de lokale kilder er mindre for partikler end for NO₂, da spændet mellem minimum- og maksimum-koncentrationer er betydeligt mindre end for NO₂. Det skyldes, at den regionale forurening giver et stort bidrag for PM_{2.5} og PM₁₀. Bidraget fra motorvejen E45 træder ikke tydeligt frem som for NO₂. Niveauerne for alle tre stoffer ligger betydeligt under grænseværdierne.

Luftkvalitetsvurdering for gadekoncentrationer

Grænseværdien for årsmiddelkoncentrationerne er 40 µg/m³ for NO₂. Beregningerne udført som del af Luften på din vej kan give et fingerpeg om grænseværdierne er overskredet. Derfor kaldes beregnede overskridelse for *indikative* overskridelser. Den officielle udmelding om overskridelser af grænseværdier foretages dog i forbindelse med den årlige rapportering under luftovervågningsprogrammet, som er baseret på målinger fra de danske målestationer (Ellermann et al., 2016).

Der er beregnet 29 indikative overskridelser i Aarhus by af gadekoncentrationer for NO₂ i 2012 med en maks. koncentration på 48,4 µg/m³. Næsten alle overskridelserne er langs én strækning ved havnen. En enkeltbeliggende overskridelse er ved Ring 1 og Skanderborgvej, men den overskrider kun lige grænseværdien (beregnet værdi på 41 µg/m³). Luftkvalitetsberegninger vur-

deres at give et overordnet generelt retvisende billede af den geografiske fordeling af overskridelser i Aarhus. Beregnede gadekoncentrationer af årsmiddelværdier er sammenlignet med målinger fra de 5 gadestationer i Danmark og ligger inden for -27% til 12% for NO₂. Det formodes derfor, at der kan forekomme overskridelser på enkelte strækninger i Aarhus, men det vil kræve yderligere undersøgelser for at kvalificere dette. Målingerne af NO₂ på Baneårdsgade i Aarhus viser en faldende tendens, hvor koncentrationer er faldet omkring 4 µg/m³ fra 2012 til 2015 pga. den løbende udskiftning af bilparken. Beregningerne fra 2012 må derfor forventes at være højere end, hvis beregningerne blev gentaget for 2015.

Den geografiske fordeling af gadekoncentrationer for hhv. PM_{2.5} og PM₁₀ som årsmiddelværdi i 2012 i Aarhus Kommune minder meget om hinanden, da PM_{2.5} er en del af PM₁₀. Som for NO₂ er de højeste gadekoncentrationer også i Aarhus by langs de store fordelingsveje, hvor der samtidig er tæt bebyggelse langs vejene. Grænseværdien for årsmiddelkoncentrationen af PM_{2.5} er 25 µg/m³ og 40 µg/m³ for PM₁₀. Den højeste koncentration for PM_{2.5} er 12,5 µg/m³, hvilket er væsentligt under grænseværdien, og det samme gælder også for PM₁₀, hvor maks. værdien er 19,2 µg/m³. Sammenligninger mellem beregnede gadekoncentrationer for PM_{2.5} og PM₁₀ og målinger fra de 5 gadestationer i Danmark viser, at modellen underestimerer med -23% til -7% for PM_{2.5} og -36% til -22% for PM₁₀ (Jensen et al., 2017). Selvom man tager hensyn til denne underestimering, forventes der ikke overskridelser af grænseværdierne for PM_{2.5} og PM₁₀.

Emissionsopgørelse og kildebidrag

For NO_x er den største emissionskilde inden for Aarhus Kommune vejtransport, mens det for partikler er brændeovne. Dette er baseret på den nationale emissionsopgørelse, som er fordelt på 1 km x 1 km.

Kildebidraget er koncentrationsbidraget fra emissionskilder i Aarhus Kommune til gennemsnitskoncentrationen af bybaggrundsforureningen over Aarhus Kommune. Det er altså hvor mange mikrogram pr. kubikmeter de enkelte emissionskilder bidrager med.

For koncentrationen af NO₂ i bybaggrund bidrager alle emissionskilder i Aarhus Kommune med 33% og nabokommuner med 19%. Dvs. lokale kilder bidrager med omkring 51%, mens det regionale bidrag (DEHM) og international søfart i Aarhus Bugt udgør den anden halvdel. Den største emissionskilde i Aarhus Kommune er vejtransport.

Det regionale bidrag for PM₁₀ og PM_{2.5} udgør hhv. 88% og 90% af bybaggrundskoncentrationen og emissionskilder i Aarhus Kommune bidrager dermed med hhv. 12% og 10%. Brændeovne er den største lokale bidragsyder til partikelforurening.

For tidlige dødsfald og sygelighed

Det totale årlige antal tilfælde af for tidlige dødsfald i 2014 er ifl. beregningerne 206 i hele Aarhus Kommune på baggrund af de totale luftforureningsniveauer baseret på både danske og udenlandske emissionskilder. For Aarhus by er antallet 80.

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

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

Antallet af for tidlige dødsfald er en beregnet indikator ud fra antallet af tabte leveår, hvor et for tidligt dødsfald svarer til 10,6 tabte leveår.

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 bronkodialator, hoste, og luftvejssymptomer), hospitalsindlæggelser i forbindelse med luftvejslidelser og blodprop i hjernen, tilfælde af hjertesvigt, lungekræft, samt mange med nedsat aktivitet (sygedage).

Helbredseffekter i Aarhus Kommune fordelt på lokale emissionskilder

Det er undersøgt, hvor meget de lokale emissionskilder i Aarhus Kommune bidrager til helbredseffekterne i Aarhus Kommune. Formålet med disse beregninger er at kvantificere, hvor meget de lokale emissionskilder i Aarhus Kommune betyder for helbredseffekterne i Aarhus Kommune.

De lokale emissionskilder i Aarhus Kommune bidrager til omkring 16 for tidlige dødsfald i Aarhus Kommune, mens al luftforurening i Aarhus Kommune (fra danske og udenlandske kilder) bidrager til omkring 206 for tidlige dødsfald. Dvs. at lokale emissionskilder i Aarhus Kommune bidrager til omkring 8% af det samlede antal for tidlige dødsfald i Aarhus Kommune. Det vil modsat sige, at omkring 92% af for tidlige dødsfald i Aarhus Kommune skyldes emissioner uden for kommunen.

De vigtigste lokale kilder til de omkring 16 for tidlige dødsfald i Aarhus Kommune er brændeovne (omkring 8 for tidlige dødsfald) og vejtrafik (omkring 4 for tidlige dødsfald). Det samme mønster ses for sygelighed.

Eksterne omkostninger pga. af luftforurening

De totale eksterne omkostninger i Aarhus Kommune i 2014 pga. af luftforurening fra både danske og udenlandske emissionskilder er omkring 1,7 milliarder kr. årligt, heraf omkring 0,7 milliarder kr. i Aarhus by i 2014.

De eksterne omkostninger er næsten alene relateret til partikler (1,6 mia. kr.), som her omfatter primært emitterede partikler, sekundært dannede uorganiske partikler (nitrat, sulfat, ammonium) og havsalt. Et bidrag fra sekundært dannede organiske partikler (SOA) og "ukendt masse" er tilføjet ud fra målinger. "Ukendt masse" formodes bl.a. at være vand bundet til partiklerne. De eksterne omkostninger som følge af de lokale kilder i Aarhus Kommune er kun fra primært emitteret PM_{2,5}, da sekundære partikler ikke når at blive dannet på de korte transportafstande inden for Aarhus Kommune.

De eksterne omkostninger relateret til ozon er omkring 88 millioner kr. i Aarhus Kommune heraf omkring 36 millioner kr. i Aarhus by. Ozon er ikke direkte emitteret, men dannes i atmosfæren ud fra emissioner af NO_x, kulbrinter og CO.

Bidrag fra CO til de eksterne omkostninger er helt ubetydelige i forhold til de andre stoffer med omkring 0,5 millioner kr. i Aarhus Kommune heraf knap 0,2 millioner kr. i Aarhus by.

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

Eksterne omkostninger fordelt efter lokale emissionskilder

De totale eksterne omkostninger er omkring 127 mio. kr. i Aarhus Kommune pga. emissionskilder i kommunen i 2014. De totale eksterne omkostninger i Aarhus Kommune pga. al luftforurening fra både danske og udenlandske emissionskilder var omkring 1,7 milliarder kr., dvs. at lokale emissioner i Aarhus Kommune bidrager med omkring 8%. Det betyder omvendt, at omkring 92% af alle eksterne omkostninger relateret til luftforurening i Aarhus Kommune skyldes emissioner uden for Aarhus Kommune.

De vigtigste lokale kilder i Aarhus Kommune til helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Aarhus Kommune er brændeovne, som står for omkring 48% af de eksterne omkostninger efterfulgt af vejtrafik med 19%. Andre kildertyper, som giver et vist bidrag, er andre mobile kilder (ikke-vejgående maskiner mv.) med 6%, affaldsbehandling med 5%, kraftvarmeværker mv. med 5%, samt anvendelse af produkter (emissioner fra opløsningsmidler og emissioner fra industriens og befolkningens brug af produkter som fx kemikalier og maling) med omkring 4%.

International søfart i Aarhus Bugt bidrager med omkring 3% af de eksterne omkostninger i Aarhus Kommune.

2.4 Usikkerheder

EVA-systemet er baseret på "Impact-pathway" kæden, som dækker alle ledene 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, som er diskuteret nærmere i kapitel 9 i rapporten.

3 English Summary

3.1 Background and Purpose

Air pollution has significant negative effects on human health and well-being with significant socio-economic consequences. The aim of the project is to calculate the health impacts and external costs related to air pollution in the Municipality of Aarhus with the integrated model system EVA (Economic Valuation of Air pollution), and quantify how much is due to the different sources of air pollution.

3.2 The study

Air Quality Assessment

An air quality assessment is carried out that describes the spatial distribution of background concentrations with a resolution of 1 km x 1 km, as well as street concentrations at address level in the Municipality of Aarhus. This description is based on data from a national data set, which is called Air Quality at Your Street (<http://luftenpaadinvej.au.dk>). Furthermore, a summary of the results from the two fixed measuring stations in Aarhus city shows the trends in concentrations for an urban background station (Botanical Garden) and a street station (Banegårdsgade).

Health impacts and related external costs

Health impacts and related external costs due to all air pollution are calculated for the entire municipality and separately for Aarhus city. All air pollution is due to sources from the Municipality of Aarhus and all other sources in Denmark and abroad.

Moreover, calculations are carried out for each type of emission source in the Municipality of Aarhus to quantify the contribution of the different sources. In principle, the Municipality of Aarhus is able to regulate these sources. The calculations are carried out with the integrated assessment model system EVA (Economic Valuation of Air pollution (Brandt et al., 2011a,b; 2013a,b), which is based on the so-called impact-pathway method. The EVA-system calculates the health impacts and related external costs based on information about the sources of pollution and their location, the dispersion of air pollution as well as exposure of the population, the dose-response relationship between exposure and health effects, and the valuation of health effects, also referred to as external costs related to health effects from air pollution.

Modelling of air quality is based on the regional air pollution model DEHM and the urban background model UBM resulting in calculations performed on a 1 km x 1 km grid resolution. Urban background concentrations are the general air pollution in the city and reflect the concentrations in a park, a backyard or at the roof of buildings. Urban background concentrations differ from street concentrations, which represent the concentrations in the height of 2 m at the facade of buildings. The year of calculation is 2014, which is the most recent year with updated emissions for Denmark on 1 km x 1 km resolution.

The EVA-system includes population data from 2008 with a spatial resolution of 1 km x 1 km. The rate of increase from the main statistical areas of the Municipality of Aarhus has been used to scale population data from 2008 to

2014 in each grid cell using GIS analyses. For other grid cells outside the Municipality of Aarhus population data is projected from 2008 to 2014 using a single factor based on information from national statistics.

3.3 Main Findings

Air Quality Assessment for urban background concentrations

The highest urban background concentrations of NO₂ are in Aarhus city with decreasing concentrations out into the suburbs. The major transport corridors have elevated concentrations.

The Studstrup stations also contribute to the background concentrations in the surroundings where the background concentrations are comparable to that of Aarhus city, but street concentrations in the areas are much lower than in Aarhus due to modest local traffic.

The spatial distribution of urban background concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ generally follows each other with high concentrations in Aarhus city, and around the Studstrup power station, but also in the southern part of the municipality with contributions from wood stoves. The contribution from local emission sources is less compared to NO₂, since the range between minimum and maximum concentrations for particle concentrations are considerably smaller than for NO₂, since the regional contribution of PM_{2.5} and PM₁₀ is high. The contribution from the motorway E45 is not as evident as for NO₂.

Levels of all three substances are significantly below the limit values.

Air Quality Assessment for street concentrations

The limit value of annual mean concentrations is 40 µg/m³ for NO₂. Calculations performed as part of Air Quality at Your Street may give an indication of whether or not the limit value is exceeded. Therefore, calculated exceedances are called *indicative* exceedances. The official announcement of exceedances of limit values is carried out as part of the annual reporting under the National Air Quality Monitoring Program, which is based on measurements from the Danish fixed monitoring stations (Ellermann et al., 2016).

29 indicative exceedances are calculated in Aarhus city of street concentrations for NO₂ in 2012 with a maximum concentration of 48.4 µg/m³. Almost all the exceedances are along a single street section at the harbor area. One exceedance is at Ring Road 1 and Skanderborgvej where the limit value is barely exceeded (calculated value of 41 µg/m³). This indicates that exceedances may occur on few streets in Aarhus city, but it will require further studies to qualify this.

Measurements of NO₂ at Banegårdsgade in Aarhus city show a downward trend, where concentrations have decreased about 4 µg/m³ from 2012 to 2015 due to the ongoing renewal of the car fleet. Therefore, calculations from 2012 presented above are higher than levels in 2015 if re-calculated.

The geographical distribution of street concentrations for PM_{2.5} and PM₁₀ as annual means in 2012 in the Municipality of Aarhus is very similar to each other because PM_{2.5} is part of PM₁₀. As for NO₂ the highest concentrations are in Aarhus city along the major roads. The limit value of annual mean concentrations of PM_{2.5} is 25 µg/m³ and 40 µg/m³ for PM₁₀. The highest concentration of PM_{2.5} is 12.5 µg/m³ which is significantly below the limit value. PM₁₀ with a maximum of 19.2 µg/m³ is also below the limit value.

Although the calculated street concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ are underestimated compared with measurements from the 5 street stations in Denmark with -23% to -7% for PM_{2.5} and -36% to -22% for PM₁₀ (Jensen et al., 2017) no exceedances of the limit values for PM_{2.5} and PM₁₀ are expected.

Emission inventory and source apportionment

The largest source of NO_x emissions in the Municipality of Aarhus is road transport (SNAP07), while for particles it is wood stoves (SNAP0202). This is based on the national emission inventory which is geographically distributed in 1 km x 1 km grid cells.

Source apportionment is the contribution of emission sources to the average urban background concentration in the Municipality of Aarhus. It is how many micrograms per cubic meter that the individual emission sources contribute to concentrations.

All emission sources in the Municipality of Aarhus contribute to 33% of the urban background NO₂ concentration and the neighboring municipalities contribute with 19%. This means that local sources contribute with 51%, while the other half is the contribution from regional air pollution (DEHM) and international maritime transport in the Bay of Aarhus. The largest source of emissions in the Municipality of Aarhus is road transport.

The regional contribution represents 88% and 90%, respectively of urban background PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations, and all emission sources in the Municipality of Aarhus contribute with 12% and 10%, respectively. Wood stoves are the largest local contributor to particulate air pollution.

Premature deaths and morbidity

The total annual number of cases of premature deaths in 2014 is 206 in the Municipality of Aarhus due to all air pollution based on Danish and foreign emission sources. For Aarhus city it is 80. Premature deaths are due almost exclusively to so-called chronic deaths caused by long-term exposure to particulate pollution in contrast to so-called acute deaths due to shorter time periods with elevated concentrations (episodes) primarily due to ozone.

The people who die prematurely due to air pollution are especially elderly and vulnerable persons, as well as persons who already suffer from cardiovascular and respiratory diseases. Deaths among infants represent a very small share.

The number of premature deaths is calculated based on the number of years of life lost, where one premature death corresponds to 10.6 years of life lost. In addition to premature deaths, there are many cases of morbidity. It includes chronic bronchitis and discomfort for children and adults with asthma (use of bronchodilator, cough, and respiratory symptoms), hospital admissions related to respiratory disorders and blood clot in the brain, cases of heart failure, lung cancer, as well as many with reduced activity (sick days).

Health effects in the Municipality of Aarhus distributed on local emission sources

It is estimated how much the local emission sources in the Municipality of Aarhus contribute to health effects in the municipality. The purpose of these calculations is to quantify how much the local emission sources in the Munic-

ipality of Aarhus influence health effects in the municipality. The local emission sources in the Municipality of Aarhus contributes to about 16 premature deaths in the municipality, while all air pollution in the Municipality of Aarhus (from Danish and foreign sources) contributes to about 206 premature deaths. In other words, local emission sources in the Municipality of Aarhus contribute to about 8% of the total premature deaths in the Municipality of Aarhus, and about 92% of premature deaths in the Municipality of Aarhus are due to emissions outside the municipality. The main local sources causing the 16 premature deaths in the Municipality of Aarhus are wood stoves (about 8 premature deaths) and road transport (around 4 premature deaths). The same pattern can be observed for morbidity.

External costs due to all air pollution

The total external costs in the Municipality of Aarhus in 2014 due to all air pollution from Danish and foreign emission sources is about DKK 1.7 billion annually, of which about DKK 0.7 billion in Aarhus city.

The external costs are almost entirely related to particles (DKK 1.6 billion), which here include primarily emitted particles, secondary inorganic particles (nitrate, sulphate, ammonium), and sea salt. A contribution has also been added based on measurements for secondary organic particles (SOA) and "unknown mass". Unknown mass is assumed, among other things, to be water bound to the particles. The external costs as a result of local sources in the Municipality of Aarhus are only from primarily emitted PM_{2.5}, since secondary particles are not formed within the short transport distances within the Municipality of Aarhus.

The external costs related to ozone are about DKK 88 million in the Municipality of Aarhus of which DKK 36 million are attributed to Aarhus city. Ozone is not emitted directly but is formed in the atmosphere from emissions of NO_x, hydrocarbons and CO. Ozone is harmful to health, and is therefore associated with external costs. Contribution from CO to the external costs is insignificant in comparison to the other substances. CO only contributes about DKK 0.5 million in the Municipality of Aarhus and about DKK 0.2 million in Aarhus city. The major part of the external costs is caused by premature deaths since the economic valuation of premature death is high compared to e.g. morbidity and sick days.

External costs due to local emission sources

The total external costs are about DKK 127 million in the Municipality of Aarhus due to emission sources in the municipality in 2014. The total external costs in the Municipality of Aarhus due to all air pollution from Danish and foreign emission sources were about DKK 1.7 billion. This means that local emissions in the Municipality of Aarhus contribute with about 8%. Conversely, about 92% of all external costs related to air pollution in the Municipality of Aarhus are due to emissions outside of the municipality.

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 associated to all these elements further discussed in Chapter 9.

4 EVA-systemet

Dette kapitel beskriver EVA-systemet, de metoder og data det er baseret på, samt hvad det kan anvendes til.

4.1 Beskrivelse af EVA-systemet

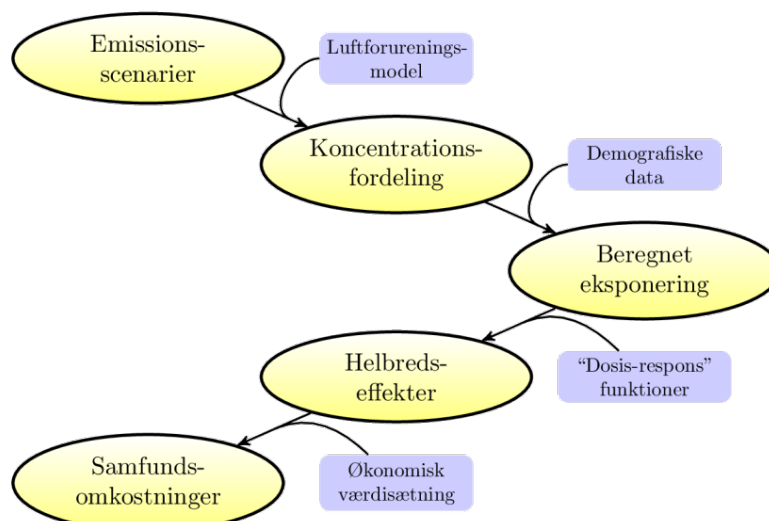
Anvendelse

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

Impact-pathway metoden

Det integrerede modelsystem, EVA (Economic Valuation of Air pollution) (Brandt et al., 2011a, b; 2013a, b; 2016) er baseret på den såkaldte "impact-pathway" metode, og har til formål at opgøre helbredsrelaterede eksterne omkostninger fra luftforureningen og estimere, hvordan helbredsomkostningerne 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 forurende 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 fx 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 fx sygdom, for tidlige dødsfald eller sygedage med deraf tabt arbejdsfortjeneste eller omkostninger for samfundet i form af tabt omsætning eller øgede sygehusomkostninger.

Høj geografisk opløsning

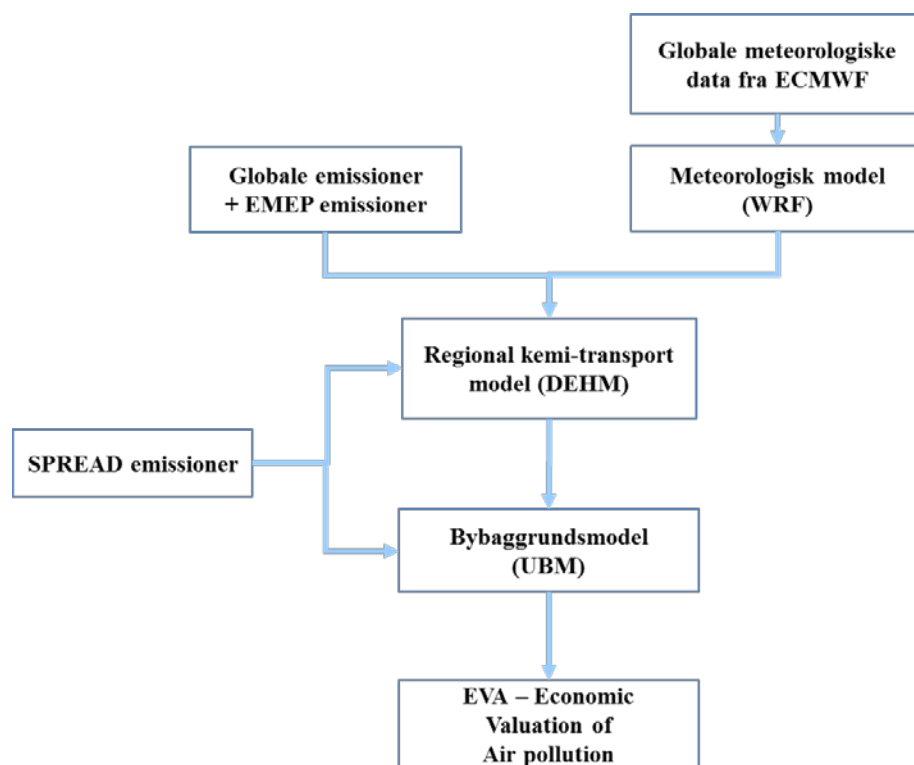
Beregningerne er udført med EVA-systemet, som er baseret på resultater fra den regionale luftforureningsmodel DEHM (Danish Eulerian Hemispheric Model), som har en opløsning på 5,6 km x 5,6 km for Danmark. Denne opløsning er imidlertid for grov i forhold til en vurdering for Aarhus Kommune. EVA-systemet omfatter derfor også bybaggrundsmodellen UBM (Urban Background Model) med input fra den regionale luftforureningsmodel DEHM, sådan at beregninger kan udføres på 1 km x 1 km opløsning for bybaggrundsforureningen. Dvs. der beregnes en koncentration af luftforureningen for centerpunktet af et kvadrat på 1 km x 1 km.

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

Som det fremgår af Figur 3.2 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 med SPREAD (Spatial High Resolution Emission to Air Distribution). Europæiske emissioner er baseret på EMEP (The European Monitoring and Evaluation Programme) emissionsdatabasen og øvrige emissioner fra forskellige globale emissionsdatabaser, heriblandt også databaser og modeller for naturlige emissioner. Meteorologiske data er fra den meteorologiske model WRF.

Kombinationen af luftkvalitetsmodellerne DEHM og UBM beregner bybaggrundskoncentrationerne med en geografisk opløsning på 1 km x 1 km, og befolkningseksponeringen fås ved at gange koncentrationer med befolkningstætheden inden for dette kvadrat. Helbredseffekter beregnes ud fra dosis-respons sammenhænge, og de eksterne omkostninger fås ved at gange helbredseffekterne med priser for de enkelte helbredseffekter.

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



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

Geografisk underopdeling af resultater

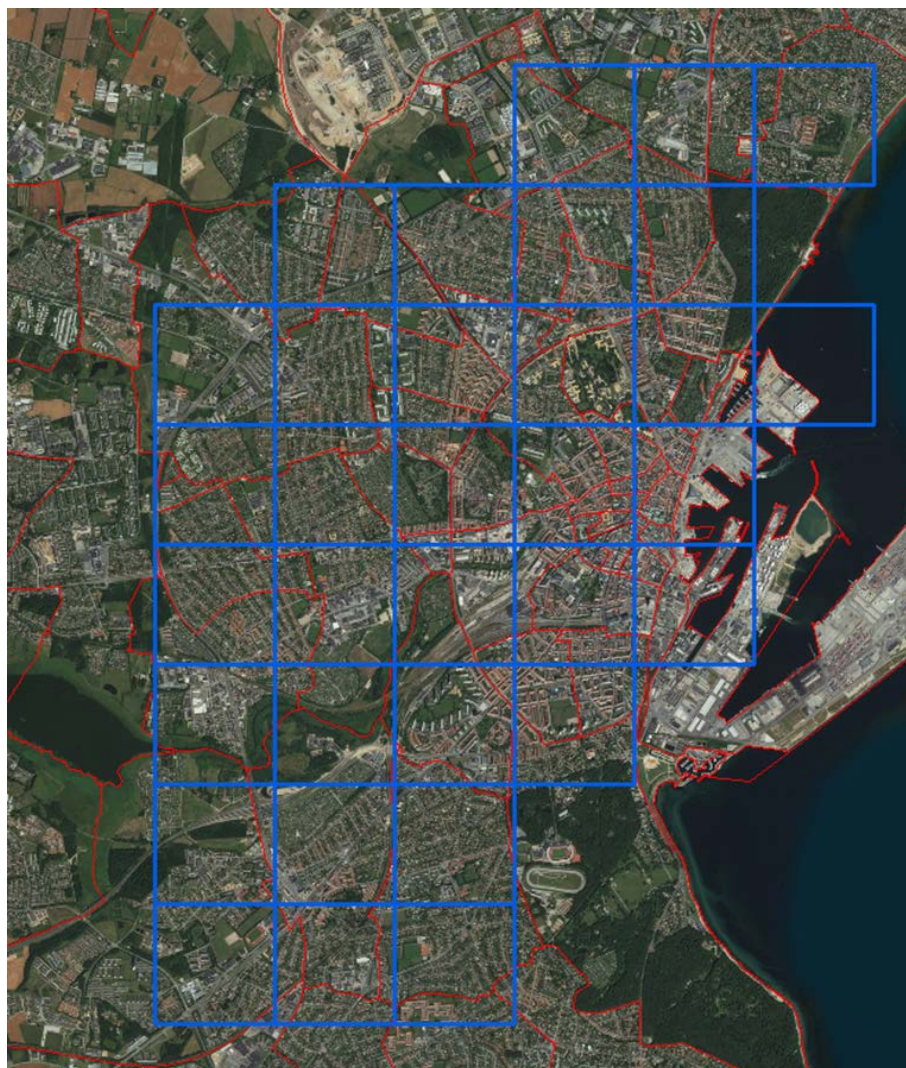
Aarhus Kommune har en stor udstrækning med tætbebygget by i Aarhus men også landområder og mindre byer. Det betyder, at baggrundskoncentrationen varierer meget henover kommunen. I forbindelse med præsentation af kildebidrag, helbredseffekter og tilhørende eksterne omkostninger er det derfor en fordel at underopdele kommunen i hhv. hele kommunen og særskilt for Aarhus by.

I dialog med Aarhus Kommune er en geografisk udstrækning af Aarhus by udpeget, som et sammenhængende bebygget område, hvor bybaggrundskoncentrationer er forhøjede og med relativ høj befolkningstæthed. Bybaggrundskoncentrationer på et 1 km x 1 km gitternet er vurderet ud fra hjemmesiden Luften på din vej (www.luftenpaadinvej.au.dk) og befolkningsdata fra 2008 på samme geografiske opløsning.

Afgrænsningens formål er at underopdele kommunen i to hovedkategorier. Der er tale om en grov inddeling, da modellens geografiske opløsning er 1 km x 1 km.

Den geografiske afgrænsning af Aarhus by er vist i Figur 4.3 (blåt gitternet). Der bor omkring 130.000 mennesker i de 33 gitterceller.

Figuren viser endvidere Aarhus Kommunes statistikområder (røde). Information om befolkningsdata på disse statistikområder benyttes i nærværende projekt til at opskalere eksisterende befolkningsdata fra 2008 i EVA-systemet til 2014 ud fra stigningstaksten i hovedstatistikområder fra 2008 til 2014. Metoden herfor beskrives nærmere i afsnit 4.3.



Figur 4.3. Afgrænsning af Aarhus by (blå gitterceller af 1 km x 1 km). Afgrænsningen anvendes til præsentation af resultater. Statistikområder er endvidere vist (røde distrikter).

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). Modellen er ved at blive videreudviklet til også at inkludere sekundære organiske partikler (SOA), men det er pt. ikke inkluderet i modellen. Dette bidrag er derfor lagt til ud fra målinger sammen med et bidrag fra såkaldt "ukendt masse", som formodes at være vand bundet til partiklerne.

For nuværende er det kun helbredseffekter, der er medtaget i EVA-systemet.

SO_2 er ikke medtaget i beregningerne med bybaggrundsmodellen UBM, og bidraget til helbredseffekterne kan derfor ikke umiddelbart beregnes for dette stof, men pga. de lave emissioner af SO_2 vurderes det, at effekterne for dette stof vil være minimal.

EVA-beregninger

Stofferne beskrevet ovenfor, indgår alle i beregningen af helbredseffekterne fra den totale luftforurening i Aarhus Kommune.

I beregningen af de enkelte kilders bidrag fra emissioner inden for Aarhus Kommune til helbredseffekterne i Aarhus Kommune, er det kun de primært emitterede partikler $PM_{2.5}$ samt O_3 , som er relevante for at kunne beregne bidragene til helbredseffekterne. For O_3 er både de positive og negative helbredseffekter medtaget i beregningerne. O_3 er direkte helbredsskadeligt, og har derfor negative helbredseffekter. Men lokale emissioner af kvælstofoxider ($NO_x = NO + NO_2$) emissioner i Aarhus Kommune bidrager til en reduktion af O_3 niveauerne i kommunen (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.

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 Aarhus Kommune før de er dannet. De er derfor ikke relevante, når bidraget til helbredseffekterne i Aarhus Kommune fra emissioner i kommunen skal opgøres, men bidrager til helbredseffekter og eksterne omkostninger langt fra kommunen. Det langtransporterede bidrag fra Aarhus Kommune af disse stoffer er derfor 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 2014, som har været anvendt til beregningerne for 2015 under det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet under NOVANA.

Der indgår en del naturlige emissioner i DEHM. Isopren fra vegetation, som er en NMVOC, og som spiller en rolle for dannelse af ozon. NO_x emissioner som dannes i atmosfæren ved lynudladninger og emissioner af kvælstofforbindelser fra bakterielle processer i jord, hvilket har betydning for dannelse af sekundære partikler i atmosfæren i form af ammoniumpartikler og nitratpartikler. Emissioner fra skovbrande indgår også. 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 km x 1 km emissionsdata for Danmark for alle emissionsklasser for 2014 baseret på SPREAD emissionsmodellen (Plejdstrup & Gyldenkerne, 2011).

De nationale emissionsopgørelser omfatter summen af emissioner udledt i hele Danmark for en lang række kilder underopdelt 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 er udviklet den GIS- og database baserede model SPREAD (Plejdstrup & Gyldenkerne, 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
SNAP01	Kraftvarme- og fjernvarmeverker, herunder affaldsforbrændingsanlæg
SNAP0201	Ikke-industriel forbrænding, handel og service
SNAP0202	Ikke-industriel forbrænding, husholdninger
SNAP0203	Ikke-industriel forbrænding, landbrug og gartneri fx forbrænding i husholdninger og handel og service
SNAP03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed
SNAP04	Industrielle processer
SNAP05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas
SNAP06	Anvendelse af produkter
SNAP07	Vej transport
SNAP0801	Militær
SNAP0802	Jernbaner
SNAP080402	National søfart
SNAP080403	National fiskeri
SNAP080501	National LTO (Landing, Take, Off) (start og landing, < 3000 fod)
SNAP080502	International LTO (Landing, Take, Off) (start og landing, < 3000 fod)
SNAP080503	National flytrafik (> 3000 fod) Luftfart - kun lufthavnstrafik
SNAP0806	Maskiner og redskaber i landbrug
SNAP0807	Maskiner og redskaber i skovbrug
SNAP0808	Maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner
SNAP0809	Maskiner og redskaber i have/hushold
SNAP0811	Maskiner og redskaber i handel og service
SNAP09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding
SNAP3B	Landbrug, husdyrgødning
SNAP3D	Landbrug, landbrugsjorde
SNAP3F-I	Landbrug, øvrige kilder i landbruget

SNAP-kategori 0202 omfatter boligopvarmning, hvor emissionen helt er domineret af brændeovne. Den geografiske fordeling er bl.a. baseret på BBR oplysninger og derfor mere retvisende end tidligere opgørelse, hvor den geografiske fordeling var baseret på en opgørelse af brændselsforbruget til individuel opvarmning på kommuneniveau foretaget af Energistyrelsen.

Mht. bidraget fra skibstrafikken (SNAP 0804) er bidraget ikke underopdelt men beregnet under ét og kun i en afstand op til 25 km fra Aarhus Kommune. Emissioner fra Molslinjen og anden skibstrafik indgår således heri. Det væsentligste bidrag fra skibstrafikken består desuden af sekundære stoffer, som er langtransporteret.

I beregningerne er der en særskilt kategori for international søfart, som ligeledes medtages i afstand op til 25 km fra Aarhus Kommune.

Meteorologiske data

Udover emissionsdata kræver beregninger med luftkvalitetsmodellerne også adgang til meteorologiske data. Der anvendes modellerede meteorologiske data fra den meteorologiske model WRF (Skamarock et al., 2005) for 2014, som køres rutinemæssigt på ENVS/AU, som er en del af NOVANA programmet.

Beregningsår

Da danske emissionsdata og meteorologiske data er fra 2014, og afspejler derfor de beregnede koncentrationer og tilhørende helbredseffekter og eksterne omkostninger i 2014.

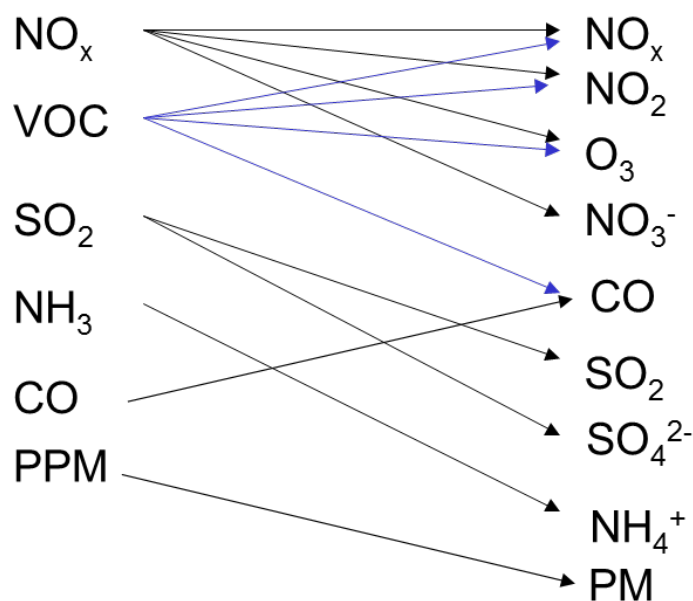
4.3 Koncentration og befolkningseksponering

Regional luftkvalitetsmodel

Først beregnes den regionale luftforurening med Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM) (Christensen, 1997; Brandt et al., 2012) som input til bybaggrundsmodellen UBM. Den regionale baggrund repræsenterer koncentrationerne i landområder.

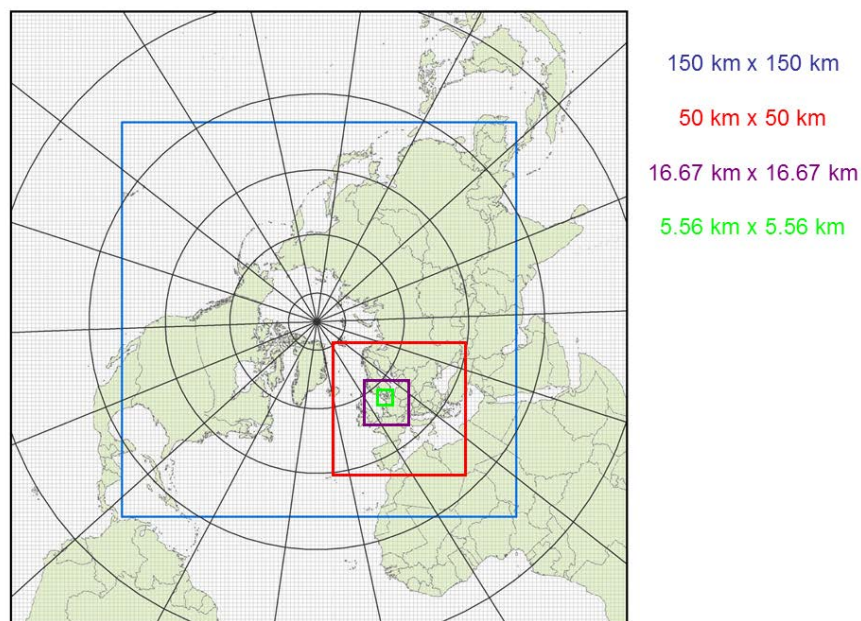
Modellen beregner koncentrationen af 9 partikelkomponenter og 58 gasser, herunder NO_x, NO₂, O₃, CO, SO₂, NH₃, VOC, mv. Den totale PM_{2.5} og PM₁₀ i DEHM modellen består af summen af de følgende stoffer: primært emitteret mineralsk støv, sod (black carbon (fresh (friske) og aged (ældede))), organisk kulstof, og de sekundære uorganiske partikler i form af ammonium, sulfater og nitrater (H₂SO₄, NO₃⁻, NH₄NO₃, NH₄HSO₄ og (NH₄)₂SO₄). Modellen inkluderer også havsalts bidrag til partikelmassen. Modellen er ved at blive videreudviklet til også at inkludere sekundære organiske partikler (SOA), men dette er pt. ikke inkluderet i modellen, og bidraget er derfor lagt til ud fra målinger sammen med et bidrag fra "ukendt masse", som formodes at være vand bundet til partiklerne.

Det er vigtigt at skelne imellem de stoffer, der bliver emitteret, og de stoffer som giver helbredseffekter, og hvordan de relateres til hinanden. Disse forhold er simplificeret beskrevet i Figur 4.4.



Figur 4.4. Forenklet oversigt over primære emissioner (venstre side) og kemiske stoffer som koncentrationer, der giver helbredseffekter (højre side). NO_3^- , SO_4^{2-} og NH_4^+ er partikler og bidrager i forskellige kombinationer med hinanden til de samlede PM-koncentrationer (se tekst ovenover).

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 højere opløsning over Nordeuropa (16,67 km x 16,67 km) og en endnu højere opløsning over Danmark (5,6 km x 5,6 km) ved hjælp af tre såkaldte "nests" (områder i modeldomænet, hvor opløsningen er højere end i resten af domænet). Modeldomænet og "nests" er vist i Figur 4.5. 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), kulmonooxid (CO), metan (CH_4) og andre flygtige organiske forbindelser (VOC'er) samt primært emitterede partikler (bl.a. $\text{PPM}_{2.5}$). Emissionerne er baseret på data fra bl.a. EMEP (www.emep.int), se ovenfor. Derudover inkluderer DEHM kemisk omdannelse af 67 stoffer i atmosfæren.



Figur 4.5. DEHM beregningsområdet med nests – et over Europa (50 km x 50 km), nordeuropa (16,7 km x 16,7 km) og Danmark (5,6 km x 5,6 km). Uden for Europa er opløsningen 150 km x 150 km.

Bybaggrundsmodel

Bybaggrundsforureningen repræsenterer den generelle forurening i byerne og er beregnet med Urban Background Model (UBM) version 9.3 med en geografisk opløsning på 1 km x 1 km (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 i hver enkelt gittercelle 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 25 km fra receptorpunkterne, fx i Aarhus Kommune. Endvidere er medtaget bidraget fra skibstrafik (SNIP INT) som en særskilt kategori, hvor det lokale bidrag er defineret i en afstand op til 25 km. Anden national søfart er også med som særskilt kategori, som en del af den nationale emissionsopgørelse. Bidraget fra afstande over 25 km er således beregnet med DEHM. For Danmark anvender EVA-systemet 5,6 km x 5,6 km for DEHM og 1 km x 1 km for UBM.

Emissioner til UBM har en geografisk opløsning på 1 km x 1 km, hvor det antages, at emissionerne sker i jordhøjde. Dette betegnes arealkilder, da det antages, at emissionen er jævn fordelt over arealet i gittercellen. Emissioner fra fx kraftværker med høje skorstene er punktkilder, og da udslippet sker i stor højde vil emissionerne være meget fortyndet, når røgfanen når jordoverfladen. For ikke at overestimere koncentrationsbidraget fra punktkilder især tæt på punktkilden er emissionen reduceret med en faktor 10 for disse kilder i luftkvalitetsberegningerne, hvilket er en veltestet metode.

Sammenligning mellem målinger og beregninger

DEHM/UBM beregningerne er sammenlignet med målinger på bybaggrundsstationen i Aarhus (Botanisk Have). Modellen ligger inden for 5% af NO_x , NO_2 og O_3 , og der er ikke foretaget nogen kalibrering i forhold til disse stoffer. For $\text{PM}_{2.5}$ underestimerer modellen i forhold til målingerne, bl.a. fordi SOA endnu ikke er inkluderet i modellen. Forskellen mellem målingerne og modellen for $\text{PM}_{2.5}$ er derfor lagt til de modelberegnedes værdier for at få et så retvisende $\text{PM}_{2.5}$ -niveau som muligt for Aarhus Kommune i beregningerne af helbredseffekter og eksterne omkostninger. Der er lagt $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til, som svarer til forskellen på 14% mellem målingerne og modellen.

Tabel 4.2. Sammenligning mellem modelberegninger og målinger på bybaggrundsstationen i Aarhus (Botanisk Have) i 2014.

Enhed $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO_x	NO_2	O_3	PM_{10}	$\text{PM}_{2.5}$
Målinger	20,0	15,2	53,2	- ^a	12,0
DEHM/UBM model	19,5	15,9	55,8	12,8	10,4
Forskel måling og model	0,44	-0,79	-2,60	-	1,6
Forskel måling og model (%)	2	-5	-5	-	14

^aDer foretages ikke målinger af PM_{10} .

Deltakonzentrationer

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-konzentrationen, og det er den, som anvendes til at beregne befolkningseksposeringen relateret til den specifikke kilde, og de tilhørende helbredseffekter og eksterne omkostninger.

I nærværende projekt gennemføres sådanne beregninger for de forskellige emissionskilder inden for Aarhus Kommune for at kvantificere bidragene fra de forskellige hovedemissionssektorer til helbredseffekter 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). Eksisterende CPR data for år 2008 danner grundlag for befolkningsdata i EVA for Danmark, som er fremskrevet til 2014. Det har ikke været muligt inden for projektets rammer at skaffe et nyt CPR udtræk for 2014. CPR data er overført til et geografisk gitter på $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ for Danmark ved hjælp af et GIS værktøj med udgangspunkt i den koordinatsatte adresse. For hver gittercelle er antallet af personer fordelt på køn og alder efter 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).

I nærværende rapport er befolkningsdata fra 2008 fremskrevet til 2014 for Aarhus Kommune ved at bruge stigningstakten fra 2008 til 2014 (begge juli)

for befolkningsdata for hovedstatistikområderne i Aarhus Kommune (Se Figur 4.6).

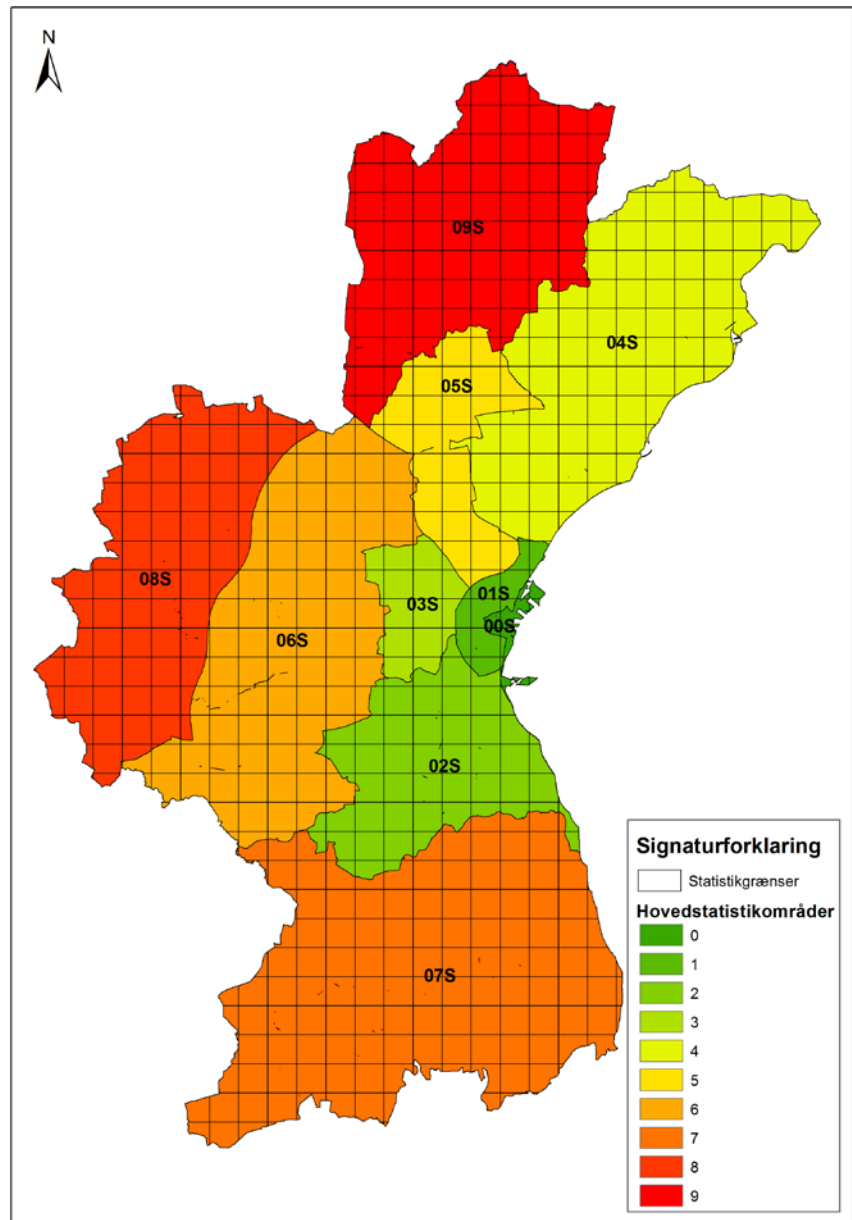
I Tabel 4.3 er vist de anvendte fremskrivningsfaktorer for hovedstatistikområderne, som er beregnet ud fra data om underdistrikterne. Befolkningsdata er downloaded som PDF filer fra <http://www.aarhus.dk/-da/aarhus/Aarhus-i-tal/Befolkning.aspx> og viderebehandlet i Excel.

Tabel 4.3. Stigningstakt i befolkningsdata fra 2008 til 2014 for hovedstatistikområder i Aarhus Kommune.

Hovedstatistikområder	Kvinder	Mænd	I alt	0-2 år	3-5 år	6-15 år	16-19 år	20-24 år	25-64 år	65 år -
00	1,39	1,34	1,36	1,28	1,13	1,32	1,11	1,60	1,29	1,30
01	1,13	1,13	1,13	1,15	1,26	1,07	1,03	1,28	1,08	1,15
02	1,06	1,08	1,07	1,12	1,04	0,95	1,12	1,31	1,04	1,12
03	1,04	1,06	1,05	1,03	1,03	0,92	0,98	1,25	1,03	1,09
04	1,06	1,07	1,07	0,95	1,05	0,99	1,13	1,28	0,99	1,34
05	1,06	1,10	1,08	1,07	1,06	0,93	0,87	1,30	1,07	1,06
06	1,06	1,07	1,07	1,04	0,99	0,96	1,05	1,28	1,03	1,29
07	1,10	1,08	1,09	1,10	1,11	0,97	1,09	1,32	1,03	1,40
08	1,07	1,06	1,07	0,91	0,99	0,98	1,24	1,50	1,02	1,29
09	1,07	1,07	1,07	0,69	1,09	1,19	0,95	1,12	1,03	1,37
I alt	1,08	1,09	1,08	1,04	1,05	0,97	1,07	1,30	1,04	1,22

Der er 298.501 personer i Aarhus Kommune i 2008 og 323.477 i 2014, dvs. en stigning på 8,4%. Som det ses, er stigningstakten forskellig for de forskellige aldersgrupper.

I EVA-systemet indgår befolkningsdata fra 2008 med en geografisk opløsning på 1 km x 1 km. Stigningstakten fra hovedstatistikområderne er anvendt til at fremskrive befolkningsdata fra 2008 til 2014 i hver gittercelle. Dette er gjort ved i GIS at beregne arealet af hovedstatistikområderne i hver gittercelle, beregne befolkningsdata i dette areal ved at antage at befolkningen er homogent fordelt inden for en gittercelle og fremskrive, og efterfølgende summere delbidragene for hver gittercelle.



Figur 4.6. Hovedstatistikområder i Aarhus Kommune og det anvendte 1 km x 1 km gitternet.

Ved at bruge denne metode til fremskrivning af befolkningsdata fra 2008 får vi 325.927 personer i 2014 dvs. kun en afvigelsen på 0,8% i forhold til oplysningerne fra Aarhus Kommune for statistikområder på 323.477 personer. Denne marginale afvigelse skyldes, at befolkningsdata for 2008 ikke er fra helt samme dato, samt mindre forskydning, som fremskrivningen kan give anledning til.

I EVA-systemet er aldersfordelingen ikke underopdelt helt på samme måde som i Aarhus Kommunes statistikdistrikter. Sammenhængen er vist i Tabel 4.4. De mindre forskelle vurderes at have marginal betydning for resultaterne. Eksponering-respons sammenhænge i EVA-systemet skelner ikke mellem kønnene.

Tabel 4.4. Sammenhængen mellem aldersfordeling i EVA-systemet og Aarhus Kommunes statistikdistrikter.

Befolkningsdata i hver gittercelle i EVA-systemet	Fremskrivning ud fra statistikdistrikter i Aarhus Kommune
Hankøn	Som mænd
Hunkøn	Som kvinder
Antal hankøn 0 og op til 1 år (dvs. max 1 år)	Som 0-2 år
Antal hankøn 0 og op til og med 15 år (dvs. max 16 år)	Som 0-2, 3-5, 6-15
Antal hankøn 16 år og frem (dvs. min 16 år)	Som 16-19, 20-24, 25-64, 65-
Antal hankøn 30 år og frem (dvs. min 30 år)	Som 25-64, 65-
Antal hankøn 65 år og frem (dvs. min 65 år)	Som 65-
Antal hunkøn 0 og op til 1 år (dvs. max 1 år)	Som 0-2 år
Antal hunkøn 0 og op til og med 15 år (dvs. max 16 år)	Som 0-2, 3-5, 6-15
Antal hunkøn 16 år og frem (dvs. min 16 år)	Som 16-19, 20-24, 25-64, 65-
Antal hunkøn 30 år og frem (dvs. min 30 år)	Som 25-64, 65-
Antal hunkøn 65 år og frem (dvs. min 65 år)	Som 65-

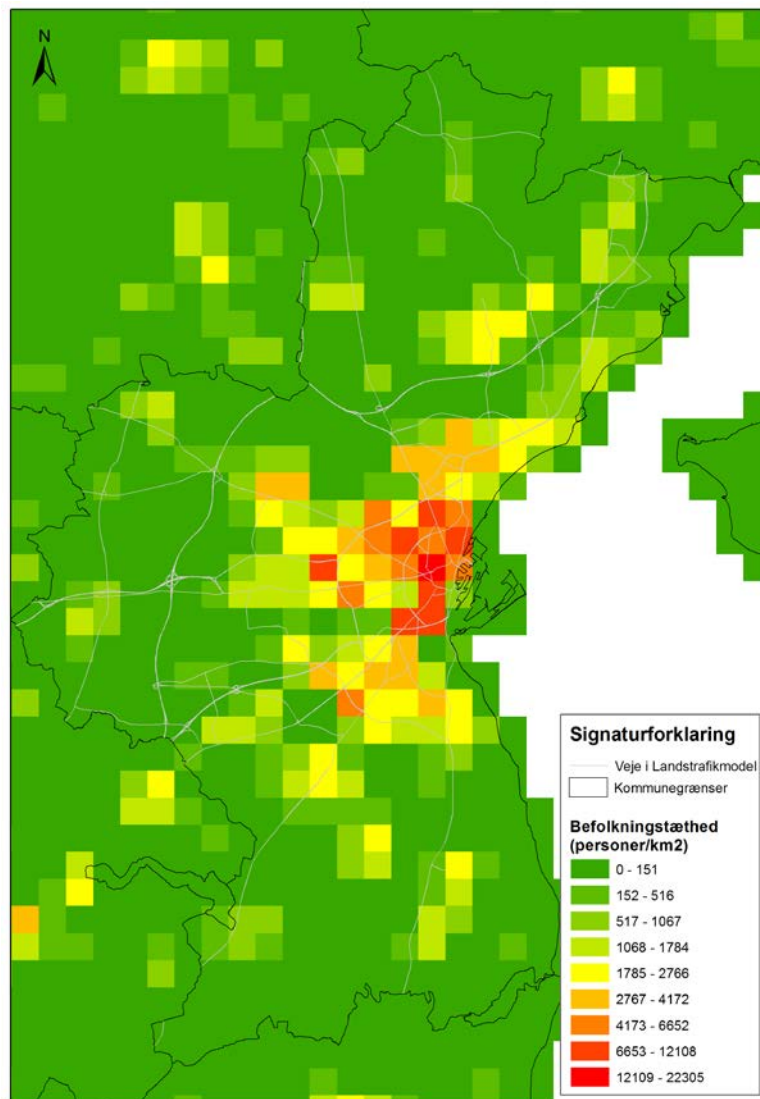
Vi prøvede først ovenstående metode med de mindre deldistrikter (se tidligere Figur 4.3), men disse var alt for underopdelt i forhold til 1 km x 1 km gitternettet og førte til næsten dobbelt så høj befolkning, som det skulle være. Derfor blev hovedstatistikområderne anvendt til fremskrivningen.

For øvrige gitterceller uden for Aarhus Kommune er befolkningsdata fremskrevet fra 2008 til 2014 med faktoren 1,0277 baseret på oplysninger fra Statistikbanken for udviklingen i befolkningen i hele Danmark.

Der er 5.617.512 personer i hele datasættet for Danmark for 2014, hvilket er inden for 0,2% af oplysninger fra Statistikbanken (5.627.235).

Helbredseffekter og tilhørende omkostninger afhænger af antallet af personer, som er eksponeret og af alderssammensætningen. Jo større befolkning jo flere helbredseffekter, og jo ældre befolkning jo flere helbredseffekter. For antal for tidlige døde betyder kronisk død mest, hvilket afhænger af antallet af personer over 30 år, se Tabel 4.5 i næste afsnit over helbredseffekter. Endvidere betyder antallet af personer over 65 år noget for indlæggelser, men det vægter kun lidt i de samlede helbredsomkostninger, som er domineret af kronisk død.

Befolkningstætheden er visualiseret i Figur 4.7.



Figur 4.7. Befolkningstæthed i 2014 (personer/km²).

4.4 Helbredseffekter

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

- Kronisk bronkitis
- Dage med nedsat aktivitet (sygedage)
- Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser
- Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser
- Tilfælde af hjertesvigt
- Lungekræft
- 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 dødsfald
- Kroniske tabte leveår (YOLL)
- Total antal dødsfald (=kroniske tabte leveår/10,6 + akutte dødsfald)
- Dødsfald blandt spædbørn

Antallet af for tidlige dødsfald relateret til partikelforurening beregnes ud fra YOLL (Years of Lives 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 den er baseret på et Europæisk gennemsnit fra Clean Air for Europe (CAFÉ; Watkiss et al. 2005).

Eksponerings-respons funktioner og enhedspriser

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

Eksponerings-respons funktioner er typisk tilgængelige på formen: $R = \alpha \cdot \Delta c \cdot P$, hvor R er responset (fx lungekræft, hoste eller akutte dødsfald) målt i en passende enhed (fx tilfælde af lungekræft, dage med hoste eller antal tilfælde). 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 eksponerings-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 helbredstilstand og landenes økonomier forskellige. De funktioner, der på nuværende tidspunkt er inkluderet i EVA (Tabel 4.5), er derfor tilpasset til danske betingelser. For referencer vedrørende eksponerings-respons funktionerne og enhedspriser, se Brandt et al. (2011; 2013a).

Tabel 4.5. Helbredseffekter, eksponerings-respons funktioner og enhedsværdier (for Danmark) inkluderet i EVA-beregningerne. I partiklerne indgår både primær PM_{2.5} og sekundære dele som ammonium (NH₄⁺), nitrat (NO₃⁻) og sulfat (SO₄²⁻). YOLL står for "Years Of Life Lost" og angiver antallet af tabte leveår. SOMO35 angiver summen af 8-timers daglige maksimum middelværdier over 35 ppb på et år, som igen er et mål for eksponeringen.

Helbredseffekt Slutpunkter	Eksponerings-respons funktioner	Værdisætning kr. (2013-priser)
MORBIDITET		
Bronkitis PM _{2.5}	8,2E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³ (voksne)	386.739 pr. tilfælde
Sygedage m.v. PM _{2.5}	8,4E-4 dage pr. µgm ⁻³ (voksne)	988 pr. dag
Indlæggelser		
- åndedrætsbesvær PM _{2.5}	3,46E-6 tilfælde pr. µgm ⁻³	53.284 pr. tilfælde
- åndedrætsbesvær SO ₂	2,04E-6 tilfælde pr. µgm ⁻³	53.284 pr. tilfælde
- hjerneblødning PM _{2.5}	8,42E-6 tilfælde pr. µgm ⁻³	67.505 pr. tilfælde
- kredsløbsforst. PM _{2.5} (> 65 år)	3,09E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³	110.252 pr. tilfælde
- kredsløbsforst. CO (> 65 år)	5,64E-7 tilfælde pr. µgm ⁻³	110.252 pr. tilfælde
Lungekræft, morbiditet PM _{2.5}	1,26E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³	162.502 pr. tilfælde
Astma børn (7,6 % < 16 år) PM _{2.5}		
- bronchodilator doser	1,29E-1 doser pr. µgm ⁻³	167 pr. tilfælde
- hoste	4,46E-1 dage pr. µgm ⁻³	316 pr. dag
- åndenød	1,01E-1 dage pr. µgm ⁻³	91 pr. dag
Astma voksne (5,9 % > 15 år) PM _{2.5}		
- bronchodilator doser	2,72E-1 doser pr. µgm ⁻³	167 pr. tilfælde
- hoste	2,8E-1 dage pr. µgm ⁻³	316 pr. dag
- åndenød	1,01E-1 dage pr. µgm ⁻³	91 pr. dag
MORTALITET		
Akut død (SO ₂)	7,85E-6 tilfælde pr. µgm ⁻³	15,5 mio. pr. tilfælde
Kronisk død (PM _{2.5})	1,138E-3 YOLL pr. µgm ⁻³ (>30 år)	583.293 pr. YOLL
Spædbarnsdød (PM _{2.5})	4,68E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³ (< 9 mdr.)	23,3 mio. pr. tilfælde
Akut død (O ₃)	3,27E-6*SOMO35 tilfælde pr. µgm ⁻³	15,5 mio. pr. tilfælde

5 Luftkvalitetsvurdering

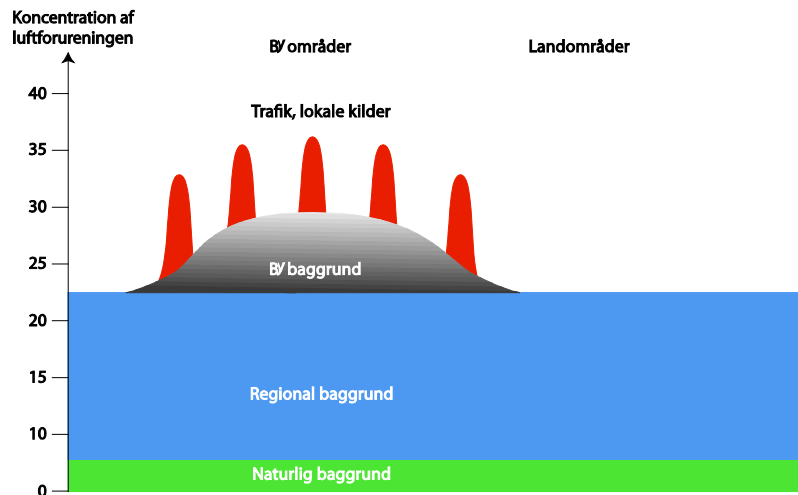
I dette kapitel foretages en luftkvalitetsvurdering for Aarhus Kommune. Luftkvalitetsvurderingen beskriver den geografiske fordeling af baggrundskoncentrationer med en opløsning på 1 km x 1 km samt gadekoncentrationer på adresseniveau. Denne beskrivelse er baseret på et nationalt datasæt, som hedder Luften på din vej (<http://luftenpaadinvej.au.dk>), hvor data for Aarhus Kommune er udvalgt. Luftkvalitetsdata er beregnede koncentrationer for 2012 baseret på DEHM, UBM og OSPM. DEHM og UBM er en del af EVA-systemet og er beskrevet i forrige kapitel. OSPM er Operational Street Pollution Model og er en gadeluftkvalitetsmodel. Luften på din vej er nærmere beskrevet i Jensen et al. (2017).

Endvidere opsummeres resultater fra de to målestationer i Aarhus (baggrundsstation (Botanisk Have) og gadestation (Banegårdsgade)).

Det er valgt at fokusere på NO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} , som indgår i Luften på din vej. $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} er hhv. massen af partikler med en diameter under 2,5 og 10 mikrometer. NO_2 er en god indikatorer for forbrændingsprocesser, hvor trafik er en dominerende kilde. Der er helbredsrelaterede grænseværdier for NO_2 , hvor grænseværdien som årsmiddelværdi på $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er overskredet ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard i København (Ellermann et al., 2016). PM_{10} og $\text{PM}_{2.5}$ består af en lang række kilder og lang-transporteret luftforurening spiller en stor rolle. Der er helbredsrelaterede grænseværdier for PM_{10} på $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årsmiddelværdi og for $\text{PM}_{2.5}$ på $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årsmiddelværdi, som ikke er overskredet på målestationer i Danmark. $\text{PM}_{2.5}$ er den luftforurening som bidrager til den største helbredsmæssige belastning i EVA-systemet.

5.1 Bidrag til luftforurening

De forskellige bidrag til luftforurening er illustreret i Figur 5.1. Luftforureningen i den regionale baggrund er bestemt af kilder i Danmark og i udlandet, og beregnes med DEHM. Bybaggrundsforureningen er bestemt af kilder i byen – i dette tilfælde fx Aarhus, og beregnes med UBM med regionalt input fra DEHM. Bybaggrundsforureningen repræsenterer koncentrationsniveauet i tagniveau eller i en baggård eller park. Luftforureningen i en gade er bestemt af trafikilderne i gaden samt bidraget fra bybaggrundsforureningen, og beregnes med OSPM. Gadekoncentrationen repræsenterer koncentrationsniveauet i 2 meters højde langs husfacaden i en gade. Disse luftkvalitetsmodeller beregner bidragene på baggrund af emissionsdata og meteorologiske data samt topografiske data.



Figur 5.1. Skematisk beskrivelse af bidrag til luftkvaliteten. Koncentrationen i en gade består af et regionalt bidrag, samt et bybaggrunds- og et gadebidrag. Hvert af disse bidrag beregnes med forskellige luftkvalitetsmodeller, hhv. DEHM, UBM og OSPM. AirGIS systemet understøtter beregninger på mange lokaliteter. Naturlig baggrund indgår som en del af den regional baggrund i nærværende studie.

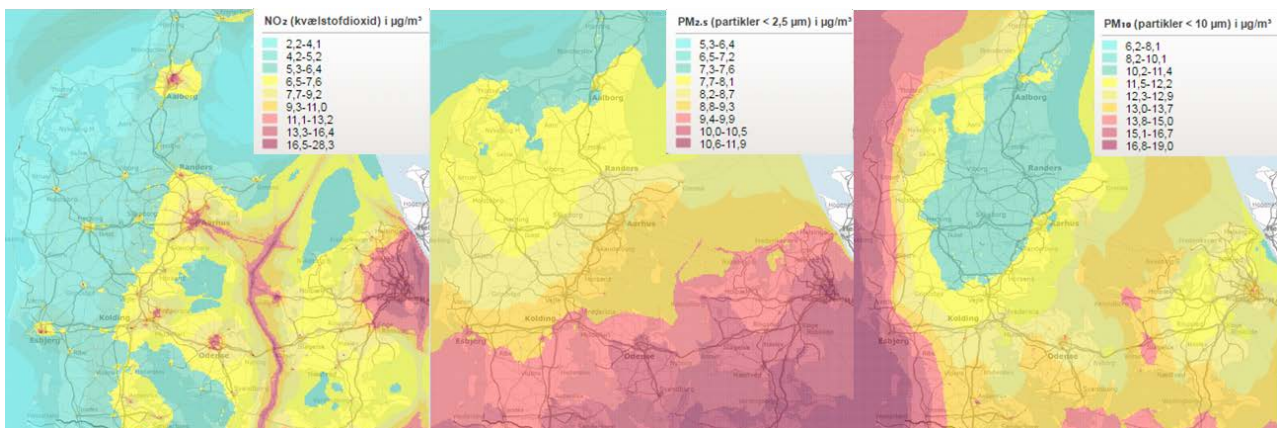
5.2 Fordeling af bybaggrundskoncentrationer

I det følgende illustreres først, hvordan luftkvaliteten er generelt i Aarhus Kommune i forhold resten af Danmark. Dernæst visualiseres den geografiske fordeling af luftkvaliteten i Aarhus Kommune.

Aarhus Kommune i forhold til resten af Danmark

I Figur 5.2 er vist den geografiske fordeling af den beregnede årsmiddelkoncentration af baggrundskoncentrationer i 2012 i Danmark for hhv. NO_2 , $\text{PM}_{2.5}$, og PM_{10} baseret på hjemmesiden Luften på din vej (www.luftenpaadinvej.au.dk).

For bybaggrundskoncentrationer af NO_2 har Aarhus Kommune relativ høje koncentrationer, som er sammenlignelige med bybaggrundskoncentrationer i de andre største byer i Danmark, dog med de højeste koncentrationer i København. Lokale kilder som vejtrafik udgør en væsentlig kilde til NO_2 , og det regionale bidrag er beskedent. Skibstrafikkens bidrag er også tydeligt.



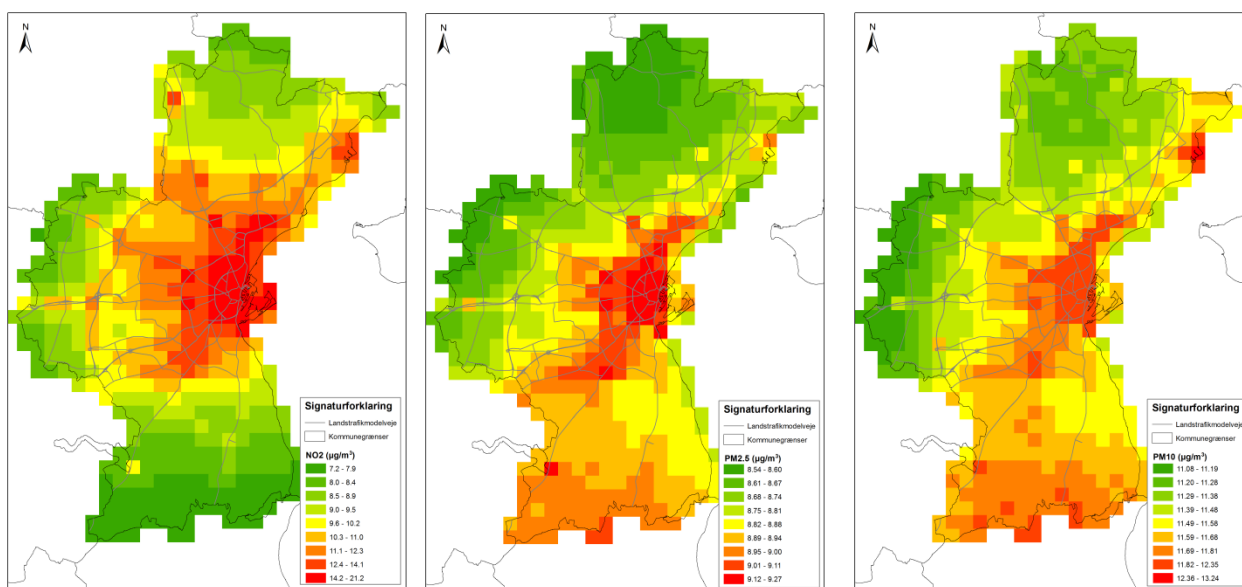
Figur 5.2. Den geografiske fordeling af den beregnede årsmiddelkoncentration af baggrundskoncentrationer i 2012 i Danmark for hhv. NO_2 (venstre), $\text{PM}_{2.5}$ (midt for), og PM_{10} (højre).

Aarhus Kommune ligger i et mellemområde for bybaggrundskoncentrationer af $PM_{2.5}$. $PM_{2.5}$ er domineret af langtransport med en tydelig gradient op gennem landet fra syd til nord pga. kilder syd for Danmark.

For bybaggrundskoncentrationer af PM_{10} ligger Aarhus Kommune i et nedre mellemområde. $PM_{2.5}$ er indeholdt i PM_{10} , men der er også et væsentligt bidrag fra havsalt. Dette ses som høje koncentrationer på vestkysten af Jylland samt til dels på vestkysten af Sjælland pga. den dominerende vindretning fra sydvest.

Fordeling i Aarhus Kommune

I Figur 5.3 er vist den geografiske fordeling af den beregnede årsmiddeldkoncentration af baggrundskoncentrationer i 2012 i Aarhus Kommune for hhv. NO_2 , $PM_{2.5}$, og PM_{10} .



Figur 5.3. Den geografiske fordeling af den beregnede årsmiddeldkoncentration af baggrundskoncentrationer i 2012 i Aarhus Kommune for hhv. NO_2 (venstre), $PM_{2.5}$ (midt for), PM_{10} (højre).

De højeste bybaggrundskoncentrationer af NO_2 er i Aarhus by med faldende koncentrationer ud i forstæderne. De store transportkorridorer har også forhøjede koncentrationer. Studstrupværket bidrager også til baggrundskoncentrationerne i nærområdet, hvor koncentrationsniveauet er sammenligneligt med Aarhus by, men gadekoncentrationer i områderne er langt lavere end i Aarhus, da den lokale trafik er beskedent.

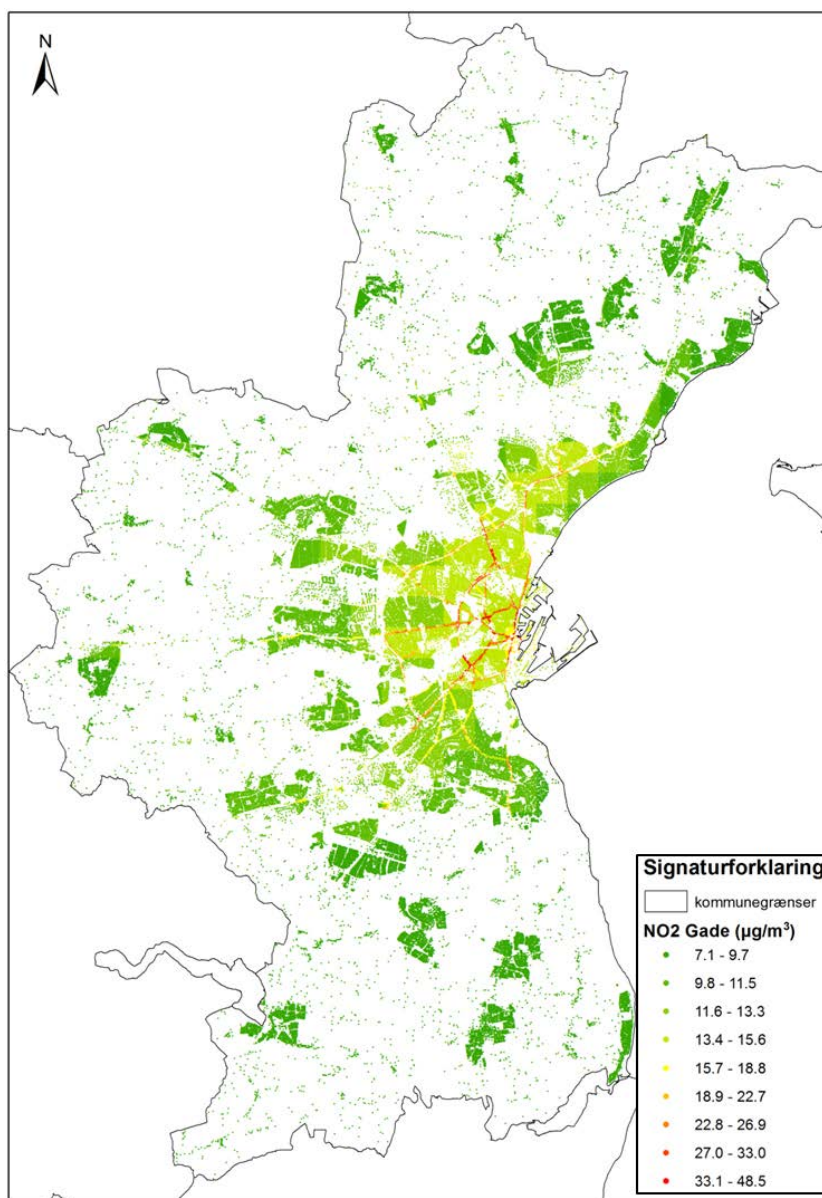
Den geografiske fordeling af bybaggrundskoncentrationer af $PM_{2.5}$ og PM_{10} følger i store træk hinanden med høje koncentrationer i Aarhus by, og Studstrupværket, men også i den sydlige del af kommunen, hvor der er bidrag fra brændeovne (se Figur 6.3). Bidraget fra de lokale kilder er mindre, da spændet mellem minimum- og maksimumkoncentrationer er betydeligt mindre end for NO_2 , da den regionale forurening giver et stor bidrag for $PM_{2.5}$ og PM_{10} . Bidraget fra motorvejen E45 træder ikke tydeligt frem som for NO_2 .

Ovenstående fra Luften på din vej er baseret på 2012. For 2014 er årsmiddeldkoncentrationer af baggrundskoncentrationer på 1 km x 1 km gitternet i hele modelområdet beregnet med DEHM/UBM vist i bilag 1 for NO_x , NO_2 , CO, ozon, PM_{10} , $PM_{2.5}$, havsalt og SO_2 . Det er disse beregninger, der indgår i esti-

mering af helbredseffekter og eksterne omkostninger i modelområdet, Aarhus Kommune og Aarhus by. Den geografiske fordeling for bybaggrunds-koncentrationen af NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀ i 2014 følger den geografiske fordeling i 2012 i Luften på din vej, men koncentrationer er lidt lavere i 2014 i forhold til 2012.

5.3 Fordeling af gadekoncentrationer

I Figur 5.4 er vist den geografiske fordeling af gadekoncentrationer for NO₂ som årsmiddelværdi i 2012 i Aarhus Kommune. Det ses, at de højeste NO₂ koncentrationer er i Aarhus by langs de store fordelingsveje, hvor der samtidig er tæt bebyggelse langs vejene. For adresser, som ikke ligger langs Lands- trafikmodellens vejnet tildeles adresserne bybaggrundsforureningen.



Figur 5.4. Geografisk fordeling af gadekoncentrationer af NO₂ som årsmiddelværdi i 2012 i Aarhus Kommune.

Indikative overskridelser af grænseværdien for NO₂

Grænseværdien for årsmiddeldkoncentrationen er 40 µg/m³ for NO₂. Beregningerne udført som del af Luften på din vej kan give et fingerpeg om grænseværdierne er overskredet. Derfor kaldes beregnede overskridelse for *indikative* overskridelser. Den officielle udmelding om overskridelser af grænseværdier foretages dog i forbindelse med den årlige rapportering under luftovervågningsprogrammet, som er baseret på målinger fra de danske målestationer (Ellermann et al., 2016).

Der er beregnet 29 indikative overskridelser i Aarhus, hvis geografiske placering er vist i Figur 5.5. Næsten alle overskridelserne er langs én strækning ved havnen. Den enkeltbeliggende overskridelse ved ring 1 og Skanderborgvej overskrider kun lige grænseværdien (beregnet værdi på 41 µg/m³).

Luftkvalitetsberegningerne vurderes at give et overordnet generelt retvisende billede af den geografiske fordeling af overskridelser i Aarhus. Beregnede gadekoncentrationer af årsmiddelværdier er sammenlignet med målinger fra de 5 gadestationer i Danmark og ligger inden for -27% til 12% for NO₂. Det formodes derfor, at der kan forekomme overskridelser på enkelte strækninger i Aarhus, men det vil kræve yderligere undersøgelser for at kvalificere dette.



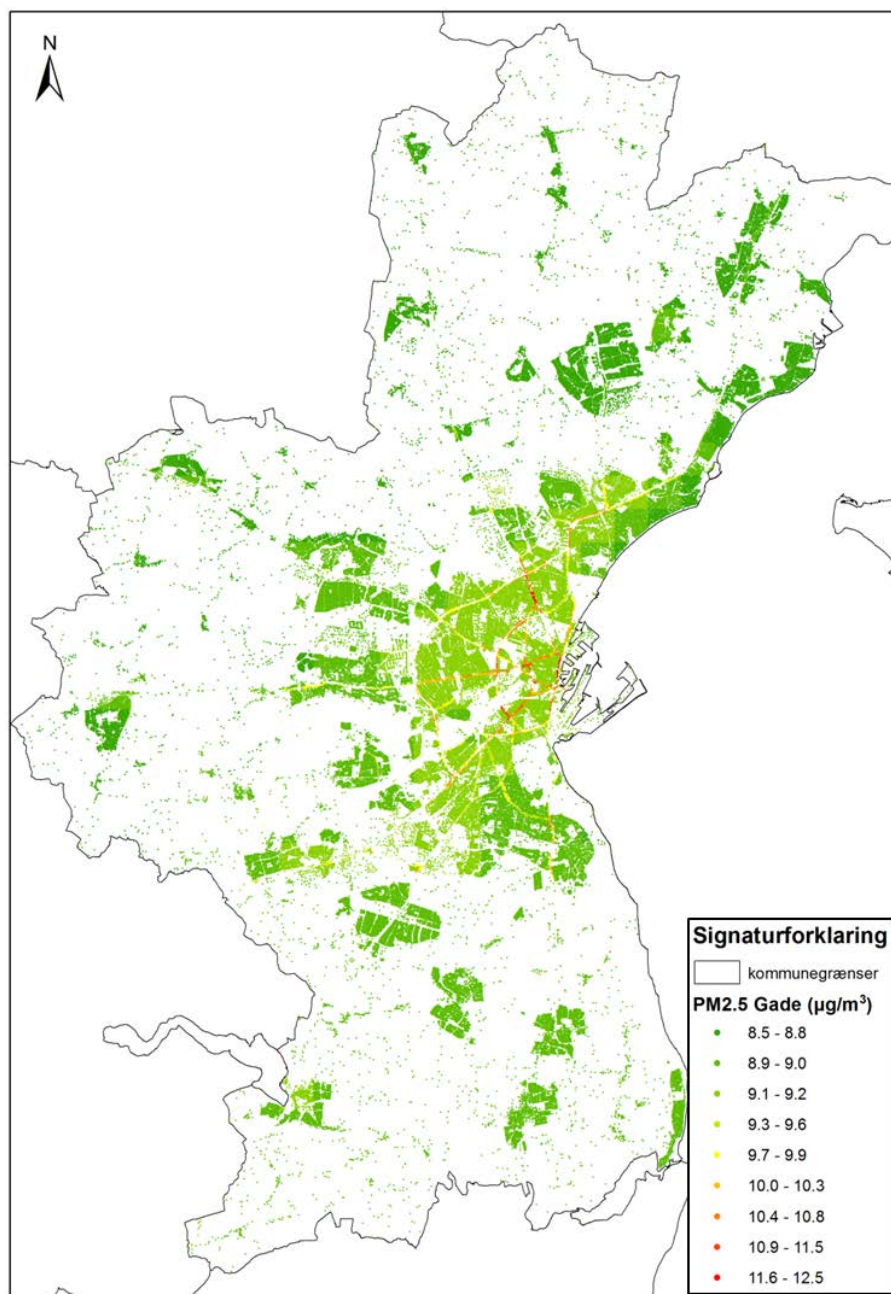
Figur 5.5. Geografisk placering af indikative overskridelser af NO₂ grænseværdien i Aarhus i 2012 (blå prikker). Grønne prikker er beregningspunkter (adresser) langs vejnettet i Landstrafikmodellen (LTM).

PM_{2.5} og PM₁₀

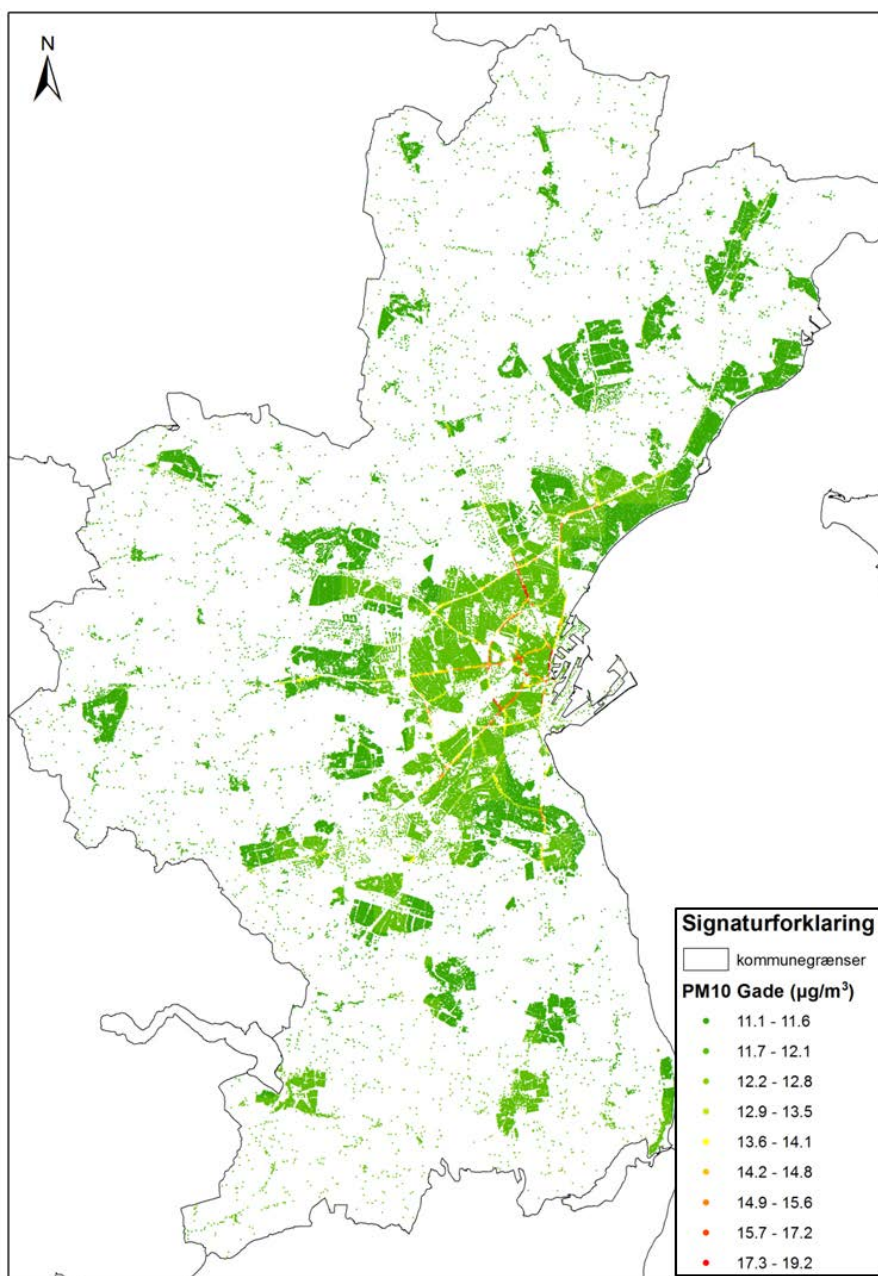
I Figur 5.6 og Figur 5.7 er vist den geografiske fordeling af gadekoncentrationer for hhv. PM_{2.5} og PM₁₀ som årsmiddelværdi i 2012 i Aarhus Kommune. Det ses, at den geografiske fordeling minder meget om hinanden for PM_{2.5} og PM₁₀, da PM_{2.5} er en del af PM₁₀. Som for NO₂ er de højeste gadekoncentrationer også i Aarhus by langs de store fordelingsveje, hvor der samtidig er tæt bebyggelse langs vejene.

Den højeste koncentration for $\text{PM}_{2.5}$ er $12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket er væsentligt under grænseværdien på $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og det samme gælder også for PM_{10} , hvor maks. værdien er $19,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og grænseværdien er $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sammenligninger mellem beregnede gadekoncentrationer for $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} og målinger fra de 5 gadestationer i Danmark viser, at modellen underestimerer med -23% til -7% for $\text{PM}_{2.5}$ og -36% til -22% for PM_{10} (Jensen et al., 2017). Selvom man tager hensyn til denne underestimering, forventes der ikke overskridelser af grænseværdierne for $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} .



Figur 5.6. Geografisk fordeling af gadekoncentrationer af $\text{PM}_{2.5}$ som årsmiddelværdi i 2012 i Aarhus Kommune.



Figur 5.7. Geografisk fordeling af gadekoncentrationer af PM₁₀ som årsmiddelværdi i 2012 i Aarhus Kommune.

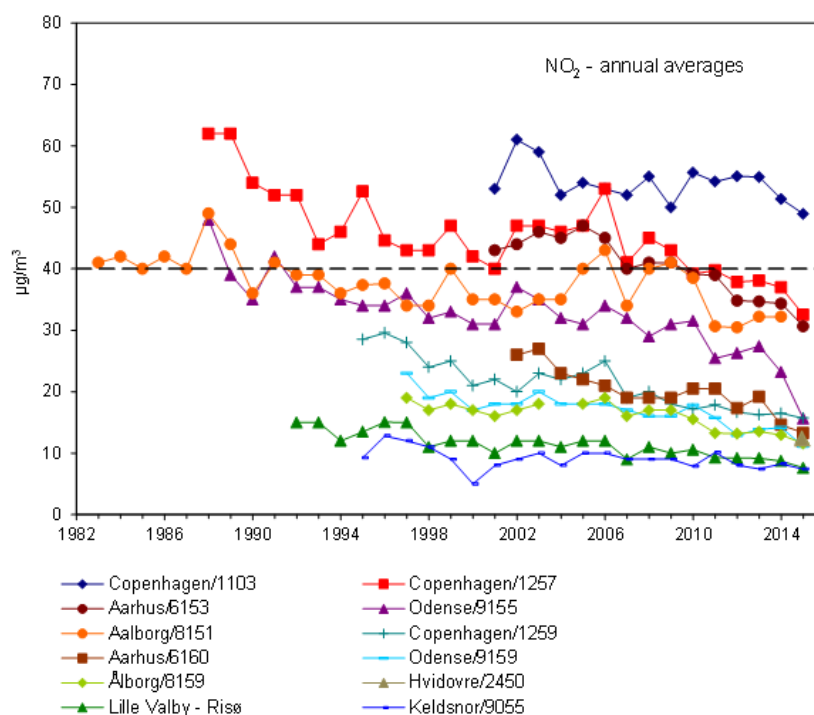
5.4 Udvikling på målestationerne

NO₂

I Figur 5.8 er vist udviklingen i årsmiddelværdien af NO₂ for målestationer i Danmark. Gadestationen i Banegårdsgade i Aarhus er Aarhus/6153 og bybaggrundsstationen i Botanisk Have er Aarhus/6160. Indtil 2014 lå bybaggrundsstationen i Valdemarsgade (Aarhus/6159), hvorefter den blev flyttet til Botanisk Have.

Der er en faldende tendens i NO₂-koncentrationerne for både gade- og bybaggrundsstationen. I 2015 er gadekoncentrationen 30,6 µg/m³ og bybaggrundsstationen 13,3 µg/m³. Målingerne er væsentligt under grænseværdien på 40 µg/m³.

Trafikkens bidrag til NO₂-koncentrationen i Banegårdsgade er omkring 17 µg/m³ (forskellen mellem gade- og bybaggrundskoncentration).



Figur 5.8. Udviklingen i årsmiddelværdien af NO₂ for målestationer i Danmark. Gadestationen i Banegårdsgade i Aarhus er Aarhus/6153 og bybaggrundsstationen i Botanisk Have er Aarhus/6160.

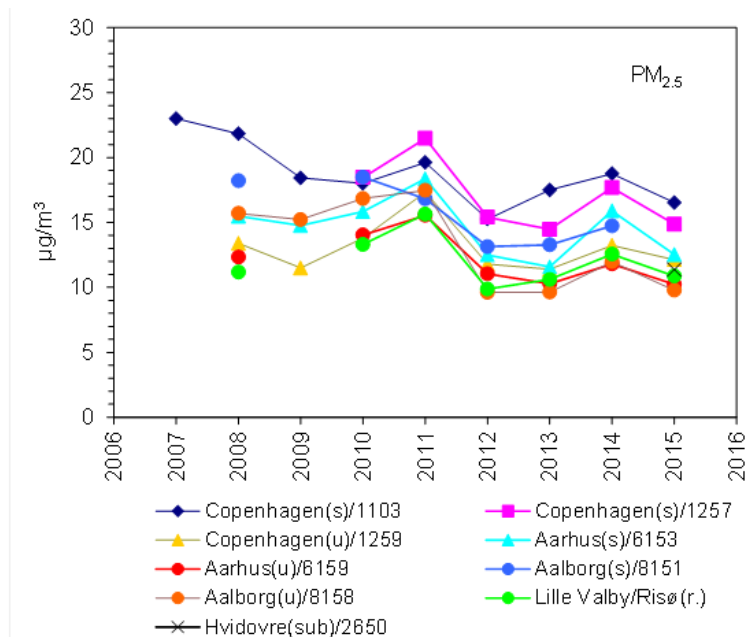
PM_{2.5}

I Figur 5.9 er vist udviklingen i årsmiddelværdien af PM_{2.5} for målestationer i Danmark.

Der er en faldende tendens i PM_{2.5}-koncentrationerne for både gade- og bybaggrundsstationen. I 2015 er gadekoncentrationen 12 µg/m³ og bybaggrundskoncentrationen 10 µg/m³. Målingerne er væsentligt under grænseværdien på 25 µg/m³.

Trafikkens bidrag til PM_{2.5}-koncentrationen i Banegårdsgade er omkring 2 µg/m³ (forskellen mellem gade- og bybaggrundskoncentration).

PM_{2.5} har ikke været målt med samme instrumenttype i gennem hele perioden, hvilket forklarer noget af variationen mellem årene.



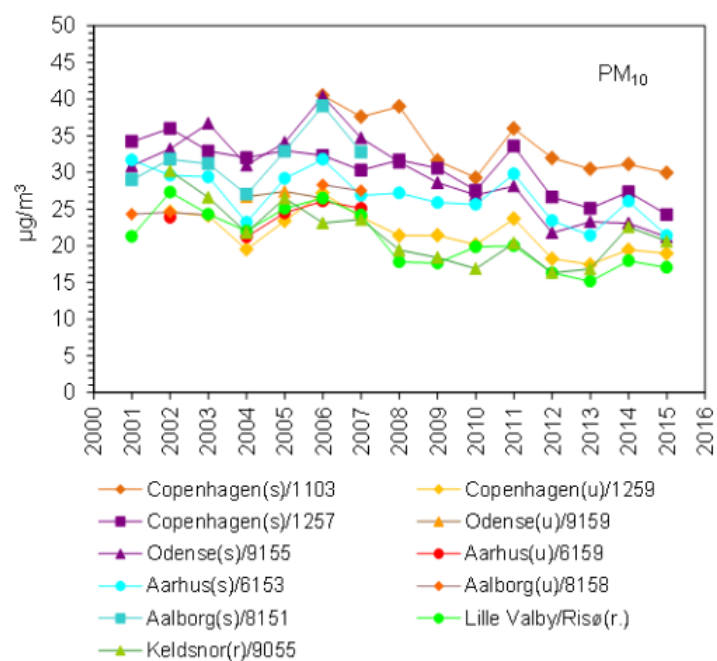
Figur 5.9. Udviklingen i årsmiddelværdien af $PM_{2.5}$ for målestationer i Danmark. Gadestationen i Banegårdsgade i Aarhus er Aarhus/6153 og bybaggrundsstationen ved Valdemarsgade er Aarhus/6159.

PM_{10}

I Figur 5.10 er vist udviklingen i årsmiddelværdien af PM_{10} for målestationer i Danmark.

Der er en faldende tendens i PM_{10} -koncentrationerne for både gade- og bybaggrundsstationen. I 2015 er gadekoncentrationen $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der foretages ikke målinger i bybaggrund. Målingerne er væsentligt under grænseværdien på $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

PM_{10} har ikke været målt med samme instrumenttype i gennem hele perioden, hvilket forklarer noget af variationen mellem årene.



Figur 5.10. Udviklingen i årsmiddelværdien af PM_{10} for målestationer i Danmark. Gadestationen i Banegårdsgade i Aarhus er Aarhus/6153 og bybaggrundsstationen ved Valdmarsgade Aarhus/6159.

6 Kildeopgørelse

I dette kapitel beskrives en kildeopgørelse for Aarhus Kommune.

Først redegøres for en emissionsopgørelse, hvor totale emissioner og deres fordeling på kilder vises, og hvordan de er fordelt geografisk.

Dernæst vises kildebidragene til bybaggrundskoncentrationen, hvorved der skabes et overblik over, hvor meget de forskellige emissionskilder bidrager til koncentrationen for de forskellige stoffer (i mikrogram pr. kubikmeter og i procent).

For det tredje vises kildebidragene for en konkret gade, som er Banegårdsgade, hvor der også er en målestation. Denne analyse viser, hvor meget de enkelte køretøjskategorier bidrager til gadekoncentrationen, og hvor meget bybaggrundsforureningen andrager.

I analysen af kildebidrag er der valgt at fokusere på koncentrationsbidragene til NO_x , NO_2 , PM_{10} og $\text{PM}_{2.5}$ samt ozon. NO_x og NO_2 er gode indikatorer for forbrændingsprocesser, hvor trafik er en dominerende kilde. Der er helbredsrelaterede grænseværdier for NO_2 , hvor grænseværdien som årsmiddelværdi på $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er overskredet ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard i København (Ellermann et al. 2016). PM_{10} og $\text{PM}_{2.5}$ består af en lang række kilder og lang-transporteret luftforurening spiller en stor rolle. Der er helbredsrelaterede grænseværdier for PM_{10} på $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årsmiddelværdi og for $\text{PM}_{2.5}$ på $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årsmiddelværdi, som ikke er overskredet på målestationerne i Danmark. Af $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} er det $\text{PM}_{2.5}$ som indgår i beregningerne af helbredseffekter.

NO_x (kvælstofmonooxid (NO)+kvælstofdioxid (NO_2)) dannes i forbindelse med forbrændingsprocesser, hvor høj temperatur sammen med ilt oxiderer luftens frie kvælstof (N_2) til NO og NO_2 . Den del som emitteres som NO_2 betegnes direkte emitteret NO_2 . NO kan i atmosfæren omdannes til NO_2 i reaktioner med ozon. NO_2 er således både en direkte emitteret og en sekundær dannet luftforurening.

Ozon dannes ud fra emissioner af kvælstof- og kulbrinte-forbindelser på en stor geografisk skala afhængig af sollys og temperatur. Danske kilder bidrager til ozondannelsen på stor skala sammen med europæiske kilder, men danske kilder har lille indflydelse på det generelle ozonniveau. Endvidere vurderes det, at der er meget lille nettoproduktion af ozon under danske klimatiske forhold. Ozonniveauerne i Danmark er derfor primært "importeret". Faktisk stiger ozon over Danmark i luftkvalitetsberegninger, hvor danske emissionskilder er fjernet, så danske emissionskilder bidrager til en reduktion i ozon over Danmark, men til gengæld til en stigning i afstande over 500 km væk fra Danmark. Grunden til at ozonniveauerne i Danmark ville stige, hvis NO_x ($\text{NO}+\text{NO}_2$) emissioner reduceres er, at NO reagerer med ozon under dannelse af NO_2 , og mindre NO vil derfor give højere ozonkoncentrationer under danske forhold.

6.1 Emissionsopgørelse

Totale emissioner

I Tabel 6.1 er vist emissioner i Aarhus Kommune fordelt på emissionskilder. Bidraget fra international søfart i Aarhus Bugt inden for 25 km af kommunen er også vist. National søfart fremgår også af tabellen (SNAP080402), men er kun den del, som er i det gitternet, som er defineret som Aarhus Kommune, dvs. de gitterceller som havnen berører. Anden national søfart indgår også i koncentrationsberegninger, men fremgår ikke af tabellen, da national søfart (SNAP080402) i tabellen kun omfatter den geografiske afgrænsning af Aarhus Kommune og ikke Aarhus Bugt.

For NO_x er den største kilde vejtransport (SNAP07), mens det for partikler er brændeovne og pillefyr mv. (SNAP0202).

Det ses også at international søfart i Aarhus Bugt er en betydelig kilde, da den for NO_x er større end alle NO_x -emissionerne i kommunen. For partikler udgør kategorien International søfart i Aarhus Bugt en mindre del i forhold til emissionerne i kommunen. Som det fremgår senere i dette kapitel, er kildebidraget ikke tilsvarende stort til bybaggrundskoncentrationen pga. den dominerende sydvestlige vindretning, som blæser forureningen væk fra kommunen.

Tabel 6.1. Emissioner i Aarhus Kommune i 2014 fordelt på emissionskilder. Bidraget for international søfart i Aarhus Bugt inden for 25 km af kommunen er også vist (tons).

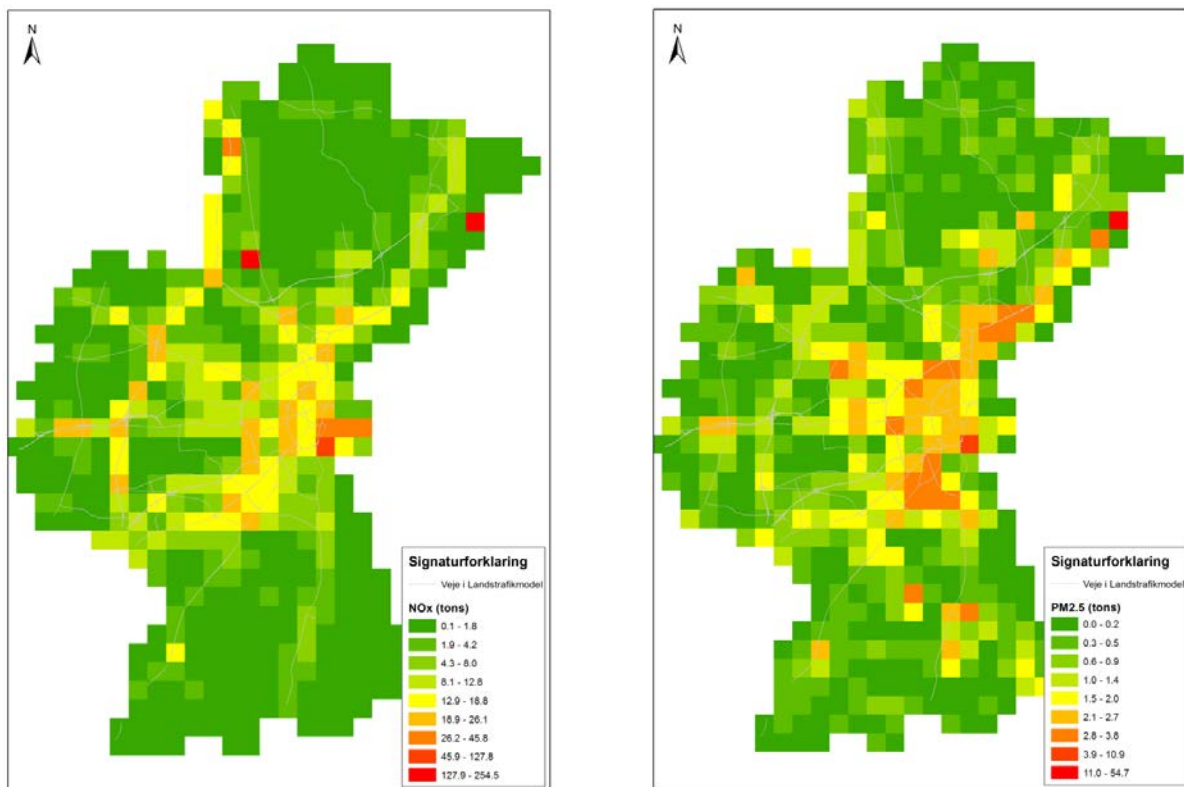
SNAP kode	Beskrivelse	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
SNAP01	Kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	793	109	87
SNAP0201	Ikke-industriel forbrænding, handel og service	26	4	4
SNAP0202	Ikke-industriel forbrænding, husholdninger	60	260	253
SNAP0203	Ikke-industriel forbrænding, landbrug og gartneri f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service	12	16	15
SNAP03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	176	19	13
SNAP04	Industrielle processer	0	41	8
SNAP05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas	0	20	2
SNAP06	Anvendelse af produkter	2	11	10
SNAP07	Vej transport	1670	125	89
SNAP0801	Militær	0	0	0
SNAP0802	Jernbaner	76	2	2
SNAP080402	National søfart	82	2	2
SNAP080403	National fiskeri	3	0	0
SNAP080501	National LTO (Landing, Take, Off) (start og landing, < 3000 fod)	0	0	0
SNAP080502	International LTO (Landing, Take, Off) (start og landing, < 3000 fod)	0	0	0
SNAP080503	National flytrafik (> 3000 fod) Luftfart - kun lufthavnstrafik	5	0	0
SNAP0806	Maskiner og redskaber i landbrug	74	6	6
SNAP0807	Maskiner og redskaber i skovbrug	1	0	0
SNAP0808	Maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner	342	27	27
SNAP0809	Maskiner og redskaber i have/hushold	3	0	0
SNAP0811	Maskiner og redskaber i handel og service	5	2	2
SNAP09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	4	14	14
SNAP3B	Landbrug, husdyrgødning	1	30	6
SNAP3D	Landbrug, landbrugsjorde	68	31	3
SNAP3F-I	Landbrug, øvrige kilder i landbruget	1	1	1
Total	Alle emissioner i Aarhus Kommune	3402	717	542
SNIP	International søfart i Aarhus Bugt inden for 25 km	3876	100	99

Geografisk fordeling af emissioner

I Figur 6.1 er vist den geografiske fordeling af de totale emissioner fra alle kilder i Aarhus Kommune.

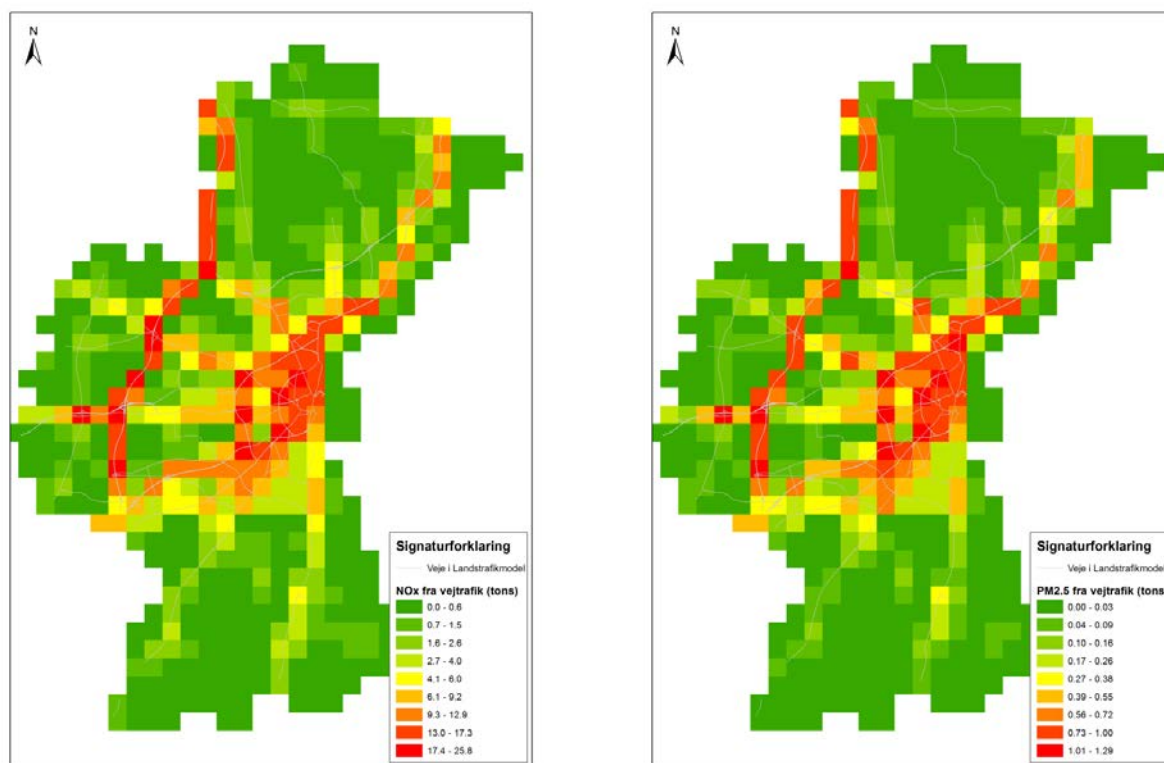
NO_x-emissionerne følger generelt befolkningstæthed, vejtransport og enkelte hotspots med fx kraftværk (Studstrupværket).

PM_{2.5} emissioner har et noget andet mønster end NO_x, idet brændeovne betyder mere, og derfor er der også relativt højere emissioner i lavere befolkede områder.



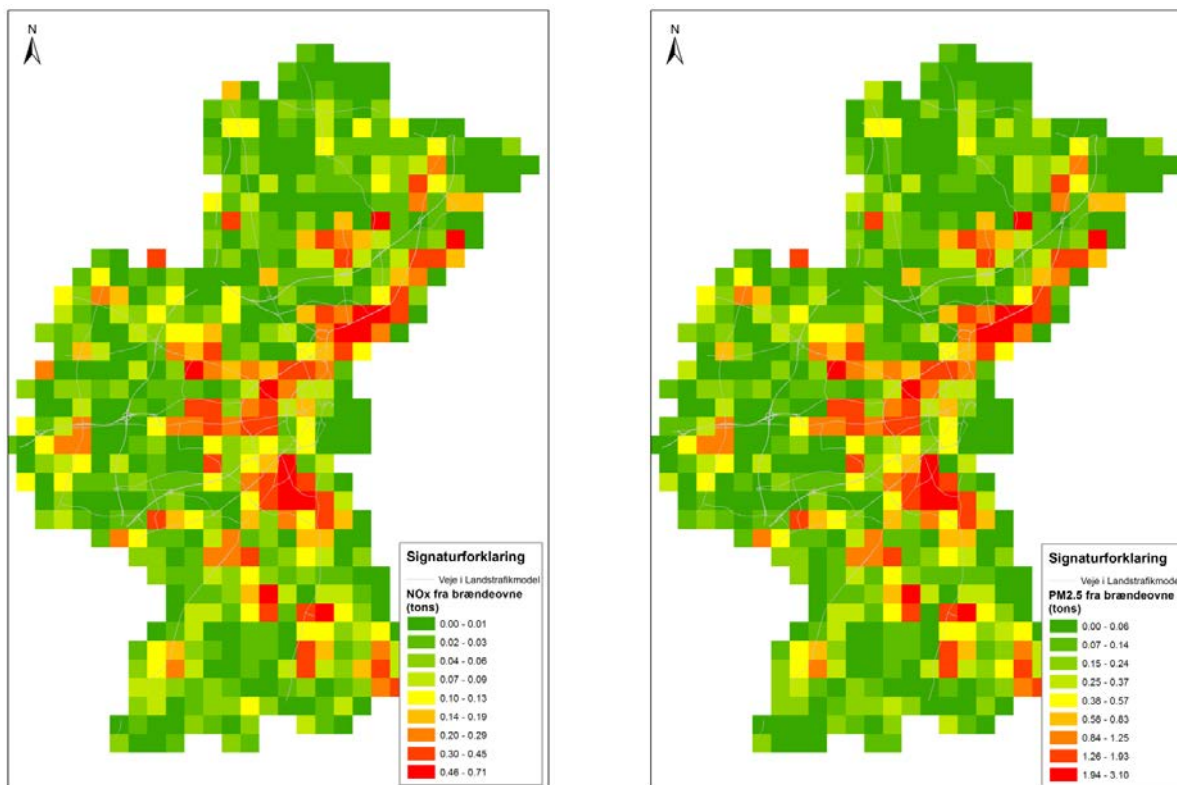
Figur 6.1. Geografisk fordeling af totale emissioner i tons fra alle kilder i Aarhus Kommune i 2014 (alle SNAP-koder). NO_x (venstre), PM_{2.5} (højre).

Figur 6.2 viser den geografisk fordeling af emissioner fra vejtransport, hvor Aarhus by og de store transportkørdorer har de højeste emissioner. Den geografiske fordeling er stort set ens for NO_x og PM_{2.5}, idet emissionerne er fra samme kilde.



Figur 6.2. Geografisk fordeling af emissioner fra vejtransport i tons i Aarhus Kommune i 2014 (SNAP07). NO_x (venstre), PM_{2.5} (højre).

Figur 6.3 viser den geografisk fordeling af emissioner fra brændeovne, hvor de højere emissioner er uden for Aarhus by i områder med lavere befolkningstæthed. Den geografiske fordeling er stort set ens for NO_x og PM_{2.5}, idet emissionerne er fra samme kilde.



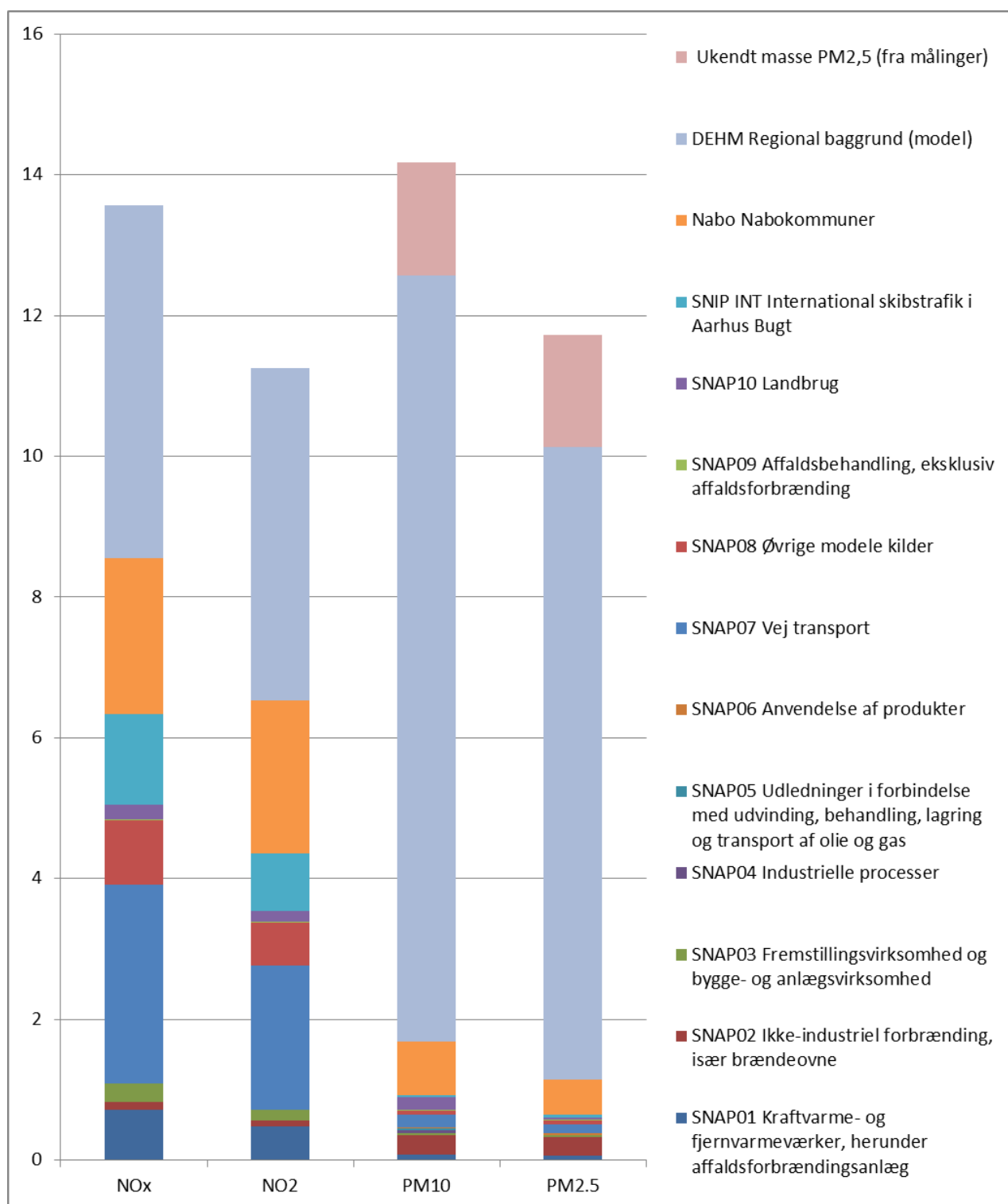
Figur 6.3. Geografisk fordeling af emissioner fra brændeovne i tons i Aarhus Kommune i 2014 (SNAP0202). NO_x (venstre), PM_{2.5} (højre). SNAP0202 indeholder også mindre bidrag fra individuel boligopvarmning med olie og naturgas.

6.2 Kildebidrag fra Aarhus Kommune til Aarhus Kommune

Kildebidrag fra Aarhus Kommune til bybaggrundskoncentrationen i Aarhus kommune

I Figur 6.4 er vist koncentrationsbidraget fra emissionskilder i Aarhus Kommune til gennemsnitskoncentrationen af bybaggrundsforureningen over Aarhus Kommune. Det er altså hvor mange mikrogram pr. kubikmeter de enkelte emissionskilder bidrager med. Tallene bag figuren er i Tabel 6.2.

Resultaterne er fordelt på de 10 hovedemissionssektorer med relevante underopdelinger (SNAP-koder). Herudover er der en række bidrag. Bidraget fra den regionale baggrundsforurening modelleret med DEHM, som indeholder bidraget fra udenlandske kilder og danske kilder længere væk end 25 km fra Aarhus Kommune. Endvidere vises bidraget fra nabokommuner til Aarhus Kommune, som dækker over bidragene fra emissioner, som er 25 km opstrøms fra Aarhus Kommune. Bidraget fra international søfart i Aarhus Bugt er også vist særskilt.

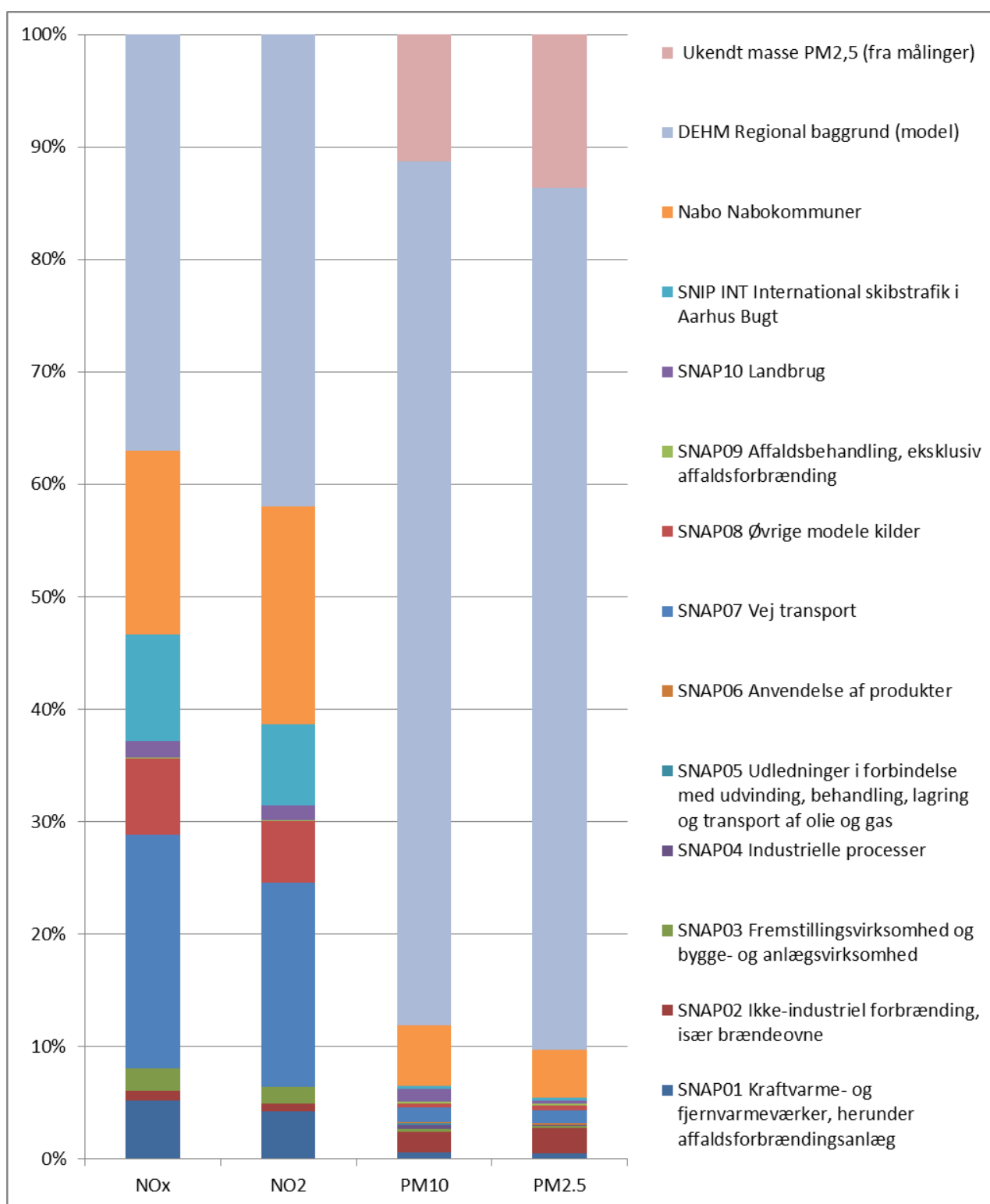


Figur 6.4. Bybaggrundsluftforureningen i Aarhus Kommune i 2014 og forskellige kilders bidrag hertil (enhed $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Bybaggrundsforureningen er her gennemsnittet over de 1 km x 1 km gitterceller, som dækker Aarhus Kommune. Undersektorer er samlet i hovedsektorer i signaturforklaring, men kan ses i Tabel 6.2.

Tabel 6.2. Koncentrationsbidrag fra forskellige kilder i Aarhus kommune til bybaggrundsluftforureningen som middel over Aarhus kommune i 2014 (enhed $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Bidrag opdelt på kildetyper		NO _x	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
SNAP01	Kraftvarme- og fjernvarmewærker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	0,71	0,48	-0,46	0,08	0,06
SNAP0201	Ikke-industriel forbrænding, handel og service	0,03	0,02	-0,02	0,00	0,00
SNAP0202	Ikke-industriel forbrænding, husholdninger	0,07	0,05	-0,04	0,26	0,26
SNAP0203	Ikke-industriel forbrænding, f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service	0,01	0,01	-0,01	0,01	0,01
SNAP03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	0,27	0,16	-0,15	0,03	0,02
SNAP04	Industrielle processer	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01
SNAP05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
SNAP06	Anvendelse af produkter	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
SNAP07	Vej transport	2,82	2,05	-1,99	0,18	0,13
SNAP0801	Militær	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP0802	Jernbaner	0,12	0,08	-0,08	0,00	0,00
SNAP080402	National søfart	0,12	0,07	-0,06	0,00	0,00
SNAP080403	National fiskeri	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP080501	National LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP080502	International LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP080503	National flytrafik (> 3000 fod) Luftfart - kun lufthavnstrafik	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
SNAP0806	Maskiner og redskaber i landbrug	0,11	0,08	-0,08	0,01	0,01
SNAP0807	Maskiner og redskaber i skovbrug	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP0808	Maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner	0,55	0,36	-0,35	0,04	0,04
SNAP0809	Maskiner og redskaber i have/hushold	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP0811	Maskiner og redskaber i handel og service	0,01	0,01	-0,01	0,00	0,00
SNAP09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	0,01	0,01	-0,01	0,02	0,02
SNAP3B	Landbrug, husdyrgødning	0,00	0,00	0,00	0,08	0,02
SNAP3D	Landbrug, landbrugsjorde	0,21	0,15	-0,15	0,09	0,01
SNAP3F-I	Landbrug, øvrigt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP Alle	Aarhus kommune – alle kilder	5,06	3,82	-3,73	0,89	0,61
SNIP INT	International søfart i Aarhus Bugt	1,28	0,81	-0,78	0,03	0,03
DEHM	Regional baggrund (model)	5,02	4,72	66,7	10,9	8,99
Urban BG	Nabokommuner < 25 km	2,22	2,18	-2,12	0,76	0,50
Ukendt	Ukendt masse PM _{2.5} (fra målinger)	0,0	0,0	0,0	1,6	1,6
Total	Alle kilder; Ind- og udland	13,6	11,5	60,1	14,2	11,7

Figur 6.5 er vist det procentvise bidrag fra de forskellige kilder. Det er Figur 6.4 blot vist som procent. Tallene bag figuren er i Tabel 6.3.



Figur 6.5. Bybaggrundsluftforureningen i Aarhus Kommune i 2014 og forskellige kilders bidrag hertil (i procent). Bybaggrundsforureningen er her gennemsnittet over de 1 km x 1 km gitterceller, som dækker Aarhus Kommune. Undersektorer er samlet i hovedsektorer i signaturforklaring, men kan ses i Tabel 6.2.

Tabel 6.3. Koncentrationsbidrag i % fra forskellige kilder i Aarhus kommune i forhold til den totale luftforurening for bybaggrundsluftforureningen som middel over Aarhus kommune i 2014.

Bidrag opdelt på kildetyper		NO _x	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
SNAP01	Kraftvarme- og fjernvarmewærker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	5,2	4,2	-0,8	0,6	0,5
SNAP0201	Ikke-industriel forbrænding, handel og service	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
SNAP0202	Ikke-industriel forbrænding, husholdninger	0,5	0,4	-0,1	1,8	2,2
SNAP0203	Ikke-industriel forbrænding, f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
SNAP03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	2,0	1,4	-0,3	0,2	0,1
SNAP04	Industrielle processer	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1
SNAP05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
SNAP06	Anvendelse af produkter	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
SNAP07	Vej transport	20,8	17,8	-3,3	1,3	1,1
SNAP0801	Militær	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP0802	Jernbaner	0,9	0,7	-0,1	0,0	0,0
SNAP080402	National søfart	0,9	0,6	-0,1	0,0	0,0
SNAP080403	National fiskeri	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP080501	National LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP080502	International LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP080503	National flytrafik (> 3000 fod) Luftfart - kun lufthavnstrafik	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP0806	Maskiner og redskaber i landbrug	0,8	0,7	-0,1	0,0	0,1
SNAP0807	Maskiner og redskaber i skovbrug	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP0808	Maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner	4,0	3,1	-0,6	0,3	0,3
SNAP0809	Maskiner og redskaber i have/hushold	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP0811	Maskiner og redskaber i handel og service	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2
SNAP3B	Landbrug, husdyrgødning	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1
SNAP3D	Landbrug, landbrugsjorde	1,6	1,3	-0,2	0,6	0,1
SNAP3F-I	Landbrug, øvrigt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP Alle	Aarhus kommune – alle kilder	37,3	33,2	-6,2	6,3	5,2
SNIP INT	International søfart i Aarhus Bugt	9,4	7,0	-1,3	0,2	0,3
DEHM	Regional baggrund (model)	37,0	40,9	111,0	76,9	76,6
Urban BG	Nabokommuner < 25 km	16,3	18,9	-3,5	5,3	4,3
Ukendt	Ukendt masse PM _{2.5} (fra målinger)	0,0	0,0	0,0	11,3	13,6
Total	Alle kilder; Ind- og udland	100	100	100	100	100

Lokale kilder bidrager væsentligt til NO_x

Som forventet er koncentrationsbidraget for NO_x større end for NO₂, da NO_x indeholder både NO og NO₂.

Det regionale modellerede DEHM bidrag til NO₂ forureningen i bybaggrund er omkring 4,7 µg/m³ eller omkring 41% af bybaggrundskoncentrationen. Danske NO_x kilders bidrag til den regionale baggrundskoncentration af NO₂ er tidligere beregnet med DEHM modellen fordelt på Danmarks 5 regioner (Jensen et al., 2010). For Midtjylland bidrager danske kilder i gennemsnit med omkring 51% af de regionale NO₂-koncentrationer, og udenlandske NO_x kilder bidrager dermed med 49%. I det model setup, som anvendes kan DEHM

modellens resultater for NO_x og NO_2 ikke umiddelbart sammenlignes med fx den regionale baggrundsstation Lille Valby/Risø ved Roskilde, da DEHM leverer opstrømskoncentrationer til UBM, som efterfølgende inddrager bidraget fra lokale kilder indenfor en afstand af 25 km. Det DEHM modellerede bidrag er omkring halvdelen af målte værdier på fx målestationen Lille Valby/Risø.

Bidraget fra nabokommunerne er omkring $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for NO_2 eller omkring 19% af bybaggrund. En stor del heraf er vejtrafik og derfor lokale kilder.

Vejtrafikken inden for Aarhus Kommune bidrager med omkring $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for NO_2 af bybaggrundsforureningen svarende til 18%.

International søfart i Aarhus Bugt bidrager med omkring $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for NO_2 eller omkring 7% af bybaggrund i 2014 baseret på kilder inden for 25 km af Aarhus Kommune. Herudover vil der være et bidrag fra anden international søfart udenfor Aarhus Bugt, som vil være indeholdt i beregningerne med DEHM.

Andre lokale kilder i Aarhus Kommune af en vis betydning er kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eller 4% af bybaggrund for NO_2). Endvidere maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner (omkring $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eller 3% for NO_2).

Brændefyring i husholdninger mv. bidrager kun med omkring $0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eller 0,7% for NO_2 .

Samlet set for NO_2 bidrager alle kilder i Aarhus Kommune med 33% og nabokommuner med 19%. Dvs. lokale bidrager med omkring 51%, mens den anden halvdel er det regionale bidrag og international søfart i Aarhus Bugt.

Partikelforurening domineret af regionalt bidrag

Som det fremgår af ovenstående figurer og de tilhørende tabeller, er det regionale koncentrationsbidrag dominerende for PM_{10} og $\text{PM}_{2.5}$. Det regionale bidrag er bestemt af kilder i hele Danmark og Europa. Som forventet er koncentrationsbidraget for PM_{10} lidt større end $\text{PM}_{2.5}$, da PM_{10} også indeholder massen af partikler med diameter fra 2,5 til 10 mikrometer. For PM_{10} og $\text{PM}_{2.5}$ er det regionale bidrag modelleret med DEHM hhv. $10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ud af bybaggrund på hhv. $12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hertil skal lægges et bidrag på $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for SOA og ukendt masse. Det regionale bidrag for PM_{10} og $\text{PM}_{2.5}$ udgør således hhv. 88% og 90% af bybaggrund.

Nabokommunerne bidrager også med et synligt bidrag på omkring $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_{10} og $\text{PM}_{2.5}$ (hhv. 5 og 4%), mens international søfart i Aarhus Bugt op til 25 km fra kommunegrænsen bidrager meget lidt (0,3%).

Hvis vi ser på de bidrag, der blæser *ind over* den ydre kommunegrænse af Aarhus Kommune, vil det omfatte det modellerede DEHM bidrag, nabokommuner og international søfart i Aarhus Bugt. Sammenlagt udgør disse bidrag omkring 94% af PM_{10} og 95% af $\text{PM}_{2.5}$ af bybaggrundsforureningen i Aarhus Kommune.

De lokale kilder i Aarhus Kommune udgør sammenlagt omkring $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_{10} og $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2.5}$ (hhv. 6% og 5% af bybaggrundsforureningen).

Brændeovne er den største lokale bidragsyder til partikelforurening med 0,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ svarende til hhv. 1,8% og 2,2% af bybaggrund for PM_{10} og $\text{PM}_{2.5}$.

Vejtransport er den anden største lokale bidragsyder til partikelforurening med 0,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og 0,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ svarende til hhv. 1,3% og 1,1% af bybaggrund for PM_{10} og $\text{PM}_{2.5}$.

Øvrige kilder med et vist bidrag er kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg (0,5-0,6%), Maskiner og redskaber i industri (0,3%), Landbrug (0,1-0,6%), Industrielle processer (0,1-0,4%), Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding (0,1-0,2%).

Bemærk at international søfart i Aarhus Bugt længere væk end 25 km fra Aarhus Kommune er indeholdt i det regionale modellerede bidrag med DEHM.

Ozonforurening domineret af europæiske kilder

Ozon dannes ud fra emissioner af kvælstof- og kulbrinte-forbindelser på en stor geografisk skala afhængig af sollys og temperatur. Danske kilder bidrager til ozondannelsen på stor geografisk skala sammen med europæiske kilder. DEHM modellen beregner det regionale baggrundsniveau for ozon til omkring 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dette niveau modificeres af NO_x emissionen fra lokale kilder, som omdanner ozon til NO_2 i reaktion med NO, således at ozonkoncentrationen i bybaggrund ender med at blive omkring 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Derfor optræder kilder i Aarhus Kommune, international søfart i Aarhus Bugt og nabokommuner med negative bidrag.

6.3 Kildebidrag fra Aarhus Kommune til Aarhus by

I det følgende er kildebidragene opgjort for den geografiske udstrækning af Aarhus by, som blev defineret i afsnit 4.1.

I Tabel 6.4 viser koncentrationsbidraget fra forskellige kilder til bybaggrundskoncentrationen i Aarhus by, og Tabel 6.5 viser samme data blot i procent. Tabel 6.6 viser den procentvise fordeling kun af emissionskilder i Aarhus Kommune, og deres bidrag.

Emissionskilderne i Aarhus Kommune bidrager mere til bybaggrundskoncentrationen i Aarhus by end til bybaggrundskoncentrationen i Aarhus Kommune som helhed. Det skyldes, at den geografiske udtrækning af Aarhus by har relativ høj befolknings- og aktivitetstæthed og derfor relativ høj emissions-tæthed i forhold til kommunen som helhed. En relativ stor del af de samlede emissionskilder i Aarhus Kommune er samlet inden for Aarhus by og bidrager derfor mere til bybaggrundskoncentrationen i Aarhus by.

Tabel 6.4. Koncentrationsbidrag fra forskellige kilder i Aarhus Kommune til bybaggrundsluftforureningen som middel over Aarhus by i 2014 (enhed $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Bidrag opdelt på kildetyper		NO _x	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
SNAP01	Kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	0,38	0,24	-0,23	0,04	0,03
SNAP0201	Ikke-industriel forbrænding, handel og service	0,06	0,05	-0,04	0,01	0,01
SNAP0202	Ikke-industriel forbrænding, husholdninger	0,10	0,07	-0,07	0,42	0,41
SNAP0203	Ikke-industriel forbrænding, f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
SNAP03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	0,69	0,43	-0,41	0,07	0,05
SNAP04	Industrielle processer	0,00	0,00	0,00	0,10	0,02
SNAP05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
SNAP06	Anvendelse af produkter	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04
SNAP07	Vej transport	5,80	4,33	-4,22	0,39	0,28
SNAP0801	Militær	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP0802	Jernbaner	0,29	0,20	-0,19	0,01	0,01
SNAP080402	National søfart	0,38	0,21	-0,20	0,01	0,01
SNAP080403	National fiskeri	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP080501	National LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP080502	International LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP080503	National flytrafik (> 3000 fod) Luftfart - kun lufthavnstrafik	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP0806	Maskiner og redskaber i landbrug	0,06	0,05	-0,05	0,00	0,00
SNAP0807	Maskiner og redskaber i skovbrug	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP0808	Maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner	1,11	0,74	-0,72	0,08	0,08
SNAP0809	Maskiner og redskaber i have/hushold	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP0811	Maskiner og redskaber i handel og service	0,01	0,01	-0,01	0,00	0,00
SNAP09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	0,03	0,02	-0,02	0,05	0,06
SNAP3B	Landbrug, husdyrgødning	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01
SNAP3D	Landbrug, landbrugsjorde	0,13	0,08	-0,08	0,06	0,00
SNAP3F-I	Landbrug, øvrigt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SNAP Alle	Aarhus kommune – alle kilder	9,18	6,99	-6,81	1,37	1,03
SNIP INT	International søfart i Aarhus Bugt	2,62	1,55	-1,48	0,06	0,06
DEHM	Regional baggrund (model)	5,02	4,72	66,74	10,89	8,99
Urban BG	Nabokommuner < 25 km	2,07	2,15	-2,12	0,45	0,29
Ukendt	Ukendt masse PM _{2,5} (fra målinger)	0	0	0	1,6	1,6
Total	Alle kilder; Ind- og udland	18,9	15,4	56,3	14,4	12,0

Tabel 6.5. Koncentrationsbidrag i % fra forskellige kilder i Aarhus kommune i forhold til den totale luftforurening for bybag-grundsluftforureningen som middel over Aarhus by i 2014.

Bidrag opdelt på kildetyper		NO _x	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2,5}
SNAP01	Kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	2,0	1,5	-0,4	0,3	0,3
SNAP0201	Ikke-industriel forbrænding, handel og service	0,3	0,3	-0,1	0,0	0,1
SNAP0202	Ikke-industriel forbrænding, husholdninger	0,5	0,5	-0,1	3,3	4,0
SNAP0203	Ikke-industriel forbrænding, f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
SNAP03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	3,7	2,8	-0,7	0,5	0,5
SNAP04	Industrielle processer	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2
SNAP05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
SNAP06	Anvendelse af produkter	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4
SNAP07	Vej transport	30,7	28,1	-7,5	3,1	2,7
SNAP0801	Militær	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP0802	Jernbaner	1,5	1,3	-0,3	0,0	0,1
SNAP080402	National søfart	2,0	1,4	-0,4	0,1	0,1
SNAP080403	National fiskeri	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP080501	National LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP080502	International LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP080503	National flytrafik (> 3000 fod) Luftfart - kun lufthavnstrafik	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP0806	Maskiner og redskaber i landbrug	0,3	0,3	-0,1	0,0	0,0
SNAP0807	Maskiner og redskaber i skovbrug	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP0808	Maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner	5,9	4,8	-1,3	0,6	0,7
SNAP0809	Maskiner og redskaber i have/hushold	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP0811	Maskiner og redskaber i handel og service	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	0,2	0,1	0,0	0,4	0,5
SNAP3B	Landbrug, husdyrgødning	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1
SNAP3D	Landbrug, landbrugsjorde	0,7	0,5	-0,1	0,5	0,0
SNAP3F-I	Landbrug, øvrigt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP Alle	Aarhus kommune – alle kilder	48,6	45,4	-12,1	10,7	9,9
SNIP INT	International søfart i Aarhus Bugt	13,9	10,1	-2,6	0,5	0,6
DEHM	Regional baggrund (model)	26,6	30,6	118,5	85,3	86,7
Urban BG	Nabokommuner < 25 km	11,0	13,9	-3,8	3,1	2,4
Ukendt	Ukendt masse PM _{2,5} (fra målinger)	0,0	0,0	0,0	11,1	13,4
Total	Alle kilder; Ind- og udland	100	100	100	100	100

Tabel 6.6. Koncentrationsbidrag i % fra forskellige kilder i Aarhus kommune i forhold til den samlede luftforurening, som skyldes kilder i Aarhus kommune for bybaggrundsluftforureningen som middel over Aarhus bymidte i 2014.

Bidrag opdelt på kildetyper		NO _x	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
SNAP01	Kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	4,2	3,4	3,3	2,6	2,8
SNAP0201	Ikke-industriel forbrænding, handel og service	0,7	0,7	0,6	0,4	0,6
SNAP0202	Ikke-industriel forbrænding, husholdninger	1,1	1,0	1,1	30,9	40,2
SNAP0203	Ikke-industriel forbrænding, f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service	0,0	0,1	0,1	0,8	1,0
SNAP03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	7,5	6,2	6,1	4,8	4,7
SNAP04	Industrielle processer	0,0	0,0	0,0	7,1	1,8
SNAP05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1
SNAP06	Anvendelse af produkter	0,0	0,1	0,1	3,6	4,3
SNAP07	Vej transport	63,2	62,0	61,9	28,7	27,2
SNAP0801	Militær	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP0802	Jernbaner	3,2	2,8	2,8	0,4	0,7
SNAP080402	National søfart	4,1	3,0	2,9	0,5	0,7
SNAP080403	National fiskeri	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
SNAP080501	National LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0
SNAP080502	International LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SNAP080503	National flytrafik (> 3000 fod) Luftfart - kun lufthavnstrafik	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
SNAP0806	Maskiner og redskaber i landbrug	0,6	0,7	0,7	0,3	0,4
SNAP0807	Maskiner og redskaber i skovbrug	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0
SNAP0808	Maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner	12,1	10,6	10,5	5,5	7,3
SNAP0809	Maskiner og redskaber i have/hushold	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
SNAP0811	Maskiner og redskaber i handel og service	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4
SNAP09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	0,3	0,3	0,3	4,0	5,4
SNAP3B	Landbrug, husdyrgødning	0,0	0,0	-0,1	3,6	1,0
SNAP3D	Landbrug, landbrugsjorde	1,4	1,2	1,2	4,3	0,4
SNAP3F-I	Landbrug, øvrigt	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
SNAP Alle	Aarhus kommune – alle kilder	100	100	100	100	100

6.4 Kildeopgørelse for gadekoncentration i Banegårdsgade

I det følgende er der foretaget en kildeopgørelse for Banegårdsgade i Aarhus på samme strækning, hvor der også er en luftkvalitetsmålestation.

Køretøjssammensætning

I Tabel 6.7 er køretøjssammensætningen vist for Banegårdsgade i Aarhus baseret på oplysningerne fra det nationale luftkvalitetsmåleprogram, hvor luftkvalitetsberegninger gennemføres hvert år som del af det nationale luftkvalitetsmåleprogram (Ellermann et al., 2015). I forbindelse med luftkvalitetsberegninger har DCE trafikoplysninger fra Aarhus Kommune for denne gade. Køretøjssammensætningen er også sammenlignet med gennemsnittet for 99 gader i København, hvor der også hvert år gennemføres luftkvalitetsberegninger som del af luftkvalitetsmåleprogrammet.

Tabel 6.7. Køretøjssammensætningen for Banegårdsgade i Aarhus samt for gennemsnittet af 99 gader i København i 2014

Gade	Personbil (%)	Varebil (%)	Lastbil<32t (%)	Lastbil >32t (%)	Bus (%)	I alt (%)	Tungandel (%)
Banegårdsgade i Aarhus	60	15	8	4	13	100	25
Gns. 99 gader i København	80	16	1,3	0,06	2,5	100	4

Som det fremgår af Tabel 6.7 er køretøjssammensætningen på Banegårdsgade meget atypisk, idet andelen af lastbiler og busser er meget høj i forhold til gennemsnittet i København. For Banegårdsgade er tungandelen (lastbiler og busser) 25%, mens den i København er 4% i gennemsnit. Det betyder, at den tunge trafik kommer til at vægte meget i den efterfølgende kildeopgørelse for Banegårdsgade, og at Banegårdsgade ikke er repræsentativ for de fleste gader i Aarhus. Banegårdsgade er derfor repræsentativ for en gade med meget høj andel af tung trafik.

Der er tidligere lavet en kildeopgørelse for de 99 gader i København for 2010, som kan ses i rapporten *Jensen et al. (2013)*.

Metode for kildeopgørelse på køretøjskategorier

I kildeopgørelsen for Banegårdsgade beregnes bidraget fra de forskellige køretøjskategorier på følgende måde. Der er taget udgangspunkt i målte koncentrationer af gadekoncentrationer (Banegårdsgade) og bybaggrundskoncentrationer (Botanisk Have). Forskellen mellem gade- og bybaggrundskoncentrationer er gadebidraget, dvs. det koncentrationsbidrag, som trafikken i Banegårdsgade bidrager med. Med emissionsmodulet i gadeluftkvalitetsmodellen OSPM© er emissionsbidraget beregnet for de forskellige køretøjskategorier. Gadebidraget er herefter vægtet med emissionsbidraget for de forskellige køretøjskategorier for at bestemme koncentrationsbidraget fra en given køretøjskategori. Koncentrationsbidraget for fx personbiler er således personbilers procentvise emissionsbidrag gange gadebidraget.

Der er taget udgangspunkt i de målte gadekoncentrationer og bybaggrundskoncentrationer, da luftkvalitetsmodelberegninger viste lidt for stor afvigelse i forhold til målingerne i 2014. For NO₂/NO_x passede det fint for gadekoncentrationerne med afvigelse på kun 2% og for bybaggrund kun 7-9% for høj i forhold til målingerne. For partikler var afvigelserne noget større. For gadekoncentrationen af PM₁₀ og PM_{2.5} var modelberegningerne hhv. 32% og 19% for lave og for bybaggrund omkring 11% lavere end målingerne af PM_{2.5}. PM₁₀ målinger udføres ikke på bybaggrundsstationen, og er estimeret til at være 15 µg/m³ som gennemsnittet af målinger på stationerne på Lille Valby/Risø (14 µg/m³) og H.C. Ørstedsinstituttet i København (16 µg/m³).

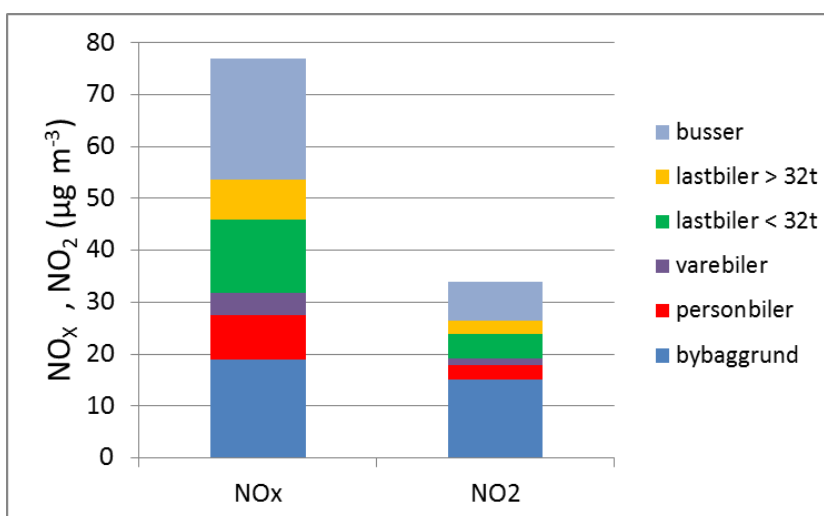
Kildeopgørelse på køretøjskategorier

Kildeopgørelsen for hovedkøretøjskategorierne er vist for kvælstofoxider i Figur 6.6 og for partikler i Figur 6.7. Det bagvedliggende data er vist i Tabel 6.8 i mikrogram pr. kubikmeter og i procent i Tabel 6.9.

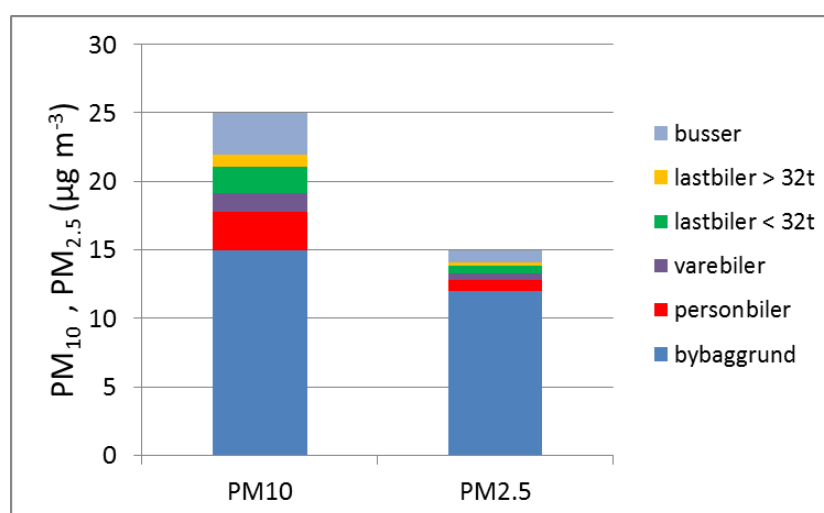
For især NO_x, men også NO₂, er gadebidraget det største, og bybaggrund betyder mindre for gadekoncentrationen. Den tunge trafik bidrager med omkring 78% og den lette trafik med 22% af gadebidraget. Bidraget fra den tunge trafik er atypisk stort, da tungandelen er meget stor i Banegårdsgade.

For PM_{2.5} i særdeleshed, men også PM₁₀, er gadebidraget det mindste, og bybaggrund er dominerende for gadekoncentrationen. Den tunge trafik

bidrager med omkring 57% og 59% og den lette trafik med 41% og 43% af gadebidraget for hhv. $PM_{2.5}$ og PM_{10} . Bidraget fra den tunge trafik er også her meget stort, da tungandelen er meget stor i Banegårdsgade.



Figur 6.6. Kildebidrag for NO_x og NO_2 for Banegårdsgade i 2014 fordelt på køretøjskategorier og bybaggrundsforureningen.



Figur 6.7. Kildebidrag for PM_{10} og $PM_{2.5}$ for Banegårdsgade i 2014 fordelt på køretøjskategorier og bybaggrundsforureningen.

Tabel 6.8. Koncentrationsbidraget af de forskellige køretøjskategorier til gadebidraget ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Gadekonc.	Bybaggrund	Gadebidrag	Personbiler	Varebiler	Lastbiler < 32t	Lastbiler > 32t	Busser
NO _x	77	19,0	58	8,4	4,3	14,2	7,6	23,4
NO ₂	34,0	15,0	19	2,8	1,4	4,7	2,5	7,7
PM ₁₀	25	15,0 ^a	10	2,8	1,3	1,9	0,9	3,0
PM _{2.5}	15	12,0	3	0,8	0,5	0,5	0,3	0,9

^aPM₁₀ målinger udføres ikke på bybaggrundsstationen, og er estimeret til at være 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som gennemsnittet af målinger på stationerne på Lille Valby/Risø (14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) og H.C. Ørstedsinstituttet i København (16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabel 6.9. Koncentrationsbidraget af de forskellige køretøjskategorier til gadebidraget (%)

	Gadebidrag ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Personbiler (%)	Varebiler (%)	Lastbiler < 32t (%)	Lastbiler > 32t (%)	Busser (%)	I alt (%)	Let i alt (%)	Tung i alt (%)
NO _x	58	15	7	25	13	40	100	22	78
NO ₂	19	15	7	25	13	40	100	22	78
PM ₁₀	10	28	13	19	9	30	100	41	59
PM _{2.5}	3	26	17	18	9	30	100	43	57

Kildeopgørelse for udstødning og ikke-udstødning

I Tabel 6.10 er vist emissionsfaktoren i gram pr. km for de forskellige køretøjskategorier og den procentvise fordeling mellem udstødningsbidrag og ikke-udstødningsbidrag for PM₁₀ og PM_{2.5}. Ikke-udstødning er dæk-, vej- og bremseslid og ophvirvling heraf.

Tabel 6.10. Kildeopgørelse for gadebidraget af udstødning og ikke-udstødning for Banegårdsgade i 2014

g/km	Personbil	Varebil	Lastbil<32t	Lastbil >32t	Bus	Alle
Udstødning	0,01	0,04	0,05	0,06	0,07	0,03
Ikke-udstødning PM _{2.5}	0,02	0,02	0,06	0,08	0,06	0,03
Ikke-udstødning PM ₁₀	0,05	0,07	0,23	0,26	0,23	0,10
PM _{2.5} i alt	0,02	0,06	0,12	0,14	0,13	0,06
PM ₁₀ i alt	0,06	0,11	0,28	0,32	0,30	0,12
%	Personbil	Varebil	Lastbil<32t	Lastbil >32t	Bus	Alle
Udstødning (PM _{2.5})	37	65	46	42	53	49
Ikke-udstødning PM _{2.5}	63	35	54	58	47	51
PM _{2.5} i alt	100	100	100	100	100	100
Udstødning (PM ₁₀)	15	36	19	18	24	22
Ikke-udstødning PM ₁₀	85	64	81	82	76	78
PM ₁₀ i alt	100	100	100	100	100	100

For trafikken som helhed bidrager partikeludstødning med omkring 50% og ikke-udstødning med 50% for PM_{2.5}. For PM₁₀ er forholdet hhv. 22% og 78%, da andelen af ikke-udstødning udgør en større del af PM₁₀ i forhold til PM_{2.5}.

Fordelingen er lidt forskellig mellem de forskellige køretøjskategorier. Varebiler har en relativ høj andel af udstødning, da næsten alle varebiler er diesel (93%), og en del af disse er ældre dieslbiler uden partikelfilter. Grunden til at den tunge trafik ikke bidrager så meget med PM-udstødning, er bl.a. pga. miljøzonen, som regulerer den tunge trafik (Jensen et al. 2011). Personbiler har den mindste andel af udstødning, da omkring 65% er benzinbiler og 35% dieslbiler. Selvom ældre persondieslbiler uden partikelfilter har høj partikeludstødning vægter de ikke så meget, da personbiler er domineret af benzinbiler.

7 Helbredseffekter i Aarhus Kommune

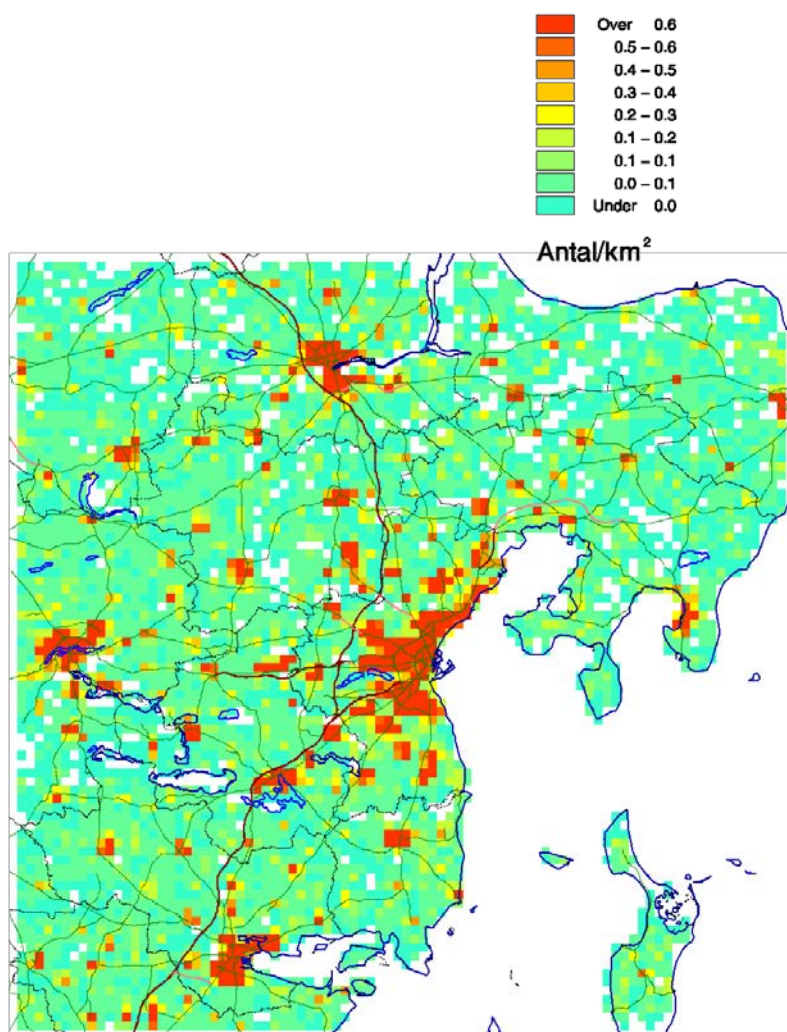
Dette kapitel opsummerer luftforureningens helbredseffekter for hele Aarhus Kommune og særskilt for Aarhus by.

Endvidere kvantificeres bidragene fra de forskellige hovedemissionssektorer (SNAP-kategorier) i Aarhus Kommune til helbredseffekterne i Aarhus Kommune. Formålet med disse beregninger er at kvantificere, hvor meget de lokale emissionskilder i Aarhus Kommune bidrager til helbredseffekterne i Aarhus Kommune. Aarhus Kommune har indflydelse på de lokale emissionskilder i kommunen. Beregningerne er gennemført med EVA-systemet med de forudsætninger, som er nærmere beskrevet i kapitel 4.

7.1 Helbredseffekter i Aarhus Kommune fra alle kilder

For tidlige dødsfald og sygelighed

Den geografiske fordeling af for tidlige dødsfald pga. al luftforurening er vist i Figur 7.1 for hele modelområdet i den konkrete opsætning af EVA-beregningerne. Delområder heraf er Aarhus Kommune og Aarhus by.



Figur 7.1. Geografisk fordeling af for tidlige dødsfald pga. al luftforurening i 2014 (antal/km²).

Et højt antal tilfælde af for tidlige dødsfald skyldes sammenfald af høj partikelforurening og høj befolkningstæthed, hvor denne kombination er højest i Aarhus by.

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.

Antal for tidlige dødsfald og andre helbredseffekter fremgår af Tabel 7.1.

Tabel 7.1. Helbredseffekter i hele modelområdet for alle SNAP-kategorier, dvs. både lokale og regionale kilder i 2014. Aarhus Kommune og Aarhus by er vist separat. Aarhus by er indeholdt i Aarhus kommune og Aarhus by og kommune er indeholdt i de totale tal for hele modelområdet.

Helbredseffekt:	Total i hele modelområdet	Total for Aarhus kommune	Total for Aarhus by
Kronisk bronkitis	547	229	107
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	559000	234000	11000
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	29	12	5
Hospitalsindlæggelser for cerebrovaskulære lidelser	70	28	13
Tilfælde af hjertesvigt	48	19	7
Lungecancer	84	35	16
Brug af bronkodilatorer blandt børn	15800	5470	1750
Brug af bronkodilatorer blandt voksne	107000	44800	21000
Episoder med hoste blandt børn	54500	18900	6030
Episoder med hoste blandt voksne	110000	46100	21600
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	21000	7300	2330
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	39700	16600	7790
Akutte tabte leveår	16	6	2
Kroniske tabte leveår (YOLL)	5750	2130	828
For tidlige dødsfald	558	206	80
Dødsfald blandt spædbørn	0,7	0,3	0,1

Det totale årlige antal tilfælde af for tidlige dødsfald i 2014 er 206 i hele Aarhus Kommune på baggrund af de totale luftforureningsniveauer baseret på både danske og udenlandske emissionskilder. For Aarhus by er det 80.

I de seneste beregninger for hele Danmark for 2015 er antallet af for tidlige dødsfald beregnet til omkring 3950 med EVA-systemet (Brandt et al., 2016b). Befolkningstallet i Aarhus Kommune er 5,7% af hele Danmarks befolkning i

2014. Dvs. at der alene med udgangspunkt i befolkningstallet i Aarhus Kommune kan forventes omkring 225 for tidlige dødsfald, hvilket ligger tæt på det aktuelt beregnede 206 for tidlige dødsfald for 2014.

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), se Tabel 7.1.

7.2 Helbredseffekter i Aarhus Kommune fordelt på lokale kilder fra Aarhus Kommune

I det følgende opsummeres først helbredseffekter i Aarhus Kommune fordelt på emissionskilder fra Aarhus Kommune, og efterfølgende for Aarhus by.

Antal tilfælde i Aarhus Kommune

I Tabel 7.2 er vist helbredseffekterne i Aarhus Kommune fordelt på de forskellige lokale emissionskilder i Aarhus Kommune i 2014. Formålet med disse beregninger er at kvantificere, hvor meget de lokale emissionskilder i Aarhus Kommune betyder for helbredseffekterne i Aarhus Kommune.

Som det fremgår af Tabel 7.2, bidrager de lokale emissionskilder i Aarhus Kommune til omkring 16 for tidlige dødsfald i Aarhus Kommune.

Såfremt de 16 for tidlige dødsfald fra lokale kilder i Aarhus Kommune sættes i forhold til de omkring 206 for tidlige dødsfald pga. al luftforurening i Aarhus Kommune (fra danske og udenlandske kilder), så bidrager lokale emissionskilder i Aarhus Kommune til omkring 8% af de samlede for tidlige dødsfald i Aarhus Kommune. Det vil modsat sige, at omkring 92% af for tidlige dødsfald i Aarhus Kommune skyldes emissioner uden for kommunen.

De vigtigste lokale kilder er Ikke-industriel forbrænding, som primært består af forbrænding fra brændeovne og -kedler (8 for tidlige dødsfald) efterfulgt af vejtrafik (4 for tidlige dødsfald). Følgende andre emissionssektorer bidrager hver med et for tidligt dødsfald: Kraftvarmeværker mv.; Anvendelse af produkter; Ikke-vejgående maskiner; Affaldsbehandling; samt International søfart i Aarhus Bugt. Det samme mønster ses grundliggende også for sygelighed.

De lokale emissionskilder i Aarhus Kommune bidrager til omkring 20.700 sygedage om året i Aarhus Kommune.

Bemærk at akutte tabte leveår er negative (-1). Dette skyldes, at NO_x emissioner fra kilder i Aarhus Kommune reducerer ozonkoncentrationen, og dermed giver færre akutte tabte leveår som følge af eksponering for ozon.

Tabel 7.2. Helbredseffekter i Aarhus Kommune pga. og fordelt på lokale emissionskilder i Aarhus Kommune efter SNAP-kode i 2014 (kun emissionskilder i Aarhus Kommune samt søfart i Aarhus Bugt). Enhed: antal tilfælde.

	1 Kraft- Varme mv.	2 Ikke- in- dusti- el forbr. Mv.	3 Frem- Stil- ling mv.	4 Industri- elle pro- cesser	6 Anv. af produkt	7 Vej- trans- port	802 Jern- bane	808 Ikke- vejpgå- ende mask.	811 Mo- bile Kilder Han- del og ser- vise	9 Af- falds- be- hand- ling	Int. søfart i Aar- hus Bugt	Alle kilder i Aar- hus sam- let
Kronisk bronkitis	1	9	0	0	1	5	0	1	0	1	1	20
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	905	9197	273	363	864	5111	127	1432	86	1059	1085	20704
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3
Tilfælde af hjertesvigt	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
Lungecancer	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3
Brug af bronkodilatorer blandt børn	24	216	7	8	17	107	3	31	2	21	22	460
Brug af bronkodilatorer blandt voksne	173	1761	52	69	165	978	24	274	16	203	208	3963
Episoder med hoste blandt børn	82	747	24	28	60	368	9	107	6	73	76	1589
Episoder med hoste blandt voksne	178	1812	54	72	170	1007	25	282	17	209	214	4080
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	32	288	9	11	23	142	4	41	2	28	29	613
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	64	654	19	26	61	363	9	102	6	75	77	1472
Akutte tabte leveår	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1
Kroniske tabte leveår (YOLL)	9	84	3	3	7	44	1	12	1	9	9	183
For tidlige dødsfald	1	8	0	0	1	4	0	1	0	1	1	16
Dødsfald blandt spædbørn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Antal tilfælde i Aarhus by

I Tabel 7.3 er vist helbredseffekterne i Aarhus by fordelt på de forskellige lokale emissionskilder i Aarhus Kommune i 2014.

Antallet af for tidlige dødsfald er 7 i Aarhus by pga. emissionskilder i Aarhus Kommune. Da det samlede antal for tidlige dødsfald var 16 i hele kommunen pga. emissionskilder i Aarhus Kommune falder næsten halvdelen i Aarhus by pga. relativ høj emissions- og befolkningstæthed i forhold til resten af kommunen.

De lokale emissionskilder i Aarhus Kommune bidrager til omkring 11.200 sygedage om året i Aarhus by.

Tabel 7.3. Helbredseffekter i Aarhus by pga. og fordelt på lokale emissionskilder i Aarhus kommune efter SNAP-kode i 2014
(kun emissionskilder i Aarhus kommune samt søfart i Aarhus Bugt). Enhed: antal tilfælde.

	1 Kraft- Varmer mv.	2 Ikke- in- dusti- el forbr. Mv.	3 Frem- Stil- ling mv.	4 Industri- elle pro- cesser	6 Anv. af pro- dukt	7 Vej- trans- port	802 Jern- bane	808 Ikke- vejgå- ende mask.	811 Mobile Kilder Hand- del og ser- vice	9 Affalds- be- hand- ling	Int. sø- fart i Aar- hus Bugt	Alle kilder i Aar- hus samlet
Kronisk bronkitis	0	4	1	0	1	3	0	1	0	1	1	11
Dage med nedsat aktivi- tet (sygedage)	309	4433	622	195	563	3115	75	770	47	693	669	11172
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære li- delser	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Tilfælde af hjertesvigt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Lungecancer	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
Brug af bronkodilatorer blandt børn	5	75	8	3	8	48	1	12	1	10	10	177
Brug af bronkodilatorer blandt voksne	59	848	119	37	108	596	14	147	9	133	128	2138
Episoder med hoste blandt børn	17	260	28	10	28	166	4	41	2	35	34	611
Episoder med hoste blandt voksne	61	873	123	38	111	614	15	152	9	137	132	2201
Episoder med nedre luft- vejssymptomer blandt børn	6	100	11	4	11	64	1	16	1	13	13	236
Episoder med nedre luft- vejssymptomer blandt voksne	22	315	44	14	40	221	5	55	3	49	48	794
Akutte tabte leveår	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
Kroniske tabte leveår (YOLL)	2	34	5	2	4	23	1	6	0	5	5	84
For tidlige dødsfald	0	3	0	0	0	2	0	1	0	1	0	7
Dødsfald blandt spæd- børn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8 Eksterne omkostninger

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

Dernæst opsummeres luftforureningens helbredsrelaterede eksterne omkostninger for Aarhus Kommune baseret på emissioner kun fra Aarhus Kommune og fordelt på hovedemissionssektorer. Formålet med disse beregninger er at kvantificere, hvor meget de lokale emissionskilder i Aarhus Kommune betyder for de eksterne omkostninger i Aarhus Kommune.

De eksterne omkostninger er fordelt på luftforureningerne: CO, O₃ og PM_{2.5} og underopdelt på de forskellige emissionskategorier (SNAP-kategorier).

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

8.1 Totale eksterne omkostninger i Aarhus Kommune

I Tabel 8.1 er de totale eksterne omkostninger i Aarhus Kommune vist, som er forårsaget af al luftforurening både fra danske og udenlandske emissionskilder.

Tabel 8.1. Totale eksterne omkostninger pga. den totale luftforurening (inkl. menneskeskabte og naturlige kilder) i hele modelområdet, Aarhus Kommune og Aarhus by pga. al luftforurening både fra danske og udenlandske emissionskilder i 2014 (2013-priser)

Kilder	CO mio. kr.	O ₃ mio. kr.	PM _{2.5} mio. kr.	Total mio. kr.
Hele modelområdet	1,2	248	4230	4470
Heraf for Aarhus kommune	0,5	88	1610	1690
Heraf for Aarhus by	0,2	36	653	688

De totale eksterne omkostninger i Aarhus Kommune pga. al luftforurening fra både danske og udenlandske emissionskilder er omkring 1,7 milliarder kr., heraf omkring 0,7 milliarder kr. i Aarhus by i 2014.

I de seneste beregninger for hele Danmark for 2015 er de totale eksterne omkostninger, som følge af al luftforurening, beregnet til omkring 30 mia. kr. med EVA-systemet (Brandt et al., 2016). Befolkningstallet i Aarhus Kommune er 5,7% af hele Danmarks befolkning i 2014. Dvs. at der alene med udgangspunkt i befolkningstallet i Aarhus Kommune kan forventes eksterne omkostninger på 1,7 mia. kr., hvilket er det beregnede niveau.

De eksterne omkostninger skyldes næsten udelukkende partikler, som her omfatter primært emitterede partikler, sekundært dannede uorganiske partikler (nitrat, sulfat, ammonium), og havsalt. Et bidrag fra sekundært dannede organiske partikler (SOA) og "ukendt masse" er tilføjet ud fra målinger. Ukendt masse formodes bl.a. at være vand bundet til partiklerne.

De eksterne omkostninger relateret til ozon er omkring 88 millioner kr. i Aarhus Kommune heraf omkring 36 millioner kr. i Aarhus by. Ozon er ikke direkte emitteret men dannes i atmosfæren ud fra emissioner af NO_x, kulbrinter og CO. Ozon er sundhedsskadeligt, og er derfor også forbundet med ekstern omkostning.

Bidrag fra CO til de eksterne omkostninger er helt ubetydelige i forhold til de andre stoffer med omkring 0,5 millioner kr. i Aarhus Kommune, heraf knap 0,2 millioner kr. i Aarhus by.

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

8.2 Eksterne omkostninger i modelområdet fra lokale emissionskilder i Aarhus Kommune

De totale eksterne omkostninger i hele modelområdet pga. lokale emissionskilder i Aarhus Kommune er 144 mio. kr. Da de totale eksterne omkostninger pga. al luftforurening fra udenlandske og danske kilder var 4470 mio. kr. i modelområdet (Tabel 8.1) udgør de lokale emissionskilder i Aarhus Kommune 3% heraf. Som det fremgår af næste afsnit er de totale eksterne omkostninger omkring 127 mio. kr. i Aarhus Kommune pga. emissionskilder i kommunen, dvs. at Aarhus Kommune bidrager med 17 mio. kr. eksterne omkostninger uden for Aarhus Kommune i modelområdet. De eksterne omkostninger som følge af de lokale kilder i Aarhus Kommune er kun fra primært emitteret PM_{2.5}, da sekundære partikler ikke når at blive dannet på de korte transportafstande inden for modelområdet. De samlede eksterne omkostninger af emissionskilder i Aarhus Kommune, og deres bidrag til eksterne omkostninger uden for kommunen er derfor større end de 17 mio. kr., fordi de stiger i takt med, at der dannes sekundære partikler på baggrund af emissionerne i Aarhus Kommune.

8.3 Eksterne omkostninger i Aarhus Kommune fra lokale emissionskilder i Aarhus Kommune

I Tabel 8.2 er de eksterne omkostninger for Aarhus Kommune pga. de lokale emissionskilder i Aarhus Kommune fordelt på CO, O₃ og PM_{2.5} og yderligere underopdelt på de forskellige emissionskategorier (SNAP-kategorier). Det er således de eksterne omkostninger for Aarhus Kommune pga. emissioner i kommunen.

Af Tabel 8.2 fremgår, at de totale eksterne omkostninger er omkring 127 mio. kr. i Aarhus Kommune pga. emissionskilder i kommunen i 2014. De totale eksterne omkostninger i Aarhus Kommune pga. al luftforurening fra både danske og udenlandske emissionskilder var omkring 1,7 milliarder kr. (Tabel 8.1). Dvs. at lokale emissioner i Aarhus Kommune bidrager med omkring 8%. Det betyder omvendt, at omkring 92% af alle eksterne omkostninger relateret til luftforurening i Aarhus Kommune skyldes emissioner uden for Aarhus Kommune.

De vigtigste lokale kilder i Aarhus Kommune til helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Aarhus Kommune er brændeovne, som står for omkring 48% af de eksterne omkostninger efterfulgt af vejtrafik med 19%. Andre kildertyper, som giver et vist bidrag, er andre mobile kilder (ikke-vejgående maskiner mv.) med 6%, affaldsbehandling med 5%, kraftvarmeværker mv. med 5%,

samt anvendelse af produkter (emissioner fra opløsningsmidler og emissioner fra industriens og befolkningens brug af produkter som fx kemikalier og maling) med omkring 4%.

International søfart i Aarhus Bugt bidrager med omkring 3% af de eksterne omkostninger i Aarhus Kommune. Som det fremgik tidligere er emissioner fra international søfart i Aarhus Bugt på højde med emissioner inden for kommunen. De maritime emissioner betyder ikke så meget for de eksterne omkostninger i kommunen pga. den dominerende sydvestlige vindretning, som blæser forureningen væk fra kommunen.

Resultaterne for hver af emissionssektorerne (SNAP-kategorier) fremkommer ved, at EVA-systemet er kørt med og uden emissioner fra den pågældende emissionssektor. Da atmosfærekemi ikke er lineært, er summen af de enkelte emissionssektorer ikke helt det samme som for scenariet med og uden alle emissioner under ét ("Alle SNAP samlet" i Tabel 8.2).

Tabel 8.2. Eksterne omkostninger for Aarhus Kommune pga. de lokale emissionskilder i Aarhus Kommune i 2014 fordelt på O₃ og PM_{2.5} og yderligere underopdelt på de forskellige emissionskategorier (SNAP kategorier) (2013-priser). Bidraget for de forskellige emissionskilder er også vist i %.

SNAP kode	Emissionssektor	O ₃	PM _{2.5}	Total	Bidrag
		mio. kr.	mio. kr.	mio. kr.	%
snap01	Kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	-0,5	6,5	6,0	4,7
snap0201	Ikke-industriel forbrænding, handel og service	-0,1	0,9	0,8	0,6
snap0202	Ikke-industriel forbrænding, husholdninger	-0,2	60,7	60,5	47,5
snap0203	Ikke-industriel forbrænding, f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service	0,0	1,9	1,9	1,5
snap03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	-0,9	5,3	4,3	3,4
snap04	Industrielle processer	0,0	2,4	2,4	1,9
snap05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas	0,0	0,3	0,3	0,2
snap06	Anvendelse af produkter	0,0	5,5	5,5	4,3
snap07	Vej transport	-9,0	33,3	24,3	19,1
snap0801	Militær	0,0	0,0	0,0	0,0
snap0802	Jernbaner	-0,4	0,8	0,4	0,3
snap080402	National søfart	-0,3	0,6	0,3	0,2
snap080403	National fiskeri	0,0	0,1	0,1	0,1
snap080501	National LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	0,0	0,0	0,0
snap080502	International LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	0,1	0,0	0,0
snap080503	National flytrafik (> 3000 fod) Luftfart - kun lufthavnstrafik	0,0	0,1	0,1	0,0
snap0806	Maskiner og redskaber i landbrug	-0,1	0,9	0,8	0,6
snap0807	Maskiner og redskaber i skovbrug	0,0	0,0	0,0	0,0
snap0808	Maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner	-1,6	9,4	7,8	6,1
snap0809	Maskiner og redskaber i have/hushold	0,0	0,2	0,2	0,1
snap0811	Maskiner og redskaber i handel og service	0,0	0,6	0,5	0,4
snap09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	0,0	6,7	6,7	5,3
snap3B	Landbrug, husdyrgødning	0,0	1,9	1,9	1,5
snap3D	Landbrug, landbrugsjorde	-0,2	0,9	0,7	0,6
snap3F	Landbrug, øvrigt	0,0	0,5	0,5	0,4
Int. Søfart	International skibstrafik Aarhus bugt	-3,4	7,0	3,7	2,9
Alle SNAP samlet	Aarhus kommune alle kilder	-18,6	146,0	127,4	100

8.4 Eksterne omkostninger i Aarhus by fra lokale emissionskilder i Aarhus Kommune

I Tabel 8.3 er de eksterne omkostninger for Aarhus by pga. de lokale emissionskilder i Aarhus Kommune fordelt på CO, O₃ og PM_{2.5} og yderligere underopdelt på de forskellige emissionskategorier (SNAP-kategorier). Det er således de eksterne omkostninger for Aarhus by pga. emissioner i kommunen.

Af Tabel 8.3 fremgår det, at de totale eksterne omkostninger er omkring 60 mio. kr. i Aarhus by, hvilket er omkring halvdelen af de eksterne omkostninger i hele kommunen. Brændeovne bidrager lidt mindre og vejtransport lidt mere i forhold til kommunen som helhed.

Tabel 8.3. Eksterne omkostninger for Aarhus by pga. de lokale emissionskilder i Aarhus Kommune i 2014 fordelt på O₃ 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. kr. (2013-priser).

SNAP kode	Emissionssektor	O ₃ mio. kr.	PM _{2.5} mio. kr.	Total mio. kr.	Bidrag %
snap01	Kraftvarme- og fjernvarmeværker, herunder affaldsforbrændingsanlæg	-0,1	1,8	1,7	2,9
snap0201	Ikke-industriel forbrænding, handel og service	-0,1	0,4	0,3	0,6
snap0202	Ikke-industriel forbrænding, husholdninger	-0,1	25,9	25,8	43,3
snap0203	Ikke-industriel forbrænding, f.eks. forbrænding i husholdninger og handel og service	0,0	0,6	0,6	1,0
snap03	Fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed	-0,7	3,6	2,9	4,9
snap04	Industrielle processer	0,0	1,1	1,1	1,9
snap05	Udledninger i forbindelse med udvinding, behandling, lagring og transport af olie og gas	0,0	0,1	0,1	0,1
snap06	Anvendelse af produkter	0,0	3,3	3,3	5,5
snap07	Vej transport	-5,3	18,4	13,1	21,9
snap0801	Militær	0,0	0,0	0,0	0,0
snap0802	Jernbaner	-0,3	0,4	0,2	0,3
snap080402	National søfart	-0,3	0,4	0,1	0,2
snap080403	National fiskeri	0,0	0,0	0,0	0,0
snap080501	National LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
snap080502	International LTO (start og landing, < 3000 fod)	0,0	0,0	0,0	0,0
snap080503	National flytrafik (> 3000 fod) Luftfart - kun lufthavnstrafik	0,0	0,0	0,0	0,1
snap0806	Maskiner og redskaber i landbrug	0,0	0,3	0,2	0,4
snap0807	Maskiner og redskaber i skovbrug	0,0	0,0	0,0	-0,1
snap0808	Maskiner og redskaber i industri – inklusiv ikke-vejgående maskiner	-0,8	4,5	3,7	6,2
snap0809	Maskiner og redskaber i have/hushold	0,0	0,0	0,0	0,1
snap0811	Maskiner og redskaber i handel og service	0,0	0,3	0,3	0,4
snap09	Affaldsbehandling, eksklusiv affaldsforbrænding	0,0	4,0	4,0	6,7
snap3B	Landbrug, husdyrgødning	0,0	0,7	0,7	1,1
snap3D	Landbrug, landbrugsjorde	0,0	0,3	0,2	0,4
snap3F	Landbrug, øvrigt	0,0	0,2	0,2	0,3
Int. Søfart	International skibstrafik Aarhus bugt	-1,9	3,8	1,9	3,2
Alle SNAP samlet	Aarhus kommune alle kilder	-10,6	70,3	59,7	100,0

9 Diskussion af usikkerheder

9.1 Hovedelementerne i impact-pathway metoden

EVA-systemet er baseret på "Impact-pathway" kæden, som dækker alle ledene 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

Der er væsentlige usikkerheder forbundet med, hvor godt vi kender emissionen af kemiske stoffer fra de forskellige sektorer, og hvor godt de er fordelt geografisk. Der er usikkerheder forbundet med både aktivitetsniveauer og emissionsfaktorer, og disse varierer betydeligt fra sektor til sektor og mellem forureningskomponenterne. For den geografiske fordeling er usikkerhederne både forbundet med usikkerheden af selve den geografiske fordelingsnøgle, men også hvor god den valgte nøgle er som proxy for emissionskilden. På trods af en løbende forbedring af grundlaget for emissioner fra brændeovne vurderes denne sektor stadigvæk at være forbundet med betydelig usikkerhed i emissionsopgørelsen, når der sammenlignes med fx vejtransport.

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. Sammenligning mellem model og målinger i bybaggrund i Aarhus viser god overensstemmelse for NO_x og NO₂, og en mindre underestimering for PM₁₀ og PM_{2.5}, hvilket der kompenseres for ved at lægge et tillæg til ud fra målinger.

Usikkerheden på befolkningsdata i Danmark er meget lille, da data er baseret på CPR registeret og geografisk fordelt efter koordinatsatte adresser. Eksisterende CPR data for år 2008 danner grundlag for befolkningsdata i EVA-systemet for Danmark. Dette er fremskrevet til 2014 med befolkningsdata fra Aarhus Kommunes hovedstatistikområder og med landsgennemsnittet uden for Aarhus Kommune. Afvigelser fra Aarhus Kommune var 0,8% og 0,2% for hele Danmark.

Eksponerings-respons og helbredseffekter

Sammenhængen mellem befolkningseksponering og helbredseffekter er baseret på international litteratur, som er anerkendt af verdenssundhedsorganisationen (WHO). Specielt har man fundet en stærk sammenhæng imellem koncentrationer af PM_{2.5} i bybaggrunden (her repræsenteret ved resultaterne fra DEHM/UBM) og helbredseffekter. Den anvendte sammenhæng, man har fundet for fx dødelighed, er en stigning på 6% for en stigning i PM_{2.5} på 10 µg/m³ som årsmiddelværdi. I nærværende resultater er det antaget, at alle partikler er lige skadelige, jf. den bedste viden på området pt.

Usikkerheden ligger i, at det kun afspejler kendt viden, som til stadighed udvikles.

I beregningerne er det endvidere forudsat, at der ikke er lokale helbredseffekter af NO₂, men videngrundlaget peger i stigende grad på, at der er selvstændige lokale helbredseffekter af NO₂. Vi arbejder på at indarbejde eksponerings-respons for NO₂ i EVA-systemet, men det er endnu ikke færdigt. Det europæiske Miljøagentur har i deres seneste rapport for luftkvalitet i Europa inkluderet NO₂ i beregninger af for tidlige dødsfald. (European Environmental Agency, 2016). Her udgør for tidlig død pga. NO₂ 2% af beregnede antal for tidlige dødsfald for Danmark. Der er fortsatte diskussioner af hvilke dosis-respons man skal bruge, og i hvilken grad der er tale om en selvstændig effekt af NO₂ i forhold til for tidlig død, dobbelttælling i forhold til PM_{2.5} mv.

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. Værdisætningen af et akut dødsfald betegnes værdien af et statistisk liv (value of statistical life, VSL). I EVA-beregningerne er et statistisk liv værdisat til 15,5 mio. kr. (2013-priser). Næsten alle dødsfald relateret til luftforurening sker imidlertid som følge af eksponering over lang tid, dvs. kronisk. Der tabes omkring 10 år i levetidsforventning, hvilket er mindre end det gennemsnitlige trafikoffer, der taber 30-40 år. EVA anvender derfor en særskilt værdi for tabte leveår (585.000 kr.pr. år; 2013-priser).

I samfundsøkonomiske analyser anvender bl.a. Transportministeriet en VSL værdi på omkring 18 mio. kr. pr. "statistisk liv". De Økonomiske Råd (DØR) har i 2016 foreslået, at denne værdi sættes op til 31 mio. kr. (DØR, 2016). Anbefalingen bygger blandt andet på et nyt værdisætningsstudie, og de fleste lande, som Danmark normalt sammenlignes med, bruger en højere værdi. EU's anbefalinger indebærer en værdi af statistisk liv i hele EU på 39 mio. kr. Såfremt der anvendes en højere værdi for statistisk liv i EVA-beregningerne vil de tilhørende eksterne omkostninger også blive større, og næsten proportionalt større.

DØR anbefaler 900.000 kr. for et tabt leveår, mens der i EVA-systemet forudsættes omkring 585.000 kr. Såfremt DØR forudsætninger anvendes vil de eksterne omkostninger blive omkring 50% større.

Det er imidlertid nødvendigt at være opmærksom på, at DØR/EU/OECD anbefalinger refererer til undersøgelser, der er generelle og ikke er specielt møntet på de særlige forhold ved forureningsrelaterede dødsfald, hvor der statistisk set tabes færre leveår end ved dødsfald i trafikken, og hvor der er en væsentlig tidsforskydning mellem eksponering og effekt.

9.2 De enkelte emissionskilder i Aarhus Kommune

Brændeovne

Den vigtigste lokale kilde i Aarhus Kommune i forhold til antal for tidlige dødsfald og eksterne omkostninger er brændeovne efterfulgt af vejtrafik.

Selvom der indenfor de seneste år er foretaget betydelige forbedringer af den nationale emissionsopgørelse for brændeovne og den geografiske fordeling af emissionerne (Plejdrup et al., 2016) vurderes usikkerheden fortsat at være betydelig, især i forhold til andre kilder som fx vejtransport.

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. Der sker en dannelse af SOA ud fra NMVOC-emissioner fra brændeovne. Noget af omdannelsen sker så hurtigt (fx indenfor 30 meter fra skorstenen), at de næsten kan betragtes som en primær udledning, mens anden SOA dannelse sker meget mere langsomt på regional skala, og de er ikke med i DEHM. NMVOC-emissioner og NMVOC-kemi er med i DEHM for ozondannelse, men der er endnu ikke et operationelt modul for dannelse af SOA. Noget af SOA bliver taget med som primære emissioner pga. målemetoden for brændeemissioner, men en anden del er ikke med, og som bliver dannet på større skala. Yderligere diskussion heraf kan findes i Olesen et al. (2010) og Seljeskog et al. (2013).

Vejtrafik

Den anden vigtigste lokale kilde i Aarhus Kommune er vejtrafik.

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.

Gadekoncentrationerne i Aarhus Kommune er som i resten af landet i Luften på din vej baseret på trafikdata fra Landstrafikmodellen. Aarhus Kommune har trafikdata på et mere detaljeret vejnet baseret på en lokal trafikmodel samt trafiktællinger, hvilket kunne give et mere retvisende billede af trafikforholdene i kommunen.

Anvendelse af produkter

Anvendelse af produkter (emissioner fra opløsningsmidler og emissioner fra industriens og befolkningens brug af produkter som fx kemikalier og maling) er der også knyttet væsentlige usikkerheder, men bidraget er lille.

Ikke-vejgående maskiner

Mobile kilder (ikke-vejgående maskiner mv.) er der også knyttet væsentlige usikkerheder til, men bidraget er meget beskedent. Der er tidligere foretaget 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.

9.3 Farlighed af partikler

Der er stor usikkerhed om, hvilken type af partikler (både størrelse og kemisk sammensætning), der giver de største helbredseffekter. På baggrund af det internationale videngrundlag kan man konkludere, at der er en klar sammenhæng mellem koncentrationen af partikler mindre end 2,5 mikrometer (PM_{2.5} opgjort som masse) i bybaggrunden og helbredseffekter. Med den nuværende viden kan der ikke kvantitativt skelnes mellem helbredseffekterne af partikler med forskellige størrelse og kemisk sammensætning, og derfor er de behandlet ens i beregningerne. Dvs. det er antaget at partikler har samme helbredseffekt uanset størrelse og kemisk sammensætning.

Pt. mangler der specielt viden omkring betydningen for helbredseffekter af ultrafine partikler (partikler under 100 nm) og om betydningen af helbredseffekter fra korttidseksponering af høje koncentrationer af luftforurening, fx i gader. Da de ultrafine partikler er et lokalt fænomen og helbredseffekter fra korttidseksponering typisk foregår i gaderum med højere koncentrationer fra vejtrafik, vil ny viden på disse to områder sandsynligvis resultere i at bidraget fra kilder i Aarhus Kommune til helbredseffekterne indenfor Aarhus Kommune vil blive større end de nuværende 8%, som er beregnet i indeværende rapport. Dette er under forudsætning af, at det viser sig, at der er signifikante helbredseffekter af ultrafine partikler og fra korttidseksponering af PM_{2.5}.

Nyere studier tyder på (Rohr & Wyzga 2012), at de kulstofholdige partikler (fx primært emitteret fra vejtrafik og brændeovne) er mere helbredsskadelige 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). Disse indikationer peger i retning af at kulstofholdige partikler (BC/EC og SOA) er mere skadelige end partikler som gennemsnit. Hvis dette viser sig at være rigtigt, vil det betyde, at de lokale kilder indenfor Aarhus Kommune vil give et større bidrag til helbredseffekter og de relaterede eksterne omkostninger i Aarhus Kommune end de nuværende 8%. Det vil dog ikke ændre på konklusionen, at brændeovne og vejtrafik vil være de største bidragsydere til helbredseffekterne i Aarhus Kommune fra kilder indenfor Aarhus Kommune, da disse to emissionssektorer allerede er de primære kilder til både kulstofholdige partikler og ultrafine partikler.

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 (især 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).

Endvidere har verdenssundhedsorganisationen WHO i 2012 klassificeret dieseludstødning som kræftfremkaldelse (gruppe 1) mod tidligere sandsynligvis kræftfremkaldende (gruppe 2A).

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

9.4 Geografisk opløsning

Den geografiske opløsning af modelsystemet har betydning for beregning af konsekvenser fra især lokale kilder som fx vejtrafik og brændeovne. Ved en lav geografisk opløsning vil helbredseffekterne blive underestimeret for en befolkningsgruppe, der bor tæt på lokale kilder. Det skyldes, at koncentrationerne er større her end modellen beregner. Modsat vil modellen overestimere for dem, som bor længere væk fra kilderne. Netop dette er der taget højde for med en geografisk opløsning i modellen på 1 km x 1 km i EVA-systemet.

Befolkningseksponering er bestemt med en opløsning på 1 km x 1 km med bybaggrundskoncentrationen som indikator, men det kunne tænkes, at endnu højere geografisk opløsning som gadekoncentrationer ved adressen

med tilhørende højere opløsning i koncentrationsberegningerne (fx integration af gademodeller) ville give endnu mere pålidelige resultater. Man kunne også tage højde for at personer i etagelejligheder bor i forskellig højde, og derfor har forskellig eksponering ved bopælen. 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 eksponerings-respons sammenhænge dog ikke fuldstændigt nok til at kvantificere alle de helbredseffekter for en befolkning på grundlag af eksponering på adresse-niveau, selvom der er lavet en del studier med adressen som indikator for eksponering.

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.

Brandt, J., Jensen, S.S., Andersen, M.S., Plejdrup, M.S., Nielsen, O.K. (2016a): Helbredseffekter og helbredsomkostninger fra emissionssektorer i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 47 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 182. <http://dce2.au.dk/pub/SR182.pdf>

Brandt, J., Andersen, M. S., Bønløkke, J. H., Christensen, J. H., Ellermann, T., Hansen, K. M., Hertel, O., Im, U., Jensen, A., Jensen, S. S., Ketzel, M., Nielsen, O.-K., Plejdrup, M. S., Sigsgaard, T., Geels, C. (2016b): Helbredseffekter og eksterne omkostninger fra luftforurening i Danmark over 37 år (1979-2015). *Miljø og sundhed*, 22. årgang, nr. 1, september 2016.

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., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling, A. & Jensen, S.S. (2016): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2015. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 65 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 201. <http://dce2.au.dk/pub/SR201.pdf>

European Environmental Agency (2016): Air quality in Europe – 2016 report. EEA Report No 28/2016. ISSN 1977-8449.

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., Ellermann, T., Christensen, J. (2010): Information om forureningens oprindelse for NO_x som input til luftkvalitetsplan for NO₂. Danmark Miljøundersøgelser, 10. november 2010. Notat til Miljøstyrelsen. 20 s.

Jensen, S.S., Ketzel, M., Nøjgaard, J. K. & Becker, T. (2011): Hvad er effekten af miljøzoner for luftkvaliteten? - Vurdering for København, Frederiksberg, Aarhus, Odense, og Aalborg. Slutrapport. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet 110 s. -Faglig rapport nr. 830. <http://www.dmu.dk/Pub/FR830.pdf>.

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/SR57.pdf>.

Jensen, S.S, Ketzel, M., Becker, T., Christensen, J., Brandt, J., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, O.-K., Hertel, O., Ellermann, T. (2017): High Resolution

Multi-scale Air Quality Modelling for All Streets in Denmark. Transportation Research Part D: Transport and Environment 52 (2017) 322–339.

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://www.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>

Plejdrup, M.S. & Gyldenkerne, 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>.

Plejdrup, M.S., Nielsen, O.-K., Brandt, J. (2016): Spatial emission modelling for residential wood combustion in Denmark. Atmospheric Environment 144 (2016) 389-396.

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

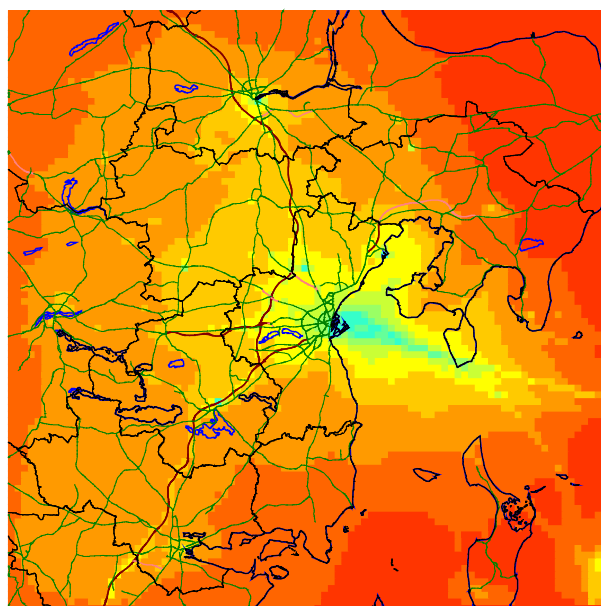
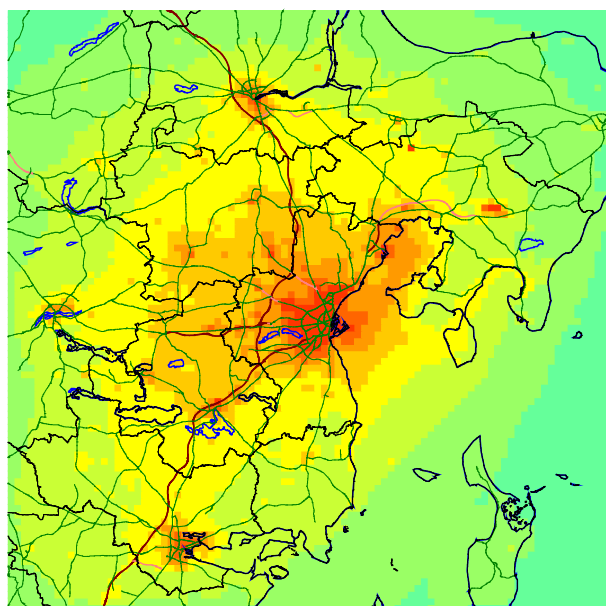
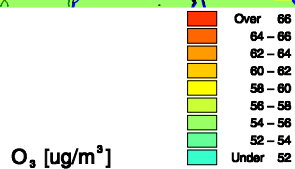
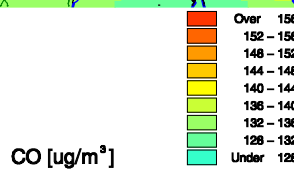
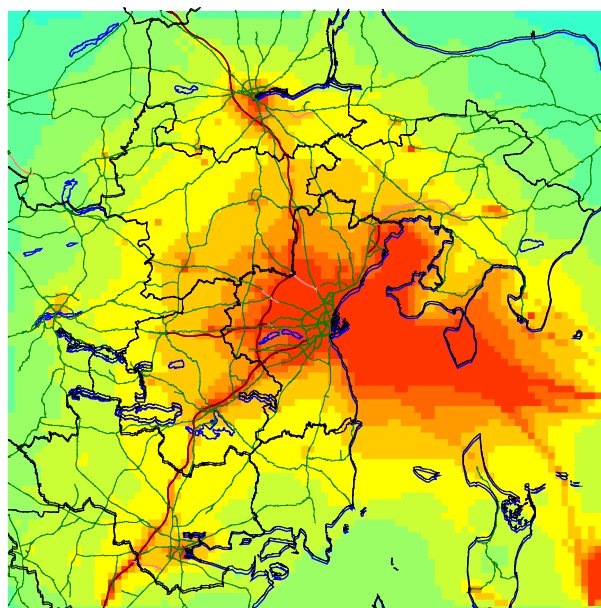
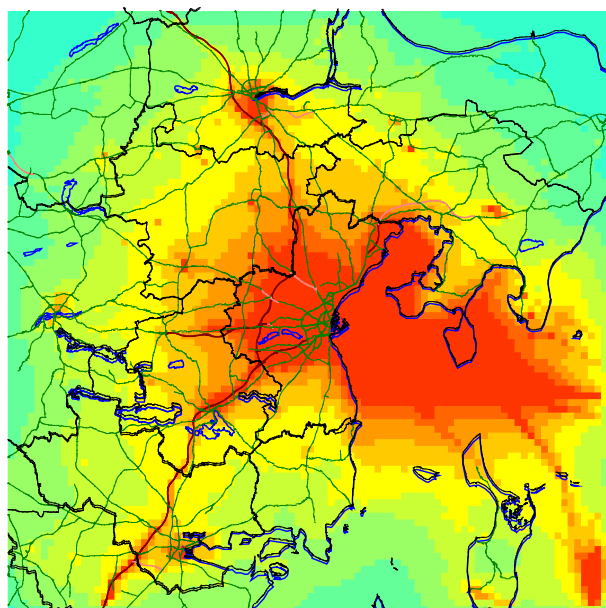
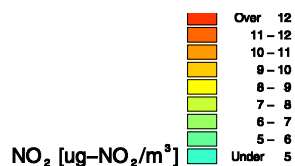
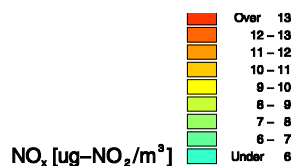
Seljeskog, M., Goile, F., Sevault, A. (2013): Particle emission factors for wood stove firing in Norway. 66 p., SINTEF.

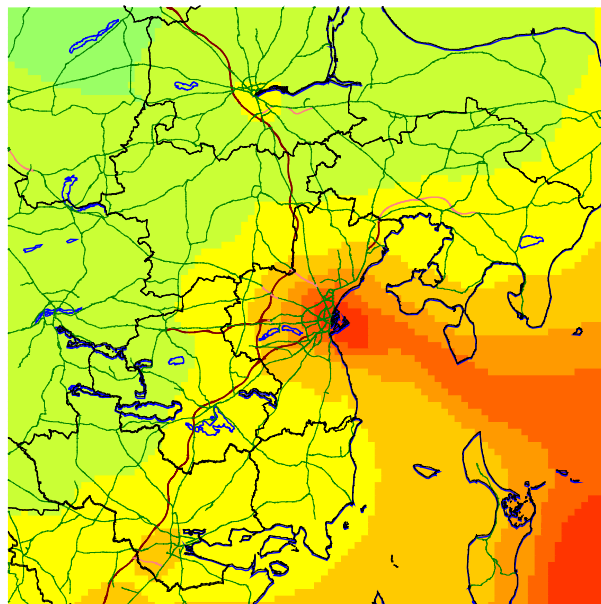
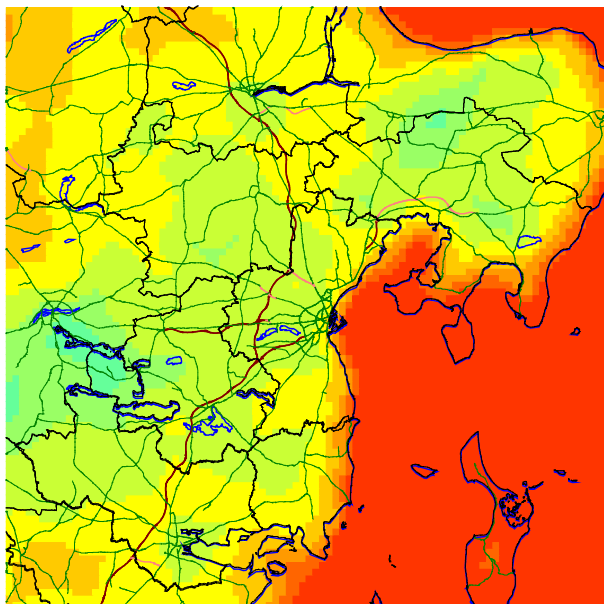
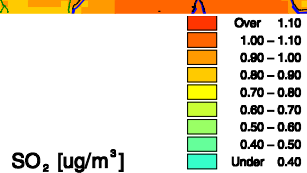
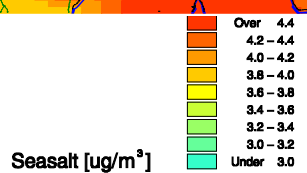
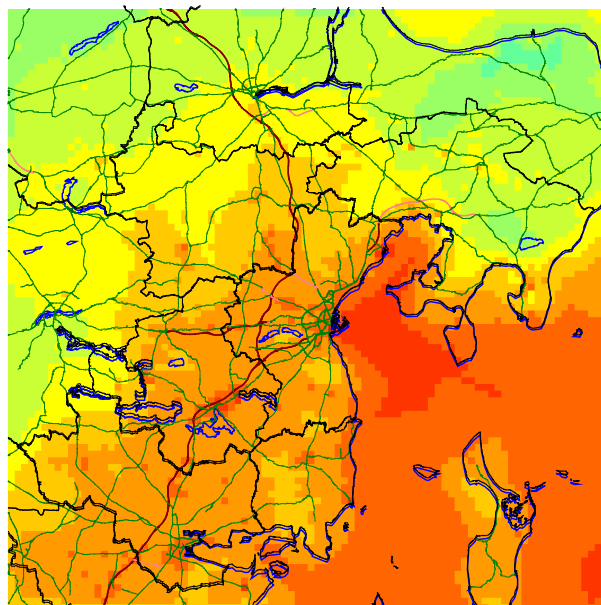
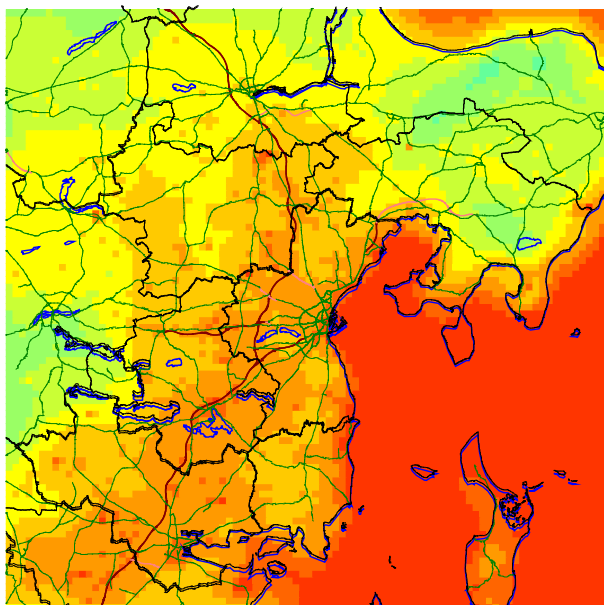
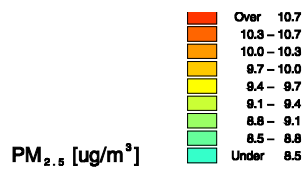
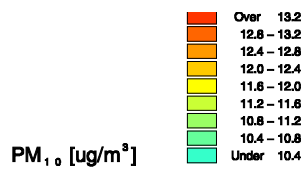
Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers, 2005: A description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR Tech Notes-468+STR.

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.

Bilag 1 Koncentrationsfordeling i modelområdet

Årsmiddelkoncentrationer af baggrundskoncentration på 1 km x 1 km gitter i hele modelområdet for 2014 beregnet med DEHM/UBM er vist i nedenstående figurer for NO_x, NO₂, CO, ozon, PM₁₀, PM_{2.5}, havsalt og SO₂.





HELBREDSEFFEKTER OG RELATEREDE EKSTERNE OMKOSTNINGER AF LUFTFORURENING I AARHUS KOMMUNE

Rapporten estimerer helbredseffekter og eksterne omkostninger relateret til luftforurening i Aarhus Kommune ved hjælp af det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution). EVA-systemet beregner helbredseffekter og relaterede eksterne omkostninger baseret på informationer om forureningskilder og deres placering, transport og spredning af luftforurening samt eksponering af befolkningen, eksponering-respons sammenhænge mellem eksponering og helbredseffekter samt værdisætning af helbredseffekterne, også kaldet eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening. Rapporten beskriver også koncentrationsfordelingen af baggrundskoncentrationer og gadekoncentrationer, og hvordan emissionskilderne bidrager til koncentrationer, samt hvor meget emissionskilderne bidrager til helbredseffekterne og de eksterne omkostninger.