



EFFEKT AF REN-LUFTZONER FOR LUFTFORURENING MED SODPARTIKLER

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 80

2014



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

EFFEKT AF REN-LUFTZONER FOR LUFTFORURENING MED SODPARTIKLER

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 80

2014

Steen Solvang Jensen
Matthias Ketzl

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. 80
Titel:	Effekt af ren-luftzoner for luftforurening med sodpartikler
Forfattere:	Steen Solvang Jensen & Matthias Ketzel
Institutioner:	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Juni 2014
Redaktion afsluttet:	22. oktober 2013
Faglig kommentering:	Matthias Ketzel og Jacob Klenø Nørgaard
Finansiell støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Jensen, S.S. & Ketzel, M. 2013. Effekt af ren-luftzoner for luftforurening med sodpartikler. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 32 s. - Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 80 http://dce2.au.dk/pub/SR80.pdf
Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse	
Sammenfatning:	Undersøgelsen omfatter en effektvurdering af ren-luftzone i København ud fra 3 forskellige scenarier: basisscenarie, Berlinerscenarie, Berlinerscenarie inkl. krav til Euro 4 biler med fokus på EC, som er elementært kulstof. Effekten vurderes for partikeludstødningen og EC koncentrationen, og effekten for EC koncentrationen visualiseret tillige på kort for ren-luftzone scenarierne.
Emneord:	Ren-luftzone, luftforurening, scenarier, effektvurdering, EC.
Layout:	Majbritt Ulrich
Foto forside:	Peter Wåhlin
ISBN:	978-87-7156-041-1
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	32
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR80.pdf
Supplerende oplysninger:	En øndret organisationsstruktur ved Aarhus Universitet indebærer, at AU/DCE fra den 1. juli 2011 er trådt i stedet for det hidtidige Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) som indgang for myndigheder, erhverv og offentlighed til Aarhus Universitets faglige miljøer inden for natur, miljø og energi.

Indhold

Indledning	5
Dansk sammenfatning	6
Summary in English	11
1 EC som sundhedsindikator	16
1.1 Partikler fra trafikken	16
1.2 Målinger af EC	17
1.3 EC som mulig supplerende sundhedsindikator ved bestemte reduktionstiltag	19
1.4 EC bidrager til klimaforandringer	20
2 Scenarier for ren-luftzoner	21
3 Metode for beregning af EC koncentration	23
3.1 Datagrundlag for veje, trafik og gadegeometri	23
3.2 EC emissionsfaktorer	23
3.3 EC bybaggrundskoncentration	24
3.4 Sammenligning mellem EC målinger og modelberegninger	24
4 Effekten af ren-luftzoner for EC emission og koncentration	25
4.1 Effekt for partikeludstødning	25
4.2 Visualisering af effekt for EC koncentration	27
5 Referencer	31

Indledning

Projektets formål er at estimere og visualisere effekten af ren-luftzone i København/Frederiksberg ud fra 3 forskellige scenarier: Basisscenarie (2015, 2017), Berlinerscenarie (2015, 2017), Berlinerscenarie inkl. krav til Euro 4 biler (2017) med fokus på EC, som er elementært kulstof – Elemental Carbon.

Der er stigende interesse for EC ud fra en sundhedsmæssig synsvinkel, da Verdenssundhedsorganisationen WHO i 2012 opklassificerede dieseludstødning fra sandsynligvis kræftfremkaldende til kræftfremkaldende. Endvidere tyder meget på, at EC er en god indikator for vurdering af bestemte reguleringstiltag. Det gælder fx reduktion af partikeludstødning, som ren-luftzoner bidrager til.

Partikler fra trafikken omfatter partikeludstødning samt ikke-udstødning som er dæk-, vej- og bremseslid samt ophvirvling heraf. EC er en indikator for forbrændingspartikler dvs. for partikeludstødningen, og kan populært opfattes som sodpartikler. Størstedelen af partikeludstødningen kommer fra dieselkøretøjer.

Det er første gang at der gennemføres modelberegninger for EC, og der er derfor en betydelig usikkerhed på beregningerne især på de absolutte værdier, men mindre usikkerhed på de relative niveauer. Projektets fokus er de relative forskelle, som er visualiseret geografisk på kort for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune, som udgør den nuværende miljøzone.

Dansk sammenfatning

Baggrund og formål

EC (elementært kulstof) er en indikator for forbrændingspartikler dvs. for partikeludstødningen, og populært kan EC opfattes som sodpartikler, da de har et stort indhold af kulstof.

Der er stigende interesse for EC ud fra en sundhedsmæssig synsvinkel, da Verdenssundhedsorganisationen WHO i 2012 opklassificerede dieseludstødning fra sandsynligvis kræftfremkaldende til kræftfremkaldende. Omkring 2/3 af dieseludstødning består af sodpartikler, mens det er under $\frac{1}{4}$ for benzinudstødning.

Nyere studier tyder endvidere på, at de kulstofholdige partikler er mere sundhedsskadelige end de ikke-kulstofholdige partikler (Rohr & Wyzga 2012; Hoek et al. 2013). De kulstofholdige partikler er fx primært emitteret fra vejtrafik og brændevne, mens de ikke-kulstofholdige partikler som fx er de uorganiske sekundære partikler dvs. partikler, der emitteres som gas og ved kemiske processer i atmosfæren bliver omdannet til partikler.

PM_{2,5} er partikler under 2,5 mikrometer i diameter og anvendes normalt som indikator for sundhedseffekter og vurdering af sundhedseffekternes tilhørende velfærdsøkonomiske omkostninger. Der er en veletableret sammenhæng mellem PM_{2,5} og sundhedseffekter. Dette er baseret på studier mellem sammenhængen mellem befolkningens eksponering for PM_{2,5} typisk fra målestationer placeret i bybaggrunden, og observerede sundhedseffekter. Her sondres der ikke mellem forskellige partikelstørrelser eller kemiske komponenter af PM_{2,5}.

Meget tyder dog på at PM_{2,5} som indikator for vurdering af bestemte tiltag undervurderer sundhedseffekten, når der fx er tale om reduktion af partikeludstødning (Janssen et al. 2011; WHO, 2012). Der er her brug for en indikator, som er mere målrettet udstødningspartikler. På baggrund af review af en lang række studier viser Janssen et al. (2011) at gevinsterne for forventet levetid er 4-9 gange større pr. 1 µg/m³ for EC i forhold til PM_{2,5}.

En række studier har endvidere vist at afstand/nærhed til vej øger risikoen for en række sundhedseffekter (Hoek et al. 2002). Dette taler også for at lokale forbrændingskilder som fx trafik har en relativ større betydning end det man finder ved at regne med PM_{2,5} som helbredsindikator.

Ovenstående er begrundelser for at fokusere på EC som en supplerende sundhedsindikator i vurdering af effekten af ren-luftzoner, da et sådan tiltag reducerer partikeludstødningen ved at skærpe den gældende miljøzone i København til også at stille emissionskrav til ældre peron- og varebiler.

Projektets formål er at estimere og visualisere effekten af ren-luftzone i København/Frederiksberg ud fra 3 forskellige scenarier.

Scenarier

De nuværende miljøzoner gælder kun dieseldrevne busser og lastbiler over 3,5 tons. Tunge køretøjer til og med Euro 3 må ikke køre i miljøzonen i København. Undtaget er dog tunge køretøjer med eftermonteret lukket parti-

kelfilter. Miljøzonens udstrækning er stort set sammenfaldende med Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune (Jensen et al., 2011).

Med udgangspunkt i en tidligere gennemført luftkvalitetsvurdering for ren-luftzoner i København (Jensen et al. 2012; 2013a,b) er der foretaget en vurdering af effekten for EC, og en visualisering heraf for følgende scenarier:

- Basisscenarie (2015 og 2017)
- Berlinmodellen for vare- og personbiler (2015 og 2017)
- Berlinmodellen for vare- og personbiler plus krav til Euro 4 for alle dieselkøretøjer (2017)

Der tages udgangspunkt i den såkaldte Berlinmodel inden for hvilken der stilles emissionskrav til både person- og varebiler. Kravene svarer til at dieseldrevne person- og varebiler til og med Euro 3 og benzindrevne person- og varebiler til og med Euro 0 ikke må køre inden for ren-luftzonens, som er sammenfaldende med den nuværende miljøzone i København.

For Berlinmodellen plus krav til Euro 4 gælder det at alle Euro 4 dieselkøretøjer (person-, varebil-, lastbiler og busser) til og med Euro 4 er omfattet, og ikke må køre i ren-luftzonens.

Køretøjer som ikke må køre i ren-luftzonens erstattes af nyere køretøjer, som er tilladte, eller berørte køretøjer får eftermonteret partikelfilter.

Undersøgelsen

Gadeluftkvalitetsmodellen OSPM med nødvendigt input data for emission, trafik, gadegeometri, bybaggrundskoncentration og meteorologi er benyttet til at beregne årsmiddelkoncentrationer af EC for en lang række gader i København.

Projektet har genbrugt tidligere datagrundlag for veje, trafik og gadegeometri fra det såkaldte ASSET projekt, hvor der blev foretaget luftkvalitetsberegninger for alle gadestrækninger i København med mere end 2.000 biler i døgnet med OSPM, og AirGIS systemet er brugt til at generere input data til OSPM omkring trafik og gadegeometri ud fra GIS data om veje med trafik og bygningsområde med bygningshøjder, samt beregningspunkter (Jensen et al., 2009a).

Som noget nyt er EC emissionsfaktorer implementeret i OSPM på basis af COPERT emissionsmodellen, hvor EC er beskrevet som en procentdel af partikeludstødningen ($PM_{2.5}$) for de forskellige køretøjsgrupper og Euro-klasser (Ntziachristos & Samaras, 2010).

Der foreligger ikke emissionsgrundlag for at kunne modellere bybaggrundskoncentrationen af EC. Derfor er bybaggrundskoncentrationen for EC estimeret ud fra analyse af EC målinger fra Lille Valby (regional baggrund) og gademålinger på H.C. Andersens Boulevard samt kampagnemålinger på H.C. Ørsted Institut (bybaggrund). Denne årsmiddelværdi er anvendt for alle områder af København selvom der må forventes at være forskel fra område til område.

Da bybaggrundskoncentrationen er baseret på målinger indgår bidrag for alle kilder heri, men det er kun bidraget fra trafik, som er beregnet for gaderne og visualiseret. Andre forbrændingskilder som fx brændevne kunne også

bidrage med EC, men der er ikke tilstrækkelig viden herom til at det kan beregnes.

Hovedkonklusioner

Effekten af ren-luftzone for EC emission

Det ses, at Berlinscenariet i gennemsnit reducerer partikeludstødningen med omkring 32% i 2015, som er fordelt på 34% reduktion for personbiler og 80% reduktion for varebiler. Personbilerne bidrager mest til den gennemsnitlige reduktion på 32%, da der er flest personbiler, men den procentvise reduktion er mindst for personbiler under et, da der er mange benzinbiler, som ikke berøres, mens varebiler næsten kun er dieselmotorer.

Berlinscenariet inkl. krav til Euro 4 reducerer i gennemsnit partikeludstødningen med omkring 59% i 2017, som er fordelt på 69% reduktion for personbiler og 94% reduktion for varebiler.

Effekt af ren-luftzone for EC koncentrationen

EC gadekoncentrationen er op til $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2015 i basiscenariet, hvilket er 3,6 gange så meget som bybaggrundskoncentrationen. Dette illustrerer, at EC koncentrationen i trafikerede gader er domineret af EC emissionen fra trafikken i gaden, og at reduktioner heri vil give markante reduktioner i EC koncentrationen.

Der er produceret en række kort som viser EC koncentrationen i før-etter situationen for Berlinscenariet og Berlinscenariet inkl. Euro 4. Disse visualiserer en tydelig reduktion i EC koncentrationen.

Den maksimale procentvise reduktion i EC gadekoncentrationen, som findes i en gade i København, er 41%, som opnås i Berlinscenariet inkl. krav til Euro 4.

Det er visuelt tydeligt, at den procentvise reduktion er lidt større for Berlinscenariet i 2015 end i 2017, da en udskydelse af ren-luftzone-kravene vil reducere effekten i implementeringsåret pga. den løbende udskiftning af bilparken.

Sammenligning af EC målinger og modelberegninger

Sammenligning af EC målinger og beregninger med OSPM af gadebidraget på H.C. Andersens Boulevard i København i 2012 viste, at modellen undervurderer i forhold til målingerne, idet modellen giver omkring 40% af EC målingerne og omkring 80% af $\text{PM}_{2,5}$ målingerne for gadebidraget. Gadebidraget er forskellen mellem gadekoncentration og bybaggrundskoncentration.

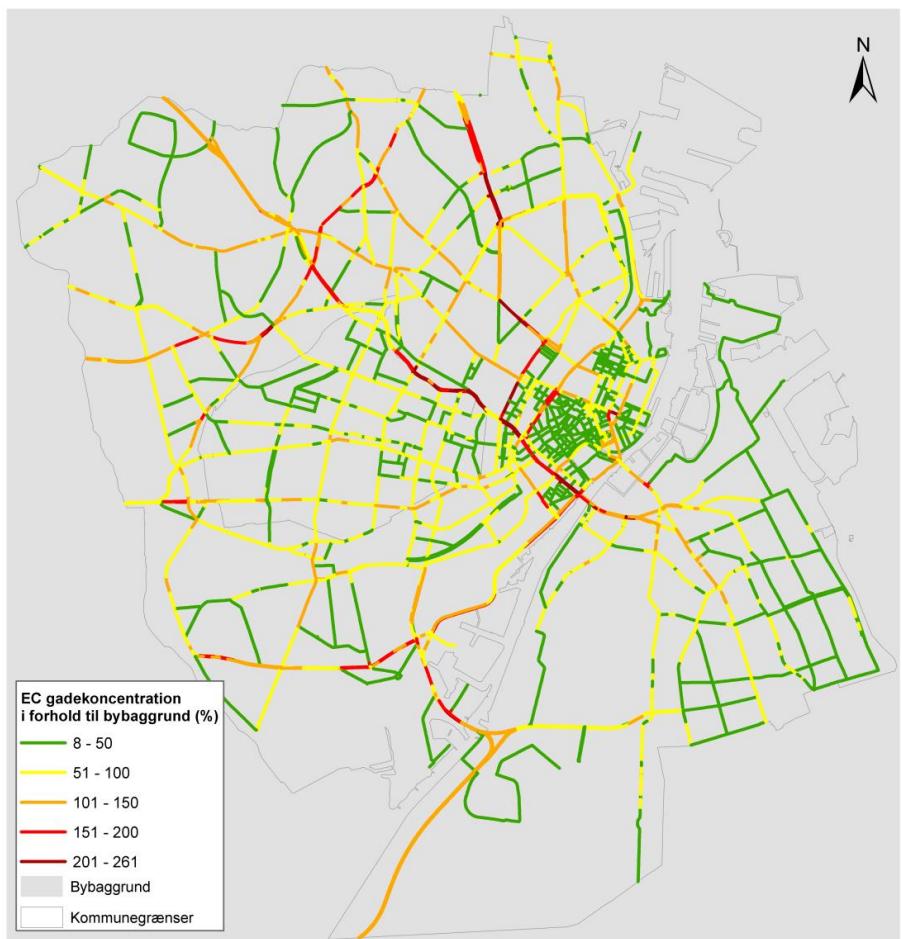
Da det er første gang, at EC emissionsfaktorer er bygget ind i OSPM, og det ikke inden for projektets rammer har været muligt at gennemføre mere detaljerede analyser af sammenhængen mellem beregninger og målinger, er beregningerne præsenteret, som de er, og der er ikke gjort noget forsøg på fx kalibrering af modelresultaterne i forhold til målingerne.

Projektresultater

Visualisering af EC koncentrationer

Figur 1 viser, hvor stor den modelberegnede EC gadekoncentration er i forhold til bybaggrundskoncentrationen i 2015, hvilket illustrerer hvor meget trafikken lokalt bidrager til gadekoncentrationerne. Ved 100% er gadekoncentrationen således dobbelt så stor som bybaggrundsbidraget. Det ses, at

gadekoncentrationen er op til 3-4 gange så stor som bybaggrundskoncentrationen.



Figur 1. EC gadekoncentrationen i forhold til bybaggrundskoncentrationen af EC i 2015 (i %)

Effekten af ren-luftzone for EC emission

I Tabel 1 er effekten for EC emissionen af Berlinscenariet og Berlinscenariet inkl. krav til Euro 4 opsummeret.

Tabel 1. Den procentvise reduktion af EC emission i Berlinscenariet og Berlinscenariet inkl. Euro 4 krav i forhold til basisscenariet (%)

	Berlinscenarie		Berlinscenarie+E4
	2015	2017	2017
Kun personbiler	34	30	69
Kun varebiler	80	77	94
Gns. bilpark	32	28	59

Effekt af ren-luftzone for EC koncentrationen

I Tabel 2 er effekten for EC gadekoncentrationen af Berlinscenariet og Berlinscenariet inkl. krav til Euro 4 opsummeret.

Berlinscenariet reducerer EC gadekoncentrationen med i gennemsnit 12% i 2015 og 10% i 2017, mens Berlinscenariet inkl. Euro 4 reducerer EC gadekoncentrationen med i gennemsnit 20%. Andre statistiske parametre er også givet. Min. og maks. værdier varierer afhængig af trafikniveauet og køretøjs-

sammensætningen, og dermed i forhold til bybaggrunds niveaueret. Minimum fås i en situation, hvor der er et meget lille gadebidrag pga. lille trafik, hvorefter bybaggrundskoncentrationen dominerer.

Tabel 2. Reduktion i EC gadekoncentration for scenarierne (%).

Statistisk parameter	Berlinscenarie		Berlinscenarie inkl. Euro 4
	2015	2017	2017
Min.	2	2	4
25-percentil	12	9	19
75-percentil	16	12	26
Maks.	31	25	41
Gns.	12	10	20

Reduktionerne i EC gadekoncentrationerne vil være lidt større end angivet ovenfor, idet bybaggrundskoncentrationen er antaget at være konstant før og efter ren-luftzonen ($0,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Bybaggrundskoncentrationen vil imidlertid også blive reduceret af ren-luftzonen, således at gadekoncentrationen vil blive mindre.

Summary in English

Background and Aims

EC (Elemental Carbon) is an indicator of combustion particles e.g. from vehicle tailpipe exhaust, and popular speaking EC is similar to soot particles, as they have a high content of carbon.

There is growing interest in EC from a health point of view since the World Health Organization (WHO) in 2012 upgraded their classification of diesel exhaust from probably carcinogenic to carcinogenic. About 2/3 of diesel exhaust consists of soot particles, while it is less than ¼ of gasoline exhaust.

Newer studies also suggest that carbon particles are more harmful to health than non-carbon particles (Rohr & Wyzga 2012; Hoek et al. 2013). Carbon particles are emitted primarily from e.g. road traffic and wood burning stoves, while the non-carbon particles as e.g. is the inorganic secondary particles that are emitted as gases and by chemical processes in the atmosphere are transformed into particles.

PM_{2.5} is particles less than 2.5 micrometres in diameter and is normally used as an indicator for health effects and assessment of external costs of health effects. There is a well-established link between PM_{2.5} and health effects. This is based on studies of the correlation between population exposure to PM_{2.5} typically from measuring stations located at urban background sites, and observed health effects. No distinction is made between the different particle sizes or chemical components of PM_{2.5}.

However, there are strong indications that PM_{2.5} as indicator for assessment of the effects of certain abatement measures underestimate health effect e.g. in the case of reduction of particle exhaust (Janssen et al. 2011; WHO (2012)). A more targeted indicator is needed that reflects exhaust particles. Based on a review of a wide range of studies Janssen et al. (2011) show that the expected gains for life expectancy is 4-9 times greater per 1 µg/m³ for EC in relation to PM_{2.5}.

A number of studies have also shown that distance/proximity to a major road increases the risk of a range of health effects (Hoek et al. 2002). This indicates that local combustion sources such as traffic have a relatively greater importance than PM_{2.5} as a health indicator.

The above considerations are reasons to focus on EC as an additional health indicator in the assessment of the impact of low emission zones, since this abatement measure reduces particulate emissions.

The aim of the project is to estimate and visualize the effect on EC air pollution of a low emission zone in Copenhagen/Frederiksberg based on 3 different scenarios.

Scenarios

The current low emission zone only prohibits diesel-powered buses and trucks above 3.5 tonnes that are up to and including the Euro 3 emission standard to enter the low emission zone. However, heavy-duty vehicles with particle filters are allowed to enter the zone. The geographic extent of the

zone is almost similar to the extent of the two municipalities Copenhagen and Frederiksberg (Jensen et al., 2011).

The proposed low emission zone will stringent the existing low emission zone in Copenhagen by prohibiting older passenger cars and vans.

An impact assessment for EC and a visualization of the impacts have been carried out building on a previously conducted air quality assessment for low emission zones in Copenhagen (Jensen et al. 2012; 2013a, b). The following scenarios are included: Base scenario (2015 and 2017), Berlin scenario for passenger cars and vans (2015 and 2017), and Berlin scenario for passenger cars and vans including emission requirements for all Euro 4 diesel vehicles (2017).

The Berlin scenario is identical to the requirements of the low emission zone in Berlin where diesel passenger cars and vans up to and including Euro 3 and petrol passenger cars and vans up to and including Euro 0 are not allowed in the zone.

The Berlin scenario including Euro 4 also implies that all Euro 4 diesel vehicles (cars, vans, trucks and buses) are not allowed in the zone.

It is assumed that vehicles that are not allowed in the zone are replaced by newer vehicles or retrofitted with particle filter, open filters for passenger cars and vans and closed filters for heavy-duty vehicles.

The Study

The street air quality model OSPM with necessary input data for emissions, traffic, street geometry, urban background concentrations and meteorology is used to calculate annual mean concentrations of EC for a large number of streets in Copenhagen.

The project has reused former data for roads, traffic and street geometry from the so-called ASSET project, where air quality calculations were carried out for all street segments in Copenhagen with more than 2,000 vehicles a day with OSPM, and the AirGIS system was used to generate input data for OSPM for traffic and street geometry based on GIS data with roads and traffic, and building footprints with building heights as well as calculation points (Jensen et al., 2009a).

As a new feature EC emission factors have been implemented in OSPM based on the COPERT emission model, where EC emission factors are described as a percentage of the particulate emission ($PM_{2.5}$) for the different vehicle categories and Euro emission classes (Ntziachristos & Samaras, 2010).

Sufficient EC emission information lacks in order to model urban background concentrations of EC. Therefore, the annual mean of urban background concentration of EC has been estimated from analysis of EC measurements at Lille Valby (regional concentrations) and street measurements at H.C. Andersens Boulevard together with campaign measurements at H.C. Ørsted Institute (urban background). This single urban background value is used for all areas of Copenhagen although there are likely to be differences across Copenhagen.

Applied urban background concentrations are based on measurements and include the contribution from all sources, but it is only the EC contribution from traffic that has been modelled and visualized. Other combustion sources such as wood burning stoves could also contribute with EC, but there is a lack of knowledge to model the contribution.

Main Conclusions

Impacts on EC emissions of low emission zone

The impacts on particulate exhaust emissions of the different low emission zones have been calculated. The Berlin scenario reduces on average particulate exhaust emissions by 32% in 2015 with 34% reduction for passenger cars and 80% reduction for vans. The percentage reduction is smallest for passenger cars, since there are many gasoline passenger cars, which are not affected, while vans are almost entirely diesel vehicles.

The Berlin scenario including requirements for Euro 4 reduces on average particulate exhaust emission by 59% in 2017 with 69% reduction for passenger cars and 94% reduction for vans.

The same percentage reduction can be expected for EC as EC is a fraction of particulate exhaust emissions.

Impacts on EC concentrations of low emission zone

EC street concentrations are up to $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in 2015 in the base scenario, which is 3.6 times as much as urban background concentrations. This illustrates that the EC concentration in busy streets are dominated by EC vehicle emissions in the street, and reductions will lead to significant reductions in EC concentrations.

We produced a series of maps which show the EC concentrations before and after each of the scenarios. Clear reductions in EC concentrations are visualized.

The maximum percentage reduction in EC concentrations, which can be found in a streets in Copenhagen is 41% and achieved in the Berlin scenario including requirements for Euro 4.

From the maps it is visually clear that the percentage reduction is slightly larger for the Berlin scenario in 2015 than in 2017 since a postponement of the low emission zone requirements will reduce the effect at the implementation year due to the continuous replacement of the vehicle fleet.

Comparison between EC measurements and model results

Comparison of EC measurements and calculations with OSPM for the street contribution at H.C. Andersens Boulevard in Copenhagen in 2012 showed that the model underestimates. The model gives about 40% of EC measurements and about 80% of the PM_{2.5} measurements for the street contribution. The street contribution is the difference between street concentrations and urban background concentrations and is an indicator of the emission in the street.

Since it is the first time that EC emission factors have been built into OSPM, and it has not been possible within the project's framework to carry out a more detailed analyses of the correlation between calculations and meas-

urements, calculations are presented, as they are, and no attempts have been done for modifications e.g. calibration of model results to measurements.

Project results

Visualization of EC concentrations

Figure 1 shows how large the modelled EC street concentration is in relation to urban background concentration in 2015, which illustrates how much traffic contributes to street concentrations. 100% indicates that street concentrations are twice as large as the urban background concentrations. Street concentrations are up to 3.6 times larger than urban background concentrations.

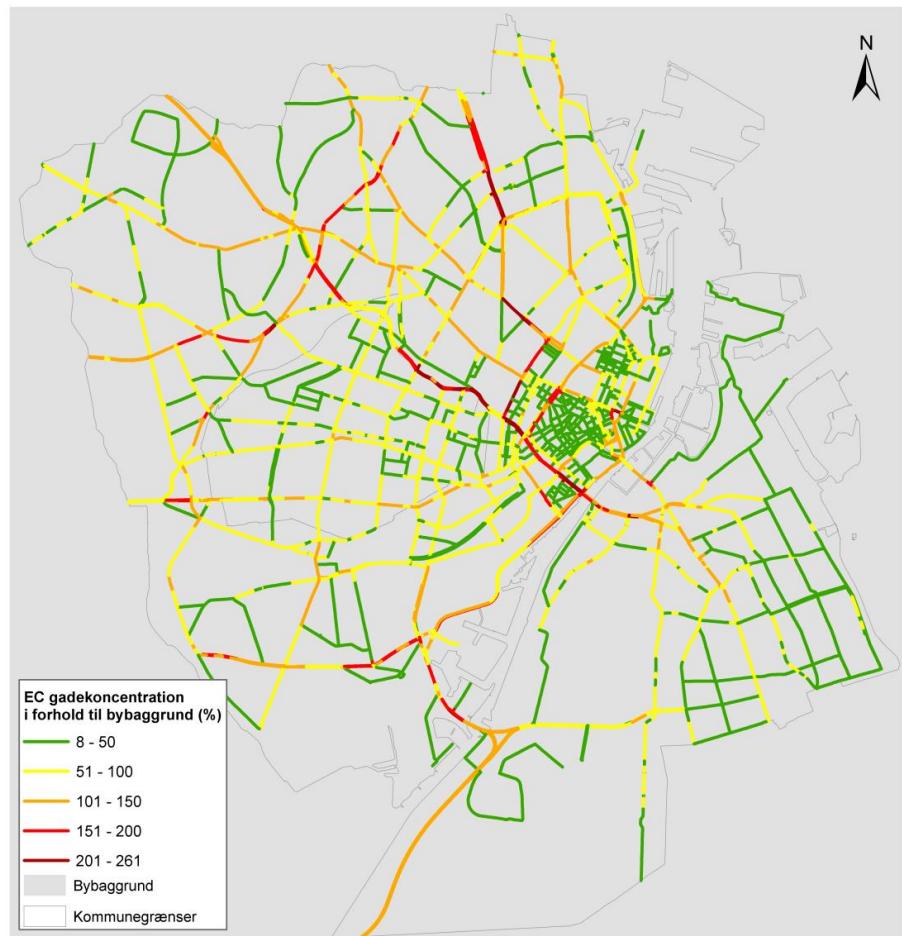


Figure 1. EC street concentrations in relation to EC urban background concentrations in 2015 (in %)

Impacts on EC emissions of low emission zones

Table 1 summaries the impacts on EC emissions of the different scenarios.

Table 1. Percentage reduction of EC emissions in different scenarios (%)

	Berlin scenario	Berlin scenario + E4	
	2015	2017	2017
Only passenger cars	34	30	69
Only vans	80	77	94
Average vehicle fleet	32	28	59

Impacts on EC concentration of low emission zone

Table 2 summaries the impacts on EC concentrations of the different scenarios.

The Berlin scenario reduces EC street concentrations on average 12% in 2015 and 10% in 2017, while the Berlin scenario including Euro 4 reduces EC street concentrations on average 20%. Other statistical parameters are also given. For example, min and max values vary depending on the traffic flow and vehicle distribution, and thus in relation to urban background levels. Minimum indicates a situation with a very small street contribution due to low traffic flow whereby the urban background concentration dominates.

Table 2. Reductions in EC street concentrations for different scenarios (%)

Statistical parameter	Berlin scenario		Berlin scenario + E4
	2015	2017	2017
Min	2	2	4
25-percentile	12	9	19
75-percentile	16	12	26
Max	31	25	41
Average	12	10	20

Reductions in EC street concentrations will be slightly larger than specified above as urban background concentration is assumed to be constant before and after implementation of the low emission zone ($0.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$). However, the low emission zone will also reduce urban background concentrations thereby lowering street concentrations.

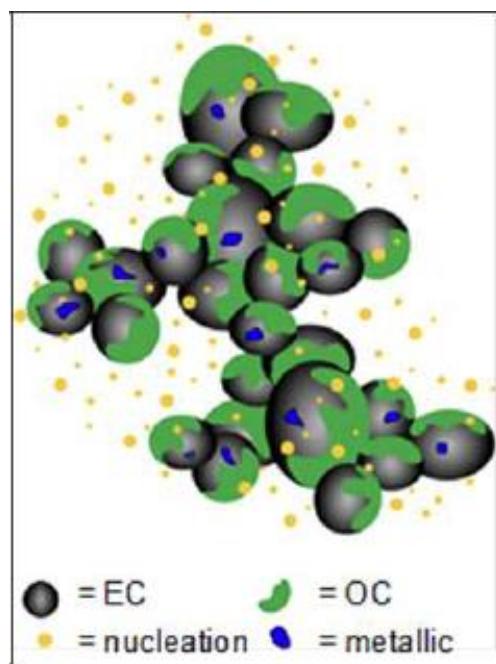
1 EC som sundhedsindikator

1.1 Partikler fra trafikken

Partikler fra trafikken omfatter partikeludstødning samt ikke-udstødning som er dæk-, vej- og bremseslid samt ophvirvling heraf. Ren-luftzoner reducerer kun partikeludstødningen, da trafikken formodes at være uændret.

Sodpartikler dannes i motoren og klumper sig sammen til større partikler. Under afkøling i udstødningen fortætter forskellige halvflygtige forbindelser (fx svovlforbindelser, rester af smøreolie og ufuldstændigt forbrændt diesel og benzin) til væske- og faste stoffer, enten ved at kondensere på overfladen af eksisterende partikler (kondensation) eller ved at danne nye partikler (nukleation). Nukleationen vil også ske under den hurtige afkøling og fortyndning i luften efter at udstødningen har forladt udstødningsrøret, og kan resultere i et meget højt antal meget små partikler (kondensater) med meget lille masse (ultrafine partikler med diameter under 0,1 mikrometer). Partiklerne har forskellig storrelse, og udstødningspartikler er typisk under 1 mikrometer (Palmgren et al., 2009).

EC (elementært kulstof) er en indikator for forbrændingspartikler dvs. for partikeludstødningen, og populært kan EC opfattes som sodpartikler, da de har et stort indhold af kulstof. Udeover EC omfatter forbrændingspartikler også organisk kulstof (OC) som fx PAH (PolyAromatiske Hydrocarboner). Metaller kan også være knyttet til partiklerne fx metalforbindelser i brændstoffet og slid i motoren, og efter udstødning kan metalforbindelser fra bremseslid hæftes til forbrændingspartiklerne. Antallet af partikler er domineret af de ultrafine partikler, mens massen er domineret af de større kulstofholdige partikler, se Figur 1.1.



Figur 1.1. Illustration af udstødningspartikler (Maricq, 2007).

1.2 Målinger af EC

EC er omfattet af krav om måling under luftkvalitetsdirektivet og indgår i natur- og miljøovervågningsprogrammet (NOVANA) (Ellermann et al. 2013). Der måles kontinuert på Lille Valby ved Roskilde (regional baggrundsstation) og på H.C. Andersens Boulevard (gadestation). Partikelforurenningen opsamles som PM_{2,5} på filtre og analyseres for EC og OC i laboratoriet ved en termisk/optisk metode i henhold til EUSAAR2 protokollen. EC er således defineret ved sin målemetode. Sod måles ofte også som Black Carbon (BC), som er en simpel optisk metode, og der er oftest rimelig god sammenhæng mellem EC og BC, men den er stedspecifik.

Målinger af partikler som årsmiddelværdi på forskellige målestationer er givet i Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Målinger af partikler på forskellige målestationer i 2012

	PM ₁₀ ^c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2,5} ^c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EC ^b ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
H.C. Andersens Boulevard (HCAB)	31	15	2,3
H.C. Ørsted Institut (HCØ)	17	11	0,42 ^a
Lille Valby ved Roskilde	16	10	0,30
Gadebidrag (HCAB - HCØ)	14	4	1,8

^aEstimeret ud fra kampagnemålinger på HCØ samt øvrige målinger

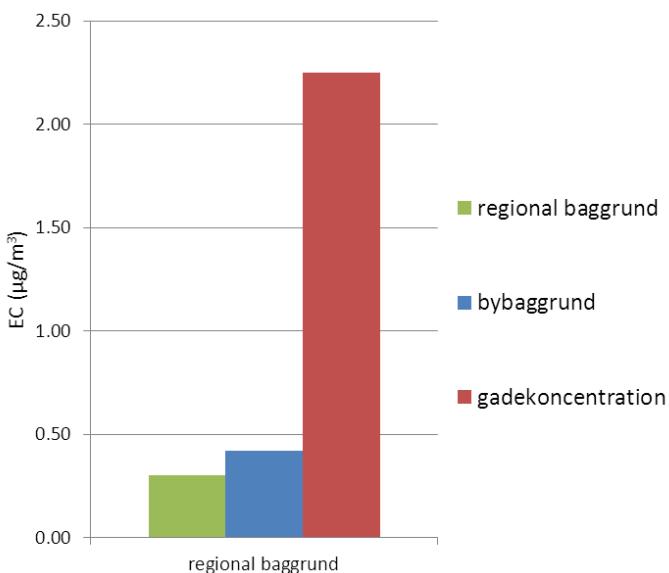
^bBaseret på PM_{2,5} målinger

^cPM_{2,5} er partikler under 2,5 mikrometer i diameter, og PM₁₀ under 10 mikrometer

Målinger af EC i luften på målestasjonen ved Lille Valby ved Roskilde viste i 2012 et niveau på 0,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mens niveauet på H.C. Andersens Boulevard er 2,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ud fra analyse af målinger er bybaggrunds niveauet på H.C. Ørsted Institutet estimeret til 0,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kilderne til EC koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard er primært fra trafikken i gaden, men der er også bidraget fra byens øvrige trafik og øvrige kilder samt et langtransporteret bidrag til byen fra kilder i Danmark og udlandet. Det ses, at gadekoncentrationerne af EC er relativt lave i forhold til PM₁₀ og PM_{2,5}, da EC kun omfatter en del af partikeludstødningen. EC gadekoncentration udgør dog omkring 1/6 af PM_{2,5} gadekoncentrationen.

EC målinger af gadebidraget (gadekonc. minus baggrundskonc.) på målestasjonen på H.C. Andersens Boulevard i København viste i 2012 et gadebidrag på 1,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Til sammenligning er PM₁₀ gadebidraget omkring 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og for PM_{2,5} omkring 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ellermann et al. 2013). Gadebidraget for EC udgør således omkring halvdelen af gadebidraget for PM_{2,5}.

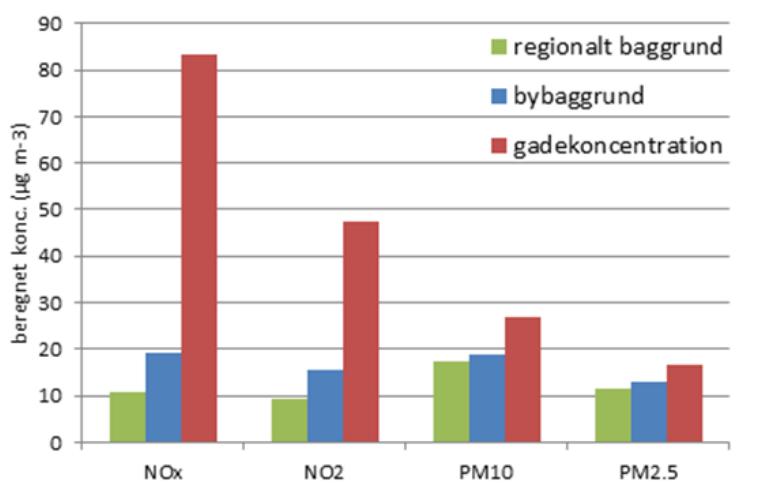
Derimod er gadekoncentrationen af EC meget høj i forhold til bybaggrund (H.C. Ørsted Institut), idet EC gadekoncentrationen er over 5 gange så stor som bybaggrundskoncentrationen, se Figur 1.2.



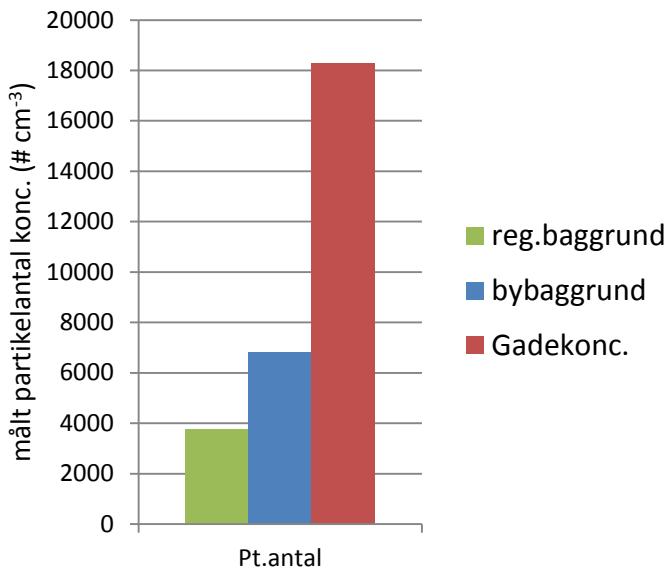
Figur 1.2. Koncentrationer af EC målt som regional baggrundsforurening (Lille Valby/Risø), bybaggrundsforurening (estimeret ud fra kampagnemålinger på H.C. Ørsted Institututtet) og målt gadeforurening (H.C. Andersens Boulevard) i 2012.

Dette indikerer, at det lokale EC bidrag fra trafikken er relativt stort i forhold til PM₁₀ og PM_{2.5}, som er domineret af et regionalt bidrag og af ikke-udstødning. Disse forhold illustrerer, at en reduktion i EC fra trafikken vil reducere EC gadekoncentrationen meget, mens det kun vil kunne ses som en mindre reduktion målt som PM₁₀ og PM_{2.5}.

EC har det relativt største lokale bidrag i sammenligning med NO_x, NO₂, PM₁₀ og PM_{2.5} se Figur 1.3 samt antal partikler, se Figur 1.4.



Figur 1.3. Modellerede hovedbidrag: regionalt baggrundsbidrag, bybaggrundsbidrag og gadebidrag for NO_x, NO₂, PM₁₀ og PM_{2.5} i 2010 (Jensen et al. 2013c).



Figur 1.4. Koncentrationer af partikler som antal pr. cm³: Målt regional baggrundsforurening (Lille Valby/Risø), bybaggrundsforurening (H.C. Ørsted Instituttet) og gadeforurening (H.C. Andersens Boulevard) i 2010 (Ellermann et al. 2011).

1.3 EC som mulig supplerende sundhedsindikator ved bestemte reduktionstiltag

Der er stigende interesse for EC ud fra en sundhedsmæssig synsvinkel. Verdenssundhedsorganisationen WHO har således i 2012 klassificeret dieseludstødning som kræftfremkaldende (gruppe 1) mod tidligere sandsynligvis kræftfremkaldende (gruppe 2A). En væsentlig del af dieseludstødning består af sodpartikler.

Nyere studier tyder endvidere på, at de kulstofholdige partikler er mere sundhedsskadelige end de ikke-kulstofholdige partikler (Rohr & Wyzga 2012; Hoek et al. 2013). De kulstofholdige partikler er fx primært emitteret fra vejtrafik og brændevne, mens de ikke-kulstofholdige partikler fx er de uorganiske sekundære partikler dvs. partikler, der emitteres som gas og ved kemiske processer i atmosfæren bliver omdannet til partikler.

PM_{2.5} er partikler under 2,5 mikrometer i størrelse og anvendes normalt som indikator for sundhedseffekter og vurdering af sundhedseffekternes tilhørende velfærdsøkonomiske omkostninger. Der er en veletableret sammenhæng mellem PM_{2.5} og sundhedseffekter. Dette er baseret på studier mellem sammenhængen mellem befolkningens eksponering for PM_{2.5} typisk fra målestationer placeret i bybaggrunden, og observerede sundhedseffekter. Her sondres der ikke mellem forskellige partikelstørrelser eller kemiske komponenter af PM_{2.5}.

Meget tyder dog på at PM_{2.5} som indikator for vurdering af bestemte tiltag undervurderer sundhedseffekten, når der fx er tale om reduktion af partikeludstødning (Janssen et al. 2011; WHO, 2012). Der er her brug for en indikator som er mere målrettet udstødningspartikler. På baggrund af review af en lang række studier viser Janssen et al. (2011) at gevinsterne for forventet levetid er 4-9 gange større pr. 1 µg/m³ for EC i forhold til PM_{2.5}. For eksempel vil ren-luftzoner reducere EC, da partikeludstødningen reduceres.

En række studier har endvidere vist at afstand/nærhed til vej øger risikoen for en række sundhedseffekter (Hoek et al. 2002). Dette taler også for at lokale forbrændingskilder som fx trafik har en relativ større betydning end det man finder ved at regne med PM_{2,5} som helbredsindikator.

Ovenstående er begrundelser for at fokusere på EC som en supplerende sundhedsindikator i vurdering af effekten af ren-luftzoner, da dette tiltag reducerer partikeludstødningen.

1.4 EC bidrager til klimaforandringer

Ud over de sundhedsmæssige begrundelser er EC også interessant ud fra en klimamæssig synsvinkel, da EC tilhører de såkaldte kortlevede drivhuskomponenter (Short-Lived Climate Forcers). De bidrager til den globale opvarmning og dermed til klimaforandringerne. Blandt de forskellige menneskeskabte drivhusgasser og - komponenter er EC den næst største bidragsyder til klimaforandringer kun overgået af CO₂. Da levetiden for EC måles i dage til uger vil en reduktion af EC få næsten øjeblikkelig effekt i forhold til reduktion af klimapåvirkningen (Bond et al. 2013).

EC i atmosfæren absorberer solens stråling og fører til en direkte opvarmning i atmosfæren, da EC både absorberer indgående solstråling og udgående stråling. EC har endvidere en indirekte virkning på klimaet med øget opvarmning som følge af øget skydannelse, men nettovirkningen er yderst usikker, da skyer reducerer solindstrålingen (køling) men bremser udstrålingen (opvarmning). Når EC er deponeret på sne og isdækkede overflader påvirker det albedo effekten, da det er sort, hvorved det absorberer en del af den solstråling, som normalt ville blive reflekteret til atmosfæren, og dermed øges afsmeltingen.

2 Scenarier for ren-luftzoner

De nuværende miljøzoner gælder kun dieseldrevne busser og lastbiler over 3,5 tons til og med Euro 3, som ikke må køre i miljøzonens i København. Undtaget er dog tunge køretøjer med eftermonteret lukket partikelfilter. Miljøzonens udstrækning er stort set sammenfaldende med Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune (Jensen et al., 2011).

Med udgangspunkt i den tidligere gennemførte luftkvalitetsvurdering for ren-luftzoner i København (Jensen et al. 2012;2013a,b) er der foretaget en vurdering af effekten for EC og visualisering heraf af følgende scenarier:

- Basisscenarie (2015 og 2017)
- Berlinmodellen for vare- og personbiler (2015 og 2017)
- Berlinmodellen for vare- og personbiler plus krav til Euro 4 for alle diesel-køretøjer (2017)

Der tages udgangspunkt i den såkaldte Berlinmodel inden for hvilken der stilles emissionskrav til både person- og varebiler. Kravene svarer til at dieseldrevne person- og varebiler til og med Euro 3 og benzindrevne person- og varebiler til med Euro 0 ikke må køre inden for ren-luftzonens, som er sammenfaldende med den nuværende miljøzone i København.

For Berlinmodellen plus krav til Euro 4 gælder det at alle Euro 4 dieselkøretøjer (person-, varebil-, lastbiler og busser) til og med Euro 4 er omfattet, og ikke må køre i ren-luftzonens.

Køretøjer som ikke må køre i ren-luftzonens erstattes af nyere køretøjer, som er tilladte, eller berørte køretøjer får eftermonteret partikelfilter.

Forbudte køretøjer eller køretøjer som ikke får eftermonteret partikelfilter substitueres af tilladte køretøjer i samme indbyrdes fordeling mellem Euro-klasser og diesel/benzin, som før ren-luftzonekravene.

Der er gjort forskellige antagelser om, hvilken andel som får eftermonteret partikelfilter (åbne filtre på person- og varebiler og lukkede på tunge køretøjer). Åbne filtre er antaget i gennemsnit at reducere partikeludstødning med 30% og lukkede filtre med 80% i overensstemmelses med Trafikstyrelsens udmeldelser herom.

Antagelserne er opsummeret i Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Oversigt over emissionskrav og partikelfilterkrav i de forskellige scenarier samt forudsætninger

Euro-norm	Berlinscenarie		Berlinscenarie		Berlin-scenarie		Berlin + E4		Berlin + E4	Berlin + E4
	Personbil Benzin	Varebil Benzin	Personbil Diesel	Varebil Diesel	Lastbil/bus Diesel	Personbil Benzin	Varebil Benzin	Personbil Diesel	Varebil Diesel	Lastbil/bus Diesel
E0	Forbudt	Forbudt	Forbudt, åbne filter ikke tilladt	Forbudt, åbne filter ikke tilladt	Forbudt	Forbudt	Forbudt, åbne filter ikke tilladt	Forbudt, åbne filter ikke tilladt		
E1			Forbudt, åbne filter ikke tilladt	Forbudt, åbne filter ikke tilladt			Forbudt, åbne filter ikke tilladt	Forbudt, åbne filter ikke tilladt		
E2			Forbudt, åbne tilladt men forudsat 0%	Forbudt, åbne tilladt men forudsat 0%			Forbudt, åbne tilladt men forudsat 0%	Forbudt, åbne tilladt men forudsat 0%		
E3			Forbudt, åbne tilladt forudsat 50% efter- montering	Forbudt, åbne tilladt men forudsat 0%			Forbudt, åbne tilladt forudsat 50% eftermon- tering	Forbudt, åbne tilladt men forudsat 0%		
E4					Forbudt, åbne tilladt, forudsat 50% eftermon- tering	Forbudt, åbne tilladt forudsat 50% eftermon- tering	Forbudt, åbne tilladt for < 2.500 kg (20% lukket filter tilladt, 50% lukkede for > 2.500 kg får lukket (0% eftermontering). filter	Forbudt, åbne tilladt for < 2.500 kg (20% lukket filter tilladt, 50% lukkede for > 2.500 kg får lukket (0% eftermontering). filter	Forbudt, åbne tilladt for < 2.500 kg (20% lukket filter tilladt, 50% lukkede for > 2.500 kg får lukket (0% eftermontering). filter	Forbudt, åbne tilladt for < 2.500 kg (20% lukket filter tilladt, 50% lukkede for > 2.500 kg får lukket (0% eftermontering). filter
E5										
E6										

3 Metode for beregning af EC koncentration

Gadeluftkvalitetsmodellen OSPM med nødvendigt input data for emission, trafik, gadegeometri, bybaggrundskoncentration og meteorologi er benyttet til at beregne EC koncentrationer for en lang række gader i København.

3.1 Datagrundlag for veje, trafik og gadegeometri

Projektet har genbrugt tidligere datagrundlag for veje, trafik og gadegeometri fra det såkaldte ASSET projekt, hvor der blev foretaget luftkvalitetsberegninger for alle gadestrækninger i København med mere end 2.000 biler i døgnet med gadeluftkvalitetsmodellen OSPM. AirGIS systemet er anvendt til at generere input data til OSPM omkring trafik og gadegeometri ud fra GIS data om veje med trafik og bygningsområde med bygningshøjder samt beregningspunkter (Jensen et al., 2009a).

I ASSET projektet er trafikken baseret på DCE's vej- og trafikdatabase (Jensen et al., 2009b), som blev fremskrevet til bl.a. 2015, og som ligger til grund for beregningerne i nærværende rapport. Der er således regnet med samme trafik i scenarierne for 2015 og 2017.

3.2 EC emissionsfaktorer

Som noget nyt er EC emissionsfaktorer implementeret i OSPM (www.au.dk/ospm) på basis af COPERT emissionsmodellen, hvor EC er beskrevet som en procentdel af partikeludstødningen (PM_{2.5}) for de forskellige køretøjsgrupper og Euroklasser, som vist i Tabel 3.1 (Ntziachristos & Samaras, 2010).

Tabel 3.1. EC emissionsfaktorer i COPERT som procentdel af partikeludstødning (PM_{2.5}) for de forskellige emissionsnormer

Køretøjskategori	Euro emissionsnorm	EC/PM _{2.5} (%)	Usikkerhed (%)
Benzin person- og varebiler	PRE-ECE	2	50
	ECE 15 00/01	5	50
	ECE 15 02/03	5	50
	ECE 15 04	20	50
	Open loop	30	30
	Euro 1	25	30
	Euro 2	25	30
	Euro 3	15	30
	Euro 4	15	30
Diesel person- og varebiler	Konventionel	55	10
	Euro 1	70	10
	Euro 2	80	10
	Euro 3	85	5
	Euro 4	87	5
	Euro 3-5 Filter med brændstofsadditiv	10	50
	Euro 3-5 katalyseret partikelfilter	20	50
Diesel lastbiler og busser	Konventionel	50	20
	Euro I	65	20
	Euro II	65	20
	Euro III	70	20
	Euro IV	75	20
	Euro IV	75	20
	Euro VI	15	30

3.3 EC bybaggrundskoncentration

Der foreligger ikke emissionsdata for alle kilder til at kunne modellere bybaggrundskoncentrationen af EC. Derfor er bybaggrundskoncentrationen estimeret ud fra analyse af EC målinger fra Lille Valby (regional baggrund) og gademålinger på H.C. Andersens Boulevard samt kampagnemålinger på H.C. Ørsted Instituttet (bybaggrund) er det estimeret at bybaggrundskoncentration for EC er $0,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, som årsgennemsnit i 2011/2012. Denne værdi er anvendt for alle områder af København selvom der må forventes at være forskel fra område til område.

Denne årsværdi er også anvendt for prognoseårene selvom en lidt mindre værdi kan forventes pga. den løbende udskiftning af bilparken, og tiltagene vil også have en mindre effekt på bybaggrundskoncentrationen.

Målingerne stammer fra NOVANA programmet (Ellerman et al., 2013) og fra det såkaldte partikelforskningsprojekt (Nøjgaard et al. 2013).

3.4 Sammenligning mellem EC målinger og modelberegninger

EC målinger og beregninger med OSPM af gadebidraget på H.C. Andersens Boulevard i 2012 er sammenlignet i Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Sammenligning af målinger og beregninger af gadebidraget på H.C. Andersens Boulevard i 2012

	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Målt gadebidrag (HCAB - HCØ)	14	4	1,8
OSPM modelleret gadebidrag (HCAB - HCØ)	7,6	3,3	0,68 ^a
Forhold (OSPM/målt)	0,54	0,82	0,37

^aPartikeludstødningen er beregnet til $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. EC udgør omkring halvdelen heraf.

Modellen undervurderer i forhold til målingerne, idet modellen giver omkring 40% af EC målingerne og omkring 80% af PM_{2,5} målingerne for gadebidraget.

Da det er første gang, at EC emissionsfaktorer er bygget ind i OSPM, og det ikke inden for projektets rammer har været muligt at gennemføre mere detaljerede analyser af sammenhængen mellem beregninger og målinger, er beregningerne præsenteret, som de er, og der er ikke gjort noget forsøg på fx kalibrering af modelresultaterne i forhold til målingerne.

Da bybaggrundskoncentrationen er baseret på målinger indgår bidrag for alle kilder heri, men det er kun bidraget fra trafik, som er beregnet for gaderne og visualiseret. Andre forbrændingskilder som fx brændeovne kunne også bidrage med EC, men der er ikke tilstrækkelig viden herom til at det kan beregnes.

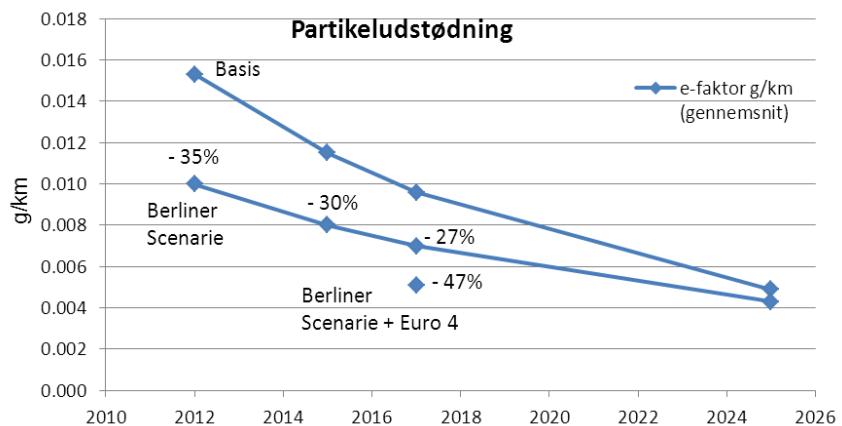
4 Effekten af ren-luftzoner for EC emission og koncentration

4.1 Effekt for partikeludstødning

I det følgende vises udviklingen over tid i partikeludstødningen for hhv. basiscenariet, Berlinerscenariet og Berlinerscenariet inkl. krav til Euro 4 gældende for den gennemsnitlige danske bilpark. Den procentvise reduktion i forhold til basiscenariet er også vist i figurerne. Beregningerne for køretøjs-sammensætning og hastighed er som for H.C. Andersens Boulevard. Beregningerne er fra forskellige projekter, og derfor er der data for basiscenariet og Berlinerscenariet for 2012, 2015, 2017 og 2025, mens der kun er data for Berlinerscenariet inkl. krav til Euro 4 for 2017.

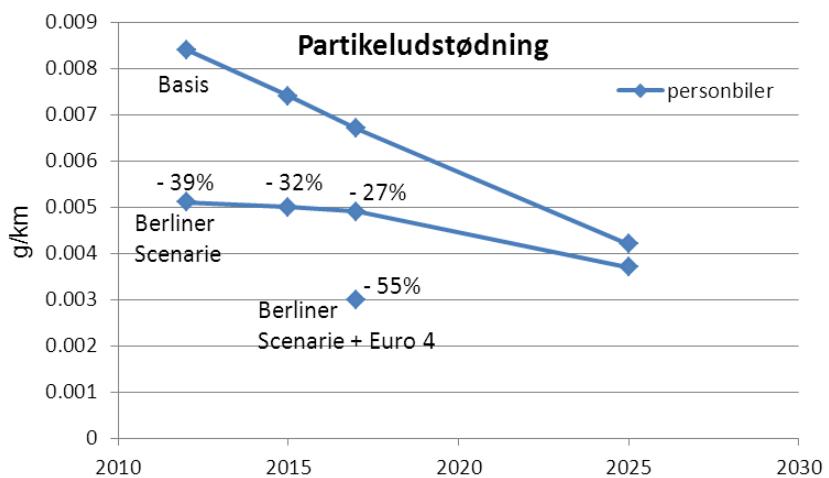
EC emissionen er en procentdel af partikeludstødningen, og afhænger af køretøjskategori og Euronorm (Tabel 4.1). I gennemsnit er EC emissionen omkring halvdelen af partikeludstødningen.

Figur 4.1 viser udviklingen i den gennemsnitlig emissionsfaktor for partikeludstødningen i den danske bilpark og effekten af scenarierne. Grunden til at emissionsfaktoren bliver reduceret med årene er den løbende udskiftning af bilparken, hvor nyere biler med lavere emissionsfaktorer erstatter ældre biler med højere emissionsfaktorer. Det ses endvidere, at effekten af Berlinerscenariet er størst jo tidligere det introduceres, og at effekten reduceres med tiden i takt med bilparkens udskiftning. Effekten af Berlinerscenariet og Berlinerscenariet plus krav til Euro 4 er en kombination af substitution af ældre biler med nyere biler, og eftermonteret af partikelfilter på nogle biler.



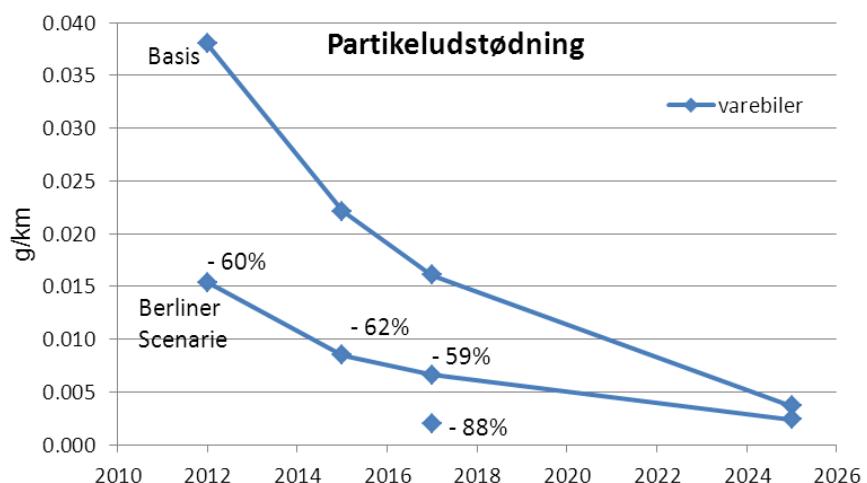
Figur 4.1. Udviklingen i den gennemsnitlig emissionsfaktor for partikeludstødningen for den danske bilpark.

Figur 4.2 viser udviklingen i den gennemsnitlig emissionsfaktor for partikeludstødningen for personbiler i den danske bilpark.



Figur 4.2. Udviklingen i den gennemsnitlig emissionsfaktor for partikeludstødningen for personbiler i den danske bilpark.

Figur 4.3 viser udviklingen i den gennemsnitlig emissionsfaktor for partikeludstødningen for varebiler i den danske bilpark.



Figur 4.3. Udviklingen i den gennemsnitlig emissionsfaktor for partikeludstødningen for varebiler i den danske bilpark.

I Tabel 4.1 er effekten af Berlinscenariet og Berlinscenariet inkl. krav til Euro 4 opsummeret.

Det ses, at Berlinscenariet i gennemsnit reducerer partikeludstødningen med omkring 30% i 2015, som er fordelt på 32% reduktion for personbiler og 62% reduktion for varebiler. Personbilerne bidrager mest til den gennemsnitlige reduktion på 30%, da der er flest personbiler, men den procentvise reduktion er mindst for personbiler under et, da der er mange benzinbiler, som ikke berøres, mens varebiler næsten kun er dieselmotorer.

Berlinscenariet inkl. krav til Euro 4 reducerer i gennemsnit partikeludstødningen med omkring 47% i 2017, som er fordelt på 55% reduktion for personbiler og 88% reduktion for varebiler.

Tabel 4.1. Den procentvise reduktion af partikeludstødningen i Berlinscenariet og Berlin-scenariet inkl. Euro 4 krav i forhold til basisscenariet (%)

	Berlinscenarie		Berlinscenarie+E4	
	2012	2015	2017	2017
Kun personbiler	39	32	27	55
Kun varebiler	60	62	59	88
Gns. bilpark	35	30	27	47

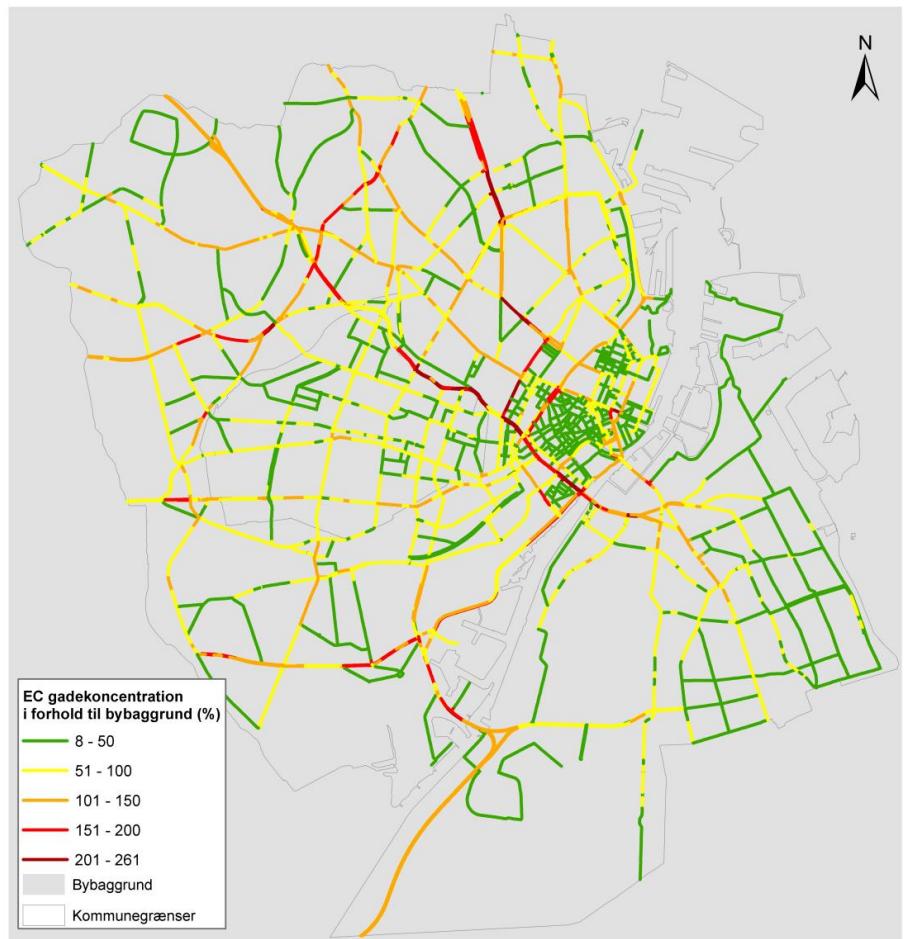
Den tilsvarende reduktion i EC emissionen er kun beregnet i 2015 og 2017 for Berlinscenariet og i 2017 for Berlinscenariet inkl. Euro 4, og er opsummeret i Tabel 4.2. Reduktionen i EC emissionen er lidt større end for den tilsvarende partikeludstødning, idet substitution af ældre biler med nyere biler samt eftermontering af partikelfiltre dels reducerer partikeludstødningen, men EC fraktionen af partikeludstødningen er også mindre for nyere biler i forhold til ældre.

Tabel 4.2. Den procentvise reduktion af EC emission i Berlinscenariet og Berlinscenariet inkl. Euro 4 krav i forhold til basisscenariet (%)

	Berlinscenarie		Berlinscenarie+E4	
	2015	2017	2017	2017
Kun personbiler	34	30	69	
Kun varebiler	80	77	94	
Gns. bilpark	32	28	59	

4.2 Visualisering af effekt for EC koncentration

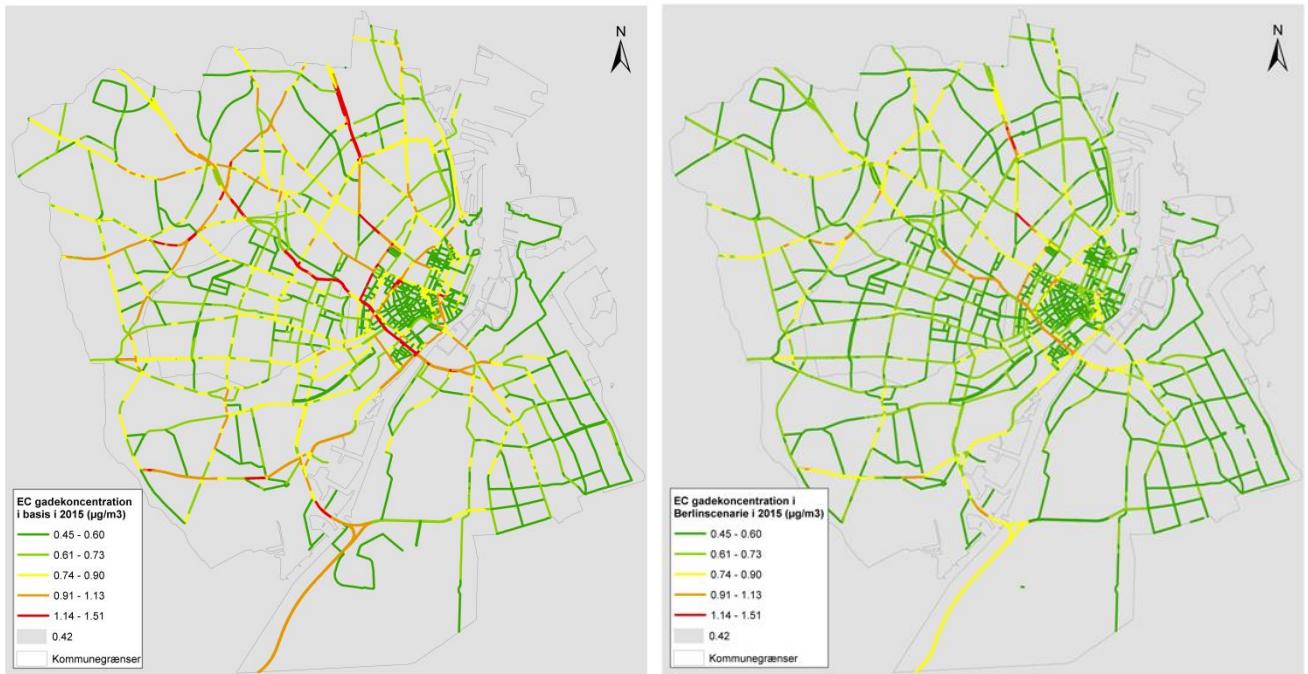
I Figur 4.4 er illustreret, hvor stor den modelberegnede EC gadekoncentration er i forhold til bybaggrundskoncentrationen, hvilket illustrerer hvor meget trafikken lokalt bidrager til gadekoncentrationerne. Ved 100% er gadekoncentrationen således dobbelt så stor som bybaggrundsbidraget. Det ses, at gadekoncentrationen er op til 3,6 gange så stor som bybaggrundskoncentrationen.



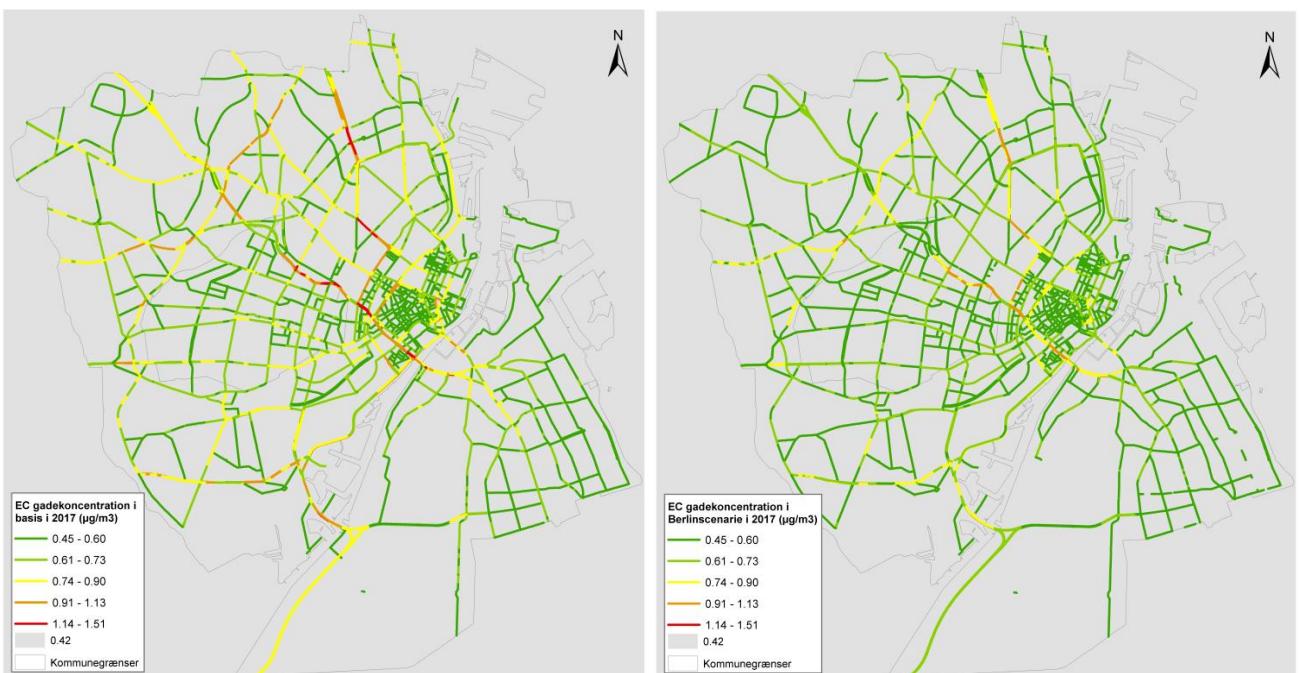
Figur 4.4. EC gadekoncentrationen i forhold til bybaggrundskoncentrationen af EC i 2015 i %.

Figur 4.5 illustrerer effekten af Berlinerscenariet i 2015 og Figur 4.6 i 2017.

EC gadekoncentrationen er op til $1,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2015 i basisscenariet, og den intervalinddeling, som er anvendt i 2015 i basis er anvendt i alle efterfølgende scenarier for grafisk at kunne visualisere effekten af scenarierne. Både i 2015 og 2017 ses en tydelig reduktion i EC gadekoncentrationen for Berlin-scenariet.

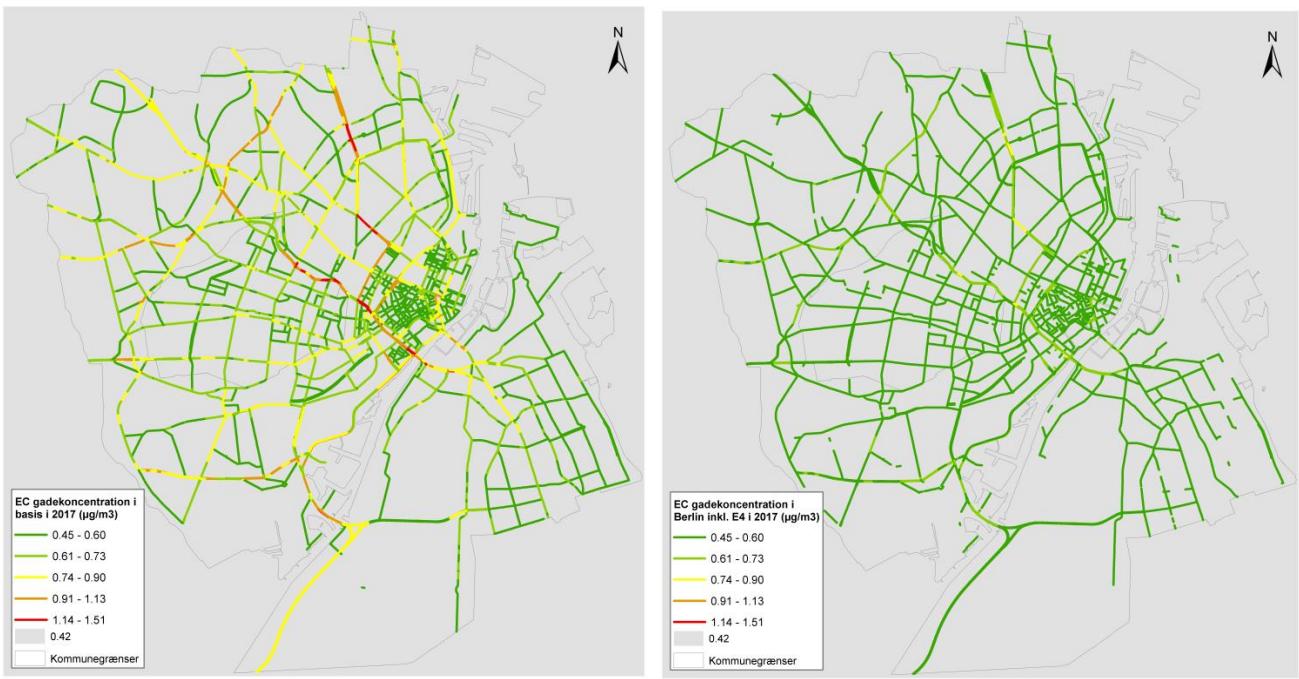


Figur 4.5. Basis 2015 (venstre) og Berlinscenarie 2015 (højre)



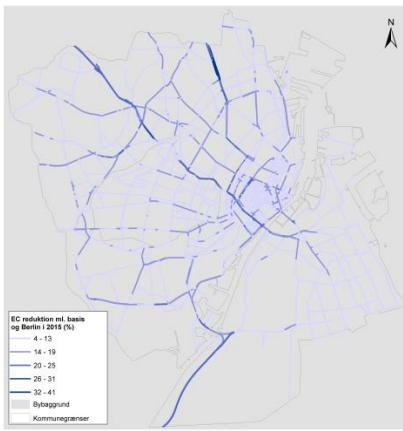
Figur 4.6. Basis 2017 (venstre) og Berlinscenarie 2017 (højre)

Figur 4.7 illustrerer effekten af Berlinerscenariet inkl. krav til Euro 4 for dieselskøretøjer i 2017. Der ses en tydelig reduktion i EC gadekoncentrationen, og at den er større for Berlinscenariet inkl. krav til Euro 4 end for Berlin-scenariet.

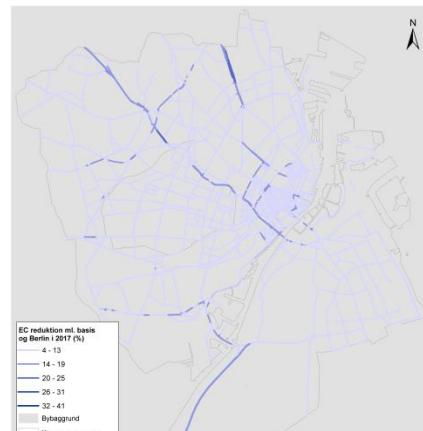


Figur 4.7. Basis 2017 (venstre) og Berlinscenarie inkl. Euro 4 i 2017 (højre)

Figur 4.8a-c illustrerer den procentvise reduktion af EC gadekoncentrationen for ren-luftzonen for hhv. Berlinscenarie i 2015 (sammenlignet med basis i 2015), Berlinscenarie i 2017 (sammenlignet med basis i 2017), og Berlinscenarie inkl. Euro 4 i 2017 (sammenlignet med basis i 2017). Den maksimale procentvise reduktion i EC gadekoncentrationen er 41%, som kun opnås i Berlinscenariet inkl. krav til Euro 4, og intervalinddelingen er baseret på dette scenarie. Det er visuelt tydeligt, at den procentvise reduktion er større for Berlinscenariet i 2015 end i 2017, da en udskydelse af ren-luftzone-kravene vil reducere effekten i implementeringsåret pga. den løbende udskiftning af bilparken. Det er også visuelt tydeligt, at den procentvise reduktion i EC gadekoncentrationen er størst i Berlinscenarie inkl. Euro 4 i 2017.



Figur 4.8a. Den procentvise reduktion af EC gadekoncentrationen for Berlinscenarie i 2015.



Figur 4.8b. Den procentvise reduktion af EC gadekoncentrationen for Berlinscenarie i 2017.



Figur 4.8c. Den procentvise reduktion af EC gadekoncentrationen for Berlinscenarie inkl. Euro 4 i 2017

5 Referencer

Bond, T.C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., Flanner, M. G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P. K., Sarofim, M. C., Schultz, M. G., Schulz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., Bellouin, N., Guttikunda, S. K., Hopke, P. K., Jacobson, M. Z., Kaiser, J. W., Klimont, Z., Lohmann, U., Schwarz, J. P., Shindell, D., Storelvmo, T., Warren, S. G., Zender, C. S., 2013, 'Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment', *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.

Ellermann, T., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Jansen, S., Massling, A. & Jensen, S. S. (2013): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2012. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. No. 67. 62 pp. (In preparation).

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

Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B, et al. 2013. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. Environ Health 12:43; doi:10.1186/1476-069X-12-43.

Janssen, N.A.H. Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer,P., van Bree, L., Brink, H.T., Keuken, M., Atkinson, R.W. Anderson, H.R., Brunekreef, B., Cassee, F.R. (2011): Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM₁₀ and PM_{2.5}. Environ Health Perspect 119:1691-1699 (2011). <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1003369> [Online 2 August 2011].

Jensen, S.S., Becker, T., Ketzel, M., Hansen, M.S., Andersen, M.S., (2009a): Assessing Sensitiveness to Transport. WP 5 Case Studies. No. 9 Urban areas: Copenhagen. European Commission, DG TREN, Sixth Framework Programme, Thematic Priority 8, Policy-orientated research, Specific Targeted Research Project, Contract N. 044274. April 2009. 66 p.

Jensen, S.S., Hvidberg, M., Petersen, J., Storm, L., Stausgaard, L., Becker, T., Hertel, O. (2009b): GIS-baseret national vej- og trafikdatabase 1960-2005 (GIS-based National Road and Traffic Database 1960-2005). Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, Roskilde. 73 s. Faglig rapport nr. 678, 2009. <http://www2.dmu.dk/Pub/FR678.pdf>

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., Ketzel, M., Brandt, J., Winther, M. 2012: 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., Ketzel, M., Brandt, J., Martinsen, L., Becker, T. 2013a: Ren-luftzone i København og sparet 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. (2013b) Spared eksterne omkostninger for luftforurening ved en geografisk udvidelse af ren-luftzone i København. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. (In print).

Jensen, S.S., Brandt, J., Ketzel, M., Plejdrup, M. 2013c: Kildebidrag til sundhedsskadelig luftforurening i København. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 85 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 57. <http://www.dmu.dk/Pub/SR57.pdf>

Maricq, M.M. (2007): Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. *Aerosol Science* 38 (2007) 1079 – 1118

Nøjgaard et al. (2013): Afrapportering af partikelforskningsprojektet (In preparation).

Ntziachristos, L. & Samaras, Z . (ed.)(2010): EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009, updated June 2010.

Palmgren, F. (ed.) Luftforurening med partikler – et sundhedsproblem. Miljøbiblioteket 14, 2009.

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

WHO (2012): Health Effects of Black Carbon.

EFFEKT AF REN-LUFTZONER FOR LUFTFORURENING MED SODPARTIKLER

Undersøgelsen omfatter en effektvurdering af ren-luftzone i København ud fra 3 forskellige scenarier: basisscenarie, Berlinerscenarie, Berlinerscenarie inkl. krav til Euro 4 biler med fokus på EC, som er elementært kulstof. Effekten vurderes for partikeludstødningen og EC koncentrationen, og effekten for EC koncentrationen visualiseret tillige på kort for ren-luftzone scenarierne.