

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift

Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet

(Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

www.trafikdage.dk/artikelarkiv



Kortlægning af og virkemiddelkatalog for luftforurening fra trafik i Region Hovedstaden

Steen Solvang Jensen (ssj@envs.au.dk), Jørgen Brandt (jbr@envs.au.dk), Jesper Heile Christensen (jc@envs.au.dk), Camilla Geels (cag@envs.au.dk), Matthias Ketzler (mke@envs.au.dk), Marlene Schmidt Plejdrup (msp@envs.au.dk), Morten Winther (mwi@envs.au.dk), Ole-Kenneth Nielsen (okn@envs.au.dk), Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab, Roskilde

Abstrakt

Region Hovedstaden har en målsætning om at reducere støj og luftforurening fra vejtransport frem mod 2025. På den baggrund igangsatte Region Hovedstaden en kortlægning af støj og luftforurening fra trafik, og en undersøgelse af forskellige virkemidler til at reducere støj- og luftforurening. Projektet har været ledet af COWI, som står for støjdelen, mens DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi står for luftdelen udført af Institut for Miljøvidenskab ved Aarhus Universitet.

Kortlægning af luftforureningen i Region Hovedstaden er baseret på eksisterende luftkvalitetsmodeller og målinger fra det nationale måleprogram for luftkvalitet. Koncentrationsniveauer sammenlignes med EU's grænseværdier for luftkvalitet og verdenssundhedsorganisationen WHO's retningslinjer for luftkvalitet. Endvidere gennemføres en kildeopgørelse, som opsummerer, hvor meget de enkelte emissionssektorer herunder vejtransport bidrager til den samlede emission og til luftkvaliteten. Helbredseffekter og tilhørende samfundsmæssige omkostninger af luftforureningen beregnes også. Beregningerne er fortaget for 2014 og 2025.

En lang række virkemidler for vejtransport er gennemgået med henblik på at kvantificere effekten i forhold til luftforurening. Virkemidler omfatter bl.a. skærpede miljøzoner i de større byer, øget andel af elektriske transportmidler, vej- og trængselsafgifter samt alternative drivmidler.

1. Introduktion

Luftforurening har en række negative effekter på menneskers helbred samt for klima og miljø, hvilket er forbundet med betydelige samfundsmæssige omkostninger.

Den Regionale Vækst- og Udviklingsstrategi (ReVUS) indeholder en generel målsætning om, at støj- og luftforurening skal reduceres. Derudover indeholder strategien en specifik målsætning om, at støj- og luftforurening, der stammer fra transportsektoren, inden 2025 skal reduceres med 40% i Region Hovedstaden. Som konsekvens af disse målsætninger igangsatte Region Hovedstaden et arbejde, der dels skulle kortlægge luftforurening fra trafik, brænde ovne mv. og støj fra trafik og jernbane i Region Hovedstaden, og dels skulle identificere muligheder for at reducere henholdsvis luft- og støjforurening.

Region Hovedstaden har fået udført en kortlægning af og virkemiddelkatalog for både støj og luftforurening i Region Hovedstaden. Luftdelen af projektet er afrapporteret i en kortlægningsrapport (Jensen et al., 2018a) og i en rapport om virkemiddelkatalog (Jensen et al., 2018b), samt opsummeret i en hovedrapport om både luft og støj i COWI (2018).

2. Metode og forudsætninger

2.1 Luftkvalitetsvurdering

I undersøgelsen er anvendt data fra den nationale emissionsopgørelse (Nielsen et al., 2017; Winther et al. 2015) samt geografisk distribution af emissionsdata på 1 km x 1 km gitternet i Danmark som input til luftkvalitetsmodeller (Plejdrup et al., 2011).

Kortlægning af luftkvaliteten i Region Hovedstaden er baseret på data fra *Luften på din vej*, som integrerer luftkvalitetsmodeller på forskellige skalaer (en regional model, en bybaggrundsmodel og en gademodel), og resultaterne er relateret til grænseværdier for NO₂ (kvælstofdioxid), PM_{2,5} (massen af partikler under 2,5 mikrometer) og PM₁₀ (massen af partikler under 10 mikrometer). Luftkvalitetsdata er beregnede koncentrationer for 2012 baseret på en regional model - DEHM (Danish Eulerian Hemispheric Model; Christensen et al., 1997), en bybaggrundsmodel - UBM (Urban Background Model; Berkowicz, 2000) og gadeluftkvalitetsmodel - OSPM (Operational Street Pollution Model; Kakosimos et al., 2011). AirGIS systemet understøtter beregninger på mange lokaliteter ved at generere inputdata til OSPM ud fra GIS-vejnet med trafikdata, GIS-lag med bygninger med bygningshøjder, samt GIS-lag med adressepunkter (Jensen et al., 2001; Ketzler et al., 2011). *Luften på din vej* er nærmere beskrevet i Jensen et al. (2017) og hjemmeside med luftkvalitetsdata kan ses på <http://luftenpaadinvej.au.dk>.

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. Bybaggrundskoncentrationen beregnes med UBM, hvor DEHM leverer det regionale bidrag. Bybaggrundskoncentrationer afskiller 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. Bidraget fra trafikken i gader er beregnet med gadeluftkvalitetsmodellen OSPM.

Beregningsåret er 2014, som er det seneste år, hvor der findes opdaterede emissioner for Danmark på 1 km x 1 km opløsning, da projektet blev gennemført. Endvidere er der lavet beregninger for 2025 baseret på den forventede emissionsudvikling.

I forbindelse med udviklingstendenser i luftkvaliteten er der anvendt data fra det landsdækkende overvågningsprogram for luftkvalitet fra 2012 til 2016 (Ellermann et al., 2017).

2.2 Kildeopgørelse

En kildeopgørelse beskriver emissionerne fra alle kilder i Region Hovedstaden herunder vejtransport, og kildernes koncentrationsbidrag til bybaggrundskoncentrationen beregnet med DEHM og UBM.

Endvidere foretages en detaljeret kildeopgørelse for udvalgte gader i København, hvor emissionen opgøres for køretøjskategorier, og deres bidrag til koncentrationen af NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ er beregnet med OSPM.

2.3 Helbredseffekter og samfundsmæssige omkostninger

Estimering af helbredseffekter og eksterne omkostninger relateret til luftforurening i Region Hovedstaden er beregnet ved hjælp af det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution) og underopdelt på 10 hovedemissionssektorer, hvoraf vejtransport er én blandt disse hovedemissionssektorer. DEHM og UBM er også en del af EVA-systemet. EVA-systemer er nærmere beskrevet i *Brandt et*

al. (2011a,b; 2013a,b; 2016a,b). Helbredseffekter er luftforurening er nærmere redegjort for i *Ellermann et al.* (2014).

2.4 Virkemidler over for trafik

En systematisk oversigt over virkemidler for vejtrafik er tilvejebragt ud fra eksisterende litteratur, og disse er overordnet effektvurderet ud fra eksisterende undersøgelser samt kildeopgørelse og koncentrationsbidrag udarbejdet som en del af kortlægningen i nærværende undersøgelse.

3. Resultater og diskussion

3.1 Luftkvalitetsvurdering

Udviklingen i luftkvaliteten i Region Hovedstaden følges ved hjælp af det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet fra fem permanente målestationer.

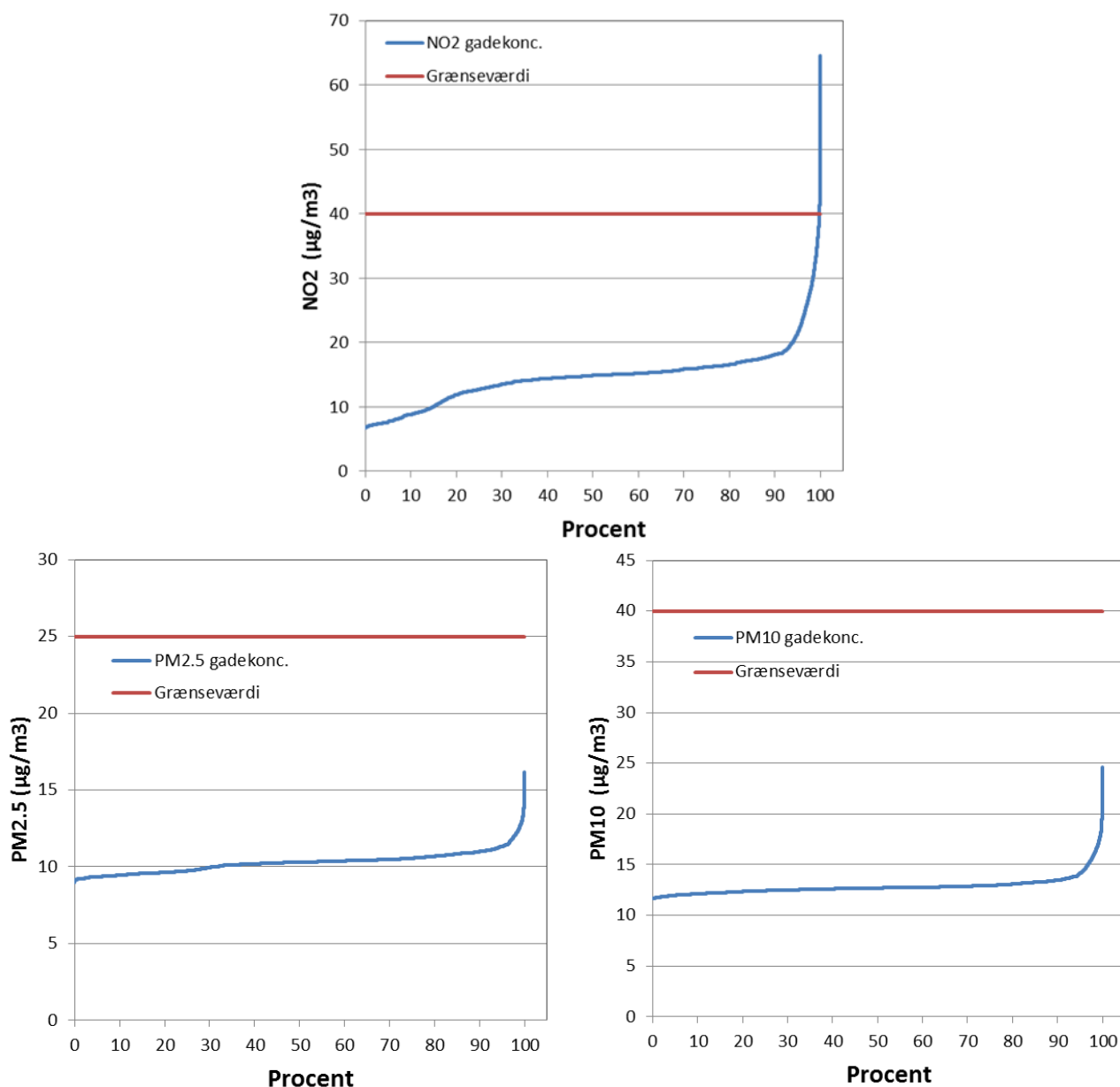
Det drejer sig om to gadestationer ved henholdsvis H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København, en bybaggrundsstation på taget af H.C. Ørsted Institutet og en bybaggrunds- og forstadsstation i Hvidovre samt en regional baggrundsstation i Lille Valby-Risø ved Roskilde.

De seneste måleresultater fra overvågningsprogrammet fra 2016 viste kun overskridelser af grænseværdien for årsmiddelværdien for NO₂ målt på H.C. Andersens Boulevard, som er Danmarks mest befærdede bygade (Ellermann et al, 2017). I 2017 var der ikke længere overskridelse af grænseværdien på H.C. Andersens Boulevard efter at målestationen blev flyttet omkring 3 meter i slutningen af 2016 for at genetablere afstanden mellem trafikken og målestationen, og dermed kompensere for en tidligere vejbaneomlægning (Ellermann et al., 2018).

Målinger er dyre og gennemføres kun få steder. Modelberegninger muliggør vurdering af luftkvaliteten på steder, hvor der ikke gennemføres målinger. Sådanne modelberegninger er gennemført for alle adresser i Region Hovedstaden, som del af en kortlægning af luftkvaliteten på alle adresser i Danmark. Disse modelberegninger viste, at der kunne forventes overskridelser af grænseværdien for NO₂ på mange flere trafikerede gader i Københavnsområdet. Siden modelberegningerne er gennemført (2012) kan der dog forventes et fald i antallet af beregnede overskridelser, da overvågningsprogrammet viser, at koncentrationerne af NO₂ er faldet ligesom PM_{2.5} og PM₁₀ er faldet.

Denne tendens understøttes også af modelberegninger gennemført i forbindelse med denne kortlægning, som viser et forventet fald i koncentrationerne fra 2014 til 2025.

Den statistiske fordeling af gadekoncentrationer i 2012 for hhv. NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀ er vist i Figur 3.1. Figuren viser en akkumuleret fordelingsfunktion, som for et givet koncentrationsniveau viser, hvor mange procent af de beregnede koncentrationer, som ligger under denne værdi. For eksempel for NO₂ ligger 94% af alle gadekoncentrationer på adresser i Region Hovedstaden under 20 µg/m³, og 6% over denne værdi.



Figur 3.1 Statistisk fordeling af gadekoncentrationer i 2012 i Region Hovedstaden for hhv. NO₂ (øverst), PM_{2.5} (til venstre) og PM₁₀ (til højre).

De grænseværdier, der er omtalt ovenfor, gælder for udendørs luftforurening, og de er fastsat af EU og implementeret i danske bekendtgørelser. Selvom EU's grænseværdier blev overholdt ville der stadigvæk være væsentlige helbredseffekter af luftforurening, og det er derfor vigtigt fortsat at have fokus på forbedring af luftkvaliteten for at forbedre folkesundheden.

Verdenssundhedsorganisationen WHO har opstillet retningslinjer for luftkvalitet, og de kan betragtes som anbefalinger til forbedring af luftkvaliteten, hvor der opnås en mindre helbredsbelastning for befolkningen end for EU's grænseværdier.

WHO's retningslinjer adskiller sig fra EU's grænseværdier for PM_{2.5} og PM₁₀ ved at stille endnu strengere krav til luftkvaliteten. For PM_{2.5} er WHO's retningslinjer mindre end halvdelen af EU's grænseværdi (dvs. 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mens de for PM₁₀ er halvdelen (dvs. 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). For NO₂ er både EU's grænseværdi og WHO's retningslinje det samme (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Såfremt WHO's retningslinjer blev overholdt ville det betyde en væsentlig mindre helbredsbelastning for befolkningen. Men selvom WHO's retningslinjer for PM_{2.5} blev overholdt, måtte man stadigvæk forvente helbredseffekter af luftforurening, fordi WHO ikke arbejder med en nedre grænse for helbredseffekter af partikler.

I Tabel 3.1 sammenlignes målte koncentrationer fra 2016 i Københavnsområdet med EU's grænseværdier og WHO's retningslinjer for luftkvalitet. Målinger stammer fra det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet (Ellermann et al., 2017). EU's grænseværdier er gældende lovgivning i Danmark via implementering i danske bekendtgørelser, og Miljøstyrelsen har ansvaret for at grænseværdierne overholdes. Såfremt grænseværdierne overskrides, skal der udarbejdes en luftkvalitetsplan, som anviser, hvordan og hvornår overskridelsen bringes til ophør. Verdenssundhedsorganisation (WHO) har fremsat nogle retningslinjer for luftkvalitet (air quality guidelines). Disse retningslinjer er ikke juridisk bindende, og kan betragtes som anbefalinger til verdens lande.

Tabel 3.1 Sammenligning mellem EU-grænseværdier og WHO-retningslinjer og målte koncentrationer i København i 2016

Stof	EU-grænseværdi (µg/m ³)	WHO-retningslinjer (µg/m ³)	Målt på målestationer i 2016 (µg/m ³)		
			Trafikerede gader	Bybaggrund (hustag)	Landområder
PM _{2.5}	Årsmiddel (25)	Årsmiddel (10)	13-15	10	9
PM ₁₀	Årsmiddel (40)	Årsmiddel (20)	23-28	15	14
NO ₂	Årsmiddel (40)	Årsmiddel (40)	33-47 ^a	15	7

^aKun overskridelse af EU-grænseværdi på H.C. Andersens Boulevard i København i 2016. Interval dækker over de to gadestationer. I 2017 var årsmiddelværdien 38 µg/m³ på H.C. Andersens Boulevard, og grænseværdien var ikke overskredet.

Målestationer i trafikerede gader er H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København, bybaggrunds-målingen er foretaget på taget af H.C. Ørstedsinstituttet, og for landområder er det en målestation ved Risø nord for Roskilde.

Mht. overskridelse af EU's grænseværdier for luftkvalitet er det kun NO₂ som årsmiddelværdi som overskrides i 2016, hvilket sker på H.C. Andersens Boulevard i København, som er en af Danmarks mest befærdede bygader. I 2017 var den ikke overskredet. WHO's retningslinjer er lidt under halvdelen af EU's grænseværdier for PM_{2.5} og halvdelen for PM₁₀, mens de er ens for NO₂.

I forhold til WHO's retningslinjer for PM_{2.5} ses, at retningslinjerne er overskredet i gadeniveau i 2016, tangeret i bybaggrund men ikke overskredet i landområder. WHO's retningslinjer for PM₁₀ er kun overskredet i gaderne.

Målte værdier overskrider også WHO's retningslinjer for NO₂ på H.C. Andersens Boulevard i 2016 men ikke i 2017.

3.2 Kildeopgørelse

Når der ses på den samlede emission fra danske kilder er vejtransport den største kilde til forurening af NO_x mens brændeovne og pillefyr mv. er den største kilde for partikler. Dette gælder både i 2014 og 2025. For NO_x, PM₁₀ og PM_{2.5} forventes de totale emissioner at blive reduceret med henholdsvis 33%, 12% og 18% fra 2014 til 2025.

Ved hjælp af luftkvalitetsmodeller kan man beregne, hvor meget emissionen fra forskellige emissionskilder bidrager til forværring af luftkvaliteten. På denne måde kan man beregne, hvor meget de enkelte emissionskilder bidrager med. Dette kaldes kildebidraget, og er beregnet som koncentrationsbidraget fra emissionskilder i Region Hovedstaden til gennemsnitskoncentrationen over Region Hovedstaden. Dette er et udtryk for, hvor mange mikrogram forurening pr. kubikmeter de enkelte emissionskilder i Region Hovedstaden bidrager med.

Disse beregninger viser, at de to største lokale emissionskilder i Region Hovedstaden er vejtransport og brændeovne. Hvis vi alene ser på den procentvise fordeling af de lokale emissionskilder inden for Region

Hovedstaden, så bidrager vejtransport med omkring 59% for NO₂ og med 19% og 17% for henholdsvis PM₁₀ og PM_{2.5}. Tilsvarende bidrager brændeovne med omkring 4% for NO₂ og 49% og 63% for henholdsvis PM₁₀ og PM_{2.5}. Vejtransport bidrager således mest til NO₂ og brændeovne mest til partikler.

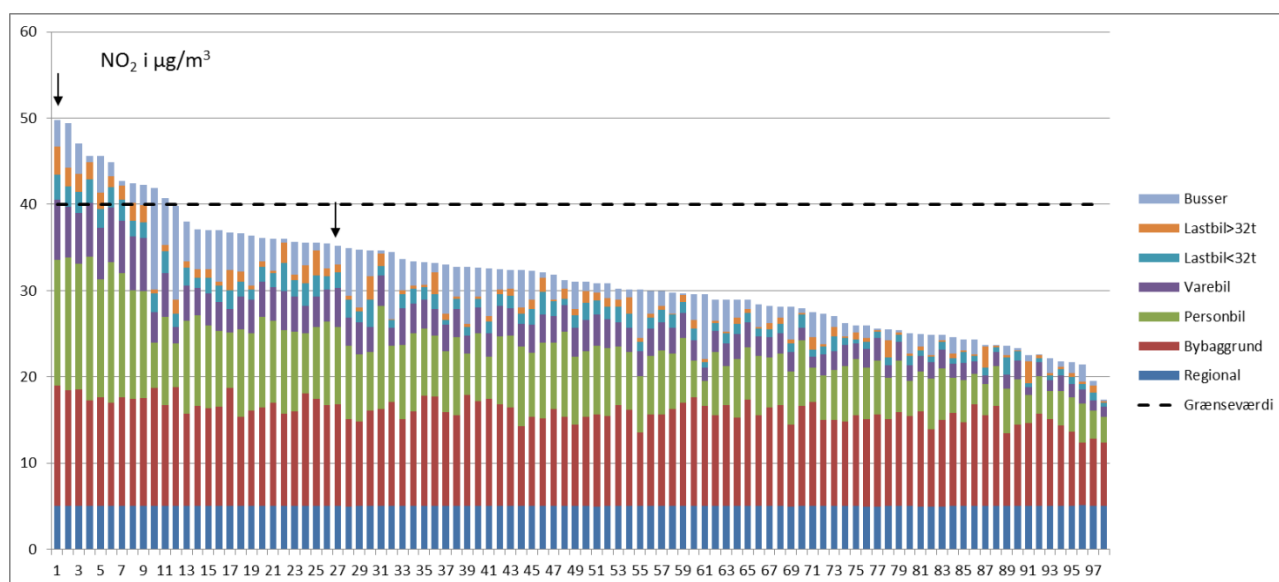
Det er ikke kun emissionskilder i Region Hovedstaden, som forværrer luftkvaliteten i Region Hovedstaden, men også luftforurening som transporteres til Region Hovedstaden fra emissionskilder uden for Region Hovedstaden fra det øvrige Danmark og Europa. Hvis vi ser på de bidrag, der blæser *ind over* den ydre regionsgrænse af Region Hovedstaden, udgør disse bidrag omkring 90% af gennemsnits-koncentrationen over Region Hovedstaden for PM₁₀ og 91% for PM_{2.5}. Det betyder omvendt, at henholdsvis 10% og 9% stammer fra emissionskilder i Region Hovedstaden. Med til billedet hører, at emissioner fra Region Hovedstaden også bidrager til helbredseffekter uden for Region Hovedstaden.

3.3 Kildebidrag til gadekoncentrationer

Der er gennemført beregninger af kildebidrag til NO₂-koncentrationen fordelt på køretøjskategorier for 98 gader i København i 2014 dvs. samme gader, som indgår i den nationale overvågning af luftkvalitet (Ellermann et al., 2015). For hver gade er beregnet gadekoncentrationen, som består af et bidrag fra regional baggrund (beregnet med DEHM), et bidrag fra byens emissioner (beregnet med UBM) og et bidrag fra trafikemission i de pågældende gader (beregnet med OSPM). Det koncentrationsbidrag som trafikken i en gade giver anledning til kaldes gadebidraget, dvs. gadekoncentrationen minus bybaggrundskoncentrationen. Gadebidraget er opdelt på person-, vare-, lastbiler samt busser ud fra emissionen fra disse beregnet med OSPM's emissionsmodul på baggrund af oplysninger om køretøjsfordeling og rejsehastighed samt emissionsfaktorer i COPERT-emissionsmodellen. Lastbiler er yderligere underopdelt i lastbiler under 32 ton og lastbiler over 32 ton. I de få tilfælde, hvor der foreligger oplysninger om taxi, er de regnet som personbiler.

Størrelsen af gadebidraget afhænger primært af årssdøgnetrafikken, men også af køretøjsfordelingen, rejsehastigheden og gadegeometrien. Den gennemsnitlige køretøjsfordeling for de 98 gader er 80% personbiler, 15% varebiler, og 5% lastbiler og busser. Da køretøjsfordelingen er forskellig fra gade til gade vil der også være forskelle i kildefordelingen fra gade til gade.

Figur 3.2 viser kildeopgørelsen for NO₂ i 2014 for 98 udvalgte gader i København.



Figur 3.2 Kildebidrag til NO₂-koncentrationen fordelt på køretøjskategorier for 98 gader i København i 2014. Pile markerer målestationer. Højeste koncentration er ved målestation på H.C. Andersens Boulevard. Den anden målestation er på Jagtvej, som har den 27. højeste koncentration ud af de 98 gader.

Hvis vi betragter gadebidraget er det generelle billede for NO₂, at personbiler bidrager mest. Herefter bidrager hver af køretøjskategorierne: varebil, lastbil og bus med omtrent lige meget, men det svinger fra gade til gade afhængig af køretøjsfordelingen for især den tunge trafik. I gennemsnit bidrager personbiler 48% af gadebidraget, varebiler med 20%, lastbiler med 15% og busser med 17%. Den tunge trafik (lastbiler og busser) bidrager således med omkring 33%. På trods af at lastbiler og busser kun udgør 5% af trafikken bidrager de relativt meget, da emissionsfaktorerne for lastbiler og busser er omkring 10 gange højere i gennemsnit end for person- og varebiler.

Bidraget fra busser er faldet siden 2014 med eftermontering af SCRT (kombineret NO_x-katalysator og partikelfilter) på omkring 300 bybusser i København (Jensen et al., 2016).

Den højeste gadekoncentration på omkring 50 µg/m³ er for H.C. Andersens Boulevard i 2014, hvor der også er en målestation. Den anden målestation er på Jagtvej, som har den 27. højeste koncentration ud af de 98 gader, og som ikke overskrider grænseværdien på 40 µg/m³.

For 2014 er der i alt beregnet 11 overskridelser af grænseværdien på 40 µg/m³. Dette er faldet til nul i 2017 (Ellermann et al., 2018).

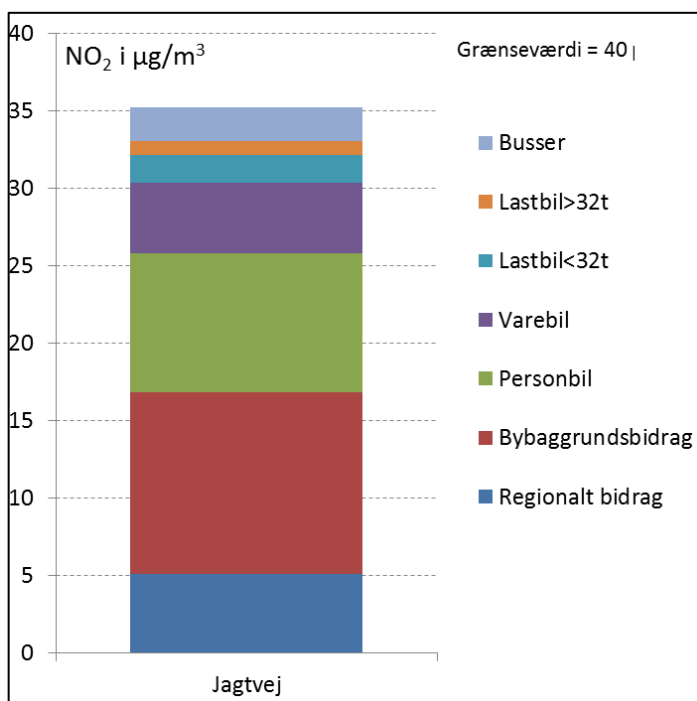
Det regionale bidrag beregnet med DEHM er omkring 5 µg/m³, mens bybaggrundsbidraget er omkring 8-13 µg/m³, således at bybaggrundskoncentrationerne varierer mellem 13 og 18 µg/m³. Resten op til gadekoncentrationen er gadebidraget i de pågældende gader. Gadebidraget varierer fra 5 til 32 µg/m³.

3.4 Detaljeret kildeopgørelse for Jagtvej

En mere detaljeret kildeopgørelse er givet for Jagtvej, som er en af gaderne med en målestation i København. Denne gade repræsenterer samtidig en gade med relativt meget trafik, og som dermed er meget repræsentativt for trafikerede gader i København.

Kildeopgørelse for NO₂ på Jagtvej

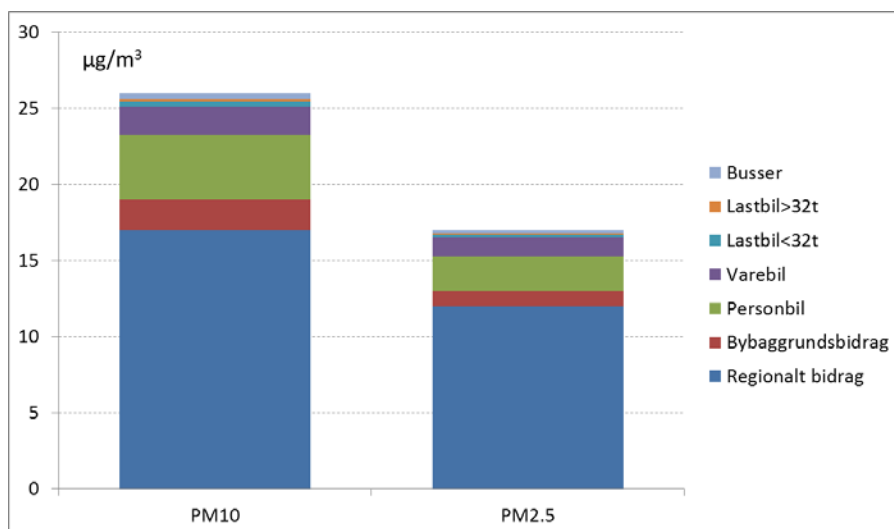
Kildeopgørelse for hovedkøretøjskategorierne er vist for NO₂ i Figur 3.3 for Jagtvej. Kildeopgørelsen for hovedkøretøjskategorierne følger i hovedtræk gennemsnittet for de 98 gader, da køretøjsfordelingen på Jagtvej ligger forholdsvis tæt på den gennemsnitlige køretøjsfordeling.



Figur 3.3. Kildebidrag for NO₂ for Jagtvej i 2014.

Kildeopgørelse for partikler på Jagtvej

I Figur 3.4 er vist en kildeopgørelse for PM₁₀ og PM_{2.5} for Jagtvej. Det ses, at det regionale bidrag er meget stort for både PM₁₀ og PM_{2.5}. Gadebidraget er omkring 7 µg/m³ for PM₁₀ og omkring 4 µg/m³ for PM_{2.5}.



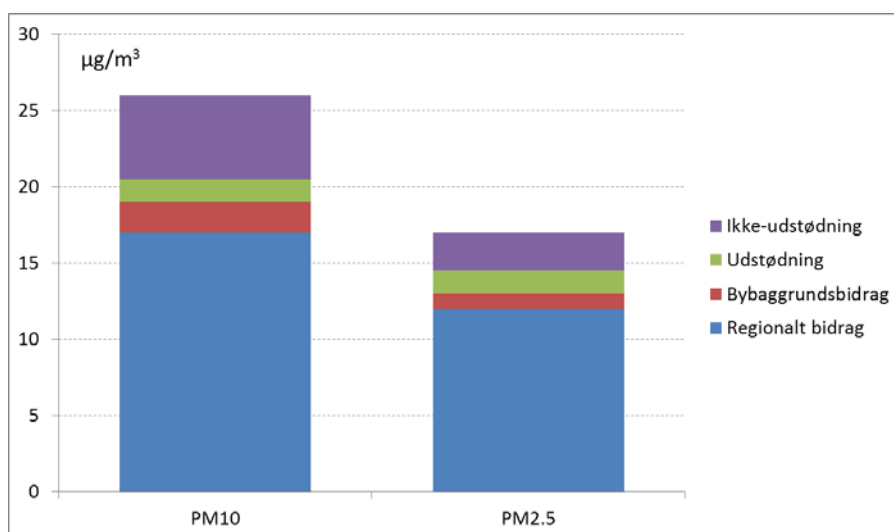
Figur 3.4. Kildebidrag for PM₁₀ og PM_{2.5} for Jagtvej i 2014.

Den procentvise fordeling af gadebidraget er vist i Tabel 3.2 for de forskellige køretøjskategorier.

Tabel 3.2. Procentvis fordeling af gadebidraget på køretøjskategorier for PM₁₀ og PM_{2.5} (%)

	Personbil	Varebil	Lastbil<32t	Lastbil>32t	Busser	I alt
PM ₁₀	61	27	5	2	6	100
PM _{2.5}	56	32	4	2	5	100

I Figur 3.5 er trafikens bidrag til PM₁₀ og PM_{2.5} underopdelt på udstødning og ikke-udstødning. Ikke-udstødning omfatter mekanisk dannede partikler fra vejslid, dækslid, bremseslid samt ophvirvling heraf (Ketzel et al., 2003). Ikke-udstødningsdelen udgør langt den største del af partikelmassen fra trafikken. For PM₁₀ udgør udstødning omkring 21% og ikke-udstødning omkring 79%. For PM_{2.5} er det hhv. omkring 38% og 63%. Hvis eksempelvis al udstødning kunne fjernes (fx ved 100% elbiler) ville dette fjerne al udstødning, men ikke-udstødningsdelen må formodes at være den samme.



Figur 3.5. Kildebidrag for udstødning og ikke-udstødning for partikler for Jagtvej i 2014.

Partikeludstødningen er over tid blevet mindre som konsekvens af den løbende udskiftning af bilparken, som betyder, at flere og flere køretøjer får partikelfilter. Miljøzonerne med regulering af den tunge trafik har også bidraget hertil (Jensen et al. 2011).

3.5 Helbredseffekter og samfundsmæssige omkostninger

Helbredseffekter

I 2014 var udendørs luftforurening fra både danske og udenlandske forureningskilder årsag til 1.150 for tidlige dødsfald i Region Hovedstaden. Et for tidligt dødsfald svarer til omkring 10,6 tabte leveår. I 2025 forventes antallet af for tidlige dødsfald at være 1.010. Det er et fald på ca. 4% i forhold til 2014. Hovedårsagen til faldet er lavere PM_{2.5}-koncentrationer, da lidt højere ozonkoncentrationer og en større og ældre befolkning fører til flere for tidlige døde.

Der er mange flere tilfælde af sygelighed, end der er tilfælde af for tidlige dødsfald. I beregningerne gælder det kronisk bronkitis og gener for børn og voksne med astma, hospitalsindlæggelser i forbindelse med luftvejslidelser og blodprop i hjernen, tilfælde af hjertesvigt, lungekræft samt mange med nedsat aktivitet, der kommer til udtryk som sygedage.

Det er undersøgt, hvor meget de lokale emissionskilder i Region Hovedstaden bidrager til helbredseffekterne i Region Hovedstaden. Undersøgelsen viste, at der i 2014 var 122 for tidlige dødsfald, som kunne tilskrives emissionskilder i Region Hovedstaden, mens det er beregnet, at de lokale emissionskilder i 2025 vil medføre 105 for tidlige dødsfald.

Sættes dette i forhold til det totale antal af for tidlige dødsfald forårsaget af luftforurening fra danske og udenlandske kilder, så bidrager kilder i Region Hovedstaden til omkring 11% af alle for tidlige dødsfald i 2014 og til omkring 10% i 2025. Dette betyder omvendt, at omkring 90% af alle for tidlige dødsfald i Region Hovedstaden skyldes emissioner fra kilder uden for Region Hovedstaden.

De to største lokale kilder til for tidlige dødsfald er brændeovne (77 i 2014 og 67 i 2025) og vejtransport (23 i 2014 og 18 i 2025). Disse tal kan imidlertid være undervurderet. Nogle undersøgelser tyder nemlig på, at lokale kilder som vejtransport og brændeovne skal regnes med større vægt i vurderingen af de samlede helbredseffekter og dermed også i de samlede helbredsomkostninger (Gustafsson et al. 2014).

Beregninger for hele Danmark viser, at forureningsbidraget fra udlandet er årsag til omkring 75% af de for tidlige dødsfald i Danmark. Det betyder omvendt, at det danske forureningsbidrag er årsag til 25% af de for tidlige dødsfald. Bidrag fra danske emissioner til antallet af for tidlige dødsfald i Europa uden for Danmark anslås til at være omkring 2.280 tilfælde i 2016, hvorimod "Import" af luftforurening estimeres at betyde 2.730 for tidlige dødsfald i Danmark. Danske emissioner forårsager knap tre gange så mange for tidlige dødsfald i udlandet som i Danmark (Ellermann et al., 2017). Derfor kan det også forventes, at de lokale emissionskilder i Region Hovedstaden bidrager med flere for tidlige dødsfald uden for Region Hovedstaden, end de gør inden for Region Hovedstaden. Regulering af luftforurening fra emissionskilder i Region Hovedstaden medfører derfor gevinster både i og uden for Region Hovedstaden.

Samfundsmæssige helbredsomkostninger

De samfundsmæssige helbredsomkostninger af luftforurening kan beregnes ved hjælp af modeller, og betegnes eksterne omkostninger (EVA-systemet). De betegnes eksterne omkostninger, da de fleste af disse omkostninger ikke indgår i markedøkonomien.

Den samlede luftforurening fra danske og udenlandske emissionskilder medførte i 2014 eksterne omkostninger i Region Hovedstaden på omkring 9,5 milliarder kr. I 2025 vil dette beløb være faldet til 8,2 milliarder. Ser vi isoleret på emissionskilder i Region Hovedstaden medførte disse kilder totale eksterne

omkostninger på 0,85 mia. kr. i 2014 og 0,74 mia. kr. i 2025. De totale omkostninger er knyttet til helbredseffekter af PM_{2.5} og ozon, hvor PM_{2.5} bidrager med langt størstedelen.

De lokale emissioner i Region Hovedstaden bidrager med omkring 9% af de totale eksterne omkostninger fra alle danske og udenlandske kilder i både 2014 og i 2025. Det betyder omvendt, at omkring 91% af alle eksterne omkostninger i Region Hovedstaden stammer fra emissionskilder uden for Region Hovedstaden.

Som diskuteret ovenfor bidrager emissioner fra Region Hovedstaden også til helbredseffekter uden for Region Hovedstaden og dermed også til helbredsomkostninger uden for regionen.

3.6 Virkemidler over for trafik

Der er undersøgt en så lang række virkemidler for vejtrafik, at det ikke er muligt kort at sammenfatte alle undersøgelsens resultater. Nedenfor beskrives derfor de overordnede virkemidler, som vurderes at kunne reducere helbreds- og klimaskadelige emissioner væsentligt.

Elektrificering af transport

Elkøretøjer bidrager ikke med lokal helbredsskadelig luftforurening, og derfor vil de forbedre luftkvaliteten især i byerne. Desuden nedsætter elkøretøjer CO₂-emissionen markant, fordi CO₂-emissionen pr. energienhed er relativt lille for elproduktion (vind, sol, biomasse, kul mv.) i forhold til CO₂-emissionen pr. energienhed for fossile brændsler (benzin og diesel).

Endnu en årsag er, at elmotorer har højere energieffektivitet end forbrændingsmotorer. Desuden vil strømforbrug på sigt blive CO₂-neutral i takt med, at energiproduktionen omlægges til vedvarende energi. Der er også en mindre støjgevinst ved elkøretøjer, men kun ved lav hastighed, hvor dækstøj ikke er dominerende.

Ud fra et klimahensyn og ønsket om at begrænse luftforurening bør elektrificering af transport derfor fremmes. Det gælder også mulighederne for længere rækkevidde på batterierne og hurtigere opladning, flere køretøjstyper, som kan elektrificeres, mv. Da køb af elbil erstatter køb af en anden ny fossilbil, som skal opfylde den seneste Euro 6 emissionsnorm, er besparelsen kun den emission, som en Euro 6 bil bidrager med. Den fulde forureningsgevinst af elbiler vil derfor først materialisere sig, når fossilbilerne er udskiftet til elbiler eller til lignende biler med nuludslip.

Som busoperatør har Region Hovedstaden særlige muligheder for at fremme eldrift af buskørsel.

Skærpede miljøzoner i de største byer

Emission fra de enkelte køretøjer reguleres gennem euronormer, som er blevet skærpet over tid. Derfor har køretøjer, som opfylder den seneste Euro 6 norm, lavere emission end køretøjer, der opfylder tidligere euronormer. Der kan således opnås en betydelig emissionsgevinst ved at fremme hurtigere indfasning af nye euronormer eller ved at forbyde gamle euronormer. Det er dette, man kan udnytte i miljøzoner, hvor der inden for et afgrænset geografisk område stilles krav om, hvilke euronormer der må køre ind i zonen.

Effekten af de eksisterende danske miljøzoner for tunge køretøjer i de fire største byer er næsten forsvundet (Jensen et al. 2011). Det skyldes den almindelige løbende udskiftning af køretøjerne. For at få en emissionsgevinst i fremtiden skal miljøzonerne derfor skærpes.

DCE og COWI har tidligere foretaget en samfundsøkonomisk analyse af forslag om at indføre ren-luftzoner med forbud mod ældre person- og varebiler (Jensen et al., 2012a; 2013). De samlede sparede helbredsomkostninger blev opgjort til omkring 581 mio. kr., og værditab for biler og tab af statens afgiftsprovenu blev vurderet til 130 mio. kr. Beregningerne viste således, at ren-luftzonen ville have været en samfundsøkonomisk gevinst. Effekten af miljøzonen afhænger af, hvilke krav der opstilles. I London indføres der i 2019 meget skrappe krav til miljøzonen, som forventes at få en betydelig effekt (Transport of London, 2017).

Eftermontering af SCRT på tunge køretøjer er også et eksempel på, hvordan ældre køretøjer kan opgraderes til Euro 6 emissionsstandard og dermed reducere NO_x og partikelemission med omkring 90%. SCRT står for Selective Catalytic Reduction & Trap. Dette virkemiddel har været brugt i Københavnsområdet med eftermontering af SCRT på omkring 300 bybusser, hvilket er et virkemiddel, som hurtigt kan implementeres (Jensen et al., 2016). Krav om SCRT på ældre tunge køretøjer kunne også være en del af en miljøzone.

Københavns Kommune har i foråret 2018 undersøgt forskellige modeller for skærpede miljøzoner (Jensen & Winther, 2018).

Trafikale tiltag

Trafikale tiltag, som nedsætter trafikmængden, vil alt andet lige reducere luftforureningen, så hvis trafikken reduceres med 10%, vil emissionen fra trafikken falde med 10%. Hvis et tiltag primært reducerer personbiltrafikken, vil en 10 procent reduktion dog betyde procentvis mindre i forhold til en ligelig reduktion på henholdsvis personbiler og tung trafik. Det skyldes, at emissionerne pr. kørt km for personbiler er lavere end f.eks. for tung trafik.

Et landsdækkende road pricing-system og en trængselsring i København har tidligere været overvejet som en del af transportpolitikken – dog uden at blive gennemført.

For road pricing har forskellige studier vist en forventet reduktion i trafikken på 7-13% på landsplan. Emissionsgevinsten var procentvis mindre, fordi det primært er antallet af personbiler, der reduceres (Jensen et al., 2010).

Afhængig af scenarie forventes en trængselsring ikke blot at reducere trafikken med 13-25% i København, men også at have en reducerende effekt på trafikken uden for trængselsringen. Emissions-gevinsten blev her beregnet til at være procentvis mindre end trafikændringen. Det skyldes, at primært personbiltrafikken reduceres af en trængselsring, fordi personbiltrafikken er mere prisfølsom end kommerciel trafik, og emissionen pr. kørt km er mindre for personbiler i forhold til vare- og lastbiler (Jensen et al., 2012b).

I en trængselsring baseret på kameraregistrering af nummerpladen vil det også være muligt at differentiere afgifter efter Euroemissionsklasse eller at give nuludslipbiler (elbiler, brintbiler mv.) lavere afgifter. Dette ville give en yderligere emissionsreduktion ud over den emissionsreduktion, som kommer af mindre trafik.

For en miljøzone kunne generelle miljøzonekrav således suppleres med økonomiske incitamenter til at køre mindre i de mest forurenende køretøjer. Tilsvarende vil det være muligt at differentiere vejafgifter i et GPS-baseret road pricing-system og f.eks. have højere afgifter i byer og højere afgifter for ældre køretøjer.

Emissionsgevinsten ved trafikale tiltag afhænger derfor af, hvor meget trafikken reduceres. Hvis der sammenlignes med de teknologiske virkemidler, har de teknologiske virkemidler langt større potentiale end trafikale tiltag, da f.eks. SCRT nedsætter emissionen med omkring 90% og elektrisk drift med 100%. Tilsvarende reduktioner i trafikken ville ikke være mulige.

Alternative brændstoffer

Det er fælles for alle flydende eller gasholdige brændstoffer, som bruges i nye forbrændingsmotorer, at de i princippet giver samme luftforurening fra udstødningsrøret. Det skyldes, at det helt overvejende er katalysator/partikelfilter-teknologien, som er bestemmende for restforureningen og ikke brændstoffet. Endvidere skal køretøjet leve op til de samme Euronormkrav, f.eks. Euro 6. En gasmotor og en benzin/dieselmotor skal således opfylde samme emissionskrav. Ud fra en helbredsmæssig synsvinkel er der derfor ikke væsentlig forskel på, om det ene eller det andet brændstof bruges, så længe motoren har rensekraft svarende til Euro 6, og det virker. Der kan dog opnås mindre gevinster for køretøjer, som opfylder ældre Euronormer. Det betyder, at bioethanol, biodiesel og biogas ikke giver bedre luftkvalitet for

nye køretøjer, men primært reducerer CO₂-emissionen, hvor biogas giver væsentligt større CO₂-reduktion end bioethanol og biodiesel. I forhold til transport er biogas særligt interessant til tunge køretøjer, hvor elektrificering kan være vanskelig.

I Tabel 3.3 er der foretaget en overordnet kvalitativ vurdering af konsekvenserne ved gennemførelse af de forskellige virkemidler: miljømæssigt, tekniske udfordringer, og involverede aktører. Miljømæssigt belyses luftkvalitet, CO₂ og støj.

Tabel 3.3. Kvalitativ konsekvensvurdering af virkemidler inden for trafik. "X" indikerer meget lille, "XX" lille, "XXX" mellem, "XXXX" stor, "XXXXX" meget stor. Miljøparametre er helbredsskadelig luftforurening (luft), CO₂ og støj.

Indsats og tiltag	Luft	CO ₂	Støj	Teknisk udfordring	Aktør					
					Stat	Region	Kommune	Bruger	Industri F&U	
1. Trafiktiltag										
<i>Økonomiske virkemidler:</i>										
Trængselsring	XX	XX	X	X	X		X			
Road pricing (GPS baseret)	XXX	XXX	X	XXX	X			X	X	X
<i>Planmæssige virkemidler:</i>										
Mindre trafik gennem byplanlægning	X	X	X			X	X			
Fremme af cykeltrafik	X	X	X			X	X	X		
Fremme af by- og delebiler mv.	X	X	X			X	X	X		
Fremme glidende trafikafvikling	X	X	X	X			X			
2. Skærpede miljøzoner										
Ren-luftzoner	XX				X		X			
Ultra Low Emission Zone alla London og svensk forslag	XXXXX	XX		X	X		X			
3. SCRT på tunge køretøjer										
	XX				X		X			
4. Elektrificering af transport										
Eldrevne personbiler	XXXX	XXXX	X	X	X	X	X	X	X	X
Eldrevne taxi	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Eldrevne varebiler	XXX	XXX	X	XX	X		X	X	X	X
Eldrevne lastbiler	XX	XX	X	XXXX	X			X	X	X
Eldrevne bybusser	XX	XX	X	X	X	X	X		X	X
Eldrevne regionalbusser	XX	XX	X	XXXX	X	X	X		X	X
Eldrevne turistbusser	X	X	X	XXXX	X				X	X
Eldrevne færger, kanalbåde, tog	X	X	X	XXX	X		X		X	X
5. Øvrige alternative drivmidler										
Biogas til tung transport		XXX			X		X			
Flydende biobrændstof		X			X				X	X
6. Øvrige virkemidler										
Partikelreducerende belægning mv.	X			XXXX			X		X	X
NO _x reducerende belægning	X						X			
Beplantning	X			X			X			X
Lokalisering af miljøfølsomme funktioner	X					X	X			
Information til borgerne	X				X	X	X	X		

4. Konklusion

Kortlægning af luftforureningen i Region Hovedstaden er baseret på eksisterende luftkvalitetsmodeller og målinger fra det nationale måleprogram for luftkvalitet. Endvidere gennemføres en kildeopgørelse, som opgør, hvor meget de enkelte emissionssektorer herunder vejtransport bidrager til den samlede emission

og til luftkvaliteten. Der beregnes også helbredseffekter og tilhørende samfundsmæssige omkostninger af luftforureningen. Beregningerne er foretaget for 2014 samt fremskrevet til 2025.

Kortlægningen af luftforureningen i Region Hovedstaden viser, at der sker et fald i koncentration af partikler og kvælstofoxider fra 2014 til 2025. Den faldende tendens skyldes især den løbende udskiftning af bilparken, men også reducerede emissioner fra andre kilder både i Danmark og i de omkringliggende lande.

For NO_x-emissionen er den største kilde i Region Hovedstaden vejtransport, mens det for partikler er brændeovne og pillefyr mv. I 2014 er de procentvise bidrag fra vejtransport 59% for NO₂ samt 19% og 17% for hhv. PM₁₀ og PM_{2,5}. Dette gælder i både 2014 og 2025.

Overskridelse af EU's grænseværdier for NO₂ sker kun på de mest trafikerede gader i København i 2012 og 2016, mens der ikke måles overskridelse af NO₂ på H.C. Andersens Boulevard i København i 2017.

Verdenssundhedsorganisationen WHO's retningslinjer for luftkvalitet er lidt under halvdelen af EU's grænseværdier for PM_{2,5} og halvdelen for PM₁₀, mens de er ens for NO₂. I forhold til WHO's retningslinjer for PM_{2,5} ses, at retningslinjerne er overskredet i gadeniveau i 2016 (men ikke i 2017), tangeret i bybaggrund, men ikke overskredet i landområder på basis af målestationerne i Region Hovedstaden. WHO's retningslinjer for PM₁₀ er kun overskredet i gaderne.

I 2014 var udendørs luftforurening fra både danske og udenlandske forureningskilder årsag til 1.150 for tidlige dødsfald i Region Hovedstaden. De tilhørende samfundsmæssige omkostninger er 9,5 milliarder kr. Heraf kunne 122 for tidlige dødsfald tilskrives emissionskilder i Region Hovedstaden, men resten skyldes danske og udenlandske emissionskilder uden for Region Hovedstaden. De to største lokale kilder til for tidlige dødsfald er brændeovne (77 i 2014) og vejtransport (23 i 2014). De samfundsmæssige omkostninger knyttet til emissionskilderne i Region Hovedstaden er omkring 0,85 mia. kr. Modelberegninger viser, at både helbredseffekter og de tilhørende samfundsmæssige omkostninger forventes at falde frem mod 2025.

Effektfulde virkemidler i forhold til reduktion af luftforurening fra trafikken er skærpede miljøzoner i de større byer, øget andel af elektriske transportmidler, samt vej- og trængselsafgifter, der reducerer trafikken. Alternative flydende eller gasholdige brændstoffer, som bruges i nye forbrændingsmotorer har i princippet samme luftforurening fra udstødningsrøret, som for diesel og benzin, da det helt overvejende er katalysator/partikelfilter-teknologien, som er bestemmende for restforureningen og ikke brændstoffet.

Taksigelse

Projektet er finansieret af Region Hovedstaden og omhandler både støj og luftforurening. Projektet var ledet af COWI, som stod for støjdelen i projektet, mens DCE- Nationalt Center for Miljø og Energi udførte luftdelen.

Referencer

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

COWI (2018): Region Hovedstaden. Hovedrapportvurdering af luft og støj. kortlægning og virkemiddelkatalog. April 2018.

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., Silver, J. D., Christensen, J. H., Andersen, M. S., Bønløkke, J. H., Sigsgaard, T., Geels, C., Gross, A., Hansen, A. B., Hansen, K. M., Hedegaard, G. B., Kaas, E., and Frohn, L. M.: Contribution from the ten major emission sectors in Europe and Denmark to the health-cost externalities of air pollution using the EVA model system – an integrated modelling approach, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 7725-7746, <https://doi.org/10.5194/acp-13-7725-2013>, 2013.

Brandt, J., Silver, J. D., Christensen, J. H., Andersen, M. S., Bønløkke, J. H., Sigsgaard, T., Geels, C., Gross, A., Hansen, A. B., Hansen, K. M., Hedegaard, G. B., Kaas, E., and Frohn, L. M.: 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, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 7747-7764, <https://doi.org/10.5194/acp-13-7747-2013>, 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., Ketznel, 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, Thomas, Brandt, Jørgen, Hertel, Ole, Loft, Steffen, Jovanovic Andersen, Zorana, Raaschou-Nielsen, Ole, Bønløkke, Jakob & Sigsgaard, Torben (2014): Luftforureningens indvirkning på sundheden i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 151 s. - Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 96 <http://dce2.au.dk/pub/SR96.pdf>

Ellermann, T., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M., Massling, A. & Jensen, S.S. (2015): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2014. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 64 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 162. <http://dce2.au.dk/pub/SR162.pdf>

Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M., Massling, A., Bossi, R. & Jensen, S.S. 2017. The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2016. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 78 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 234. <http://dce2.au.dk/pub/SR234.pdf>.

Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M., Massling, A., Bossi, R. & Jensen, S.S. 2018. The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2017. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 83 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 281. <http://dce2.au.dk/pub/SR281.pdf>

Gustafsson, M., Forsberg, B., Orru, H., Åström, S., Tekie, H., Sjöberg, K. (2014): Quantification of population exposure to NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ and estimated health impacts in Sweden 2010, December 2014. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd. IVL Report B 2197.

Jensen, S.S., Berkowicz, R., Hansen, H.S., Hertel, O. (2001): A Danish decision-support GIS tool for management of urban air quality and human exposures. *Transport. Res. Part D-Transp. Environ.* 6, 229–241. Jensen, S.S., Larson, T., Deepti, K.C., Kaufman, J.D., 2009.

Jensen, S.S., Ketznel, M., & Andersen, M.S. (2010): Road pricing, luftforurening og eksternalitetsomkostninger. *Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.* 48 s. –Faglig rapport fra DMU Nr. 770. <http://www.dmu.dk/pub/FR770.pdf>

Jensen, S.S., Ketznel, 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., Ketznel, M., Brandt, J., Winther, M. (2012a): Luftkvalitetsvurdering af ren-luftzone i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 86 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 25. <http://www.dmu.dk/Pub/SR25.pdf>.

Jensen, S.S., Ketznel, M., Winther, M. (2012b). Luftkvalitetsvurdering af trængselsafgifter i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 48 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 16 <http://www.dmu.dk/Pub/SR16.pdf>

Jensen, S.S., Ketznel, M., Brandt, J., Martinsen, L., Becker, T. (2013): Ren-luftzone i København og sparede eksterne omkostninger ved sundhedsskadelig luftforurening. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 59 s. – Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 58 <http://www.dmu.dk/Pub/SR58.pdf>

Jensen, S.S., Ketznel, M., Ellermann, T., Winther, M., (2016): Luftkvalitetsvurdering af SCRT på bybusser i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 30 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 192. <http://dce2.au.dk/pub/SR192.pdf>

Jensen, S.S., Ketznel, 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.

Jensen, S.S., Brandt, J., Christensen, J.H., Geels, C., Ketznel, M., Plejdrup, M. S., Nielsen, O.-K. (2018a): Kortlægning af luftforureningens helbreds- og miljøeffekter i Region Hovedstaden, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 127 s. – Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 254 <http://www.dmu.dk/Pub/SR254.pdf>.

Jensen, S.S., Winther, M., Ketznel, M., Plejdrup, M.S. (2018b): Virkemiddelkatalog for luftforurening i Region Hovedstaden, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 102 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 268 <http://dce2.au.dk/pub/SR268.pdf>

Jensen, S.S. & Winther, M. (2018): Effektvurdering af skærpede miljøzoner i København for emission og luftkvalitet. DCE-notat. 21. maj 2018.

Kakosimos, K.E., Hertel, O., Ketznel, M., Berkowicz, R. (2011): Operational Street Pollution Model (OSPM) - a review of performed validation studies, and future prospects. *Environ. Chem.* 7, 485–503 (doi-Link).

Ketzel, M., Berkowicz, R., Hvidberg, H., Jensen, S.S., Raaschou-Nielsen, O. (2011): Evaluation of AirGIS - a GIS-based air pollution and human exposure modelling system. *Int. J. Environ. Pollut.* 47 (1/2/3/4). <http://dx.doi.org/10.1504/IJEP.2011.047337>.

Ketzel M., P. Wåhlin, R. Berkowicz and F. Palmgren (2003): Particle and trace gas emission factors under urban driving conditions in Copenhagen based on street and roof level observations. *Atmospheric Environment* 37, 2735-2749.

Nielsen, O-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Fauser, P., Albrektsen, R., Hjelgaard, K.H., Bruun, H.G. & Thomsen, M. 2017. Annual Danish Informative Inventory Report to UNECE. Emission inventories from the base year of the protocols to year 2015. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 475 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 222 <http://dce2.au.dk/pub/SR222.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>.

Transport of London (2017): <https://tfl.gov.uk/modes/driving/ultra-low-emission-zone>. Besøgt 20.12.2017.

Winther, M. (2015): Danish emission inventories for road transport and other mobile sources: Inventories until the year 2013. <http://dce2.au.dk/pub/SR148.pdf>