

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift

Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet

(Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

www.trafikdage.dk/artikelarkiv



Hvad er effekten af ren-luftzoner for luftforureningen og eksterne omkostninger i København?

*Steen Solvang Jensen (ssj@dmu.dk), Matthias Ketzler (mke@dmu.dk),
Jørgen Brandt (jbr@dmu.dk), Thomas Ellermann (tel@dmu.dk),
Morten Winther (mwi@dmu.dk), Louise Martinsen (lom@dmu.dk),
Thomas Becker (thob@dmu.dk)*

*Institut for Miljøvurdering
Aarhus Universitet, Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde*

Abstrakt

Ren-luftzoner, hvor der stilles højere miljøkrav til køretøjer inden for et geografisk område, er et muligt virkemiddel til at forbedre luftkvaliteten i de større byer og til at reducere antallet af overskridelser af grænseværdien for kvælstofdioxid (NO₂). Denne artikel vurderer effekten af forskellige udformninger af ren-luftzoner – både forskellige miljøkrav og forskellige geografiske størrelser af ren-luftzonen, og hvilken betydning det har for emission, luftkvalitet samt eksterne omkostninger relateret til luftforureningens sundhedseffekter. Dette sker med udgangspunkt i Københavnsområdet.

1. Baggrund og formål

I regeringsgrundlaget fra oktober 2011 er ren-luftzoner udpeget, som et virkemiddel til at forbedre luftkvaliteten i de større byer, og det kan være et virkemiddel til at fremme overholdelse af grænseværdien for NO₂, som i dag er overskredet. Fra og med 2010 skulle en grænseværdi på 40 µg/m³ som årsmiddelværdi have været overholdt for NO₂. Der er målte overskridelser på H.C. Andersens Boulevard siden 2002 (Ellermann et al., 2012), og beregninger viser overskridelser på en række andre trafikerede gader i København (Jensen et al., 2011).

På denne baggrund gennemførte DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi for Miljøstyrelsen i 2012 en undersøgelse med det formål at vurdere effekten af forskellige udformninger af ren-luftzoner. Der blev foretaget en emissions- og luftkvalitets-vurdering af virkemidlerne med udgangspunkt i København (Jensen et al., 2012b).

I forlængelse af ovenstående projekt iværksatte Miljøstyrelsen og Københavns Kommune i 2013 en samfundsøkonomisk analyse af forskellige udformninger af ren-luftzoner, hvor costs og benefits kvantificeres. DCE har stået for at estimere benefits i form af de sparede eksterne omkostninger relateret til

sundhedseffekter ved at indføre ren-luftzone i København med fokus på den såkaldte Berlinermodel dvs. tilsvarende miljøkrav som stilles til biler i Berlin's miljøzone. I Berlin har alle dieselmotorer (person- og varebiler samt lastbiler og busser) til og med Euro 3 og alle benzindrevne person- og varebiler til og med Euro 0 ikke tilladelse til at køre i miljøzonen. De nuværende miljøzoner i København, Aarhus, Odense og Aalborg omfatter kun lastbiler og busser til og med Euro 3. Vurderingen tager udgangspunkt i enhedsomkostninger for luftforurening og beregning af de samlede sparede emissioner (Jensen et al., 2013a). Der er endvidere vurderet betydningen af forskellige geografiske udvidelser af ren-luftzonen (Jensen et al., 2013b). COWI har stået for estimering af costs, som har omfattet berørte bilers værditab i forbindelse med indførelse af en ren-luftzone.

Denne artikel fokuserer på resultaterne af ovenstående undersøgelser og beskriver effekten af forskellige udformninger af ren-luftzoner for emission, luftkvalitet og sparede eksterne omkostninger i Københavnsområdet.

2. Scenarier for ren-luftzone

De eksisterende miljøzoner i København, Aarhus, Odense og Aalborg, som var fuldt implementeret i 2010, regulerer kun ældre busser og lastbiler. Lastbiler og busser over 3,5 ton skal mindst overholde Euro 4 emissionsnormen (eller have eftermonteret et partikelfilter). Evaluering af de eksisterende miljøzoner har vist en reduktion i både emissionen af partikler og kvælstofoxider og en forbedring af luftkvaliteten (Jensen et al., 2011).

2.1 Miljøkrav til bilparken i ren-luftzone

Udledningen af luftforurenende stoffer fra køretøjer reguleres gennem de såkaldte Euroemissionsnormer, som fastsætter grænseværdier for, hvor meget emission af forskellige luftforurenende stoffer, der må udledes under en fastlagt kørecyklus målt under laboratorieforhold. Køretøjerne skal i forbindelse med typegodkendelse overholde disse grænseværdier. I gennem årene er kravene løbende blevet skærpet til nye køretøjer. Eksempelvis er de skarpeste emissionskrav for person- og varebiler fastlagt i Euro 6 normen gældende for nyregistrerede køretøjer fra den 1.9.2015. Nogle bilmodeller, der opfylder denne emissionsnorm, findes dog allerede på markedet i dag.

Da Euronormerne løbende er blevet skærpet, kan man opnå en reduktion i emissionen, hvis ældre emissionsnormer fx Euro 1-3 (ældre biler) forbydes i ren-luftzonen, og erstattes af nyere emissionsnormer fx Euro 4-6 (nyere biler).

Ud over at regulere biler i ren-luftzonen ud fra krav til deres Euronormer, kan der også opnås en reduktion i NO_x emissionen ved at eftermontere NO_x katalysatorer, hvilket er en realistisk mulighed på lastbiler og busser. Dette kunne være i form af NO_x katalysatorer som SCR (Selective Catalyst Reduction). Da nogle SCR systemer har reduceret effektivitet under kørselsforhold i byer, hvor katalysatoren ikke opnår tilstrækkelige høje temperaturer, er det vigtigt at stille krav om høj effektivitet under bykørsel, og i beregningerne er det forudsat at der kan opnås en reduktion af NO_x på 80%.

NO_x (kvælstofoxider) består af NO (kvælstofmonoxid) og NO_2 (kvælstofdioxid). I luften omdannes NO til NO_2 i reaktioner med ozon, og dannelsen af NO_2 er således afhængig af mængden af ozon i luften, som oftest er den begrænsende faktor for dannelse af NO_2 i stærkt trafikerede gader. Af NO og NO_2 udgør NO_2 den sundhedsskadelige komponent.

For ti år siden var den andel af NO_x , der udsendes fra den samlede biltrafik i form af NO_2 ("den direkte NO_2 fraktion"), på et niveau omkring 5-10 % af samlet NO_x emission. Den direkte NO_2 fraktion har været stigende de seneste år. Dette er en af grundene til, at NO_2 koncentrationen i gader ikke falder så hurtigt, selvom emissionen af NO_x er reduceret væsentligt. Stigningen i den direkte NO_2 fraktion skyldes stigningen i

antallet af dieseldrevne person- og varebiler, som er udstyret med oxidative katalysatorer, som reducerer "diesellugten" fra udstødningen, men som samtidig oxiderer NO til NO₂. Endvidere bidrager visse typer af partikelfiltre til øget direkte NO₂ udslip. I beregningerne af luftkvaliteten er benyttet et modelsystem, hvor den direkte NO₂ fraktion er implementeret med separate værdier for de enkelte køretøjskategorier og emissionsklasser. Dieselandelen har været stigende de seneste år, og i den nationale statistik og ved fremskrivning antages det eksempelvis, at dieselandelen for personbiler er 26 % i 2011 og 34 % i 2015, og for varebiler 90 % i 2011 og 93 % i 2015. Da nyere emissionsnormer har lavere NO_x emissioner end ældre emissionsnormer, men højere direkte NO₂ andel, opnås der ikke så stor en reduktion i NO₂ emissionen ved at gå fra ældre til nyere emissionsnormer, som man kunne forvente ved alene at betragte NO_x reduktionen mellem ældre og nye emissionsnormer.

Fokus i scenarierne er overholdelse af NO₂ grænseværdien, da denne er overskredet i København, men scenarier, hvor ældre køretøjer fjernes og erstattes med nyere vil også have en reduktion i partikel-forureningen, idet køretøjer med nyere emissionsnormer også har lavere partikeludstødning. Der vil derfor også være en sundhedsgevinst ved lavere partikelforurening.

Der er to typer af referencescenerier. Scenarie 1A er som bilparken forventes at se ud i det pågældende scenarieår medregnet effekten af den nuværende miljøzone, og scenarie 1B er med fremme af en hurtigere introduktion af Euro 6 person- og varebiler ved forskellige incitamenter. Fremme af Euro 6 vil resultere i lidt lavere emissioner i forhold til scenarie 1A.

I varebilscenariet (2A/2B) må dieseldrevne varebiler til og med Euro 3 og benzindrevne varebiler t.o.m. Euro 1 ikke køre i ren-luftzonen. Disse krav svarer til en lille skærpelse af de tyske miljøzonekrav for benzindrevne varebiler, idet de tyske miljøzonekrav tillader emission svarende til Euro 1 fra benzin varebiler.

Der er et kombineret person- og varebilscenarie (3A/3B), hvor kravene for varebiler er som i scenarie (2A/2B), og kravene til personbiler er, at dieseldrevne personbiler med emissioner t.o.m. Euro 3 og benzindrevne personbiler t.o.m. Euro 1 ikke må køre i ren-luftzonen. Disse krav svarer til en lille skærpelse af de tyske miljøzonekrav for benzindrevne person- varebiler, idet de tyske miljøzonekrav tillader emissioner svarende til Euro 1 fra benzindrevne person- og varebiler. Da der er meget få Euro 1 benzindrevne person- og varebiler, og deres bidrag til NO_x er meget lille svarer dette scenarie stort set til miljøkravene i Berlin ud fra en emissionsmæssig betragtning.

Scenarie 4A/4B dækker over forskellige emissionsscenerier, som er varianter af scenarie 2 og 3, hvor der forudsættes en anden grænse for hvilke Euronormer, som er omfattet af ren-luftzonen - Euro 0 eller Euro 2 i stedet for Euro 1 for benzindrevne person- eller varebiler. Scenarie 4A-c er næsten helt identisk med miljøzonekravene i Berlin dog med den undtagelse af benzindrevne varebiler med Euro 1 er forbudt i scenariet, hvor de er tilladt i Berlin.

Scenarie 4 indeholder endvidere variantscenerier som SCR (Selective Catalyst Reduction) scenarier med krav om eftermontering af NO_x katalysatorer på hhv. rutebusser, turistbusser og lastbiler, som har emissioner svarende til Euro 3 eller ældre. Scenarie 4 indeholder også et variantscenarie, hvor det antages, at alle rutebusser opfylder emissionsnormen Euro 6.

Scenarie 4 indeholder endvidere et variantscenarie, hvor nysalg af diesel personbiler reduceres i årene 2013-15 med 5 procentpoint, dvs. fra 48 % til 43 % af alle personbiler. Som resultat reduceres diesel-andelen i hele bilparken af personbiler i 2015 fra 34,1 % til 33,2 %.

Scenarieårene er 2013, 2015 og 2017. Disse årstal er valgt for at give et billede af de fremtidige koncentrationsniveauer. Det vurderes, at de mellemliggende år 2014 og 2016 kan findes som midtpunktet mellem de omkringliggende år. Denne metode er valgt, da det er ressourcekrævende at beregne samtlige

scenarier for alle år. Grænseværdien for NO₂ skal overholdes hurtigst mulig og senest i 2015, derfor regnes der på koncentrationsniveauer allerede fra 2013. 2017 er valgt, da den løbende udskiftning af bilparken fører til lavere emission pga. udskiftning til renere og renere emissionsnormer. 2017 vil derfor illustrere, hvor hurtigt koncentrationerne falder efter 2015.

Omkring 27.000-30.000 varebiler berøres af de forskellige scenarier. Omkring 50.000 personbiler berøres i hovedscenariet 3A, omkring 25.000 personbiler, hvis emissionsgrænsen i scenariet for benziner flyttes fra Euro 1 til Euro 0, men omkring 90.000 personbiler, hvis grænsen flyttes fra Euro 1 til Euro 2.

Tabel 2.1 Oversigt over de forskellige scenarier for ren-luftzoner

Metode	Referencescenarie 1A	Referencescenarie 1B
1: beregning af luftkvalitet på 99 gadestrækninger i referencescenarierne	Scenarie 1A 'reference' Beregning for år: 2013, 2015, 2017	Scenarie 1B 'fremme af Euro 6' Beregning for år: 2013, 2015, 2017 Dette anvendes som alternativ reference for beregning af effekten af ren-luftzoner som angivet nedenfor. Fremme Euro 6 i nybilsalget for 1½ års salg af varebiler. Det antages, at 2015 er 100 % nybilsalg Euro 6 og i 2014 er det 50 %. (Euro 6 er obligatorisk for varebiler fra 2016) Fremme Euro 6 i nybilsalget for 1½ års salg af personbiler. Det antages, at 2014 og 2015 er 100 % nybilsalg Euro 6 og i 2013 50 %. (Euro 6 er obligatorisk for personbiler 2015)
	2A Varebilscenarie	2B Varebilscenarie med fremme af Euro 6
2: beregning af luftkvalitet på 99 gadestrækninger for varebilscenarie	Ren-luftzone for varebiler til og med (t.o.m.) Euro 3 diesel og Euro 1 benzin på basis af 1A. 2A vurderes i forhold til 1A	Ren-luftzone for varebiler t.o.m. Euro 3 diesel og Euro 1 benzin på basis af 1B. 2B vurderes i forhold til 1B
	3A Person- og varebilscenarie	3B Person- og varebilscenarie med fremme af Euro 6
3: beregning af luftkvalitet på 99 gadestrækninger for person- og varebilscenarie	Ren-luftzone for varebiler (som ovenfor) og for personbiler t.o.m. Euro 3 diesel og Euro 1 benzin på basis af 2A. 3A vurderes i forhold til 1A	Personbiler t.o.m. Euro 3 diesel og Euro 1 benzin på basis af 2B. 3B vurderes i forhold til 1B
	4A Variantscenarier	4B Variantscenarier med fremme af Euro 6
4: Emissionsvurderinger for H.C. Andersens Boulevard af effekten af justeringer af ovenstående tiltag for person- og varebiler, og mulige tillægstiltag for tunge køretøjer. Koncentrationsvurdering baseret på statistisk sammenhæng ml. emission og koncentration	a: Som 2A, men skift af grænse for benzinbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 0 b: Som 2A, men skift af grænse for benzinbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 2 c: Som 3A, men skift af grænse for benzinpersonbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 0 d: Som 3A, men skift af grænse for benzinpersonbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 2 e: Som 1A, men SCR på rutebusser (Euro 3 og ældre) f: Som 1A, men SCR på turistbusser (Euro 3 og ældre) g: Som 1A, men SCR på lastbiler (Euro 3 og ældre) h: Som 1A, men 100 % Euro 6 for rutebusser i: Som 1A, men reduceret salg af diesel personbiler 2013-15 4A-a-b vurderes i forhold til 2A. 4A-c-d vurderes i forhold til 3A. 4A-e-i vurderes i forhold til 1A	Scenarier som 4A. 4B-a-b vurderes i forhold til 2B. 4B-c-d vurderes i forhold til 3B. 4B-e-i vurderes i forhold til 1B

Hvordan de forskellige scenarier er relateret til Euro emissionsklasserne er illustreret i Tabel 2.2. Kun A-scenarierne er vist, da A- og B-scenarierne kun adskiller sig ved, at B-scenarier fremmer Euro 6 for person- og varebiler.

Tabel 0.2. Sammenhæng mellem scenarier og Euroemissionsnormer. Et scenarie er nævnt de steder i tabellen, hvor det påvirker en bestemt gruppe af køretøjer. F.eks. vil benzindrevne personbiler med Euro 1 blive påvirket af scenarie 3.

	Personbiler		Varebiler		SCR eftermontering		
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Rutebus Diesel	Turistbus Diesel	Lastbil Diesel
	Euro 0	3,4c,d	3,4c,d	2,3,4a,b,c,d	2,3,4a,b,c,d	4e	4f
Euro 1	3 4d	3,4c,d	2,3,4b,c,d	2,3,4a,b,c,d	4e	4f	4g
Euro 2	4d	3,4c,d	4b	2,3,4a,b,c,d	4e	4f	4g
Euro 3		3,4c,d		2,3,4a,b,c,d	4e	4f	4g
Euro 4							
Euro 5		4i					
Euro 6		4i			4h		

I forbindelse med beregning af de eksterne omkostninger blev der regnet kun regnet på to scenarier. Det ene var præcis som i Berlin dvs. at dieseldrevne person- og varebiler til og med Euro 3 og benzindrevne person- og varebiler til og med Euro 0 ikke må køre i miljøzonen med virkning fra 2015. Det svarer stort til scenarie 3A, hvor dog Euro 1 benzindrevne person- og varebiler må køre i ren-luftzonen, eller næsten identisk med scenarie 4A-c med den undtagelse af benzindrevne varebiler med Euro 1 er forbudt i scenariet. Der blev endvidere regnet på et suppleringscenarie, som er som ovenstående Berlinerscenariet men med et tillægskrav om at alle dieseldrevne Euro 4 køretøjer dvs. person-, vare- og lastbiler samt busser skal have partikelfilter gældende fra 2017.

2.2 Geografisk udstrækning af ren-luftzone

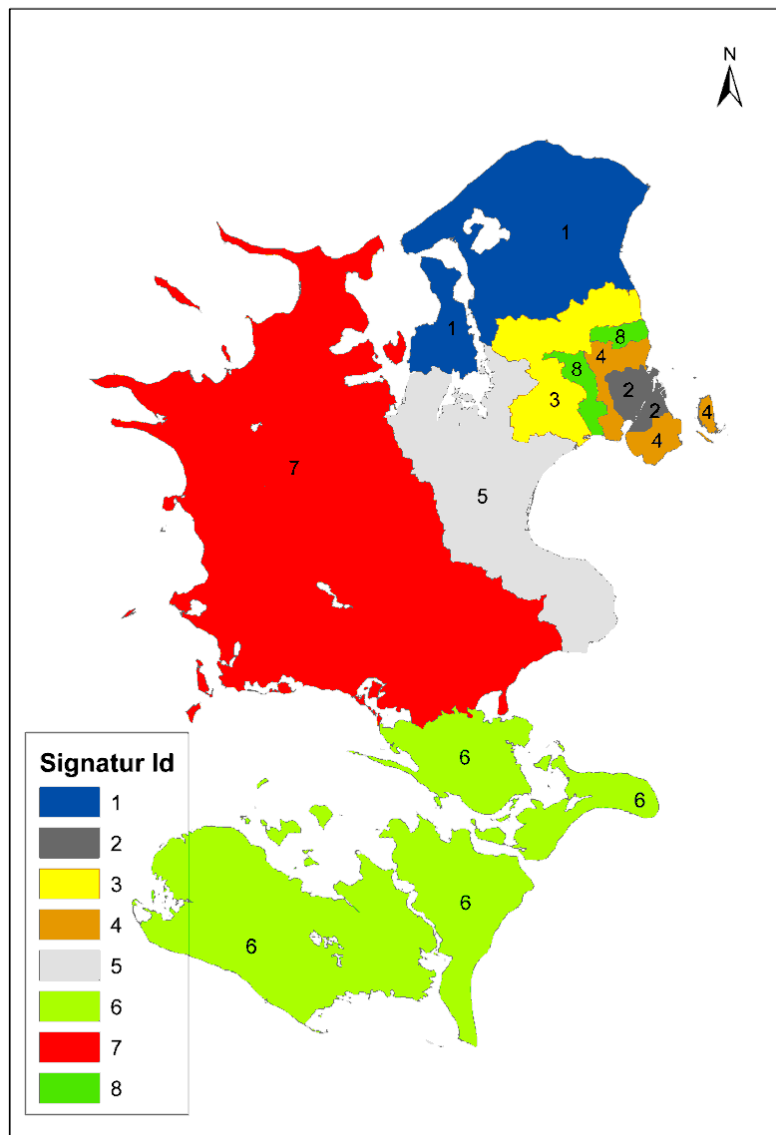
Udvidelsen inddrager et større område end den eksisterende miljøzone, som kun omfatter Københavns Kommune og Frederiksberg kommune. Der er regnet på to udformninger af udvidelser, som varierer i geografisk størrelse (COWI, 2013a,b):

- Mindre udvidelse: Københavns Kommune og Frederiksberg kommune plus zone 1 (dvs. nabokommuner omfattet)
- Større udvidelse: Københavns Kommune og Frederiksberg kommune plus zone 1 – 3 (dvs. resten af det gamle Københavns Amt)

De kommuner, som indgår i udvidelserne er vist i Tabel 2.3, og den geografiske udstrækning af de forskellige områder er visualiseret i Figur 2.1. Udstrækningen af de gamle amter er anvendt, da dele af anvendt data er organiseret i forhold hertil (COWI, 2013a,b).

Tabel 2.3 Beskrivelse af zoner

Id	Beskrivelse af zone
2	Zone 0: Miljøzonen (Københavns og Frederiksberg kommune)
4	Zone 1 (nabokommuner): Den første zone er de kommuner som er naboer til miljøzonegrænsen (Gentofte, Gladsaxe, Herlev, Rødovre, Hvidovre, Tårnby og Dragør)
8	Zone 2 (ydre nabokommuner): Den anden zone er de kommuner der betegnes ydre nabokommuner (Brøndby, Vallensbæk Albertslund, Glostrup, Ballerup, Lyngby Taarbæk)
3	Zone 3 (Øvrige kommuner): Omfatter øvrige kommuner i Københavns Amt (Ishøj, Høje Taastrup, Egedal, Furesø og Rudersdal)
1 og 5	NA: Naboamter (Roskilde og Frederiksborg Amt)
6 og 7	SØA: Sjællands øvrige amter (Vestsjællands Amt og Storstrøms amt)
n.a.	DØA: Øvrige Danmark



Figur 2.1 Nuværende miljøzone som omfatter Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune (2) samt mindre udvidelse inkl. nabokommuner (2 og 4), og større udvidelse inkl. det gamle Københavns Amt (2, 8 og 3).

3. Metode

3.1 Emissions- og luftkvalitetsvurdering

Luftkvalitetsvurdering af scenarierne omfatter både en vurdering af scenariets effekt for emission og luftkvalitet. Da det er ressourcekrævende at gennemføre luftkvalitetsvurdering af samtlige virkemidler er flere af virkemidlerne kun vurderet vedrørende emission, og luftkvalitetsvurderingen er baseret på en ekstrapolation ud fra sammenhængen mellem emission og luftkvalitet i gennemregnede scenarier.

Emissions- og luftkvalitetsvurdering for alle scenarier er gennemført for H.C. Andersens Boulevard, hvor der findes en målestation, og hvor NO_2 grænseværdien som årsmiddelværdi har været overskredet siden 2002. Luftkvalitetsberegningerne er endvidere gennemført for udvalgte scenarier for 99 trafikerede gade-strækninger i Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune. Trafikdata stammer fra Københavns

Kommunes trafiktællestationer, og det er sikret at de mest trafikerede strækninger er medtaget samtidig med at der er udvalgt gadeslugter, således at de gadestrækninger i København, hvor der kan forventes højest koncentrationer, er inkluderet.

Luftkvalitetsberegninger foregår med et koblet modelsystem, THOR, bestående af en regional langtransportmodel (DEHM) (Brandt et al. 2001), en bybaggrundsmodel (UBM) (Berkowicz 2000a) og en gadeluftkvalitetsmodel (OSPM) (Berkowicz 2000b; Ketzal et al. 2012) og tilhørende meteorologi, emission og topografisk data. AirGIS systemet er blevet brugt til automatisk at generere gadegeometri og trafikinput til OSPM modellen ud fra digitale kort, og muliggør derfor effektiv beregning for mange lokaliteter (Jensen et al., 2001, 2009b; Ketzal et al. 2011, 2012) (airgis.dmu.dk). Der er foretaget en lang række opdateringer af input data i forhold til tidligere vurderinger i Miljøzonerapporten (Jensen et al., 2011) mht. emissionsgrundlag for DEHM og UBM, samt for OSPM i form af opdatering af bilparken, emissionsfaktorer og trafik- og gadegeometridata.

Da der er et regionalt langtransporteret bidrag til NO₂, og der også findes andre kilder end trafik, som bidrager til NO₂ forureningen i trafikerede gader i København, vil en procentvis reduktion i trafikens NO_x emissionen ikke slå tilsvarende igennem i forhold til luftkvaliteten af NO₂.

3.2 Beregning af eksterne omkostninger

Der er kun regnet eksterne omkostninger på et lille udvalg af de mange scenarier, som der er regnet luftkvalitetsvurdering på. Det drejer sig om Berlinerscenariet for person- og varebiler (3A) samt et nyt scenarie som Berlinerscenariet men hvor alle Euro 4 køretøjer også er omfattet.

I Berlinerscenariet stilles der 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 i miljøzonen. Disse køretøjskategorier erstattes af køretøjer med nyere Euronormer, og det er ikke forudsat at kravene kan opfyldes med fx eftermontering af åbne filtre. Kravene forventes at gælde fra 2015.

Det andet scenarie er som Berlinerscenariet men med et tillægskrav om at alle dieseldrevne Euro 4 køretøjer dvs. person-, vare- og lastbiler samt busser skal have partikelfilter. Kravene forventes at gælde fra 2017. Da der er mulighed for at opfylde dette krav enten ved eftermontering af partikelfilter eller ved skift til Euro 5 eller Euro 6 køretøj er det i beregninger forudsat at 50% får partikelfilter og 50% fordeler sig proportionalt på de tilbageværende køretøjskategorier (Euro 5 og Euro 6) i samme forhold som før tiltaget. Trafikstyrelsens forudsætninger om at et lukket partikelfilter i gennemsnit reducerer partikeludstødningen med 80% anvendes.

Den overordnede metode er, at de samlede sparede eksterne omkostninger ved et scenarie er enhedsomkostningerne gange de sparede emissioner. Enhedsomkostninger for eksterne omkostninger for sundhedseffekter udtrykkes i kr. pr. kg emission, og de sparede emissioner ved scenarierne beregnes på baggrund af trafikarbejdet på vejnettet på Sjælland, emissionsfaktorer samt de ændringer i bilparkens sammensætning af Euronormer, som scenarierne giver anledning til. Endvidere tages der hensyn til at effekten aftager med afstanden til miljøzonen. For PM_{2,5} afhænger enhedsomkostningen tillige af befolkningstætheden.

Enhedsomkostninger

Enhedsomkostningerne er baseret på enhedspriser beregnet med EVA-systemet udviklet af AU/ENVS. EVA (Economic Valuation of Air pollution) kan med udgangspunkt i danske værdisætninger af sundhedseffekterne beregne de eksterne omkostninger for de enkelte emissioner afhængigt af de geografiske placeringer af udledningen (Brandt et al., 2011). Dette system er baseret på state-of-the-art luftkvalitetsmodeller for beregning af luftkvalitet (Danish Eulerian Hemispheric Model - DEHM), befolkningseksponering, dosis-respons sammenhænge for beregning af sundhedseffekter, samt værdisætning af sundhedseffekterne. Værdisætningen er baseret på betalingsvillighed for at undgå fx for tidlige dødsfald og markedspriser for fx hospitalsindlæggelser og øget medicinforbrug.

EVA-systemet har pt. været benyttet til at beregne gennemsnitspris for enhedsomkostningerne for vejtransport for PM_{2.5} i hele Danmark. Da scenarierne for ren-luftzoner foregår i et tætbeholdt område, er der opstillet et indikativt forsøg på at skabe større geografisk opløsning i de eksterne omkostninger for PM_{2.5} (Jensen et al. 2013a). Dette er gjort ved at opdele enhedspriserne i et regionalt bidrag og et bybidrag, hvor bybidraget er afhængig af befolkningstæthed. Der skønnes at være en væsentlig usikkerhed på den opstillede indikative metode.

I Tabel 3.1 er opsummeret de anvendte enhedspriser til beregning af de eksterne omkostninger ved sundhedsskadelig luftforurening.

Tabel 3.1 Anvendte enhedspriser for eksterne omkostninger ved sundhedsskadelig luftforurening

Eksterne omkostninger (kr./kg, 2006-priser)	NO_x	PM_{2.5}
By og land	75	
Regionalt bidrag		285
Bybidrag afhængig af befolkningstæthed (x er befolkningstæthed i indb./km ²)		x*0,18

De samlede beregnede eksterne omkostninger fremskrives fra 2006 til 2015 med Transportministeriets antagelser om stigning i enhedspriserne pr. kg emission på 1,6% om året. Det giver en prisstigning på 15% over perioden fra 2006 til 2015. Fremskrivning til 2017 giver en prisstigning på 19% i forhold til 2006-priser.

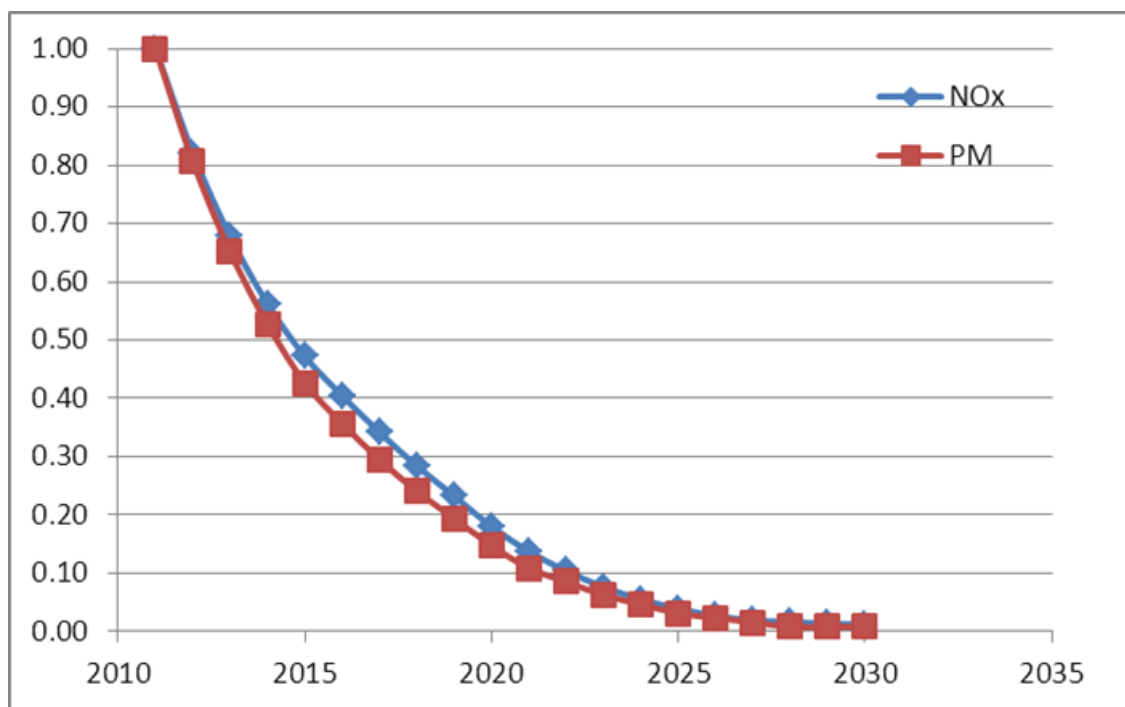
Befolkningstætheden (indb./km²) indgår i beregning af eksterne omkostninger for PM_{2.5}. Der anvendes et nyere datasæt for befolkningstætheden, som består af CPR data på adresseniveau fra 2008, som er knyttet til adresseregisteret, således at antal personer er summeret pr. adresse. Befolkningsdata er herefter summeret på Geodatastyrelsens Danske Kvadratnet på 1x1 km².

Da effekten for NO_x primært er på den regionale skala regnes den som ens for by og land. Der regnes således ikke med en lokal sundhedseffekt af NO_x, men NO_x omdannes i atmosfæren og bliver til nitratholdige partikler, som har en sundhedseffekt, men denne omdannelse tager tid.

Beregning af de samlede eksterne omkostninger for hele scenariernes effektperiode

Ovenstående metode beregner de sparede eksterne omkostninger for et givent scenarie for et givet år dvs. første år for indførelse af tiltaget. Scenarierne svarer til at fremskynde indførelse af nyere renere Euronormer for køretøjerne, og effekten i form af sparede emissioner er størst det første år, hvorefter den vil klinge af i takt med udskiftning af bilparken.

Miljøstyrelsen har tidligere beregnet den sparede emission for Berlinerscenariet (Miljøstyrelsen, 2009a). Effekten er størst de første år, og efter omkring 10 år er den sparede effekt nede på omkring 10-15% af effekten i det første år. Efter 20 år er der ingen effekt af tiltaget, da bilparken er udskiftet. De samlede sparede emissioner i forhold til første års sparede emissioner er 5,5 gange større for NO_x og 5 gange større for PM_{2.5}, og disse faktorer anvendes til at beregne de samlede sparede eksterne omkostninger for et scenarie ved at gange disse faktorer på den beregnede sparede eksterne omkostning for det første år.



Figur 3.1. Hvordan sparede emissioner ved Berlinermodellen aftager med årene (Indeks). Baseret på *Miljøstyrelsen* (2009a).

3.3 Sparede emissioner

De sparede emissioner ved scenarierne beregnes på baggrund af trafikarbejdet på vejnettet på Sjælland ud fra DCE's vej- og trafikdatabase (Jensen et al., 2010a) og emissionsfaktorer på basis af emissionsmodellen COPERT 4 samt de ændringer i bilparkens sammensætning af Euronormer, som scenarierne giver anledning til. Det er således muligt at beregne emissionen fra trafikken, hvilket er gennemført med en geografisk opløsning på 1x1 km² med Danske Kvadratnet. OML-Highway er anvendt til at foretage beregningerne af trafikarbejdet, da den har indbyggede værktøjer til nemt at opsummere trafikarbejde og emission på et gitternet (Jensen et al., 2010).

Inden for ren-luftzonen vil det blive antaget, at der ikke sker trafikale ændringer, dvs. at trafikken er uændret, men at der kun sker ændringer i bilparken som følge af ren-luftzonekravene. Ren-luftzonekravene slår derfor 100% igennem inden for ren-luftzonen.

Uden for ren-luftzonen vil der også ske ændringer i bilparken som følge af ren-luftzonekravene, men effekten af ren-luftzonekravene for bilparken vil aftage jo længere væk fra ren-luftzonen man er. Det skyldes, at bilejere der ofte skal til ren-luftzonen må formodes at skifte til bil, der opfylder ren-luftzonekravene, mens bilejere som sjældent skal til ren-luftzonen ikke formodes at skifte til tilladt køretøj. Uden for ren-luftzonen er det ligeledes antaget, at trafikken er uændret, og det kun er bilparken, som ændres.

COWI har vurderet, hvor mange biler som bliver berørt af ren-luftzonekrav for forskellige geografiske områder af Sjælland ved at kombinere oplysninger om person- og varebilbestanden med vurdering af bilernes berøring med ren-luftzonen ud fra DTU Transports Transportvaneundersøgelse (TU data). Vurderingerne er inddelt efter forskellige geografiske områder som vist i Figur 2.1. Disse vurderinger har COWI foretaget for ren-luftzone, som den nuværende miljøzone, og for den mindre og den større udvidelse af ren-luftzonen (COWI, 2013a,b).

I Tabel 3.2 er opsummeret den andel af berørte ældre person- og varebiler, som berøres afhængig af afstand fra ren-luftzonen. Ældre person- og varebiler er de biler som er omfattet af Berlinersceneriet dvs. alle dieselmotorer (person- og varebiler samt lastbiler og busser) til og med Euro 3 og alle benzindrevne person- og varebiler til og med Euro 0. Inden for ren-luftzonen er 100% af alle ældre person- og varebiler berørt af ren-luftkravene. Eksempelvis er 31% af personbiler og 27% af varebiler berørt af miljøkravene i forbindelse med den mindre udvidelse i de tidligere Vestsjællands Amt og Storstrøms amt (område 6 og 7).

Tabel 3.2 Procent berørte ældre person- og varebiler (Diesel=<E3, benzin=<E0) afhængig af afstand fra ren-luftzone i Berlinersceneriet (%). Baseret på COWI (2013a,b).

Id	Beskrivelse af zone	Procent berørte ældre biler (%)					
		Ren-luftzone som miljøzone		Mindre udvidelse		Større udvidelse	
		Personbil	Varebil	Personbil	Varebil	Personbil	Varebil
2	Zone 0: Miljøzonen (Københavns og Frederiksberg kommune)	100	100	100	100	100	100
4	Zone 1 (nabokommuner): Den første zone er de kommuner der ligger som tætte naboer til miljøzonegrænsen (Gentofte, Gladsaxe, Herlev, Rødovre, Hvidovre, Tårnby og Dragør)	60	56	100	100	100	100
8	Zone 2 (ydre nabokommuner): Den anden zone er de kommuner der betegnes ydre nabokommuner (Brøndby, Vallensbæk Albertslund, Glostrup, Ballerup, Lyngby Taarbæk)	63	54	71	59	100	100
3	Zone 3 (Øvrige kommuner): Omfatter øvrige kommuner i Københavns Amt (Ishøj, Høje Taastrup, Egedal, Furesø og Rudersdal)	70	54	76	63	100	100
1 og 5	NA: Naboamter (Roskilde og Frederiksborg Amt)	51	45	74	63	77	64
6 og 7	SØA: Sjællands øvrige amter (Vestsjællands Amt og Storstrøms amt)	23	21	31	27	42	36
n.a.	DØA: Øvrige Danmark	2	2	2	2	3	3

4. Resultater

4.1 Emissions- og luftkvalitetsvurdering

Effekt af hovedscenarier for H.C. Andersens Boulevard i København

Effekten af de forskellige scenarier for NO₂ koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard samt i bybaggrund er vist i Tabel 4.1 sammen med ændring i NO_x emissionstætheden.

Table 4.1 Modelberegnete NO₂ gadekoncentrationer på H.C. Andersens Boulevard, bybaggrundskoncentration og reduktion i NO_x emission for de forskellige scenarier

Scenario	Årstal	Ændring i	NO ₂ bybag-	NO ₂ gadekonc.	Ændring i NO ₂
		NO _x emission	grundkonc.	(µg / m ³)	gadekonc. i
		i forhold til A1	(µg / m ³)	(µg / m ³)	forhold til A1
		(%)			(µg / m ³)
1A - Reference					
	2010		20,0	47,4	
	2011		20,0	47,1	
	2013		19,1	44,7	
	2015		17,8	40,5	
	2017		16,1	35,4	
1B (+fremme af Euro 6)					
	2013	-0,3	19,1	44,5	-0,2
	2015	-2,7	17,8	39,4	-1,1
	2017	-3,7	16,1	34,4	-1,0
2A varebiler					
	2013	-3,1	19,1	44,6	-0,1
	2015	-3,0	17,8	40,3	-0,2
	2017	-2,9	16,1	35,1	-0,3
2B vareb. (+fremme af Euro 6)					
	2013	-3,4	19,1	44,4	-0,3
	2015	-5,7	17,8	39,1	-1,4
	2017	-6,6	16,1	34,0	-1,4
3A vareb. + personb.					
	2013	-11,0	19,1	42,9	-1,8
	2015	-9,3	17,8	39,0	-1,5
	2017	-8,2	16,1	34,1	-1,3
3B vareb. + personb. (+fremme af Euro 6)					
	2013	-11,3	19,1	42,7	-2,0
	2015	-12,7	17,8	37,7	-2,8
	2017	-11,9	16,1	33,0	-2,4

Beregningerne viser, at for referencescenariet (1A) vil NO₂ koncentrationen falde fra 2011 til 2017 for H.C. Andersens Boulevard, hvor NO₂ koncentrationen falder fra 47,1 til 35,4 µg/m³. Grænseværdien er lige overskredet på H.C. Andersens Boulevard i 2015 med et beregnet niveau på 40,54 µg/m³. I 2017 vil grænseværdien ikke være overskredet. Modsat viser analysen, at det vil være meget vanskeligt at undgå overskridelser i 2013, hvor NO₂ koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard er 44,7 µg/m³ i referencescenariet. Alle scenarier bort set fra referencescenariet 1A vil reducere NO₂ koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard, således at grænseværdien for NO₂ overholdes i 2015. Nyere analyser viser dog at referenceniveauet i 2015 vil være højere end 40,54 µg/m³ i 2015 pga. et spring i NO₂ koncentrationen forårsaget af vejbaneomlægninger på H.C. Andersens Boulevard i 2010, se diskussionen heraf i afsnit 5.1.

Analysen af de enkelte virkemidler viser, at der i varebilssceneriet (2A/2B) ikke er så stor effekt af regulering af varebiler, men at det er reduktionen i NO_x emissionen fra personbilerne, som bidrager mest i scenariet med person- og varebiler (3A/3B). I varebilssceneriet 2A reduceres NO_x emissionen med omkring 3 % og i varebilssceneriet 2B (inkl. fremme af Euro 6) med omkring 6 % for H.C. Andersens Boulevard. I scenariet med person- og varebiler (3A/3B) bidrager personbilerne med en reduktion af NO_x emission på omkring 6 procentpoint. På trods af at varebilerne bidrager relativt meget til den samlede NO_x emission, ses der i varebilssceneriet ikke så stor effekt, som man umiddelbart kunne forvente, når dieseldrevne varebiler med emissionskrav til og med Euro 3 og benzindrevne varebiler t.o.m. Euro 1 ikke må køre i ren-luftzonen.

Disse ældre varebiler erstattes ganske vist af nyere varebiler med lavere NO_x emissioner, men de nyere varebiler har samtidig højere direkte NO₂ emission, hvilket betyder, at reduktionen i NO₂ emissionen ikke bliver så høj, som man umiddelbart kunne forvente alene ud fra varebilerne samlede andel af trafikens NO_x emission.

For variantscenarierne viser analysen, at det ingen effekt har at ændre emissionskravet fra Euro 1 til hverken Euro 0 (4A-a og 4B-a) eller Euro 2 for benzinbiler (4A-b og 4B-b), fordi der er forholdsvis få benzinbiler med emissioner svarende til Euro 0, 1 og 2 tilbage i 2015, og de bidrager med kun 0,27 % af den samlede NO_x emission for H.C. Andersens Boulevard.

Der ses en mindre negativ effekt af at ændre emissionskravet fra Euro 1 grænsen til Euro 0 for benzinpersonbiler (4A-c og 4B-c). Det skyldes, at der i 2015 stadigvæk vil være nogle benzinpersonbiler tilbage, og Euro 0 og Euro 1 bidrager med 3,5 % af den samlede NO_x emission for H.C. Andersens Boulevard.

Der var en mindre positiv effekt med reduktion i NO_x emissionen på omkring 2 % af at ændre emissionskravet Euro 1 til Euro 2 for benzinpersonbiler (4A-d og 4B-d). NO₂ koncentrationen faldt 0,3-0,4 µg/m³ for H.C. Andersens Boulevard i 2015.

Der var en minimal positiv effekt af eftermontering af SCR på Euro 3 busser eller ældre busser (4A-e), hvor NO₂ koncentrationen blev reduceret med 0,1 µg/m³ for både rutebusser og for turistbusser for H.C. Andersens Boulevard. Grunden til at effekten er lille er, at der er få busser i 2015, som har emissioner svarende til Euro 3 eller ældre, og de står kun for 1,3 % af den samlede NO_x emission, hvilket skyldes effekten af den nuværende miljøzone samt miljøkrav til bybusser ved udbud af busservice.

SCR på lastbiler, som har emissioner svarende til Euro 3 eller ældre emissionsnormer har en vis positiv effekt (4A-g), idet NO₂ koncentrationen reduceres med 0,9 µg/m³ for H.C. Andersens Boulevard i 2015.

Den største positive effekt fås i scenariet, hvor alle rutebusser opfylder emissionskravet svarende til Euro 6 (4A-h), hvilket medfører en reduktion af NO₂ koncentrationen med 1,8 µg/m³ i 2015 i forhold til 1A for H.C. Andersens Boulevard.

Reduktionen i koncentrationsbidraget af partikler som følge af reduktionen i partikelemissionen er beregnet med OSPM modellen, og sat i forhold til tidligere beregninger udført i miljøzoneprojektet. Herved opnås en beskrivelse af de forskellige scenariers betydning for luftkvaliteten af PM_{2,5} og PM₁₀. Der er ikke foretaget beregninger af ændringer i den regionale baggrund og bybaggrund af partikelforureningen.

I miljøzoneprojektet (Jensen et al. 2011) blev der udført beregninger for H.C. Andersens Boulevard ved målestationen for 2015, hvilket gav en gadekoncentration på 18,9 µg/m³ for PM_{2,5} og 29,4 µg/m³ for PM₁₀. I varebilscenarierne (2A/2B) ses en marginal reduktion i gadekoncentrationen på 0,12 µg/m³ for PM_{2,5} og PM₁₀ (hhv. 0,6 % og 0,4 %) og i vare- og personbilscenarierne (3A/3B) ses en marginal reduktion i gadekoncentrationen på 0,24 µg/m³ for PM_{2,5} og PM₁₀ (hhv. 1,3 % og 0,8 %). Grunden til at der ses den samme koncentrationsændring for PM_{2,5} og PM₁₀ er, at det kun er udstødningsbidraget, som ændres, idet ikke-udstødningen ikke påvirkes af ren-luftzoner. Ikke-udstødning omfatter vejslid, dækslid, bremseslid og ophvirvling heraf. Grunden til at de procentvise ændringer er beskedne for gadekoncentrationen af PM_{2,5} og PM₁₀ er, at der er et stort regionalt bidrag og et væsentligt bidrag fra ikke-udstødning.

Selv relativt store reduktioner i partikeludstødningen på 15 % i varebilscenarierne (2A/2B) og 28 % i vare- og personbilscenarierne (3A/3B) giver derfor små ændringer i luftkvaliteten af PM_{2,5} og PM₁₀. Partikeludstødningen vurderes dog at være stærkt sundhedsskadelig, og effekten for folkesundheden af ren-luftzonerne vil derfor være større, end ændringen i luftkvaliteten umiddelbart indikerer. Verdenssundhedsorganisationen WHO har i 2012 skærpet deres vurdering af, hvor sundhedsskadeligt dieselos er. Det var tidligere klassificeret som sandsynligvis kræftfremkaldende (Gruppe 2A) og nu

klassificeret som årsag til lungekræft (Gruppe 1). Benzinos er fortsat klassificeret som muligvis kræftfremkaldende (Gruppe 2B).

Modellsystemet blev kalibreret med målinger for at sikre så lille usikkerhed som mulig på udgangspunktet i referencescenariet. Men da der er usikkerhed på modelresultater som følge af usikkerheder i inputdata og selve modelsystemet, vil der kunne opnås størst sikkerhed for at grænseværdien ikke overskrides i 2015 ved at anvende virkemidler, som sikrer en vis margin til grænseværdien.

Effekt af variantscenarier for H.C. Andersens Boulevard i København

Analyse af emissionsscenarierne, hvor der var forskellige varianter af scenarier med henholdsvis varebiler og vare- og personbiler (Scenarie 2 og 3) og nogle tillægsscenarier, viste at kun følgende scenarier resulterede i mærkbare reduktioner i NO₂ koncentrationen i 2015, se Tabel 4.2.

De mest effektive varianter og tillægsscenarier er ændring af grænsen for emission fra benzinpersonbiler fra Euro 1 til Euro 2 (4A-d, 4B-d), SCR på lastbiler (4A-g, 4B-g), og Euro 6 for alle rutebusser (4A-h, 4B-h). De giver i alt hhv. 0,4+0,9+1,8=3,1 µg/m³ i 2015, se Tabel 2.3. Den maksimalt opnåelige reduktion af NO₂ koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard ved målestationen er således 2,8 µg/m³ med scenariet for person- og varebiler inkl. fremme af overholdelse af emissionsnorm Euro 6 (3B) samt ovenstående mest effektive varianter og tillægsscenarier på 3,1 µg/m³, hvilket giver i alt 5,9 µg/m³ i 2015. Dette ville reducere den højest beregnede overskridelse på 44,5 µg/m³ (H.C. Andersens Boulevard(2)) til 38,6 µg/m³ og for H.C. Andersens Boulevard ved målestationen fra 40,5 µg/m³ til 34,6 µg/m³.

Der er en stor positiv effekt af at kræve Euro 6 for alle rutebusser (4A-h, 4B-h), hvilket reducerer NO_x emissionen med omkring 9 %, og NO₂ koncentrationen reduceres med 1,8 µg/m³ i 2015 i forhold til referencescenariet (1A).

Der er en vis positiv effekt af SCR på lastbiler med emission svarende til Euro 3 eller ældre emissionsnormer (4A-g, 4B-g). NO_x emissionen reduceres med omkring 4 % og NO₂ koncentrationen med 0,9 µg/m³ (4A-g, uden fremme af Euro 6) og 0,9 µg/m³ (4B-g, med fremme af Euro 6). Scenariet forudsætter, at SCR reducerer NO_x emissionen med 80 %. Da nogle SCR systemer har vist sig ikke at være effektive i bykørsel pga. lav belastning af motoren ved lave hastigheder og dermed for lave motortemperaturer til at SCR virker effektivt, er det vigtigt, at der stilles krav om dokumentation for at anvendte SCR i ren-luftzoner leverer en reduktion på 80 % også i bytrafik.

Der var en mindre positiv effekt af at flytte Euro 1 grænsen til Euro 2 for benzinpersonbiler (4A-d), som fører til en reduktion i NO_x emissionen på omkring 2 % og reducerer NO₂ koncentrationen med 0,3 µg/m³ i forhold til scenarie 3A (personbiler uden fremme af Euro 6). I forhold til scenarie 3B (personbiler med fremme af Euro 6) reduceres NO₂ koncentrationen med 0,4 µg/m³, hvilket også svarer til en reduktion i NO_x emissionen på omkring 2 %.

SCR på ældre rutebusser (4A-e, 4B-e) og SCR på ældre turistbusser (4A-f, 4B-f) giver en meget begrænset reduktion i NO_x emissionen på omkring 0,5 % og en reduktion i NO₂ koncentrationen på 0,1 µg/m³, hvilket skyldes at der er meget få Euro 3 og ældre busser pga. de eksisterende miljøzoner og busselskabernes miljøkrav til bybusser.

Der er minimal effekt af at reducere nysalg af diesel personbiler i årene 2013-15 med 5 procentpoint (4A-i, 4B-i), da NO_x emissionen reduceres med ca. 0,4 % og NO₂-koncentrationen med ca. 0,1 µg/m³.

De eksisterende miljøzoner med krav til tunge køretøjer førte til en reduktion i den samlede NO_x emission på omkring 8 % i 2010 svarende til en reduktion i NO₂ koncentrationen på omkring 1 µg/m³ på H.C. Andersens Boulevard ved målestationen (Jensen et al. 2011). Den foreslåede trængselsring omkring København ville have resulteret i en reduktion i NO_x emissionen på omkring 10 % i 2016 svarende til en

reduktion i NO₂ koncentrationen på omkring 1 µg/m³ på H.C. Andersens Boulevard ved målestationen (trængselsring ved kommunegrænse inkl. Amager) (Jensen et al. 2012). Afhængig af hvilke scenarier der vælges for ren-luftzonen, kan der således opnås en større effekt på NO_x emissionen og NO₂ koncentrationen end hvad de eksisterende miljøzoner gav og trængselsringen ville have givet. Ren-luftzone scenariet med krav til både person- og varebiler (3A) vil reducere NO_x emissionen med omkring 9 % i 2015 og svarer således i effekt omtrent til størrelsesordenen af den effekt, de eksisterende miljøzoner gav.

Tabel 4.2. Vurdering af emissionsscenarioer for H.C. Andersens Boulevard i 2015 (4Aa-i,4Ba-i) ud fra simpel regression mellem emissionstæthed og NO₂ koncentration

Scenario	Beskrivelse	Variant af scenarie:	Ændring i NO _x emission i %	Ændring i NO ₂ konc. på HCAB i µg/m ³
4A-a	a: Skift af grænse for benzinvarebiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 0	2A	0,06 %	0,01
4A-b	b: Skift af grænse for benzinvarebiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 2	2A	0,11 %	0,02
4A-c	C: Skift af grænse for benzinpersionbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 0	3A	1,4 %	0,25
4A-d	d: Skift af grænse for benzinpersionbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 2	3A	-1,6 %	-0,3
4A-e	e: SCR på rutebusser (Euro 3 og ældre)	1A	-0,51 %	-0,10
4A-f	F: SCR på turistbusser (Euro 3 og ældre)	1A	-0,58 %	-0,12
4A-g	g: SCR på lastbiler (Euro 3 og ældre)	1A	-4,3 %	-0,9
4A-h	h: 100 % Euro 6 for rutebusser	1A	-9,1 %	-1,8
4A-i	i: reduceret salg af dieselbiler 2013-15	1A	-0,40 %	-0,08
4B-a	a: Skift af grænse for benzinvarebiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 0	2B	0,06 %	0,01
4B-b	b: Skift af grænse for benzinvarebiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 2	2B	0,08 %	0,02
4B-c	c: Skift af grænse for benzinpersionbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 0	3B	1,7 %	0,3
4B-d	d: Skift af grænse for benzinpersionbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 2	3B	-2,1 %	-0,4
4B-e	e: SCR på rutebusser (Euro 3 og ældre)	1B	-0,53 %	-0,10
4B-f	f: SCR på turistbusser (Euro 3 og ældre)	1B	-0,60 %	-0,12
4B-g	g: SCR på lastbiler (Euro 3 og ældre)	1B	-4,4 %	-0,9
4B-h	h: 100 % Euro 6 for rutebusser	1B	-9,4 %	-1,8
4B-i	i: reduceret salg af dieselbiler 2013-15	1B	-0,37 %	-0,07

Luftkvalitetsvurdering for 99 gader i København

Tabel 4.3 opsummerer i hvilke gader, der med de beskrevne scenarier vil være overskridelser af grænseværdien for NO₂ i 2015, og hvor mange overskridelser, der er i de forskellige scenarier.

For 8 gader ud af 99 udvalgte gadestrækninger i København beregnes der overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2015 i referencescenariet (1A). Overskridelsen på H.C. Andersens Boulevard (1) ved målestationen vil være større end angivet pga. NO₂ spring, se diskussion heraf i afsnit 5.1, og må derfor formodes at være overskredet i alle scenarierne.

Referencescenariet med "fremme af Euro 6" (1B) reducerer NO₂ med omkring 1,0-1,5 µg/m³ i forhold til 1A for H.C. Andersens Boulevard, og der ses kun 3 gader med overskridelser i dette referencescenarie. NO_x emissionen reduceres med omkring 3 % i 2015.

Overskridelserne af grænseværdien kunne fx elimineres i scenariet med person- og varebiler (3A) kombineret med scenariet med begrænsninger svarende til Euro 6 på alle rutebusser (4A-h), dog undtaget H.C. Andersens Boulevard ved målestationen pga. NO₂ spring. I begge scenarier reduceres NO_x emissionen med omkring 9 % i 2015.

Scenariet med person- og varebiler kombineret med tiltag til fremme af Euro 6 (3B) viser, at der ikke er overskridelser af grænseværdien i 2015 på 99 udvalgte gader (dog undtaget H.C. Andersens Boulevard ved målestationen pga. NO₂ spring), og det svarer til en reduktion i NO_x emissionen på omkring 13 % i 2015 for H.C. Andersens Boulevard.

Table 4.3. Opsummering af gader med overskridelser af grænseværdien for NO₂ i 2015. En overskridelse registreres hvis 40,5 µg/m³ overskrides (årsmiddel), og er markeret med grå baggrund i tabellen.

Gadenavn	Reference (1A)	Varebiler (2A)	Person- og varebiler (3A)	Flytte Euro 1 grænse til Euro 2 for benzinerpersonbiler (4A-d)	SCR på lastbiler som er Euro 3 eller ældre (4A-g)	100 % Euro 6 for rutebusser (4A-h)	Reference (1B)	Varebiler (2B)	Person- og varebiler (3B)	Flytte Euro 1 grænse til Euro 2 for benzinerpersonbiler (4B-d)
H.C. Andersens Boulevard(2)	44,5	44,1	42,7				43,0	42,5	40,9	
Gyldenløvsgade	44,0	43,6	41,9				42,4	41,8	40,1	
Ågade	42,8	42,5	40,8				41,1	40,6	38,8	
Nørre Søgade	42,1	41,8	40,1				40,4	39,9	38,2	
H.C. Andersens Boulevard(3)	41,4	41,1	39,7				39,9	39,4	37,9	
Bernstorffsgade(2)	41,3	41,1	40,8				40,3	39,9	38,9	
Lyngbyvej(2)	41,0	40,7	38,9				39,1	38,6	36,7	
H.C. Andersens Boulevard(1)*	40,5	40,3	39,0	-0,3	-0,8	-1,8	39,4	39,1	37,7	-0,4
Antal overskridelser	8	7	4	2	2	1 ^a	3	3	1 ^a	0
Reduktion i NO _x emission (%)	-	3,0	9,3	1,6	4,4	9,4	-	5,7	12,7	2,1

*Målestation. HCAB formodes overskredet i alle scenarier pga. NO₂ spring se diskussion heraf i afsnit 5.1. ^aHvis overvurdering af bybaggrund (omkring 0,5 µg/m³, se afsnit 6.4) indregnes vil der ikke være overskridelser i dette scenarie.

Effekt af Berlinerscenarie plus krav til Euro 4

I forbindelse med beregning af de eksterne omkostninger blev der regnet på Berlinerscenariet plus krav til Euro 4. Effekten heraf er modelleret for sparet emission og sparede eksterne omkostninger, men ikke for effekten for NO₂ koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard. Emissionsreduktionen er vist i tabel 4.4 inden for den eksisterende miljøzone.

Det ses, at Berlinerscenariet plus krav til Euro 4 giver en NO_x emissionsreduktion på omkring 13% ved den mindre og større udvidelse af ren-luftzonen og tilsvarende reduktion endda lidt større kan forventes inden for den nuværende miljøzone. For PM_{2.5} er emissionsreduktion omkring 21-22%.

Table 4.4 Emissionsreduktion indenfor den eksisterende miljøzone af forskellige scenarier og geografisk udstrækninger af ren-luftzone

Geografisk udstrækning af ren-luftzone	Berlinerscenarie		Berlinerscenarie plus krav til Euro 4	
	NO _x (%)	PM _{2.5} (%)	NO _x (%)	PM _{2.5} (%)
Ren-luftzone som miljøzone	9	n.a.	n.a.	n.a.
Mindre udvidelse	8	13	13	21
Større udvidelse	8	14	13	22

Ovenstående viste at en reduktion i NO_x emissionen på omkring 13% vil reducere antallet af overskridelser til nul ud af 99 gader i København (dog undtagen H.C. Andersens Boulevard grundet NO₂ spring). Dette er netop den beregnede NO_x emissionsreduktion for Berlinerscenariet plus krav til Euro 4.

Sparede eksterne omkostninger relateret til sundhed

De sparede eksterne omkostninger er opsummeret i Tabel 4.5 for de undersøgte scenarier.

De samlede sparede sundhedsomkostninger ved Berlinerscenariet med ren-luftzonekrav i den nuværende miljøzone er estimeret til omkring 600 mio. kr., og Berlinerscenariet plus krav til Euro 4 sparer omkring 850 mio. kr. over den samlede periode, hvor tiltaget sparer emissioner på Sjælland. En mindre udvidelse af ren-luftzonen til også at omfatte nabokommuner vil for Berlinerscenariet give anledning til sparede eksterne omkostninger i størrelsesordenen 700 mio. kr. og omkring 1 milliard kr. for Berlinerscenariet plus krav til Euro 4. En større udvidelse af ren-luftzonen til også at omfatte det tidligere Københavns Amt vil for Berlinerscenariet betyde sparede eksterne omkostninger i størrelsesordenen 800 mio. kr. og omkring 1100 mio. kr. for Berlinerscenariet plus krav til Euro 4.

Tabel 4.5. Samlede sparede eksterne omkostninger for NO_x og PM_{2,5} for Berlinerscenariet (2015), og Berlinerscenariet inkl. partikelfilterkrav for dieseldrevne Euro 4 køretøjer (2017). Enhed mio. kr. i hhv. 2015-priser og 2017-priser (alle år tiltaget har effekt).

	Ren-luftzone = miljøzone	Mindre udvidelse af ren-luftzone	Større udvidelse af ren-luftzone
Berlinmodel 2015	581	706	781
Berlin+filterkrav på diesel Euro 4 i 2017	852	1028	1137

Udover ovenstående to scenarier blev der også regnet eksterne omkostninger på et scenariet med krav om kun Euro 6 på rutebusser inden for den nuværende miljøzone, hvilket sparer i alt 28 mio. kr. og besparelsen er kun knyttet til selve miljøzonen.

5. Diskussion

5.1 NO₂ spring på H.C. Andersens Boulevard

I forbindelse med DCE rapporten "Luftkvalitetsvurdering af ren-luftzone i København" (Jensen et al. 2012) blev der foretaget en beregning for et referencescenarie for H.C. Andersens Boulevard for 2015. Denne viste en beregnet NO₂ koncentration på 40,54 µg/m³. Efterfølgende er der fremkommet ny information, som gør at denne prognose må antages at være for lavt. I sommeren 2010 forekom der en uventet stigning i de målte koncentrationer af kvælstofdioxid (NO₂) på målestationen på H.C. Andersens Boulevard, når man sammenligner med tidligere år, og en tilsvarende stigning forekom ikke på målestationen på Jagtvej i København. Dette "spring" blev på daværende tidspunkt fortolket som midlertidig pga. emissioner fra bygge- og anlægsaktivitet omkring Rådhuspladsen med ombygning af Industriens Hus, forberedelser til metrobyggeri, samt omlægning af forsyningsledninger. Springet er dog vedblevet i 2011 og 2012.

Mulige årsager til dette spring har været undersøgt, og baseret på gennemgang af måleresultaterne og på sammenligning mellem H.C. Andersens Boulevard (HCAB) og Jagtvej vurderes det, at der i perioden fra sommeren 2010 og frem til april 2013 har været en forøgelse af de lokale udledninger af NO_x ved HCAB. Der er tale om en tilsyneladende permanent forøgelse af udledningerne, som således ikke begrænser sig til perioden med byggeri og entreprenørarbejde i området omkring Rådhuspladsen, som i første omgang blev antaget at være årsagen. Forøgelsen af de lokale udledninger er markant og har ført til en stigning i NO₂ på omkring 8 µg/m³ og NO_x på omkring 35 µg/m³ i gennemsnit for hele perioden fra sommeren 2010 og frem til i dag. Analyse af målingerne i forhold til vindretninger før sommeren 2010 og efter indikerer, at kilden til springet i NO₂ er ændringer relateret til trafikken på HCAB (Ellermann et al., 2013).

Igangværende undersøgelser af mulige forklaringer peger på, at NO₂ springet sandsynligvis skyldes ændringerne af trafikforholdene (herunder ændringer i selve vejbanerne) på H.C. Andersens Boulevard i sommeren 2010, som den væsentligste årsag til de øgede koncentrationer af NO_x og NO₂, som er observeret siden sommeren 2010 og frem til i dag. Flytning af vejbanerne har dels flyttet trafikken nærmere til målestationen og dels givet en langsommere afvikling af trafikken. Begge dele fører til øgning i koncentrationerne. Endvidere er trafikken muligvis steget pga. trafikoplægninger i nærområdet, som lukning af Vester Voldgade siden 2010 (Ellermann et al., 2013).

NO₂ springet på H.C. Andersens Boulevard må formodes at blive reduceret frem til 2015 pga. den løbende udskiftning af bilparken, men springet på 8 µg/m³ er meget stort i forhold til de reduktioner, som kan forventes af ren-luftzonen (fx 1,5 µg/m³ for Berlinerscenariet), og NO₂ koncentrationen i referencesituationen på H.C. Andersens Boulevard ved målestationen er derfor væsentligt højere end antaget i referenceberegningerne for 2015 (40,54 µg/m³).

5.2 Grøn taxi knap så grøn

I rapport om ren-luftzoner (Jensen et al. 2012) antages, at bekendtgørelsen om grønne taxier ville føre til 100% Euro 6 taxier i 2015. Trafikstyrelsen har dog efterfølgende meldt ud, at udbuddet af Euro 6 taxier er for lille, og derfor vil Trafikstyrelsen ikke fastholde krav om Euro 6 af konkurrencehensyn. Det vil føre til højere emissioner i 2015, og dermed også højere NO₂ koncentrationer på H.C. Andersens Boulevard end hidtil antaget.

5.3 Nyere Euronormer lever måske ikke op til forventningerne om reduktion i emissionerne

Der er fornyligt rejst usikkerhed om hvorvidt de nyere Euroemissionsnormer lever op til de forventninger, der er til deres reduktion af emissionen, som selve normen skulle indikere, og som også opnås ved typegodkendelser i laboratoriet, men som sandsynligvis ikke opnås i virkeligheden i trafikken. IASA (International Institute for Applied Systems Analysis, Østrig) har i analyser for EU Kommissionen antaget, at Euro 6 sandsynligvis ikke vil leve op til de forventninger, som Euro 6 emissionsnormen er udtryk for (Borken-Kleefeld et al., 2013). Det gælder kun for dieseldrevne person- og varebiler, da NO_x normen for benzinbiler er ens for Euro 5 og Euro 6, og undersøgelser af *Beevers et al.* (2012) indikerer at nyere Euronormer faktisk giver mindre emissioner for benzinbilerne, samt tildels for den tunge trafik.

Beevers et al. (2012) har demonstreret ved måling af emission fra biler i aktuel trafik ved remote sensing at der ikke rigtig opnås nogen emissionsforbedring med de nyere emissionsnormer for dieseldrevne person- og varebiler fra Euro 0 til Euro 4/5 (Euro 6 indgår ikke i deres målinger), mens der er et generelt fald i emissionerne fra den tunge trafik med stigende Euronorm.

Såfremt ovenstående holder stik vil det betyde en højere NO₂ koncentration på H.C. Andersens Boulevard i referencesituationen i 2015 end hidtil antaget, og effekten af ren-luftzoner for dieseldrevne person- og varebiler vil blive væsentlig mindre. Ligeledes vil tiltag som fremmer Euro 6 (B-scenarierne) og krav om kun Euro 6 busser (4A-h) ikke levere de forventede NO_x emissioner.

Der er behov for yderligere viden og undersøgelser inden for dette område.

5.2 Usikkerhed på enhedsomkostninger

Nærværende studies enhedspriser er sammenlignet med Transportministeriets officielle transportøkonomiske enhedsomkostninger (TERESA 2.0) for beregning af de sparede eksterne omkostninger i scenarieåret 2015 (2010-priser), da de anvendes til vurdering af samfundsøkonomiske forhold i forbindelse med tiltag inden for transportsektoren.

Enhedsprisen for PM_{2.5} i nærværende studie er for en gennemsnitlig befolkningstæthed i København (7.700 indb./km²) følgende: bybidraget er $(7.700/128)/2 * 46 \text{ kr./kg} = 1384 \text{ kr./kg}$ plus regionalt bidrag på 285 kr./kg dvs. den samlede enhedspris er ~1700 kr./kg (2006-priser). Dette er på niveau med Trafikministeriets enhedspris for by på 1718 kr./kg (2010-priser).

Enhedsomkostningen for NO_x er 75 kr. pr. kg NO_x emission (2006-priser). Da effekten for NO_x primært er på den regionale skala regnes den som ens for by og land, som både Transportministeriet og Miljøstyrelsen tidligere har forudsat. Enhedsomkostningerne for EVA er her omkring 50% højere end for Transportministeriet (52 kr. pr. kg).

6. Konklusion

Ren-luftzoner, hvor der stilles højere miljøkrav til køretøjer inden for et geografisk område, er et muligt virkemiddel til at forbedre luftkvaliteten i de større byer og fremme overholdelse af grænseværdien for NO₂, som i dag er overskredet bl.a. på H.C. Andersens Boulevard i København, hvor der også er en målestation. I denne analyse er effekten af forskellige scenarier for miljøkrav i ren-luftzonen og forskellige geografiske områder for en ren-luftzone i Københavnsområdet modellet mht. emission, luftkvalitet og eksterne omkostninger relateret til sundhedseffekter.

Berlinerscenariet med krav om at dieseldrevne person- og varebiler til og med Euro 3 og benzindrevne person- og varebiler t.o.m. Euro 1 ikke må køre i ren-luftzonen vil reducere NO_x emissionen med omkring 9% og reducere NO₂ koncentrationen med omkring 1,5 µg/m³ på H.C. Andersens Boulevard i 2015, og vil reducere antallet af modellerede overskridelser af NO₂ grænseværdien fra 8 til 5 ud af 99 undersøgte gader i København i 2015. Det er ikke sandsynligt at ren-luftzoner kan reducere luftforureningen i en grad, så NO₂ grænseværdien kan overholdes på H.C. Andersens Boulevard, da der har været spring i NO₂ for denne gade sandsynligvis som følge af vejbaneomlægninger. Berlinerscenariet plus krav til Euro 4 viste en NO_x emissionsreduktion på omkring 13%, som forventes at reducere antallet af overskridelser til nul ud af 99 gader i København (dog undtagen H.C. Andersens Boulevard grundet NO₂ spring).

Berlinerscenariet vil spare omkring 600 mio. kr. i eksterne omkostninger vedr. sundhedseffekter. Den mindre og større udvidelse af ren-luftzonen vil øge dette til hhv. omkring 700 mio. kr. og 800 mio. kr. Berlinerscenariet inkl. et tillægskrav om at alle dieseldrevne Euro 4 køretøjer dvs. person-, vare- og lastbiler samt busser skal have partikelfilter i 2017 vil spare eksterne omkostninger i størrelsesordenen 850 mio. kr. og for den mindre og større udvidelse af ren-luftzonen hhv. omkring 1,0 og 1,1 milliard kr.

Referencer

- Beever, S.D., Westmoreland, E., de Jong, M.C., Williams, M.L., Carslaw, D.C (2012): Trends in NO_x and NO₂ emissions from road traffic in Great Britain. *Atm. Env.* 54 (2012) 107-116.
- Berkowicz, R. (2000a): A Simple Model for Urban Background Pollution. *Environmental Monitoring and Assessment* Vol. 65, Issue 1/2, pp. 259-267.
- Berkowicz, R. (2000b): OSPM - A parameterised street pollution model, *Environmental Monitoring and Assessment*, Volume 65, Issue 1/2, pp. 323-331.
- Borken-Kleefeld et al. (2013) Emission developments for mobile sources and their impact on air quality. 4th meeting of the DG-ENV SEG on Review of EU Air Policy. Brussels, 5. december 2012. Præsentation af IIASA.
- Brandt, J., Christensen, J.H., Frohn, L.M., Palmgren, F., Berkowicz, R., Zlatev, Z. (2001): Operational air pollution forecasts from European to local scale. *Atmospheric Environment*, Vol. 35, Sup. No. 1, pp. S91-S98, 2001.
- Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. H. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2011): Assessment of Health-Cost

- Externalities of Air Pollution at the National Level using the EVA Model System, CEEH Scientific Report No 3, Centre for Energy, Environment and Health Report series, March 2011, pp. 98.
http://www.ceeh.dk/CEEH_Reports/Report_3/CEEH_Scientific_Report3.pdf.
- COWI (2013a): Effekter af miljøzonekrav på person- og varebilsmarkedet. Foreløbige resultater til Rapport. Februar 2013. Udarbejdet for Miljøstyrelsen.
- COWI (2013b): Omkostninger ved større udbredelse af ren-luftzoner. Udkast til resultater. 10. juni 2013. Notat af COWI. Samt email fra Jørgen Jordal-Jørgensen af 16. juni omkring procentfordeling af berørte biler baseret på notatet.
- Ellermann, T., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M. & Jensen, S. S. (2012): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2011. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. No. 37. 63 pp. <http://www2.dmu.dk/Pub/SR37.pdf>
- Ellermann, T., et al. (2013): Undersøgelse af de forøgede koncentrationer af NO₂ på H.C. Andersens Boulevard. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Videnskabelig rapport fra DCE Igangværende undersøgelse, forventet publicering efterår 2013.
- Jensen, S. S., Berkowicz, R., Hansen, H. S. and Hertel, O. (2001): A Danish decision-support GIS tool for management of urban air quality and human exposures. Transportation Research Part D-Transport and Environment 6, 229-241.
- Jensen, S.S., Hvidberg, M., Petersen, J., Storm, L., Stausgaard, L., Hertel, O. (2009a): 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., Larson, T., Kaufman, J., Kc, D. (2009b): Modeling Traffic Air pollution in Street Canyons in New York City for Intra-urban Exposure Assessment in the US Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. Atmospheric Environment 43 (2009) 4544–4556. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.042>.
- Jensen, S.S, Ketzel, M., Becker, T., Løfstrøm, P., Olesen, H.R., Lorentz, H., Michelsen, L.N., Fryd, J. (2010): OML-Highway – en ny brugervenlig GIS-baseret luftkvalitetsmodel for motorveje, landeveje og andre veje i åbent terræn. Trafikdage på Aalborg Universitet, 23.-24. august 2010.
- 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., Winther, M. (2012a). Luftkvalitetsvurdering af trængselsafgifter i København (Impacts on Air Quality of Proposed Congesting Charging in Copenhagen). Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 48 s. -Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 16. <http://www.dmu.dk/Pub/SR16.pdf>
- Jensen, S.S., Ketzel, M., Brandt, J., Winther, M., Ellermann, T. (2012b): Luftkvalitetsvurdering af ren-luftzone i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 85 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 sparede eksterne omkostninger ved sundhedsskadelig luftforurening. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 59 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 58
<http://www.dmu.dk/Pub/SR58.pdf>. Forventet publicering i efteråret 2013.
- Jensen, S.S. (2013b): Sparede eksterne omkostninger for luftforurening ved en geografisk udvidelse af ren-luftzone i København. DCE notat. 13 s. Forventet publicering i efteråret 2013.
- Ketzel, M., Berkowicz, R., Hvidberg, H., Jensen, S.S., Raaschou-Nielsen, O. (2011): Evaluation of AirGIS - A GIS-Based Air Pollution And Human Exposure Modelling System. Int. J. of Environment and Pollution. Vol. 47, Nos. 1/2/3/4, 2011. DOI: 10.1504/IJEP.2011.047337.
- Ketzel, M., Jensen, S.S., Brandt, J., Ellermann, T., Olesen, H.R., Berkowicz, R., Hertel, O. (2012): Evaluation of the Street Pollution Model OSPM for Measurements at 12 Street Stations Using a Newly Developed and Freely Available Evaluation Tool. Journal of Civil and Environmental Engineering (JCEE).
<http://dx.doi.org/10.4172/2165-784X.S1-004>.

Miljøstyrelsen (2009b): Effekter af miljøzonekrav på person og varebilsmarkedet. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 6, 2009. Udført af COWI for Miljøstyrelsen.

Taksigelse

Projekterne er finansieret af Miljøstyrelsen og Københavns Kommune.