



LUFTKVALITETSVURDERING AF SCRT PÅ BYBUSSE I KØBENHAVN

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 192

2016



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

LUFTKVALITETSVURDERING AF SCRT PÅ BYBUSSE I KØBENHAVN

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 192

2016

Steen Solvang Jensen
Matthias Ketzel
Thomas Ellermann
Morten Winther

Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer: Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 192

Titel: Luftkvalitetsvurdering af SCRT på bybusser i København

Forfattere: Steen Solvang Jensen, Matthias Ketzel, Thomas Ellermann og Morten Winther

Institution: Aarhus Universitet, DCE-Nationalt Center for Miljø og Energi

Udgiver: Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©

URL: <http://dce.au.dk>

Udgivelsesår: November 2016

Redaktion afsluttet: November 2016

Faglig kommentering: Per Løfstrøm

Kvalitetssikring, DCE: Vibeke Vestergaard Nielsen

Finansiel støtte: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Jensen, S.S., Ketzel, M., Ellermann, T., Winther, M., 2016. Luftkvalitetsvurdering af SCRT på bybusser i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 32 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 192. <http://dce2.au.dk/pub/SR192.pdf>

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning: I rapporten vurderes effekten af eftermontering af SCRT på omkring 300 bybusser i København, som en del af Miljøstyrelsens luftkvalitetsplan for NO₂ i København. Dette gøres ud fra analyse af udviklingen i målte koncentrationer på de faste målestationer, og ud fra beregninger med luftkvalitetsmodeller baseret på oplysninger fra Movia om busser med og uden SCRT. SCRT reducerer både udledning af kvælstofoxider (NO_x) og partikler, som er sundhedsskadelige. Det er ikke muligt ud fra analyse af udviklingen i målingerne at isolere en effekt af SCRT på bybusser i København, som kan ses i målingerne. Modelberegningerne forudsætter, at SCRT reducerer emission af NO_x og partikler fra den enkelte bus med 90%. Modelberegninger for 98 gader i København viser, at koncentrationen af NO₂ reduceres med 1,0 µg/m³ i gennemsnit pga. eftermontering af SCRT for de 300 busser, og at reduktionen ville være 1,3 µg/m³, hvis alle bybusser havde SCRT. Mere detaljerede analyser er foretaget for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, hvor der er målestationer. Koncentrationen af NO₂ reduceres med 1,3 µg/m³ på H.C. Andersens Boulevard og 1,2 µg/m³ på Jagtvej.

Emneord: SCRT, bybus, luftkvalitet, København, RenLuftBus

Layout: Majbritt Ulrich

Foto forside: Movia

ISBN: 978-87-7156-216-3

ISSN (elektronisk): 2244-9981

Sideantal: 32

Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som <http://dce2.au.dk/pub/SR192.pdf>

Indhold

1	Forord	5
2	Sammenfatning	6
2.1	Baggrund og formål	6
2.2	Undersøgelsen	6
2.3	Hovedkonklusioner	8
3	Analyse af effekt af SCRT ud fra målinger	10
4	Analyse af effekt af SCRT ud fra modelberegninger	15
4.1	Scenarier	15
4.2	Emissionseffekt af SCRT teknologien	15
4.3	Implementering i OSPM	19
4.4	Bybusser med SCRT på 98 gader i København	22
4.5	Bybusser med SCRT på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej	25
4.6	Effekt af SCRT for luftkvalitet på 98 gader	27
4.7	Effekt af SCRT for luftkvaliteten på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej	28
5	Referenceliste	32

1 Forord

Formålet med denne rapport er at vurdere effekten for luftkvaliteten på udvalgte gader i København som følge af eftermontering af SCRT på bybusser i København. SCRT reducerer både udledning af kvælstofoxider (NO_x) og partikler, som begge er sundhedsskadelige.

Baggrund for rapporten er, at grænseværdien for årsmiddelkoncentrationen af kvælstofdioxid (NO_2) fortsat er overskredet ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard i København. På grund af overskridelserne vedtog Miljø- og Fødevareministeriet i 2015 en ny Luftkvalitetsplan for København, som har til hovedformål at sikre, at koncentrationerne af NO_2 i København bliver reduceret, så grænseværdierne for NO_2 kan blive overholdt så hurtigt som muligt. Et af hovedelementerne i denne plan er eftermontering af SCRT på omkring 300 af Movias bybusser i København. Rapporten har derfor et særligt fokus på NO_2 .

I rapporten vurderes effekten af SCRT ud fra en analyse af udviklingen i målte koncentrationer på de faste målestationer, og ud fra beregninger med luftkvalitetsmodeller baseret på oplysninger fra Movia om busser med og uden SCRT.

Målgruppen for rapporten er teknikere, planlæggere og sagsbehandlere i Miljøstyrelsen, Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune samt andre større kommuner, samt rådgivere inden for området, men også interesserede borgere og interesseorganisationer inden for miljøområdet.

Projektet er finansieret af Miljøstyrelsen, og kontaktperson i Miljøstyrelsen er Christian Lange Fogh.

2 Sammenfatning

2.1 Baggrund og formål

Grænseværdien for årsmiddelkoncentrationen af kvælstofdioxid (NO₂) på 40 µg/m³ overskrides fortsat ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard i København. I 2015 blev koncentrationen målt til 48 µg/m³ (Ellermann et al., 2016). På grund af overskridelserne vedtog Miljø- og Fødevareministeriet i 2015 en ny Luftkvalitetsplan for København (Miljøprojekt nr. 1160, 2015). Hovedformålet med planen er at sikre, at koncentrationerne af NO₂ i København bliver reduceret, så grænseværdierne for NO₂ kan blive overholdt så hurtigt som muligt. Et af hovedelementerne i denne plan er montering af såkaldte SCRT-systemer på omkring 300 af Movias bybusser i København. Movia kalder en bus med SCRT for en RenLuftBus, og der sidder et lille mærkat på bussen med dette navn. Eftermontering af SCRT på de omkring 300 busser er blevet foretaget i løbet af perioden fra september 2015 til marts 2016. SCRT er leveret af firmaet Amminex.

2.2 Undersøgelsen

SCRT-systemerne er en kombination af en SCR-katalysator og et partikelfilter, som til sammen reducerer emission af både NO_x (sum af NO og NO₂) og partikler. SCR står for Selective Catalytic Reduction (af NO_x) og T for Trap (dvs. partikelfilter).

For at vurdere effekten for luftkvaliteten som følge af eftermontering af SCRT-katalysatorerne på bybusserne er der gennemført en analyse af udviklingen i målte koncentrationer på de faste målestationer, og der er gennemført beregninger med luftkvalitetsmodeller baseret på oplysninger fra Movia om busser med og uden SCRT.

Analyse af effekt af SCRT ud fra målinger

DCE udfører kontinuerlige målinger af NO₂ i forbindelse med den nationale overvågning af luftkvalitet (Delprogram for luft under NOVANA). Der gennemføres bl.a. luftkvalitetsmålinger på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, og analyse heraf er anvendt til at forsøge at vurdere effekten af SCRT. Til sammenligning inddrages analyse af målinger fra målestationer i Aarhus, hvor der ikke er eftermonteret SCRT på bybusser.

Ligeledes inddrages koncentrationerne målt på bybaggrundsmålestationen i København, som ikke vil blive nævneværdigt påvirket af de reducerede udledninger fra busserne. De reducerede udledninger fra busserne forventes at føre til et fald i forholdet mellem koncentrationerne målt ved gademålestationerne og i bybaggrund og i forholdet mellem koncentrationerne målt ved gademålestationerne i København og Aarhus. Udviklingen heri analyseres i et forsøg på at isolere effekten af SCRT.

Analyse af effekt af SCRT ud fra luftkvalitetsmodeller

Effekten af montering af SCRT på bybusser estimeres ud fra modelberegninger af luftkvaliteten. Der opstilles et referencescenarie uden SCRT og et scenarie med SCRT for 2015 med udgangspunkt i eftermontering af SCRT på omkring 300 bybusser i København. Endvidere gennemregnes et scenarie, hvor det antages, at alle bybusser får eftermonteret SCRT.

Beregningerne gennemføres med de samme modelforudsætninger som for NOVANA-beregningerne for 2015 (Ellermann et al., 2016). Modelberegningerne er baseret på en regional luftkvalitetsmodel (Danish Eulerian Hemispheric Model-DEHM), en bybaggrundsmodel (Urban Background Model-UBM), og en gadeluftkvalitetsmodel (Operational Street Pollution Model-OSPM).

Beregningerne gennemføres for de 98 gader, som indgår i kortlægningen i NOVANA-beregningerne. Heri indgår også H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, hvor der gennemføres mere detaljerede analyser. Movia har leveret oplysninger om antallet af bybusser med/uden SCRT i København. Movia er trafiksselskab for rutebusser på hele Sjælland.

I effektiv vurderingen er det forudsat, at SCRT reducerer NO_x og partikler med 90% under normal drift og vedligehold. I tidligere luftkvalitetsvurderinger af effekten for emissionen af SCR og partikelfiltre anvendtes en emissionsreduktion på 80% for både NO_x og partikler ud fra anbefalinger fra Trafik- og Byggestyrelsen (Jensen & Ketzel, 2009; Jensen et al. 2011;2012). Dette svarer til, at bybusser med eftermonteret SCRT har emissioner, som modsvarer Euro VI emissionsnormen, som gælder for helt nye busser. Baggrunden for at antage en højere effektivitet end tidligere er, at SCR teknologien er blevet mere effektiv. Det var tidligere et problem, at SCR havde lav effektivitet for NO_x under driftsforhold med lav udstødningstemperatur fx i bykørsel. De nye målinger viser, at SCRT har god effektivitet under alle forhold. De nyeste SCRT systemer synes derfor at have løst det tidligere problem. Endvidere måles NO_x på selve busserne under normal drift, og det er derfor muligt at fejlrrette og vedligeholde, hvis der måles for høj NO_x udstødning. Der er også mere fokus på systematisk vedligehold af partikelfiltre. En række nye målinger understøtter dette i form af målinger på busser i drift og målinger af busser testet på rullefelt i laboratoriet (Miljøstyrelsen, 2015b) samt Amminex' løbende målinger på alle 300 busser med NO_x sensorer (NO_x Tracker; <https://itunes.apple.com/us/app/noxtracker-live/id1082670426?mt=8>).

Det er valgt at beskrive andelen af SCRT som et gennemsnit over alle de 98 gader og ikke hver gade for sig, hvilket ville være meget ressourcekrævende. Denne procentsats er beregnet ved at opgøre antallet af kørte km med SCRT bybusser i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune i forhold til samtlige kørte km med bybusser, dvs. både med og uden SCRT. Alle 98 gader ligger i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Denne analyse viste, at 57% af alle kørte km med bybus sker med SCRT, som følge af eftermontering på de omkring 300 busser. Eftermontering er sket på bybusser over 15 tons og for emissionsklasserne Euro III, IV og EEV (EEV modsvarer Euro V). Omkring 19% af alle bybusser er i forvejen Euro VI, dvs. at 76% (57%+19%) af alle bybusser modsvarer Euro VI, hvilket er euroklassen med de laveste emissioner.

I beregningerne forudsættes det endvidere, at bybaggrundsforureningen er upåvirket af SCRT tiltaget, og det er således kun gadebidraget, som reduceres. Bybaggrundsforureningen er repræsentativ for koncentrationer over tagniveau eller i en park, og er bestemt af langtransport af luftforurening fra udlandet og det øvrige Danmark samt bidraget fra byens emissioner. Tidligere vurderinger viser, at der kan forventes en marginal reduktion i bybaggrundsforureningen som følge af det pågældende tiltag (Jensen et al., 2012).

2.3 Hovedkonklusioner

Vurdering af effekt af SCRT ud fra målinger

For både NO_x og NO_2 er der en relativ ensartet variation i månedsmiddelværdierne for de tre gademålestationer (H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København og Banegårdsgade i Aarhus). Dette ses tydeligt for NO_x i perioden fra 2015 og frem. Der er med andre ord ikke noget, der peger på, at den målte udviklingstendens har været anderledes i København end i Aarhus. Da det kun er bybusserne i København, som har fået eftermonteret SCRT, kan det derfor konkluderes, at de reducerede udledninger fra bybusserne ikke kan observeres i de målte koncentrationer. På basis af dette kan det ikke konkluderes, at SCRT ikke har haft effekt. De naturlige variationer i de meteorologiske forhold giver blot så store naturlige variationer i koncentrationerne af NO_x og NO_2 , at det ikke er muligt at isolere effekten af SCRT på det foreliggende datagrundlag.

Vurdering af effekt af SCRT ud fra modelberegninger for 98 gader i København

Modelberegninger for 98 gader i København viser, at koncentrationen af NO_2 reduceres med $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i gennemsnit pga. eftermontering af SCRT på de 300 busser, og at reduktionen ville være $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvis alle bybusser havde SCRT. Grunden til at effekten ikke bliver større ved at alle bybusser har SCRT i forhold til gennemsnitsscenariet er, at 19% allerede er Euro VI busser, og disse busser får ikke SCRT, da de allerede har NO_x reducerende udstyr, som modsvarer SCRT, dvs. at 76% ($57\%+19\%$) af alle bybusser modsvarer Euro VI. I scenariet, hvor alle bybusser har SCRT, er det derfor kun ekstra 24% busser, som får eftermonteret SCRT.

I referencesituationen uden SCRT er der 9 overskridelser af grænseværdien for NO_2 som årsmiddelværdi i 2015 for de 98 gader. Dette bliver reduceret til 5 overskridelser, hvis 57% af alle bybusser har eftermonteret SCRT, og til 4 overskridelser, hvis alle bybusser har eftermonteret SCRT.

Vurdering af effekt af SCRT ud fra modelberegninger for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København

Mere detaljerede analyser er foretaget for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, hvor der er målestationer. For disse to gader er anvendt oplysninger om det faktiske antal bybusser ud fra køreplaner, og hvilke buslinjer, som har SCRT. Da 84% af alle bybusser på H.C. Andersens Boulevard har fået eftermonteret SCRT og 100% på Jagtvej, er det i beregningerne forudsat, at alle bybusser har eftermonteret SCRT.

NO_2

Eftermontering af SCRT på bybusser på H.C. Andersens Boulevard reducerer NO_x -emissionen med 34% for by- og turistbusser under et. Ses reduktion i forhold til alle køretøjsgrupper reduceres NO_x med 3,8%.

For Jagtvej reducerer SCRT på bybusser NO_x -emissionen med 73% for by- og turistbusser under et, og ses reduktionen i forhold til alle køretøjsgrupper reduceres NO_x med 10%. Den procentvise reduktion er større på Jagtvej i forhold til H.C. Andersens Boulevard, da bybusser på Jagtvej udgør 91% af den samlede mængde af by- og turistbusser, mens bybusser tilsvarende kun udgør 50% på H.C. Andersens Boulevard.

Koncentrationen af NO_2 reduceres med $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på H.C. Andersens Boulevard og $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på Jagtvej. Den procentvise reduktion i emissionen er

større på Jagtvej i forhold til H.C. Andersens Boulevard, fordi der er procentvis flere bybusser på Jagtvej i forhold til H.C. Andersens Boulevard ud af alle busser. På trods af dette opnås alligevel lidt større reduktion i NO₂-koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard end på Jagtvej. Det skyldes, at antallet af bybusser på H.C. Andersens Boulevard er omkring 30% højere end på Jagtvej.

Da der i 2015 blev målt en koncentration af NO₂ på 48 µg/m³ på målestationen på H.C. Andersens Boulevard, vil eftermontering af SCRT på bybusser ikke bringe koncentrationen ned under grænseværdien på 40 µg/m³ for målestationens nuværende placering, men det vil give et skridt i den rigtige retning.

DCE har i forbindelse med en tidligere undersøgelse af forskellige scenarier for ren-luftzoner for København vurderet, at koncentrationen af NO₂ på H.C. Andersens Boulevard vil blive reduceret med omkring 1,8 µg/m³, hvis samtlige busser overholder Euro VI-normen i 2015. Dette svarer til de forudsætninger, som er gennemregnet i nærværende rapport. Den tidligere vurdering var baseret på en simpel regression mellem emissionstæthed og NO₂ koncentration for estimering af effekten for NO₂, og ikke beregnet med luftkvalitetsmodeller, som i nærværende rapport. Herudover er der mindre forskelle i forudsætninger omkring trafikmængden, bussernes andel og fordeling på hhv. by- og turistbusser, hvilket til sammen forklarer den mindre forskel mellem nuværende vurdering på 1,3 µg/m³ og den tidligere på 1,8 µg/m³.

Partikler

SCRT reducerer den samlede partikeludstødning fra trafikken på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej med hhv. 1,4% og 4%, og med hhv. 28% og 54% af partikeludstødningen fra by- og turistbusser under et.

Dette svarer til en reduktion i partikelkoncentrationen på 0,02 µg/m³ og 0,03 µg/m³ for hhv. H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, hvilket er marginalt i forhold til de målte PM_{2.5} og PM₁₀ niveauer. De målte gadekoncentrationer i 2015 på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej er hhv. 18 µg/m³ og 17 µg/m³ for PM_{2.5} og 30 µg/m³ og 26 µg/m³ for PM₁₀. Det samlede udstødningsbidrag til partikelkoncentrationer er lille, da en række andre bidrag dominerer. Der er et meget stort bidrag fra den regionale forurening, og et stort bidrag fra ikke-udstødning som vej-, dæk- og bremseslid samt ophvirvling af partikler. Samtidige er udstødningsdelen løbende blevet reduceret, som følge af at flere køretøjer har partikelfilter.

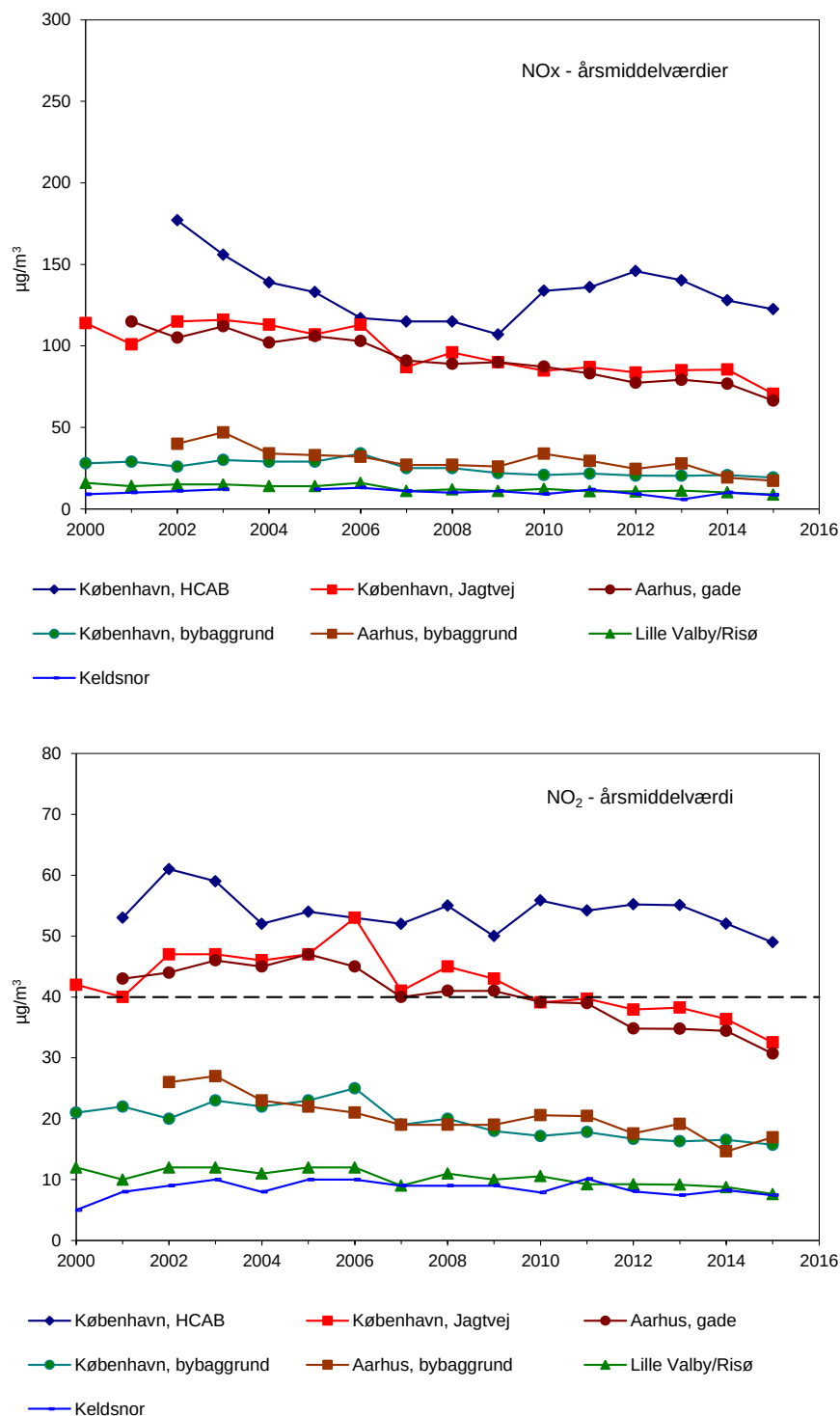
Selvom den samlede reduktion i partikelemissioner er beskeden, er der alligevel en sundhedsmæssig gevinst ved reduktion af partikeludstødning, da Verdenssundhedsorganisationen WHO har omklassificeret dieseludstødning fra sandsynligvis kræftfremkaldende til kræftfremkaldende (WHO, 2012). Endvidere tyder nyere studier på, at de kulstofholdige partikler som dieseludstødning er mere sundhedsskadeligt end ikke-kulstofholdige partikler (Rohr & Wyzga 2012; Hoek et al. 2013).

3 Analyse af effekt af SCRT ud fra målinger

Eftermontering af SCRT på de omkring 300 busser er blevet foretaget i løbet af perioden fra september 2015 til marts 2016. I denne periode skete der derfor en gradvis indfasning af reduktionen af udledningerne fra busserne, mens den fulde effekt først kunne ses efter marts 2016.

For at vurdere om der har været en effekt af de reducerede udledninger på de målte luftkoncentrationer, har DCE gennemgået udviklingstendenserne for NO₂ og NO_x siden 2000. NO_x består af summen NO og NO₂, hvoraf det kun er NO₂, der er sundhedsskadelig, og hvor der er vedtaget en grænseværdi. Da trafik udleder begge disse komponenter, og da der i atmosfæren er en varierende balance mellem NO og NO₂ pga. varierende mængde af ozon og sollys, så er NO_x den bedste parameter at anvende til at vurdere om, der kan observeres et fald i udledninger af kvælstofilter fra trafikken.

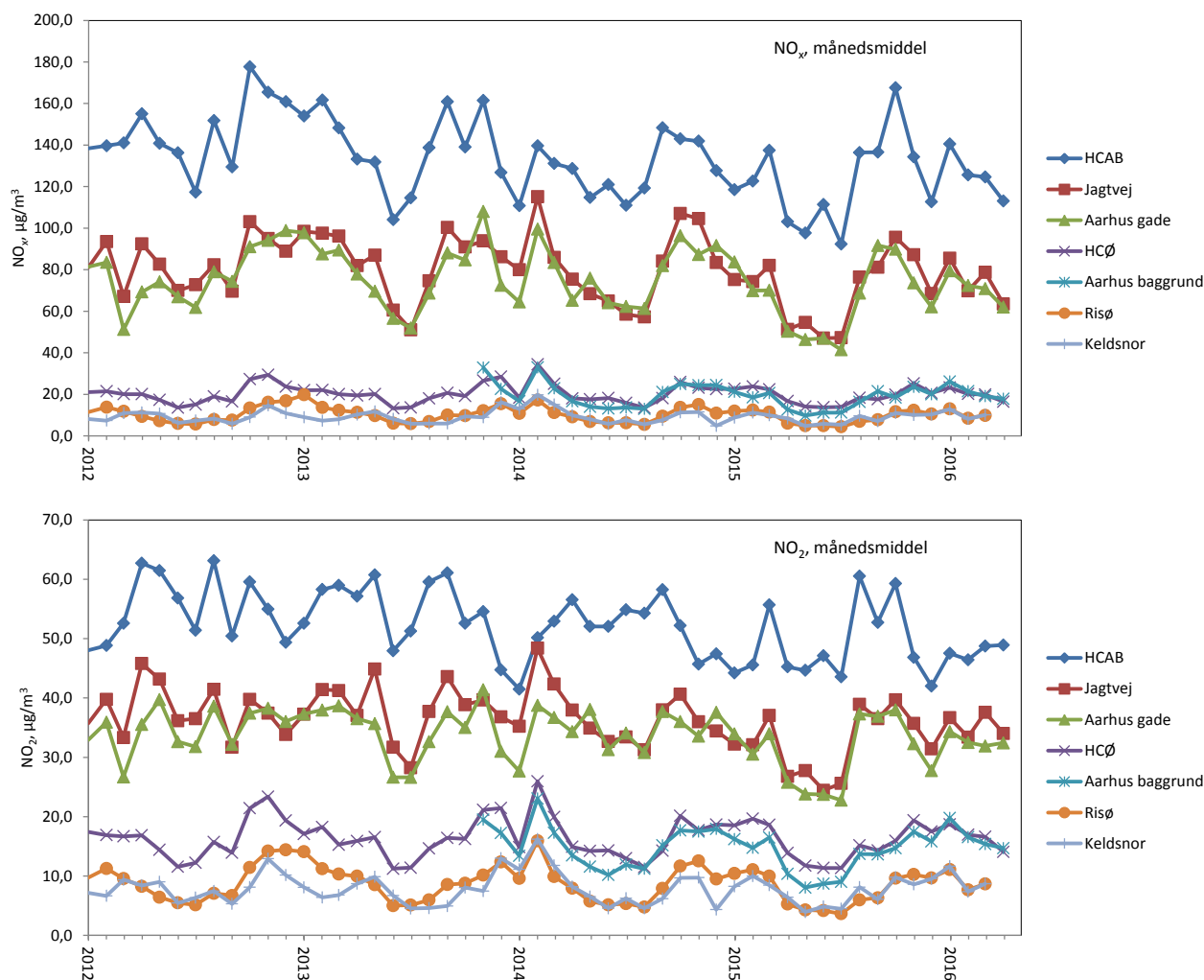
Figur 3.1 viser udviklingstendensen i årsmiddelværdierne for NO₂ og NO_x i perioden fra 2000 til 2015 for gademålestationerne i København og Aarhus samt for bybaggrundsmålestationerne (København og Aarhus) og målestationer udenfor byerne (Risø og Keldsnor). For NO_x ses for perioden et fald på omkring 5, 15 og 10 µg/m³ for H.C. Andersens Boulevard (HCAB), Jagtvej og gademålestationen i Aarhus. For NO₂ ses fald på omkring 3, 4 og 4 µg/m³ for HCAB, Jagtvej og gademålestationen i Aarhus. Da faldet observeres både i København og Aarhus er faldet i koncentrationerne på HCAB og Jagtvej formentligt hovedsageligt relateret til et generelt fald i udledningerne og/eller de naturlige variationer i de meteorologiske forhold. Disse har stor indflydelse på langtransport af luftforurening, den lokale opblanding af udledningerne fra trafikken og de kemiske omdannelser i atmosfæren. Denne vurdering underbygges af, at der også observeres et fald i koncentrationerne i bybaggrund og på landbaggrundsmålestationerne.



Figur 3.1. Årsmiddelkoncentrationerne af NO_x og NO₂ målt ved gademålestationerne i København (HCAB, Jagtvej) og Aarhus (Banegårdsgade), bybaggrundsmålestationerne i København og Aarhus samt landbaggrundsmålestationerne (Lille Valby/Risø, Keldsnor). Målingerne er foretaget i forbindelse med Delprogram for luft under NOVANA.

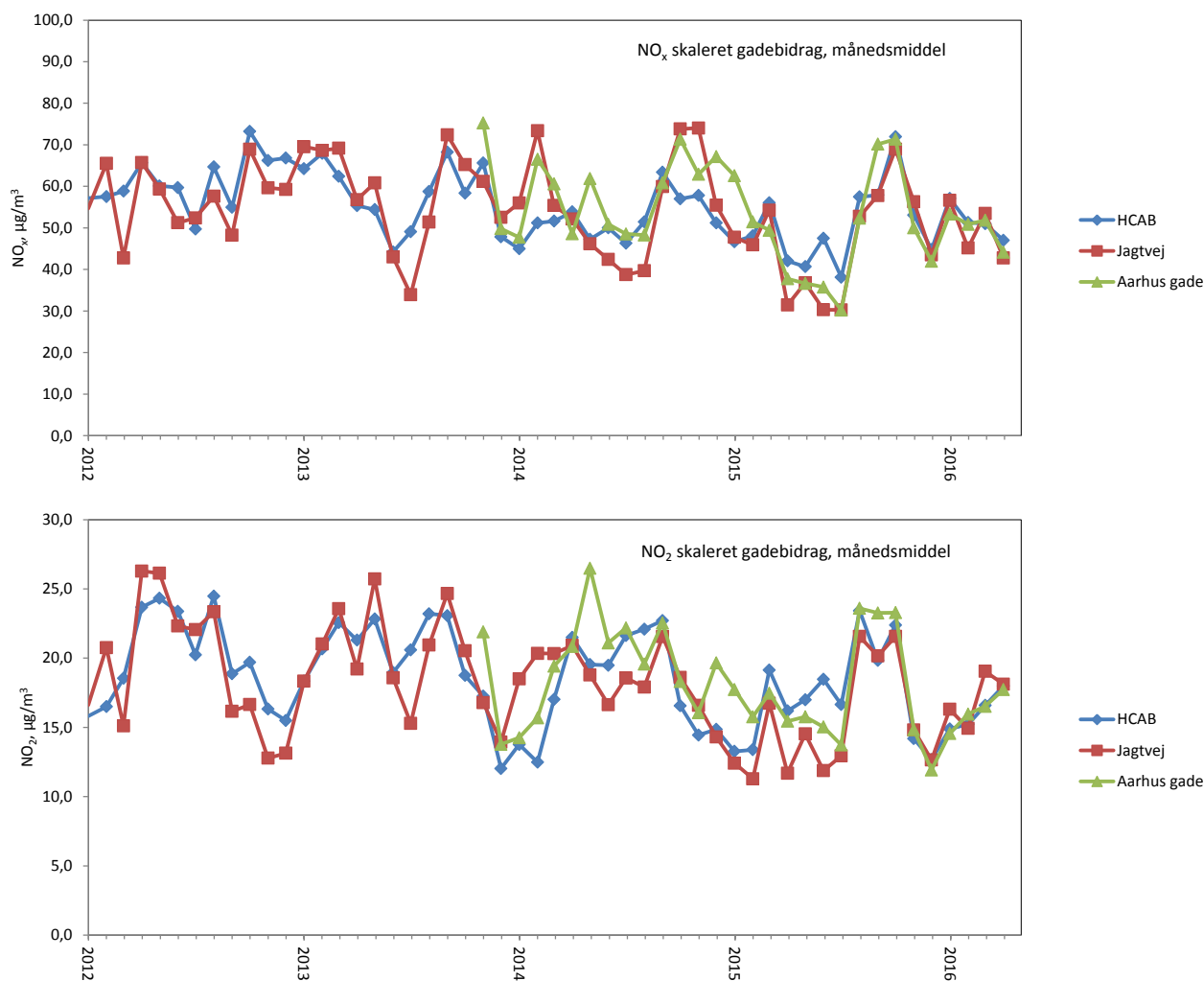
Den fulde effekt af montering af SCRT var først fuldt indfaset i marts-april 2016. Figur 3.2 viser derfor månedsmiddelværdierne for NO₂ og NO_x fra 2012 og frem til og med april 2016. Der er stor variation fra måned til måned, hvilket skyldes sæsonvariation og naturlige variationer i de meteorologiske forhold. Udlænderne fra trafik er relativt stabile i sammenligning hermed, idet trafikmængden er relativt jævnt fordelt året rundt bortset fra de store

ferieperioder, hvor den er lavere. Grundet de naturlige variationer i månedsmiddel er det svært umiddelbart at vurdere udviklingstendensen. Imidlertid svarer variationerne i månedsmiddel nogenlunde til hinanden på HCAB, Jagtvej og Aarhus gademålestation helt frem til april 2016. Dette peger på, at effekten af de reducerede busudledninger har en størrelse, som ikke tydeligt kan ses i de målte koncentrationer.



Figur 3.2. Månedsmiddelkoncentrationerne af NO_x og NO₂ målt ved gademålestationerne i København (HCAB, Jagtvej) og Aarhus (Banegårdsgade), bybaggrundsmålestationerne i København og Aarhus samt landbaggrundsmålestationerne (Lille Valby/Risø, Keldsnor). Målingerne er foretaget i forbindelse med Delprogram for luft under NOVANA.

Der er også variation i månedsmiddelkoncentrationerne i bybaggrund og disse følger ikke helt samme mønster som variationerne i gadekoncentrationerne. Figur 3.3 viser derfor udviklingstendenser, hvor udviklingen i det såkaldte gadebidrag til koncentrationerne af NO_x og NO_2 er estimeret ud fra målingerne. Gadebidraget estimeres ud fra forskellen mellem de målte koncentrationer på gademålestationerne fratrasket koncentrationerne målt i bybaggrund. Gadebidraget er en indikator for trafikens emission. For at lette den visuelle sammenligning mellem målestationerne er koncentrationerne skaleret således, at middelværdierne gennem hele perioden er ens for de tre målestationer. For både NO_x og NO_2 er der en relativt ensartet variation i månedsmiddelværdierne for de tre gademålestationer. Dette ses tydeligt for NO_x i perioden fra 2015 og frem.



Figur 3.3. Gadebidrag til NO_x og NO_2 ved gademålestationerne i København (HCAB, Jagtvej) og Aarhus (Banegårdsgade). Gadebidraget er estimeret ud fra forskellen mellem månedsmiddelkoncentrationerne ved gademålestationen og bybaggrundsmålestation. Gadebidraget er skaleret således, at gennemsnit for hele perioden fra de tre målestationer er ens. HCAB er skaleret med faktor 0,5 og Jagtvej er skaleret med 0,9. Målingerne er foretaget i forbindelse med Delprogram for luft under NOVANA.

For at undersøge om der er forskel på situationen før og efter montering af SCRT har vi undersøgt middelværdierne for perioden fra februar til og med april i 2015 og 2016 (Tabel 3.1). Det er de samme måneder, som er valgt i de to år, for så vidt det er muligt at tage højde for forskel i sæsonvariation i de meteorologiske forhold, udledningerne fra trafikken, kørselsmønster m.m.. På HCAB måles et fald på $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mens der på Jagtvej til gengæld måles en stigning på $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. På gadestationen i Aarhus ses en lille stigning på $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabel 3.1. Middelkoncentration af NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i februar-april i 2015 og 2016 på HCAB, Jagtvej, Aarhus gade og bybaggrundsmålestationerne i København (HCØ) og Aarhus.

	HCAB	Jagtvej	Aarhus gade	HCØ	Aarhus bybaggrund
2015	53,4	34,9	33,4	19,8	16,0
2016	51,5	36,5	34,8	16,9	16,6

Som middel af en tremåneders periode vil det normalt kunne forventes at eventuelle ændringer i trafiksammensætningen vil være ens på HCAB og Jagtvej. Endvidere har bybusserne på både HCAB og Jagtvej fået monteret SCRT (se Kapitel 4) og derfor må det forventes, at SCRT har givet et fald i udledningerne ved begge målestationer. På trods af dette er koncentrationerne af NO_2 på HCAB steget med omkring $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fra 2015 til 2016 og faldet med omkring $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på Jagtvej. Denne forskel må tilskrives måleusikkerhederne og de naturlige variationer i de meteorologiske forhold fra 2015 til 2016. Ændringerne i de meteorologiske forhold fra et år til det næste kan påvirke de to målestationer på forskellig vis, da de to gadestrækninger har meget forskellig fysisk udformning (bredde, højde af husfacader, vejori-entering m.m.). Det vurderes derfor, at ændringerne i de meteorologiske forhold sammen med måleusikkerheder er årsag til den observerede stigning på HCAB og det observerede fald på Jagtvej. Det vurderes endvidere, at en ændring i koncentrationerne som følge af SCRT skulle have været større end $3-4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, før end det ville være muligt at observere effekten af SCRT som en ændring i de målte koncentrationer. Effekten af SCRT er ved hjælp af modelberegningerne beregnet til $1,2-1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kapitel 4), hvilket er i tråd med, at det ikke har været muligt at se effekten af SCRT på de målte koncentrationer.

På basis af dette kan det ikke konkluderes, at SCRT ikke har haft effekt. De naturlige variationer i de meteorologiske forhold og måleusikkerheder gør det blot umuligt at isolere effekten af SCRT på det foreliggende datagrundlag.

4 Analyse af effekt af SCRT ud fra modelberegninger

4.1 Scenarier

Der opstilles et referencescenarie uden SCRT og et scenarie med SCRT for 2015, og effekten af SCRT er forskellen på disse to scenarier.

Effekten af montering af SCRT på bybusser på luftkvaliteten estimeres ud fra modelberegninger. Fokus er på den sundhedsskadelige luftforurening med luftforureningerne NO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} . Beregningerne gennemføres med de samme modelforudsætninger som for NOVANA-beregningerne for 2015 (Ellermann et al., 2016). Beregningerne gennemføres for de 98 gader, som indgår i kortlægningen i NOVANA-beregningerne for København (afsnit 4.6), som alle er placeret i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Heri indgår også H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, hvor der er permanente målestationer, og mere detaljerede analyser gennemføres for disse to gader (afsnit 4.7).

Modelberegningerne er baseret på en regional luftkvalitetsmodel (Danish Eulerian Hemispheric Model-DEHM), en bybaggrundsmodel (Urban Background Model-UBM), og en gadeluftkvalitetsmodel (Operational Street Pollution Model-OSPM). I beregningerne forudsættes det, at bybaggrundsforureningen er upåvirket af SCRT tiltaget. For gadebidraget beregnet med OSPM er bilparkens sammensætning som i 2015 og dermed med de emissionsforudsætninger, som gælder for 2015. SCRT på bybusser reducerer emissionen, og effekten for luftkvaliteten beregnes med OSPM.

I beregningerne er det forudsat, at SCRT reducerer NO_x og partikler med 90% under normal drift og vedligehold. Disse forudsætninger er nærmere beskrevet i afsnit 4.2.

Oplysninger om antallet af bybusser med/uden SCRT i København er indsamlet af Movia. Disse oplysninger er analyseret og omsat på en måde, så de kan implementeres i OSPM (afsnit 4.3). Forudsætningerne er nærmere beskrevet i afsnit 4.4 og 4.5.

4.2 Emissionseffekt af SCRT teknologien

SCRT-systemerne er en kombination af en SCR-katalysator og et partikelfilter. SCR står for Selective Catalytic Reduction og T for Trap, dvs. partikelfilter. I SCR-katalysatoren sker der en kemisk omdannelse af kvælstofoxiderne (NO_x lig kvælstofmonoxid, NO og kvælstofdioxid, NO_2) til kvælstof (N_2), som i forvejen udgør hovedparten af den atmosfæriske luft.

I processen doseres stoffet ammoniak. Dette er traditionelt på væskeform i en tank på bussen, og sælges fx som urea under varenavnet AdBlue®. Det bruges også i nyere person- og varebiler, som er udstyret med en SCR. De SCRT-systemer, som er installeret på de omkring 300 bybusser i København, er fra Amminex og adskiller sig fra andre SCR-systemer ved, at additivet til NO_x -reduktion doseres fra Amminex ASDS direkte som ammoniakgas til forskel fra en traditionel vandig opløsning af urea (AdBlue®). Dette forbedrer fjernelse af NO_x – specielt ved langsom kørsel, hvor traditionelle SCR-enheder ikke bliver varme nok til effektivt at fjerne NO_x (Jensen et al., 2012).

Partikelfiltret fjerner partiklerne fra bussernes udstødning. Partikelfiltrene er fysiske filtre, der fanger både grove, fine og ultrafine partikler.

I nærværende effektiv vurdering er det forudsat, at SCRT reducerer NO_x og partikler med 90% under normal drift og vedligehold. Baggrunden for disse antagelser er nærmere belyst i det følgende, da tidligere antagelser har forudsat lavere effektivitet. I tidligere luftkvalitetsvurderinger af effekten for emissionen af SCR og partikelfiltre blev der anvendt en emissionsreduktion på 80% for både NO_x og partikler ud fra tidligere anbefalinger fra Trafik- og Byggestyrelsen (Jensen & Ketzel, 2009; Jensen et al., 2011; 2012).

Baggrunden for at antage en højere effektivitet end tidligere er, at SCR-teknologien er blevet mere effektiv, og også virker med høj effektivitet under bykørsel, hvor udstødningstemperaturen er relativ lav. Endvidere måles NO_x på busser i normal drift, er det derfor muligt at fejlrette og vedligeholde, hvis der måles for høj NO_x udstødning. Der er også mere fokus på systematisk vedligehold af partikelfiltre. En række nye målinger understøtter dette i form af målinger på busser i drift og målinger af busser testet på rullefelt i laboratoriet (Miljøstyrelsen, 2015b).

Som optakt til eftermontering af SCRT på omkring 300 bybusser i København, som en del af luftkvalitetsplanen for NO₂ for København (Miljøstyrelsen, 2015a), gennemførte Miljøstyrelsen en række undersøgelser af effekten af de nyeste SCRT-teknologier fra forskellige leverandører. Målet var, at undersøge hvorvidt eftermontering kunne sikre tilsvarende lave emissioner, som for de nyeste emissionsklasser (Euro VI) svarende til helt nye busser. Resultaterne af disse undersøgelser er opsummeret nedenfor baseret på Miljøstyrelsen (2015b).

Leverandørernes systemer blev testet på i alt ni busser, der var klassificeret som enten Euro IV, Euro V eller EEV. EEV svarer stort set til Euro V. Data blev desuden indsamlet for to dieselbusser (hhv. Euro IV og EEV), som har beholdt det oprindelige efterbehandlingssystem, og derfor er anvendt som referencebusser.

Data er indsamlet for drift af systemerne fra august 2014 til og med april 2015, hvoraf de første 3 måneder primært var tilegnet en indkøring af systemerne. Den afsluttende rapport omfatter derfor alene testperioden fra november 2014 til og med april 2015.

Foruden at indsamle data for drift af systemerne har Teknologisk Institut i Århus udført test på fem busser på rullefelt under laboratorieforhold med WHVC (World Harmonized Vehicle Cycle) kørselscyklus.

Resultaterne af disse to undersøgelser er opsummeret nedenfor.

Målt under drift med NO_x sensorer

Den gennemsnitlige *højeste* NO_x-reduktion målt på 3 busser i drift er 83% (81,1;91,5;75,4). Dette er de højeste reduktioner, og derfor givet i den lidt høje ende, og der er kun data for 3 busser. Resultatet af målingerne er lidt højere end tidligere antagelser om 80% reduktion. Gennemsnittet for NO_x-reduktionen på de 2 referencebusser er 17% (21,8;11,9).

Reduktionen af NO_x-emission er stort set ens for de forskellige euroklasser (IV,V,EEV) dvs. at samme reduktion kan antages for disse euroklasser.

Den gennemsnitlige NO_x-reduktion for de 9 busser, som indgik i undersøgelsen, er 72%. Dette er lidt lavere end tidligere antagelser om 80% reduktion.

Da det er dyrt at gennemføre disse målinger, er der kun relativt få busser i undersøgelsen. Reduktionerne er meget afhængige af udgangspunktet, dvs. hvor effektivt busserne reducerede NO_x inden montering af SCRT.

Det har tidligere været et problem, at SCR havde lav effektivitet for NO_x under driftsforhold med lav udstødningstemperatur fx i bykørsel (Jensen et al., 2012). Målingerne viser, at SCRT har god effektivitet under alle forhold. De nyeste SCRT systemer synes derfor at have løst det tidligere problem.

Rapporten belyser ikke den direkte udledte NO₂, men kun NO_x (NO₂+NO), da NO₂ ikke er målt særskilt. NO₂ er den sundhedsskadelige del af NO_x, og det har derfor betydning om SCRT giver anledning til en større andel direkte udledt NO₂ eller ej. I beregningerne har vi derfor antaget, at den direkte andel af NO₂ er uændret. I COPERT emissionsmodellen, som er integreret i OSPM, indgår den direkte NO₂ andel af NO_x for de forskellige emissionsklasser. NO_x bliver reduceret med 90%, og det er de tilbageværende 10% NO_x, hvor der kan være usikkerhed om fordelingen mellem NO og NO₂.

Test på rullefelt

Fem busser blev testet på rullefelt med WHVC (World Harmonized Vehicle Cycle) kørselscyklussen, der simulerer by-, landevejs-, og motorvejskørsel. Testen blev udført på både kold og varm motor hos Teknologis Institut i Århus. WHVC er ikke en del af den officielle målemetode for godkendelse af Euro VI køretøjer, der i stedet anvender WHTC (World Harmonized Transient Cycle), hvor kun motoren opspændes i en prøvebænk tilsluttet et dynamometer.

Der er målt NO_x og partikelantal (PN), men direkte udledt NO₂ er ikke målt. Der er målt på 3 Euro IV busser og en EEV bus og en diesel reference bus.

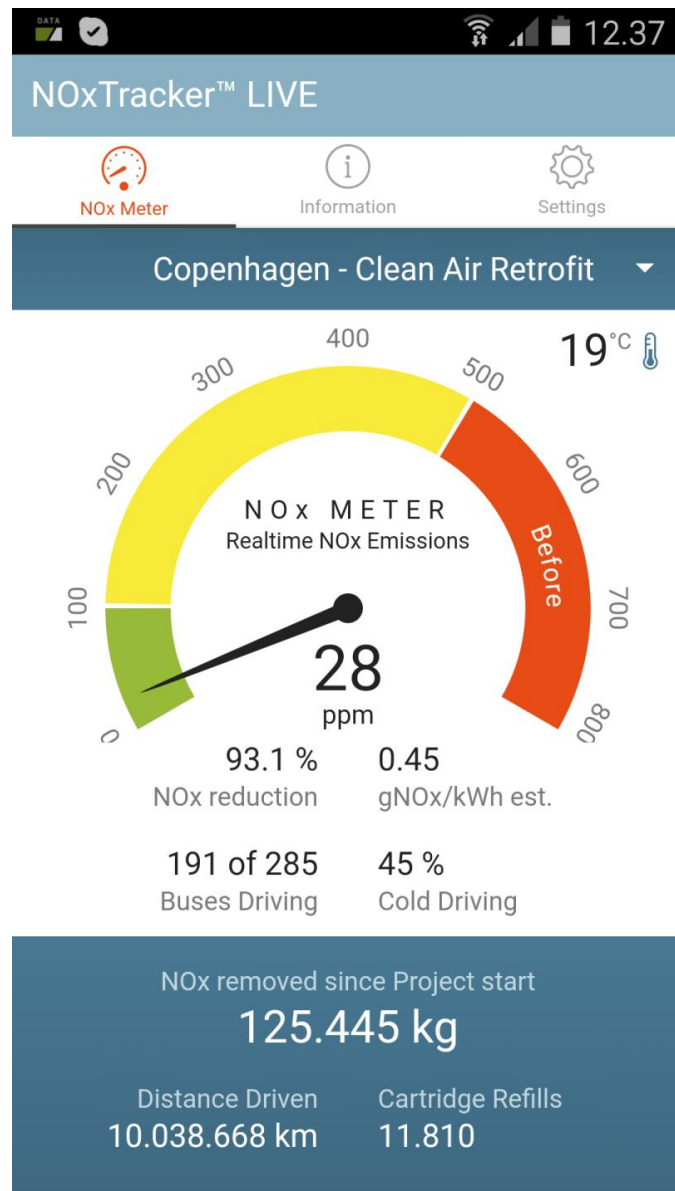
Den gennemsnitlige vægtede NO_x-emission er 0,68 g/kWh for de 4 busser med SCRT. Det er betydeligt lavere end målt under drift for de 9 busser (2,4 g/kWh). Euronormen er 0,46 g/kWh (transient) og 0,40 g/kWh (steady state) for Euro VI. De 4 SCRT busser har en 92% lavere NO_x-emission end referencebussen. Dette er en usikker procentstørrelse, da der kun er én referencebus.

Massen af partikler er ikke målt, kun partikelantallet. SCRT reducerer udledningen af antal partikler med 98% (3 busser) og 99,97% (en bus). Kun en ud af 4 busser overholdt grænseværdien for Euro VI (6,00E+11 [antal/kWh]). Denne reduktion for antal partikler er noget større end antagelsen om at filtre reducerer massen med 80%. Antallet af partikler er domineret af de helt små partikler, mens massen er domineret af de større partikler. Når effektiviteten er meget høj for antallet af partikler kan man med rimelighed antage, at partikelmassen også reduceres med høj effektivitet, da et partikelfilter lettere vil kunne fange en større partikel end en mindre.

Teknologisk Institut konkluderer, at eftermonteret SCRT er tæt på eller opfylder kravene for Euro VI for NO_x og partikler. Reduktionen i normen for NO_x fra Euro V til VI er omkring 80% og 50-67% for PM som masse (<https://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>).

Simple sensormålinger på mange busser i normal drift

Amminex vandt udbuddet om eftermontering af SCRT på de omkring 300 bybusser i København. Amminex har installeret simple NO_x-sensorer i alle SCRT-busser, som måler NO_x i udstødningsrøret. NO_x-emission i g/kWh kan beregnes ud fra målt NO_x i ppm, O₂-% og estimerer for motorens effekt output og effektivitet. De har endvidere lavet en app til smartphone, hvor man kan se reduktionen i NO_x for busserne i drift, og hvor meget NO_x der er fjernet siden projektstart (<https://itunes.apple.com/us/app/noxtracker-live/id1082670426?mt=8>), se Figur 4.1. Data fra busser med fejl eller som er løbet tør for dosering af ammoniak indgår ikke i opgørelsen. NO_x-sensorerne er også slukket de første 2 minutter efter en koldstart, da der er risiko for ødelæggelse af sensoren ved temperaturer under 140° C.



Figur 4.1. NO_xTracker™ Live er en app, hvor man i realtid kan se reduktionen i NO_x for busserne i drift, og hvor meget NO_x der er fjernet siden projektstart.

Overvågning af de enkelte busser med on-line målinger gør det nemt at identificere busser med mindre NO_x-reduktion end forventet og iværksætte modforanstaltninger.

Ifølge MOVIA fjernes omkring 95 % af kvælstofoxiderne fra bussernes udledning, mens partikelfiltret vurderes til at give en reduktion på ca. 95-98 % af den hidtidige partikeludledning (Movia, 2015).

Som det fremgår af ovenstående gennemgang er der variationer i vurderingerne af, hvor effektivt SCRT reducerer NO_x og partikler alt afhængig af om undersøgelserne er baseret på målinger under drift, målinger på rullefelt eller simple sensor målinger under drift. Ud fra ovenstående gennemgang er det i nærværende effektivvurdering forudsat, at SCRT reducerer NO_x og partikler med 90% under normal drift og vedligehold.

4.3 Implementering i OSPM

I det følgende beskrives, hvordan informationer om SCRT på bybusser skal implementeres i OSPM.

Kategoriopdeling af busser i OSPM

I OSPM indgår oplysninger om antallet af busser på en konkret gade. Oplysninger om antallet af busser samt øvrige køretøjskategorier fås fra Københavns Kommune for de 98 gader, som indgår i den årlige luftkvalitetsovervågning. For de pågældende gader gennemføres manuelle trafiktællinger med jævne mellemrum.

I OSPM indgår endvidere en fordeling på Euronorm klassen (I, II, III, IV, V, VI) samt vægtsklasse (<15t, 15-18t, >18t) og bustype (bybus, turistbus). Bybusser omfatter alle busser i fast rute, og turistbusser alle øvrige busser. EEV modsvare Euro V for NO_x. Endvidere er brændstoftype underopdelt i diesel og benzin, hvoraf diesel er helt dominerende.

I forbindelse med miljøzone projektet (Jensen et al., 2011) blev der gennemført kameraregistrering af nummerplader på Åboulevard i København og sammenkobling til motorregisteret, således at fordeling på Euroklasse og vægtsklasse kunne gennemføres. Fordelingerne er siden fremskrevet med udviklingen i den nationale bilpark på basis af statistiske oplysninger fra Transport DTU. Forudsætningerne for 2015 er vist nedenfor.

Tabel 4.1. Fordeling af dieselbusser på type, vægtsklasse og emissionsklasse i miljøzone i København i 2015 (%)

Type/vægt	Konventionel	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI	Total
Bybus <15t	0	0	0,0	0,4	4,4	13,8	4,5	23,2
Bybus 15-18t	0	0	0,3	1,1	6,1	24,4	8,6	40,6
Bybus >18t	0	0	0,1	0,4	3,1	8,9	3,0	15,6
Turistbus <15t	0	0	0,6	0,8	2,9	5,8	1,8	11,9
Turistbus 15-18t	0	0	0,1	0,1	0,4	0,9	0,2	1,7
Turistbus >18t	0	0	0,1	0,5	1,9	3,4	1,1	7,0
Total	0	0	1,3	3,5	18,8	57,2	19,3	100,0

Dieselbusser omfatter 96,4% af alle busser.

Det ses, at næsten alle busser er Euro IV, V eller VI, da miljøzonen kræver, at busserne mindst skal være Euro IV eller have eftermonteret partikelfilter.

I OSPM beskrives busser kun som én kategori, som fordeles som ovenstående i forhold til Euroklasse og vægtniveau. Som det fremgår af ovenstående, er der omkring 80% bybusser og 20% turistbusser, som forudsættes at være det samme for alle 98 gader. I de særskilte beregninger for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej anvendes dog den aktuelle fordeling baseret på manuelle trafiktællinger.

I de manuelle tællinger underopdeles på bybusser og turistbusser for de 98 gader. Oplysninger for 51 gader med opdateret trafikdata for 2015 viser stort set det samme som ovenstående forudsætninger, som derfor bibeholdes (72% bybus, 28% turistbus).

Implementering af SCRT på bybusser i emissionsberegningerne i OSPM

For hver vægtniveau, bustype og euroklasse, som angivet ovenfor, er der matematiske emissionsudtryk i OSPM, hvori rejsehastigheden indgår som variabel. Dette giver emissionsfaktoren (emission pr. km ved en given rejsehastighed).

Hvis man kender den procentvis andel af SCRT bybusser for de forskellige euroklasser og vægtniveauer samt reduktionsprocent for NO_x og PM af eftermontering af SCRT kan man redigere emissionsligningen i OSPM således: $(100 - \text{SCRT}\%) \times \text{EF} + \text{SCRT}\% \times (\text{EF} \times (100 - \text{Reduktions}\%))$. SCRT% er andelen af SCRT busser, EF er emissionen beregnet uden SCRT og Reduktions% er den procentvis reduktion ved eftermontering af SCRT, som for både NO_x og PM er sat til 90%.

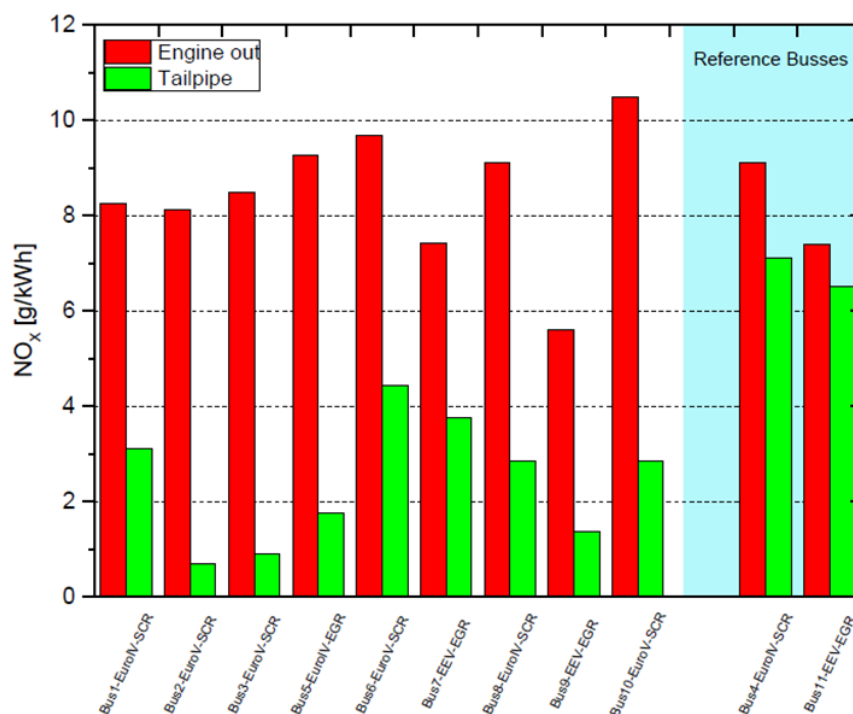
Hvis eksempelvis 100% af alle bybusser har SCRT vil emissionen blive reduceret med 90%, og hvis 25% havde SCRT ville emissionen blive reduceret med 22,5%.

Den eksisterende miljøzone i København fastsætter krav om, at tunge køretøjer skal være mindst Euro IV køretøjer eller have eftermonteret et partikelfilter. Der er relativt få tilbageværende Euro III bybusser. I tidligere undersøgelser blev det antaget at partikelfiltre havde en effektivitet på 80%. I nærværende undersøgelse er en effektivitet på 90% antaget ved eftermontering af SCRT på disse bybusser, hvilket svarer til en halvering af partikeludledningen fra disse Euro III bybusser.

Bemærk at reduktionen på 90% er et udtryk for forskellen mellem emissionen fra motoren (engine out) og emissionen efter SCRT udstyret (tailpipe). I COPERT emissionsmodellen, som er implementeret i OSPM, er emissionsfaktorerne ikke underopdelt i emission fra motoren og efter forureningsudstyret. Her angives kun én gennemsnitlig emissionsfaktor efter forureningsudstyret for de forskellige køretøjstyper, vægtniveauer og Euroklasser. Der er ikke detaljeret information om, hvilket forureningsudstyr, der er benyttet fx SCR, EGR (Exhaust Gas Recirculation) etc.

Når vi antager en reduktion på 90%, er det således lidt for højt, idet de eksisterende bybusser allerede har noget forureningsudstyr, som har en vis effekt. Pointen er imidlertid, at dette udstyr i bykørsel har haft lav virkningsgrad for NO_x, da eksisterende SCR har lav effektivitet ved lave motortemperaturer, som i bykørsel. Dette blev også illustreret i de målinger på busser i drift, som Miljøstyrelsen har fået gennemført (Miljøstyrelsen, 2015b). Her var reduktionen kun 17% i gennemsnit for de to referencebusser mellem

emissionen fra motoren (engine out) og emissionen efter forureningsudstyret (tailpipe), hvor en havde SCR og en havde EGR. (**Figur 4.2** nedenfor).



Figur 4.2. NO_x emission (g/kWh) før forureningsudstyret (engine out) og efter SCRT (tailpipe) målt under almindelig drift af busserne i perioden november 2014 til april 2015. 9 busser med SCRT og 2 referencebusser uden eftermonteret SCRT. Gengivet fra Miljøstyrelsen, 2015b). Bemærk at NO_x emissionen i g/km er omkring dobbelt så stor som i g/kWh.

De emissionsfaktorer (g/km) som er anvendt i OSPM beregninger for bybusser er vist i **Tabel 4.2** for H.C. Andersens Boulevard, hvor rejsehastigheden er 16 km/t for bybusser.

Tabel 4.2. NO_x emissionsfaktorer (g/km) anvendt i OSPM beregninger for referencescenariet uden SCRT og scenariet med eftermontering af SCRT for 2015. Her for H.C. Andersens Boulevard ved en rejsehastighed på 16 km/t.

Uden SCRT	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6
Bybus <15 ton	10	6	6	0,7
Bybus15-18 ton	13	8	8	1,0
Bybus >18 ton	17	10	10	1,2
Med SCRT	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6
Bybus <15 ton	1,0	0,6	0,6	0,7
Bybus15-18 ton	1,3	0,8	0,8	1,0
Bybus >18 ton	1,7	1,0	1,0	1,2

De bybusser, som får eftermonteret SCRT er over 15 ton med hovedparten over 18 ton, og hovedparten er Euro 5 køretøjer (se senere i Tabel 4.4). Emissionsfaktoren i OSPM for disse køretøjer er 8-10 g/km uden eftermontering af SCRT og 0,8-1,0 g/km med eftermontering af SCRT med forudsætningen om 90% reduktion.

Målingerne på rullefelt for de fire busser med eftermonteret SCRT viste en gennemsnitlig vægtet NO_x-emission på 0,68 g/kWh (svarer til omkring 1,3 g/km). Dette er på niveau med forudsætningerne i OSPM (0,8-1,0 g/km). De 4 SCRT busser har 92% lavere NO_x-emission end referencebussen (Miljøstyrelsen, 2015b).

Målingerne under drift af de ni busser med eftermonteret SCRT viste en gennemsnitlig NO_x emissionsfaktor på 2,4 g/kWh (svarer til omkring 4,6 g/km), hvilket er væsentligt højere end forudsætningerne i OSPM (0,8-1,0 g/km). Den gennemsnitlige NO_x-reduktion for de 9 busser, som indgik i undersøgelsen, var 72% (Miljøstyrelsen, 2015b).

I følge Amminex NO_x Tracker, som er baseret på NO_x sensorer installeret på de omkring 300 bybusser med eftermonteret SCRT, er den gennemsnitlige emissionsfaktor 0,45 g/kWh (svarende til 0,9 g/km) og en reduktionsprocent på omkring 93% (se Figur 4.1). Dette er på niveau med forudsætningerne i OSPM (0,8-1,0 g/km).

Som det fremgår af ovenstående ligger forudsætninger i OSPM beregninger på niveau med emissionsfaktoren for resultaterne fra rullefelt og NO_x Tracker, men væsentligt lavere end målinger for de 9 busser i drift. Den antagede reduktionsprocent ligger på niveau med både rullefelt, busser i drift og NO_x Tracker.

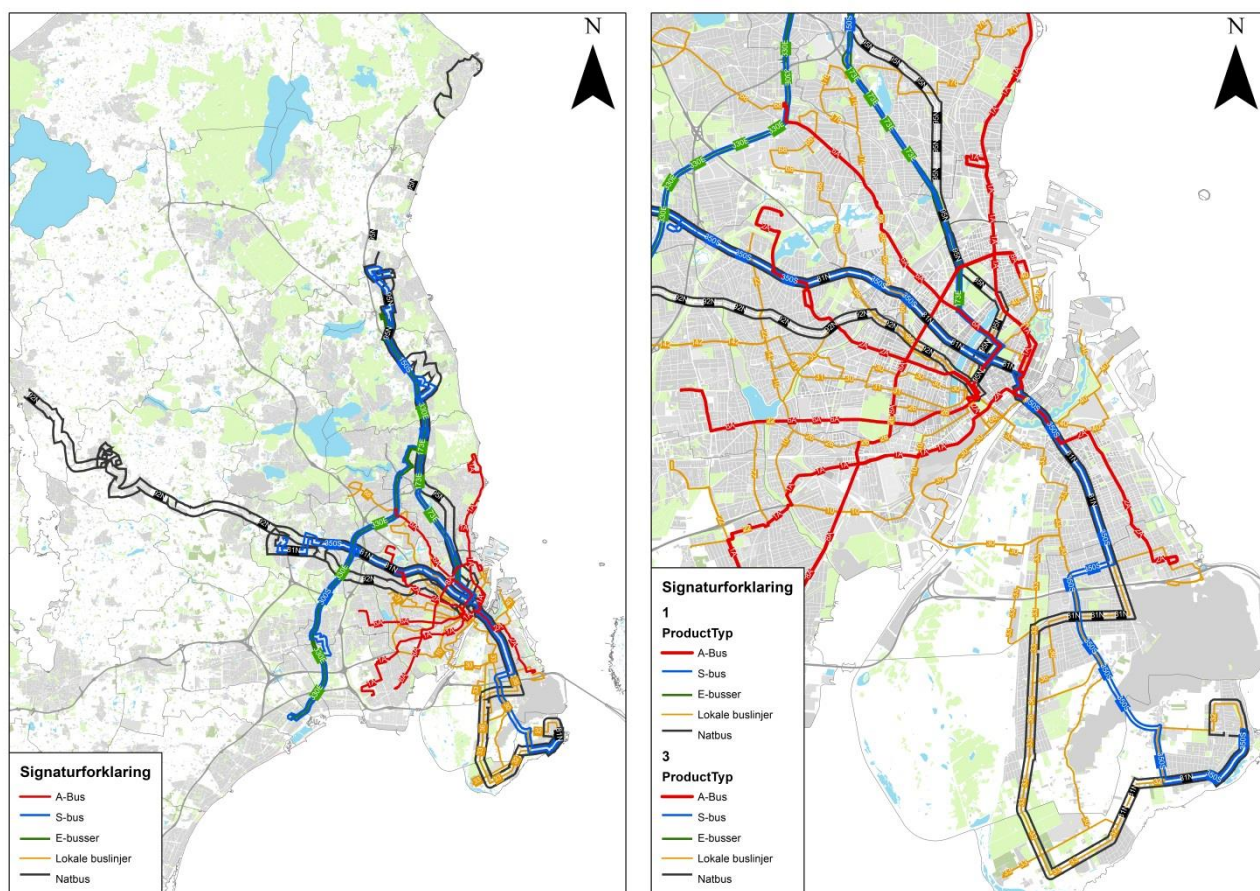
Med Euro 6 normen for tunge køretøjer blev udledningskravene til partikelmassen samt et tillægskrav for antallet af partikler, så strenge at lastbiler og busser har monteret et partikelfilter for at kunne overholde kravene. Euro 6 normen trådte i kraft i 2014. I COPERT emissionsmodellen, som er implementeret i OSPM, er partikelemissionen omkring 80% lavere for Euro 6 i forhold til Euro 4 og 5, som et udtryk for at Euro 6 busser har monteret et partikelfilter. I nærværende effektiv vurdering er antaget en reduktion for partikelmassen på 90% for de vægtklasser af Euro 3, 4 og 5, som får eftermonteret SCRT. Euro 3 bybusser skal allerede have eftermonteret et partikelfilter pga. kravene i miljøzonen i København. I OSPM er dette tidligere implementeret ved at forudsætte en reduktion på 80%, som var de tidligere antagelser for effekt af partikelfilter. I nærværende rapport antager vi således 90% reduktion, hvilket betyder at Euro 3 bybusserne får halveret deres partikelemission.

I næste afsnit redegøres for forudsætningerne for andelen af SCRT bybusser (SCRT%).

4.4 Bybusser med SCRT på 98 gader i København

I dette afsnit beskrives andelen af SCRT busser på de 98 gader set i forhold samtlige busser på gaderne. Det er valgt at beskrive andelen som et gennemsnit over alle de 98 gader og ikke hver gade for sig. I princippet ville det være muligt at identificere, hvorvidt der var en SCRT buslinje på hver af de 98 gader, men det er uden for projektets rammer at behandle effektiv vurderingen så detaljeret. I stedet er der foretaget en gennemsnitsbetragtning, hvor det antages, at der procentvis kører lige mange bybusser med SCRT på de 98 gader. Denne procentsats er beregnet ved at opgøre antallet af kørte km for SCRT bybusser i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune i forhold til samtlige kørte km med bybusser, dvs. både med og uden SCRT. Alle 98 gader ligger i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.

Oplysninger er indhentet fra Movia om bybusser med eftermonteret SCRT fordelt på buslinjer, antal busser, og kørte km. Der er endvidere oplysninger om busmodel, vægtnummer og Euroklasse. Kort med buslinjer med SCRT er også leveret af Movia, se Figur 4.3.



Figur 4.3. Kort med buslinjer med eftermonteret SCRT. Venstre: Storkøbenhavn. Højre: København. Kilde: Movia.

Som det fremgår af kortene er bybusser med eftermonteret SCRT fordelt jævnt over hele Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune, hvilket begrundes, at vi kan se på den gennemsnitlige andel af SCRT-busser på de 98 gader og ikke hver gade for sig. Følgende buslinjer har eftermonteret SCRT: 1A, 2A, 6A, 10, 18 (8A), 22, 26, 30, 31, 32, 33, 36, 40, 66, 68, 81N, 92N, 95N, 142, 173E, 176, 150S, 300S, 330E, 350S.

Ud fra kort over buslinjer i Storkøbenhavn er samtlige buslinjer identificeret, som kører i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Movia har også leveret oplysninger om kørte km for alle de buslinjer, som ikke var buslinjer med SCRT.

Nogle buslinjer har dele af sin buslinje uden for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Ud fra kortene er det vurderet hvor mange af de kørte km, som køres inden for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.

Andelen af kørte km med SCRT-bybusser i forhold til alle kørte km med bybusser (med og uden SCRT) inden for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune er beregnet til 57%. Dette er den gennemsnitlige SCRT%, som beskrevet i forrige afsnit. Nøgleoplysninger er opsummeret i Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Andelen af kørte bus-km med og uden SCRT i hhv. Storkøbenhavn og København.

Km med og uden SCRT i Storkbh.	36.064.968
Km med SCRT i Storkbh.	20.904.738
Antal km med SCRT i Storkbh. (%)	58%
Km i Kbh.	24.854.680
Andel af km i Kbh. (%)	69%
SCRT km i Kbh.	14.197.639
SCRT km udenfor Kbh.	6.707.099
Antal km med SCRT i Kbh. (%)	57%
Ikke-SCRT km i Kbh.	10.657.041
Ikke-SCRT km udenfor Kbh.	4.503.189
Antal km med Ikke-SCRT i Kbh. (%)	43%

Note: Omfatter kun buslinjer hvor hele eller dele af linjen er i Københavns Kommune eller i Frederiksberg Kommune, her kaldet København.

På baggrund af oplysninger om buslængder og deres typiske vægt fra Movia, er de forskellige SCRT-bybusser inddelt efter vægt. Tabel 4.4 viser procentvis fordeling af kørte km fordelt på euroklasser og efter vægtklasse.

Tabel 4.4. Fordeling af kørte km med SCRT bybusser på vægt- og euroklasser (%)

	EUROIII	EURO IV	EEV	Total
15-18t	2	7	24	33
>18t	20	0	46	67
Total	23	7	70	100

Bybusser som kan have SCRT udgør 56% af alle bybusser i OSPM (dvs. vægtklasse 15-18t og >18t som er Euro III, IV, og EEV), som det fremgår af Tabel 4.5. Bemærk at omkring 19% af alle bybusser i forvejen er Euro VI, og dermed født med NO_x-reducerende udstyr, som gør at de har NO_x-emissioner svarende til en bus med eftermonteret SCRT, dvs. at 75% (56%+19%) af alle bybusser modsvarer Euro VI.

Tabel 4.5. Fordeling af bybusser i OSPM (%)

	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI	Total
Bybus <15t	0	1	6	17	6	29
Bybus 15-18t	0	1	8	31	11	51
Bybus >18t	0	1	4	11	4	20
Total	1	3	17	59	20	100

Da kørte km med SCRT udgør 57% af al buskørsel (Tabel 4.3) og bybusser, som kan have SCRT udgør 56% (Tabel 4.5), dvs. stort set det samme, er det antaget, at alle bybusser over 15t har SCRT for Euro III, IV, og IV. Dette er relativt nemt at implementere i OSPM's emissionsligninger.

Reduktion i den totale NO_x emission som følge af SCRT på bybusser

Den totale sparede NO_x emission i Storkøbenhavn og i København kan beregnes ud fra antallet af kørte km med SCRT, den gennemsnitlige NO_x emission pr. kørt km og den reduktion som SCRT giver.

Som det fremgår af Tabel 4.3 bliver der kørt 20.904.738 km med SCRT på bybusser i Storkøbenhavn, hvoraf 14.197.639 km køres inden for København (Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune) i 2015.

Den gennemsnitlige NO_x emissionsfaktor for bybusser i OSPM er 7,8 g/km uden SCRT for Euro 3-5 ved en rejsehastighed på 16 km/t. Med eftermontering af SCRT spares 90% svarende til en NO_x emissionsfaktor med eftermonteret SCRT på 0,8 g/km. Dette er lagt til grund for beregning af den totale sparede emission. Emissionsfaktoren vil være følsom overfor valget af rejsehastighed. Her er forudsat samme rejsehastighed som på H.C. Andersens Boulevard.

Den totale sparede NO_x emission i Storkøbenhavn er 147 tons, hvoraf 100 tons er i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Dette er den sparede NO_x emission i 2015. Der vil også være en sparet emission i efterfølgende år indtil tiltaget ikke længere har effekt. Dette vil indtræffe, når alle bybusser alligevel ville være Euro 6 busser.

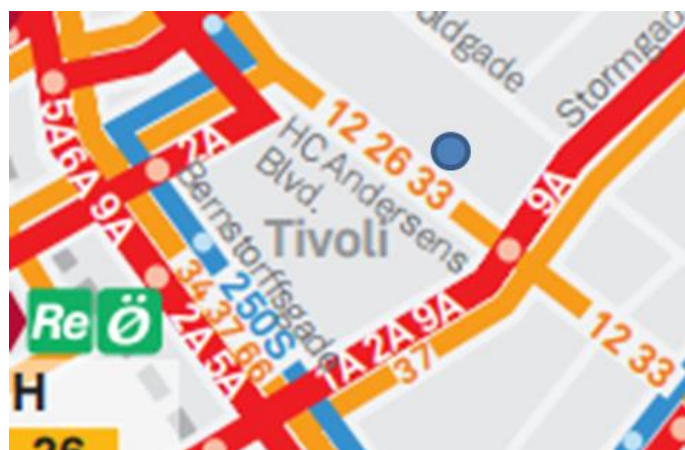
I følge Amminex NO_x Tracker bliver der fjernet 12,5 g NO_x/km ud fra den totale reduceret emission og antal kørte km (Figur 4.1). Med en reduktionsprocent på 93,1% svarer det til, at NO_x emissionsfaktoren for en bus med eftermonteret SCRT er 0,9 g/km. Dette er på niveau med forudsætningerne i OSPM (0,8 g/km).

4.5 Bybusser med SCRT på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej

I dette afsnit opgøres antal busser med SCRT for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, hvor der er permanente målestationer, og hvor beregningerne af effekten for luftkvaliteten tager udgangspunkt i det faktiske antal SCRT bybusser på disse to gader.

Busser med SCRT på H.C. Andersens Boulevard

Følgende buslinjer kører på H.C. Andersens Boulevard (HCAB) ud for målestationen: 12, 26, 33.



Figur 4.4. Buslinjer ud for målestation ved Tivoli på H.C. Andersens Boulevard. (Kilde: Movias hjemmeside). Placering af målestation er markeret med en prik.

Antal busser er optalt efter køreplanen, se Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Bybusstrafik (Antal rutebusser) på HCAB ud for luftkvalitetsmålestation (juni 2016)

Linje	Hverdage	Lørdage	Søndage	SCRT
	Begge retn.	Begge retn.	Begge retn.	
12	67	63	65	Nej
26	183	161	104	Ja
33	160	139	125	Ja
I alt	410	363	294	

Seneste manuelle trafiktælling for HCAB er fra torsdag den 3. sept. 2015, som dækker tidsrummet kl. 7-19. Her blev der talt 316 bybusser og 319 andre busser. Bybusser udgør altså 50%. I den manuelle trafiktælling er 1,27% busser dvs. både bybusser og andre busser ud af hele trafikken (dvs. alle køretøjskategorier).

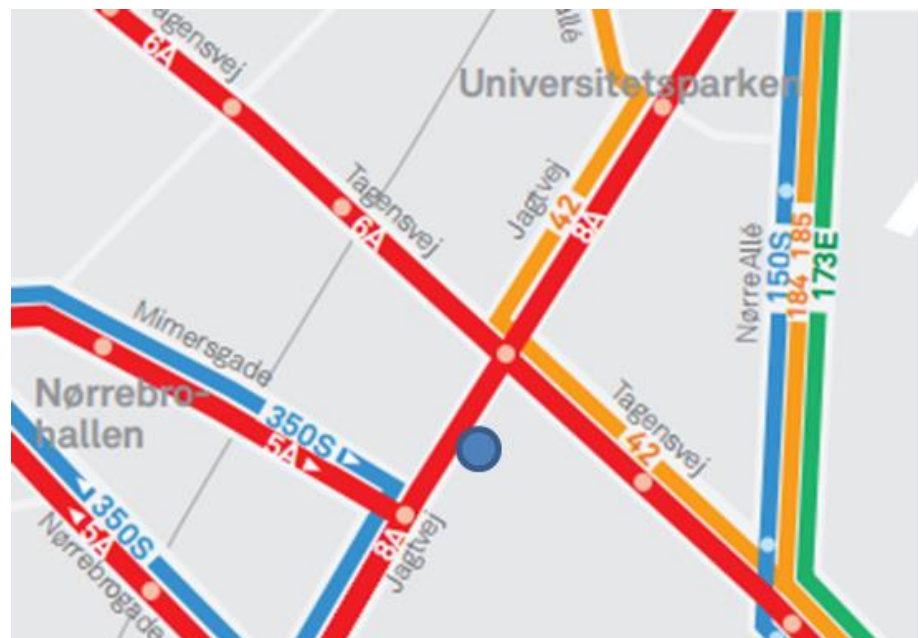
De talte bybusser i den manuelle trafiktælling svarer til 77% af samtlige bybusser i køreplanen, hvilket svarer godt til, hvad det skulle være ifølge køreplanen for dette tidsrum.

Buslinje 26 og 33 har SCRT, mens linje 12 ikke har. Dette betyder, at 84% af alle bybusser har SCRT på hverdage, dvs. at kørte km med SCRT på HCAB ud af alle kørte bus-km (bybus og turistbus) er 84% af 50% eller 42%.

I beregningerne i OSPM er det antaget, at bybusser er 50% og dermed turistbusser ligeledes 50%. Da næsten alle bybusserne er SCRT-busser er det antaget, at 100% af bybusserne har SCRT i beregningerne.

Busser med SCRT på Jagtvej

Ud fra målestationen på Jagtvej kører kun linje 8A, og den har SCRT.



Figur 4.5. Kilde: Buslinje ud for målestation på Jagtvej mellem Tagensvej og Mimersgade (Movias hjemmeside). Placering af målestation er markeret med en prik.

Antal busser er optalt efter køreplanen, se Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Bybustrafik (Antal rutebusser) på Jagtvej ud for luftkvalitetsmålestation (juni 2016)

Linje	Hverdage Begge retn.	Lørdage Begge retn.	Søndage Begge retn.	SCRT
8A	325	229	230	Ja

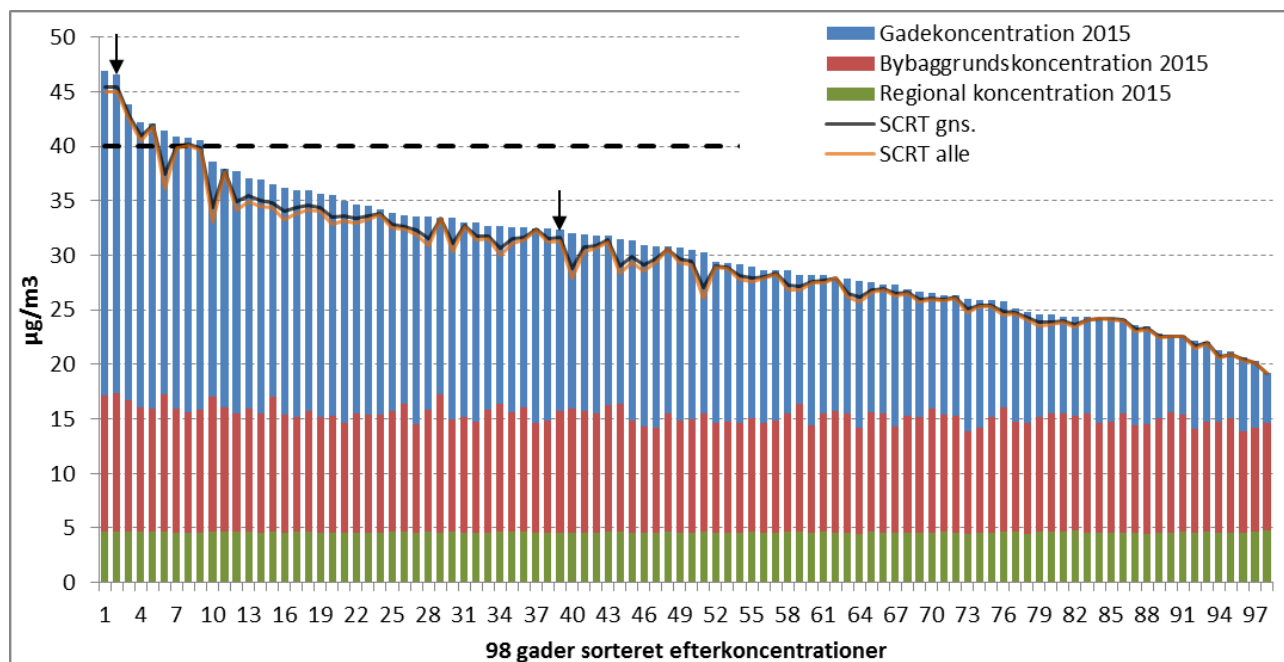
Seneste manualle trafiktælling for Jagtvej er fra onsdag den 23. sept. 2015, som dækker tidsrummet kl. 7-19. Her blev der talt 241 bybusser og 25 andre busser. Bybusser udgør altså 91%, som alle er SCRT.

I NOVANA er 1,55% busser, som er både bybusser og andre busser ud fra den manuelle tælling, dvs. busser med SCRT er 91% af 1,55% dvs. 1,4% ud af hele trafikken (dvs. alle køretøjskategorier).

I beregningerne i OSPM er det således antaget, at bybusser udgør 91% og dermed turistbusser 9%, og alle bybusserne har SCRT.

4.6 Effekt af SCRT for luftkvalitet på 98 gader

Effekten af eftermontering af SCRT er illustreret i Figur 4.6. Referencescenariet uden SCRT er beregnede NO₂-koncentrationer for 98 gader i NOVANA i 2015 sorteret efter højeste koncentration. Derudover er vist to scenarier, hvor det ene er gennemsnitsscenariet, hvor 57% af alle bybusser har SCRT (SCRT gns.) svarende til at omkring 300 bybusser har SCRT, og et scenariet, hvor det antages, at alle bybusser har SCRT (SCRT alle).



Figur 4.6. NO₂ koncentrationer for 98 gader i NOVANA i 2015 sorteret efter højeste koncentration i referencesituationen uden SCRT. De tilsvarende koncentrationer er vist for scenariet, hvor 57% af alle bybusser har eftermonteret SCRT (SCRT gns.) og scenariet, hvor det antages, at alle bybusser har eftermonteret SCRT (SCRT alle). Målestationerne er markeret med en pil, hvor den højeste koncentration er H.C. Andersens Boulevard og laveste koncentration er Jagtvej.

Figur 4.6 viser, at effekten af eftermontering af SCRT er forskellig fra gade til gade, da effekten afhænger af andelen af bybusser. Hvis der er få bybusser er effekten på gadekonzentrationen lille, mens den er større jo flere bybusser.

I Tabel 4.8 er resultaterne opsummeret.

Tabel 4.8. Effekten på koncentrationen af NO₂ af forskellige scenarier for eftermontering af SCRT på bybusser i København. Max, min og gns. koncentrationer for de 98 gader.

Scenario	Reference uden SCRT (µg/m ³)	SCRT gennemsnit (µg/m ³)	SCRT alle (µg/m ³)	Difference ml. SCRT gns. og reference (µg/m ³)	Difference ml. SCRT alle og reference (µg/m ³)
Max	46,9	45,4	45,0	-1,5	-1,8
Min	19,2	19,2	19,1	-0,06	-0,07
Gennemsnit	30,6	29,6	29,3	-1,0	-1,3
Antal overskridelser >40.5	9	5	4		

Gadekoncentrationen af NO₂ bliver reduceret med omkring 1,0 µg/m³ i gennemsnit over de 98 gader i gennemsnitsscenarioet, hvor 57% af alle bybusser har eftermonteret SCRT. Den mindste reduktion er omkring 0,02 µg/m³ og den største reduktioner er 4,2 µg/m³. Bemærk at i dette scenarie er der reelt 76% af alle bybusser, som har NO_x reducerende udstyr, idet 19% af alle bybusser allerede er Euro VI busser. Euro VI er født med NO_x reducerende udstyr, som gør, at de har NO_x-emissioner svarende til en bus med eftermonteret SCRT, dvs. at 76% (57%+19%) af alle bybusser modsvarer Euro VI.

I scenariet, hvor det antages, at alle bybusser har SCRT er reduktionen omkring 1,3 µg/m³ i gennemsnit over de 98 gader. Den mindste reduktion er omkring 0,02 µg/m³ og den største reduktioner er 5,5 µg/m³. Grunden til at effekten ikke bliver større ved, at alle bybusser har SCRT i forhold til gennemsnitsscenarioet, er, at 76% allerede har eftermonteret SCRT eller er Euro VI busser. I dette scenarie er det derfor kun ekstra 24% busser, som får eftermonteret SCRT.

I referencesituationen uden SCRT er der 9 overskridelser af grænseværdien for NO₂ som årsmiddelværdi i 2015 for de 98 gader. Dette bliver reduceret til 5 overskridelser, hvis 57% af alle bybusser har eftermonteret SCRT, og til 4 overskridelser, hvis alle bybusser har eftermonteret SCRT.

4.7 Effekt af SCRT for luftkvaliteten på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej

I det følgende er effekten beregnet for hhv. H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej med de faktiske antal busser ud fra køreplanen, og bybusser med SCRT, som beskrevet i forudsætningerne i afsnit 4.5. Alle bybusser er antaget at have eftermonteret SCRT også linje 12 på H.C. Andersens Boulevard.

Effekt af SCRT for emissionen

I det følgende redegøres for, hvilken effekt SCRT har på emissionen. Der redegøres for reduktionen i NO_x (NO+NO₂) emissionen, og i reduktioner for partikler, som er underopdelt i udstødning og ikke-udstødning. Ikke-udstødning omfatter vej-, dæk- og bremseslid samt ophvirvling af partikler. Ikke-udstødning er yderligere underopdelt i partikler med en diameter un-

der 2,5 mikrometer (PM_{2.5}) og partiker under 10 mikrometer (PM₁₀). Udstødningspartikler er under 2,5 mikrometer. Emissionen af ikke-udstødning påvirkes ikke af SCRT, som kun reducerer udstødning.

Eftermontering af SCRT på bybusser på H.C. Andersens Boulevard reducerer NO_x-emissionen med 34% for by- og turistbusser under et, og 28% for partikeludstødning. Ses reduktion i forhold til alle køretøjsgrupper reduceres NO_x med 3,8% og partikeludstødning med 1,4% (Tabel 4.9).

Tabel 4.9. Emissionsreduktion ved SCRT på alle bybusser på HCAB i 2015

Scenarie	Stof	Alle køretøjsgrupper	By- og turistbusser
SCRT alle	NO _x	-3,8%	-34,0%
SCRT alle	PM ₁₀ Ikke-udstødning	0,0%	0,0%
SCRT alle	PM _{2.5} Ikke-udstødning	0,0%	0,0%
SCRT alle	PM udstødning	-1,4%	-28,0%

Eftermontering af SCRT på bybusser på Jagtvej reducerer NO_x-emissionen med 73% for by- og turistbusser under et, og 53% for partikeludstødning. Ses reduktion i forhold til alle køretøjsgrupper reduceres NO_x med 10% og partikeludstødning med 4% (Tabel 4.10).

Tabel 4.10. Emissionsreduktion ved SCRT på alle bybusser på Jagtvej i 2015

Scenarie	Stof	Alle køretøjsgrupper	By- og turistbusser
SCRT alle	NO _x	-9,5%	-72,6%
SCRT alle	PM ₁₀ Ikke-udstødning	0,0%	0,0%
SCRT alle	PM _{2.5} Ikke-udstødning	0,0%	0,0%
SCRT alle	PM udstødning	-4,0%	-53,0%

Den procentvise reduktion er større på Jagtvej i forhold til H.C. Andersens Boulevard, da der er 91% bybusser på Jagtvej og kun 50% på H.C. Andersens Boulevard.

Effekt af SCRT for luftkvaliteten

I Tabel 4.11 er effekten af eftermontering af SCRT på bybusser på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej vist for koncentrationen af NO₂.

Tabel 4.11. Effekten på koncentrationerne af NO₂ af eftermontering af SCRT på bybusser på H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København i 2015

Scenario	Reference uden SCRT (µg/m ³)	SCRT alle (µg/m ³)	Difference ml. SCRT alle og reference (µg/m ³)
HCAB (50% bybusser)	46,9	45,9	-1,3
Jagtvej (91% bybusser)	32,3	31,1	-1,2

Det ses, at koncentrationen af NO₂ reduceres med 1,3 µg/m³ på H.C. Andersens Boulevard og 1,2 µg/m³ på Jagtvej. Selvom den procentvise reduktion i emissionen er større på Jagtvej i forhold til H.C. Andersens Boulevard, fordi der er procentvis flere bybusser på Jagtvej i forhold til H.C. Andersens Boulevard ud af alle busser, opnås alligevel lidt større reduktion i NO₂ koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard i forhold til Jagtvej. Det skyldes, at antallet af bybusser på H.C. Andersens Boulevard er omkring 30% højere end på Jagtvej.

Da der i 2015 blev målt en koncentration af NO₂ på 48 µg/m³ på målestationen på H.C. Andersens Boulevard, vil eftermontering af SCRT på bybusser ikke bringe koncentrationen ned under grænseværdien på 40 µg/m³ for målestationens nuværende placering, men det vil give et skridt i den rigtige retning.

DCE har i forbindelse med en tidligere undersøgelse af forskellige scenarier for ren-luftzoner for København vurderet, at koncentrationen af NO₂ på H.C. Andersens Boulevard vil blive reduceret med omkring 1,8 µg/m³, hvis samtlige busser overholder Euro VI-normen i 2015 (Jensen et al., 2012). Dette svarer til de forudsætninger, som er gennemregnet i nærværende rapport. Den tidligere vurdering var baseret på en simpel regression mellem emissionsstæthed og NO₂ koncentration for estimering af effekten for NO₂ koncentrationen, og ikke beregnet med luftkvalitetsmodeller, som i nærværende rapport. Herudover er der mindre forskelle i forudsætninger omkring trafikmængden, bussernes andel og fordeling på hhv. by- og turistbusser, hvilket til sammen forklarer den mindre forskel mellem nuværende vurdering på 1,3 µg/m³ og den tidligere på 1,8 µg/m³.

Effekt af SCRT på bybaggrundsforureningen af NO₂

Baggrundskoncentrationen beregnes med DEHM/UBM. Vi antager som udgangspunkt, at baggrundskoncentrationer ikke bliver berørt selvom der også vil være en lille effekt i baggrund af SCRT på bybusserne. Det har tidligere været vurderet, hvad sammenhængen er mellem emissionsreduktion og ændring i bybaggrund (Jensen et al., 2012). Her var vurderingerne følgende: Ud fra størrelsen af bybaggrundsbidraget i 2015 og under antagelse af, at trafikken udgør omkring halvdelen af alle emissioner i Storkøbenhavn vil en 10 % reduktion i NO_x emissionen maksimalt føre til en reduktion i NO₂-koncentrationen på omkring 0,5 µg/m³. En NO_x-reduktion på 5 % svarer til en maksimal reduktion i NO₂ på 0,25 µg/m³. Ved en NO_x-reduktion på 2 % svarer det til en maksimal reduktion i NO₂ på 0,1 µg/m³.

Reduktionen i NO_x-emissionen er omkring 4% for H.C. Andersens Boulevard og omkring 10% for Jagtvej. Gennemsnittet for alle 98 gader formodes at ligge mellem disse yderpunkter. Da bybusser kun kører på en mindre del af det samlede vejnet vil NO_x reduktionen procentvis blive endnu mindre, hvis den ses i forhold til hele trafikens emission inden for den geografiske udstrækning af København. Ud fra disse betragtninger skønnes den gennemsnitlige reduktion i NO_x-emission til at være omkring 2-4%, hvilket svarer til reduktion i NO₂ i bybaggrundsluften i størrelsesordenen 0,1-0,2 µg/m³.

Effekt af SCRT for partikelkoncentrationen

Partikelemissionen fra hele trafikken på HCAB og Jagtvej bidrager med hhv. $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $0,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til partikelkoncentrationen på disse to gader. Det er meget lidt, da de målte gadekoncentrationerne i 2015 på HCAB og Jagtvej er hhv. $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2.5}$ og $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_{10} . Det skyldes, at der er et meget stort bidrag fra den regionale forurening, og et stort bidrag fra ikke-udstødning som vej-, dæk- og bremseslid samt ophvirvling af partikler. Endvidere er udstødningsdelen løbende blevet reduceret, som følge af at flere køretøjer har partikelfilter. Som det fremgår af ovenstående reducerer SCRT den samlede partikeludstødning for HCAB og Jagtvej med hhv. 1,4% og 4%. Dette svarer til en reduktion i partikelkoncentrationen på hhv. $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket er marginalt i forhold til de målte $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} niveauer.

Der er dog en sundhedsmæssig gevinst ved reduktion af partikeludstødning (Jensen & Ketzel, 2013). 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 (WHO, 2012). Omkring 2/3 af dieseludstødning består af sodpartikler, mens det er under 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 brændeovne, 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.

5 Referenceliste

Ellermann, T., Brandt, J., Jensen, S.S., Hertel, O., Løfstrøm, P., Ketzel, M., Olesen, H.R. & Winther, M. (2014): Undersøgelse af de forøgede koncentrationer af NO₂ på H.C. Andersens Boulevard. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 100 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 111. <http://dce2.au.dk/pub/SR111.pdf>.

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

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.

Jensen, S.S., Ketzel, M. (2009): NO₂ virkemiddelkatalog - virkemidler til begrænsning af overskridelser af NO₂ grænseværdien for luftkvalitet i større danske byer". Miljøprojekt nr. 1268, 2009. 84 s. Miljøstyrelsen. <http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2009/978-87-7052-918-1/pdf/978-87-7052-918-1.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://www2.dmu.dk/Pub/SR25.pdf>.

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>.

Miljøstyrelsen (2015a): Luftkvalitetsplan for kvælstofdioxid (NO₂) i København, Miljøprojekt nr. 1660, 2015, Miljøstyrelsen, Danmark, <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2015/03/978-87-93283-93-0.pdf>.

Miljøstyrelsen (2015b): Opgradering af efterbehandlingssystemer på Movias Euro IV, Euro V og EEV busser, Miljøprojekt nr. 1795, 2015.

Movia (2016): <https://www.moviatrafik.dk/om-os/klima-og-miljoe/-miljoearbejdet/bus/ren-luft-til-danskerne>.

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.

LUFTKVALITETSVURDERING AF SCRT PÅ BYBUSSE I KØBENHAVN

I rapporten vurderes effekten af eftermontering af SCRT på omkring 300 bybusser i København, som en del af Miljøstyrelsens luftkvalitetsplan for NO₂ i København. Dette gøres ud fra analyse af udviklingen i målte koncentrationer på de faste målestationer, og ud fra beregninger med luftkvalitetsmodeller baseret på oplysninger fra Movia om busser med og uden SCRT. SCRT reducerer både udledning af kvælstofoxider (NO_x) og partikler, som er sundhedsskadelige. Det er ikke muligt ud fra analyse af udviklingen i målingerne at isolere en effekt af SCRT på bybusser i København, som kan ses i målingerne. Modelberegningerne forudsætter, at SCRT reducerer emission af NO_x og partikler fra den enkelte bus med 90%. Modelberegninger for 98 gader i København viser, at koncentrationen af NO₂ reduceres med 1,0 µg/m³ i gennemsnit pga. eftermontering af SCRT for de 300 busser, og at reduktionen ville være 1,3 µg/m³, hvis alle bybusser havde SCRT. Mere detaljerede analyser er foretaget for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, hvor der er målestationer.