

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift

**Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet**

(Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University)

ISSN 1903-1092

[www.trafikdage.dk/artikelarkiv](http://www.trafikdage.dk/artikelarkiv)

Modtaget: 01.10.2013

Godkendt: 08.05.2015



## Hvad er effekten af ren-luftzoner for luftforureningen i København?

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

*Institut for Miljøvidenskab, 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 (NO<sub>2</sub>). Ren-luftzoner er et nyt ord for miljøzoner. Det nye ved ren-luftzoner er, at de stiller miljøkrav til ældre person- og varebiler, og ikke kun som de eksisterende miljøzoner til lastbiler og busser. Denne artikel vurderer effekten af forskellige udformninger af ren-luftzoner, og hvilken betydning det har for emission og luftkvalitet i 2013, 2015 og 2017 med udgangspunkt i scenarieberegninger gennemført i 2012. Dette sker med udgangspunkt i H.C. Andersens Boulevard i København, hvor NO<sub>2</sub> grænseværdien er overskrevet. Den mest vidtgående ren-luftzone beskrevet i denne artikel vil føre til en beregnet reduktion i NO<sub>x</sub> emissionen på knap 13% svarende til en reduktion af NO<sub>2</sub> koncentrationen på knap 3 µg/m<sup>3</sup> i 2015.

---

### 1. Baggrund og formål

I Europa er der en række lande som har implementeret miljøzoner i større byer (<http://www.urbanaccessregulations.eu/>). Miljøzoner er typisk et mindre geografisk område, hvor der stilles emissionskrav til køretøjerne for at disse kan køre i miljøzonen. I Danmark muliggjorde miljøzonenloven fra 2006 at København, Frederiksberg, Aarhus, Odense og Aalborg kommuner kunne etablere miljøzoner i 2008-2010. De danske miljøzonekrav gælder kun for lastbiler og busser, hvor der er krav om partikelfilter på køretøjer, som er Euro 3 emissionsstandard eller ældre. Køretøjer som opfylder en nyere Euro emissionsstandard større end Euro 3 kan uhindret køre i miljøzonen.

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 NO<sub>2</sub>, som i dag er overskredet. Der er målte overskridelser på H.C. Andersens Boulevard i København siden 2002, og modelberegninger viser overskridelser på en række andre trafikerede gader i København (Ellermann et al., 2013). Overskridelse af NO<sub>2</sub> grænseværdien er et udbredt problem for større byer i Europa (EEA 2013). Fra og med 2010 skulle en grænseværdi på 40 µg/m<sup>3</sup> som årsmiddelværdi have været overholdt for NO<sub>2</sub>. Der er dog mulighed for forlængelse til 2015, såfremt et medlemsland kan godtgøre, at der allerede er gennemført en væsentlig indsats for at overholde grænseværdien, og yderligere kan godtgøres at den forventes overholdt i 2015.

Ren-luftzoner er blot et andet ord for miljøzoner. Det nye ved ren-luftzoner i dansk sammenhæng er, at de også stiller miljøkrav til ældre person- og varebiler og ikke kun som de eksisterende miljøzoner til lastbiler og busser.

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 luftkvalitetsvurdering af ren-luftzoner med udgangspunkt i København (Jensen et al., 2012a). Det er resultater fra denne rapport, som er afrapporteret i denne artikel.

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 forskellige former for ren-luftzoner i København herunder forskellige geografiske udformninger (Jensen et al., 2014a,b). Konsulentfirmaet COWI har stået for estimering af costs, som har omfattet berørte bilers værditab i forbindelse med indførelse af en ren-luftzone. Disse samfundsøkonomiske analyser viste at benefits var større end costs.

Lovgivning omkring Ren-luftzone i København blev ikke vedtaget politisk, men erstattet af en pakke 'Ren luft til danskerne' som bl.a. giver økonomisk tilskud fra Miljøstyrelsen til eftermontering af NO<sub>x</sub> katalysatorer (SCR) på omkring 300 bybusser i København med en forventet NO<sub>x</sub> reduktion på omkring 80% for busserne (Miljøministeriet 2014).

Denne artikel fokuserer alene på resultaterne af effekten af forskellige udformninger af ren-luftzoner for emission og luftkvalitet i 2013, 2015 og 2017 med udgangspunkt i scenarieberegninger gennemført i 2012, og der henvises til ovenstående rapporter for belysning af de samfundsøkonomiske analyser. Som det fremgår af diskussionen i kapital 5 i denne artikel er der efterfølgende sket en udvikling i både modelinput og selve modelkonfigurationen, som gør at senere vurderinger kan afvige i primært absolutte niveauer, men studiets effektvurdering af de forskellige tiltag vurderes at kunne sammenlignes relativt i forhold til hinanden.

## 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 2014.

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  $\text{NO}_x$  emissionen ved at eftermontere  $\text{NO}_x$  katalysatorer, hvilket er en realistisk mulighed på lastbiler og busser. Dette kunne være i form af  $\text{NO}_x$  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  $\text{NO}_x$  på 80%.

$\text{NO}_x$  (kvælstofoxider) består af NO (kvælstofmonoxid) og  $\text{NO}_2$  (kvælstofdioxid). I luften omdannes NO til  $\text{NO}_2$  i reaktioner med ozon, og dannelsen af  $\text{NO}_2$  er således afhængig af mængden af ozon i luften, som oftest er den begrænsende faktor for dannelse af  $\text{NO}_2$  i stærkt trafikerede gader. Af NO og  $\text{NO}_2$  udgør  $\text{NO}_2$  den sundhedsskadelige komponent. Desuden udledes en del af  $\text{NO}_2$  også direkte.

For ti år siden var den andel af  $\text{NO}_x$ , der udsendes fra den samlede biltrafik i form af  $\text{NO}_2$  ("den direkte  $\text{NO}_2$  fraktion"), på et niveau omkring 5-10 % af samlet  $\text{NO}_x$  emission. Den direkte  $\text{NO}_2$  fraktion har været stigende de seneste år. Dette er en af grundene til, at  $\text{NO}_2$  koncentrationen i gader ikke falder så hurtigt, selvom emissionen af  $\text{NO}_x$  er reduceret væsentligt. Stigningen i den direkte  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}_2$ . Endvidere bidrager visse typer af partikelfiltre til øget direkte  $\text{NO}_2$  udslip. I beregningerne af luftkvaliteten er benyttet et modelsystem, hvor den direkte  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}_x$  emissioner end ældre emissionsnormer, men højere direkte  $\text{NO}_2$  andel, opnås der ikke så stor en reduktion i  $\text{NO}_2$  emissionen ved at gå fra ældre til nyere emissionsnormer, som man kunne forvente ved alene at betragte  $\text{NO}_x$  reduktionen mellem ældre og nye emissionsnormer.

Fokus i scenarierne er overholdelse af  $\text{NO}_2$  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 partikelforening (Jensen et al., 2012a).

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 varebilssceneriet (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 varebilsscenerie (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<sub>x</sub> er meget lille svarer dette scenarie stort set til miljøkravene i Berlin ud fra en emissionsmæssig betragtning.

Scenarie 4A/4B dækker over forskellige emissionsscenarier, 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 variantscenarier som SCR (Selective Catalyst Reduction) scenarier med krav om eftermontering af NO<sub>x</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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 tempoet, hvormed 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 benzinbiler 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**

<b>Metode</b>	<b>Referencescenarie 1A</b>	<b>Referencescenarie 1B</b>
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)
	<b>2A Varebilscenarie</b>	<b>2B Varebilscenarie med fremme af Euro 6</b>
2: beregning af luftkvalitet på 99 gadestrækninger for varebilsscenario	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
	<b>3A Person- og varebilscenarie</b>	<b>3B Person- og varebilscenarie med fremme af Euro 6</b>
3: beregning af luftkvalitet på 99 gadestrækninger for person- og varebilsscenario	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
	<b>4A Variantscenarier</b>	<b>4B Variantscenarier med fremme af Euro 6</b>
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 benzinvarebiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 0 b: Som 2A, men skift af grænse for benzinvarebiler 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 2.2. 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		

### 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<sub>2</sub> 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 gade-strækninger i København, hvor der kan forventes højest koncentrationer, er inkluderet. Scenarieberegningerne blev gennemført i 2012.

Luftkvalitetsberegninger foregår med et koblet modelsystem, THOR, bestående af en regional langtransportmodel (DEHM) (Brandt et al. 2001), en bybaggrundsmode (UBM) (Berkowicz 2000a) og en gadeluftkvalitetsmodel (OSPM) (Berkowicz 2000b; Ketznel et al. 2012; [www.au.dk/ospm](http://www.au.dk/ospm)) 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; Ketznel et al. 2011,2012) ([airgis.dmu.dk](http://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 NO<sub>2</sub>, og der også findes andre kilder end trafik, som bidrager til NO<sub>2</sub> forureningen i trafikerede gader i København, vil en procentvis reduktion i trafikens NO<sub>x</sub> emission ikke slå tilsvarende igennem i forhold til luftkvaliteten af NO<sub>2</sub>.

## 4. Resultater

### 4.1 Emissions- og luftkvalitetsvurdering

#### Effekt af hovedscenarier for NO<sub>2</sub> for H.C. Andersens Boulevard i København

Effekten af de forskellige scenarier for NO<sub>2</sub> koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard samt i bybaggrund er vist i Tabel 4.1 sammen med ændring i NO<sub>x</sub> emissionstæthed. Scenarieberegningerne blev udført i 2012.

Tabel 4.1 Modelberegnete NO<sub>2</sub> gadekoncentrationer på H.C. Andersens Boulevard, bybaggrundskoncentration og reduktion i NO<sub>x</sub> emission for de forskellige scenarier

Scenario	Årstal	Ændring i NO <sub>x</sub> emission i forhold til A1 (%)	NO <sub>2</sub> bybaggrundkonc. (µg / m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> gadekonc. (µg / m <sup>3</sup> )	Ændring i NO <sub>2</sub> gadekonc. i forhold til A1 (µg / m <sup>3</sup> )
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 NO<sub>2</sub> koncentrationen falde fra 2011 til 2017 for H.C. Andersens Boulevard, hvor NO<sub>2</sub> koncentrationen falder fra 47,1 til 35,4 µg/m<sup>3</sup>. Grænseværdien er lige akkurat overskredet på H.C. Andersens Boulevard i 2015 med et beregnet niveau på 40,5 µg/m<sup>3</sup>. I 2017 vil grænseværdien ikke være overskredet under de anvendte forudsætninger. Modsat viser analysen, at det vil være meget vanskeligt at undgå overskridelser i 2013, hvor NO<sub>2</sub> koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard er 44,7 µg/m<sup>3</sup> i referencescenariet. Alle scenarier bortset fra referencescenariet 1A vil reducere NO<sub>2</sub> koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard, således at grænseværdien for NO<sub>2</sub> overholdes i 2015

under de anvendte forudsætninger. Nyere analyser viser dog at referenceniveauet i 2015 vil være højere end  $40,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i 2015 pga. et spring i  $\text{NO}_2$  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 varebilscenariet (2A/2B) ikke er så stor effekt af regulering af varebiler, men at det er reduktionen i  $\text{NO}_x$  emissionen fra personbilerne, som bidrager mest i scenariet med person- og varebiler (3A/3B). I varebilsscenarioet 2A reduceres  $\text{NO}_x$  emissionen med omkring 3 % og i varebilscenariet 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  $\text{NO}_x$  emission på omkring 6 procentpoint. På trods af at varebilerne bidrager relativt meget til den samlede  $\text{NO}_x$  emission, ses der i varebilsscenarioet 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  $\text{NO}_x$  emissioner, men de nyere varebiler har samtidig højere direkte  $\text{NO}_2$  emission, hvilket betyder, at reduktionen i  $\text{NO}_2$  emissionen ikke bliver så høj, som man umiddelbart kunne forvente alene ud fra varebilerne samlede andel af trafikens  $\text{NO}_x$  emission.

Modelsystemet 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 for  $\text{NO}_2$ .

### Effekt af hovedscenarier for $\text{PM}_{2.5}$ og $\text{PM}_{10}$ for H.C. Andersens Boulevard i København

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  $\text{PM}_{2.5}$  og  $\text{PM}_{10}$ . 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  $18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $\text{PM}_{2.5}$  og  $29,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $\text{PM}_{10}$ . I varebilsscenarioerne (2A/2B) ses en marginal reduktion i gadekoncentrationen på  $0,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $\text{PM}_{2.5}$  og  $\text{PM}_{10}$  (hhv. 0,6 % og 0,4 %) og i vare- og personbilsscenarioerne (3A/3B) ses en marginal reduktion i gadekoncentrationen på  $0,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for  $\text{PM}_{2.5}$  og  $\text{PM}_{10}$  (hhv. 1,3 % og 0,8 %). Grunden til at der ses den samme koncentrationsændring for  $\text{PM}_{2.5}$  og  $\text{PM}_{10}$  i bidraget fra trafikken 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  $\text{PM}_{2.5}$  og  $\text{PM}_{10}$  er, at der er et stort regionalt bidrag og et væsentligt bidrag fra ikke-udstødning.

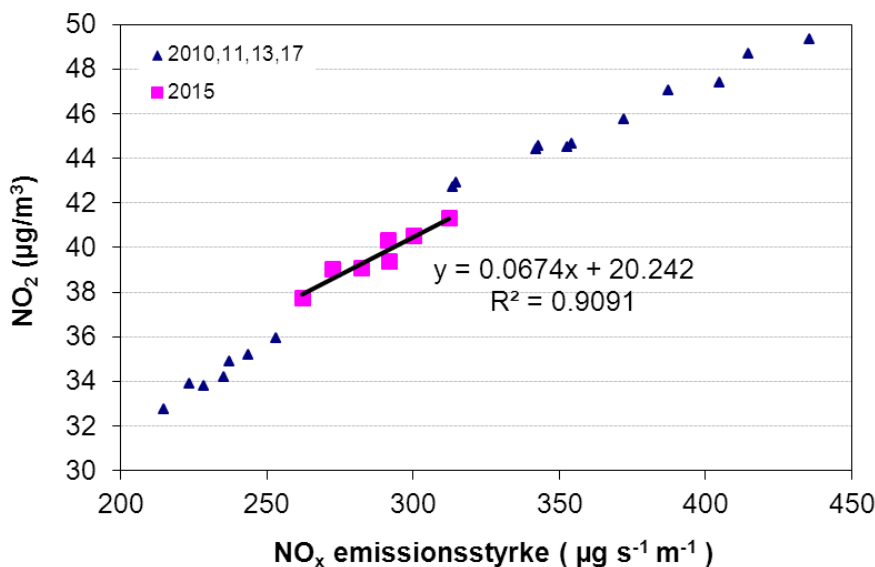
Selv relativt store reduktioner i partikeludstødningen på 15 % i varebilsscenarioerne (2A/2B) og 28 % i vare- og personbilsscenarioerne (3A/3B) giver derfor små ændringer i luftkvaliteten af  $\text{PM}_{2.5}$  og  $\text{PM}_{10}$ . Partikeludstødningen vurderes dog at være stærkt sundhedsskadelig, og effekten for folkesundheden af ren-luftzonerne kan 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). Meget tyder også på at  $\text{PM}_{2.5}$  som indikator for vurdering af bestemte tiltag undervurderer sundhedseffekten, når der fx er tale om reduktion af partikeludstødning (Janssen et al. 2011). Der er her brug for en indikator som er mere målrettet udstødningspartikler. På baggrund af review af en lang række studier viser Janssen et al. (2011) at gevinsterne for forventet levetid er 4-9 gange større pr.  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for elementært kulstof (EC), som er relateret til udstødningen i forhold til  $\text{PM}_{2.5}$ . For eksempel



vil ren-luftzoner reducere EC, da partikeludstødningen reduceres, hvilket er vurderet i *Jensen & Ketzel* (2014c).

### Effekt af variantscenarier for NO<sub>2</sub> for H.C. Andersens Boulevard i København

Sammenhængen mellem NO<sub>x</sub> emissionstæthed og NO<sub>2</sub> koncentration på H.C. Andersens Boulevard for alle referencescenarierne (1A,1B) og hovedscenarierne (2A,2B,3A,3B) samt alle beregningsår (2010, 2011, 2013, 2015, 2017) er vist i Figur 4.1. De lilla firkantede prikker er reference- og hovedscenarier i 2015, hvor der er tegnet en regressionslinje, som danner baggrund for luftkvalitetsvurdering af emissionsscenarierne 4A-a-i og 4B-a-i.



Figur 4.1. Sammenhængen mellem NO<sub>x</sub> emissionstæthed og NO<sub>2</sub> koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard for alle reference- og hovedscenarier for alle beregningsår. Lilla firkantede prikker er reference og hovedscenarier i 2015, hvor der er tegnet en regressionslinje, som danner baggrund for luftkvalitetsvurdering af emissionsscenarierne. Scenarieberegningerne blev gennemført i 2012.

Effekten af de enkelte variantscenarier er vist i Tabel 4.2.

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 benzinbare biler (4A-b og 4B-b), fordi der er forholdsvis få benzinbare biler med emissioner svarende til Euro 0, 1 og 2 tilbage i 2015, og de bidrager med kun 0,27 % af den samlede NO<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> emission for H.C. Andersens Boulevard.

Der var en mindre positiv effekt med reduktion i NO<sub>x</sub> emissionen på omkring 2 % af at ændre emissionskravet Euro 1 til Euro 2 for benzinpersonbiler (4A-d og 4B-d). NO<sub>2</sub> koncentrationen faldt 0,3-0,4 µg/m<sup>3</sup> 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 NO<sub>2</sub> koncentrationen blev reduceret med 0,1 µg/m<sup>3</sup> 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<sub>x</sub> 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 NO<sub>2</sub> koncentrationen reduceres med 0,9 µg/m<sup>3</sup> 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 NO<sub>2</sub> koncentrationen med 1,8 µg/m<sup>3</sup> i 2015 i forhold til 1A for H.C. Andersens Boulevard.

Analyse af emissionsscenerierne, hvor der var forskellige varianter af scenarier med henholdsvis varebiler og vare- og personbiler (Scenarie 2 og 3) og nogle tillægsscenerier, viste at kun følgende scenarier resulterede i mærkbare reduktioner i NO<sub>2</sub> koncentrationen i 2015, se Tabel 4.2.

De mest effektive varianter og tillægsscenerier 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/m<sup>3</sup> i 2015, se Tabel 4.2. Den maksimalt opnåelige reduktion af NO<sub>2</sub> koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard ved målestationen er således 2,8 µg/m<sup>3</sup> med scenariet for person- og varebiler inkl. fremme af overholdelse af emissionsnorm Euro 6 (3B) samt ovenstående mest effektive varianter og tillægsscenerier på 3,1 µg/m<sup>3</sup>, hvilket giver i alt 5,9 µg/m<sup>3</sup> i 2015. Dette ville reducere den højest beregnede overskridelse på 44,5 µg/m<sup>3</sup> (H.C. Andersens Boulevard(2)) til 38,6 µg/m<sup>3</sup> og for H.C. Andersens Boulevard ved målestationen fra 40,5 µg/m<sup>3</sup> til 34,6 µg/m<sup>3</sup>.

Der er en stor positiv effekt af at kræve Euro 6 for alle rutebusser (4A-h, 4B-h), hvilket reducerer NO<sub>x</sub> emissionen med omkring 9 %, og NO<sub>2</sub> koncentrationen reduceres med 1,8 µg/m<sup>3</sup> i 2015 i forhold til referencescenariet (1A). Effekten kræver at Euro 6 for tunge køretøjer lever op til forventningerne i forhold til emissionsnormen.

Der er en vis positiv effekt af SCR på lastbiler med emission svarende til Euro 3 eller ældre emissionsnormer (4A-g, 4B-g). NO<sub>x</sub> emissionen reduceres med omkring 4 % og NO<sub>2</sub> koncentrationen med 0,9 µg/m<sup>3</sup> (4A-g, uden fremme af Euro 6) og 0,9 µg/m<sup>3</sup> (4B-g, med fremme af Euro 6). Scenariet forudsætter, at SCR reducerer NO<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> emissionen på omkring 2 % og reducerer NO<sub>2</sub> koncentrationen med 0,3 µg/m<sup>3</sup> i forhold til scenarie 3A (personbiler uden fremme af Euro 6). I forhold til scenarie 3B (personbiler med fremme af Euro 6) reduceres NO<sub>2</sub> koncentrationen med 0,4 µg/m<sup>3</sup>, hvilket også svarer til en reduktion i NO<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> emissionen på omkring 0,5 % og en reduktion i NO<sub>2</sub> koncentrationen på 0,1 µg/m<sup>3</sup>, 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<sub>x</sub> emissionen reduceres med ca. 0,4 % og NO<sub>2</sub>-koncentrationen med ca. 0,1 µg/m<sup>3</sup>.

De eksisterende miljøzoner med krav til tunge køretøjer førte til en reduktion i den samlede NO<sub>x</sub> emission på omkring 8 % i 2010 svarende til en reduktion i NO<sub>2</sub> koncentrationen på omkring 1 µg/m<sup>3</sup> på H.C. Andersens Boulevard ved målestationen (Jensen et al. 2011). Den foreslåede trængselsring omkring København ville have resulteret i en reduktion i NO<sub>x</sub> emissionen på omkring 10 % i 2016 svarende til en reduktion i NO<sub>2</sub> koncentrationen på omkring 1 µg/m<sup>3</sup> på H.C. Andersens Boulevard ved målestationen

(trængselsring ved kommunegrænse inkl. Amager) (Jensen et al. 2012b). Afhængig af hvilke scenarier der vælges for ren-luftzonen, kan der således opnås en større effekt på NO<sub>x</sub> emissionen og NO<sub>2</sub> 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<sub>x</sub> 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 NO<sub>2</sub> koncentration**

Scenario	Beskrivelse	Variant af scenarie:	Ændring i NO <sub>x</sub> emission i %	Ændring i NO <sub>2</sub> konc. på HCAB i µg/m <sup>3</sup>
4A-a	a: Skift af grænse for benzinbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 0	2A	0,06 %	0,01
4A-b	b: Skift af grænse for benzinbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 2	2A	0,11 %	0,02
4A-c	C: Skift af grænse for benzpersonbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 0	3A	1,4 %	0,25
4A-d	d: Skift af grænse for benzpersonbiler 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 dieslbiler 2013-15	1A	-0,40 %	-0,08
4B-a	a: Skift af grænse for benzinbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 0	2B	0,06 %	0,01
4B-b	b: Skift af grænse for benzinbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 2	2B	0,08 %	0,02
4B-c	c: Skift af grænse for benzpersonbiler i ren-luftzoner fra Euro 1 til Euro 0	3B	1,7 %	0,3
4B-d	d: Skift af grænse for benzpersonbiler 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 dieslbiler 2013-15	1B	-0,37 %	-0,07

### Luftkvalitetsvurdering for 99 gader i København

Tabel 4.3 opsummerer hvilke gader, der med de beskrevne scenarier og forudsætninger, vil have overskridelser af grænseværdien for NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> grænseværdien i 2015 i referencescenariet (1A). Overskridelsen på H.C. Andersens Boulevard (1) ved målestationen vil være større end angivet pga. NO<sub>2</sub> spring, se diskussion heraf i afsnit 5.1, og må derfor formodes at være overskredet i alle scenarierne for H.C. Andersens Boulevard (1).

Referencescenariet med "fremme af Euro 6" (1B) reducerer NO<sub>2</sub> med omkring 1,0-1,5 µg/m<sup>3</sup> i forhold til 1A for H.C. Andersens Boulevard, og der ses kun 3 gader med overskridelser i dette referencescenarie. NO<sub>x</sub> 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. NO<sub>2</sub> spring. I begge scenarier reduceres NO<sub>x</sub> 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. NO<sub>2</sub> spring), og det svarer til en reduktion i NO<sub>x</sub> emissionen på omkring 13 % i 2015 for H.C. Andersens Boulevard.

**Tabel 4.3. Opsummering af gader med overskridelser af grænseværdien for NO<sub>2</sub> i 2015. En overskridelse registreres hvis 40,5 µg/m<sup>3</sup> overskrides (årsmiddel), og er markeret med grå baggrund i tabellen. Scenarieberegninger blev gennemført i 2012.**

Gadenavn	Refer- rence (1A)	Vare- biler (2A)	Person- og varebiler (3A)	Flytte Euro 1 grænse til Euro 2 for benzin- personbiler (4A-d)	SCR på lastbiler som er Euro 3 eller ældre (4A-g)	100 % Euro 6 for rutebu- sser (4A-h)	Refer- rence (1B)	Vare- biler (2B)	Person- og varebiler (3B)	Flytte Euro 1 grænse til Euro 2 for benzinpers- onbiler (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 <sup>a</sup>	3	3	1 <sup>a</sup>	0
Reduktion i NO <sub>x</sub> 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. NO<sub>2</sub> spring se diskussion heraf i afsnit 5.1. <sup>a</sup>Hvis overvurdering af bybaggrund (omkring 0,5 µg/m<sup>3</sup>, se afsnit 5.2) indregnes vil der ikke være overskridelser i dette scenarie, og der ses bort fra HCAB.

## 5. Diskussion

I forbindelse med DCE rapporten "Luftkvalitetsvurdering af ren-luftzone i København" (Jensen et al. 2012a) blev der foretaget en beregning for et referencescenarie for H.C. Andersens Boulevard for 2015. Denne viste en beregnet NO<sub>2</sub> koncentration på 40,5 µg/m<sup>3</sup>. Efterfølgende er der fremkommet nye informationer, som gør at denne fremskrivning vurderes at være for lav, som det fremgår af diskussionen nedenfor.

### 5.1 NO<sub>2</sub> spring på H.C. Andersens Boulevard

I sommeren 2010 forekom der en uventet stigning i de målte koncentrationer af kvælstofdioxid (NO<sub>2</sub>) 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 i første omgang fortolket som midlertidig pga. sammenfald i stigningen af de målte koncentrationer med øgede 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, 2012 og 2013 med målte NO<sub>2</sub> årsmiddelniveauer på hhv. 54 µg/m<sup>3</sup>, 55 µg/m<sup>3</sup> og 55 µg/m<sup>3</sup>. Stigningen i NO<sub>2</sub> er på omkring 8 µg/m<sup>3</sup>. Efterfølgende detaljerede undersøgelser konkluderer, at hovedårsagen til de forøgede koncentrationer er ændringer i vejbanerne ud for målestationen, hvilket har flyttet trafikken tættere på målestationen. Nedsat hastighed på vejstrækningen grundet øget kødannelse og trængsel bidrager muligvis

også i mindre omfang. Begge dele fører til øgning i målte koncentrationer ved målestationens placering (Ellermann et al., 2014).

Som det fremgår af Tabel 4.1 blev der for 2010, 2011 og 2013 modelleret hhv.  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mens målingerne uden springet var  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , og  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Modellen var derfor generelt set i god overensstemmelse med målingerne i 2010 og 2011, hvor studiet blev gennemført. Modellen er ikke designet på en måde, så det ville være muligt at modellere koncentrationsniveauerne inkl. springet.

Springet har ikke betydning for effektvurderingen af ren-luftzoner, men betyder at den modellerede  $\text{NO}_2$  koncentration på H.C. Andersens Boulevard er undervurderet i forhold til den målte koncentration pga. vejbaneomlægninger ved målestationens placering.

## 5.2 Scenariernes påvirkning af bybaggrundsforureningen

I beregningerne af effekten af de forskellige scenarier for H.C. Andersens Boulevard er der ikke taget hensyn til at scenarierne også vil reducere bybaggrundsforureningen lidt. Effekten vil derfor blive lidt større end angivet. Bybaggrunds-koncentrationen vil dog påvirkes langt mindre end gadebidraget, idet bybaggrunds-koncentrationen består af en regional baggrunds-koncentration, som er upåvirket af scenarierne, og bybaggrunds-bidraget består ud over trafik også af bidrag fra andre kilder, som ikke påvirkes. En lidt lavere  $\text{NO}_x$  emission vil også øge ozonkoncentrationerne lidt i bybaggrund (mindre ozon forbruges af  $\text{NO}$  i omdannelse til  $\text{NO}_2$ ). Der vil derfor være lidt mere ozon til rådighed for dannelse af  $\text{NO}_2$  på gadeniveau. Ud fra størrelsen af bybaggrunds-bidraget i 2015 og under antagelse af at trafikken udgør omkring halvdelen af alle emissioner i Storkøbenhavn vil en 10 % reduktion i  $\text{NO}_x$  emissionen maksimalt føre til en reduktion i  $\text{NO}_2$  koncentrationen på omkring  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En  $\text{NO}_x$  reduktion på 5 % svarer til en maksimal reduktion i  $\text{NO}_2$  på omkring  $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ved en  $\text{NO}_x$  reduktion på 2 % svarer det til en maksimal reduktion i  $\text{NO}_2$  på omkring  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 5.2 Grøn taxi knap så grøn

I rapport om ren-luftzoner (Jensen et al. 2012a) 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  $\text{NO}_2$  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. Det gælder i særdeleshed for dieseldrevne person- og varebiler. IIASA (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  $\text{NO}_x$  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 til dels 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. Nyere emissionsmålinger af emissioner under aktuelle kørselsforhold for udvalgte Euro 6 dieseldrevne personbiler tyder også på, at Euro 6 ikke leverer de forventede emissionsreduktioner (ICCT 2014).

Såfremt ovenstående holder stik vil det betyde en højere NO<sub>2</sub> 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 for NO<sub>2</sub>. Ligeledes vil tiltag som fremmer Euro 6 (B-scenarierne) og krav om kun Euro 6 busser (4A-h) måske ikke levere de forventede lavere NO<sub>x</sub> emissioner.

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

## 5.4 Ændret model konfiguration

I forbindelse med overvågning af luftkvalitet i Danmark gennemføres bl.a. luftkvalitetsberegninger for udvalgte gader i København og Aalborg. For København er det de samme 99 gader, som også er anvendt i nærværende studie med anvendelse af samme modelkæde (DEHM/UBM/OSPM). I forbindelse med overvågningen for 2013 er OSPM blevet recalibreret i forhold til de 5 gademålestationer, som indgår i måleprogrammet (Ellermann et al. 2015). Denne kalibrering er gennemført, da der er anvendt nye input data, som generelt giver højere emissioner og dermed højere koncentrationer, hvis modellen ikke var blevet recalibreret. De nye input data indbefatter rejsehastighedsdata fra Vejdirektoratets SpeedMap, samt opdaterede NO<sub>x</sub> emissionfaktorer for personbiler, som beskrevet ovenfor. Endvidere har der været ændringer i, hvordan den generelle bygningshøjde beskrives. Den nye model konfiguration beregner et NO<sub>2</sub> koncentrationsniveau på 53 µg/m<sup>3</sup>, hvor målingerne viser 55 µg/m<sup>3</sup> og uden springet 47 µg/m<sup>3</sup> på H.C. Andersens Boulevard.

Alene grundet den ændrede model konfiguration med de nye og mere realistiske input data vil en fremskrivning til 2015 for H.C. Andersens Boulevard samt øvrige modellerede gader i København give andre resultater end præsenteret i nærværende studie.

## 5.5 Sammenligning med internationale effektstudier

Det er vanskeligt at sammenligne effekten af miljøzoner på tværs af landegrænser, da det er svært at finde fuldstændig matchende betingelser. Effekten af en miljøzone for emission og luftkvalitet vil afhænge af mange forhold som hvilke emissionskrav der stilles, bilparkens sammensætning mht. Euroklasser og køretøjsfordeling mht. lette og tunge køretøjer, baggrundsforureningen, hvilket årstal den gennemføres, størrelsen af miljøzonen mv. Ydermere kan en miljøzone være kombineret med andre tiltag som trængselsafgifter (Stockholm, Johansson et al., 2009; London, Ellison et al., 2013), trafikrestriktioner som restriktioner for den gennemkørende tunge trafik (fx München, Fensterer et al., 2014) mv. Endvidere er der forskelle i anvendte metoder som alene kan være baseret på målinger, modeller eller en kombination heraf. Der er også metodiske og datamæssige udfordringer, da en effektvurdering skal forsøge at kvantificere den isolerede effekt af miljøzonen blandt mange parametre, som varierer over tid.

Et review studie af erfaringer fra miljøzoner i Europa konkluderede, at analyse af luftmålinger viste reduktioner af NO<sub>2</sub> koncentrationen i intervallet fra 1,5% til 10% (0,1 til 4 µg/m<sup>3</sup>), og modelberegninger viste reduktioner i NO<sub>x</sub> emissioner fra 2% til 20%. For miljøzonen i fx Berlin var der en reduktion i NO<sub>2</sub> koncentration på 6-10% og en NO<sub>x</sub> reduktion på 1-10% (Sadler Consultants 2010). En analyse af målinger gennemført indenfor og udenfor 17 tyske byer konkluderede, at effekten for den gennemsnitlige reduktion i koncentrationerne af miljøzoner for NO, NO<sub>2</sub>, and NO<sub>x</sub> var op til 2 µg/m<sup>3</sup> svarende til 4% (Morfeld et al. 2014).

Den foreslåede ren-luftzone i København, hvor der stilles krav til person- og varebiler svarende til kravene i Berlin for denne køretøjsgruppe viste beregnede reduktioner i NO<sub>2</sub> koncentrationen på 1,5 til 2,8 µg/m<sup>3</sup> og reduktion i NO<sub>x</sub> emission på 9-13% i 2015 dvs. i samme størrelsesorden som internationale studier viser.

## 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 NO<sub>2</sub>, som i dag er overskredet bl.a. på H.C. Andersens Boulevard i København, hvor der også er en målestation.

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<sub>x</sub> emissionen med omkring 9% og reducere NO<sub>2</sub> koncentrationen med omkring 1,5 µg/m<sup>3</sup> på H.C. Andersens Boulevard i 2015, og vil reducere antallet af modellerede overskridelser af NO<sub>2</sub> grænseværdien fra 8 til 5 ud af 99 undersøgte gader i København i 2015 med de anvendte modelforudsætninger fra 2012. Den beregnede reduktion er til dels afhængig af at nyere emissionsnormer leverer de forventede emissionsreduktioner for dieseldrevne person- og varebiler, hvilket nyere undersøgelser rejser tvivl om. Derfor er den modellerede effekt sandsynligvis overvurderet, hvilket dels påvirker effekten på 1,5 µg/m<sup>3</sup> af Berlinerscenariet på H.C. Andersens Boulevard, men især antallet af modellerede overskridelser af grænseværdien på undersøgte gader i København, da referenceniveauet i fremskrivningen for 2015 vurderes at være for lav. Studiets effektvurdering af de forskellige tiltag vurderes at kunne sammenlignes relativt i forhold til hinanden.

Det er ikke sandsynligt, at de her beskrevne ren-luftzoner alene kan reducere luftforureningen i en grad i 2015, så NO<sub>2</sub> grænseværdien kan overholdes på H.C. Andersens Boulevard.

## Referencer

- Beever, S.D., Westmoreland, E., de Jong, M.C., Williams, M.L., Carslaw, D.C (2012): Trends in NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub> 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.
- EEA (2013): Air quality in Europe — 2013 report. Report No. 9/2013.
- Ellermann, T., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M., Jansen, S., Massling, A. & Jensen, S. S. (2013): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2012. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. No. 67. 62 pp.
- Ellermann, T., Brandt, J., Jensen, S.S., Hertel, O., Løfstrøm, P., Ketznel, M., Olesen, H.R. & Winther, M. (2014): Undersøgelse af de forøgede koncentrationer af NO<sub>2</sub> 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., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M., Jansen, S., Massling, A. & Jensen, S.S. (2015): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2013. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 72 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 134. <http://dce2.au.dk/pub/SR134.pdf>
- Ellison, R.B, Greaves, S.P., Hensher, D.A. (2013): Five years of London's low emission zone: Effects on vehicle fleet composition and air quality. *Transportation Research Part D* 23 (2013) 25–33.
- Fensterer, V., Küchenhoff, H., Maier, V., Wichmann, H-E., Breitner, S., Peters, A., Gu, J., Cyrys, J. (2014): Evaluation of the Impact of Low Emission Zone and Heavy Traffic Ban in Munich (Germany) on the

- Reduction of PM<sub>10</sub> in Ambient Air *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2014, 11, 5094-5112; doi:10.3390/ijerph110505094.
- Franco, V., Sanchez, F.P, German, J., Mock, P. (2014). Real-world exhaust emissions from modern diesel cars - a meta-analysis of PEMS emissions data from EU (Euro 6) and US (TIER 2 BIN 5/ULEV II) diesel passenger cars. Part 1: Aggregated results. White Paper. International Council on Clean Transportation (ICCT). October 2014.
- Janssen, N.A.H. Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer, P., van Bree, L., Brink, H.T., Keuken, M., Atkinson, R.W. Anderson, H.R., Brunekreef, B., Cassee, F.R. (2011): Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>. *Environ Health Perspect* 119:1691–1699 (2011). <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1003369> [Online 2 August 2011]
- 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., 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., Ketznel, M., Nøjgaard, J. K. & Becker, T. (2011): Hvad er effekten af miljøzoner for luftkvaliteten? - Vurdering for København, Frederiksberg, Aarhus, Odense, og Aalborg. Slutrapport. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet 110 s. –Faglig rapport nr. 830. <http://www.dmu.dk/Pub/FR830.pdf>.
- Jensen, S.S., Ketznel, M., Brandt, J., Winther, M., Ellermann, T. (2012a): 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., Ketznel, M., Winther, M. (2012b). Luftkvalitetsvurdering af trængselsafgifter i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 48 s. -Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 16. <http://www.dmu.dk/Pub/SR16.pdf>
- Jensen, S.S., Ketznel, M., Brandt, J., Martinsen, L., Becker, T. (2014a): Ren-luftzone i København og sparede eksterne omkostninger ved sundhedsskadelig luftforurening. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 59 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 58 <http://www.dmu.dk/Pub/SR58.pdf>.
- Jensen, S.S. (2014b) Sparede eksterne omkostninger for luftforurening ved en geografisk udvidelse af ren-luftzone i København. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. [http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2014/Eksterne\\_omkostninger\\_ved\\_udvidelse\\_af\\_miljoezone\\_v4 .pdf](http://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2014/Eksterne_omkostninger_ved_udvidelse_af_miljoezone_v4.pdf)
- Jensen, S.S. & Ketznel, M. (2014c): 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>.
- Johansson, C., Burman, L., Forsberg, B. (2009): The effects of congestions tax on air quality and health. *Atmospheric Environment* 43 (2009) 4843–4854.
- Ketznel, 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.
- Ketznel, 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>.
- Miljøministeriet (2014): Ren luft til danskerne. 9 s.
- Morfeld, P., Groneberg, D.A., Spallek, M.F., (2014): Effectiveness of Low Emission Zones: Large Scale Analysis of Changes in Environmental NO<sub>2</sub>, NO and NO<sub>x</sub> Concentrations in 17 German Cities. DOI: 10.1371/journal.pone.0102999.
- Sadler Consultants (2010): Low Emission Zones in Europe for the UK Department for Transport. February 2010. 139 p.



## Taksigelse

Projekterne er finansieret af Miljøstyrelsen og Københavns Kommune.