

NO₂ virkemiddelkatalog - virkemidler til begrænsning af overskridelser af NO₂ grænseværdien for luftkvalitet i større danske byer

Seniorforsker Steen Solvang Jensen og Seniorforsker Matthias Ketzel
Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Afdelingen for Atmosfærisk Miljø, Århus Universitet

Abstrakt

Der er problemer med at overholde kvælstofdioxid (NO₂) grænseværdien som årsmiddelværdi i de større danske byer og især i København. DMU har derfor for Miljøstyrelsen gennemført en vurdering af en bredere vifte af mulige tiltag i form af et virkemiddelkatalog for nedbringelse af NO₂ forureningen. Der er vurderet 9 forskellige virkemidler af forskellige hovedtyper: teknologikrav i tilknytning til miljøzoner, trafikplanlægning samt økonomiske virkemidler. Luftkvalitetsberegninger er gennemført for 138 trafikerede gadestrækninger i København og Frederiksberg ved brug af gadeluftkvalitetsmodellen Operational Street Pollution Model (OSPM) og bybaggrundsmodellen Urban Background Model (UBM).

1. Baggrund

Baggrunden for en ny miljøprojektrapport fra Miljøstyrelsen er problemer med at overholde kvælstofdioxid (NO₂) grænseværdien for luftkvalitet i de større danske byer og især i København som årsmiddelværdi (Jensen & Ketzel, 2009). Der er ikke problemer med at overholde grænseværdien for spidsværdier på 200 µg/m³, som kun må overskrides i 18 timer om året. NO₂ er sundhedsskadeligt, og er derfor reguleret gennem grænseværdier for stoffets koncentration i udeluft, som er fastsat i EUs luftkvalitetsdirektiv (2008/50/EC). Grænseværdien for årsmiddelværdi er 40 µg/m³ i 2010. Indtil 2010 må denne værdi godt overskrides, men kun inden for en såkaldt tolerancemargin. Tolerancemarginen er et procenttillæg til grænseværdien, og toleranceværdien nedsættes ligeligt hvert år indtil grænseværdien er nået på skæringsdatoen i 2010. Miljøstyrelsen har ansvaret for at grænseværdierne inkl. tolerancemargin overholdes, og luftkvalitetsdirektivet foreskriver at relevante tiltag skal sikre dette.

Luftkvalitetsdirektivet giver imidlertid også medlemsstaterne mulighed for at udsætte overholdelse af NO₂ grænseværdierne til maksimalt januar 2015. Første betingelse for at EU Kommission kan imødekomme en ansøgning om udsættelse er, at der allerede er gennemført passende, hensigtsmæssige og relevante danske reguleringstiltag for at overholde grænseværdierne i 2010, og den anden betingelse er, at der fremlægges realistiske og pålidelige forudsigelser over, hvordan koncentrationerne vil falde, således at grænseværdierne overholdes med den nye deadline i januar 2015, samt at der udarbejdes en luftkvalitetsplan, som specificer hvilke tiltag, der vil blive gennemført for at overholde den nye deadline.

Målinger af NO₂ koncentrationen på udvalgte stationer i det Landsdækkende Måleprogram viser, at grænseværdien plus tolerancemarginen er overskredet. Modelberegninger viser ligeledes, at en lang række trafikerede bygader i København vil overskride grænseværdien i 2010. Tidligere gennemførte modelberegninger af forskellige trafikale tiltag og NO_x katalysatorer på tunge køretøjer tyder ikke på, at det med de hidtil foreslåede virkemidler er muligt at sikre, at NO₂ grænseværdien for luftkvalitet kan overholdes på stærkt trafikerede gader i København. På denne baggrund er det derfor nødvendigt at vurdere en bredere vifte af mulige tiltag i form af et virkemiddelkatalog for nedbringelse af NO₂ forureningen.

2. Metode

I byer kan luftforureningen beskrives som bybaggrunds- og gadeforurening. Bybaggrundsforureningen er de koncentrationsniveauer, som råder over byens tage eller i baggårde. Udover de atmosfæriske forhold afhænger byens baggrundsforurening også af bidrag fra samtlige kilder i byen og af den regionale forurening, der kommer til byen udefra (fjerntransport). Bybaggrunds-niveauer bestemmes af emissionstætheden (dvs. den generelle trafiktætheden i byen og trafikens emissionsfaktorer) og byens geografiske udstrækning. Gadeforureningen er bestemt af trafikemissionen i gaden, gadekonfigurationen, bybaggrundsforureningen og de atmosfæriske forhold.

Koncentrationsberegningerne er derfor gennemført i to trin med luftkvalitetsmodeller udviklet af Danmark Miljøundersøgelser. Først er der gennemført bybaggrundsregninger med Urban Background Model (UBM) (Berkowicz, 2000a). Trafikdata og dermed emissionsdata omfatter et 1x1 km² gitternet, som dækker hele Hovedstadsområdet. Trafikdata stammer fra DMU's vej- og trafikdatabase, som er en GIS-baseret database med Kort- og Matrikstyrelsens KORT10 vejnet med påført trafikdata for alle veje fra en række forskellige trafikilder (Jensen et al., 2009a). Som regional baggrund for NO₂ koncentrationen i Hovedstadsområdet er anvendt målinger fra Keldsnor på Langeland. Det regionale niveau er ca. 10 µg/m³ og er i beregningerne antaget at være konstant i perioden frem til 2020, da det har ligget på dette niveau i perioden 1995-2006. Derefter er der gennemført gadeberegninger med Operational Street Pollution Model (OSPM), som også inkluderer bybaggrundsbidraget (Berkowicz, 2000b). Beskrivelse af trafikens emission er baseret på den europæiske emissionsmodel COPERT IV, som er integreret i WinOSPM (EEA, 2007). Beregningerne er gennemført for 138 trafikerede gadestrækninger i København og Frederiksberg. Der er tale om gadeslugter med høj tæt randbebyggelse, hvor der potentielt kan være problemer med overholdelse af NO₂ grænseværdierne. Årsdøgntrafikken på gaderne er fra 15.000 - 65.000 biler pr. dag. Beregninger er gennemført for 2005, samt 2010, 2015 og 2020. Afledte effekter er også vurderet for partikler (PM₁₀ – partikler under 10 mikrometer – og PM_{2,5} – partikler under 2,5 mikrometer i diameter) og for kuldioxid emission (CO₂). Partikler er sundhedsskadelige og CO₂ er en drivhusgas, der bidrager til klimaforandringer. Disse afledte effekter er kvantificeret i miljøprojekttrappen (Jensen & Ketznel, 2009), og er ikke afrapporteret her.

3. Beskrivelse af virkemidler

Der er opstillet 9 virkemidler af forskellig type: teknologikrav i tilknytning til miljøzoner (Tabel 1), trafikplanlægning (Tabel 2) og økonomiske virkemidler (Tabel 3).

Tabel 1. Teknologiske virkemidler

Virkemiddel	Tiltag	Type	Forudsætninger	Forventet NO _x effekt
1. NO _x reducerende udstyr på tunge køretøjer	NO _x reducerende udstyr (SCR) på alle diesel lastbiler og busser med Euro ≤3 (men ikke på Euro 4 og 5)	Teknologikrav i miljøzone	80% reduktion af NO _x emission for SCR udstyr.	Betydelig effekt, da tunge køretøjer andrager relativt meget af NO _x
2. Tysk miljøzoneregulering i Kbh.	Fra 1.1.2010. Alle benzinkøretøjer mindst Euro 1 og alle dieselskøretøjer mindst Euro 4 (eller Euro 3 med filter)	Teknologikrav i miljøzone	Benzin person- og varebiler uden katalysator (< Euro 1) fjernes og forudsættes at være nyeste Euro klasse i de pågældende år (2010, 2015, 2020). Diesel person- og varebiler samt tunge køretøjer ≤ Euro 2 forudsættes at erstattes af nyeste Euroklasse i pågældende år, og Euro 3 antages alle at have partikelfilter.	Betydelig effekt, da reguleringen retter sig mod både lette og tunge køretøjer og kræver køretøjer med lave NO _x emissionsfaktorer
3. Forbud mod benzin personbiler uden katalysator	Forbud mod alle før Euro 1 benzin personbiler	Teknologikrav i miljøzone	Vil fjerne omkring 4,8% benzinpersonbiler i 2010, 1,8% i 2015 og 1,1% i 2020. Erstatte med nyeste Euro klasse i pågældende år.	Mindre effekt da personbiler uden katalysator kun udgør en lille del af trafikken, men dog med høje emissionsfaktorer.
4. Fremskyndelse af nye emissionsnormer for diesel person- og varebiler	Fremskyndelse således at diesel person- og varebiler forudsættes 2 år tidligere for Euro 6	Teknologikrav i miljøzone	Bilparken i 2015 beregnes som var det 2017 og 2020 som 2022, således at Euro 6 andrager en større andel end ellers. Dieselandelen er uændret for 2015 og 2020.	Køretøjer med lave emissionsfaktorer fremskydes og vil bidrage med en vis NO _x emission

Tabel 2. Trafikplanlægning

Virkemiddel	Tiltag	Virkemiddel type	Forudsætninger	Forventet NOx effekt
6. Introduktion af miljøbiler som elbiler, brintbiler og hybrid mv.	Retter sig primært mod nyregistrerede personbiler men også varebiler kan tænkes at erstattes af miljøbiler.	Teknologi/ Planlægning	Akkumulerede nyregistrerede personbiler i 2010 er 6% af personbilbestanden, 26% i 2015 og 45% i 2020, hvilket udgør max potential, hvis det forudsættes at alle nyregistrerede personbiler fra 2010 er biler uden NOx emission fx elbiler. Elbiler forudsættes at erstatte nyeste Euro klasse, som helt reduceres svarende til nysalg. Da emissionsreduktionen er usikker beregnes der ikke med luftkvalitetsmodeller for alle gader, men emissionsreduktionspotentialet illustreres afhængig af penetreringsgrad.	NOx fra personbiler (benzin og diesel) udgør ca. 45-50% af total NOx. Effekten er helt afhængig af forudsætninger for penetrering af miljøbiler. Den er max 6% heraf i 2010, 26% i 2015 og 45% i 2020 svarende til en samlet NOx reduktion på max 3% i 2010, 12% i 2015 og 20% i 2020.
7. Overflytning af biltrafik til kollektiv trafik	Forbedring og udbygning af den kollektive trafik i kombination med begrænsning af biltrafikken	Planlægning	Sammenhængen mellem persontrafik og NOx illustreres, så man kan få en ide om, hvor meget overflytning fra privat til kollektiv transport kan betyde for NOx emissionen. Nogle af forbedringerne vil kræve mere bustrafik. I vurderingerne tages der hensyn til gennemsnitsbelægning i bil og bus. Der er gennemregnet nogle eksempler, som illustrerer betydningen for NOx emissionen af overflytning fra biltrafik til kollektiv transport.	NOx emission fra personbiler (benzin og diesel) udgør ca. 45-50% af total NOx. Overflytning vil kræve mere bustrafik, og afhænger af forudsætninger herfor.
8. Lokal trafikplanlægning		Planlægning	Forudsætninger som i <i>Jensen et al.</i> (2005).	
	Havnetunnel	Planlægning	Omfordeler trafikken, så den kører udenom bymidten i København. Reduktion af biltrafikken på i centrale gader.	Minimal effekt pga. lille trafikreduktion (1%).
	Metro City Ring	Planlægning	Reducerer bustrafikken i den indre dele af København. Begrænset effekt på personbiler og ingen effekt på vare- og lastbiler	Minimal effekt pga. lille trafikreduktion (1%).
	Pendlerplaner	Planlægning	Begrænser pendling med personbil - altså reduktion af personbiltrafik i myldretiden.	Minimal effekt pga. lille trafikreduktion (1%).
	Trafiksanerung	Planlægning	Forhindrer gennemkørsel i de centrale dele af København og medvirker til at forskønne og fredeliggøre bymidten. Skal ses i sammenhæng med en havnetunnel.	Minimal effekt pga. lille trafikreduktion (1%).

Tabel 3. Økonomiske virkemidler

Virkemiddel	Tiltag	Virkemiddel type	Forudsætninger	Forventet NOx effekt
9. Betalingsring	Betalingsring i København med ens priser for samme køretøjsgruppe	Økonomisk	Forudsætninger som i <i>Jensen et al. (2005)</i> . Luftkvalitetsberegninger for 138 gader i Kbh. Begrænser særligt personbiltrafikken over ringen. Ingen effekt på interne ture indenfor ringen. Mindre effekt på vare- og lastbiltrafik. Effekten er helt afhængig af taksten. I scenariet er der forudsat 30 kr. pr tur for personbiler, 60 kr. for varebiler og 120 kr. for lastbiler. Der er tale om høje takster, da formålet er at opnå betydelige trafikale effekter.	En vis effekt pga. en vis trafikreduktion (ca. 13%).
10. Vejafgifter	Kørselsafgifter (som del af nationalt virkemiddel)	Økonomisk	Forudsætninger som i <i>Jensen et al. (2005)</i> . Luftkvalitetsberegninger for 138 gader i Kbh. Begrænser særligt personbiltrafikken i hele det område afgifterne dækker. Mindre effekt på vare – og lastbiltrafik. Effekten er helt afhængig af takststrukturen. I scenariet er der forudsat 1,5 kr. pr km for personbiler, 3,0 kr. pr km for varebiler, og 6 kr. pr km for lastbiler i den tætte del af København og en tredjedel udenfor. Forudsætningerne svarer til dem opsat i tidligere forskningsprojekt på DTU.	En vis effekt pga. en vis trafikreduktion. (ca. 12%)

4. Forudsætninger

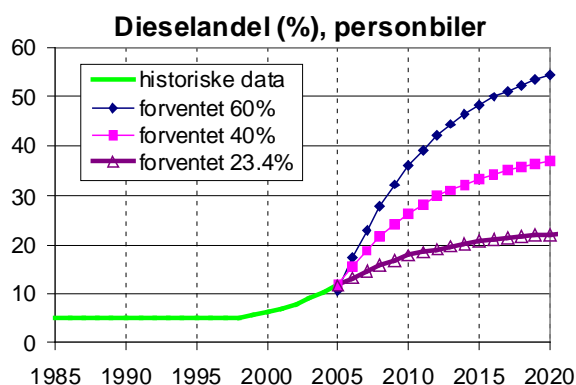
I forbindelse med modelberegninger af NO₂ koncentrationen i 2010, 2015 og 2020 bygger disse på en lang række forudsætninger om udviklingen i trafikken og emissionen.

Trafikarbejdet for UBM beregningerne på 1km x 1km gitternettet er fremskrevet ud fra de samme forudsætninger som i Infrastrukturkommissionens trafikfremskrivning til 2030 (DTF 2007). Det økonomiske lavvækstscenarie med høj oliepris og lav vækst i bilparken og trafikarbejdet er valgt. Væksten i trafikarbejdet 2006-2030 i lavvækstscenariet er 1,41 % årligt i gennemsnit. Det dækker over nulvækst for busser, en vækst på 2,15 % for lastbiler og 1,38 % for både varebiler og personbiler. Med disse forudsætninger stiger trafikken med 15% fra 2010 til 2020. For de 138 gader, hvor der gennemføres OSPM beregninger, er disse gader opdelt i regionale og øvrige veje, og de regionale veje har samme fremskrivning som den historiske trafikstigning i Københavns Kommune (Københavns Kommune, 2006), mens øvrige veje forudsættes at have konstant trafikniveau. Stigningen i årsdøgntrafikken er 24% fra 2010 til 2020 for de regionale veje. Standardiserede køretøjssammensætning afhængig af vejtype er anvendt (Jensen et al., 2009a).

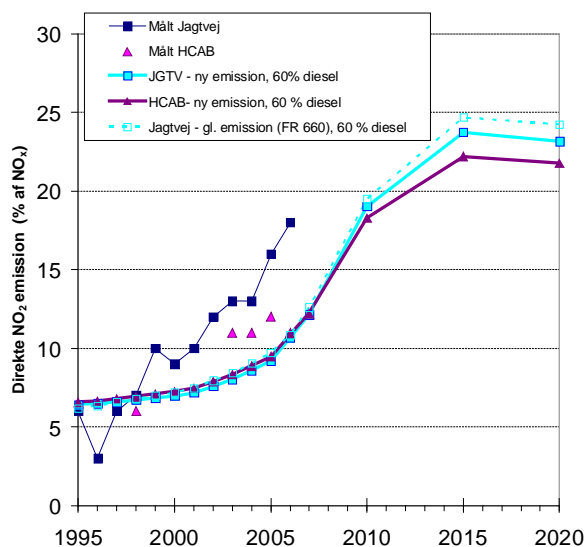
Udover trafikniveauet og køretøjssammensætningen er udviklingen i køretøjsparken og dennes emissionsforhold også afgørende forudsætninger i modelberegningerne. Udviklingen i køretøjsparken er baseret på oplysninger fra DMU's nationale emissionsfremskrivninger, hvor bilparken beskrives ved forskellige euronormklasser for forskellige køretøjstyper og brændstoftyper med tilhørende emissionsfaktorer. Emissionsfaktorerne er baseret på COPERT IV, og for NO_x er de generelt faldende for bilparken pga. løbende udskiftning af bilparken og løbende introduktion af skærpede emissionsnormer.

Andelen af dieselkøretøjer er vigtig, da disse har højere NO_x emission og højere direkte NO₂ emission end tilsvarende benzinkøretøjer. I nærværende analyse er der regnet med en stabilisering på omkring 60 % i 2030 for diesel personbiler (Figur 1) og omkring 90% for varebiler.

NO₂ og kvælstofmonoxid (NO) udsendes ved forbrændingsprocesser, og benævnes under ét som NO_x. Når udstødningsgassen spredes i atmosfæren, sker der hurtigt en reaktion, hvor ozon i luften reagerer med NO og danner NO₂. Af den NO_x emission, som bilerne udsender, er omkring 15% direkte emitteret NO₂, mens 85% er NO. Andelen af direkte emitteret NO₂ har været stigende de seneste år, og forventes at stige indtil 2015 for derefter at falde lidt (Figur 2). Direkte NO₂ andele er implementeret i WinOSPM's emissionsmodul for relevante køretøjstyper.



Figur 1 Forventet stigning i andelen af dieselpersonbiler. I nærværende analyse er der regnet med en stabilisering på omkring 60 % i 2030. I tidligere undersøgelser blev dieselandelen skønnet til 23% (Jensen et al. 2005), og til 40% eller 60% i (Palmgren et al. 2007; Ketzal & Palmgren 2008).



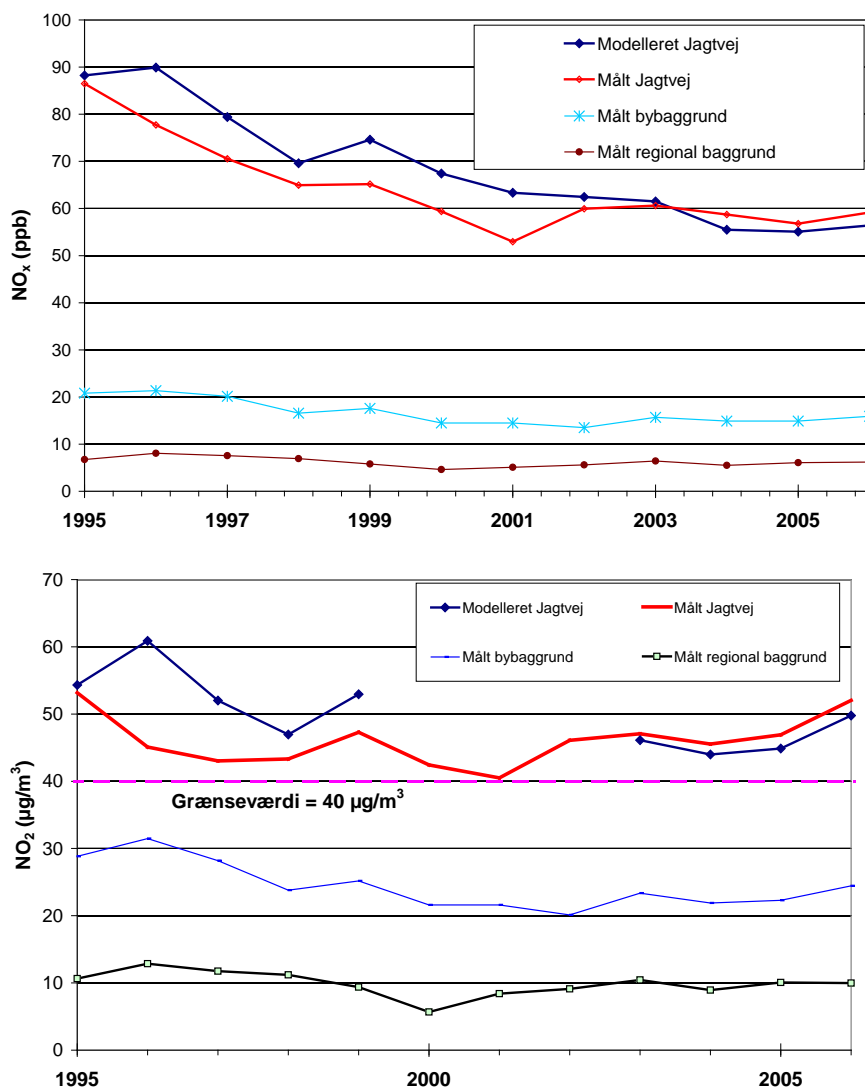
Figur 2 Sammenligning af udviklingen af direkte NO₂ andele for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København under forudsætning af en mætning på 60% dieselpersonbiler i 2030. Den stiplede lyseblå kurve viser de tidligere forudsætninger i Ketzal & Palmgren (2008). Målte værdier fremkommet ved analyse af måldata er også vist. Forskel mellem målt og modelleret kan skyldes at forudsætningerne om bilparkens sammensætning ikke er præcist som på disse to gader.

5. Resultater

Med henblik på at validere modellerne har vi foretaget sammenligninger mellem eksisterende målinger på Jagtvej i København og beregninger udført med OSPM, målte data for bybaggrund (H.C. Ørsted Institutet i København), og forudsætninger om emissionsfaktorer, herunder flere dieselpersonbiler og tilhørende højere direkte NO₂ andele, som beskrevet ovenfor (Figur 3). Trafikmængden er antaget at være konstant i hele perioden. Der er generel god overensstemmelse mellem modelberegninger og målingerne, dog med en tendens til at modellen overvurderer både NO_x og NO₂ indtil omkring 2003, hvorefter den undervurderer lidt. Dette kan skyldes ændringer i trafikken, fx stigning i trafikken eller ændringer i køretøjssammensætning. Der foreligger dog ikke tilstrækkeligt gode trafikdata for hele perioden, som kan belyse dette nærmere. For at vurdere kvaliteten af UBM modellen og det anvendte input data er der foretaget koncentrationsberegninger i 2005 for den gittercelle som H.C. Ørsted Institutet ligger i, og disse resultater er sammenlignet med koncentrationsmålinger foretaget på taget af H.C. Ørsted Institutet. UBM modellen underestimerer målte koncentrationer med omkring 6%, og der korrigeres med denne procentsats i 2010, 2015 og 2020.

I Tabel 4 er vist en kildeopgørelse for NO_x emissionen H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København, hvor der foreligger detaljerede trafikdata. Det ses, at den tunge trafik på hverdage bidrager

med 22-31% af NO_x emissionen, men kun 3-4% af trafikken, taxier omkring 7% af NO_x emissionen og 8-9% af trafikken, varebiler med omkring 14-18% af NO_x emissionen og 10-12% af trafikken, og personbiler med omkring 48-54% af NO_x emissionen, men med 77% af trafikken. I forhold til trafikens andel er NO_x emissionen derfor relativt stor for dieseldrevne køretøjer og særligt høj for de tunge køretøjer. I weekenden vil den tunge trafik bidrage relativt mindre, da der er relativt mindre tung trafik i weekenden. Samlet set andrager dieselskøretøjer omkring 80-85% af NO_x emissionen.

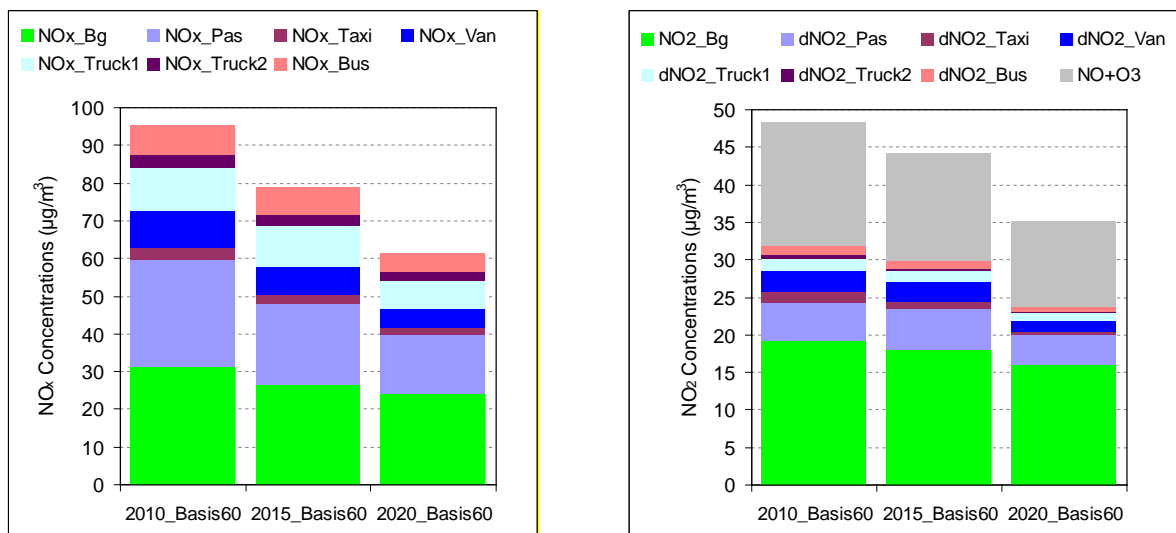


Figur 3 Sammenligning mellem modelberegninger og målinger på Jagtvej i København. Grafen øverst er NO_x koncentrationen og grafen nederst er NO₂ koncentrationen. I modelberegningerne anvendes målt bybaggrund på H.C. Ørsted Institutet.

Tabel 4 NO_x emission og køretøjsfordeling på hverdage i 2010 i basisscenarie

Køretøjskategori:	HC Andersens Boulevard		Jagtvej	
	NO _x emission (%)	Køretøjer (%)	NO _x emission (%)	Køretøjer (%)
Personbiler	48.0	77.3	53.5	76.9
Taxier	7.2	8.9	6.8	7.9
Varebiler	13.6	10.1	17.9	12.1
Lastbiler under 32 t	14.2	2.1	10.7	1.8
Lastbiler over 32 t	4.8	0.4	2.0	0.2
Busser	12.1	1.2	9.0	1.1
I alt	100.0	100.0	100.0	100.0

I Figur 4 er for H.C. Andersens Boulevard vist beregnede koncentrationsbidrag fra de forskellige køretøjskategorier for basisscenerierne 2010, 2015 og 2020. Koncentrationsniveauet består af bybaggrunds niveauet og af gadebidraget. Gadebidraget består af to dele dels NO₂ som følge af direkte emitteret NO₂ og dels et kemisk bidrag, som opstår ved oxidation af emitteret NO til NO₂. For NO₂ kan vi ikke tilskrive den del af NO₂, der dannes ved oxidation af NO med O₃ til bestemte køretøjskategorier. Sidstnævnte er vist som den grå del af søjlerne i figurens højre side. I 2010 udgør bybaggrundsbidraget omkring en tredjedel mens det i 2020 udgør ca. halvdelen af NO₂ gadekoncentrationen, og for gadebidraget er knap halvdelen det direkte NO₂ bidrag og den anden halvdel det kemiske bidrag fra oxidation af emitteret NO til NO₂. Koncentrationen af NO_x og NO₂ falder, fordi NO_x emissionen reduceres over tid, og regionale NO₂ og O₃ koncentrationer er forudsat at være det samme.



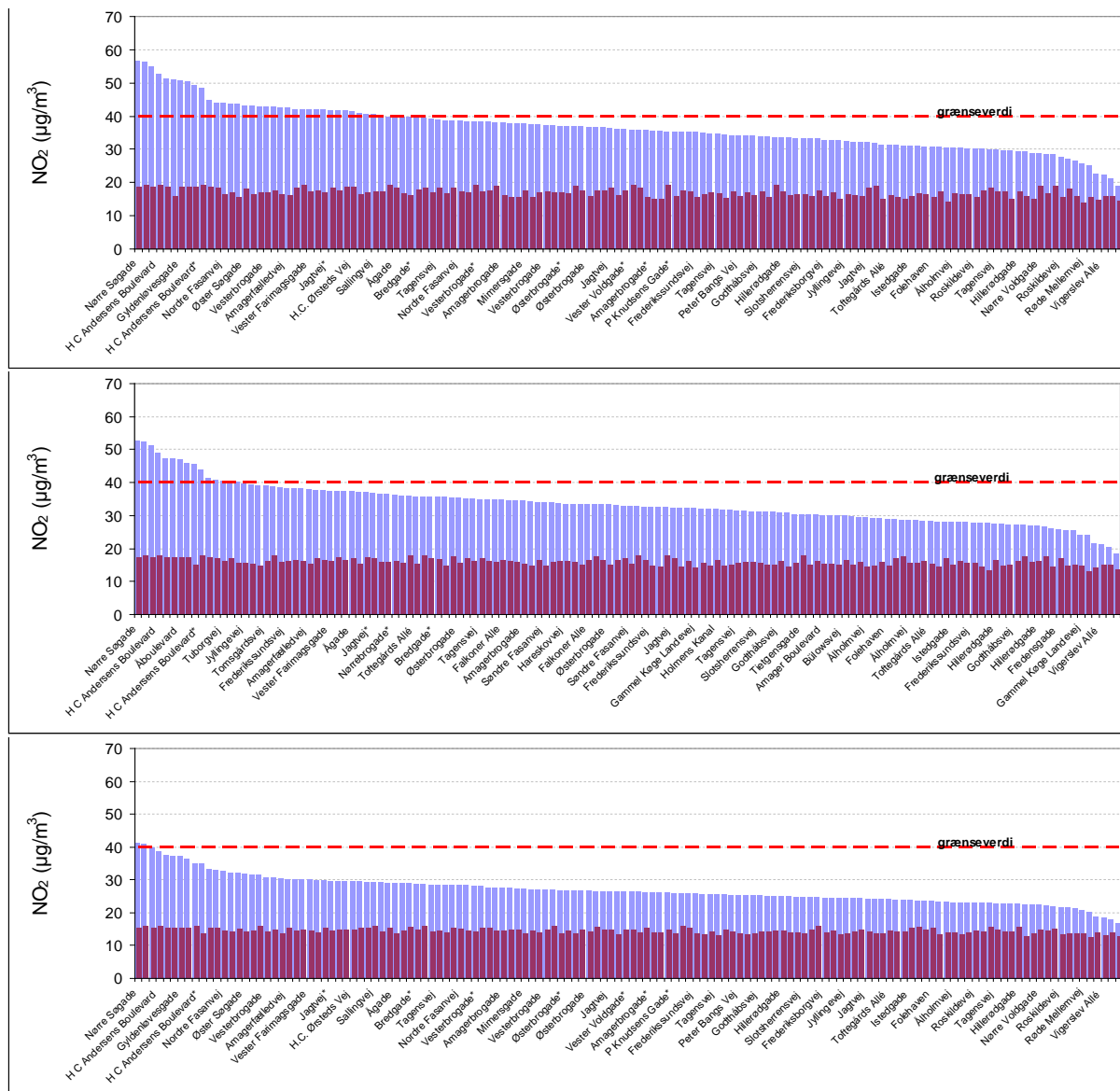
Figur 4 Beregnede årsgennemsnit af koncentrationerne af NO_x (venstre) og NO₂ (højre) på H.C. Andersens Boulevard i København i de forskellige basisscenerier. Bybaggrund (i grønt) er beregnede værdier for de enkelte scenarier og år. Den øvrige del af NO_x er opdelt efter køretøjskategorier. Tilsvarende er opdeling lavet for den direkte emitterede NO₂. Den del af NO₂ (i gråt), der dannes ved oxidation med O₃ kan ikke opdeles efter køretøjskategorier. NO_x er i NO₂-enheder. Pas=Personbil, Taxi=Taxi, Van=Varebiler, Truck_1=Lastbiler<=32t, Truck_2=Lastbiler >32t, Buses=Busser, Bg=Baggrund, d=direkte.

Luftkvalitetsberegninger for de 138 gader for 2010, 2015 og 2020 for NO₂ i referencesituationen er vist i Figur 5. Beregningerne er gennemført for begge sider af en gade og den højeste værdi er vist. Figurene viser samtidig bidragene for regional baggrund, bybaggrund og gadebidrag. Antallet af strækninger, som overskrider grænseværdien i 2010 er omkring 35. Flere af overskridelserne ligger på samme hovedstrøg (samme vejnavn). I 2015 er det omkring 15 og i 2020 omkring 2. For NO₂ i 2010 udgør regional baggrund omkring 10 µg/m³ og bybaggrundsbidraget omkring 7-10 µg/m³. Bybaggrunds niveauerne ligger således mellem 17 og 20 µg/m³. Gadebidraget udgør fra nogle få mikrogram til omkring 38 µg. Gadeniveauerne ligger således mellem omkring 20 til 57 µg/m³.

Luftkvalitetsniveauet bestemmes ikke kun af trafikniveauet på vejstrækningerne, da der ikke er nogen entydig sammenhæng mellem trafikmængder og koncentrationsniveauer. Gadens fysiske udformning i form af bygninger, gadebredde mv. spiller også en væsentlig rolle.

Figur 6 viser den geografiske lokalisering af de vejstrækninger, hvor der er overskridelser af grænseværdien for NO₂. Det ses, at overskridelserne for NO₂ i 2010 især er koncentreret i den centrale del af København og det østlige af Frederiksberg, men der er også en række overskridelse på de store indfaldsveje. Overskridelserne er således udbredte og ikke afgrænset til nogle få geografiske steder.

Da der kun er inkluderet et udvalg af beregningspunkter for de trafikerede hovedstrækninger kan det ikke udelukkes, at der er endnu flere overskridelser på delstrækninger (fra kryds til kryds) på disse hovedstrækninger.



Figur 5 NO₂ koncentrationen i basisscenarierne. Øverst 2010, midterst 2015, og nederst 2020. For gader markeret med "*" er køretøjsfordelingen baseret på manuelle trafiktællinger. Ikke alle 138 vejnavne kan vises.



Figur 6 Overskridelser af NO₂ grænseværdien på 40 µg/m³ for årsmiddel i 2010 (venstre), 2015 (midtest), og 2020 (højre).

Antallet af overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2010 er vist i Tabel 5 for hvert virkemiddel sammen med en rangordning af de forskellige virkemidler ud fra antal overskridelser, NO_x emission i miljøzonen, og den direkte NO₂ emission i miljøzonen. Miljøzonen er her den geografiske udstrækning af Københavns og Frederiksberg kommuner. I rangordningen af virkemidlerne betyder ”1” færrest overskridelser, laveste NO_x emission eller laveste direkte NO₂ emission. Uden nye tiltag men inkl. de eksisterende krav til miljøzonen (basisscenariet) vurderes der at være 35 overskridelser i 2010. Ingen af de undersøgte virkemidler vil løse problemet med overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2010, men en række virkemidler vil reducere antallet af overskridelser væsentligt, og en kombination af virkemidler ville givetvis kunne reducere antallet af overskridelser til nul. De to mest lovende virkemidler er de krav som indeholdes i de tyske miljøzoneregler samt virkemidlet med SCR NO_x katalysatorer på tunge køretøjer.

6. Diskussion

Modelberegningerne er sammenlignet med målte koncentrationer i både bybaggrund og gader, hvor det har været muligt. Overensstemmelsen er god de seneste år med en afvigelse på nogle få µg/m³ for NO₂ som årsgennemsnit.

Alle scenarier er baseret på meteorologiske data fra 2005, som er et gennemsnitsår. Der vil naturligvis være variationer fra år til år som følger af variationer i vejret, hvilket også vil føre til at de beregnede NO₂ koncentrationer de kommende år vil afvige fra de beregnede. Tidligere undersøgelser (Jensen et al., 2005) har vist, at disse afvigelser har været af størrelsesordenen 5-10 %; nogle år vil der derfor være lidt lavere og andre år vil der være lidt højere NO₂ koncentrationer.

Den regionale NO₂ og O₃ forurening er forudsat at være konstant i perioden 2010-2020, da de seneste 10 år har vist et stort set konstant niveau. Fortsat reduktion af NO_x emission på europæisk plan kan forvente at reducere det regionale bidrag lidt i perioden, mens det er mere usikkert hvordan O₃ vil udvikle sig. 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 IMO-krav. 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).

I emissionsberegningerne er anvendt ikrafttrædelsesår for de forskellige emissionsnormer, som de optræder i EU direktiverne. Året afspejler starten på det første registreringsår for en given euronorm. I praksis kan køretøjer være typegodkendt flere år før registreringsåret. Det betyder, at mange køretøjer der overholder en given euronorm typisk introduceres på bilmarkedet måske flere år før seneste registreringsår. Pga. manglende data herom er det ikke muligt at tage dette i betragtning, hvilket betyder, at emissionsberegningerne overvurderer emissionen lidt i et givent år, da der ikke tages hensyn til at nye biler introduceres tidligere end registreringsåret.

Alle anvendte prognosedata frem til 2020, fx andelen af dieselpersonbiler, direkte NO₂ andele, fremtidige emissionsfaktorer, trafikstigning mv. er naturligvis behæftet med usikkerhed, som følge af økonomi, beskatning, teknologi, lovgivning m.v. Disse usikkerheder på prognoserne vil blive afspejlet i afvigelsen mellem den faktiske NO₂-forurening de kommende år og resultaterne af de gennemførte beregninger for de pågældende år.

Tabel 5 Oversigt over virkemidler og deres effekt på antal overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2010 samt rangordning efter antal overskridelser, NO_x emission og direkte NO₂ emission

Virkemiddel	Tiltag	Virkemiddel type	Antal overskridelser af NO ₂ grænseværdien i 2010	Rangordning efter antal overskridelser af NO ₂ grænseværdien i 2010	Rangordning efter NO _x emission i miljøzone	Rangordning efter direkte NO ₂ emission i miljøzone
Tyske miljøzonerregler i København	Fra 1.1.2010. Alle benzinkøretøjer mindst Euro 1 og alle dieselskøretøjer mindst Euro 4 (eller Euro 3 med partikelfilter)	Teknologikrav i miljøzone	10	1-2	1	2
NO _x reducerende udstyr på tunge køretøjer	NO _x reducerende udstyr (SCR) på alle diesel lastbiler og busser med Euro ≤3 (Euro 4 og 5 undtaget)	Teknologikrav i miljøzone	10	1-2	2	1
Betalingsring	Betalingsring i København	Økonomisk	25	3	4	5
Vejafgifter	Kørselsafgifter (road pricing som del af nationalt virkemiddel)	Økonomisk	28	4	5	6
Fremskyndelse af nye emissionsnormer for diesel person- og varebiler	Fremskyndelse således at diesel person- og varebiler forudsættes 2 år tidligere for Euro 6	Teknologikrav i miljøzone	10 (i 2015)	5	7	4
Forbud mod benzin personbiler uden katalysator	Forbud mod alle før Euro 1 benzin personbiler	Teknologikrav i miljøzone	30	6	3	8
Introduktion af miljøbiler som elbiler, brintbiler og hybrid mv.	Retter sig primært mod nyregistrerede personbiler som antages at erstattes af miljøbiler uden lokal emission (elbiler).	Teknologi/ Planlægning	33	7	6	3
Lokal trafikplanlægning	Havnetunnel, Metro City Ring, Pendlerplaner, Trafiksanering i Kbh.	Planlægning	44	8	8	7
Overflytning af biltrafik til kollektiv trafik	Forbedring og udbygning af den kollektive trafik i kombination med begrænsning af biltrafikken	Planlægning	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Der er i særdeleshed usikkerhed omkring det faktiske antal overskridelser af grænseværdien for NO₂ på 40 µg/m³. Dette skyldes, at der her er tale om en on-off grænse, hvor beregnede

luftkvalitetsniveauer for de 138 gader i København sammenholdes med denne grænse. Ændringer i få mikrogram omkring denne grænse vil således resultere i enten flere eller færre overskridelser. De hidtidige beregninger illustrerer dette, da de er gennemført med lidt forskellige forudsætninger. I den første vurdering skønnes antallet i 2010 af NO₂ overskridelser at være ca. 80 ud af 136 gader i København (Jensen et al. 2005). I denne rapport var dieselandelen for personbiler sat til ca. 23% og den direkte NO₂ andel til gennemsnitligt 15%. I en senere rapport var tallet ca. 115 stadigvæk med en dieselandel på ca. 23%, men med bedre og mere opdateret direkte NO₂ andele, men af forenklingshensyn blev det antaget at bybaggrundsforureningen var konstant (Ketzal & Palmgren 2007). I en senere rapport herom blev antallet af overskridelser revurderet til ca. 90 og ca. 93 med hhv. en dieselandel på 40% og 60%, og med mere detaljerede oplysninger om direkte NO₂ andele på de enkelte køretøjskategorier, idet bybaggrundsforureningen ikke længere blev antaget at være konstant (Ketzal & Palmgren 2008). I nærværende analyse er antallet af overskridelser i 2010 vurderet til 35 baseret på de seneste oplysninger om direkte NO₂ andele, en dieselandel på 60%, og detaljeret behandling af bybaggrundsforureningen.

I nærværende analyse er basisscenariet inkl. miljøzonekravene om partikelfiltre på tunge køretøjer (<= Euro 3) i 2010. En tidligere analyse har vist at i situationen uden miljøzonen er det beregnet at 65 gader ud af de 138 gader overskrider NO₂ grænseværdien i 2010, og miljøzonekravene reducerer dette til 35 i 2010. Miljøzonen yder således et væsentligt bidrag til reduktion af antallet af overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2010. Selvom om miljøzonens primære formål er at reducere partikelemissionen fra de tunge køretøjer, er der effekt på NO_x emissionen, idet der i implementeringen af miljøzonekravene forventes at en del transportører udskifter ældre tungekøretøjer, som skulle have eftermonteret partikelfiltre, med nye køretøjer, som har væsentligt lavere NO_x emissioner. Miljøzonekravene forventes implementeret således, at Euro 3 lastbiler får partikelfiltre, men Euro 0-2 erstattes af nye Euro 5 lastbiler. For busser forudsættes, at Euro 0-1 og 50% af Euro 2 erstattes af Euro 5, 50% af Euro 2 får partikelfiltre og at Euro 3 får partikelfiltre (Jensen et al., 2009b).

Der er ikke i dette projekt foretaget detaljerede beregninger for andre byer end København. Det er imidlertid muligt at foretage et groft skøn over niveauet i de øvrige 3 største byer (Odense, Århus og Aalborg) ud fra bybaggrundsmålinger under Det Landsdækkende Måleprogram (LMP) og data om trafikthed (antal køretøjer pr. døgn) og gadekonfiguration (gadebredde og hushøjder). Bybaggrundskoncentrationen for NO₂ ligger generelt 3-7 µg/m³ lavere end i København, selvom der kan være variationer fra år til år. På Jagtvej i København med knapt 30.000 biler i døgnet er der ca. 42 µg/m³ i basisscenariet i 2010. Hvis denne gade lå i en af de øvrige byer ville grænseværdien for NO₂ på 40 µg/m³ ikke være overskredet eller kun lige være overskredet på grund af det lavere bybaggrundsniveau. Ud fra DMU's trafikdatabase over alle veje i Danmark vurderes det endvidere, at der ikke er gader med over 30.000 biler, som samtidig er lukkede gaderum, hvilket indikerer at der ikke kan forventes udbredte overskridelser i de andre byer. Der er udført modelberegninger for Aalborg som del af den integrerede overvågning af luftforureningen (Kemp et al. 2008). De viser, at 3 ud af 32 udvalgte trafikerede gader i Aalborg overskred grænseværdien plus tolerancemarginen i 2007. Der er ikke gennemført beregninger for 2010. Det kan derfor ikke udelukkes, at der i de andre større byer vil forekomme enkelte overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2010.

7. Konklusion

Vejtrafikken er hovedårsagen til kvælstofdioxid (NO₂) problemet i byens trafikerede gader, og NO₂ koncentrationerne har de senere år været næsten konstant på trods af, at NO_x emissionen fra trafikken er faldende pga. løbende skærpelse af emissionskravene til biler.

Kun en mindre del af den NO₂, der findes i luften, er udsendt direkte fra kilderne som NO₂. Hovedparten dannes i luften ud fra NO (kvælstofmonoxid) emission fra trafikken, som reagerer med luftens O₃ (ozon) under dannelse af NO₂. Ozonniveauerne har de senere år været næsten konstante, og forventes ikke at ændres i de kommende år, men kan falde lidt på længere sigt som følge af NO_x og kulbrinte emissionsreduktioner i Europa.

NO₂ har tidligere udgjort omkring 5-10% af den direkte emission af NO_x (NO₂ og NO) fra trafikken, men denne procentdel har været stærkt stigende de seneste år. Dette har medvirket til at NO₂ koncentrationen ikke reduceres. Den stigende direkte emission af NO₂ skyldes især den stærkt stigende andel af persondieselbiler og til dels varebiler, der har en oxidativ katalysator. Endvidere øger visse partikelfiltre den direkte NO₂ emission, fordi de indeholder stoffer som oxiderer NO til NO₂. De fleste busser i det centrale København har allerede partikelfiltre og en væsentlig andel af de tunge køretøjer i København vil få partikelfiltre for at kunne opfylde emissionskravene i miljøzonen i København. I 2010 vurderes den direkte NO₂ andel at være omkring 18% stigende til 24% i 2015 for at falde lidt til 23% i 2020.

Hvad angår NO_x emissionen i trafikerede gader i København i 2010, bidrager den tunge trafik (lastbiler og busser) med omkring 30-35% af NO_x emissionen men kun med 3-4% af trafikken, taxier med omkring 7% af NO_x emissionen og 8-9% af trafikken, varebiler med omkring 14-18% af NO_x emissionen og 10-12% af trafikken, og personbiler med omkring 48-54% af NO_x emissionen, men med 77% af trafikken. Samlet set bidrager dieselskøretøjer således med omkring 80-85% af NO_x emissionen.

Beregningerne viser, at i basisscenarierne falder NO_x emissionen fra 2010 til 2020 uden nye tiltag, men som følge af strengere Euronormer. Den direkte NO₂ emission stiger derimod fra 2005 til et maksimum i 2015, for igen at falde frem til 2020 til et niveau lidt højere end 2005 niveauet. Den direkte NO₂ andel er stigende gennem hele perioden frem til 2015, hvorefter den falder lidt til 2020 for basisscenarierne. Basisscenariet indregner miljøzonekravene til tunge køretøjer, som i 2010 kræver at tunge køretøjer med Euro 3 eller ældre har partikelfiltre. Miljøzonekravene forventes implementeret således, at Euro 3 lastbiler får partikelfiltre, men Euro 0-2 erstattes af nye Euro 5 lastbiler. For busser forudsættes, at Euro 0-1 og 50% af Euro 2 erstattes af Euro 5, 50% af Euro 2 får partikelfiltre og at Euro 3 får partikelfiltre. Miljøzonekravene vil bidrage til at reducere både partikelemissionen og NO_x emissionen.

Antallet af gadestrækninger i København, som overskrider grænseværdien i 2010 er omkring 35. I 2015 er det 15 og i 2020 2. Problemet med overskridelser af grænseværdierne vil derfor løse "sig selv" inden for en tiårig periode, men vil kræve nye tiltag for at kunne overholdes i 2010.

Alle de undersøgte virkemidler vil i 2020 resultere i ingen eller meget få overskridelse. I 2020 vil det primært være effekten af den renere bilpark, som slår igennem, mens der i 2010 og 2015 ses en tydelig effekt af de forskellige virkemidler.

Ingen af de undersøgte virkemidler vil løse problemet med overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2010, men en række virkemidler vil reducere antallet af overskridelser væsentligt, og en kombination af virkemidler ville givetvis kunne reducere antallet af overskridelser til nul. De to mest lovende virkemidler er de krav som indeholdes i de tyske miljøzoneregler samt virkemidlet med SCR NO_x katalysatorer på tunge køretøjer.

Taksigelse

Projektet er udført for og finansieret af Miljøstyrelsen.

Referencer

- Berkowicz, R. (2000a): A simple Model for Urban Background Pollution, *Environmental Monitoring and Assessment*, 65, 259-267.
- Berkowicz, R. (2000b): OSPM - A parameterised street pollution model, *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 65, Issue 1/2, pp. 323-331.
- Directive 2008/50/EC of the European parliament and the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. 11.6.2008.
- DTF (2007): Langsigtet fremskrivning af vejtrafik. Identifikation af fremtidige problemområder. Baggrundsrapport. Marts 2007. 50 s.
- EEA (2007): EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook – 2007. 23 August 2007.

- Jensen, S.S., Ketznel, M., Berkowicz, R., Palmgren, F., Høj, J. & Krawack, S. (2005): Virkemidler til overholdelse af NO₂ grænseværdier for luftkvalitet i København. Københavns Kommune. 98 s.
- Jensen, S.S., Hvidberg, M., Petersen, J., Storm, L., Stausgaard, L., Hertel, O. (2009a): GIS-baseret national vej- og trafikdatabase 1960-2005. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, Roskilde. 73 s. Faglig rapport nr. 678, 2009. <http://www2.dmu.dk/Pub/FR678.pdf>
- Jensen, S.S., Ketznel, M., Wählén, P., Palmgren, F., Berkowicz, R. (2009b): 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. (2009): NO₂ virkemiddelkatalog - virkemidler til begrænsning af overskridelser af NO₂ grænseværdien for luftkvalitet i større byer. Miljøprojekt. Miljøstyrelsen. 72 s. (In press).
- Kemp, K., Ellermann, T., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M. & Jensen, S.S. (2008): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2007. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 47 pp. -NERI Technical Report No. 681. The report is available in electronic format (pdf) at NERI's website <http://www.dmu.dk/Pub/FR681.pdf>
- Ketznel, M. & Palmgren, F. (2008): Opdatering af vurdering af anvendelse af SCR-katalysatorer på tunge køretøjer som virkemiddel til nedbringelse af NO₂ forureningen i de største danske byer. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. Faglig rapport fra DMU nr. 660. <http://www.dmu.dk/Pub/FR660.pdf>. Udarbejdet for Miljøstyrelsen.
- 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., Berkowicz, R., Ketznel, M. & Winter, M. 2007: Vurdering af anvendelse af SCR-katalysatorer på tunge køretøjer som virkemiddel til nedbringelse af NO₂ forureningen i de største danske byer. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 39s. Faglig rapport fra DMU nr. 620. <http://www.dmu.dk/Pub/FR620.pdf>. Udarbejdet for Miljøstyrelsen.