

NO₂ virkemiddelkatalog

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

Steen Solvang Jensen og Matthias Ketzel

Danmarks Miljøundersøgelser
Århus Universitet

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 INDLEDNING	17
2 NO₂ SOM LUFTFORURENING	21
2.1 NO ₂ SOM LUFTFORURENING I BYOMRÅDER	21
2.2 GRÆNSEVÆRDIER FOR NO ₂	23
2.3 EURO EMISSIONSNORMER FOR KØRETØJER	24
3 NO₂ VIRKEMIDDELKATALOG	27
3.1 TEKNOLOGIKRAV I TILKNYTNING TIL MILJØZONER	27
3.2 TRAFIKPLANLÆGNING	30
3.3 ØKONOMISKE VIRKEMIDLER	32
4 METODE FOR MODELBEREGNINGER	35
4.1 BYBAGGRUNDSBEREGNINGER	35
4.2 GADEBEREGNINGER	38
5 BASISSCENARIER 2010-2020	45
5.1 NO ₂ I BYBAGGRUND	45
5.2 NO ₂ I GADENIVEAU	45
5.3 KILDEOPGØRELSE FOR NO _x	49
6 EFFEKTIVURDERING AF NO₂ VIRKEMIDDELKATALOG	53
6.1 DIREKTE NO ₂ ANDEL OG NO _x EMISSION	53
6.2 NO ₂ KONCENTRATION PÅ GADE- OG BYBAGGRUNDSNIVEAU	55
6.3 TOTALE NO _x OG DIREKTE NO ₂ EMISSIONSREDUKTIONER	53
6.4 VURDERING AF DE ENKELTE VIRKEMIDLER	54
6.5 RANGORDNING AF DE ENKELTE VIRKEMIDLER	59
6.6 NO ₂ I ANDRE BYER	60
6.7 USIKKERHEDER	61
6.8 INDIKATIV STATISTISK MODEL	62
7 EFFEKTIVURDERING FOR ØVRIGE FORURENINGER	65
7.1 PM ₁₀ OG PM _{2.5} KONCENTRATIONER	65
7.2 SAMLEDE PM _{2.5} OG PM ₁₀ EMISSIONER I MILJØZONEN	67
7.3 CO ₂ EMISSIONER I MILJØZONEN	68
8 LITTERATURLISTE	71

Bilag A NO_x emissionsfaktorer for de forskellige køretøjskategorier
Bilag B Total emission af forskellige forureninger i miljøzonen i København i de forskellige scenarier
Bilag C NO_x koncentration i basisscenerierne 2010, 2015 og 2020
Bilag D Partikeludstødning og ikke-udstødning samt Euronormer.

Forord

Baggrunden for denne rapport er problemer med at overholde kvælstofdioxid (NO_2) grænseværdien for luftkvalitet i de større danske byer og især i København. Grænseværdien er som årsmiddelværdi $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2010. Indtil 2010 må denne værdi godt overskrides, men kun inden for en såkaldt tolerancemargin. Målinger af NO_2 koncentrationen på udvalgte stationer i det Landsdækkende Måleprogram viser imidlertid, 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 NO_2 -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 NO_2 forureningen.

Formålet med denne miljøprojektrapport er således at opstille og konsekvensvurdere en bred vifte af mulige tiltag i form af et virkemiddelkatalog for nedbringelse af NO_2 forureningen i større danske byer.

Tiltagene i virkemiddelkataloget konsekvensvurderes med hensyn til NO_x emission og deres effekt i forhold til overholdelse af NO_2 grænseværdier for luftkvalitet med udgangspunkt i København og med brug af detaljerede modelberegninger for 2010, 2015 og 2020. Effekten for andre større byer er skønnet med udgangspunkt i København.

Afledte effekter er også summarisk vurderet. Virkemidlernes samlede NO_x reduktion er estimeret og sat i forhold til det nationale NO_x emissionsloft, som Danmark er internationalt forpligtet til at overholde (National Emission Ceilings - NEC direktivet). Virkemidlernes effekter for CO_2 emission er også vurderet. Endvidere er virkemidlernes effekt på partikelemissionen og luftkvalitet (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ og antal partikler) vurderet.

Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) under Århus Universitet har udarbejdet rapporten for Miljøstyrelsen.

Projektet er blevet ledet af en styregruppe bestående af:

Katja Asmussen, Miljøstyrelsen (formand)

Charlotte von Hessberg, Miljøstyrelsen

Christian Lange Fogh, Miljøstyrelsen

Sigine Krarup, Miljøstyrelsen

Jan Tjeerd Boom, Miljøstyrelsen

Birte Busch Thomsen, Center for Miljø, Københavns Kommune

Steen Solvang Jensen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet

Matthias Ketzler, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet

Projektperioden var 9. juni til 11. februar 2009.

Sammenfatning og konklusioner

1.1 Baggrund og formål

Baggrunden for denne rapport er problemer med at overholde kvælstofdioxid (NO_2) grænseværdien for luftkvalitet i de større danske byer og især i København. NO_2 er sundhedsskadeligt. Grænseværdien er som årsmiddelværdi $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2010. Indtil 2010 må denne værdi godt overskrides, men kun inden for en såkaldt tolerancemargin. Målinger af NO_2 koncentrationen på udvalgte stationer i det Landsdækkende Måleprogram viser imidlertid, 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 NO_2 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 NO_2 forureningen.

Formålet med denne miljøprojektrapport er således at opstille og konsekvensvurdere en bred vifte af mulige tiltag i form af et virkemiddelkatalog for nedbringelse af NO_2 forureningen i større danske byer.

1.2 Undersøgelsen

Koncentrationsberegningerne er gennemført i to trin med luftkvalitetsmodeller udviklet af Danmark Miljøundersøgelser. Først er der gennemført bybaggrundsregninger, som repræsenterer den generelle forurening i København. Derefter er der gennemført gadeberegninger, som inkluderer bybaggrundsbidraget. 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 NO_2 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 summarisk vurderet for partikler (PM_{10} – partikler under 10 mikrometer – og $\text{PM}_{2.5}$ – partikler under 2,5 mikrometer i diameter) og for kuldioxid emission (CO_2). Partikler er sundhedsskadelige og CO_2 er en drivhusgas, der bidrager til klimaforandringer.

Der opstilles 9 virkemidler af forskellig type: teknologikrav i tilknytning til miljøzoner, trafikplanlægning og økonomiske virkemidler.

1.3 Hovedkonklusioner

Vejtrafikken er hovedårsagen til kvælstofdioxid (NO_2) problemet i byens trafikerede gader, og NO_2 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 det 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 emissionsreduktioner i Europa.

NO₂ har tidligere udgjort omkring 5-10% af den direkte emission af NOx (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 persondieselmotorer 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 NOx emissionen i trafikerede gader i København I 2010, bidrager den tunge trafik (lastbiler og busser) med omkring 30-35% af NOx emissionen men kun med 3-4% af trafikken, taxier med omkring 7% af NOx emissionen og 8-9% af trafikken, varebiler med omkring 14-18% af NOx emissionen og 10-12% af trafikken, og personbiler med omkring 48-54% af NOx emissionen, men med 77% af trafikken. Samlet set bidrager dieselmotorer således med omkring 80-85% af NOx emissionen.

Beregningerne viser, at i basisscenerierne falder NOx 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 basisscenerierne. Basissceneriet 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 NOx 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 miljøzonerregler samt virkemidlet med SCR NO_x katalysatorer på tunge køretøjer.

1.4 Projektresultater

Projektets resultater er opsummeret i nedenstående tabel.

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 Kbh.	Fra 1.1.2010. Alle benzinkøretøjer mindst Euro 1 og alle dieselskøretøjer mindst Euro 4 (eller Euro 3 med filter)	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, Penderplaner, 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.

Antallet af overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2010 er vist 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 defineret som 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. I tabellen er virkemidlerne opstillet efter deres effekt på antallet af overskridelser af grænseværdien. Uden tiltag (basisscenariet) vurderes der at være 35 overskridelser i 2010.

1.4.1 NO₂ i andre byer

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 trafiktæthed (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 den 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.

Summary and conclusions

1.5 Background and objectives

The EU limit value for nitrogen dioxide (NO₂) is exceeded in larger Danish cities and particularly in Copenhagen. NO₂ poses a health risk. The limit value defined as an annual mean of 40 µg/m³ is not to be exceeded in 2010. Until 2010 it must not exceed the sum of 40 µg/m³ and a margin of tolerance. However, measurements of NO₂ at certain street stations in the Danish Air Quality Monitoring Programme show that the limit value plus the margin of tolerance is exceeded. Model calculations also show that a number of busy streets in Copenhagen will exceed the limit value in 2010. Impact assessment studies that have evaluated the effect of various traffic measures and of NOx catalysts on heavy duty vehicles indicate that these measures are not sufficient to ensure compliance with the NO₂ limit value in busy streets in Copenhagen in 2010. Therefore, it is necessary to evaluate a broader range of measures.

The objective of the present report is to define a catalogue of NO₂ abatement measures and to assess the effectiveness of these measures to reduce NO₂ pollution in larger Danish cities.

1.6 The study

Air quality calculations have been carried out in a two stage process using air quality models developed by the National Environmental Research Institute. Firstly, urban background concentrations have been calculated to represent the general air pollution levels in Copenhagen. The urban background concentrations form a part of the input for calculations of street concentrations. Secondly, air quality calculations are carried for 138 busy streets in the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg. These streets represent street canyon conditions with Average Daily Traffic of 15,000 - 60,000 where potential NO₂ compliance problems may occur. Calculations are carried out for the reference year of 2005, and for the scenario years 2010, 2015 and 2020.

Associated impacts on related pollutants have also been assessed but in a less detailed way compared to NO₂. Related air pollutants include particles (PM₁₀ – particles less than 10 micron – and PM_{2.5} – particles less than 2.5 micron) and carbon dioxide emissions (CO₂). Particles pose a health risk and CO₂ is a greenhouse gas that contributes to climate change.

9 abatement measures of different types are defined: technology measures in relation to environment zones, traffic management, and economic measures.

1.7 Main conclusions

Road traffic is the main contributor to elevated NO₂ concentrations in busy urban streets.

In recent years, NO₂ concentrations have remained almost constant despite the fact that NOx emissions have been reduced due to the continuous

tightening of emission standards (also offsetting increases in urban traffic). Only a minor part of NO₂ in ambient air has been emitted directly from the sources in the form of NO₂. Most NO₂ is formed in the atmosphere due to reactions between ozone (O₃) in the air and nitrogen monoxide (NO) emissions from vehicles. During the past decade, average ozone concentrations have been more or less constant in Denmark despite reductions in precursor emissions in Europe. In the coming years, ozone concentrations are not assumed to decrease. However, ozone concentrations are expected to decrease in the longer term due to reductions in precursor emissions in Europe.

A decade ago, the directly emitted NO₂ fraction of NO_x (NO₂ and NO) emission from vehicles was about 5-10%. This fraction has increased in recent years and is expected to be about 15-20% in 2010. This is one of the main reasons why NO₂ concentrations have not decreased in urban street despite substantial NO_x emission reductions. The increase in directly emitted NO₂ is mainly due to the increase in the number of mainly diesel-powered passenger cars, but also of diesel-powered vans, that are equipped with oxidative catalysts that oxidise NO to NO₂. Furthermore, certain particle filters also increase the directly emitted NO₂. Most buses in central Copenhagen are equipped with particle filters, and more heavy-duty vehicles are expected to become equipped with particle filters to meet the emission requirements of the environmental zone in Copenhagen. The direct NO₂ fraction is estimated to be 18% in 2010, increasing to 24% in 2015, and then decreasing slightly to 23% in 2020.

NO_x source apportionment for selected busy streets in Copenhagen in 2010 show that heavy-duty vehicles (trucks and buses) account for about 30-35% of NO_x emissions but only 3-4% of traffic, taxis for about 7% of NO_x emissions and about 8-9% of traffic, vans for 14-18% of NO_x emissions and 10-12% of traffic, and passenger cars for about 48-54% of NO_x emissions and 77% of traffic. In total, diesel-powered vehicles contribute about 80-85% of NO_x emissions.

Model calculations show that NO_x emissions decrease in the reference scenario from 2010 to 2020 without new abatement measures due to introduction of vehicles that comply with more and more stringent emissions standards. On the other hand, the total amount of directly emitted NO₂ in the reference scenarios increase from 2005 to a maximum in 2015 and then decrease towards 2020 to a level slightly higher than in 2005. The NO₂ fraction shows a similar pattern. The reference scenario includes the requirements of the environmental zone in Copenhagen, requiring all heavy-duty vehicles of Euro 3 or older to be equipped with particle filter. Heavy-duty trucks that comply with Euro 3 are expected to be equipped with particle filters whereas Euro 0-2 are expected to be substituted with new Euro 5 trucks. For buses, Euro 0-1 and 50% of Euro 2 are substituted with Euro 5, 50% of Euro 2 and Euro 3 are equipped with particle filters. The requirements will reduce particle emissions as well as NO_x emissions.

The number of exceedances of the NO₂ limit value in 2010 is about 35 in busy streets in Copenhagen, 15 in 2015 and 2 in 2020. These calculations indicate that the problem of NO₂ exceedances will be solved within a decade, but that new abatement measures are needed to achieve compliance in 2010. Consequently, all the evaluated abatement measures have none or very few exceedances in 2020, as the impact of introduction of more stringent emission

standards is dominant. On the other hand, there is profound impact of the different abatement measures in 2010 and 2015.

None of the evaluated abatement measures will solve the problem of exceedances of the NO₂ limit value in 2010, but a number of abatement measures will reduce the number of exceedances significantly, and a combination of abatement measures are likely to be able to eliminate all exceedances. The two most promising abatement measures are the requirements of the German environmental zones, and SCR NO_x catalysts on heavy-duty vehicles.

1.8 Project results

The results of the project are summarized in the table below.

The number of exceedances of the NO₂ limit value in 2010 is shown for the different abatement measures. The table further indicates the ranked performance of the measures, ranked by the number of exceedances, NO_x emissions in the environmental zone, and the directly emitted NO₂ emissions in the environmental zone. The environmental zone is here defined as the geographical extent of the municipalities of Copenhagen and Frederiksberg.

Policy measures	Content	Type of measure	Number of exceedances of NO ₂ limit value in 2010	List of priority according to number of exceedances of NO ₂ limit value in 2010	List of priority according to NOx emissions in environmental zone	List of priority according to directly emitted NO ₂ emissions in environmental zone
German environmental zone regulation in Copenhagen	From January 1, 2010 all petrol-powered vehicles must be at least Euro 1 and all diesel-powered vehicles must be at least Euro 4 (or Euro 3 with particle filter).	Emission requirements in environmental zone	10	1-2	1	2
NOx reduction equipment on heavy-duty vehicles	NOx reduction equipment (Selective Catalytic Reduction) on all diesel-powered trucks and buses with Euro 3 or older.	Emission requirements in environmental zone	10	1-2	2	1
Toll ring	Toll ring in Copenhagen	Economic	25	3	4	5
Road pricing	Road pricing as part of national measure	Economic	28	4	5	6
Accelerated introduction of new emission standards for diesel-powered passenger cars and vans	Accelerated introduction of new emission standards for diesel-powered passenger cars and vans (two years earlier for Euro 6)	Emission requirements in environmental zone	10 (i 2015)	5	7	4
Ban on petrol-powered passenger cars without catalytic converters	Ban on all pre-Euro 1 petrol-powered passenger cars.	Emission requirements in environmental zone	30	6	3	8
Introduction of low emission vehicles like electric cars, hydrogen fuel cell cars, hybrid cars etc.	Newly registered passenger cars are assumed to be low emission vehicles with no local emissions (electric cars).	Technology/ Planning	33	7	6	3
Traffic management	Harbour tunnel, Metro City Ring, commuter plans, traffic calming in Copenhagen.	Planning	44	8	8	7
Transfer car transportation to public transportation	Upgrade and expand public transportation in combination with restrictions on car transportation.	Planning	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

1.8.1 NO₂ in other Danish cities

It is not within the scope of the present project to carry out detailed model calculations for other cities than Copenhagen. However, it is possible to make a rough assessment of the NO₂ pollution in the three other large cities in

Denmark (Odense, Århus and Aalborg) based on urban background concentrations measured within the Danish Air Quality Monitoring Programme, combined with data about traffic flows (Average Daily Traffic (ADT)) and street configuration conditions (street widths and building heights). The urban background concentrations are generally 3-7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lower in these cities compared to Copenhagen with variations from year to year. A busy street in Copenhagen (Jagtvej) with 30,000 ADT has a modelled NO_2 concentration of 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in 2010. If this street were located in one of the other three cities the limit value of 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ would not – or just marginally – be exceeded, due to the lower urban background levels. Based on information from NERI's national road and traffic data base that includes all road segments in Denmark, there are no urban street canyons in these three cities that have ADT above 30,000. It is therefore likely that there will be only few exceedances of the NO_2 limit value in 2010 in these three cities.

Within the frame of the Danish Air Quality Monitoring Programme, as part of the integrated monitoring strategy, air quality model calculations with OSPM were performed for the town of Aalborg (Kemp et al. 2008). Urban background concentrations were not modelled in details, but just assumed to be identical to that measured at an urban background monitor station. These calculations show that 3 out of 32 selected busy street canyons in Aalborg exceeded the limit value plus margin of tolerance in 2007. Model calculations were not performed for 2010. Based on the above rough assessment and the calculations for Aalborg it cannot be ruled out that few exceedances of the NO_2 limit value may occur in 2010.

1 Indledning

Baggrund

Vejtrafikken er hovedårsagen til kvælstofdioxid (NO_2) problemet i byens trafikerede gader. NO_2 koncentrationerne har de senere år været næsten konstante på trods af, at NO_x emissionen fra trafikken er faldende pga. løbende skærpelse af emissionskravene. Der er problemer med at overholde grænseværdien for NO_2 , som skærpes til $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2010. Kun en mindre del af det NO_2 , der findes i luften, er udsendt direkte fra kilderne som NO_2 . Hovedparten dannes i luften ud fra NO (kvælstofmonoxid) emission fra trafikken, som reagerer med luftens O_3 (ozon) under dannelse af NO_2 . Luftens ozonniveauer har derfor væsentlig indflydelse på NO_2 niveauerne. Ozonniveauerne i Danmark er bestemt af emissionen af NO_x og HC (kulbrinter) i hele Europa, som leder til dannelse af ozon i atmosfæren. 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 emissionsreduktioner i Europa. NO_2 har tidligere udgjort omkring 5-10% af den direkte emission af NO_x (NO_2 og NO) fra trafikken, men denne procentdel har været stigende de seneste år. Dette har medvirket til at NO_2 koncentrationen ikke reduceres. Den stigende direkte emission af NO_2 skyldes især den stærkt stigende andel af persondieselmotorer, der har en oxidativ katalysator, og i mindre grad at visse partikelfiltre øger den direkte NO_2 emission. En væsentlig andel af de tunge køretøjer i København vil få partikelfiltre for at kunne opfylde emissionskravene i miljøzonen i København.

På baggrund af målinger i Det Landsdækkende Måleprogram tilbage i 2002 og 2003, som viste at NO_2 niveauerne for årsmiddelværdi i København lå over grænseværdien plus tolerancemargin, iværksatte Miljøstyrelsen en analyse af disse forhøjede værdier (Berkowicz et al. 2004). Analysen viste, at hverken ændringer i de meteorologiske forhold eller ozonniveauer (ozon omdanner emitteret NO til NO_2) alene kunne forklare de forhøjede niveauer. Der blev peget på at en medvirkende årsag til de forhøjede NO_2 niveauer kunne være det stigende antal nye diesel personbiler som med oxiderende katalysatorer udsender mere direkte NO_2 . Prognoseberegninger for 2010 for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København viste, at der forsat kunne forventes overskridelse af NO_2 grænseværdien på H.C. Andersens Boulevard i 2010.

På denne baggrund iværksatte Københavns Kommune i samarbejde med Miljøstyrelsen en kortlægning af de forventede NO_2 koncentrationer i 2010 i 138 trafikerede gaderum i København. Undersøgelsen viste at hovedparten af de undersøgte gaderum kunne forventes at overskride NO_2 grænseværdien i 2010 (Jensen et al. 2005). Den trafikale effekt og effekten for NO_2 koncentrationen af forskellige virkemidler blev undersøgt. Virkemidlerne omfattede kommunale trafikplanlægningstiltag, betalingsring/road pricing samt NO_x katalysatorer på tunge køretøjer i tilknytning til miljøzonen. Modelberegninger viste, at der ville være begrænset effekt på antallet af NO_2 overskridelser i 2010 af de kommunale trafikplanlægningstiltag, en vis effekt af

betalingsring/road pricing, og en væsentlig effekt at NO_x katalysatorer på tunge køretøjer, dog uden at alle overskridelser kunne undgås.

Miljøstyrelsen igangsatte efterfølgende en mere detaljeret undersøgelse af effekten af NO_x katalysatorer på tunge køretøjer (SCR-katalysatorer, Selective Catalytic Reduction), som kraftigt reducerer både NO_x og direkte NO₂ emission. Den første rapport herom inddrog bedre viden om udviklingen i bestanden af dieslbiler og den direkte emission af NO₂ for forskellige køretøjsgrupper, ligesom prognoserne blev udvidet til også at omfatte 2015 og 2020 (Palmgren et al. 2007). Den anden rapport herom er en opdatering af den første rapport, idet der siden den første var kommet væsentligt nyere og mere detaljeret information om udviklingen i bestanden af dieslbiler og direkte NO₂ emission (Ketzel & Palmgren 2008). De tidligere tilgængelige værdier for det direkte udslip af NO₂ var usikre, og der forventes nu en større andel af dieselpersonbiler end forudsat i de første beregninger. Tidligere forventedes et nyvognssalg af personbiler på ca. 25 % dieselpersonbiler. De nye beregninger i Ketzel & Palmgren (2008) er baseret på nye og bedre data for det direkte udslip af NO₂, og et nyvognssalg af personbiler på 40 % og 60 % dieselpersonbiler, hvilket i dag anses for mere realistisk. De nye beregninger er - ligesom i den første vurdering - gennemført på de 138 mest trafikerede gadestrækninger i København. De giver et mindre antal overskridelser af NO₂ grænseværdien på 40 µg/m³ end tidligere, som følge af en forventet lavere direkte NO₂ emission fra nogle køretøjsgrupper. I modsat retning virker den større andel af dieselpersonbiler. Der forventes iht. Ketzel & Palmgren (2008) at være ca. 90 overskridelser af NO₂ grænseværdier på de 138 gadestrækninger i basisscenariet i 2010, faldende til meget få overskridelser i 2020 uden nye tiltag. SCR-katalysatorerne vil reducere antal overskridelser meget, hvis de får stor udbredelse. SCR-katalysatorerne på alle tunge køretøjer vil reducere antal overskridelser af grænseværdien for NO₂ med omkring 40% i 2010, men der vil således fortsat være mange gadestrækninger, hvor grænseværdierne for NO₂ vil være overskredet i 2010 selv ved krav om SCR-katalysatorer på tunge køretøjer. Beregningerne er behæftet med en usikkerhed som følge af usikkerheden i prognoserne for bilparken og anvendelse af nye teknologier.

Formål og aktiviteter

Som det fremgår af de senest gennemførte modelberegninger for København forventes der at være ca. 90 overskridelser ud af 138 stærkt trafikerede gadestrækninger i 2010, faldende til 1 i 2020 uden nye tiltag. SCR-katalysatorerne på alle tunge køretøjer vil reducere antal overskridelser af grænseværdien for NO₂ med omkring 40% i 2010, men der vil således fortsat være mange gadestrækninger, hvor grænseværdierne for NO₂ vil være overskredet i 2010 selv ved krav om SCR-katalysatorer på tunge køretøjer, som en del af miljøzonen i København. Grænseværdien plus tolerancemargin har også været overskredet de seneste år i København på målestationerne på H.C. Andersens Boulevard og enkelte år for Jagtvej. På denne baggrund er det derfor fundet nødvendigt at vurdere en bredere vifte af mulige tiltag i form af et virkemiddelkatalog for nedbringelse af NO₂ forureningen.

Formålet med denne miljøprojektrapport er således at opstille og konsekvensvurdere en bred vifte af mulige tiltag i form af et virkemiddelkatalog for nedbringelse af NO₂ forureningen i større danske byer. Der vurderes 9 virkemidler som omfatter teknologikrav, trafikplanlægning, og økonomiske virkemidler.

Basisscenariet indregner miljøzonekravene til tunge køretøjer, som i 2010 kræver at tunge køretøjer med Euro 3 eller ældre har partikelfilter. Miljøzonekravene forventes implementeret således, at Euro 3 lastbiler får partikelfilter, men at 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 partikelfilter og at Euro 3 får partikelfilter. Miljøzonekravene vil bidrage til at reducere både partikelemissionen og NO_x emissionen.

Virkemiddel	Tiltag	Virkemiddel type
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
Tyske miljøzonerregler i Kbh.	Fra 1.1.2010. Alle benzinkøretøjer mindst Euro 1 og alle dieselkøretøjer mindst Euro 4 (eller Euro 3 med filter)	Teknologikrav i miljøzone
Forbud mod benzin personbiler uden katalysator	Forbud mod alle før Euro 1 benzin personbiler	Teknologikrav i miljøzone
Fremskyndelse af nye emissions-normer for diesel person- og varebiler	Fremskyndelse således at diesel person- og varebiler forudsættes 2 år tidligere for Euro 6	Teknologikrav i miljøzone
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
Overflytning af biltrafik til kollektiv trafik	Forbedring og udbygning af den kollektive trafik i kombination med begrænsning af biltrafikken	Planlægning
Lokal trafikplanlægning	Havnetunnel, Metro City Ring, Pendlerplaner, Trafiksanerung i Kbh.	Planlægning
Betalingsring med ens priser for samme køretøjsgruppe	Betalingsring i København	Økonomisk
Vejafgifter	Kørselsafgifter (road pricing som del af nationalt virkemiddel)	Økonomisk

Tiltagene i virkemiddelkataloget konsekvensvurderes med hensyn til NO_x emission og deres effekt i forhold til overholdelse af NO₂ grænseværdier for luftkvalitet med udgangspunkt i København og med brug af detaljerede modelberegninger for 2010, 2015 og 2020. Effekten for andre større byer er skønnet med udgangspunkt i København.

Afledte effekter er også summarisk vurderet. Virkemidlernes samlede NO_x reduktion er estimeret og sat i forhold til det nationale NO_x emissionsloft, som Danmark er internationalt forpligtet til at overholde (National Emission Ceilings - NEC direktivet). Virkemidlernes effekter for CO₂ emission er også vurderet. Endvidere er virkemidlernes effekt på partikelemissionen og luftkvalitet (PM₁₀, PM_{2.5}) vurderet.

Kapitel 2 i rapporten beskriver NO₂ som luftforurening, og redegør for sammenhængen mellem emission af NO_x og koncentrationen af NO₂ i et gaderum. Grænseværdier for NO₂ i udeluften beskrives, ligesom de grænseværdier, der gælder for emission fra køretøjer (Euronormer).

Kapitel 3 beskriver detaljeret de enkelte virkemidler og forudsætningerne herfor i NO₂ virkemiddelkataloget.

Kapitel 4 redegør for de luftkvalitetsmodeller, som er anvendt til at effektvurdere virkemidlerne. Bybaggrundsmodellen (UBM) og gadeluftkvalitetsmodellen (OSPM) samt dataforudsætninger beskrives.

Kapitel 5 beskriver basisscenerierne i 2010, 2015 og 2020 som følge af allerede vedtagne skærpede emissionsnormer, og den forventede trafikstigning, dvs. uden nye tiltag.

Kapitel 6 redegør for effekten af de enkelte virkemidler på bybaggrundskoncentrationen og gadekoncentrationen i 138 gader i København, og sammenholder dette med NO_2 grænseværdien, så spørgsmålet om overskridelser af grænseværdien belyses.

Kapitel 7 beskriver summarisk de afledte effekter af virkemidlerne for den samlede emission af NO_x og CO_2 . Virkemidlernes effekt på luftkvaliteten af PM_{10} og $\text{PM}_{2,5}$ er også kortfattet beskrevet.

2 NO₂ som luftforurening

Dette kapitel beskriver NO₂ som luftforurening og redegør for grænseværdierne for NO₂. Det giver en baggrund for at forstå problemstillingen omkring overskridelser af grænseværdien for NO₂ samt effekten af forskellige tiltag.

2.1 NO₂ som Luftforurening i byområder

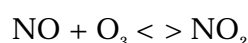
Luftforurening i en by afhænger af mange forskellige kildetyper. Overordnet taler man om høje og lave kilder. Høje kilder er fx industri, kraftværker og fjernvarmeværker med høje skorstene. Forureningen fra de høje kilder giver kun sjældent anledning til høje koncentrationer ved jordoverfladen, fordi den effektivt fortyndes. Forureningen fra høje kilder bidrager således mest til den regionale luftforurening og bybaggrundsforureningen i byen.

Anderledes forholder det sig med lave kilder som fx biltrafik, lokal boligopvarmning og mindre industrivirksomheder, hvor afkastene ikke fortyndes så effektivt, og befolkningen opholder sig tæt ved kildens udslip. Inden for de seneste tiår er luftforurening fra trafik blevet den altdominerende kilde til luftforurening i byer.

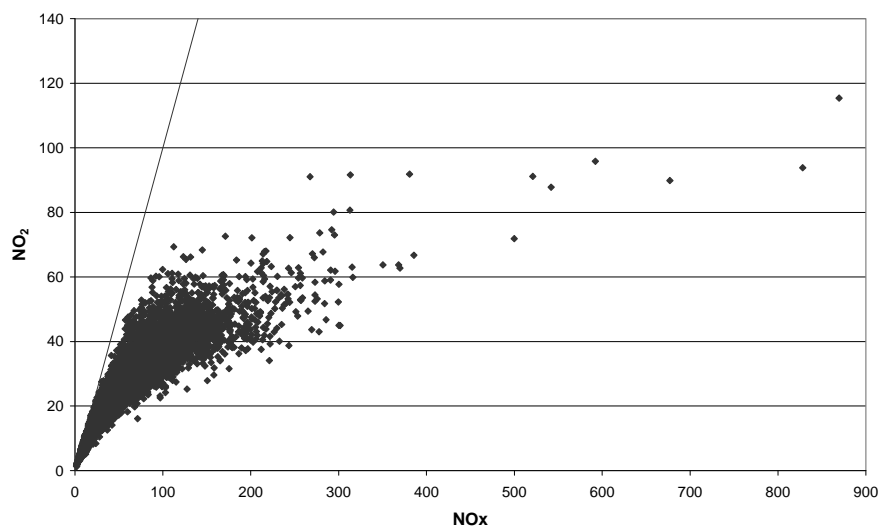
I byer opdeles luftforureningen i bybaggrunds- og gadeforurening. Bybaggrundsforureningen er de koncentrationsniveauer, som råder over byens tage eller i baggårde. Udover de atmosfæriske forhold afhænger byens baggrundsforurening også af bidrag fra samtlige kilder i byen og af den regionale forurening, der kommer til byen udefra (fjerntransport). Bybaggrunds-niveauer bestemmes af emissionstætheden (dvs. den generelle trafik-tæthed i byen) og byens geografiske udstrækning. I 2010 er et typisk NO₂ årsmiddelniveau for regional baggrund omkring 10 µg/m³, for bybaggrund omkring 20 µg/m³ (dvs. byens trafik bidrager med omkring 10 µg/m³), og mens gadeniveauer er på 25-65 µg/m³ (dvs. gadebidraget er på omkring 5-45 µg/m³ afhængig af trafikmængder og gadekonfiguration).

Gadeforureningen er bestemt af trafikemissionen i gaden, gadekonfigurationen, bybaggrundsforureningen og de atmosfæriske forhold.

Trafikemissionen i selve gaden vil være dominerende for luftkvaliteten i gaderummet, mens bybaggrundsforureningen i tagniveau vil spille en mindre rolle. Kvælstofdioxid, NO₂, er sundhedsskadeligt og der findes grænseværdier for NO₂. NO₂ optræder normalt sammen med kvælstofmonoxid, NO, idet begge stoffer udsendes ved forbrændingsprocesser. De to stoffer benævnes under ét som NO_x; ved mængden af NO_x forstår man summen af NO og NO₂. I atmosfæren sker der i et eller andet omfang en omdannelse af NO til 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. Når udstødningsgassen spredes, sker der hurtigt en reaktion, hvor ozon i luften reagerer med NO og danner NO₂:



Reaktionen forudsætter, at der er ozon til stede. Koncentrationen af ozon i omgivelserne er derfor afgørende for, hvor meget NO_2 der kan dannes. Under forhold, hvor der emitteres meget NO_x – f.eks. i trafikerede gader – vil ozonen blive "brugt op". Mængden af tilgængelig ozon sætter således et "loft" over, hvor store NO_2 -koncentrationer man vil opleve. Dette fænomen fremgår tydeligt af måledata fra trafikerede gader. Et eksempel er vist i Figur 2.1, der afbilder sammenhængen mellem koncentrationer af NO_2 og NO_x målt på Jagtvej i København i 2005. Det fremgår af figuren, at store koncentrationer af NO_x ikke modsvares af tilsvarende store koncentrationer af NO_2 . Årsagen er, at ozonen er "spist op".

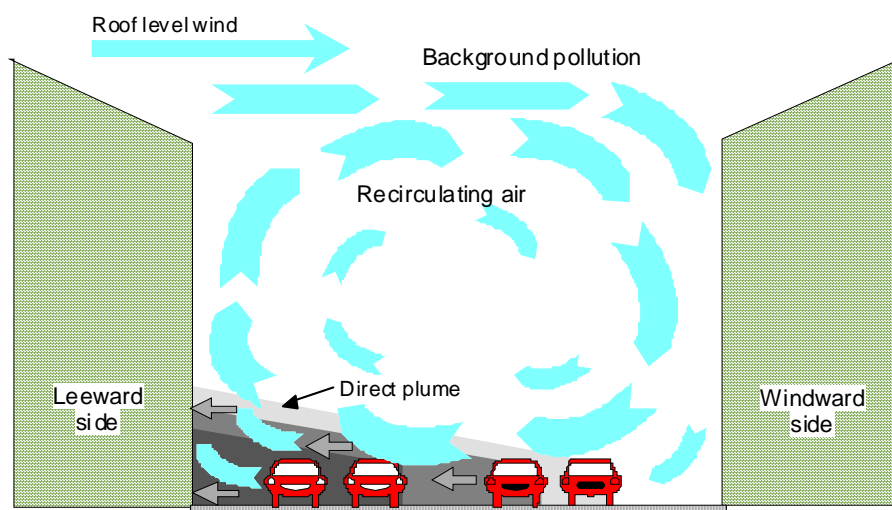


Figur 2.1 Sammenhæng mellem målte koncentrationer af NO_2 og NO_x på Jagtvej i København for samtlige timer i året 2005. Enheden er $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (regnet som NO_2). En-til-en linjen er indtegnet.

De regionale ozonkoncentrationer har en afgørende indflydelse på koncentrationerne af NO_2 i gaderummet. Der er en meget lille netto produktion af ozon under danske meteorologiske forhold. Man taler om, at der er en regional baggrundsforurening med ozon over Danmark, som skyldes emissioner af kvælstofoxider og kulbrinter fra kilder i hele Europa. Ozonniveauerne kan derfor kun reduceres ved en samlet europæisk indsats, som reducerer emissionerne af kvælstofoxider og kulbrinter. Høje ozonniveauer forekommer især om sommeren, når vind bringer forurenede luft til Danmark fra Syd- og Centraleuropa, hvor ozon dannes ved fotokemiske reaktioner, hvori der indgår kvælstofoxider og kulbrinter under indvirkning af sollys og varme.

I luftforureningsmæssig sammenhæng bruges begrebet gadekonfiguration, der beskriver gadens fysiske udformning dvs. gadebredde, bygningshøjder, gadeorientering mv. I et lukket gaderum bliver bilernes udstødningsgasser fanget af hvirvler, som dannes, når vinden blæser på tværs af gaden. Forureningen bliver ført direkte mod læsiden af gaden. Koncentrationen i læsiden af gaden er derfor betydeligt højere end i vindsiden, se Figur 2.2.

På grund af disse forhold vil de højeste koncentrationer findes i smalle lukkede gaderum med høj randbebyggelse og med meget trafik.



Figur 2.2 Luftforureningen fra trafikken i et lukket gaderum bliver fanget i en recirkulerende hvirvel, som giver høje koncentrationer især i gades læside

De mennesker som eksponeres for luftforurening kan overordnet opdeles i: beboere, ansatte, besøgende og trafikanter. De forskellige grupper har forskelligt tids- og aktivitetsmønster dvs. et forskelligt mønster for opholdssted, hvilket har indflydelse på den eksponering af luftforurening, som de udsættes for. Da befolkningen omkring 90% af tiden opholder sig indendørs enten i bygninger eller i transportmidler er ude-inde relationen mellem udendørs miljøtilstand og indendørs miljøtilstand en væsentlig faktor for eksponeringen. Bygninger yder en vis beskyttelse mod de fleste luftforureninger (fx NO_2), således at de optræder med lavere niveauer indendørs end udendørs. Indendørsniveauerne kan være betydeligt højere end udendørs i tilfælde med væsentlige indendørskilder (fx gaskomfur, tobaksrygning, stearinlys).

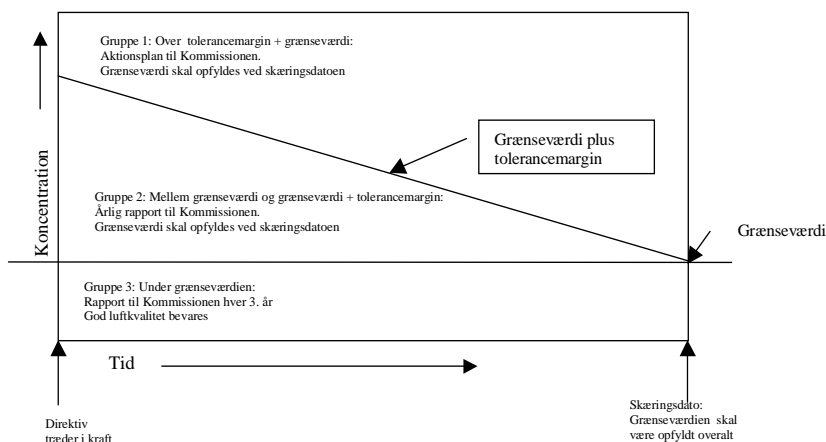
Luftforurening fra trafik omfatter mange forskellige stoffer. De mest kritiske er partikler, men Miljøstyrelsen har også udpeget NO_2 blandt de kritiske sundhedsskadelige stoffer. Det vurderes, at NO_2 niveauer, som forekommer i Danmark kan have negative sundhedsskadelige effekter hos astmatikere og personer med luftvejslidelser.

2.2 Grænseværdier for NO_2

Som følge af et EU direktiv om styring og vurdering af luftkvaliteten er der grænseværdier for NO_2 , som er implementeret i en dansk bekendtgørelse.

Grænseværdien skal overholdes ved en såkaldt skæringsdato. Der er også defineret en tolerancemargin, som hvis den overskrides kræver tiltag, så grænseværdien kan overholdes på skæringsdatoen. Tolerancemarginen er et procenttillæg til grænseværdien, og toleranceværdien nedsættes ligeligt hvert år indtil grænseværdien er nået på skæringsdatoen. Princippet er vist i Figur 2.3. Det er Miljøstyrelsen som sammen med de lokale myndigheder har

ansvaret for at grænseværdierne overholdes. Hvis der sker en overskridelse af grænseværdi plus tolerancemargin skal Miljøstyrelsen, i tæt samarbejde med lokale myndigheder, udarbejde en plan som sikrer, at grænseværdien overholdes senest i 2010.



Figur 2.3 Illustration af grænseværdi og tolerancemargin

Grænseværdierne for NO_2 er fastlagt på grundlag af en helbredsmæssig vurdering. Grænseværdien er $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for årgennemsnittet. For timemiddelværdier er der en grænseværdi på $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, som højst må overskrides 18 gange på et år. Skæringsdatoen er 1. januar 2010. Tolerancemarginen var 50% ved direktivets ikrafttrædelsesdato den 1. januar 2001. I 2008 er tolerancemarginen for årsmiddel derfor ca. $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ca. 11% af $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), således at en værdi på $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ikke må overskrides. For timemiddelværdier er tolerancemarginen $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ved ikrafttrædelse. De højeste værdier er i høj grad bestemt af de meteorologiske forhold.

Grænseværdien gælder for udeluft. Målinger anvendes til at vurdere om grænseværdien er overskredet. Målingerne skal være repræsentative for områder, hvor det er sandsynligt at befolkningen bliver direkte eller indirekte eksponeret over tidsperioder, som er signifikante i forhold til midlingstiden for grænseværdien. I København foretages punktmålinger i gadeniveau på HC Andersens Boulevard og på Jagtvej, og punktmålinger af bybaggrund på taget af HC Ørsted Institutet. Der har ikke været problemer med at overholde grænseværdien for de højeste værdier på målestationerne, mens overskridelser forekommer for grænseværdien for årsmiddelværdi. I det følgende er der derfor kun foretaget beregninger for årsmiddelværdier.

Tabel 2.1 Grænseværdier for NO_2

Stof	Grænseværdi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Midlingstid	Statistik	Beskyttelse af	Skæringsdato
NO_2	200	1 time	18 gange pr. år	Mennesker	2010
	40	-	Gennemsnit, år	Mennesker	2010

2.3 Euro emissionsnormer for køretøjer

Køretøjer skal ved typegodkendelse overholde nogle emissionsnormer for NO_x og partikler samt andre luftforureninger. Disse krav er beskrevet i de såkaldte euronormer, som fastsættes af EU og implementeres i danske bekendtgørelser. Både for NO_x og partikler er kravene baseret på massen af

udstødning målt under en fastlagt testkørecyklus i et laboratorium. Der er ingen krav til direkte NO₂ emission eller til størrelsesfordeling af partikler.

I nedenstående tabel er året for seneste ikrafttrædelse af de forskellige emissionsnormer opsummeret. Året er registreringsåret, som det optræder baseret på oplysninger fra EU direktiverne. Året afspejler starten på det første registreringsår for en given euronorm. Et køretøj skal senest typegodkendes et år før registreringsåret for en given euronorm. Men 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. Vi har dog ikke data for dette, så registreringsåret ligger til grund for emissionsberegningerne. Det betyder, at emissionsberegningerne overvurderer emissionen lidt i et givent år, da der ikke tages hensyn til at nye biler introduceres tidligere end registreringsåret.

Tabel 2.2 Årstal for ikrafttrædelse af EU emissionsnormer

Euronorm**	Personbil (Benzin og diesel)	Varebil (Benzin og diesel)	Lastbil og bus (Diesel)
Euro 1	1991	1995	1994
Euro 2	1997	1999	1997
Euro 3	2001	2002	2002
Euro 4	2006	2007	2007
Euro 5	2010	2012	2010
Euro 6	2015	2016*	2016*

* Forslag fra 21.12.2007. Ikrafttrædelsesår er ikke endeligt fastsat.

** Strengt taget bør man anvende almindelige tal i EURO-betegnelsen for person og varebiler og romertal for tunge køretøjer, men da der ofte indgår alle typer af køretøjer i fx grafer og tabeller, har vi valgt udelukkende at bruge tal i rapporten.

I praksis er emissioner fra køretøjer i den faktiske trafik forskellig fra euronormerne, fordi faktisk kørsel varierer meget mere end den testkørecyklus, som køretøjerne godkendes efter. Emissionsberegninger baserer sig derfor på modeller, som er baseret på omfattende målinger af biler under forskellige forhold. I EU og Danmark anvendes den såkaldte COPERT 4 emissionsmodel (EEA 2007). I bilag 1 er emissionsfaktorer for de forskellige emissionsklasser vist baseret på COPERT modellen. Før Euro 1 er der også emissionsnormer, som benævnes ECE eller konventionel, og emissionsfaktorer herfor er også vist i bilaget. COPERT 4 emissionsfaktorer er implementeret i emissionsmodulet til gadeluftkvalitetsmodellen OSPM, som anvendes til luftkvalitetsberegninger.

3 NO₂ virkemiddelkatalog

Som det fremgår af de senest gennemførte modelberegninger for København (Ketzal og Palmgren, 2008) forventes der at være mange overskridelser af NO₂ grænseværdien på trafikerede gadestrækninger i 2010 uden nye tiltag. Tidligere undersøgte virkemidler har ikke alene kunnet forhindre overskridelser, og det er derfor nødvendigt at vurdere en bredere vifte af mulige tiltag i form af et virkemiddelkatalog for nedbringelse af NO₂ forureningen. Virkemidlerne effektvurderes i årene: 2010, 2015 og 2020.

Der opstilles 9 virkemidler af forskellig type, som er vist i nedenstående tabel. Virkemiddeltyperne kan overordnet opdeles i: teknologikrav i tilknytning til miljøzoner, trafikplanlægning og økonomiske virkemidler.

Hvert virkemiddel er kort beskrevet i tabellen, og størrelsesordenen af den forventede emissionsreduktion af NO_x og partikler (PM) er groft skønnet.

Basisscenariet indregner miljøzonekravene til tunge køretøjer, som i 2010 kræver at tunge køretøjer med Euro 3 eller ældre har partikelfilter. Miljøzonekravene forventes implementeret således, at Euro 3 lastbiler får partikelfilter, men at 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 partikelfilter og at Euro 3 får partikelfilter. Miljøzonekravene vil bidrage til at reducere både partikelemissionen og NO_x emissionen.

3.1 Teknologikrav i tilknytning til miljøzoner

En type af virkemidler knytter sig til teknologikrav til forskellige køretøjsgrupper, og disse krav kunne være en del af miljøzoner (nr. 1-4). Da den nuværende miljøzonestrategi kun muliggør krav om partikelfiltre på visse tunge køretøjer, og mulighed for at Miljøministeren kan fastsætte tilsvarende krav for varebiler vil de foreslåede virkemidler alle kræve lovændringer (www.miljozone.dk).

Tabel 3.1 Teknologiske virkemidler

Virkemiddel	Tiltag	Virkemiddel type	Forudsætninger	Forventet NOx effekt kvalitativt vurderet	Forventet PM effekt kvalitativt vurderet
1. NOx reducerende udstyr på tunge køretøjer	NOx 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 NOx emission Luftkvalitetsberegninger for 138 gader i Kbh.	Betydelig effekt, da tunge køretøjer andrager relativt meget af NOx	Ingen effekt
2. Tysk miljøzonerer gel 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	Konventionelle 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. Luftkvalitetsberegninger for 138 gader i Kbh.	Betydelig effekt, da reguleringen retter sig mod både lette og tunge køretøjer og kræver køretøjer med lave NOx emissionsfaktorer	Betydelig effekt
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. Erstattes med nyeste Euro klasse i pågældende år. Luftkvalitetsberegninger for 138 gader i Kbh.	Mindre effekt da personbiler uden katalysator kun udgør en lille del af trafikken, men dog med høje emissionsfaktorer.	Lille effekt
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. Luftkvalitetsberegninger for 138 gader i Kbh.	Køretøjer med lave emissionsfaktorer fremskydes og vil bidrage med en vis NOx emission	Lille effekt

Virkemiddel nr. 1 om NOx reducerende udstyr på tunge køretøjer er medtaget selvom dette virkemiddel tidligere er vurderet (Ketzal & Palmgren 2008). Dette er medtaget således at effekterne heraf direkte kan sammenlignes med de øvrige virkemidler, og fordi der er sket mindre ændringer i beregningsforudsætningerne i forhold til tidligere hvad angår direkte NO₂ emissionsandele, men også at der nu sammenlignes med et basisscenarie som inkluderer miljøzonekravene. Endvidere er trafikken blevet fremskrevet fra 2010 til 2020 i nærværende undersøgelse, hvor det tidligere var antaget at trafikken var ens i 2010 og 2020. NOx reducerende udstyr antages at være SCR-katalysatorer med en reduktion af NOx på 80%, og det antages at de direkte NO₂ procentandele er uændrede for de berørte Euroklasser. For lastbiler forudsætter scenariet at Euro 3 får SCR men ikke Euro 4 og 5. Euro 2 og ældre eksisterer ikke fordi de under miljøzonen er forudsat erstattet af

Euro 5. For busser forudsættes, at 50% af Euro 2 samt Euro 3 får SCR, mens Euro 4 og 5 ikke får SCR.

Virkemiddel nr. 2 om Tyske miljøzonerregler i København modsvarer de miljøzonekrav, som stilles i det centrale Berlin fra den 1. januar 2010. Reglerne svarer til de skrappeste miljøzone regler i Tyskland dvs. den tyske emissionsklasse 4, hvor emissionsklasse 1-3 stiller færre krav. De tyske byer bestemmer selv, hvilke emissionsklasser, der skal gælde for deres by. Miljøzonen i Berlin trådte i kraft den 1. januar 2008 med krav om, at alle benzinkøretøjer er mindst Euro 1 og alle dieselskøretøjer er mindst Euro 2. Fra den 1. januar 2010 skærpes kravene til dieselskøretøjer til mindst Euro 4 (www.lowemissionzones.eu). Den danske miljøzonestyrelse muliggør, at de 5 største bykommuner kan stille krav om partikelfilter på dieseldrevne tunge køretøjer over > 3½ ton fra 1. sept. 2008 gældende for Euro 2 og ældre, og fra 1. juli 2010 på Euro III og ældre. I virkemiddel nr. 2 er der derfor også tilladt Euro 3 med partikelfilter. Det antages, at alle lette og tunge dieselskøretøjer med Euro 3 har partikelfilter. Tunge køretøjer som overholder Euro 4 (fra 2007) og Euro 5 (fra 2010) kan også køre i miljøzonen, og i fremtiden vil Euro 6 (forventes fra 2016) også kunne. Miljøzonen i København trådte i kraft den 1. september 2008.

Virkemiddel nr. 3 om forbud mod benzin personbiler uden katalysator rammer biler fra før 1991, hvor katalysator blev nødvendigt for at overholde Euro 1. Da disse biler er ret gamle i 2010, 2015 og 2020 udgør de kun en lille og faldende del af bilparken.

Virkemiddel nr. 4 om fremskyndelse af nye emissionsnormer for diesel person- og varebiler vedrører Euro 6, som først forventes at træde i kraft for personbiler i 2015 og for varebiler i 2016. I EU pågår der diskussioner om at fremskynde disse euronormer, hvor euronormen for varebiler endnu ikke er endeligt vedtaget. I virkemiddel nr. 4 er det antaget at Euro 6 bliver fremskyndet 2 år. 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. Virkemidlet kan ikke nå at påvirke bilparken i 2010.

Det har været overvejet om der skulle være et særskilt virkemiddel for taxier, men dette er frafaldet, da taxierne er meget nye biler, som hele tiden vil opfylde de seneste Euro normer. I følge Miljøstyrelsen (2006) er der ca. 2.350 taxier under Københavns Taxanævn, der omfatter Københavns og Frederiksberg kommuner samt det tidligere Københavns amt. Derudover er en række taxacentraler på Sjælland, som også vil blive berørt af eventuelle krav i miljøzonen. Det antages derfor, at i alt 2.700 taxier kunne blive berørt af eventuelle krav til taxier i miljøzonen. Det svarer til 45% af taxierne i hele landet. Taxier under Københavns Taxanævn kører 97.000 km om året. DMU har kun detaljeret information om antal taxier på to ud af de 138 gader i København - H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, som har hhv. 9% og 8% taxier. Et muligt virkemiddel over for taxier kunne være krav om SCR-katalysatorer, som reducerer NOx emissionen med 80%. Problemet er imidlertid, at SCR-katalysatorer stadigvæk er på test og prototype niveau, og derfor endnu ikke er kommercielt tilgængelige til lette køretøjer. Det er derfor ikke et virkemiddel på kort sigt.

3.2 Trafikplanlægning

Virkemidler nr. 6-8 kan gennemføres ved en planlægningsindsats, og er opsummeret i nedenstående tabel.

Tabel 3.2 Virkemidler indenfor trafikplanlægning

Virkemiddel	Tiltag	Virkemiddel type	Forudsætninger	Forventet NOx effekt	Forventet PM 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.	Lille effekt
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.	Lille effekt
8. Lokal trafikplanlægning		Planlægning	Forudsætninger som i <i>Jensen et al.</i> (2005). Luftkvalitetsberegninger for 138 gader i Kbh.		
	Havnetunnel	Planlægning	Omfordeler trafikken, så den kører udenom bymidten i København. Reduktion af biltrafikken på i centrale gader.	Minimal effekt pga. lille trafikreduktion (1%).	Minimal effekt pga. lille trafikreduktion.
	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%).	Minimal effekt pga. lille trafikreduktion.
	Pendlerplaner	Planlægning	Begrænser pendling med personbil - altså reduktion af personbiltrafik i myldretiden.	Minimal effekt pga. lille trafikreduktion (1%).	Minimal effekt pga. lille trafikreduktion.
	Trafiksanering	Planlægning	Forhindrer gennemkørsel i de centrale dele af København og medvirker til at forskønne og fredeligøre bymidten. Skal ses i sammenhæng med en havnetunnel.	Minimal effekt pga. lille trafikreduktion (1%).	Minimal effekt pga. lille trafikreduktion.

Virkemiddel nr. 6 introduktion af miljøbiler skal illustrere hvilken betydning det maksimalt kunne have at introducere biler med ingen eller meget lav NOx emission. Ved miljøbiler forstås her elbiler, brintbiler og hybridbiler. I virkemidlet er det forudsat at hele nysalget fra 2010 er elbiler (svarende til en bil uden lokal NOx emission). Nyregistrerede personbiler i 2010 er 6% af personbilbestanden, 26% i 2015 og 45% i 2020, hvilket udgør det maximale potentiale, da hele nysalget næppe vil kunne bringes til kun at omfatte miljøbiler. Det forudsættes, at elbilerne erstatter de nyeste Euroklasser i de pågældende år. I beregninger gøres det ved at slette de nyeste Euroklasser svarende til nyregistreringerne.

Hybridbiler fx Toyota Prius er en kombineret el- og benzinbil, som under eldrift ikke har lokale emissioner, men som under benzindrift har lave NOx emissioner, da den er udstyret med katalysator. Selvom registreringsafgiften er sat lidt ned for denne type biler og den grønne ejerafgift er lav, er de høje markedspriser en hindring for deres udbredelse, og der er kun få hybridbiler i Danmark. Der vil blive introduceret flere hybridbiler på det danske marked de kommende år, også hybrid plug-in biler, hvor bilens batteri kan oplades ved tilslutning til elnettet. Plug-in biler kan derved få større aktionsradius på ren eldrift.

Der er kun solgt få hundrede elbiler i Danmark indtil videre ud af en bilpark på omkring 2 millioner personbiler (Miljøstyrelsen (2006a)). I de kommende år vil elbiler dog blive relanceret i nye forbedrede udgaver. Det gælder fx den norske Think elbil, som forventes introduceret på det danske marked inden for et års tid (www.think.no). Et andet projekt lægger op til en masseintroduktion af elbiler i "Project Better Place Denmark", hvor Dong Energy i samarbejde med californiske Project Better Place står for introduktion af elbiler baseret på Renault-Nissan biler. Ideen er en pakkeløsning med elbiler, ladestationer, lease batterier med fast batterileje og fast betaling for strøm pr. kørt km, mulighed for skift af batterier på "tankstationer" etc. Better Place vil etablere og drive ladestationerne. Projektet håber på at elbiler i 2020 vil udgøre 30-40% af nysalget. Forventes introduceret omkring 2011 i Danmark (www.dongenergy.dk). Elbiler er foreløbig fritaget for registreringsafgifter.

Brintbiler med brændselscelle er foreløbig på udviklings- og demonstrationsstadiet, og en egentlig markedsintroduktion ligger nogle år ud i fremtiden (Københavns Kommune, 2007). Biler som kører på bioethanol eller biodielse- rent eller iblandinger - har en større udbredelse i fx Sverige, hvor der gives økonomiske incitamenter til både køb af køretøjerne og til biobrændstoffet. Biobrændstoffer har først og fremmest potentiale for at reducere CO₂ emissionen, mens påvirkningerne af NO_x og PM emissioner er beskedne, og de er derfor ikke omfattet af virkemidlet vedr. introduktion af miljøbiler.

Virkemiddel nr. 7 omhandler overflytning af biltrafik til kollektiv transport. Sammenhængen mellem persontrafik og NO_x illustreres, så man kan få en ide om, hvor meget overflytning fra privat til kollektiv transport kan betyde for NO_x emissionen. Nogle af forbedringerne vil kræve mere bustrafik. I vurderingerne tages der hensyn til gennemsnitsbelægning i bil og bus hhv. 1,5 og 13 (Trafikministeriet 2000). Der er gennemregnet nogle eksempler, som illustrerer betydningen for NO_x emissionen af overflytning fra biltrafik til kollektiv transport.

De generelle erfaringer fra overflytningspotentiale mellem privat biltrafik og kollektiv trafik er, at serviceforbedringer alene i den kollektive trafik har et beskedent overflytningspotentiale, men vil øge antallet af kollektivture blandt eksisterende brugere, og tiltrække cyklister. I forbindelse med markante nyskabelser som metroen i København vil der ske en vis overflytning. Kollektive serviceforbedringer i kombination med restriktioner over for den private biltrafik har et større overflytningspotentiale fx betalingsring eller vejafgifter kombineret med et løft i den kollektive trafik. En langsigtet strategisk satsning på kollektiv trafik og cykeltrafik øger antallet af kollektivture og cykelture i forhold til bilture (Transportrådet, 1996).

Virkemiddel nr. 8 om lokal trafikplanlægning omhandler havnetunnel, Metro City Ring, pendlerplaner, og trafiksanering i København. Den trafikale effekt heraf er beregnet med Ørestadstrafikmodellen. Virkemidlet er identisk med samme virkemiddel beskrevet i Københavns Kommunes rapport fra 2005 om virkemidler til overholdelse af NO₂ grænseværdier for luftkvalitet i København (Jensen et al. 2005). Der er en minimal trafikaleffekt på det samlede trafikarbejde med en lille reduktion på 1%, som afspejler at der er både ør stigninger og fald i trafikken på de enkelte veje.

3.3 Økonomiske virkemidler

Virkemidler nr. 9A, 9B og 10 er økonomiske virkemidler, hvor trafikken påvirkes gennem en betalingsring i København eller vejafgifter (road pricing). Virkemidlerne kræver lovændringer for at kunne gennemføres.

Tabel 3.3 Økonomiske virkemidler

Virkemiddel	Tiltag	Virkemiddel type	Forudsætninger	Forventet NOx effekt	Forventet PM effekt
9A. Betalingsring	Betalingsring i København med ens priser for samme køretøjsgruppe	Økonomisk	Forudsætninger som i <i>Jensen et al.</i> (2005). 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%).	En vis effekt pga. en vis trafikreduktion.
10. Vejafgifter	Kørselsafgifter (som del af nationalt virkemiddel)	Økonomisk	Forudsætninger som i <i>Jensen et al.</i> (2005). 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%)	En vis effekt pga. en vis trafikreduktion.

Virkemiddel nr. 9A handler om betalingsring i København med ens priser for samme køretøjsgruppe. Betalingsringen begrænser særligt personbiltrafikken over ringen, men har ingen effekt på interne ture indenfor ringen. Der er mindre effekt på vare- og lastbiltrafik. Effekten er helt afhængig af taksten. I virkemidlet er der forudsat 30 kr. pr tur for personbiler, 60 kr. for varebiler og 120 kr. for lastbiler. Den trafikale effekt heraf er beregnet med Ørestadstrafikmodellen, og viste en trafikreduktion på omkring 13%. Virkemidlet er identisk med samme virkemiddel beskrevet i Københavns Kommunes rapport fra 2005 om virkemidler til overholdelse af NO₂ grænseværdier for luftkvalitet i København (Jensen et al. 2005). Betalingsringe er bl.a. indført i Stockholm og i London, hvor kontrol af betaling sker ved at nummerpladen registreres af kameraer, når køretøjet passerer ringen.

Virkemiddel nr. 9B er en variant af betalingsring i København, hvor bompengene indrettes således at de ældste biler betaler rigtig meget, således at det forudsættes at den trafikale reduktion alene opnås ved at de ældste 12% af

køretøjerne ikke kører inden for betalingsringen. Virkemidlet gennemregnes ved at antage at 12% af de ældste køretøjer i køretøjsgrupperne: person-, vare- og lastbiler fjernes.

Virkemiddel nr. 10 handler om vejafgifter (road pricing) i København. Dette virkemiddel begrænser særligt personbiltrafikken i hele de område afgifterne dækker. Der vil være en mindre effekt på vare – og lastbiltrafik. Effekten er helt afhængig af takststrukturen. I virkemidlet 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 halvdelen udenfor. Den trafikale effekt heraf er beregnet med Ørestadstrafikmodellen, og viste en trafikreduktion på omkring 12%. Virkemidlet er identisk med samme virkemiddel beskrevet i Københavns Kommunes rapport fra 2005 om virkemidler til overholdelse af NO₂ grænseværdier for luftkvalitet i København (Jensen et al. 2005). Holland har besluttet at indføre et nationalt road pricing system med forventet introduktion i 2016, hvor der opkræves vejafgifter pr. km baseret på en enhed, som skal installeres i køretøjet (GPS baseret system).

4 Metode for modelberegninger

Koncentrationsberegningerne er gennemført i to trin. Først er der gennemført bybaggrundsregninger, som inkluderer det regionale bidrag. Derefter er der gennemført gadeberegninger, som inkluderer bybaggrundsbidraget. 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 referenceåret 2005, samt 2010, 2015 og 2020.

4.1 Bybaggrundsregninger

Urban Background Model (UBM) modellen anvendes til at beregne bybaggrundsbidraget (Berkowicz 2000a). Til beregningerne anvendes trafikdata på et 1x1 km² gitternet. Trafikdata og dermed emissionsdata dækker hele Hovedstadsområdet. Emissionsdata beregnes med et emissionsmodul, som er baseret på emissionsbeskrivelsen i gadeluftkvalitetsmodellen OSPM.

Det regionale bidrag er baseret på en repræsentativ regional baggrundsmålestation for Hovedstadsområdet (Keldsnor på Langeland for NO₂). 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. Der kan måske forventes en lille reduktion i det regionale NO₂ niveau pga. emissionsreduktion på europæisk plan, men dette vil ikke have afgørende indflydelse på de efterfølgende resultater. Meteorologisk data er fra 2005 for alle årene fra Lille Valby ved Roskilde.

I UBM beregningerne indgår trafikdata og dermed emissionsdata for et 1x1 km² gitternet, som dækker hele Hovedstadsområdet. I 2005 stammer trafikdata 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 trafikklær. Dette trafikdata ligger til grund for beregninger i 2005 og for sammenligning med måledata.

For alle virkemidlerne er der anvendt trafikdata, som stammer fra en kombination af data fra OTM-modellen (Ørestadstrafikmodellen) og KRT (København-Ringsted Trafikmodel). Det er ikke muligt at lave en 1-1 kobling mellem KRT og OTM, fordi de ikke anvender helt den samme inddeling af vejnettet. For at skabe bedst konsistens i de trafikale forudsætninger anvendes OTM direkte for kategorierne: motorveje, motortrafikvej og veje over 6 m, mens KRT for veje 3-6 m og anden vej bibeholdes uændret, dvs. at veje med KRT trafik har samme niveau i referencescenariet og virkemidlerne, da det må forventes, at der kun sker lille trafikal ændring på dette vejnet, og det under alle omstændigheder kun udgør en mindre del af trafikarbejdet. Trafikdata er identisk med tidligere anvendte trafikdata for 2010 i Københavns Kommunes rapport om virkemidler for overholdelse af NO₂ grænseværdier (Jensen et al. 2005).

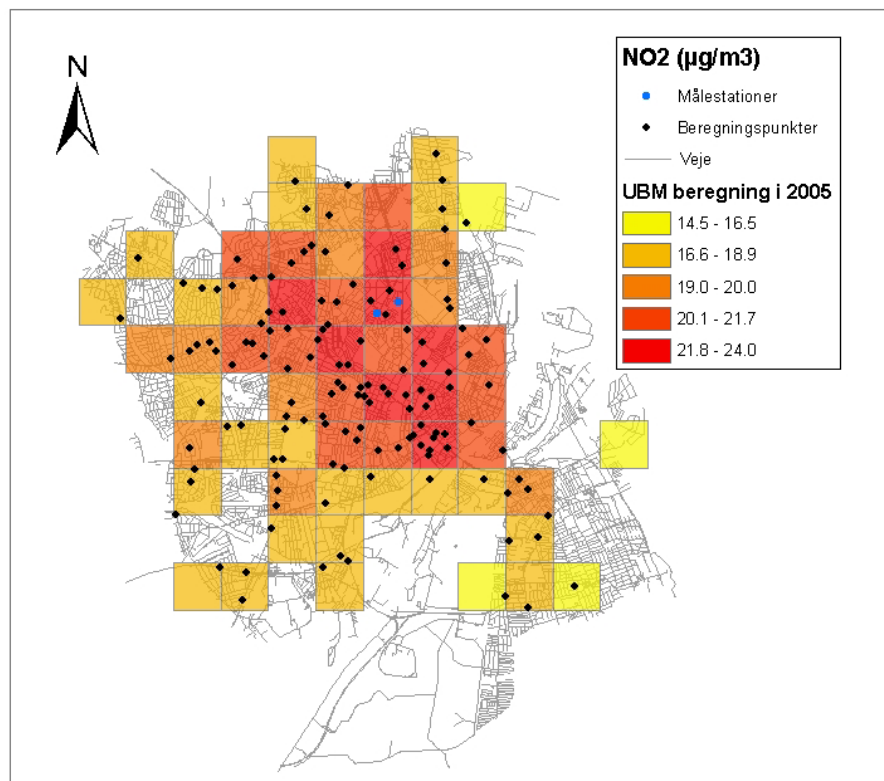
Trafikarbejdet er blevet fremskrevet fra 2010 til 2015 og 2020. For fremskrivning af trafikarbejdet i Hovedstadsområdet er lagt de samme forudsætninger til grund som i Infrastrukturkommissionens fremskrivning til 2030 (DTF 2007). Det økonomiske lavvækstscenarie med høj oliepris og lav vækst i bilparken 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 fås følgende fremskrivning af trafikarbejdet.

Tabel 4.1 Fremskrivning af trafikarbejdet i Hovedstadsområdet

Køretøjskategori	Fordeling (%)	2010	2015	2020
Person- og varebiler	92.0	1.00	1.07	1.15
Lastbiler	6.4	1.00	1.11	1.24
Busser	1.6	1.00	1.00	1.00
I alt	100.0	1.00	1.07	1.15
Lastbiler og busser	8.0	1.00	1.09	1.19

Som det ses, er trafikstigningen helt domineret af person- og varebiler som udgør langt hovedparten af trafikarbejdet. Der er her antaget en standard køretøjsfordeling (OSPM vejtype "F") for at kunne illustrere den samlede trafikstigning. For hver 1x1 km² gittercelle i Hovedstadsområdet foreligger trafikarbejdet fordelt på personbiler, varebiler, og tung trafik (lastbiler og busser), og hver køretøjskategori er fremskrevet med ovenstående faktorer.

Der er blevet lavet beregninger af bybaggrund for alle 1x1 km felter i 2005, hvori der ligger en af 138 gader. Det giver den geografiske fordeling over byen (Figur 4.1). Anvendt trafikdata er her fra DMU vej- og trafikdatabase. Det ses, at de højeste koncentrationer findes i det centrale København og dele af Frederiksberg, men høje koncentrationer ses også langs de store transportkorridorer rundt og ind mod centrum. Det forudsættes, at den geografiske fordeling er den samme i årene fremover og under de forskellige virkemidler, således at det alene er koncentrationsniveauet ved H.C. Ørstedinstitutet, som beregnes i 2010, 2015 og 2020, hvorefter der skaleres til de enkelte gitterceller efter den geografiske fordeling i 2005. Det beregnede resultat for 2005 er endvidere kalibreret med måledata fra H.C. Ørstedinstitutet (bybaggrund), hvilket resulterer i en opjustering på 5,6% i 2005 af bybaggrund. Tilsvarende korrektioner er foretaget for årene 2010, 2015 og 2020, idet der er taget hensyn til at det regionale niveau er forudsat at være konstant. For alle virkemidler i 2010, 2015 og 2020 er gennemført beregninger for bybaggrund i feltet omkring H.C. Ørstedinstitutet, og der er korrigeret med den samme faktor som for 2005 for at få den geografiske fordeling i de øvrige felter. Det antages dermed at den relative geografiske fordeling er uændret i alle årene. De korrigerede bybaggrundsdata bruges som bybaggrund til gadeberegningerne i de tilhørende scenarier.



Figur 4.1 Beregnet bybaggrund for NO₂ i 2005. Niveauerne er kalibreret i forhold til målte niveauer på bybaggrundsstationen på H.C. Ørsted Instituttet (opjusteret med 5,6%). Desuden er de 138 gadestrækninger markeret, og placering af målestationer på Jagtvej og H.C. Ørsted Instituttet.

4.1.1 Sammenligning af målinger og UBM modelberegninger

For at vurdere kvaliteten af UBM modellen og det anvendte input data er der foretaget koncentrationsberegninger for den gittercelle som H.C. Ørsted Instituttet ligger i, og disse resultater er sammenlignet med koncentrationmålinger foretaget på taget af HC Ørsted Instituttet, se Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Sammenligning mellem beregnede koncentrationer for bybaggrund og målte årsmiddelt af NO₂ for H.C. Ørsted Instituttet i 2005 (µg/m³)

	NO ₂	NO _x	O ₃
Beregnet	22	27	46
Målt	23	29	48

Det ses, at UBM modellen med det anvendte input data underestimerer målte koncentrationer med omkring 6%. Der korrigeres med denne procentsats i 2010, 2015 og 2020.

4.1.2 Miljøzonens geografiske afgrænsning

En række teknologiske virkemidler er knyttet til miljøzonen. Miljøzonen er defineret ved udstrækningen af Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune, som er lidt større end den nuværende miljøzone. Dette skyldes, at miljøzonen forventes at blive udvidet til hele Københavns Kommune. Udstrækningen af miljøzonen påvirker ikke de trafikale virkemidler, men alene emissionen i forbindelse med virkemidler, som retter sig mod forskellige teknologikrav knyttet til miljøzonen. I gitternettet for Hovedstadsområdet er alle 1x1 km² celler som indeholder dele af Københavns Kommune identificeret og medregnet som del af miljøzonen.

4.2 Gadeberegninger

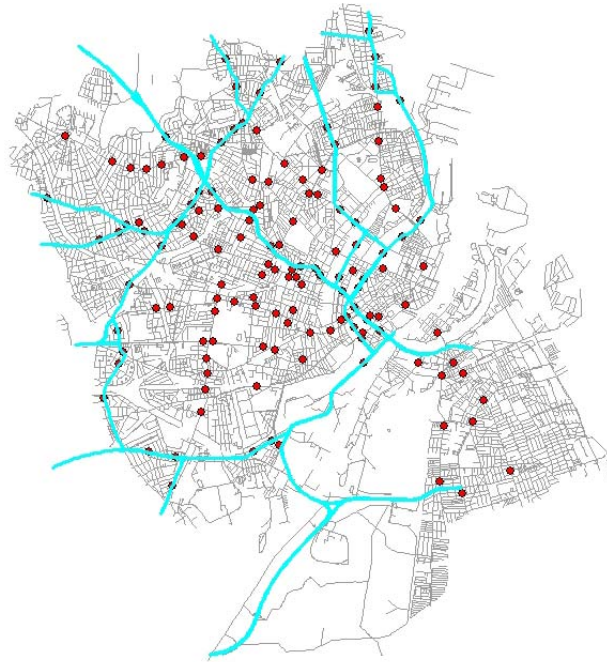
I forbindelse med beregning af koncentrationsniveauet i de 138 gader leverer UBM beregningerne bybaggrundsbidraget for de respektive gader. Beregninger i gadeniveau er gennemført med gadeluftkvalitetsmodellen OSPM modellen (Operational Street Pollution Model) (Berkowicz 2000b). Generering af input data til OSPM modellen (trafikdata og gadekonfigurationsdata) er sket automatisk ved brug af AirGIS modellen, som ud fra et GIS baseret vejnet med trafik, bygninger med højder og beregningspunkter kan generere nødvendigt input. Årsdøgntrafikken (ÅDT) på gadestrækningerne primært fra Københavns Kommunes GIS vejnet, som repræsenterer ÅDT fra omkring 2002. Udviklingen fra 2003 til 2010 er bestemt relativt ved at tage udgangspunkt i OTM's ÅDT for de enkelte strækninger i 2003 og 2010. Der beregnes således en faktor (OTM2010/OTM2003), som ganges på Københavns Kommunes udgangspunkt for ÅDT. Trafikdata er i 2010 identisk med tidligere rapport fra Københavns Kommune omkring vurdering af NO₂ virkemidler (Jensen et al. 2005).

Trafikken for de 138 gader er fremskrevet fra 2010 til 2015 og 2020. Trafikstigninger afhænger af vejtypen, og har således historisk været større på de overordnede veje i forhold til lokalveje. Københavns Kommune foretager løbende trafiktællinger på udvalgte lokaliteter. Den historiske udvikling på vejnettet er lagt til grund for ekstrapolationen til 2015 og 2020. For de mere trafikerede veje opererer Københavns Kommunen med vejtyperne: regionale veje, fordelingsveje og bydelsgader. Der har historisk været kraftig trafikstigning på de regionale veje, mens øvrige gader har haft mere eller mindre konstant trafik. Fremskrivning er derfor foretaget således at alle gader ud af de 138 gader som ligger på regionale veje fremskrives med den historiske udvikling, mens de øvrige af de 138 gader holdes konstant. Ud fra den historiske udvikling i perioden 1989-2005 er trafikvæksten på de regionale veje beregnet ud fra Københavns Kommunes færdselstælling og andre trafikundersøgelser 2001-2005 (Københavns Kommune, 2006). I denne periode er trafikken steget 42%. svarende til 2,2% årligt.

Som det fremgår af nedenstående tabel er trafikstigningen 11% og 24% fra 2010 til hhv. 2015 og 2020 for de regionale veje. Basisscenariet og virkemidlerne nr. 8-10 i 2010 er for 2015 og 2020 fremskrevet med nedenstående faktorer.

Fremskrivning af ÅDT	2010	2015	2020
Regionale veje	1.00	1.11	1.24
Fordelings- og bydelsgader	1.00	1.00	1.00

De regionale veje er identificeret i DMU's GIS vej- og trafikdatabase ud fra kort vist i Københavns Kommune (2006). 55 ud af de 138 gader er regionale gader, se nedenstående figur.



Figur 4.2 Regionale veje (blå streger) i København og Frederiksberg kommuner. 138 beregningsspunkter (røde prikker) i trafikerede gader er også vist.

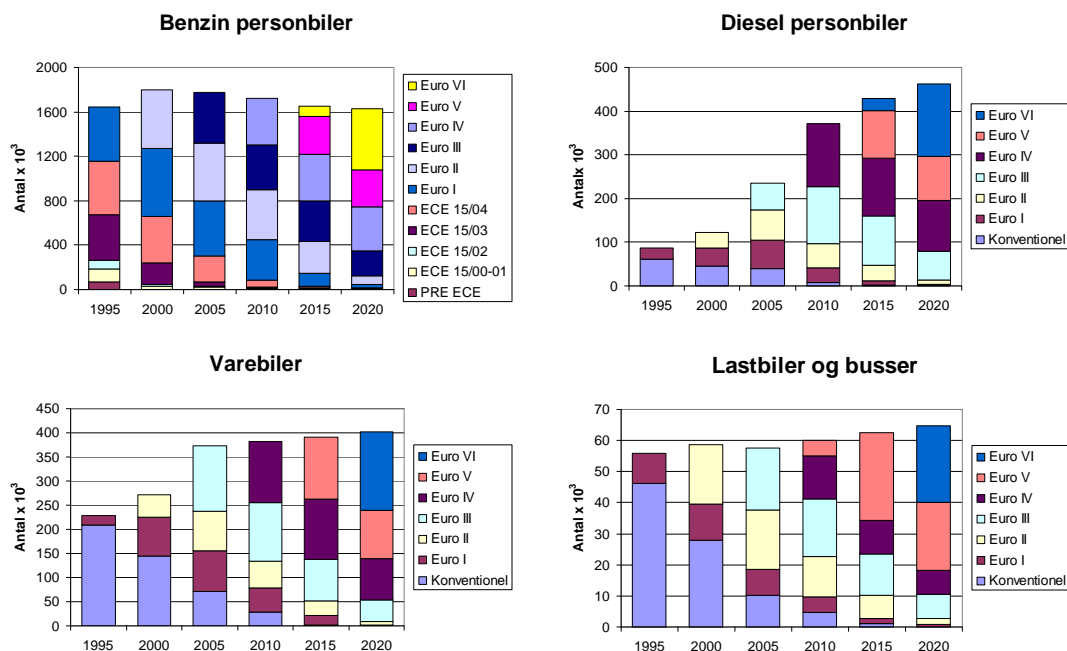
Køretøjsfordelingen er kun kendt detaljeret for 12 ud af de 138 gader. De øvrige gader har en standard køretøjsfordeling som afhænger af vejtypen (motorvej, motortrafikvej, vej > 6m, vej 3-6m, anden vej), og som er baseret på OSPM vejtyper for bygader. Køretøjsfordelingen er antaget at være ens i årene 2010, 2015 og 2020 ligesom trafikens døgnvariation også er bibeholdt. Køretøjsfordelingen er lidt forskellig i de forskellige trafikscenarier for de 12 gader.

OSPM beregningerne gennemføres med meteorologiske data fra 2005 målt på taget af H.C. Ørsted Institutet i København.

4.2.1 Bilparkens udvikling

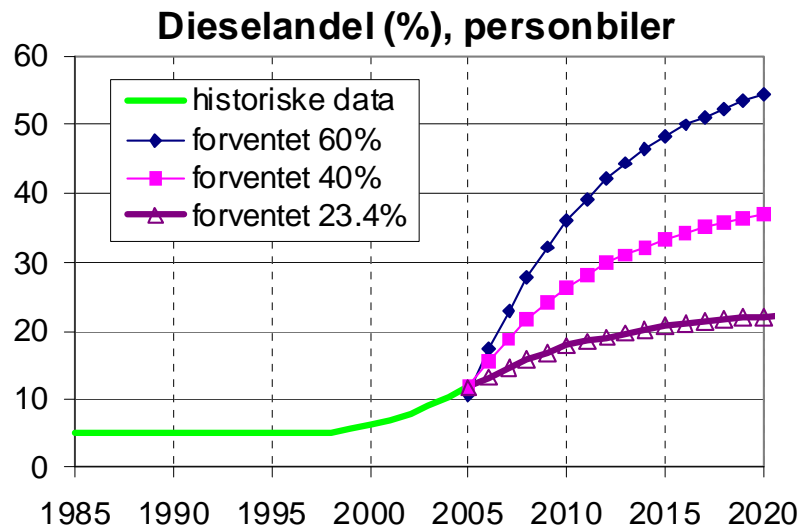
OSPMs emissionsmodul er baseret på EU COPERT 4 emissionsmodellen. Metoden anvender informationer om køretøjsbestandens fordeling på køretøjsgrupper, brændstoftyper og emissionsnormer, og der er til hver af disse knyttet emissionsfaktorer. Emissionsfaktorerne afhænger endvidere af rejsehastighed, koldstart og forværrelsesfaktorer. Fordeling på emissionsnormer, herunder EURO normer, og brændselstyper (diesel og benzin), er opdateret med nyeste data.

Figur 4.3 viser den forventede udvikling i køretøjsbestanden som følge af udskiftning af køretøjer og ikrafttrædelse af EURO normer. EURO VI for tunge køretøjer er endnu ikke vedtaget, derfor kendes ikrafttrædelsestidspunktet og emissionerne ikke. Efter aftale med Miljøstyrelsen har vi medtaget EURO VI med forventet ikrafttrædelsestidspunkt og grænseværdi.

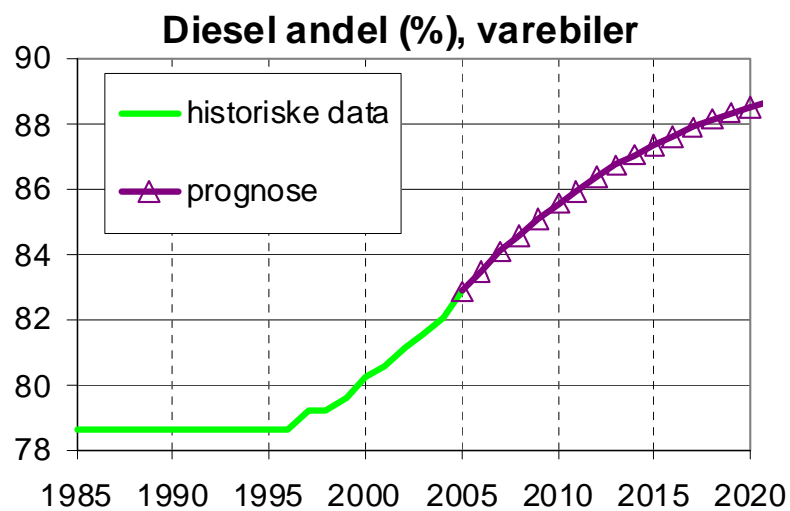


Figur 4.3 Udviklingen i bilparken er baseret på den forventede udskiftning af køretøjer og indførelse af de forskellige EURO normer. Her vist uden miljøzonekravene.

Tidligere var dieselandelen ca. 5 % af samtlige personbiler og knapt 80 % af samtlige varebiler. Disse fordelinger har ændret sig de seneste år, og vil fortsat ændre sig. Med de nuværende afgifter forventes det at indkøb af nye dieselpersonbiler vil stabilisere sig på et niveau på 60 % og for dieselvarebiler på ca. 90 %. Data fra Vejdirektoratet for andelen af dieselpersonbiler er anvendt frem til 2005. Fra 2006 og frem til 2020 er andelen af dieselpersonbiler og dieselvarebiler skønnet på basis af en udskiftningsrate på 5 % pr. år og ovennævnte forventede stabile niveau. Tidligere undersøgelser har antaget 23% (Jensen et al. 2005), og 40% eller 60% (Palmgren et al. 2007; Ketzelt & Palmgren 2008). Dette er vist i henholdsvis Figur 4.4 og Figur 4.5.



Figur 4.4 Forventet stigning i andelen af dieselpersonbiler. I nærværende analyse er der regnet med en stabilisering på omkring 60 % i 2020. I tidligere undersøgelser blev dieselandelen skønnet til 23% (Jensen et al. 2005), og til 40% eller 60% i (Palmgren et al. 2007; Ketzler & Palmgren 2008).



Figur 4.5 Forventet stigning i andelen af dieselvarebiler. Der er regnet med en stabilisering på ca. 90 %.

4.2.2 Emissioner af NO_x

OSPMS emissioner fra de forskellige køretøjskategorier er baseret på COPERT IV, der også benyttes i de nationale emissionsopgørelser for den samlede vejtrafik (Illerup et al., 2007). Hvor der ikke findes data i COPERT 4, fx for EURO V og EURO VI køretøjer, har vi anvendt emissionsnormer som emissionsfaktorer. For varebiler (EURO V og VI) har vi anvendt emissionsnormer for den største vægtklasse, som anses for at være mest repræsentativ for den danske bilpark. For tunge køretøjer har vi efter aftale med Miljøstyrelsen sat emissionsnormen for EURO VI til 20 % af EURO V.

4.2.3 Direkte emission af NO₂

Antagelser omkring den direkte NO₂ emission for de forskellige køretøjsgrupper har afgørende betydning for koncentrationsberegninger af NO₂.

I tidligere beregninger af effekten af SCR katalysatorer på tunge køretøjer (Palmgren et al. 2007) var den direkte NO₂ andel vurderet ud fra litteraturen, herunder fra en konference i Bruxelles "The impact of direct emissions of NO₂ from road vehicles on NO₂ concentrations" 19. September, 2006. Øvrige referencer var Gense et al. (2006) og Lambrecht et al. (2006). I de opdaterede beregninger heraf fra marts 2008 (Ketzler & Palmgren 2008) var antagelserne opdateret ved hjælp af Dünnebeil und Lambrecht, (2007). Disse tal er usikre og kan variere en del mellem de forskellige bilmærker og teknologier. Især er den direkte NO₂ andel for de nyeste tunge køretøjer (EURO IV og nyere) usikker, fordi der kun er få EURO IV køretøjer på gaden, og fordi det ikke er afklaret, hvilke teknologier de forskellige fabrikanten vil anvende i fremtiden.

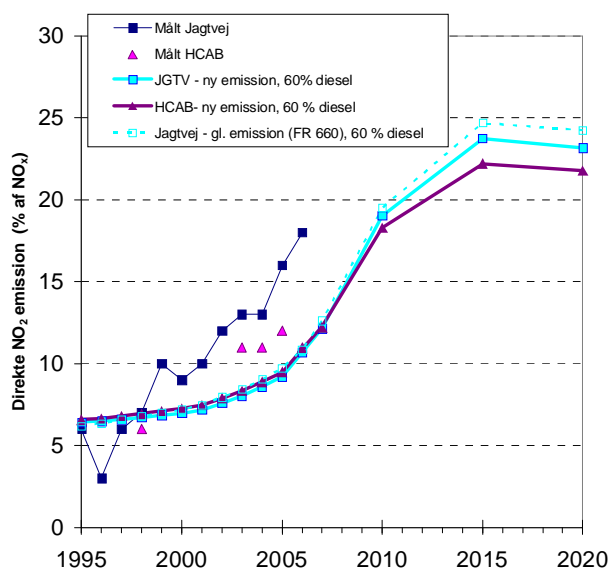
I regi af COPERT 4 er der i august 2007 publiceret et bud på direkte NO₂ andele for de forskellige køretøjsgrupper og Euronormer (EEA 2007). Da COPERT 4 har officiel status er det valgt at tage udgangspunkt i disse anbefalede værdier. Der er dog stadigvæk stor usikkerhed på disse værdier og COPERT giver også for nogle køretøjskategorier store mulige intervaller. Der er endnu ikke en standardiseret målemetode, hvilket kan give variationer fra laboratorium til laboratorium. Der kan endvidere være et stort spænd for den samme euroklasse afhængig af hvilken teknologi der anvendes, idet der ikke er krav til direkte NO₂ men kun til massen af NO_x. Vi har anvendt de anbefalede værdier i COPERT 4 med følgende modifikationer. For Euro IV diesel person- og varebiler er der anvendt en direkte NO₂ andel på 55%, da det skønnes at mange af disse køretøjer er udstyret med DPF (Diesel Particle Filter), som øger andelen af direkte NO₂ pga. platinbelægninger i filteret, som oxiderer NO til NO₂. For Euro III diesel busser er anvendt de anbefalede 14% selvom dette måske er for lavt. En del bybusser er udstyret med CRT partikelfiltre (Continuously Regenerating Trap), som også øger andelen af direkte NO₂. For Euro IV diesel busser og lastbiler bruger vi ligeledes de anbefalede 14%, da det formodes at de fleste køretøjer vil være forsynet med SCR-katalysatorer (Selective Catalytic Reduction), som reducerer både NO_x og NO₂. (Personlig kommunikation med Udo Lambrecht fra IFEU Heidelberg og Niels Anders Nielsen fra Færdselsstyrelsen). De anvendte forudsætninger er vist i nedenstående tabel.

	Før EURO	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI
Benzin personbiler	4	4	4	3	3	3	2
Benzin varebiler	4	4	4	3	3	3	2
Diesel personbiler	11	11	11	25	55	40	20
Diesel varebiler	11	11	11	25	55	40	20
Diesel lastbiler	11	11	11	22*	14	10	10
Diesel busser	11	11	11	22*	14	10	10

Note: * en vægtet procent for forskellige partikelfiltre i København baseret på oplysninger fra Miljøstyrelsen.

	Før EURO	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI
Benzin personbiler	3	5	5	5	5	5	5
Benzin varebiler	3	5	5	5	5	5	5
Diesel personbiler	15	15	15	30	40	40	20
Diesel varebiler	15	15	15	30	40	40	20
Diesel lastbiler	8	8	8	8	45	20	20
Diesel busser	8	8	8	8	45	20	20

I Figur 4.6 er vist forskellen mellem de tidligere og de nuværende antagelser om direkte NO₂ andele illustreret for to gader i København Jagtvej (JGTV) og H.C. Andersens Boulevard (HCAB). Det ses, at NO₂ procentdelen falder lidt i 2010 fra omkring 19% til 18%, i 2015 fra 25% til 24%, og i 2020 fra 24% til 23%.

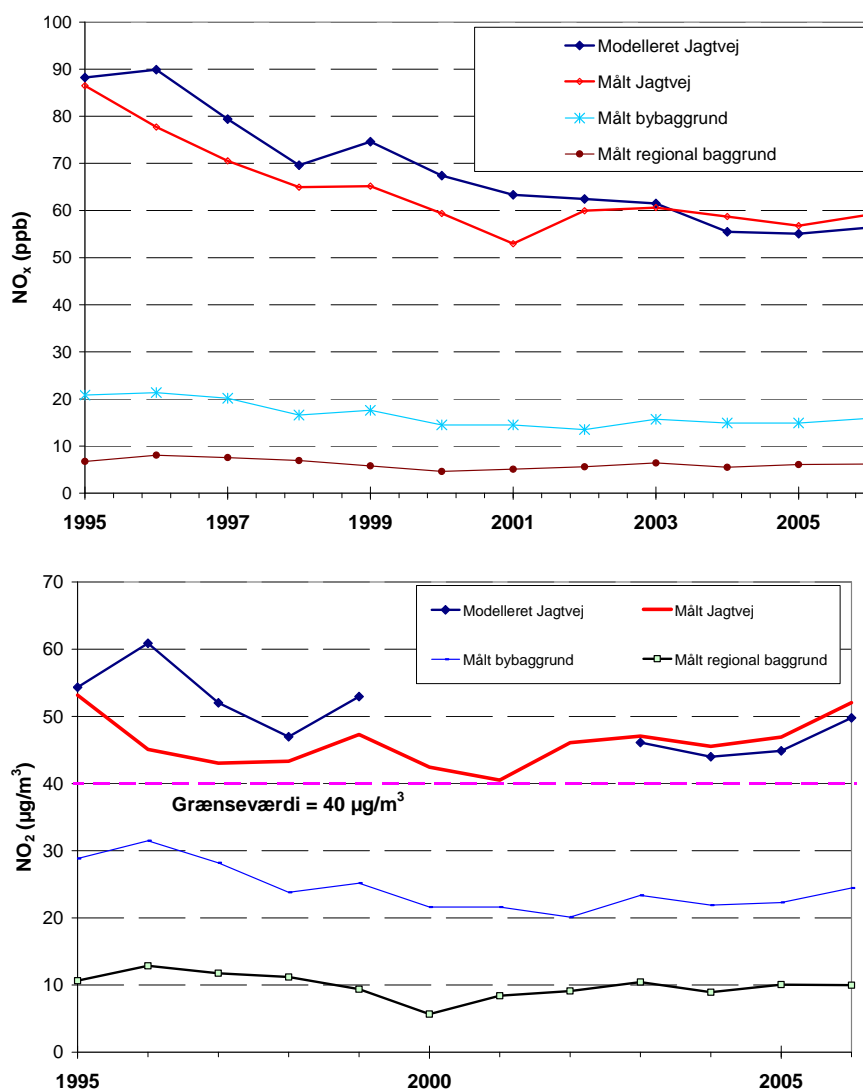


Figur 4.6 Sammenligning af udviklingen af direkte NO₂ andele for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København under forudsætning af en mætning på 60% dieselpersonbiler i 2020. Den stiplede lyseblå kurve viser de tidligere forudsætninger i Ketzel & Palmgren (2008). Målte værdier fremkommet ved analyse af måledata er også vist. Forskel mellem målt og modelleret kan skyldes at forudsætningerne om bilparkens sammensætning ikke er præcist som på disse to gader.

Disse data indgår nu i DMU/ATMI's beregningsmodel og er blevet anvendt til alle følgende beregninger. Der er ikke fuld overensstemmelse mellem modelberegningerne og den målte andel af NO₂, hvilket fx kan skyldes, at vi ikke kender aldersfordelingen af køretøjerne, men kun fordelingen mellem personbiler, varebiler, lastbiler og busser på Jagtvej og H.C. Andersens Boulevard. Der kan således være en større andel af dieselpersonbiler på disse gader end svarende til den beregnede andel ud fra nyvognssalget, fordi de nye biler (større dieselandel) bliver brugt forholdsvis meget i dette område.

4.2.4 Modelresultater sammenlignet med målinger

Med henblik på at validere modellerne har vi foretaget sammenligninger mellem eksisterende målinger på Jagtvej og beregninger udført med den nyeste opdaterede udgave af OSPM, målte data for bybaggrund (H.C. Ørsted Institutet), de nyeste emissionsfaktorer, herunder flere dieselpersonbiler og tilhørende højere direkte NO_2 andel. Trafikmængden er som nævnt antaget konstant i hele perioden. Der er en tendens til at modellen overvurderer både NO_x og NO_2 indtil omkring 2003, se Figur 4.7. Dette kan skyldes ændringer i trafikken, fx stigning i trafikken eller anden køretøjssammensætning. Der foreligger dog ikke tilstrækkeligt gode trafikdata for hele perioden, som kan dokumentere dette.



Figur 4.7 Sammenligning mellem modeller og målinger på Jagtvej. Grafen øverst er NO_x og grafen nederst er NO_2 . I modelberegningerne anvendes målt bybaggrund på H.C. Ørsted Institutet.

5 Basisscenarier 2010-2020

5.1 NO₂ i bybaggrund

Tabel 5.1 Beregnede NO₂ koncentrationer i bybaggrund i basissituationen i 2010-2020

	2010 (µg/m ³)	2015 (µg/m ³)	2020 (µg/m ³)
H.C. Ørsted Instituttet	18.3	17.1	15.3

Det ses, at der sker et mindre fald i bybaggrundskoncentrationerne fra 2010 til 2020, som skyldes den løbende udskiftning af bilparken med introduktion af stadig skærpede euronormer, og på trods af at trafikken er stigende i perioden. NO₂ i regional baggrund udgør omkring 10 µg/m³ i alle årene.

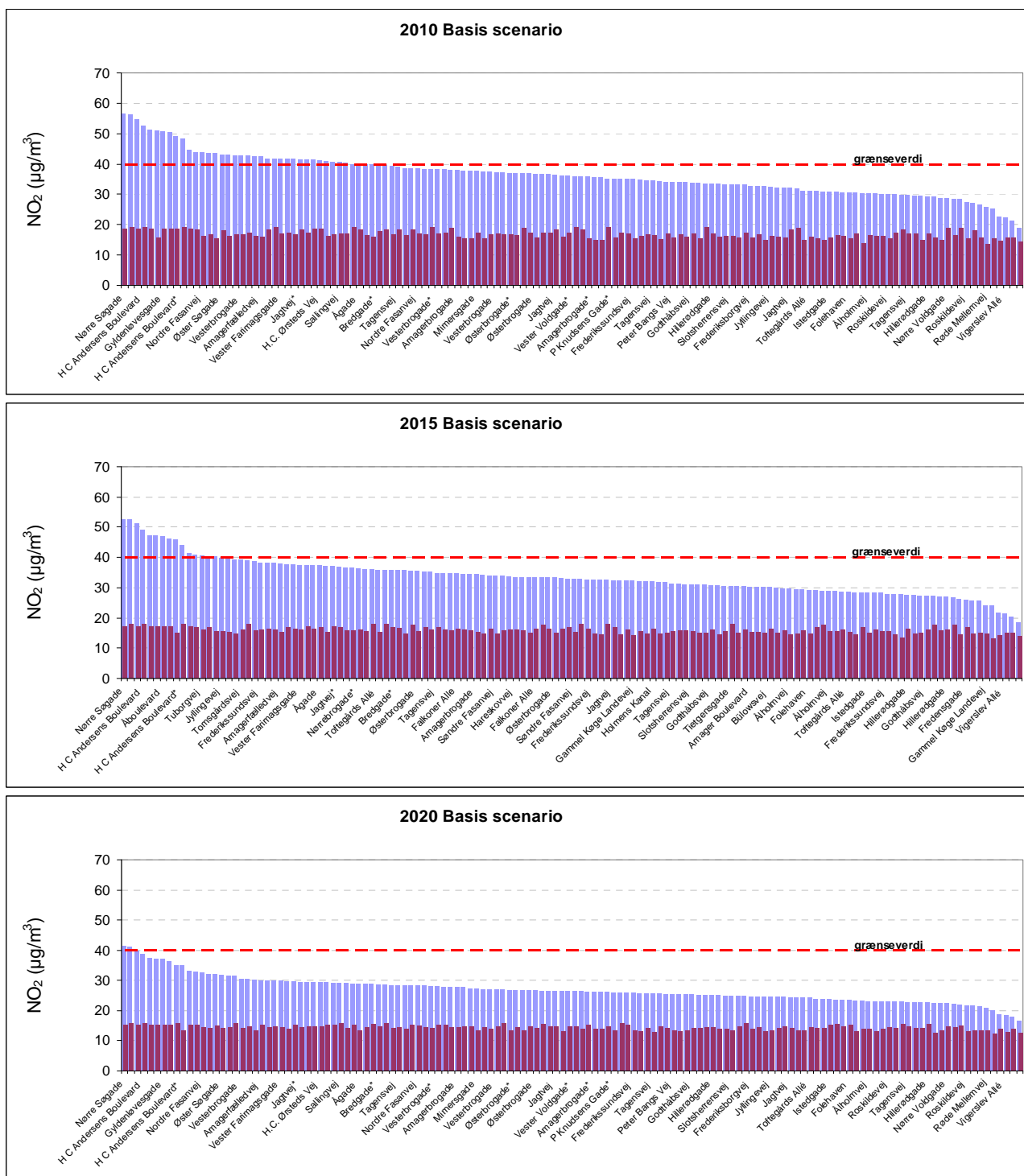
5.2 NO₂ i gadeniveau

I det følgende er vist resultater fra luftkvalitetsberegninger for de 138 gader for 2010, 2015 og 2020 for NO₂ i referencesituationen (Figur 5.1). Tilsvarende figurer er vist i Bilag C for NO_x. Beregningerne er gennemført for begge sider af en gade og den højeste værdi er vist. Figurerne viser samtidig bidragene for regional baggrund, bybaggrund og gadebidrag. Alle figurerne er sorteret på samme måde med udgangspunkt i koncentrationsfordelingen i 2010. Ens gader har derfor den samme placering i de forskellige figurer, hvilket letter sammenligninger for de enkelte gader.

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. Bybaggrundsniveauerne 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. Bybaggrundsniveauerne falder frem til 2020, hvor de udgør mellem 12 og 17 µg/m³, og gadeniveauerne falder ligeledes, så de ligger mellem 17 til 42 µg/m³ i 2020.

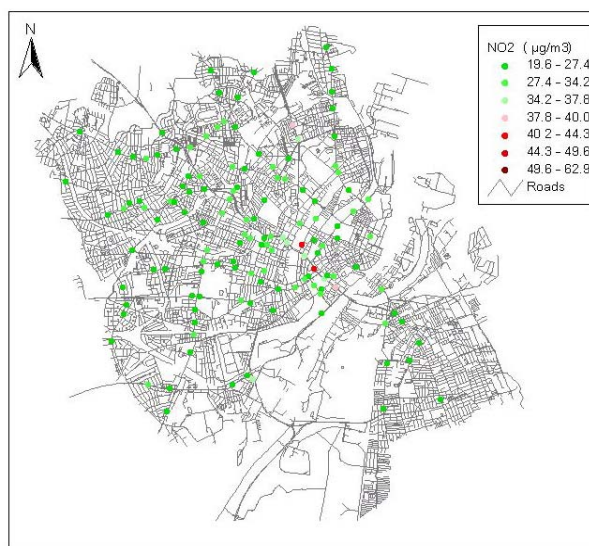
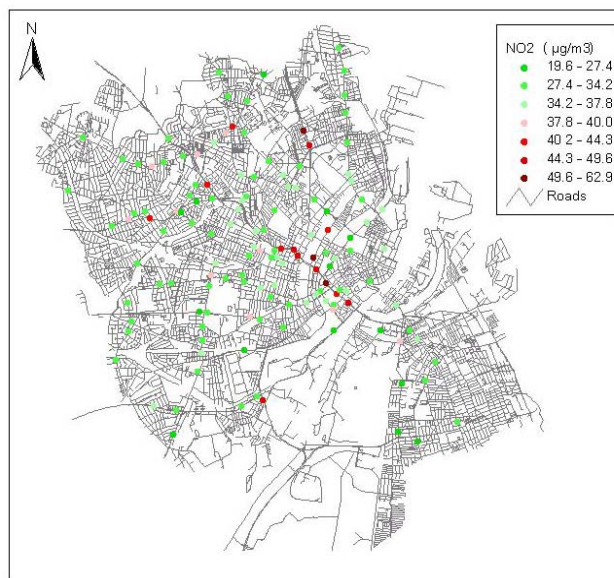
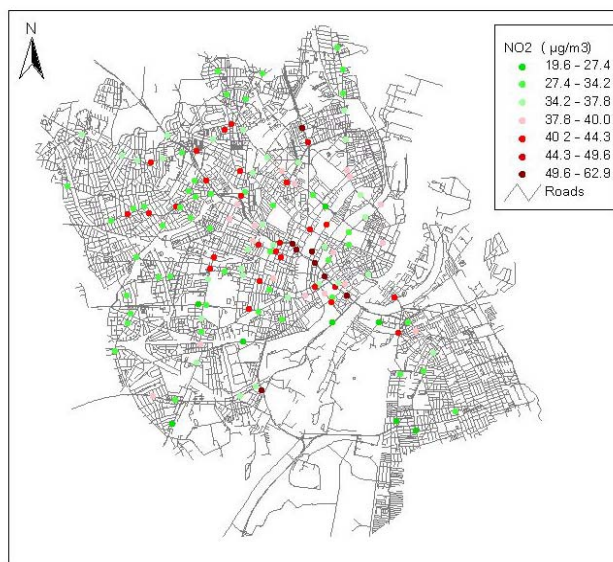
Luftkvalitetsniveauet bestemmes ikke kun af trafikniveauet på vejstrækningerne, da der ikke er nogen entydig sammenhæng mellem trafikmængder og koncentrationsniveauer. Gadens fysiske udformning i form af bygninger, gadebredde mv. også spiller en væsentlig rolle.



Figur 5.1 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 5.2 viser den geografiske lokalisering af de vejstrækninger, hvor der er overskridelser af grænseværdien for NO_2 . Det ses, at overskridelserne for NO_2 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 5.2 Overskridelser af NO₂ grænseværdien på 40 µg/m³ for årsmiddel i 2010 (øverst), 2015 (midtest), og 2020 (nederst).

Omfanget af overskridelser for NO₂ i København sandsynliggør at man også vil finde overskridelser af NO₂ i centrale dele af de største danske provinsbyer som fx Århus, Odense og Aalborg. Overskridelse af NO₂ er ikke et isoleret dansk fænomen, men et udbredt fænomen i Europa med de højeste overskridelser i Sydeuropa, hvor store byer med meget trafik kombineret med høje ozonniveauer og lave vindhastigheder giver høje NO₂ koncentrationer.

5.3 Kildeopgørelse for NOx

I Tabel 5.2 er emissionsfaktorerne for NOx vist for Jagtvej og H.C. Andersens Boulevard i 2010, 2015 og 2020. Der er en lille forskel i emissionsfaktorerne for de to gader, som skyldes små forskelle i hastigheden samt koldstartsandele. Det ses, at den tunge trafik har meget høje emissionsfaktorer pr køretøj i forhold til den lette trafik, og at taxier og varebiler har væsentlige højere emissionsfaktorer end personbiler. NOx emissionen er faldende for alle køretøjskategorier fra 2010 til 2020.

Tabel 5.2 NOx emissionsfaktorer (g/km) for basis scenarie for Jagtvej og H.C. Andersens Boulevard i 2010, 2015 og 2020

	Årstal	Personbil	Taxi	Varebil	Små lastbiler < 32 t	Store lastbiler > 32 t	Bus	I alt
Jagtvej	2010	0.41	0.50	0.87	3.46	5.94	4.81	0.61
H.C. Andersens Boulevard	2010	0.37	0.49	0.81	4.07	7.23	6.08	0.64
Jagtvej	2015	0.29	0.35	0.61	3.05	5.17	4.11	0.45
H.C. Andersens Boulevard	2015	0.27	0.35	0.58	3.58	6.30	5.21	0.49
Jagtvej	2020	0.19	0.20	0.37	2.02	3.30	2.68	0.29
H.C. Andersens Boulevard	2020	0.18	0.20	0.35	2.37	4.02	3.39	0.32

Som det fremgår af tabel 5.3 er den relative fordeling i NOx emissionen på H.C. Andersens Boulevard stort den samme i alle årene 2010, 2015 og 2020.

Tabel 5.3 NOx emission på H.C. Andersens Boulevard (%) i 2010, 2015 og 2020

	2010	2015	2020
Personbiler	48.0	45.0	46.5
Taxier	7.2	6.7	6.0
Varebiler	13.6	12.7	11.9
Lastbiler under 32 t	14.2	16.4	16.6
Lastbiler over 32 t	4.8	5.5	5.4
Busser	12.1	13.7	13.6
I alt	100.0	100.0	100.0

I tabel 5.4 er vist NOx emissionens fordelingen i 2010 på køretøjskategorier beregnet for hverdage for HC Andersens Boulevard og Jagtvej, hvor der foreligger detaljerede opgørelser for trafikens køretøjssammensætning foretaget ved manuelle trafiktællinger.

Tabel 5.4 NOx emission og køretøjsfordeling på hverdage i 2010 i basisscenarie (%)

Køretøjskategori:	HC Andersens Boulevard		Jagtvej	
	NOx emission (%)	Køretøjer (%)	NOx 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

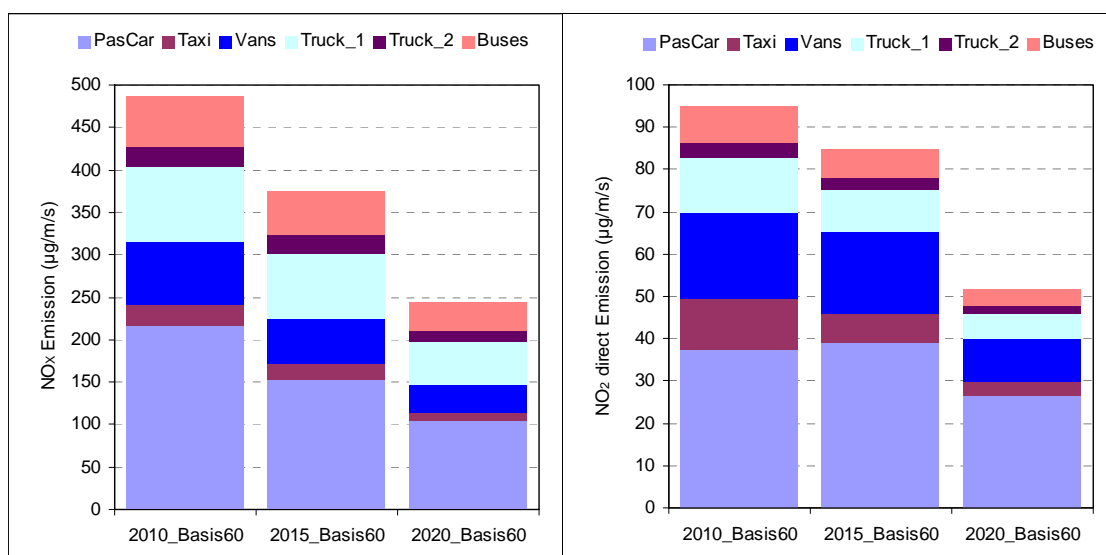
Det ses, at den tunge trafik på hverdage bidrager med 22-31% af NOx emissionen, men kun 3-4% af trafikken, taxier omkring 7% af NOx emission og 8-9% af trafikken, varebiler med omkring 14-18% af NOx emissionen og 10-12% af trafikken, og personbiler med omkring 48-54% af NOx emissionen, men med 77% af trafikken. I forhold til trafikens andel er NOx 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.

Personbilerne har relativt lave NOx emissioner, idet næsten 100% af de benzindrevne biler har katalysator i 2010. Det er forudsat, at dieselandelen af personbiler er 35% i 2010. NOx emissionen fra dieslbiler er omkring dobbelt så høj i gennemsnit som for benzinbiler i 2010, så dieseldrevne personbiler står for omkring 50% af NOx emissionen og benzindrevne biler for omkring 50%. Taxier er så godt som 100% dieslbiler. Varebiler er forudsat at være 90% dieslbiler i 2010. Lastbiler er 100% dieslbiler og busserne er også forudsat at være dieslbiler. Busser omfatter både busser i rute og turistbusser. En del busser i rute vil dog være gasbusser i det centrale København, så emissionen fra busser er lidt overestimeret. Samlet set andrager dieselkøretøjer således omkring 80-85% af NOx emissionen.

I Figur 5.3 er udviklingen i emissionstæthed pr. meter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vist for NOx emission og direkte NO₂ emission i basissituationerne 2010, 2015 og 2020 for H.C. Andersens Boulevard. Det ses, at NOx emissionen forventes at blive mere end halveret fra 2010 til 2020, og at NOx emissionen reduceres for alle køretøjsgrupper, hvilket skyldes de stadig strengere emissionskrav til NOx.

For den direkte NO₂ emission er der tale om knap en halvering af emissionen fra 2010 til 2020. For alle køretøjsgrupper undtagen personbiler reduceres også den direkte NO₂ emission fra 2010 til 2020 pga. både faldende NOx emission og faldende direkte NO₂ andele. For personbiler derimod stiger den direkte NO₂ emission lidt fra 2010 til 2015 for derefter at falde i 2020 til under 2010 niveau. Stigningen fra 2010 til 2015 skyldes den stigende andel dieselpersonbiler, og at Euro 3-5, som dominerer dieselpersonbiler i 2015 har relativt høje direkte NO₂ andele (25-55%). Det samlede fald er derfor heller ikke så stort fra 2010 til 2015. Faldet i 2020 skyldes, at Euro 6 omfatter omkring en tredjedel af dieselpersonbilerne i 2020, og har en direkte NO₂ andel på kun 20%. Bemærk at i Figur 6.1 i næste kapitel stiger den direkte NO₂

emission fra 2010 til 2015 for så at falde lidt frem mod 2020, hvorimod udviklingstendensen for H.C. Andersens Boulevard (Figur 5.3) er et konstant fald. Forskellen skyldes, at H.C. Andersens Boulevard har mange taxier, som forudsættes at være helt nye biler med lave emissionsfaktorer, hvorimod den anden udviklingstendens er baseret på data for hele miljøzonen, hvor der ikke er særskilt information om taxier. I kapitel 6 regnes de som personbiler, som derved bidrager til stigningen i direkte NO₂ emission fra 2010 til 2015.

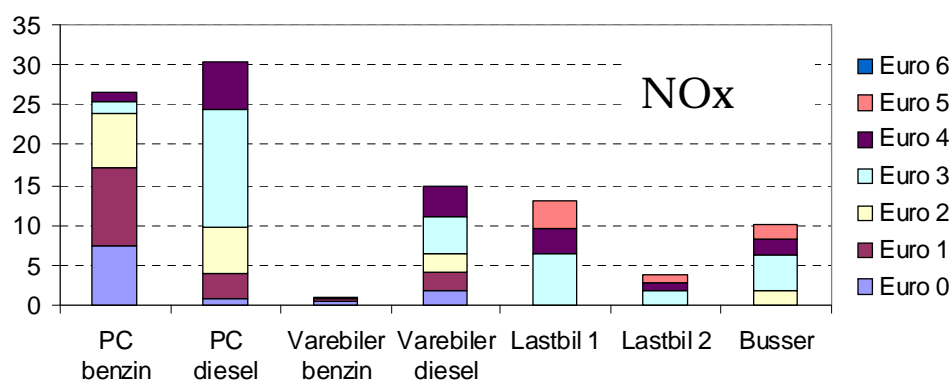
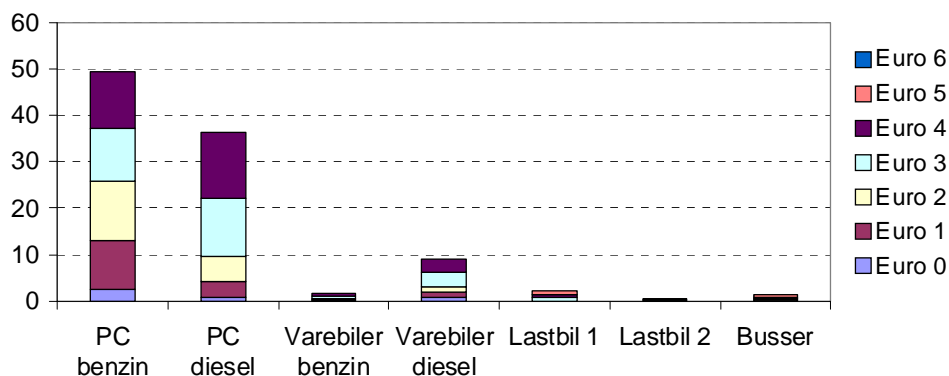


Figur 5.3 Gennemsnitlig emissionstæthed for NO_x (venstre) og direkte NO₂ (højre) opdelt i køretøjskategorier for basissituation 2010, 2015, og 2020 for H.C. Andersens Boulevard. PasCar=Personbil, Taxi=Taxi, Vans=Varebiler, Truck_1=Lastbiler >=32t, Truck_2=Lastbiler >32t, Buses=Busser.

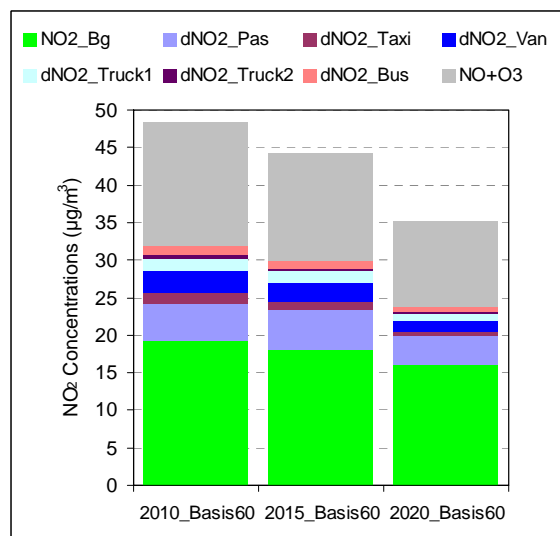
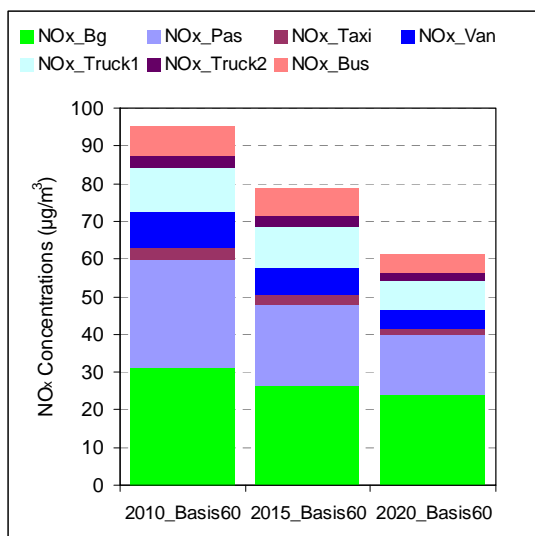
Som illustration har vi i Figur 5.5 for H.C. Andersens Boulevard beregnet koncentrationsbidragene fra de forskellige køretøjskategorier for basisscenerierne 2010, 2015 og 2020. Koncentrationsniveauet består af bybaggrunds niveauet og af gadebidraget. Gadebidraget består af to dele dels NO₂ som følge 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 Figur 5.5. I 2010 udgør bybaggrundsbidraget omkring en tredjedel mens det i 2020 er ca. halvdelen NO₂ gadekoncentrationen, og for gadebidraget er knap halvdelen det direkte NO₂ bidrag og den anden halvdel det kemiske bidrag for oxidation af emitteret NO til NO₂.

I nedenstående Figur 5.4 er NO_x fordelingen vist for de forskellige køretøjsgrupper og yderligere opdelt på Euronormer. En tilsvarende figur er vist i bilag D for partikeludstødning og ikke-udstødning.

Køretøjssammensætning på HCAB (%)



Figur 5.4 Øverst: Køretøjsfordelingen på H.C. Andersens Boulevard i basisscenariet i 2010 underopdelt på Euronormer. Nederst: NO_x emissionen underopdelt på Euronormer (%).



Figur 5.5 Beregnede årsgennemsnit af koncentrationerne af NO_x (øverst) og NO₂ (nederst) på H.C. Andersens Boulevard i København i de forskellige basisscenarier. 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.

6 Effektvurdering af NO₂ virkemiddelkatalog

6.1 Direkte NO₂ andel og NO_x emission

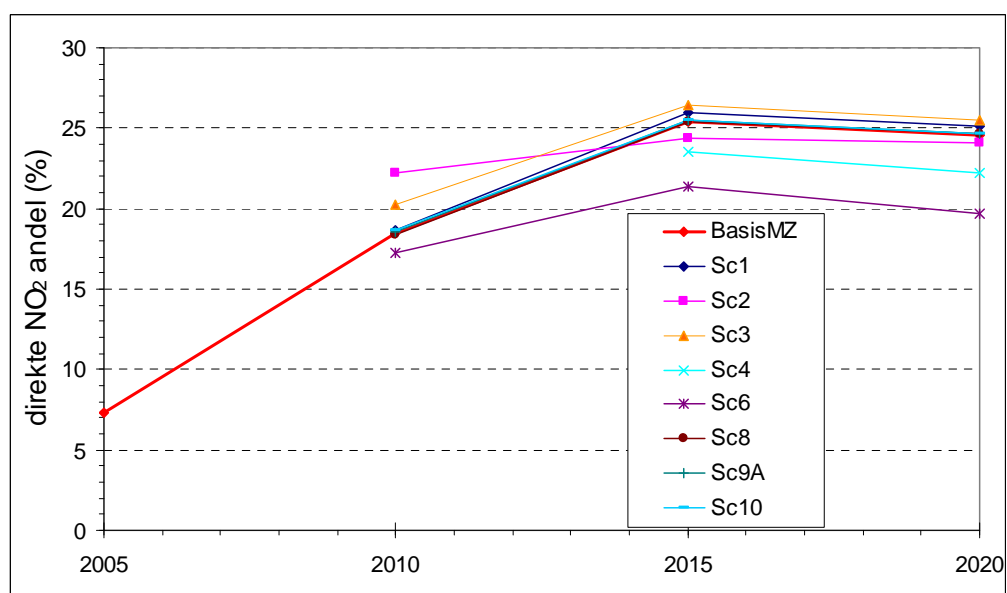
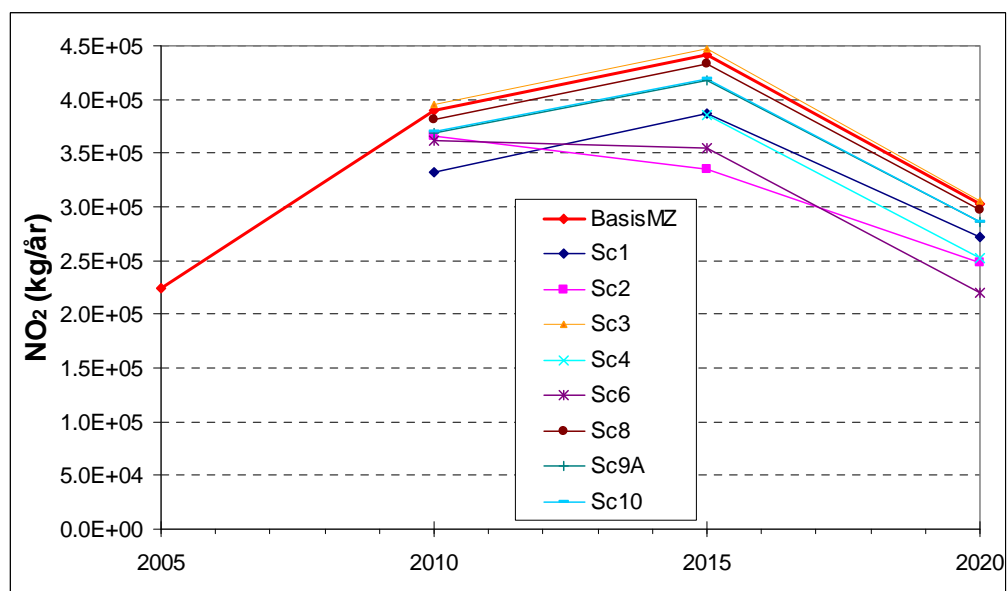
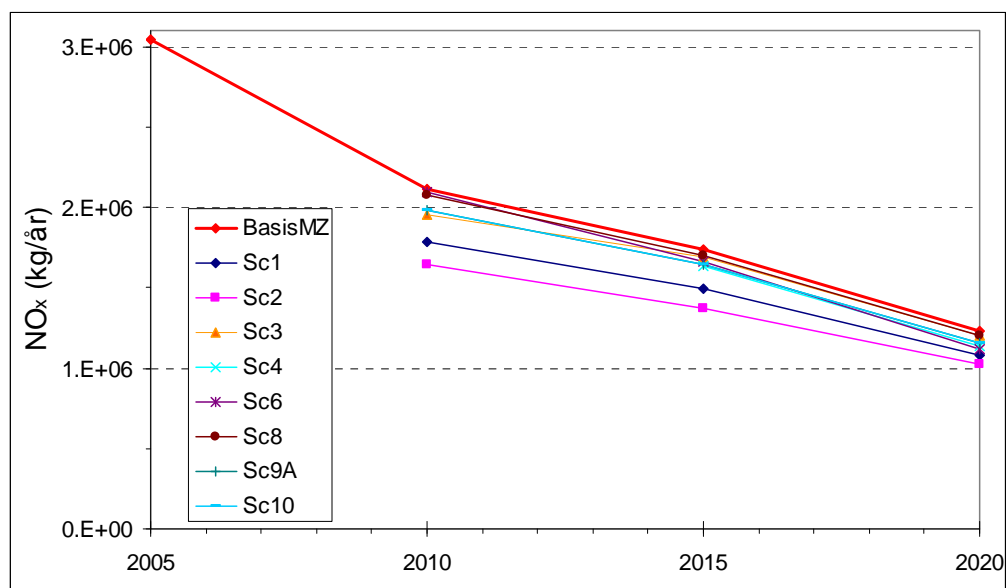
Vi har beregnet den samlede emission af NO_x, direkte NO₂ emission og gennemsnitlig direkte NO₂ andel indenfor miljøzonen for perioden frem til 2020, se Figur 6.1

Det ses, at NO_x emissionen falder i basisscenarierne, som følge af strengere Euronormer.

Alle virkemidler bidrager til endnu større fald i NO_x emissionen.

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 omkring 2005 niveauet. Den lavere direkte emission af NO₂ især for de nyeste og kommende køretøjer viser sig altså at have stor betydning. Grunden til at det direkte NO₂ niveau er højere i 2020 end i 2005 er primært, at der er flere dieselpersonbiler (også flere dieselvarebiler), som har højere direkte NO₂ andele end tidligere.

Den direkte NO₂ andel er stigende gennem hele perioden frem til 2015, hvorefter den falder lidt til 2020 for basisscenarierne.



Figur 6.1 Beregnede udviklinger inden for miljøzonen for de forskellige virkemidler i samlet NO_x emission (øverst), samlet NO₂ emission (midterst), og direkte NO₂ andele (nederst).

6.2 NO₂ koncentration på gade- og bybaggrunds niveau

I tabel 6.1 og tabel 6.2 er givet en samlet oversigt over virkemidlerne, inkl. basisscenarierne. Tabellen viser gennemsnittet af NO₂ årsgennemsnit for de 138 gader for gadekoncentrationen og for bybaggrund, antallet af overskridelser af grænseværdien på 40 µg/m³, og særskilt gadekoncentration og for bybaggrund for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København.

Tabel 6.1 Sammenfatning af effekten for luftkvaliteten af virkemidlerne 1-4

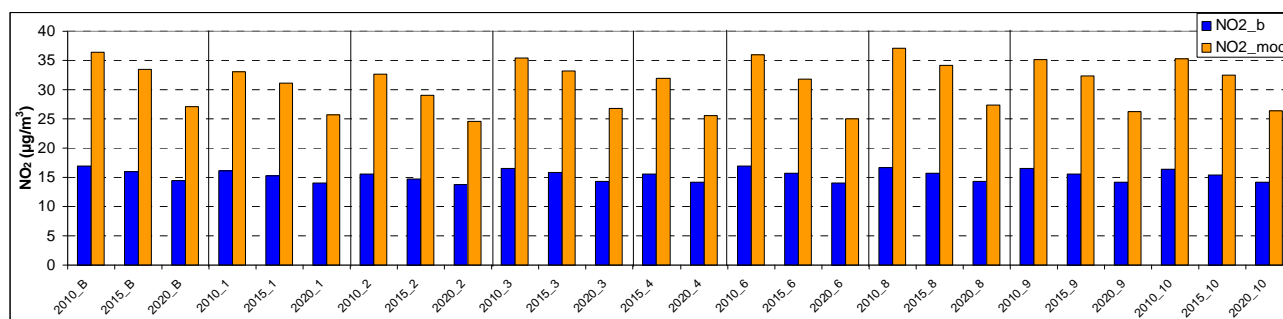
Virkemiddel	Scenario	NO ₂ gade	NO ₂ bybaggrund	Overskridelser	Bybaggrund ved	H.C.Andersens	H.C.Andersens	Bybaggrund ved	Jagtvej
		gns. (µg/m ³)	gns. (µg/m ³)	over 40 µg/m ³ (antal)	H.C.Andersens Boulevard (µg/m ³)	ns Boulevard (µg/m ³)	d ved Jagtvej (µg/m ³)	Jagtvej (µg/m ³)	
Basisscenarie	2010	36.5	17.0	35	19.3	48.4	18.3	41.6	
Basisscenarie	2015	33.5	16.0	15	18.0	44.2	17.1	37.0	
Basisscenarie	2020	27.1	14.5	2	15.9	35.1	15.3	29.1	
1. NOx reducerende udstyr på tunge køretøjer	2010	33.0	16.2	10	18.3	44.7	17.4	39.2	
1. NOx reducerende udstyr på tunge køretøjer	2015	31.1	15.3	10	17.1	41.4	16.4	35.2	
1. NOx reducerende udstyr på tunge køretøjer	2020	25.7	14.1	0	15.4	33.4	14.9	28.0	
2. Tyske miljøzonerregler i Kbh.	2010	32.6	15.6	10	17.5	42.2	16.7	36.6	
2. Tyske miljøzonerregler i Kbh.	2015	29.1	14.8	7	16.4	37.2	15.7	31.3	
2. Tyske miljøzonerregler i Kbh.	2020	24.6	13.8	0	15.0	31.2	14.5	26.0	
3. Forbud mod benzin personbiler uden kat.	2010	35.5	16.5	30	18.7	46.6	17.8	40.2	
3. Forbud mod benzin personbiler uden kat.	2015	33.2	15.8	13	17.8	43.6	16.9	36.5	
3. Forbud mod benzin personbiler uden kat.	2020	26.9	14.4	2	15.8	34.8	15.2	28.8	
4. Fremskynde nye diesel person- og varebiler*	2015	31.9	15.6	10	17.5	41.8	16.7	34.9	
4. Fremskynde nye diesel person- og varebiler*	2020	25.6	14.1	0	15.5	32.8	14.9	27.2	

Note: * Fremskyndelsesscenariet starter først i 2015.

Tabel 6.2 Sammenfatning af effekten for luftkvaliteten af virkemidlerne 6-10 (virkemiddel nr. 7 behandles særskilt)

Virkemiddel	Scenario	NO ₂		Overskridelser over 40 µg/m ³ (antal)	Bybaggrund ved H.C.Andersens Boulevard (µg/m ³)	H.C.Andersens Boulevard (µg/m ³)	Bybaggrund ved Jagtvej (µg/m ³)	Jagtvej (µg/m ³)
		NO ₂ gade gns. (µg/m ³)	bybaggrund gns. (µg/m ³)					
6. Introduktion af miljøbiler som elbiler mv.	2010	35.9	16.9	33	19.2	47.6	18.2	41.0
6. Introduktion af miljøbiler som elbiler mv.	2015	31.7	15.7	10	17.6	41.5	16.8	34.8
6. Introduktion af miljøbiler som elbiler mv.	2020	25.0	14.0	0	15.4	31.9	14.8	26.6
8. Lokal trafikplanlægning	2010	39.7	16.6	44	18.9	46.8	18.0	41.7
8. Lokal trafikplanlægning	2015	34.1	15.7	18	17.6	42.5	16.8	36.9
8. Lokal trafikplanlægning	2020	27.4	14.2	2	15.7	34.0	15.1	29.0
9A. Betalingsring	2010	35.1	16.5	25	18.7	45.8	17.8	41.2
9A. Betalingsring	2015	32.3	15.6	11	17.5	41.9	16.7	36.5
9A. Betalingsring	2020	26.2	14.2	0	15.6	33.5	15.0	28.7
10. Vejafgifter	2010	35.3	16.4	28	18.5	46.8	17.6	37.6
10. Vejafgifter	2015	32.6	15.5	17	17.3	42.8	16.6	33.7
10. Vejafgifter	2020	26.4	14.1	1	15.5	34.1	14.9	26.8

Beregnete NO₂ koncentrationer for gade (gennemsnittet af de 138 gadestrækninger) og bybaggrund for alle scenarier er vist grafisk i Figur 6.2. Der sker en større procentvis reduktion i gadekoncentrationerne i forhold til bybaggrund, da bybaggrund er domineret af det regionale baggrund på 10 µg/m³, som forudsættes at være konstant i perioden 2010-2020.



Figur 6.2 Koncentrationen af NO₂ i alle scenarier med forventet 60 % andel af dieselpersonbiler. For hvert scenarie er vist gennemsnit over de 138 gadestrækninger samt bybaggrund. NO2_mod: gade; NO2_b: bybaggrund.

6.3 Totale NOx og direkte NO₂ emissionsreduktioner

I Figur 6.3 er den totale NOx emission for scenarierne underopdelt på køretøjskategorier, og den totale NOx emission er også vist underopdelt i NO emission og direkte NO₂ emission. Endelig er den direkte NO₂ andel også vist. Den totale emission er kun opgjort inden for miljøzonen i København, som her er defineret som København og Frederiksberg kommuner. Tallene er præsenteret i tabelform i bilag B. I praksis vil der også være betydelige emissionsreduktioner uden for miljøzonen, da biler som overholder miljøzonekrav også vil køre uden for miljøzonen, men det er meget vanskeligt at opgøre, da der ikke foreligger oplysninger herom.

Som det ses falder NOx emissionen fra 2010-2020 og alle køretøjskategorier bidrager hertil. I basis og alle øvrige scenarier er der indregnet trafikstigning fra 2010 til 2020, så effekten af penetrering af renere Euroklasser overlejrer trafikstigningen. Dette data kan også bruges til at få en ide om, hvilket bidrag der ydes til overholdelse af EU NEC direktivet (National Emission Ceilings), hvad angår referenceudviklingen og scenarierne. NEC direktivet stiller krav om at overholde lofter for nationale udledninger af bl.a. NOx. Tallene er præsenteret i tabelform i bilag B.

Den direkte NO₂ andel stiger fra 2010 til 2015 for derefter at falde lidt frem mod 2020 i basisscenarierne, hvilket især skyldes at der kommer flere dieselpersonbiler (og også til en vis grad flere dieselvarebiler), som har relativ højere direkte NO₂ andele. For de forskellige virkemidler kan der både forekomme fald og stigninger afhængigt af det aktuelle virkemiddel.

Den samlede direkte NO₂ emission fås som den gennemsnitlige direkte NO₂ andel gange NOx emissionen. Trendens i scenarierne er at den direkte NO₂ emission stiger lidt fra 2010 til 2015 for derefter at falde lidt frem mod 2020.



Figur 6.3 Øverst: Total emission underopdelte på køretøjskategorier for de forskellige scenarier. Midterst: Total NOx emission underopdelte i NO emission og direkte NO₂ emission. Nederst: Direkte NO₂ andel. Scenarie 7 vedr. overflytning kan ikke beregnes, da dette kun er behandlet som eksempelberegninger. Scenarie 4 om fremskyndelse af euronormer starter først i 2015. Alt data refererer til miljøzonen.

6.4 Vurdering af de enkelte virkemidler

Som det fremgår af tabel 6.1 vil antallet af overskridelser af NO₂ grænseværdien på 40 µg/m³, som skal være overholdt i 2010, falde fra 35 i 2010, til 15 i 2015, og til 2 i 2020 uden nye tiltag udover miljøzonekravene. Grunden til at antallet af overskridelser mindskes er den faldende NOx emission og direkte NO₂ emission grundet en bilpark, som opfylder stadig strengere emissionsnormer samt at miljøzonekravene også har en effekt på NOx, da det antages at nogle ældre tunge køretøjer udskiftes med nyere i stedet for, at der sættes partikelfiltre på ældre køretøjer. 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.

Det ses ligeledes, at alle 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.

6.4.1.1 Virkemiddel nr. 1 med NO_x katalysator (SCR) på alle tunge køretøjer

Dette er et effektivt virkemiddel som vil være i stand til at reducere antallet af overskridelse til 10 i 2010. Virkemidlet forudsætter NO_x katalysator (SCR) på alle tunge køretøjer (<= Euro 3), som forudsættes at reducere NO_x emission og direkte NO₂ emission med 80%. Miljøzonekravene forventes implementeret således, at Euro 3 lastbiler får partikelfilter, men at 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 partikelfilter og at Euro 3 får partikelfilter. Det vil sige, at de tunge køretøjer, som forudsættes at få SCR er Euro 3 lastbiler og busser samt 50% af Euro 2 busser. Omkring 40% af busserne i 2010 vil få SCR og omkring 30% af lastbilerne. Virkemidlet kræver ikke SCR på Euro 4 og 5. De tunge køretøjer (lastbiler og busser) udgør en lille del af trafikken men bidrager relativt meget til NO_x emission og direkte NO₂ emission. Hvis et eventuelt krav om SCR på tunge køretøjer bliver imødekommet med anskaffelse af Euro 4 eller 5 køretøjer i 2010 vil effekten blive mindre, idet emissionsfaktorerne for Euro 4 eller 5 er højere end 80% af Euro <=3. Effekten af dette virkemiddel er sandsynligvis overvurderet, da det vil være mere sandsynligt at transportbranchen vil skifte en del lastbiler til nyere Euroklasser i stedet for at eftermontere SCR katalysatorer. Tidligere beregninger har også vist stor positiv effekt af SCR på tunge køretøjer selvom forudsætninger har været lidt anderledes med hensyn til direkte NO₂ andele (Ketzell & Palmgren 2008) Såfremt dette virkemiddel skal gennemføres, som en del af miljøzonen i København og andre byer, vil det kræve en ændring af miljøzonestrategien. Miljøzonestrategien giver mulighed for at kræve partikelfilter på tungekøretøjer <= Euro 3 fra 1.1.2010. Et eventuelt krav om NO_x katalysatorer, som skitseret i dette virkemiddel, vil derfor rette sig mod de samme køretøjer.

6.4.1.2 Virkemiddel nr. 2 med tyske miljøzone regler i dansk miljøzone

Virkemiddel nr. 2 med tyske miljøzone regler fra 1.1.2010 indebærer at alle benzinkøretøjer skal være mindst Euro 1 (have katalysator) og alle dieselskøretøjer mindst Euro 4 (eller Euro 3 med filter). Dette er det mest effektive virkemiddel med 10 overskridelser i 2010 men kun 7 i 2015, hvor virkemiddel nr. 1 med SCR har 10 overskridelser i 2015. Dette virkemiddel retter sig mod både benzin- og dieslbiler og mod lette og tunge køretøjer. Det forbyder ældre benzinbiler under katalysator. I 2010 er der i scenariet forudsat at 4,8% før-Euro 1 benzinpersonbiler erstattes af Euro 4 benzinpersonbiler og 7% benzinvarebiler, hvilket svarer til en meget kraftig emissionsreduktion, da ikke-katalysator biler erstattes med katalysatorbiler. Tilsvarende er der 26% dieselpersonbiler, 16% taxier og 35% dieselvarebiler <= Euro 2 som forudsættes erstattet med Euro 4. Euro 4 har mindst halvt så lave emissionsfaktorer som <= Euro 2, men til gengæld stiger den direkte NO₂ andel fra 11% til 55%, hvilket betyder at NO₂ emissionen faktisk ender med at stige. Dieselpersonbiler, taxier og dieselvarebiler bidrager med omtrent 40% af samlet NO_x i 2010, og deres samlede direkte NO₂ emission vil stige. For lastbiler bliver 35-38% og for busser 40% (busser <= Euro 2) erstattet af Euro 5. NO_x emissionen fra Euro 5 er mindre end halvdelen af NO_x emissionen for <= Euro 2, og direkte NO₂ andele er omtrent de samme, hvilket vil reducere NO₂ emissionen. Til gengæld retter virkemidlet sig ikke mod Euro 3 tunge køretøjer, som med en direkte NO₂ emission på 22% har en høj direkte NO₂ procent, som er væsentlig højere end de øvrige euronormer for tunge køretøjer (10-14%). Dette virkemiddel illustrerer, at det ikke er nok at fokusere på NO_x emission, og at de direkte NO₂ andele betyder meget for det samlede resultat. Som det fremgår af Figur 6.3 har dette virkemiddel den

højeste gennemsnitlige direkte NO₂ andel (22%) i forhold til basis og de forskellige andre virkemidler i 2010.

Virkemidlet ville have endnu større effekt, hvis det blev kombineret med krav inden for de enkelte Euroklasser om lave direkte NO₂ andele. Accept af Euro 3 tunge køretøjer med partikelfilter (og uden SCR NO_x katalysator) giver således højere direkte NO₂ andele, da visse partikelfiltre indeholder stoffer, som oxiderer NO til NO₂. I dette virkemiddel er det forudsat, at ældre Euroklasser udskiftes med helt nye, men man kunne også forestille sig at udskiftningen skete til en blanding af de Euroklasser, som er tilladt i miljøzonen. Hvis dette er tilfældet vil effekten være knap så stor, da disse Euroklasser vil have større emissionsfaktorer end de helt nye. Modsat kan man også forestille sig at kravene vil fjerne trafik, da nogle bilister i de ældre Euroklasser helt vil afholde sig fra at køre ind i miljøzonen. I dette tilfælde opnås en lidt større effekt.

6.4.1.3 Virkemiddel nr. 3 forbud mod benzinpersonbiler uden katalysator

Virkemiddel nr. 3 forbud mod alle før-Euro 1 benzinpersonbiler dvs. benzinbiler uden katalysator retter sig i 2010 mod de omkring 4,8% benzinpersonbiler, som ikke har katalysator af alle benzinpersonbiler. Den samlede NO_x emission reduceres med omkring 8%, men antallet af overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2010 er 30 mod 35 i referencesituationen, så virkemidlet har begrænset effekt. Før-Euro 1 benzinpersonbiler forudsættes, at blive erstattet af Euro 4 biler. I praksis vil før-Euro 1 bilerne givetvis blive erstattet af et miks af nyere biler, så effekten er sandsynligvis overvurderet. I 2015 og 2020 vil der kun være hhv. 1,8% og 1,1% før-Euro 1 benzinbiler tilbage, og erstatning af disse med nyere biler vil kun have begrænset effekt.

6.4.1.4 Virkemiddel nr. 4 om fremskyndelse af Euro 6 således at diesel person- og varebiler

Virkemiddel nr. 4 om fremskyndelse af Euro 6 således at diesel person- og varebiler forudsættes 2 år tidligere for Euro 6 er kun vurderet for 2015 og 2020, da Euro 6 først er planlagt til at træde i kraft for personbiler i 2015 og for varebiler i 2016. I 2015 er der 10 overskridelser af NO₂ grænseværdien som følge af dette virkemiddel i forhold til basissituationen i 2015 på 15 overskridelser.

6.4.1.5 Virkemiddel nr. 6 introduktion af miljøbiler

Virkemiddel nr. 6 introduktion af miljøbiler illustrerer betydningen af at introducere personbiler med ingen eller meget lav NO_x emission. Ved miljøbiler forstås her elbiler, brintbiler og hybridbiler. I virkemidlet er det forudsat at hele nysalget fra 2010 er elbiler (svarende til en bil uden lokal NO_x emission). Nyregistrerede personbiler i 2010 er 6% af personbilbestanden, 26% i 2015 og 45% i 2020, hvilket udgør det maximale potentiale, da hele nysalget næppe vil kunne bringes til kun at omfatte miljøbiler. Det forudsættes, at elbilerne erstatter de nyeste Euroklasse i de pågældende år. Miljøbilerne erstatter altså biler, som også har lave emissioner, hvorved den samlede effekt ikke slår så hurtig igennem. Effekten af dette virkemiddel er forholdsvis begrænset i 2010, da der er 33 overskridelser af NO₂ grænseværdien mod 35 i basisscenariet. Effekten er større i 2015 med 10 overskridelser mod 15 i basis. Da det tager omkring 20 år at udskifte hele bilparken vil effekten være maksimal i 2030, hvor der ikke ville være lokale NO_x emissioner fra personbiler, hvis de alle var elbiler. Effekten af dette virkemiddel vil derfor først vise sig på længere sigt.

6.4.1.6 Virkemiddel nr. 7 om overflytning af biltrafik til bustrafik

For virkemiddel nr. 7, som omhandler overflytning af biltrafik til kollektiv transport, er der ikke gennemført luftkvalitetsberegninger, da vi ikke umiddelbart har data, der belyser dette. Sammenhængen mellem overflytning af biltrafik til bustrafik og konsekvenserne for NOx emissionen er derfor illustreret for en konkret gade for at illustrere potentialet heri. I vurderingerne tages der hensyn til en gennemsnitsbelægning i bil og bus på hhv. 1,5 og 13 (Trafikministeriet 2000). Resultaterne er meget afhængige af valg af belægninger i bil og bus, og disse varierer også over døgnet. I myldretiden er belægningen lavere i biler, men højere i busserne, hvor det typisk er omvendt uden for myldretiden. Resultaterne er også meget afhængige af hvilke teknologier der sammenlignes, da der er stor forskel på emissionsfaktorerne.

Som det fremgår af den tidligere præsenterede tabel 5.4 er personbiltrafikken ansvarlig for omkring 48-54% af NOx, og bustrafikken for 9-12% af NOx for H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej i København i 2010. Den relative andel forventes ikke at ændres væsentlig fra 2010-2020, og der er derfor kun fokuseret på 2010.

I det følgende er konsekvenserne af overflytning illustreret for H.C. Andersens Boulevard i 2010.

Tabel 6.3 NOx emissionsfaktorer, belægning og NOx pr. personkm for personbiler og busser for H.C. Andersens Boulevard i 2010

	Gns. NOx emissionsfaktor (g/km)		Gns. belægning (Antal/køretøj)			NOx/personkm (g/personkm)		
	Personbil	Bus	Personbil	Bus	Bus/Personbil	Personbil	Bus	Bus/Personbil
Jagtvej	0.41	4.8	1.5	13	8.7	0.27	0.37	1.4
H.C. Andersens Boulevard	0.37	6.1	1.5	13	8.7	0.25	0.47	1.9

Som det fremgår af ovenstående tabel er NOx emissionsfaktorerne meget større for den enkelte bus i forhold til den enkelte bil. Selvom der er omkring 9 gange så mange personer i en bus i forhold til en personbil er NOx emissionen pr. personkm omkring halvdelen til dobbelt så høj for en bus i forhold til en bil. Ud fra en gennemsnitsbetragtning koster det altså halvdelen til dobbelt så meget NOx emission at flytte én person én km i en bus i forhold til en bil. Overflytning af personbiltrafik til bustrafik vil derfor betyde en øgning af NOx emissionen på næsten 50% ved 100% overflytning, se Figur 6.4. I tilfælde af en 100% overflytning vil personbiltrafikken falde til 0% fra de nuværende 77% og bustrafikken vil stige til omkring 30% af trafikken fra de nuværende 1.2%. Overflytningen vil derfor løse alle trængselsproblemer, men NOx emission vil stige voldsomt, for så vidt der ikke stilles særlige krav til bussernes emission.

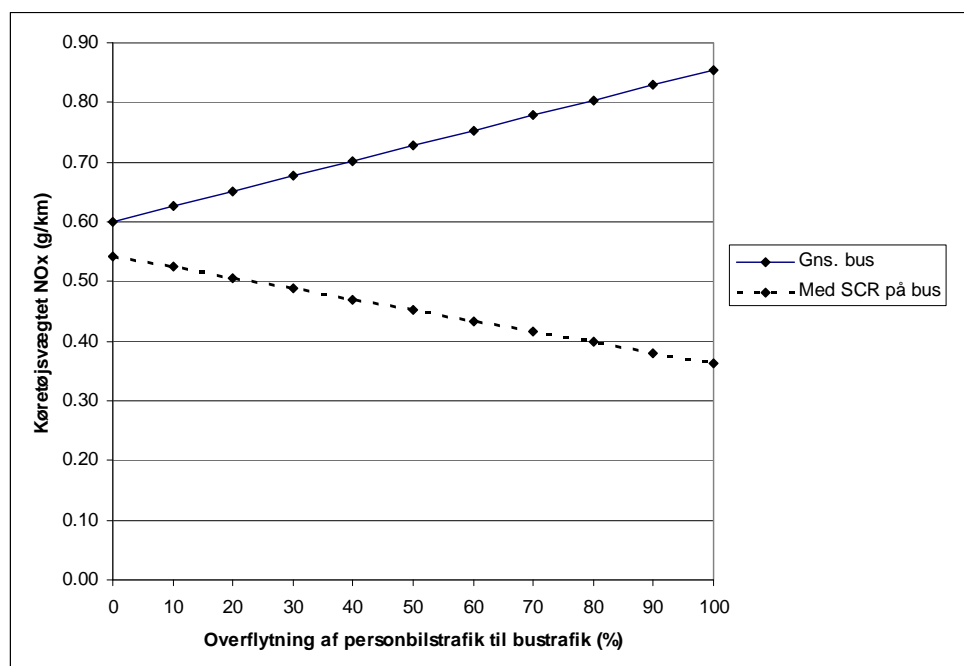
Det er her antaget, at en overflytning af personbiltrafik til bustrafik vil kræve mere bustrafik i samme forhold som forholdet mellem gennemsnitsbelægningen for personbil og bus. Den nuværende bustrafik har overskudskapacitet især uden for myldretiderne, hvor antallet af passagerer kunne øges uden indsættelse af flere busser. Men markant flere passagerer vil i første omgang kræve væsentlige flere busser i

myldretiderne, og siden hen også udenfor myldretiderne. Det er sandsynligvis muligt at øge den gennemsnitlige belægning i busserne, hvis der var væsentligt flere passagerer. Stigningen i NO_x emissionen som følge af overflytning fra biltrafik til bustrafik overestimeres derfor muligvis, men der er næppe tvivl om at det vil føre til en markant stigning i NO_x emissionen.

I Figur 6.4 er det også illustreret, hvad betydningen er for valg af emissionsteknologi for busserne, idet der er regnet på et eksempel, hvor alle busser er antaget at være udstyret med SCR NO_x katalysatorer, som reducerer NO_x med 80%. I dette alternativ vil NO_x emissionen falde ved overflytning af biltrafik til bustrafik med omkring 30% ved en 100% overflytning. Eksemplet illustrerer også at en overflytning fra biltrafik til bustrafik skal kombineres med skærpede NO_x emissionskrav til busserne for at der vil være en gevinst for NO_x emissionen og dermed for NO₂ koncentrationen.

Der skal meget kraftige virkemidler til for at realisere en stor overflytning fra biltrafik til kollektiv trafik. I virkemidlerne 9A og 10 med betalingsring i København eller vejafgifter forventes en reduktion af biltrafikken med omkring 12-13%. Som det fremgår af Figur 6.4 vil dette føre til beskedne ændringer i NO_x emissionen.

Initiativer der kunne overflytte biltrafik til metroen ville resultere i en ren NO_x besparelse, da metroen ikke bidrager til luftforurening i gaderummet.



Figur 6.4 Udviklingen af den gennemsnitlige NO_x emissionsfaktor for hele trafikken på H.C. Andersens Boulevard i 2010 under forskellige antagelser om overflytning fra personbiltrafik til bustrafik. Eksempel med SCR NO_x katalysatorer på busserne er også illustreret.

6.4.1.7 Virkemiddel nr. 8 om lokal trafikplanlægning

Virkemiddel nr. 8 om lokal trafikplanlægning omhandler havnetunnel, Metro City Ring, pendlerplaner, og trafiksanering i København. Dette virkemiddel har tidligere været gennemregnet (Jensen et al. 2005), hvor beregninger viste, at det havde marginal indflydelse på antallet af overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2010, fordi der kun er lille påvirkning af trafikken generelt (en procent), mens der helt lokalt kan være større effekt. Dette virkemiddel er gennemregnet med de opdaterede forudsætninger for emissionsfaktorer og direkte NO₂ andele samt med trafikfremskrivning fra 2010 til 2020.

Virkemidlet har lidt flere overskridelser i 2010 end basisscenariet. Grunden til at der er denne lille forskel er, at beregning af bybaggrundskoncentrationerne er baseret på et nyt trafikgrundlag for 2005, som i geografisk fordeling er lidt anderledes end de oprindelige antagelser. Da den geografiske fordeling af bybaggrundskoncentrationerne er baseret på det nye trafikgrundlag kan det give disse forskelle.

6.4.1.8 Virkemiddel nr. 9A handler om betalingsring i København

Virkemiddel nr. 9A handler om betalingsring i København med ens priser for samme køretøjsgruppe. Betalingsringen begrænser særligt personbiltrafikken over ringen, men har ingen effekt på interne ture indenfor ringen. Der er mindre effekt på vare- og lastbiltrafik. Effekten er helt afhængig af taksten. Den trafikale effekt heraf er beregnet med Ørestadstrafikmodellen, og viste en trafikreduktion på omkring 13%. Virkemidlet er identisk med samme virkemiddel beskrevet i Jensen et al. (2005). Virkemidlet har en væsentlig effekt på antallet af NO₂ overskridelser, idet det i 2010 reduceres fra 35 i basis til 25, samt i 2015 fra 15 i basis til 11.

6.4.1.9 Virkemiddel nr. 10 handler om vejafgifter (road pricing) i København

Virkemiddel nr. 10 handler om vejafgifter (road pricing) i København. Dette virkemiddel begrænser særligt personbiltrafikken i hele det område afgifterne dækker. Der vil være en mindre effekt på vare – og lastbiltrafik. Effekten er helt afhængig af takststrukturen. Den trafikale effekt heraf er beregnet med Ørestadstrafikmodellen, og viste en trafikreduktion på omkring 12%. Virkemidlet er identisk med samme virkemiddel beskrevet i Jensen et al. (2005). Virkemidlet har en betydelig effekt i 2010, idet antallet af overskridelser reduceres fra 35 i basis til 28. I 2015 har virkemiddel nr. 10 (road pricing) lidt flere overskridelser end virkemiddel nr. 9A (betalingsring) på niveau af basis scenarie, hvilket kan skyldes at trafikken på de regionale veje er fremskrevet, og at betalingensringen og road pricing ikke rammer de samme veje på samme måde.

6.5 Rangordning af de enkelte virkemidler

I tabel 6.4 er de forskellige virkemidler rangordnet efter, hvor effektivt de reducerer antal overskridelser af NO₂ grænseværdien i 2010. De enkelte virkemidlers rang er også vist i forhold til: samlet NO_x emission, den gennemsnitlige direkte NO₂ andel og den samlede NO₂ emission inden for miljøzonen.

Tabel 6.4 Rangordning af virkemidlerne efter forskellige kriterier						
Virkemiddel	Tiltag	Virkemiddel type	Antal overskridelser af NO ₂ grænseværdien i 2010	Rangordning efter antal overskridelser af NO ₂ grænseværdien i 2010	Rangordning efter NOx emission i miljøzone	Rangordning efter direkte NO ₂ emission i miljøzone
Tyske miljøzonerregler 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	10	1	1	2
NOx reducerende udstyr på tunge køretøjer	NOx reducerende udstyr (SCR) på alle diesel lastbiler og busser med Euro <=3 (Euro 4 og 5 undtaget)	Teknologikrav i miljøzone	10	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.

6.6 NO₂ i andre byer

Der er ikke i nærværende projekt foretaget detaljerede beregninger for andre byer end København, fordi de ikke har kunnet gennemføres indenfor rammerne af dette projekt. Det er imidlertid muligt at foretage et groft skøn over niveauet i de 3 øvrige største byer (Odense, Århus og Aalborg) ud fra bybaggrundsmålinger under Det Landsdækkende Måleprogram (LMP) og data om trafiktæthed (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 den gade lå i en af de øvrige byer ville grænseværdien for NO₂ på 40 µg/m³ ikke være overskredet eller måske 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.

6.7 Usikkerheder

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 forurening er forudsat at være konstant i perioden 2010-2020, da de seneste 10 år har vist stort set et konstant niveau. Fortsat reduktion af NO_x emission på europæisk plan kan forvente at reducere det regionale bidrag lidt i perioden.

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.

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 (Ketzell & 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 rapport 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.

6.8 Indikativ statistisk model

Den metode, som er blevet benyttet til beregning af koncentrationen i de forskellige scenarier er baseret på en deterministisk tilgang baseret på spredningsmodellerne UBM og OSPM. Anvendelse af spredningsmodeller er en relativt ressourcekrævende metode. Derfor har der også været overvejet enklere metoder. I det følgende præsenteres en lineær statistisk model for H.C. Andersens Boulevard, som beskriver NO₂-koncentration som funktion af NO_x emission og direkte NO₂ andel, baseret på regressionsanalyse. Sammenhængen er beregnet ud fra data i de forskellige scenarier i 2010, 2015 og 2020 som defineret i en tidligere rapport om vurdering af effekten af SCR-katalysatorer på tunge køretøjer som virkemiddel til nedbringelse af NO₂ forureningen (Ketzal & Palmgren 2008). Disse scenarier beskriver forskellige NO_x emissioner og direkte NO₂ andele. Der er dels opstillet en funktionsmæssig sammenhæng, hvori kun NO_x emission indgår (Mod1), og dels en funktion, hvor både NO_x emission og direkte NO₂ andele indgår (Mod2). Det ses, at den sidste giver lidt bedre resultater, da den inddrager NO₂ andelene (Figur 6.5). Det ses endvidere, at sammenhængen mellem NO_x emission og NO₂ koncentration er næsten lineær inden for det givne spænd af emissioner og NO₂ andele. Formlerne for de to modeller er givet i nedenstående ligninger:

$$\text{Mod1: } c\text{NO}_2 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)} = 18.025 + 0.066 * Q\text{NO}_x \text{ (}\mu\text{g/m/s)}$$

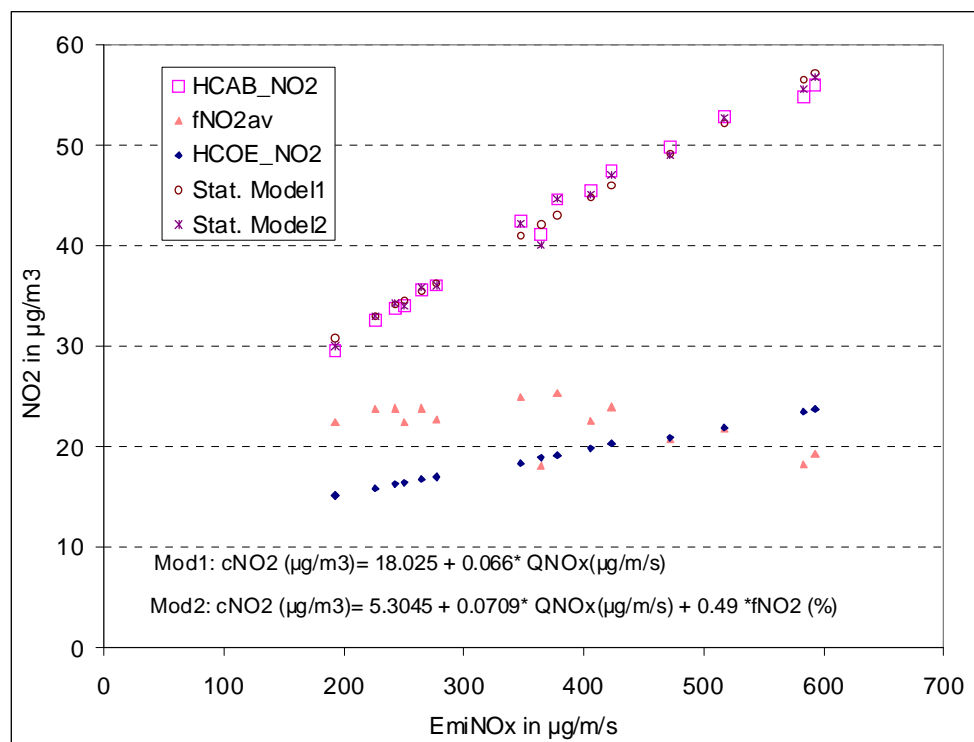
$$\text{Mod2: } c\text{NO}_2 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)} = 5.3045 + 0.0709 * Q\text{NO}_x \text{ (}\mu\text{g/m/s)} + 0.49 * f\text{NO}_2 \text{ (\%)} \\ \text{(\%)}$$

hvor

$c\text{NO}_2$ = NO₂ koncentration

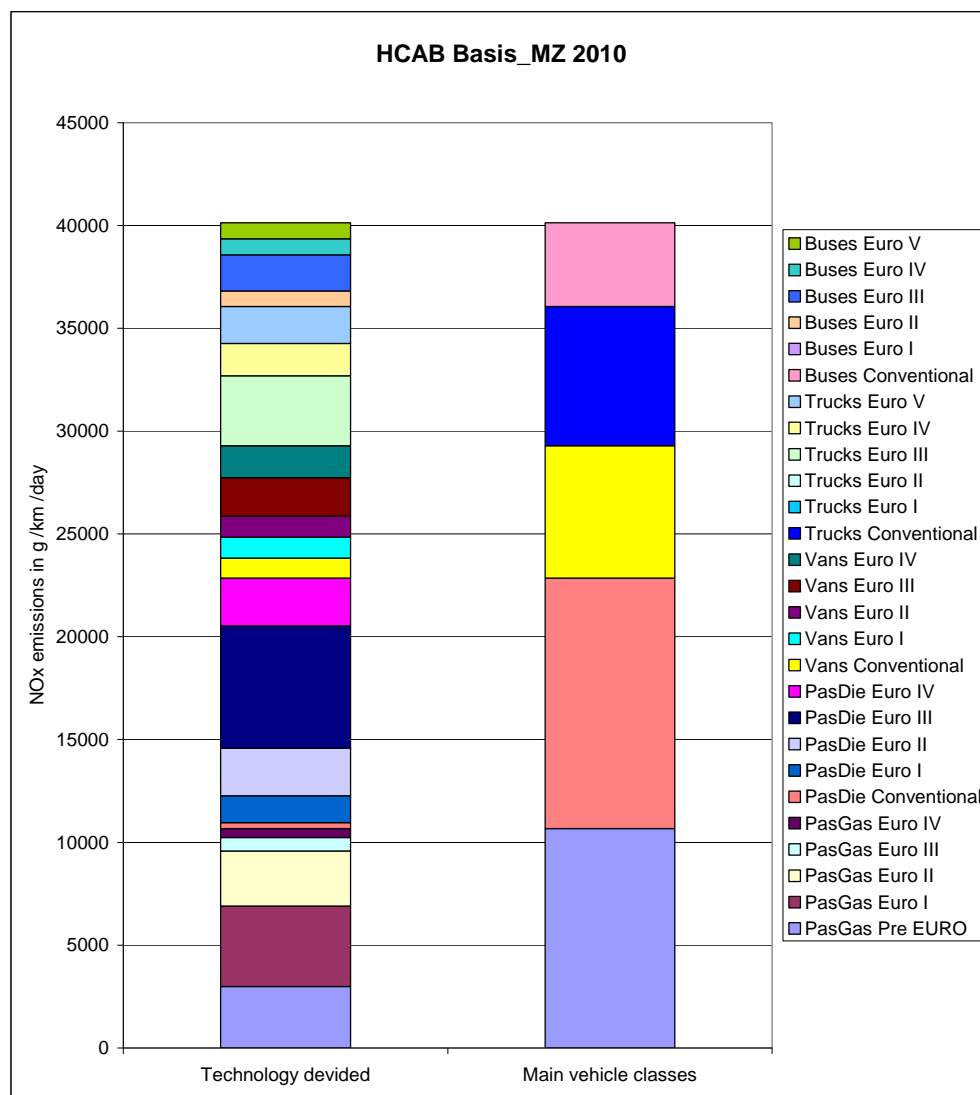
$Q\text{NO}_x$ = NO_x emission

$f\text{NO}_2$ = NO₂ andel



Figur 6.5 Statistiske modeller for sammenhængen mellem NO_x emission og NO₂ andele samt NO₂ koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard (HCAB) i København i 2010, 2015 og 2020. (cNO₂ = NO₂ koncentration, QNO_x = NO_x emission, fNO₂ = NO₂ andel). Bybaggrundskoncentrationen på H.C. Ørsted Institutttet (HCOE) er også vist.

Sammenhængen kan bruges til at få en ide om, hvor meget NO₂ koncentrationen reduceres, når NO_x emissionen og den direkte NO₂ andel ændres. I nedenstående Figur 6.6 er vist NO_x emissionen opdelt på køretøjskategorier og yderligere underopdelt på emissionsklasse i basisscenariet i 2010. På baggrund af disse informationer og ovenstående formler kan NO₂ koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard estimeres ud fra forskellige antagelser om NO_x emission og NO₂ andele.



Figur 6.6 NOx emission opdelt på køretøjskategorier og yderligere underopdelt på emissionsklasse i 2010 i basisscenariet. (PasGas=benzinpersonbil, PasDie=diesel personbil, Vans=varebiler, Trucks=lastbiler, Buses=busser)

De to modeller er kun opstillet for H.C. Andersens Boulevard og afhænger derfor af bybaggrunds niveauet på H.C. Andersens Boulevard, men også af køretøjssammensætningen, hvor fx andelen af tung trafik vil variere fra gade til gade. Hældningen vil også være forskellig fra gade til gade bl.a. som følge af forskelle i gadekonfiguration. Pga. disse forskelle skulle der i princippet opstilles en statistisk model for hver af de 138 gader, hvilket ikke er gjort, da det er tidskrævende at beregne emissionen. Man kunne forestille sig at én statistisk model, som inddrager alle 138 gader, også ville give en lineær sammenhæng med rimelig høj korrelationskoefficient. Der er imidlertid ikke så meget sparet ved at bruge en statistisk model, da en meget stor del af tidsforbruget går til at beregne emissionen for de forskellige virkemidler, hvilket under alle omstændigheder skal gøres. Derfor er alle konsekvensvurderinger af virkemidler gennemført med luftkvalitetsmodeller (UBM/OSPM).

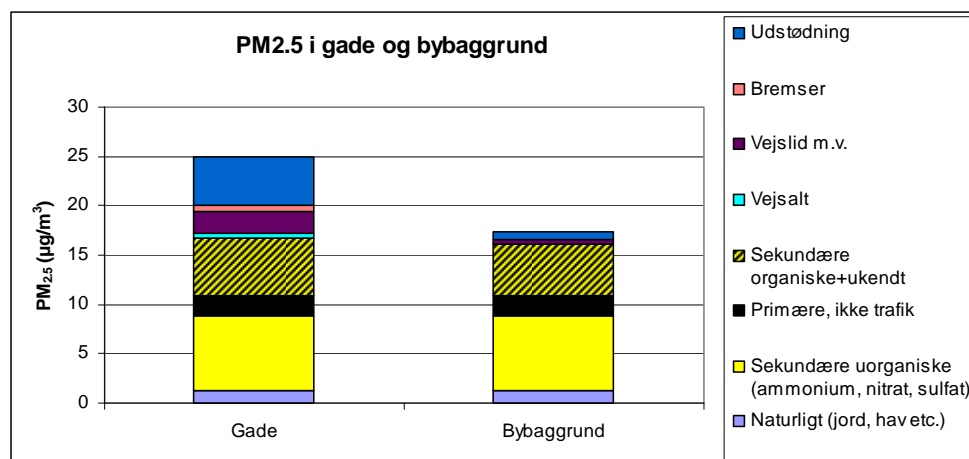
7 Effektvurdering for øvrige forureninger

7.1 PM₁₀ og PM_{2.5} koncentrationer

Overskridelse af PM₁₀ grænseværdien for 2005 og NO₂ grænseværdien for 2010 er et udbredt problem i større europæiske byer. København ligger i denne sammenhæng i den bedre halvdel, hvilket skyldes relativt lav emissionstæthed samt at det blæser mere end under sydlige klimatiske forhold. Der er ingen større europæisk by der gennem lokale tiltag har løst alle problemer med overskridelse af grænseværdierne. Væsentlige lokale tiltag har været miljözoner med forskellige emissionskrav (<http://www.lowemissionzones.eu>), betalingsring til reduktion af biltrafikken kombineret med øget kollektiv trafik (London, Stockholm), busser med partikelfiltre og gasbusser.

Der er på enkelte målestationer problemer med at overholde PM₁₀ grænseværdien for 2005, som døgnværdier, hvor niveauet på 50 µg/m³ kun må overskrides 35 gange inden for et år. Derimod er der ikke problemer med at overholde grænseværdien for PM₁₀ på 40 µg/m³ udtrykt som årsmiddelværdi, hvor den højeste målte værdi i 2007 var 38 µg/m³. Årsmiddelværdien har dog lige netop været overskredet på enkelte stationer i tidligere år (Kemp et al. 2008). Modelberegninger for 2010 indikerer dog, at der måske kan forventes enkelte overskridelser i de mest befærdede gaderum for PM₁₀ som årsmiddelværdi i 2010, og dermed langt færre overskridelser end for NO₂ (Jensen et al. 2010).

I Figur 7.1 er vist en typisk kildeopgørelse for PM_{2.5} på en trafikeret gade i København. Det ses, at bybaggrund udgør en dominerende del af gadeniveauerne, og en meget stor del af bybaggrund består af det regionale bidrag (sekundært dannede partikler i atmosfæren og naturligt genererede partikler). Gadebidraget er forholdsvis lille og består næsten ligeligt af udstødningspartikler og ikke-udstødning (bremser, vejslid mv., vejsalt). Alle udstødningspartikler antages at være indeholdt i PM_{2.5}. Niveauerne for PM₁₀ vil være omkring 15% højere for bybaggrund og omkring 30% højere for gaden. Strengere euronormer eller partikelfiltre vil kun reducere udstødningsdelen, som udgør en relativ lille del af PM_{2.5} og PM₁₀.



Figur 7.1 Typisk kil deopgørelse for PM_{2.5} på en trafikeret gade i København.

I december 2006 vedtog Folketinget enstemmigt en lov om miljøzoner i de 5 største bykommuner. Siden har Frederiksberg og København vedtaget at indføre miljøzoner fra september 2008. Ålborg har annonceret, at de indfører miljøzoner fra d. 1. februar 2009. Odense og Århus har endvidere tilkendegivet positiv interesse og arbejder på at sende forslag i høring. Formålet med etablering af en miljøzone er at forbedre sundheden for borgerne i de største byer ved at reducere luftforureningen med partikler i områder med høj trafikbelastning og høj befolkningstæthed. Loven giver mulighed for at kræve partikelfiltre på de tunge køretøjer/overholdelse af bestemte emissionsnormer. Den danske miljøzone retter sig kun mod partikler og gælder kun for tunge køretøjer indtil videre (med mulighed for også at inddrage varebiler). DMU har gennemført en række forundersøgelser af den forventede effekt af miljøzoner, som minder om det, der er ved at blive implementeret. På trods af at partikelfiltre på tunge køretøjer antages at reducere udstødningspartikler med 80% i gennemsnit er reduktionen af partikelforureningen i bybaggrund beskedent, med lidt større effekt i gadeniveau med omkring 4% for PM₁₀ og 6% for PM_{2.5}, hvor man er tæt på forureningskilden. Den beskedne reduktion skyldes, at det regionale bidrag er meget stort, og at partikelfiltre ikke reducerer den ikke-udstødningsrelaterede partikelforurening (ophvirvling, vej-, dæk-, og bremseslid), samt at reguleringen kun omfatter tunge køretøjer. Reduktionen er mindst for PM₁₀ (partikler under 10 µm), lidt større for PM_{2.5} (partikler under 2,5 µm), mens der opnås en vis effekt for antal partikler, som er domineret af udstødningspartikler, og hvor det regionale bidrag ikke er dominerende (Palmgren et al. 2005a,b).

Der forventes kun få overskridelser af PM₁₀ grænseværdien på 40 µg/m³ som årsmiddelværdi fra 2010 og frem. Emissionsnormerne skærpes, og partikelfiltre vil blive mere udbredt på alle dieselskøretøjer, hvilket vil reducere partikeludstødningen, men det vil kun reducere PM₁₀ koncentrationen beskedent i gaderum. I gaderum, hvor trafikken stiger vil ikke-udstødningsrelaterede partikelforurening (ophvirvling, vej-, dæk-, og bremseslid) stige, så der er tale om to modsatrettede tendenser, som dog tilsammen vurderes at give konstante eller faldende koncentrationer. Da der forventes få eller ingen overskridelser af grænseværdien for PM₁₀ på 40 µg/m³ som årsmiddelværdi er der ikke afrapporteret en mere detaljeret analyse heraf for de 138 gader for de forskellige scenarier.

Overskridelser af grænseværdien på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for døgnmiddelværdier med mere end 35 gange om året vil sandsynligvis fortsætte med at kunne forekomme fremover. Det skyldes, at disse overskridelser i høj grad er betinget af ugunstige meteorologiske forhold som vindstille/lav vindhastighed eller stærk inversion (stabil atmosfære som modvirker opblanding), eller perioder, hvor den regionale fjerntransporterede luftforurening fra det øvrige Europa bidrager væsentligt til høje PM_{10} niveauer. Men den lokale trafik spiller også en væsentlig rolle, fordi den ligger en bund af PM_{10} forurening, som så sammen med meteorologiske forhold eller fjerntransport resulterer i overskridelser. Lokale tiltag kan derfor reducere trafikens bidrag, hvor reduktion af selve trafikken vil være vigtig, da ikke-udstødning også reduceres i dette tilfælde. Der er tidligere blevet gennemført en analyse af årsagen til overskridelser i 2006 af PM_{10} grænseværdien for døgnmiddelværdier (Wählin & Palmgren 2008). Denne analyse viste, at den lokale trafik og fjerntransport var årsag til overskridelser. Ophvirvling af vejstøv er en faktor i perioder, hvor vejsalt bruges til glatførebekæmpelse ligesom ophvirvling af vejstøv kan være det i tørre perioder fx August. Pollen og anden organisk materiale kan også bidrage til overskridelser fra maj til oktober. Langtransporteret luftforurening er også en væsentlig faktor, hvor overskridelser især optræder med vindretninger fra øste og sydvest, hvor forurenede luft bringes til Danmark fra det øvrige Europa.

Mht. til det nye luftdirektiv, som har en målsætning om, at $\text{PM}_{2.5}$ skal reduceres med 20% i bybaggrund fra 2010 til 2020, vurderer DMU, at opnåelse af en 20% reduktion i $\text{PM}_{2.5}$ koncentrationen i bybaggrund er indenfor rækkevidde i Danmark, hvis EU's temastrategi udmøntes i et kommende revideret NEC-direktiv med de foreslåede emissionslofter for de europæiske lande. $\text{PM}_{2.5}$ koncentrationer i bybaggrund er for en stor dels vedkommende bestemt af regional fjerntransporterede luftforurening, og EU's temastrategi vil derfor bidrage til et fald både i $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} i bybaggrund (Andersen et al. 2006).

Grænseværdien på $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i bybaggrund som årsmiddelværdi i 2015 forventes ikke at volde problemer, da der allerede i dag er en god margin hertil. For 2020 er der foreslået en indikativ grænseværdi på $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2020, som vil blive revurderet i 2013. En sådan grænseværdi vil være tættere på de niveauer, som måles i dag, men ovenstående NEC direktiv forventes at reducere $\text{PM}_{2.5}$ i bybaggrund med 20%.

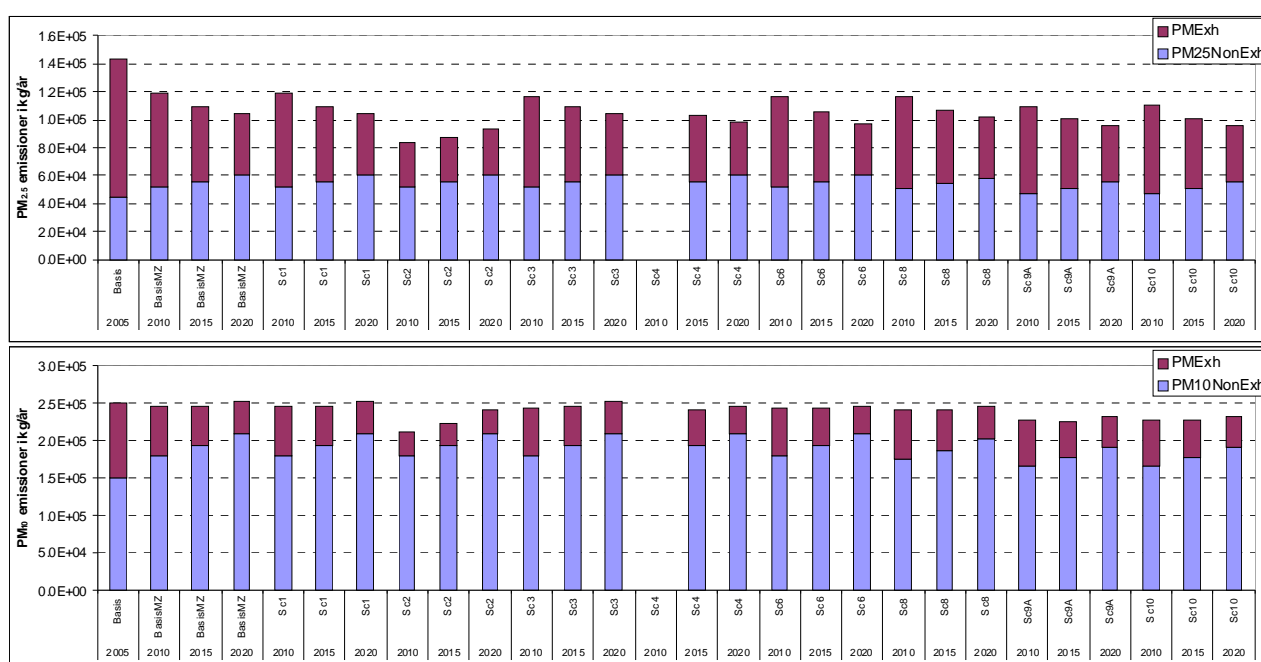
7.2 Samlede $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} emissioner i miljøzonen

I Figur 7.2 er vist den samlede partikelemission af $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} inden for miljøzonen i de forskellige scenarier. I basisscenarierne ses en faldende tendens for $\text{PM}_{2.5}$, som en kombination af at udstødningsemissionen falder mens ikke-udstødning stiger, da ikke-udstødning er proportional med trafikstigningen. Det ses også, at den relative andel af ikke-udstødning er stigende, hvilket gælder både for $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} . PM_{10} er mere eller mindre konstant fra 2010 til 2020, da ikke-udstødning udgør en større relativ del af PM_{10} , fordi PM_{10} indeholder flere mekanisk dannede partikler end $\text{PM}_{2.5}$.

Alle scenarierne (undtagen nr. 2 tyske miljøzoner) viser en svagt faldende tendens fra 2010 til 2015, mest for $\text{PM}_{2.5}$ og lidt for PM_{10} . Virkemiddel nr. 2 tyske miljøzoner har dog de laveste $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} emissioner af alle scenarierne i 2010, hvorefter der er en stigende tendens. Dette skyldes, at dette scenarie foretager en markant regulering af ældre køretøjer i 2010, hvorefter

stigningen herefter skyldes den generelle trafikstigning. Endvidere giver den løbende udskiftning af bilparken kun en meget lille effekt på udstødningsemissionen i dette scenarie, da ældste biler allerede er fjernet i 2010, og nyere biler herefter bliver erstattet af biler, som også har lave emissionsfaktorer.

De øvrige teknologiske virkemidler (nr. 3 forbud mod benzinbiler uden katalysator, nr. 4 om fremskyndelse af Euronormer, nr. 6 om miljøbiler) adskiller sig kun lidt for basisscenariet, fordi de kun påvirker partikelemission lidt, og fordi ikke-udstødning er så væsentlig en del. De økonomiske virkemidler, som reducerer trafikken (nr. 9A betalingsring rettet mod 12% ældre biler, og nr. 10 om road pricing) har her en tydelig effekt, primært fordi ikke-udstødningsemissionen bliver reduceret ved reduktion i trafikken.



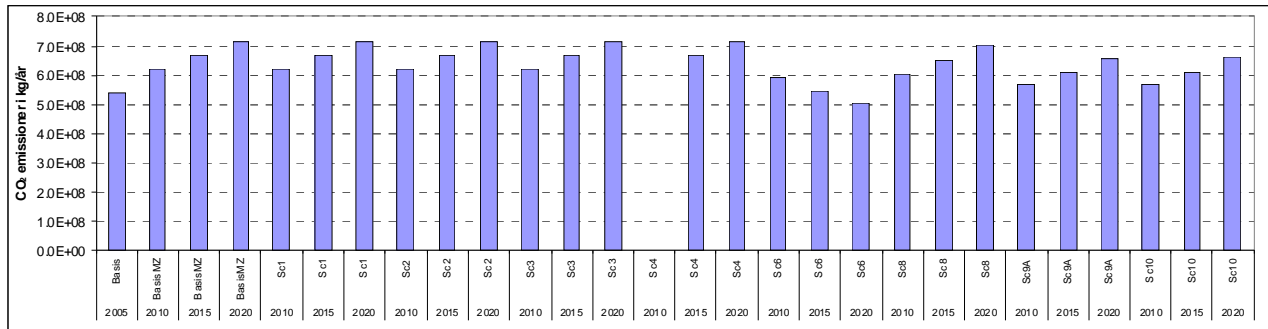
Figur 7.2 Samlet partikelemission inden for miljøzonen i de forskellige scenarier. Øverst: PM_{2.5} og nederst PM₁₀. Exh (exhaust) er udstødning og nonExh er non-exhaust (ophvirvling, vej-, dæk-, og bremseslid)

Tallene er også præsenteret i tabelform i bilag B.

7.3 CO₂ emissioner i miljøzonen

CO₂ er baseret på COPERT 4 brændstofs faktorer og en ens konvertering af brændstofsforbrug til CO₂ (gennemsnitsfaktor for diesel og benzin). CO₂ emissioner afspejler i det væsentlige kun ændringer i trafikarbejde, fordi nye og gamle biler har næsten det samme brændselsforbrug pr. kilometer, hvorfor fornyelse af bilparken, partikelfiltre og SCR NO_x katalysatorer ikke vil ændre CO₂ emissionen. I basissituationen fra 2010 til 2020 stiger CO₂ emissionen derfor med trafikstigningen, og det samme mønster ses for øvrige scenarier undtagen nr. 6 om miljøbiler, hvor det er forudsat at CO₂ emissionen er nul. Der vil selvfølgelig i dette scenarie være en CO₂ emission i tilknytning til elforbruget, men dette er ikke medtaget her. De økonomiske virkemidler, som reducerer trafikken (nr. 9A betalingsring og nr. 10 om road pricing) har her en tydelig effekt, fordi trafikken reduceres i disse virkemidler.

Tallene er også præsenteret i tabelform i bilag B.



Figur 7.3 Samlet CO₂ emission inden for miljøzonen i de forskellige scenarier.

8 Litteraturliste

Bach, H., Andersen, K.S., Illerup, J.B., Møller, F., Birr-Pedersen, K., Brandt, J., Ellermann, T., Frohn, L.M., Hansen, K.M., Palmgren, F., Nielsen, J.S & Winther, M. (2006): Vurdering af de samfundsøkonomiske konsekvenser af Kommissionens temastrategi for luftforurening. Faglig rapport nr. 586 fra DMU. 90 s. Findes på:

http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR586.pdf

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.

Berkowicz, R., Palmgren, F., Jensen, S.S. & Brandt, J. (2004): Analyse af forhøjet NO₂ niveau i København og prognose for 2010. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU 498: 34 s. (elektronisk). Udarbejdet for Miljøstyrelsen.

EEA (2007): EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook – 2007. 23 August 2007.

EC (1999): Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. J. Europ. Commun. L163/41.

EU (2006) EU-workshoppen: "The impact of direct emissions of NO₂ from road vehicles on NO₂ concentrations", Brussels, 19. September, 2006.

http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/cafe_baseline/library?l=/cafe_ambient_quality

DTF (2007): Langsigtet fremskrivning af vejtrafik. Identifikation af fremtidige problemområder. Baggrundsrapport. Marts 2007. 50 s.

EEA (2007): EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook 2007. Methodology for the calculation of exhaust emissions. COPERT 4. European Environmental Agency. 105 p.

Gense, R., Weilenmann, M. & McCrae, L. (2006) Latest insights into direct NO₂ emission from road transport, the current state of knowledge. 2nd Conference Environment & Transport including the 15th conference Transport and Air Pollution , Reims, France. 12-14 June 2006.

Illerup, J.B., Nielsen, O.K., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Fauser, P., Jensen, M.T. & Bruun, H.G. (2007): Annual Danish Emission Inventory Report to UNECE. Inventories from the base year of the protocols to year 2005. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. - NERI Technical Report 649: 182 pp. (electronic).

- Jensen, S.S., Berkowicz, R., Hansen, H. Sten., 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, Volume 6, Issue 4, 2001, pp. 229-241.
- Jensen, S.S., Ketzal, M., Berkowicz, R., Palmgren, F., Høj, J. & Krawack, S. (2005): Virkemidler til overholdelse af NO₂ grænseværdier for luftkvalitet i København. Miljøkontrollen, Københavns Kommune. 98 s.
- Dünnebeil, F. und Lambrecht, U. (2007). Zukünftige Entwicklung der NO₂-Emissionen des Verkehrs und deren Auswirkung auf die NO₂-Luftbelastung in Städten in Baden-Württemberg. IFEU , Heidelberg, 31. Oktober 2007.
- Kemp, K., Ellermann, T., Brandt, J., Christensen, J., Ketzal, 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>
- Ketzal, 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.
- Københavns Kommune (2006): Færdselstælling og andre trafikundersøgelser 2001-2005. 47 s.
- Københavns Kommune (2007): Redegørelse om renere brændstoffer og teknologi til transport. Københavns Kommune, Center for Miljø, Maj 2007.126 s.
- Lambrecht, U., Dünnebeil, F. and Höpfner, U. (2006) NO_x: Development of emissions and air quality. Causes for unexpected values of ambient concentrations of NO₂ Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg. www.ifeu.de. EU level workshop on The impact of direct emissions of NO₂ from road vehicles on NO₂ concentrations. Brussels, September 19th, 2006.
- Miljøministeriet (2003): Bekendtgørelse om grænseværdier for luftens indhold af visse forurenende stoffer. Bekendtgørelse nr. 58 af 23. Januar 2003. (In Danish). Ministry of Environment; Copenhagen, Denmark.
- Miljøstyrelsen (2006): Reduktion af partikelemissioner fra varebiler og taxier. Miljøprojekt Nr. 939, 2006.
- Miljøstyrelsen (2006a): Elbiler i Danmark. Miljøprojekt nr. 1006, 2005.
- Miljøstyrelsen (2006b): Analyse af Danmarks muligheder for at reducere emissionerne af NO_x I 2010. Miljøprojekt nr. 1104, 2006. Miljøstyrelsen.
- Palmgren, F., Berkowicz, R., Ketzal, M. & Winter, M. 2007: Vurdering af anvendelse af SCRkatalysatorer 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.

Palmgren, F., Berkowicz, R., Fogh, C.L. (2005a): Vurdering af konsekvenserne af indførelse af forskellige typer af miljøzoner i København. Arbejdsrapport fra DMU, nr. 222, 23 s (elektronisk). Findes på: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_arbrapporter/rapporter/AR222.pdf

Palmgren, F., Glasius, M., Wählin, P., Ketzel, M., Berkowicz, R., Jensen, S.S., Winther, M., Illerup, J.B., Andersen, M.S., Hertel, O., Vinzents, P.S., Møller, P., Sørensen, M., Knudsen, L.E., Schibye, B., Andersen, Z.J., Hermansen, M., Scheike, T., Stage, M., Bisgaard, H., Loft, S., Lohse, C., Jensen, K.A., Kofoed-Sørensen, V. & Clausen, P.A. (2005b): Luftforurening med partikler i Danmark. Miljøstyrelsen. - Miljøprojekt 1021: 84 s. (elektronisk).
Findes på: <http://www.mst.dk/udgiv/Publikationer/2005/87-7614...-7614-721-5.pdf>

Trafikministeriet (2000): TEMA2000. Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark.

Transportrådet (1996): Persontrafik i byer – katalog over trafikpolitiske virkemidler, 1996.

Wählin, P. & Palmgren, F. (2008): Causes of high PM₁₀ values measured in Denmark in 2006. National Environmental Research Institute, Århus University, Denmark. Note of October 20, 2008.
http://www.dmu.dk/pub/Div_PEW_Causes_of_high_PM10.pdf

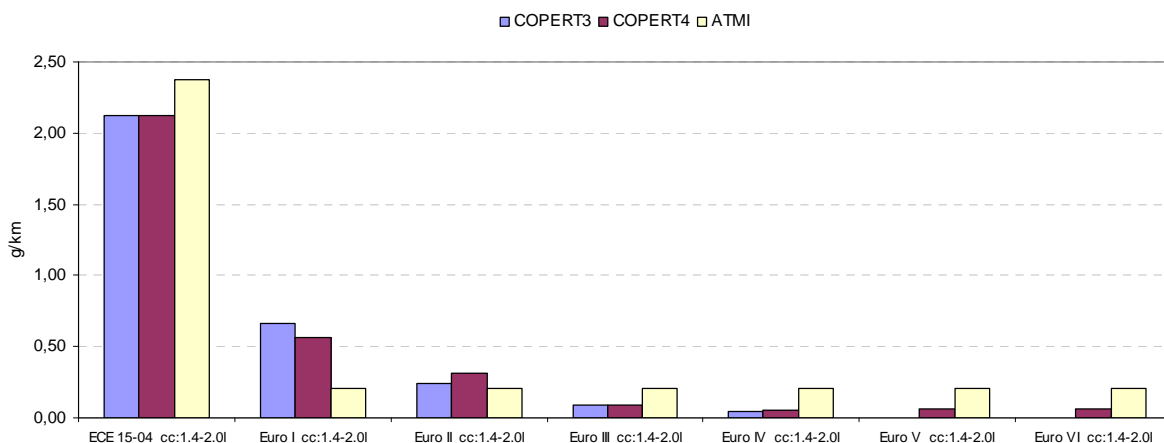
Bilag A NOx emissionsfaktorer

Anvendte NOx emissionsfaktorer. Cop4=hastighedsafhængige emissionsfunktioner fra COPERT 4, tal=emissionsnorm brugt som emissionsfaktor, "0.2*EuroV" = emissionsfunktionen fra EuroV i COPERT4 blev reduceret med faktor 5

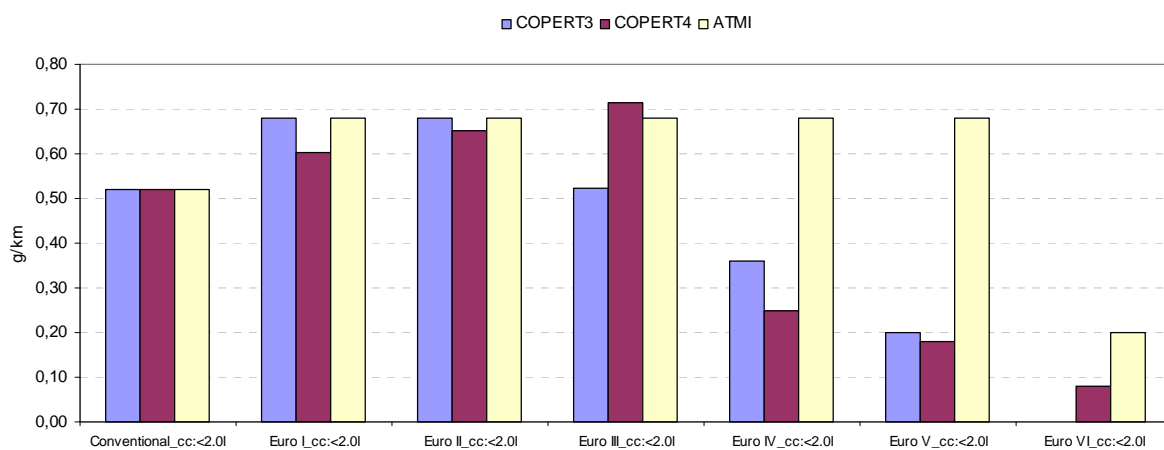
	Konventional	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI
Passenger petrol							
cc:<1.4l	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.06	0.06
cc:1.4-2.0l	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.06	0.06
cc:>2.0l	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.06	0.06
Passenger diesel							
cc:<2.0l	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.25	0.18	0.08
cc:>2.0l	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.25	0.18	0.08
Taxi							
All	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.28	0.125
Van petrol							
All	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.082	0.082
Van diesel							
All	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.28	0.125
Truck diesel							
3.5-7.5t	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.2*EuroV
7.5-16t	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.2*EuroV
16-32t	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.2*EuroV
>32t	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.2*EuroV
Buses diesel							
Urban Buses	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.2*EuroV
Coaches	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	Cop4	0.2*EuroV

Anvendte COPERT4 emissionsfaktorer (EEA 2007) er vist grafisk i efterfølgende figurer, og sammenlignet med de tidligere COPERT3 emissionsfaktorer, samt emissionsfaktorer tidligere anvendt af Afdelingen for Atmosfærisk Miljø (ATMI).

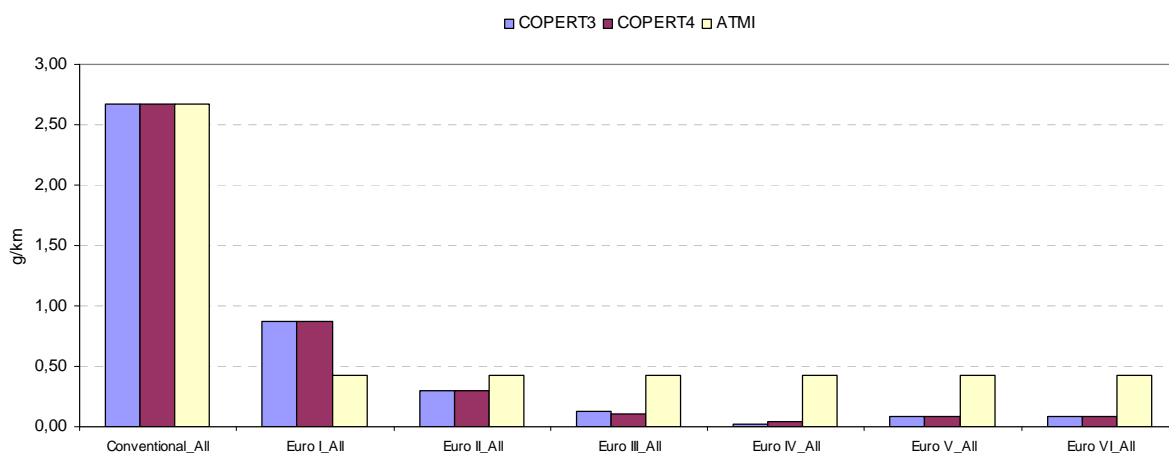
Passenger gasoline



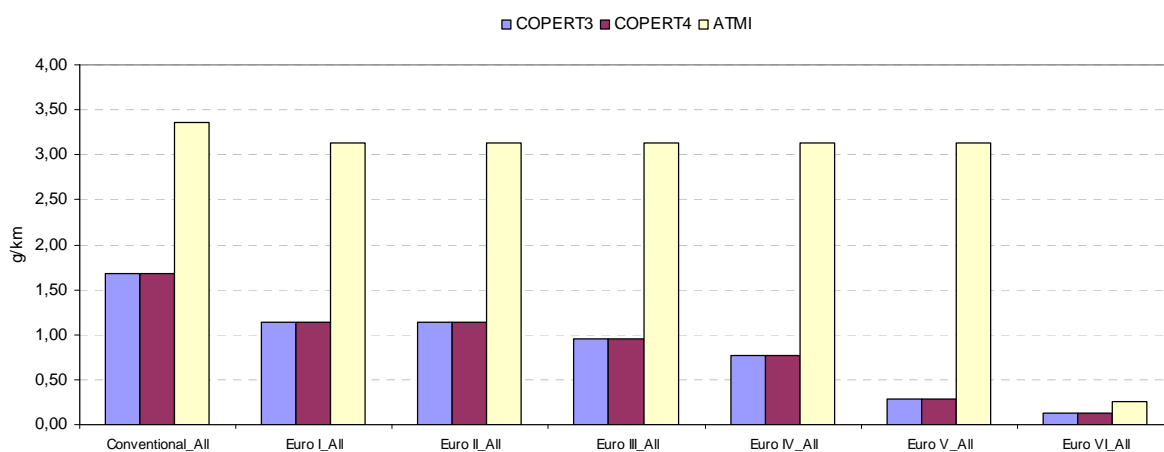
Passenger diesel

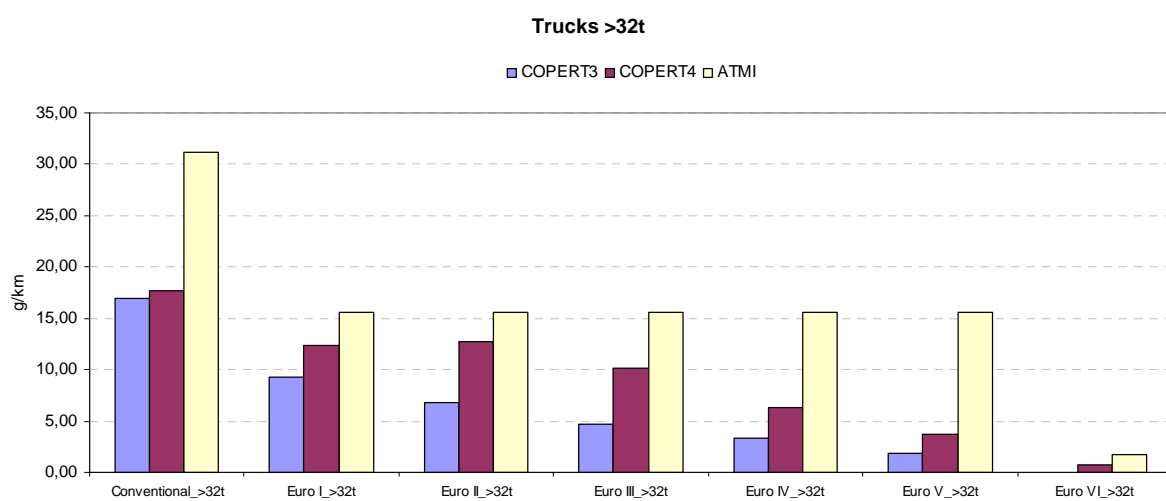
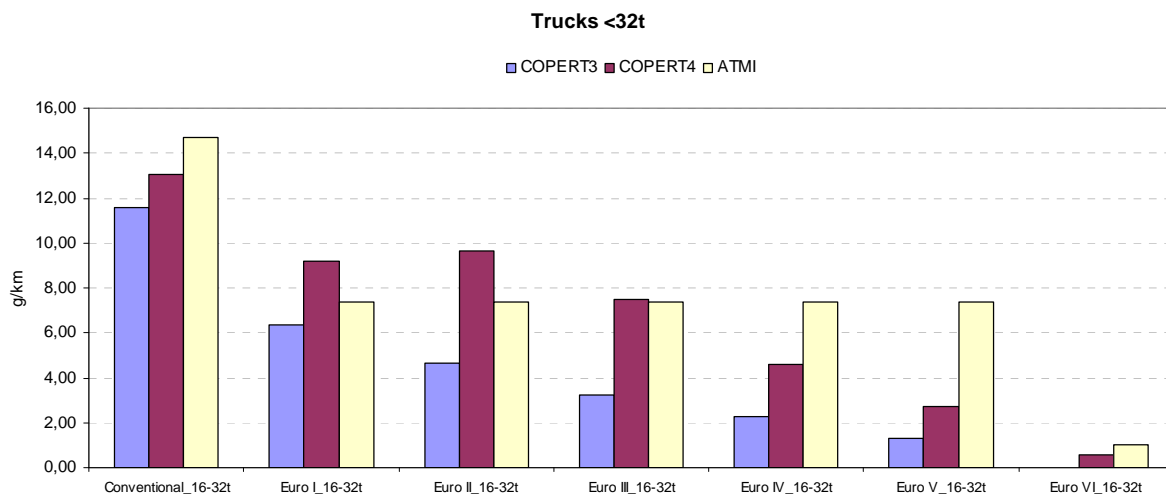


Vans gasoline



Vans diesel





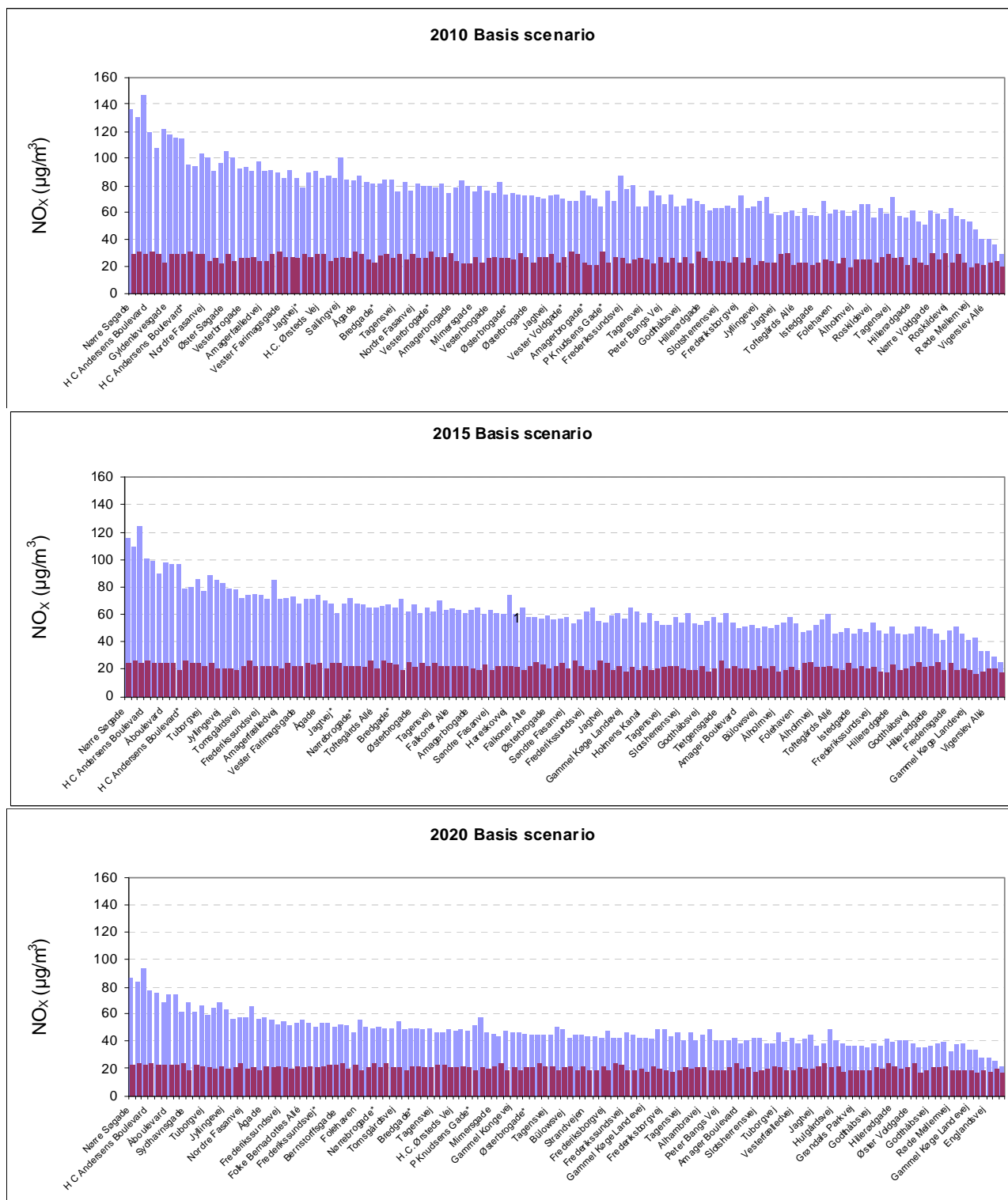
Emissionsfaktorer svarende til 40 km/time som bestemmes ud fra COPERT 3, COPERT 4 og DMU/ATMI's tidligere vurderinger.

Bilag B Totale emissioner i miljøzonen i basis og for virkemidlerne

År		Total CO (kg/år)	Total CO (Indeks)	Total PM10 NonExh (kg/år)	Total PM2.5 NonExh (kg/år)	Total PMExh (kg/år)	Total PM10 (kg/år)	Total PM2.5 (kg/år)	Total PM10 (Indeks)	Total PM2.5 (Indeks)	Total Brændstof (kg/år)	Total CO2 (kg/år)	Total CO2 (Indeks)
2005	Basis	8212805	212	150823	44373	98954	249777	143326	101	121	171297866	542842938	88
2010	Basis	3879618	100	179820	52193	66509	246329	118702	100	100	195476122	619463832	100
2015	Basis	2058091	53	193321	56087	53571	246892	109658	100	92	209952190	665338489	107
2020	Basis	1304187	34	208620	60504	43791	252411	104295	102	88	226773877	718646417	116
2010	Sc1	3879618	100	179820	52193	66509	246329	118702	100	100	195476122	619463832	100
2015	Sc1	2058091	53	193321	56087	53571	246892	109658	100	92	209952190	665338489	107
2020	Sc1	1304187	34	208620	60504	43791	252411	104295	102	88	226773877	718646417	116
2010	Sc2	3143577	81	179820	52193	31086	210906	83278	86	70	195727296	620259800	100
2015	Sc2	1641893	42	193321	56087	30802	224122	86889	91	73	209730986	664637494	107
2020	Sc2	1002659	26	208620	60504	32867	241486	93371	98	79	226622375	718166307	116
2010	Sc3	3041993	78	179820	52193	64101	243920	116293	99	98	195313590	618948768	100
2015	Sc3	1698361	44	193321	56087	52731	246052	108818	100	92	209835125	664967512	107
2020	Sc3	1042183	27	208620	60504	43198	251818	103702	102	87	226665328	718302426	116
2010	Sc4												
2015	Sc4	2042735	53	193321	56087	46626	239947	102714	97	87	209975664	665412878	107
2020	Sc4	1298672	33	208620	60504	38071	246691	98575	100	83	226781891	718671813	116
2010	Sc6	3847592	99	179820	52193	64680	244500	116873	99	98	187373242	593785804	96
2015	Sc6	1927583	50	193321	56087	49966	243287	106054	99	89	173048682	548391273	89
2020	Sc6	1070454	28	208620	60504	37065	245685	97569	100	82	158922287	503624728	81
2010	Sc8	3806590	98	174710	50486	65932	240642	116418	98	98	191382773	606492009	98
2015	Sc8	2023334	52	187825	54252	53020	240845	107273	98	90	205547505	651380044	105
2020	Sc8	1284597	33	202687	58524	43210	245897	101734	100	86	222010595	703551576	114
2010	Sc9	3443425	89	164601	47246	62107	226708	109352	92	92	178903229	566944332	92
2015	Sc9	1841961	47	177025	50789	49448	226473	100237	92	84	192218276	609139716	98
2020	Sc9	1175733	30	191096	54805	40221	231317	95027	94	80	207661084	658077976	106
2010	Sc10	3474626	90	165169	47473	62408	227578	109881	92	93	179439433	568643563	92
2015	Sc10	1858163	48	177630	51031	49707	227337	100738	92	85	192794615	610966134	99
2020	Sc10	1185779	31	191742	55065	40396	232138	95461	94	80	208285378	660056363	107

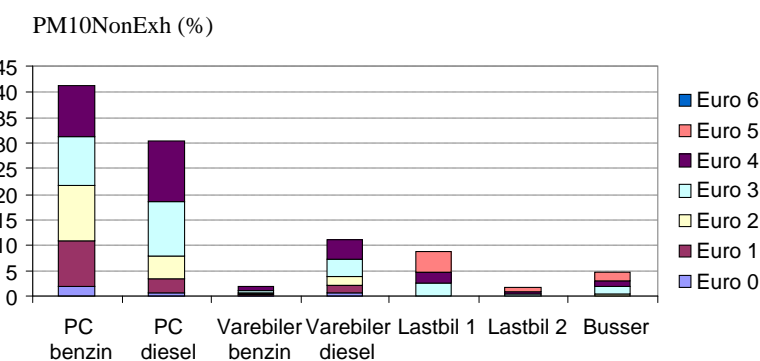
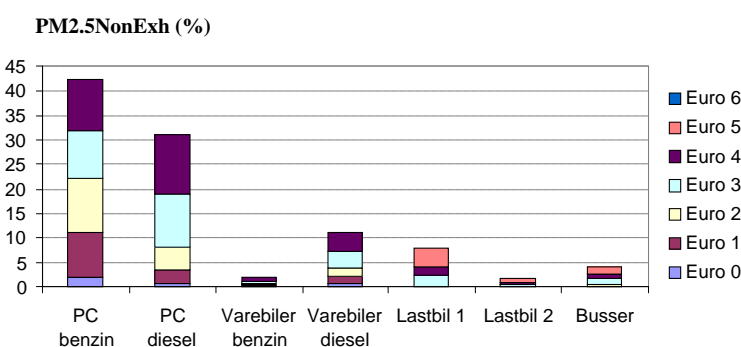
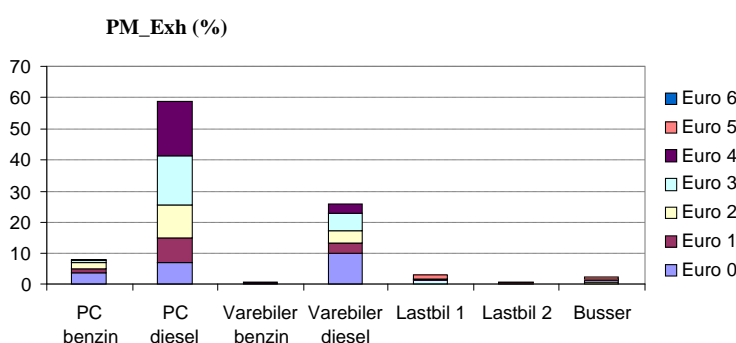
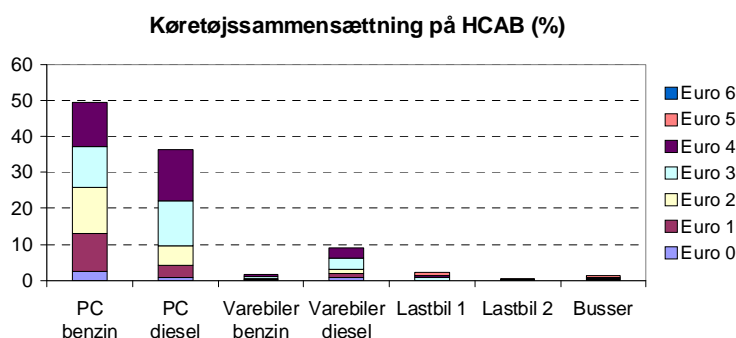
År		NOx Personbil (kg/år)	NOx Varebil (kg/år)	NOx Lastbil<32t (kg/år)	NOx Lastbil>32t (kg/år)	NOx Busser (kg/år)	NOx Total (kg/år)	Direkte NO2 andel (%)	Total NOx (kg/år)	Total NO2 (kg/år)	Total NO (kg/år)	NOx (Indeks)	NO2 (Indeks)
2005	Basis	1416516	291630	784439	308822	241885	3043292	7	3043292	223961	2819330	144	58
2010	Basis	1034165	273373	468007	188103	149377	2113024	18	2113024	389433	1723591	100	100
2015	Basis	768102	206019	449663	178631	139116	1741531	25	1741531	441909	1299622	82	113
2020	Basis	546881	134857	326797	124508	98678	1231721	25	1231721	302911	928810	58	78
2010	Sc1	1034165	273373	285985	112254	75714	1781492	19	1781492	331564	1449928	84	85
2015	Sc1	768102	206019	312535	122717	84141	1493514	26	1493514	387519	1105995	71	100
2020	Sc1	546881	134857	243821	92681	66368	1084609	25	1084609	272121	812487	51	70
2010	Sc2	637733	225191	468007	188103	129421	1648454	22	1648454	366013	1282441	78	94
2015	Sc2	447794	173045	449663	178631	125902	1375035	24	1375035	334684	1040351	65	86
2020	Sc2	361510	128081	326797	121712	89892	1027993	24	1027993	247928	780065	49	64
2010	Sc3	875265	273373	468007	188103	149377	1954125	20	1954125	395707	1558417	92	102
2015	Sc3	717885	206019	449663	178631	139116	1691315	26	1691315	446901	1244413	80	115
2020	Sc3	516660	134857	326797	124508	98678	1201500	25	1201500	306108	895392	57	79
2010	Sc4												
2015	Sc4	699606	170664	449663	178631	139116	1637681	24	1637681	385035	1252646	78	99
2020	Sc4	475376	109454	326797	124508	98678	1134812	22	1134812	252087	882726	54	65
2010	Sc6	1015298	273373	468007	188103	149377	2094157	17	2094157	361800	1732357	99	93
2015	Sc6	689422	206019	449663	178631	139116	1662852	21	1662852	355216	1307636	79	91
2020	Sc6	431262	134857	326797	124508	98678	1116102	20	1116102	219725	896377	53	56
2010	Sc8	1018097	270508	455009	183149	145053	2071816	18	2071816	381502	1690313	98	98
2015	Sc8	753902	203799	437203	173979	135051	1703935	25	1703935	432851	1271084	81	111
2020	Sc8	535849	133325	317808	121287	95775	1204045	25	1204045	296608	907437	57	76
2010	Sc9A	920775	270425	461680	184611	146526	1984016	19	1984016	369067	1614950	94	95
2015	Sc9A	680898	204428	443665	175342	136408	1640740	26	1640740	418420	1222320	78	107
2020	Sc9A	484210	133990	322601	122228	96726	1159755	25	1159755	285465	874290	55	73
2010	Sc10	926230	269984	459565	183539	145807	1985125	19	1985125	369480	1615645	94	95
2015	Sc10	685316	203852	441639	174351	135728	1640886	26	1640886	418576	1222310	78	107
2020	Sc10	487472	133487	321142	121549	96238	1159889	25	1159889	285514	874375	55	73

Bilag C NO_x koncentration i basisscenerierne 2010, 2015 og 2020



NO_x koncentrationen i basisscenerierne. Øverst 2010, midterst 2015, og nederst 2020. For gader markeret med "*" er køretøjsfordelingen baseret på manuelle trafiktællinger. Ikke alle 138 vejenavne kan vises.

Bilag D Partikeludstødning og ikke-udstødning samt Euronormer



Øverst: Køretøjfordelingen på H.C. Andersens Boulevard i basis i 2010 underopdelt på Euronormer. 2. øverst: PM udstødning underopdelt på Euronormer. 2. nederst: PM_{2.5} ikke-udstødning. Nederst: PM₁₀ ikke-udstødning

