

Luftkvalitetsvurdering af miljøzoner i Danmark

Steen Solvang Jensen, Matthias Ketzell, Jacob Klenø Nøjgaard, Peter Wåhlin
Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Afdelingen for Atmosfærisk Miljø, Århus Universitet

1. Baggrund og formål

Den 20. december 2006 vedtog Folketinget enstemmigt en lov om miljøzoner gældende for de 5 største bykommuner. Siden har Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune indført miljøzone fra den 1. september 2008, Ålborg Kommune fra den 1. februar 2009, Odense Kommune fra 1. juli 2010 og Århus Kommune fra 1. september 2010 (Folketinget 2006). Formålet med etablering af en miljøzone er at forbedre sundheden for borgerne i de største byer ved at reducere luftforureningen med partikler i områder, som har den største belastning fra trafikken, og hvor flest mennesker bliver udsat for luftforureningen. Miljøzoner skal også bidrage til overholdelse af grænseværdierne for partikler.

Miljøzonenloven muliggør at de omfattede kommuner kan definere et afgrænset område, hvor der kræves partikelfilter på ældre lastbiler og busser, som kører i miljøzonen. Kravene gælder for lastbiler og busser, der er så gamle, at de pr. 1. september 2008 kun lever op til Euro II emissionsstandarden eller ældre standarder (trin 1), og kravene skærpes yderligere pr. 1. juli 2010 til at omfatte Euro III emissionsstandarden (trin 2). Miljøzonenloven blev revideret den 4. juni 2010 (Folketinget 2010), således at flere kommuner kan indføre miljøzone, og der åbnes op for regulering af ældre vebiler, men kun hvis grænseværdien for PM_{10} er overskredet, hvilket den pt. ikke er i Danmark.

DMU har stået for at foretage en evaluering af effekten af miljøzonekravene, som er beskrevet i Jensen et al. (2009;2010). Evalueringen omfatter målinger af luftkvaliteten omfattende før- og mellemmålinger. Førmålinger er gennemført i slutningen af 2004 før implementering af miljøzonekravene den 1. september 2008, og mellemmålinger i vinteren 2008/2009. Målingerne er gennemført på Åboulevard i København som målekampagner af afgrænset varighed. Herudover indgår også måleresultater i byområder fra det landsdækkende luftkvalitetsmåleprogram under NOVANA, som er Det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljøet og Naturen (Kemp et al. 2010). Endvidere trækkes der på resultater fra et særskilt måleprogram for partikler under det såkaldte 'partikelprojekt' (Wåhlin, 2008a;2008b). Udover målinger indgår også modelberegninger, som kan bruges til at beregne effekten af miljøzonekravene, hvor der ikke er målinger, og til at vurdere den fremtidige forventede effekt. I efteråret 2010 vil der desuden blive gennemført effektberegninger for de andre miljøzonebyer end København, og der vil blive gennemført en analyse af målinger under NOVANA og partikelprojektet for at belyse effekten af miljøzonekravene.

Resultater og vurderinger fra midtvejsevalueringen er præsenteret i det følgende med fokus på resultaterne af før- og mellemmålinger af luftkvaliteten på Åboulevard i København, resultater fra en sammenligning af modelberegninger og målinger på Åboulevard i København, samt en effektvurdering af miljøzonen for luftforurening ud fra modelberegninger for 138 trafikerede gader i København.

2. Metode

Før- og mellemmålinger af luftkvalitet på Åboulevard i København

Der er gennemført analyse af forskellen mellem "førmålingerne" i måleperioden 18.10 - 17.12 2004 og "mellemmålinger" i perioden 11.11 2008 - 12.01 2009 for Åboulevard i København. NO_x , NO_2 , NO , CO , PM_{10} , $PM_{2.5}$ og antal partikler samt størrelsesfordeling blev målt. PM_{10} og $PM_{2.5}$ er målt med TEOM metoden, som måler med høj tidsopløsning. PM_{10} og $PM_{2.5}$ er partikler hhv. under 10 og 2,5 mikrometer. TEOM målinger kan ikke sammenlignes direkte med grænseværdier, da målemetoden bevirker at noget af partikelmassen fordamper. Åboulevard er valgt, da den havde en relativ høj andel af tung trafik ved projektet igangsættelse i forhold til de to gader i København, hvor der gennemføres kontinuerte målinger under overvågningsprogrammet (Jagtvej og H.C. Andersens Boulevard).

Sammenligning af modelberegninger og målinger på Åboulevard i København

Beregninger af luftkvaliteten på Åboulevard er gennemført med DMU's gadeluftsmodel Operational Street Pollution Model (OSPM) (Berkowicz, R. 2000b). Emissionsmodellen COTERT 4 er integreret i OSPM (EEA 2007). Beregningerne er foretaget for samme tidsperioder som for før- og mellemmålingerne, og modelresultaterne er sammenlignet med målinger for at kunne vurdere usikkerheden på de modeller, som ligger til grund for beregning af effekten af miljøzonekravene. Beregningerne kræver en lang række input data om trafikniveauet og sammensætning af trafikken på den pågældende gade, om bilparken og emissioner fra de enkelte køretøjer, som varierer fra år til år samt data om meteorologi og bybaggrundskoncentrationer. Bybaggrundskoncentrationer er fra H.C. Ørsted Institutet (HCOE), og meteorologiske data er ligeledes herfra for de pågældende tidsperioder for før- og mellemmålingerne (Kemp et al. 2010).

Effektvurdering af miljøzoner for luftkvaliteten for 138 gader i København

Modelberegninger for luftkvaliteten på 138 trafikerede gader i København er gennemført med OSPM modellen og en bybaggrundsmode (Urban Background Model - UBM) (Berkowicz, R. 2000a) for 2010, 2015 og 2020 af den forventede fulde effekt af de vedtagne miljøzonekrav for emissionen inden for miljøzonen i København. Der er således regnet med implementering af både trin 1 og 2 af miljøzonekravene. DMU's AirGIS system er endvidere brugt til at generere input til OSPM modellen for de 138 trafikerede gader om gadekonfiguration og trafik ud fra GIS kort med vejnettet og trafikdata samt bygningsomrids med bygningshøjder (Jensen et al. 2001).

De regionale niveauer er input til bybaggrundsmodellen. Det er antaget at regional PM_{10} er $22,1 \mu g/m^3$ og regional $PM_{2.5}$ er $16,3 \mu g/m^3$, hvilket er niveauer svarende til referencemetoden med SM200 dvs. uden det tab som målinger med TEOM repræsenterer. UBM og OSPM modellerne beregner trafikens bidrag, og modelresultaterne kan derfor godt sammenlignes direkte med grænseværdien for PM_{10} .

Beregningerne bygger på en række forudsætninger om trafikvækst, udvikling i dieselandel, effektiviteten af partikelfiltre, samt udviklingen i den andel af NO_x , der udsendes i form af NO_2 ("direkte NO_2 fraktion").

Miljøzonereglerne i 2010 kræver at alle tunge køretøjer (lastbiler og busser), som er Euro III eller ældre skal have partikelfiltre. Det er forudsat at dette krav vil blive implementeret på følgende måde. En transportør kan enten vælge at eftermontere et partikelfilter på Euro III eller ældre køretøjer, eller skifte til et Euro IV eller Euro V køretøj. I beregningerne er det forudsat, at alle Euro III lastbiler får eftermonteret partikelfilter mens Euro II og ældre udskiftes med Euro V. For busser er det forudsat at Euro I og ældre samt 50% af Euro II bliver udskiftet med Euro V, og 50% af Euro II og alle Euro III får partikelfiltre. Nogle bybusser vil allerede have partikelfiltre inden miljøzonekravene blev gennemført, men det har ikke været muligt at inddrage information herom.

3. Resultater og diskussion

Før- og mellemmålinger af luftkvalitet på Åboulevard i København

For alle koncentrationer af CO , NO_x (NO_2 og NO), PM_{10} , $PM_{2.5}$ og antal partikler sker der en væsentlig reduktion fra 2004 til 2008. Reduktionen formodes primært at hænge sammen med den løbende udskiftning af bilparken med stadigt lavere emissionsnormer til følge. Reduktionen i antal partikler skyldes dog især, at indholdet af svovl i diesel og benzin blev nedsat markant ved årsskiftet mellem 2004 og 2005 (Wählin, 2009).

Analysen viste, at det er vanskeligt at isolere effekten af miljøzonekravene ud fra målingerne, da de forventede ændringer er relativt små, og en række andre parametre varierer, såsom meteorologien og trafikken.

Førmålingerne burde have været foretaget i månederne umiddelbart op til indførelsen af miljøzonen den 1. september 2008 i stedet for i slutningen af 2004. Førmålingerne blev imidlertid påbegyndt i slutningen af 2004 i forventning om at miljøzonen snarest blev vedtaget, hvilket ikke viste sig at holde stik. Selvom førmålingerne havde været foretaget umiddelbart før miljøzonen trådte i kraft ville det stadigvæk være vanskeligt at isolere effekten af miljøzonekravene, da de forventede ændringer er relativt små, og en række andre parametre varierer, så som meteorologien og trafikken.

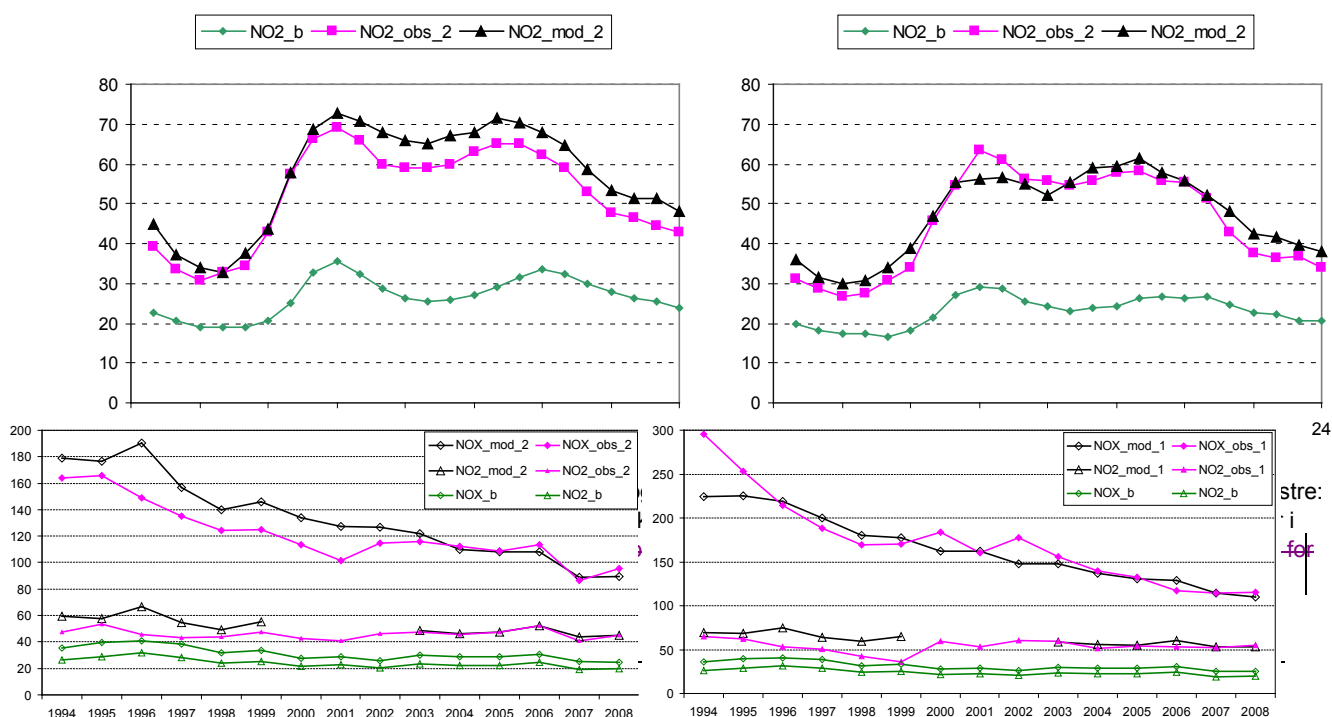
For at vurdere meteorologiens indflydelse blev der beregnet en såkaldt opkoncentringsfaktor for de to målekampagner. Der var kun mindre forskelle i denne mellem de to målekampagner, hvilket indikerer at den observerede koncentrationsreduktion ikke skyldes markante forskelle i de meteorologiske forhold mellem før- og mellemmålingerne. Fra 2004 til 2008 er det totale antal køretøjer faldet med ca. 5%. I samme tidsrum er andelen af den tunge trafik faldet fra 3,5% til 2%, hvilket skyldes en markant reduktion i antallet af især busser men også lastbiler. Hvis det totale antal køretøjer er faldet lidt og især hvis andelen af den tunge trafik er faldet markant har dette også bidraget til reduktionen i koncentrationerne mellem målekampagnerne i 2004 og 2008/09.

Ud fra de nuværende måledata kan der ikke entydigt måles en effekt af indførelsen af miljøzonen i 2008. En evt. effekt overskygges af usikkerheden ved måleperiodernes længde og tiden mellem de to perioder. Hertil kommer den løbende udskiftning af bilparken samt forskelle i kørselsmønster og trafikbelastning samt meteorologiske forhold.

Sammenligning af modelberegninger og målinger på Åboulevard i København

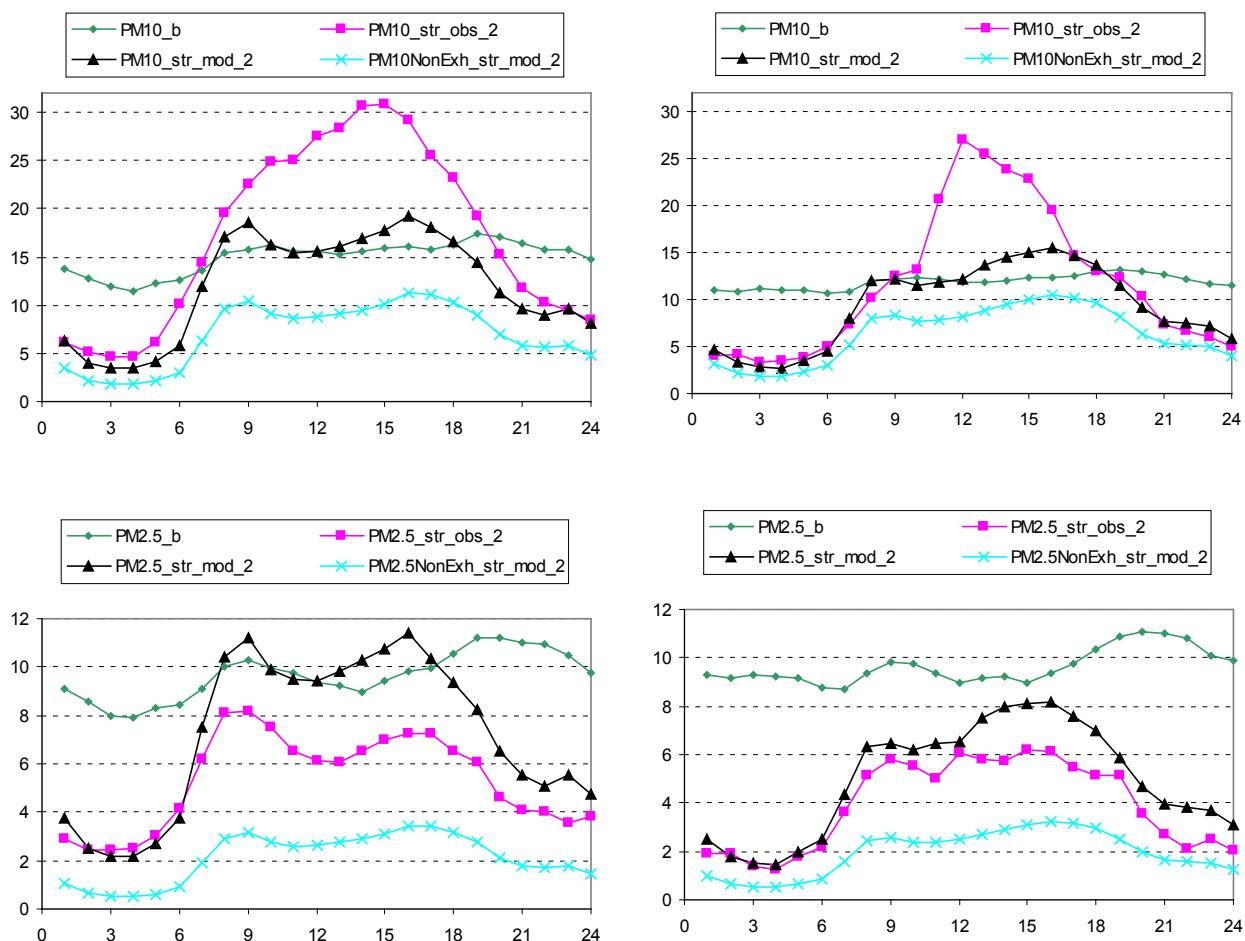
Resultater af beregninger for NO_x og NO₂ på Åboulevard viser, at modellen er i stand at reproducere både den tidlige døgnvariation i målinger og koncentrationsniveauerne (Figur 1). Reduktionen i NO_x og NO₂ fra 2004 til 2008 er resultat af reduktioner i trafikmængden, andelen af tung trafik og emissioner per køretøj. Resultater af sammenligninger mellem målinger og modelresultater for Jagtvej og H.C. Andersens Boulevard bekræfter at modellen er rimelig god til at beskrive udviklingen i NO_x og NO₂ (Figur 2).

Fra 2004 til 2008 viser både model og målinger en reduktion i CO koncentrationer på Åboulevard på ca. 50% af trafikbidraget (gade minus bybaggrund). Modellen undervurderer dog de målte CO koncentrationer for trafikbidraget med omkring 50%. Denne betydelige undervurdering observeres i lignende omfang også for de permanente målestationer på Jagtvej og H.C. Andersens Boulevard og skyldes muligvis at de anvendte emissionsfaktorer i den model, der benyttes for emissioner (COPERT 4), er for lave.



Figur 2. Tendens for årsmiddelværdier for NO_x og NO₂ venstre: Jagtvej, højre: H.C. Andersens Boulevard. Vist er målinger ("obs") på gaden (pink kurver), model resultater ("mod") på gaden (sort) samt målinger ("b") i bybaggrunden (grønne). Enhed:

Modelresultater for PM₁₀ og PM_{2.5} på Åboulevard viser en reduktion fra 2004 til 2008 på ca. 20-30% i trafikens bidrag (gadekoncentrationer minus bybaggrundskoncentrationer) og er i overensstemmelse med den beregnede emissionsreduktion (Figur 3). Grunden til at trafikens bidrag (gadekoncentrationer minus bybaggrundskoncentrationer) anvendes er at trafikbidraget for PM samt ændringer i dette bidrag estimeres realistisk ved at tage differencen af TEOM målingerne mellem Åboulevard og H.C. Ørsted Institutet, fordi 'tab' pga. afdampning af flygtige forbindelser ved TEOM metoden næsten er det samme begge steder.

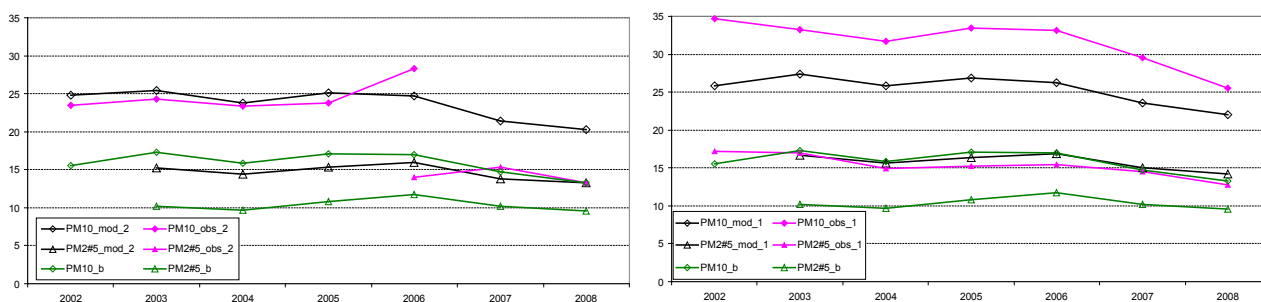


Figur 3. Gennemsnitlig døgnvariation af PM_{2.5} og PM₁₀ målinger og modelberegninger på Åboulevard i kampagneperioderne, venstre: 2004, højre: 2008, øverst: PM₁₀ nederst: PM_{2.5}. Vist er TEOM målinger på gaden (pink kurver), model resultater på gaden (sort) samt TEOM målinger i bybaggrunden (grønne). I begge grafer er vist trafikens bidrag til koncentrationer (gade minus baggrund). Koncentrationsbidrag som skyldes ikke-udstødnings emissioner er vist med blå kurver. PM₁₀ og PM_{2.5} værdier svarer til TEOM metoden. Enhed: µg/m³

Målinger af PM₁₀ med TEOM viser også en reduktion af lignende størrelse. Modellen undervurderer gadekoncentrationerne af PM₁₀ med 12-15% i forhold til målingerne. I 2008 observeres meget høje spidsværdier på enkelte dage, hvilket har effekt på middelværdien af PM₁₀ og skyldes nogle særlige forhold (muligvis saltning, ekstreme ikke-udstødnings emissioner eller ikke-trafik kilder) som ikke er inkluderet i modellen. PM_{2.5} trafikbidraget falder fra 2004 til 2008, hvilket er i overensstemmelse med fald i PM_{2.5} emissionen, men modellen overvurderer trafikbidraget i 2004. Modellen overvurderer gadekoncentrationerne af PM_{2.5} med 12-15% i forhold til målingerne.

Valideringsberegninger for de to permanente stationer Jagtvej og H.C. Andersens Boulevard er i god overensstemmelse med PM_{2.5} målinger (Figur 4). Også PM₁₀ på Jagtvej bliver godt afspejlet af

modellen. For PM₁₀ på H.C. Andersens Boulevard viser modellen for lave koncentrationer i det undersøgte tidsrum 2002-2008. Denne undervurdering er konstateret og diskuteret tidligere, og skyldes nogle særlige forhold på denne vejstrækning – sandsynligvis bidrag fra ikke-trafik kilder. Nyasfaltering af vejbelægningen i efteråret 2008 har vist, at dette har stor indflydelse på PM₁₀ koncentrationerne, som faldt fra 39 µg/m³ til 32 µg/m³ fra 2008 til 2009 svarende til PM₁₀ niveauer målt med referencemetoden med SM200 (Ellermann et al. 2009).



Figur 4. Tendens for årsmiddelværdier for PM₁₀ og PM_{2.5} venstre: Jagtvej, højre: H.C. Andersens Boulevard. Vist er TEOM målinger på gaden (pink kurver), model resultater på gaden (sort) samt TEOM målinger i byggrunden (grønne). Enhed: µg/m³

Sammenfattende kan det konstateres at OSPM modellen i tilfredsstillende omfang er i stand at afspejle de målinger, som blev foretaget på Åboulevard i 2004 og 2008. De bedste resultater opnås for NO_x og NO₂. Også PM₁₀ og PM_{2.5} målinger bliver i det væsentlige godt afspejlet i modellen, bortset fra nogle særlige forhold i målingerne for PM₁₀ i 2008 og for PM_{2.5} i 2004. Tendensen i CO målingerne bliver godt reproduceret, men på et for lavt niveau. For lave emissionsfaktorer er formodentlig grunden til at modellen gennemgående undervurderer målingerne. CO koncentrationerne ligger væsentligt under grænseværdierne, og der er derfor ikke fokuseret på CO i den efterfølgende konsekvensvurdering.

Modellen er derfor velegnet til scenarioberegningerne af effekter af miljøzonekravene.

Effektvurdering af miljøzoner for luftkvaliteten for 138 gader i København

Effekter for partikelemissionen

I miljøzonen som helhed i København forventes partikeludstødningen at falde med 26% i 2010 som følge af miljøzonekravene, mens ikke-udstødningen er upåvirket af miljøzonekravene. Ikke-udstødning omfatter partikler fra bremseslid, dækslid, og vejslid samt ophvirvling af vejstøv. Partikelemissionen af udstødning og ikke-udstødning under et reduceres med hhv. 9% for PM₁₀ og 16% for PM_{2.5}.

Ikke-udstødning for partikler stiger i perioden 2005-2020 proportionalt med den forventede trafikstigning, hvorimod partikeludstødningen falder som følge af skærpede emissionsnormer. I forhold til referencesituationen (uden miljøzone) i 2010 vil både PM₁₀ ikke-udstødning og PM_{2.5} ikke-udstødning stige med 16% fra 2010 til 2020, mens partikeludstødningen vil falde med 51% fra 2010 til 2020. Total trafikrelateret PM₁₀ (udstødning og ikke-udstødning) og total trafikrelateret PM_{2.5} (udstødning og ikke-udstødning) vil reduceres med hhv. 6% og 27% fra 2010 til 2020, som en kombinationseffekt af løbende skærpede emissionsnormer og miljøzonekravene (positiv effekt) samt en effekt fra stigende trafik med deraf stigende ikke-udstødning (negativ effekt), se Tabel 1.

Tabel 1. Total trafikemission af PM₁₀ ikke-udstødning, PM_{2,5} ikke-udstødning, PM udstødning, PM₁₀ og PM_{2,5} (udstødning og ikke-udstødning) i referencesituation (uden miljøzone) og med miljøzonekrav. Indeks er sat til 100 for referencen i 2010.

År	Scenarie	PM ₁₀ ikke-udstødning (Indeks)	PM _{2,5} ikke-udstødning (Indeks)	PM udstødning (Indeks)	PM ₁₀ (Indeks)	PM _{2,5} (Indeks)
2005	Reference	84	85	110	93	101
2010	Reference	100	100	100	100	100
2015	Reference	108	107	72	96	85
2020	Reference	116	116	54	95	77
2010	Miljøzone	100	100	74	91	84
2015	Miljøzone	108	107	60	92	77
2020	Miljøzone	116	116	49	94	73

Miljøzonens effekt svarer til at fremskynde de nyere euronormer til ikrafttræden nogle år tidligere end ellers. Effekten af miljøzonen ebber derfor ud med årene. I 2020 er der således kun en lille forskel på referencesituationen uden miljøzone i 2020 og situationen med miljøzone i 2020.

Effekter for partikelkoncentrationen

Der er kun en beskedne reduktion i den beregnede gennemsnitlige gade- koncentration for PM₁₀ og PM_{2,5} for de 138 gader i 2010. For både PM₁₀ og PM_{2,5} reduceres koncentrationen i gennemsnit kun med 0,7 µg/m³ som følge af miljøzonekravene, hvilket svarer til 2,5% for PM₁₀ og 3,5% for PM_{2,5} (Tabel 2). Hvis man sammenligner et scenario uden miljøzone i 2010 med situationen med miljøzone i 2020 er reduktionen for gadekoncentrationer på omkring 1,0 µg/m³ som følge af miljøzonekravene. Reduktionen i bybaggrund er marginal af miljøzonekravene. Den beskedne reduktion skyldes, at partikelkoncentrationerne i gadeniveau er domineret af bybaggrundsbidraget, som igen er domineret af langtransporteret luftforurening, samt at miljøzonekravene kun reducerer partikeludstødningen – ikke det øvrige trafikbidrag.

For H.C. Andersens Boulevard er effekten af miljøzonekravene omkring 1,0 µg/m³ for både PM₁₀ og PM_{2,5} i 2010.

Modelberegningerne for de 138 gader viser, at der ikke forventes overskridelser af grænseværdien for årsmiddelværdien af PM₁₀ (40 µg/m³) og PM_{2,5} (25 µg/m³).

Tabel 2. Modellerede gennemsnitlige gadekoncentrationer (OSPM) og bybaggrundskoncentrationer (UBM) for PM₁₀ og PM_{2,5} for 138 gader i miljøzonen

År	Scenarie	PM ₁₀	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM _{2,5}
		koncentration i 138 gader (µg/m ³)	koncentration i bybaggrund ved 138 gader (µg/m ³)	koncentration i 138 gader (µg/m ³)	koncentration i bybaggrund ved 138 gader (µg/m ³)
2010	Reference	29,1	23,1	20,0	16,7
2015	Reference	28,6	23,0	19,3	16,7
2020	Reference	28,3	23,0	18,9	16,6
2010	Miljøzone	28,4	23,0	19,3	16,7
2015	Miljøzone	28,2	23,0	19,0	16,6
2020	Miljøzone	28,2	23,0	18,8	16,6

Selvom reduktionen i massen af partikler udtrykt ved PM₁₀ og PM_{2,5} er beskedne kan der godt være en betydelig effekt i forhold til sundhed, idet den lokale partikeludstødningen er reduceret med 26%. Udstødningspartiklerne består af mange sodpartikler, som formodes at være sundhedsskadelige (Palmgren 2009).

Effekter for NO_x emissionen

Selvom miljøzonekravene ikke direkte er rettet mod NO_x emissionen vil denne alligevel være påvirket, da implementeringen af miljøzonekravene forventes at ske ved at nogle ældre køretøjer (Euro II og III samt ældre) udskiftes med nye Euro V køretøjer, som forventes at have væsentligt lavere NO_x emissioner end ældre køretøjer.

Bidragene til NO₂ koncentrationen i en gade afviger markant i forhold til PM₁₀ og PM_{2.5}. For NO₂ er det regionale bidrag, som er langtransporteret, kun omkring 10 µg/m³ som årsmiddel og et typisk bybaggrunds niveau ligger på omkring 20 µg/m³. Da gadekoncentrationer kan være op til omkring 60 µg/m³ udgør gadebidraget en meget stor del af de koncentrationer, som man finder i en gade. Hele gadebidraget udgøres af emissionen fra trafikken, og der er således ingen ”ikke-udstødning” for NO_x. Det betyder, at emissionsreduktioner vil slå kraftigere igennem for NO₂ end for PM₁₀ og PM_{2.5}.

I miljøzonen som helhed forventes NO_x emissionen at blive reduceret med 29%-38% for de tunge køretøjer – afhængig af type – som følge af miljøzonekravene i 2010. Den totale NO_x emission falder med 16% i 2010, når alle køretøjskategorier inddrages. Reduktionen skyldes at nogle ældre tunge køretøjer udskiftes med nye Euro V køretøjer, som har lavere emissionsfaktorer.

NO_x emissionen vil blive reduceret med omkring 50% fra 2010 til 2020 som følge af løbende udskiftning af bilparken. Den beregnede direkte NO₂ fraktion vil stige fra 2010 (18,0%) til 2015 (25,0%) for derefter at falde lidt frem til 2020 (24,5%), hvilket hænger sammen med udviklingen i andelen af dieslbiler og udviklingen i emissionsfaktorer. Den samlede NO₂ emission er produktet af NO_x emissionen og den direkte NO₂ fraktion. NO₂ emissionen med miljøzonekravene er 84% af referencesituationen i 2010, 96% i 2015 og 66% i 2020, se Tabel 3.

Tabel 3. Total NO_x emission for alle køretøjskategorier i referencesituationen (uden miljøzone) og med miljøzonekrav. Indeks er sat til 100 for referencen i 2010. Direkte NO₂ andele er også vist.

År	Scenarie	Personbil (Indeks)	Varebil (Indeks)	Lastbil		Busser (Indeks)	Total (Indeks)	Direkte NO ₂	NO ₂
				<= 32t (Indeks)	> 32t (Indeks)			fraktion (%)	emission (Indeks)
2005	Reference	137	107	104	106	115	119	7,4	49
2010	Reference	100	100	100	100	100	100	18,0	100
2015	Reference	74	75	77	76	78	75	25,0	105
2020	Reference	52	49	48	46	50	50	24,5	68
2010	Miljøzone	100	100	62	65	71	83	18,4	84
2015	Miljøzone	74	75	60	62	66	68	25,4	96
2020	Miljøzone	53	49	43	43	47	48	24,6	66

Som for partikler ebber miljøzonens effekt for NO_x emissionen ud med årene, således at der kun er en lille forskel på referencesituationen uden miljøzone i 2020 og situationen med miljøzone i 2020.

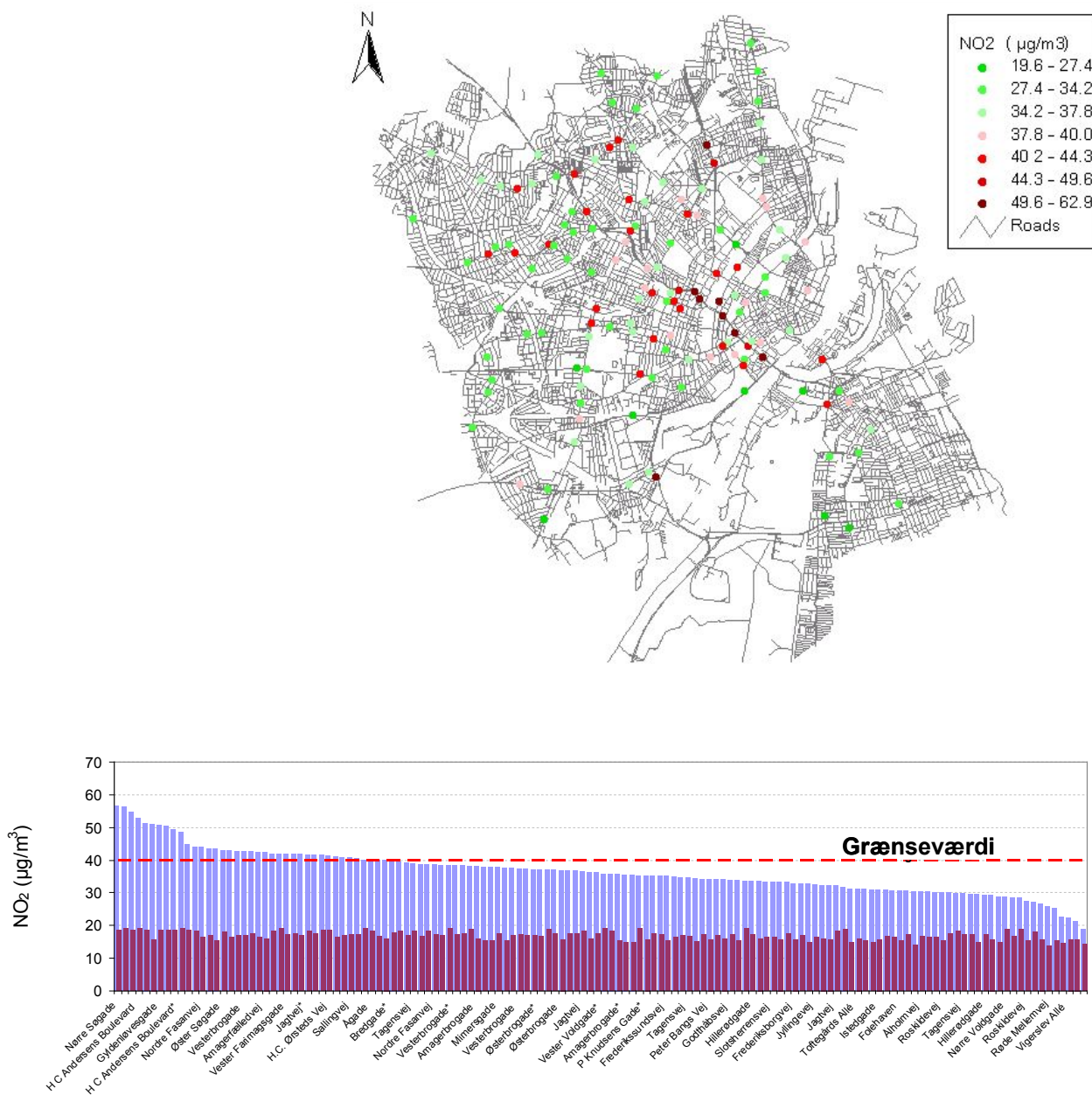
Effekter for NO₂ koncentrationen

Der er en betydelig reduktion i den beregnede gennemsnitlige gade- koncentrationen for NO₂ for de 138 gader i 2010. Som følge af miljøzonekravene reduceres gennemsnittet med 3,4 µg/m³, hvilket svarer til 9%. Reduktion i bybaggrund udgør 1,0 µg/m³. Reduktionerne er tilsvarende betydelige for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej (Tabel 4).

Tabel 4. Beregnede gennemsnitlige årsmiddelværdier af NO₂ koncentrationer for 138 gader i København samt for to gader, hvor luftkvalitetsmonitoring udføres. Gade- og bybaggrundskoncentrationer er vist.

Scenario	Gadekoncentrationer for 138 gader (µg/m ³)	Bybaggrundskoncentrationer ved 138 gader (µg/m ³)	Antal overskridelser af NO ₂ grænseværdi i 2010 ud af 138 gader (over 40,0 µg/m ³)	Gadekoncentration på H.C. Andersens Boulevard (µg/m ³)	Bybaggrundskoncentration ved H.C. Andersens Boulevard (µg/m ³)	Gadekoncentration på Jagtvej (µg/m ³)	Bybaggrundskoncentration på Jagtvej (µg/m ³)
2010 Reference	39,9	18,0	65	53,3	20,7	45,2	19,6
2015 Reference	34,9	16,4	22	47,3	18,6	39,2	17,7
2020 Reference	27,3	14,6	3	37,1	16,1	30,4	15,5
2010 Miljøzone	36,5	17,0	35	48,4	19,3	41,6	18,3
2015 Miljøzone	33,5	16,0	15	44,2	18,0	37,0	17,1
2020 Miljøzone	27,1	14,5	2	35,1	15,9	29,1	15,3

Grænseværdien for NO₂ som årsmiddelværdi er 40,0 µg/m³ i 2010. I situationen uden miljøzonen er det beregnet at 65 gader ud af de 138 gader overskrider denne grænseværdi, og miljøzonekravene reducerer antallet til 35 i 2010 (Figur 5). Miljøzonen yder således et væsentligt bidrag til reduktion af antallet af overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2010. Antallet af overskridelser vil blive reduceret med tiden. Således viser beregningerne at antallet af overskridelser er 15 i 2015 og kun 2 i 2020, når der alene ses på trafikklender, og udviklingen i andre kilder ikke inddrages. Den langtransporterede luftforurening af NO₂ forventes at blive reduceret lidt frem mod 2020 på grund af EU landenes nationale NO_x reduktionskrav. Skibstrafikken omkring Danmark har også betydning for baggrundsfureningen. Et nyere studie har vist at fra 2007 til 2020 forudses der i farvandene omkring Danmark en væsentlig reduktion i emissionen af svovldioxid fra skibstrafikken på trods af øget trafikmængde, hvilket skyldes nye krav under International Maritime Organization (IMO). I samme periode forudses en svag stigning i den absolutte NO_x emission fra skibstrafik, nemlig med 2%, men denne stigning er dog så lille at det kun vil have marginal indflydelse på bybaggrundskoncentrationerne af NO₂ (Olesen et al. 2009).



Figur 5. Øverst: Geografisk placering af 138 trafikerede gader i København og Frederiksberg med beregnet NO₂ årsmiddel gadekonzentrationer i 2010 (inkl. miljøzonekrav). Nederst: Søjlediagram for de samme gader. Blå søjler viser gadekonzentration og lilla søjler viser bybaggrundskonzentrationer. Ikke alle 138 gadenavne kan vises på grafen.

4. Konklusion

Det er vanskeligt, at måle en effekt af de nye miljøzoner på partikelforureningen, da reduktionen er beskednen, og andre forhold spiller ind såsom løbende fornyelse af køretøjsparken samt ændringer i meteorologi og trafikniveau. Modelberegninger viser en gennemsnitlig effekt på koncentrationen af PM₁₀ og PM_{2.5} på omkring 0,7 µg/m³ for 138 undersøgte trafikerede gader eller en reduktion i partikeludstødningen (massen) fra trafikken på omkring 26 %. Den beskedne reduktion i den samlede PM₁₀ koncentration skyldes, at den langtransporterede luftforurening og ikke-udstødningspartikler bidrager meget, og partikelfiltre påvirker kun udstødningsbidraget. NO_x emissionen vil reduceres, da implementeringen af miljøzonekravene forventes at ske ved at nogle ældre køretøjer (Euro II og III

samt ældre) udskiftes med nye Euro V køretøjer, som har væsentligt lavere NO_x emissioner end ældre køretøjer. Beregninger viser, at miljøzonekravene vil reducere antallet af overskridelser af grænseværdien for NO₂ i 2010 fra 65 gader ud af de 138 gader til 35 pga. miljøzonekravene.

Taksigelse

Projektet er udført for og finansieret af Miljøstyrelsen.

Referencer

- 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.
- EEA (2007): EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook 2007. Methodology for the calculation of exhaust emissions. Road Transport. Version 6.0 August 2007. COPERT 4. European Environmental Agency. 105 p.
- Ellermann, T., Kemp, K., Wåhlin, P. (2009): Notat angående PM₁₀ på H.C. Andersens Boulevard i 2008 og 2009. DMU notat 9. december 2009. 4 p.
- Folketinget (2006): Lov nr. 1570 af 20/12/2006. Lov om ændring af lov om miljøbeskyttelse. Partikelfiltre på køretøjer i kommunalt fastlagte miljøzoner m.v.
- Folketinget (2010): Forslag til Lov om ændring af lov om miljøbeskyttelse. Lov nr. 210L af 4. juni 2010.
- 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., Ketznel, M., Wåhlin, P., Palmgren, F., Berkowicz, R. (2009): How Does the Environmental Zone in Copenhagen Affect Air Quality of NO₂, PM₁₀ and PM_{2.5}? *in* Hu, R.-M., Khaiwal, R., Chemel, C., Newbold, J., Incecik, S., Kahya, C., Sokhi, R.S. (editors) *Proceedings of Abstracts 7th International Conference on Air Quality – Science and Application*, March 24-27, 2009, Istanbul, pp. 28. ISBN: 978-1-905313-63-1.
- Jensen, S.S., Ketznel, M., Nøjgaard, J. K. & Wåhlin, P. 2010: Luftkvalitetsvurdering af miljøzoner i Danmark. Midtvejsrapport. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet 64 s. –Faglig rapport nr. 748. <http://www.dmu.dk/Pub/FR748.pdf>.
- Kemp, K., Ellermann, T., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M. & Jensen, S.S., (2010): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2008. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. NERI Technical Report No. 752 <http://technical-reports.dmu.dk/Pub/FR752.pdf>.
- Olesen, H.R., Winther, M., Ellermann, T., Christensen, J., Plejdrup, M. (2009): Ship emissions and air pollution in Denmark. Present situation and future scenarios. Danish Ministry of the Environment. Report No. 1306, 2009.
- Palmgren, F. (red.) 2009: Luftforurening med Partikler - et sundhedsproblem.
- Wåhlin, P. (2008a): Partikelprojektet 2005-2007. Faglig rapport fra DMU nr. 688, 2008.
- Wåhlin, P. (2008b): Source apportionment of PM₁₀ measured in the three-year-period 2005-2007 at H.C. Andersens Boulevard in Copenhagen, Denmark. Notat fra DMU.
- Wåhlin, P. (2009): Measured reduction of kerbside ultrafine particle number concentrations in Copenhagen. *Atmospheric Environment* Vol. 43 pp. 3645–3647.