ROAD PRICING, LUFTFORURENING OG EKSTERNALITETSOMKOSTNINGER

Faglig rapport fra DMU nr. 770 2010

DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET

[Tom side]

ROAD PRICING, LUFTFORURENING OG EKSTERNALITETSOMKOSTNINGER

Faglig rapport fra DMU nr. 770 2010

Steen Solvang Jensen
Matthias Ketzel
Mikael Skou Andersen

DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER
AARHUS UNIVERSITET

Datablad

Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 770.
Titel:	Road pricing, luftforurening og eksternalitetsomkostninger
Forfattere:	Steen Solvang Jensen[1], Matthias Ketzel[1], Mikael Skou Andersen[2]
Afdelinger:	[1]Afdelingen for Atmosfærisk Miljø [2]Afdelingen for Systemanalyse
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Aarhus Universitet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsesår:	June 2010
Redaktion afsluttet:	April 2010
Faglig kommentering:	Lise Marie Frohn
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Jensen, S.S., Ketzel, M., & Andersen, M.S. 2010: Road pricing, luftforurening og eksternalitetsomkostninger. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 48 s. –Faglig rapport fra DMU Nr. 770. http://www.dmu.dk/pub/FR770.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Sammenfatning:	Rapporten bidrager til at styrke det faglige grundlag for at kunne reducere luftforureningens konsekvenser for folkesundheden igennem den måde som prisstrukturen for road pricing indrettes på. Der er gennemført en analyse af, hvordan prisstrukturen kan differentieres i sted og tid, således at prisstrukturen afspejler luftkvalitet, befolkningseksponering og eksternalitetsomkostninger i forskellige geografiske områder (forskellige bystørrelser og landområder) og over døgnet (myldretid kontra udenfor myldretid).
Emneord:	Road pricing, trafik, sundhed, luftkvalitet, eksternalitetsomkostninger.
Layout:	Majbritt Pedersen-Ulrich
Forsidefoto:	Britta Munter
ISBN:	978-87-7073-159-1
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	49
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/Pub/FR770.pdf

Indhold

Forord 5

Sammenfatning 6

Summary in English 11

1 Indledning 13

2 Road pricing og luftforurening 15

2.1 Road pricing 15
2.2 Forskellige formål med road pricing 15

3 Trafikale effekter af road pricing 17

3.1 Metode 17
3.2 Danske større projekter og udredninger 17
3.3 Trafikale effekter 19

4 Geografisk og tidslig variation af luftkvalitet som pejlemærke for prisstruktur for road pricing 23

4.1 Effekter for luftforureningen af forventet trafikal effekt af road pricing 23
4.2 Geografisk variation af emission, luftkvalitet og befolkningseksponering 25

5 Geografiske forskelle i de eksterne omkostninger ved luftforurening 37

5.1 Indledning 37
5.2 Eksterne omkostninger ved luftforurening 38
5.3 EVA: et modelsystem til vurdering af eksterne omkostninger ved luftforurening 39

Referencer 46

(tom side)

Forord

Projektets hovedformål er at styrke det faglige grundlag for at kunne reducere luftforureningens konsekvenser for folkesundheden igennem den måde som prisstrukturen for road pricing indrettes på.

Et delformål er at analysere, hvordan prisstrukturen kan differentieres i sted og tid, således at prisstrukturen afspejler luftkvalitet, befolkningseksponering og eksternalitetsomkostninger i forskellige geografiske områder (forskellige bystørrelser og landområder) og over døgnet (myldretid kontra udenfor myldretid). Et andet delformål er, at vurdere hvilke trafikale effekter og deraf afledte effekter for luftforureningen, som kan forventes af de hidtidige skitserede prisniveauer for road pricing.

Rapporten er således et forsøg på at give nogle pejlemærker for prisstrukturen i et fremtidigt road pricing system, hvis denne skulle afspejle den sundhedsskadelige luftforurening. Baggrunden herfor er at Regeringen i 2008 i rapporten "Bæredygtig transport – bedre infrastruktur" annoncerede et lovforslag i 2009-2010 om road pricing. I denne rapport forventes road pricing at omfatte lastbiler fra 2011 og personbiler fra 2015, dog således at indførelsen vil ske over en årrække for personbiler. Der er endnu ikke taget endelig beslutning om, hvornår road pricing skal indføres. Kørselsafgifterne vil formentlig blive baseret på et satellitbaseret GPS-system med en enhed i den enkelte bil, der måler præcist, hvor, og hvor langt, bilen kører, således at afgiften kan afregnes per kørt kilometer og evt. yderligere differentieres i tid. I denne rapport forstås "road pricing" i ovenstående betydning.

Danmarks Miljøundersøgelser under Aarhus Universitet har gennemført projektet med finansiel støtte fra Miljøstyrelsen.

Projektet har været ledet af en styregruppe med følgende medlemmer:

Charlotte von Hessberg, Miljøstyrelsen (forkvinde)

Brian Kristensen, Miljøstyrelsen

Jan Tjeerd Boom, Miljøstyrelsen

Steen Solvang Jensen, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet

Matthias Ketzel, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet

Mikael Skou Andersen, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.

Sammenfatning

Baggrund og formål

Projektets hovedformål er at styrke det faglige grundlag for at kunne reducere luftforureningens konsekvenser for folkesundheden igennem den måde som prisstrukturen for road pricing indrettes på.

Der er derfor gennemført en analysere af, hvordan prisstrukturen kan differentieres i sted og tid, således at prisstrukturen afspejler luftkvalitet, befolkningseksponering og eksternalitetsomkostninger i forskellige geografiske områder (forskellige bystørrelser og landområder) og over døgnet (myldretid kontra udenfor myldretid). Et delformål har desuden været, at vurdere hvilke trafikale effekter og deraf afledte effekter for luftforureningen, som kan forventes af de hidtidige skitserede prisniveauer for road pricing.

Rapporten er således et forsøg på at give nogle pejlemærker for prisstrukturen i et fremtidigt road pricing system, hvis denne skulle afspejle den sundhedsskadelige luftforurening. Baggrunden herfor er at Regeringen i 2008 i rapporten "Bæredygtig transport – bedre infrastruktur" annoncerede et lovforslag i 2009-2010 om road pricing. Road pricing forventes at omfatte lastbiler fra 2011 og personbiler fra 2015, dog således at indførelsen vil ske over en årrække for personbiler. Der er endnu ikke taget endelig beslutning om, hvornår road pricing skal indføres. Kørselsafgifterne forventes at blive baseret på et satellitbaseret GPS-system med en enhed i den enkelte bil, der måler præcist, hvor, og hvor langt, bilen kører, således at afgiften kan afregnes per kørt kilometer og evt. yderligere differentieres i tid. I denne rapport forstås "road pricing" i ovenstående betydning.

Der kan være forskellige formål med kørselsafgifter: Afgiftsomlægning, miljøregulering, trængselsregulering og finansiering: Denne rapport fokuserer på miljøregulering ud fra en luftforureningssynsvinkel.

Undersøgelsen

For det første er der gennemført en litteraturgennemgang af de forventede trafikale effekter af road pricing baseret på eksisterende danske studier samt en vurdering af hvilken betydning det har for luftforureningen. De trafikale effekter, som påvirker luftforureningen er undersøgt dvs. trafikmængde, køretøjssammensætning, og hastighed.

For det andet er der gennemført en analyse af den geografiske og tidslige variation af luftkvalitet som pejlemærke for prisstrukturen for road pricing. Analysen omhandler emission, luftkvalitet og befolkningseksponering, og beskriver, hvordan de varierer geografisk med bystørrelser illustreret med kort og statistiske analyser. Dette bidrager til at give en ide om, hvad den relative forskel skulle være mellem kørselsafgifter i byer og på landet, hvis luftkvalitet og befolkningseksponering lægges til grund for prissætning.

For det tredje analyseres eksternalitetsomkostninger for luftforurening som pejlemærke for prisstruktur for road pricing. Der foretages en vurdering af den geografiske variation i eksternalitetsomkostningerne ved luftforurening baseret på tidligere beregnede enhedsomkostninger, som illustrerer de miljøøkonomiske omkostninger afhængig af bystørrelse/-landområder og afhængig af køretøjsgruppe.

Hovedkonklusioner

Trafikale effekter af road pricing
Litteraturgennemgangen viste, at den forventede trafikale effekt af road pricing afhænger af størrelsen af kørselsafgiften, og at trafikarbejdet reduceres med 7-13% med de foreslåede kørselsafgifter. Road pricing begrænser særligt personbiltrafikken, og har mindre effekt på vare – og lastbiltrafikken. Et enkelt studie har modelleret den trafikale effekt af trængselsafgifter, hvor trafikken reduceres med hhv. 12% og 5,5% i morgen- og eftermiddagsmyldretiderne, og dermed 7,8% over hele perioden. Studierne har ikke rapporteret om effekten for hastigheden, men den vurderes at være beskeden bortset fra at hastigheden kan hæves i myldretiderne i områder med trængsel.

Effekter for luftforureningen af forventede trafikale effekter af road pricing. Luftforureningen vil blive reduceret såfremt trafikmængden reduceres.

Køretøjssammensætningen har også betydning for luftforurening, idet fx tunge køretøjer (lastbiler og busser) forurener mere pr. kørt km end lette køretøjer (person- og varebiler). Da road pricing primært påvirker personbiltrafikken betyder dette at effekten på luftkvaliteten ikke slår så stærkt igennem.

Rejsehastigheden har også betydning for luftforureningen, idet lave hastigheder med fx "stop-and-go" trafik giver høje emissioner, ligesom høje hastigheder gør. De mindste emissioner pr. kørt km er ved hastigheder på 50-70 km/t. Stillestående køtrafik, hvor motorerne er i tomgang, og "stop-and-go" trafik giver høje emissioner pr. kørt km. Såfremt road pricing kan bidrage til at reducere disse typer trafiksituationer vil det have en positiv effekt for luftforureningen lokalt.

Der er kun et studie, som har undersøgt effekten for luftkvaliteten af road pricing. Dette studie havde til formål at belyse effekten for antallet af overskridelser af NO_2 grænseværdien for luftkvalitet i 2010, hvor grænseværdien for årsmiddelværdien er 40 $\mu g/m^3$. Trafikarbejdet blev reduceret med 11,7% for København og Frederiksberg kommuner, og antallet af overskridelser af NO_2 grænseværdien blev reduceret fra 80 til 58 ud af 138 undersøgte trafikerede gader i København. Da road pricing tidligst vil blive introduceret fra 2015 for personbiler vil det ikke på kort sigt bidrage til at overholde NO_2 grænseværdierne.

I nærværende projekt er betydningen for luftkvaliteten af de forventede trafikale effekter også beregnet for en konkret trafikeret gade i København (Jagtvej) under to forskellige antagelser. I det første scenarium er det antaget at hele trafikken reduceres med 10%, hvilket er opnået ved at reducere personbiltrafikken med 12,7%. I det andet scenarium er det antaget, at trafikken reduceres med hhv. 12% og 5,5% i morgen- og efter-

middagsmyldretiderne, hvilket ligeledes er opnået ved kun at reducere personbiltrafikken med hhv. 15,6% og 6,4%. Det svarer til en samlet reduktion over hele døgnet på omkring 7,8%. I begge tilfælde sker der kun mindre reduktioner i gadekoncentrationen, hvor den maksimale reduktion er på 3% for NO_2 koncentrationen. Den beskedne reduktion skyldes, at personbiltrafikken kun udgør en del af den samlede NO_x emission fra trafikken, og at langtransporteret NO_2 også bidrager til koncentrationsniveauet i gaden. Der ser således ikke ud til at være større gevinster for luftkvaliteten ved at forskyde trafikken væk fra myldretiderne i situationer, hvor der ikke er trængselsproblemer.

Geografisk variation af emission, luftkvalitet og befolkningseksponering
Den generelle tendens for trafikemission, luftkvalitet i bybaggrund og befolkningseksponering er, at disse stiger med stigende bystørrelse. Dog er det sådan, at København skiller sig markant ud fra de øvrige byer ved at have væsentligt højere niveauer end de øvrige byer. Endvidere er det en generel tendens, at der er en mellemgruppe af byer, som er relativ ens hvad angår befolkningstæthed, emission, luftkvalitet og befolkningseksponering.

Geografiske forskelle i de eksterne omkostninger ved luftforurening
De eksterne omkostninger ved luftforureningen (ekskl. CO_2) pr. kørt kilometer er estimeret på grundlag af de nye atmosfæriske modelleringer af vejtrafikkens emissioner fra CEEH (Centre for Energy, Environment and Health). Beregningerne er baseret på den atmosfæriske modellering i EVA-systemet (Economic Evaluation of Air Pollution), som er DMU's integrerede model for økonomisk værdisætning af luftforurening, samt på modellering for København med spredningsmodellen UBM (Urban Background Model). Sundhedseffekterne er baseret på de vurderinger vedrørende tab af leveår ved luftforurening mv. som sagkyndige har afgivet i et fælles ministerielt udvalgsarbejde. Dokumentationen for beregningspriserne for de enkelte sundhedseffekter har DMU publiceret i Faglig Rapport nr. 507 og som grundlag for beregningerne i nærværende rapport er anvendt opdateringen til 2006-priser.

De geografiske forskelle i de eksterne omkostninger for vejtrafikken er ved en gennemsnitlig betragtning beherskede, idet de udgør ca. 16-22 øre per kilometer for København-Frederiksberg og ca. 8-12 øre per kilometer for det øvrige Danmark.

Bag ved disse gennemsnitstal gemmer der sig dog markante forskelle mellem forskellige typer af køretøjer. Ikke overraskende er de eksterne omkostninger størst for busser og lastbiler ved kørsel i København-Frederiksberg. De mindste eksterne omkostninger ved luftforureningen er fundet for personbilers kørsel på landet. De nævnte yderpunkter bevæger sig fra ca. 1,30 kr./km og ned til ca. 4 øre/km.

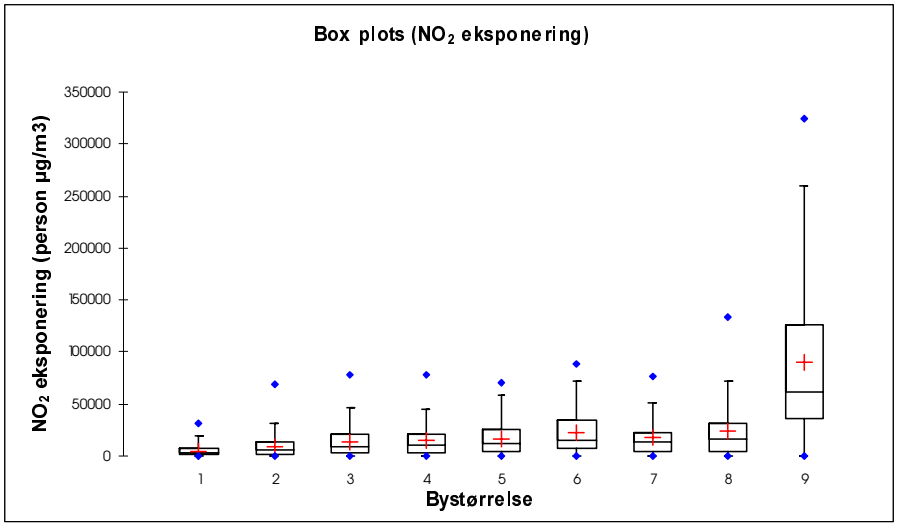
Projektresultater

Emission, luftkvalitet og befolkningseksponering er relateret til nedenstående bystørrelser. Transportministeriets Transportvaneundersøgelse (TU) inddeler forskellige bystørrelser i forskellige TU-klasser, som også er vist i tabel 1, da de eksterne omkostninger bl.a. er relateret hertil.

Tabel 1. Danske byer inddelt i klasser efter indbyggertal

Byklasse	Indbyggere	Eksempler
9	> 500.000	København inkl. Frederiksberg (TU1-klasse)
8	200.000 – 500.000	Aarhus (TU3-klasse)
7	100.000 – 200.000	Odense, Aalborg (TU3-klasse)
6	50.000 – 100.000	Esbjerg, Randers, Kolding, Gladsaxe (TU4-klasse)
5	40.000 – 50.000	Vejle, Horsens, Roskilde, Ballerup, Greve, Rungsted (TU4-klasse)
4	30.000 – 40.000	Køge, Søllerød, Køge, Holstebro, Viborg, Silkeborg (TU4-klasse)
3	20.000 – 30.000	Herning, Frederikshavn, Hillerød, Holbæk (TU4-klasse)
2	10.000 – 20.000	Billund, Lemvig, Ribe, Hundested, Gilleleje (TU4-klasse)
1	0 – 10.000	Gedser, Hvide Sande, Skørping, Rødby, Stege (TU5 og TU6)

Befolkningseksponeringen kunne være en indikator, som kunne bruges som pejlemærke for graduering af kørselsafgifter i forhold til bystørrelse, se figur 1. Hvis byer under 10.000 indbyggere og landområder blev sat til 1, skulle byer 10.000-20.000 være omkring 2, og byer mellem 20.000-200.000 være 3-4, byer 200.000-500.000 skulle være 5, og byer over 500.000 skulle være 17.



Figur 1. Befolkningseksponering for NO_2 bybaggrund (person µg/m^3) afhængig af bystørrelse (klasse 1-9, se tabel 1). Box-whisker plottet viser minimum (blå prik) og maksimum (blå prik), boksen viser den nedre kvartil (25-percentil), median (samt gennemsnit som kryds) samt øvre kvartil (75-percentil), med streger er endvidere vist 1,5 gange forskellen mellem nedre og øvre kvartil lagt til øvre kvartal og fratrukket nedre kvartal (data uden for dette område betragtes som outliers).

Tabel 2 og 3 rummer en oversigt over de beregnede eksterne omkostninger for vejtrafikkens luftforurening (ekskl. klimapåvirkning) per kørt kilometer for forskellige køretøjskategorier og for forskellige land-by kategorier.

Tabel 2. Eksterne omkostninger (DKK/km) ved vejtrafikkens luftforurening per kørt kilometer ekskl. CO_2 (2006-priser).

	Land TU7	Mindre by TU4 (10.000-100.000)	Stor by TU1 (KBH)
Personbil			
- benzin	0,04	0,06	0,09
- diesel	0,04	0,10	0,25
Bus (diesel)	0,52	0,80	1,31
Varebil (benzin)	0,08	0,10	0,14
Varebil (diesel)	0,08	0,17	0,41
Lastbil (diesel)	0,43	0,61	1,09
Vægtet gennemsnit	0,08	0,12	0,22

Tabel 3. Motorvej: Eksterne omkostninger (DKK/km) ved vejtrafikkens luftforurening per kørt kilometer ekskl. CO_2 (2006-priser).

	Land TU7 Motorvej	Mindre by TU4 (10.000-100.000) Motorvej	Stor by TU1 (KBH) Motorvej
Personbil			
- benzin	0,06	0,06	0,08
- diesel	0,06	0,07	0,17
Bus (diesel)	0,44	0,48	0,77
Varebil (benzin)	0,08	0,09	0,12
Varebil (diesel)	0,09	0,11	0,28
Lastbil (diesel)	0,38	0,43	0,73
Vægtet gennemsnit	0,09	0,10	0,16

Summary in English

Background and objectives

The objective of this assessment is to improve the foundation for decision-making about introduction of a road pricing system that aims to reduce the health impacts and social costs of traffic-related air pollution.

The analysis focuses on how road emissions, air quality, population exposure, and social costs of air pollution depend on geography (different city sizes and rural areas) and time of the day (rush hours versus non-rush hours). A review of Danish studies related to road pricing has also been carried out to assess the expected effect of road pricing on traffic performance (km travelled), vehicle composition and speed that are factors affecting air pollution.

In 2008 the Danish government decided to introduce road pricing based on km-charging combined with reductions in other taxes on vehicles (registration tax and owner tax). The km-based charge will be based on GPS (Global Positioning System). The goal is that road pricing for heavy-duty vehicles should be introduced from 2011 and for passenger cars from 2015 with a gradual introduction for passenger cars. The final decision about when to introduce road pricing has not yet been made.

Results

Expected reductions in traffic
A literature review showed that the impact of road pricing on km travelled depends on the level of the km-based charge and reductions in km travelled of 7-13% may be expected. Road pricing mainly affects passenger cars and has less effect on commercial vehicles (light-duty and heavy-duty vehicles). One study assessed the impact of road pricing targeting congestion. This study showed that morning and afternoon rush hour traffic was reduced by 12% and 5.5%, respectively, with an overall reduction of 7.8%. Some studies only looked into the effect of km charging while others assumed km charging in combination with lowering of e.g. the registration tax on new vehicles. Combinations with a low km charge may actually increase km travelled.

Impacts on air quality
One study has examined the impact on road pricing on air quality levels in Copenhagen. The expected reduction in km travelled was 11.7% and this reduced the number of exceedances of the air quality limit value for NO_2 of 40 $\mu g/m^3$ in 2010 from 80 to 58 exceedances out of 138 busy streets examined.

To illustrate the impact of congestion charging two scenario examples were calculated for a single busy street in Copenhagen (Jagtvej). In the first scenario it was assumed that km travelled was reduced by 10% as a result of reduction alone in passenger cars with 12.7%. In the second scenario it was assumed that km travelled during morning and afternoon rush hours was reduced by 12% and 5.5%, respectively,

achieved with a reduction in passenger cars of 15.6% and 6.4%, respectively. This corresponds to a reduction in km travelled of 7.8%. For both scenarios the reductions in street NO_2 concentrations were less than 3%. The reason why the reduction in street concentrations is modest is due to the fact that the emission contribution from passenger cars is relatively small compared to heavy-duty vehicles, and the urban background concentration is also affected by the regional contribution that is unchanged.

Geographic variation in emissions, air quality and population exposure
The analysis of the geographic distribution of road emissions, urban background concentrations, and population exposure showed that they increase with increasing city size. Copenhagen has significantly higher levels compared to other Danish cities. However, there is also a middle group of cities that are similar concerning emissions, population density, air quality and population exposure.

Geographic variation in social costs of air pollution
The social costs of air pollution (excl. CO_2) per km travelled has been estimated based on air quality modelling of road emissions from the CEEH project (Centre for Energy, Environment and Health). Calculations are based on the air quality modelling in the EVA-system (Economic Evaluation of Air Pollution). The EVA-system is NERI's integrated model for estimation of social costs of air pollution. It includes regional as well as local scale air quality modelling. Estimation of health impacts is, among others, based on years lost due to air pollution. The documentation of the method can be found in the NERI Technical report No. 507.

The geographical variation of social costs of traffic-related air pollution is on average modest as the social costs are approx. 0.16-0.22 DDK per km in Copenhagen and approx. 0.08-0.12 DDK per km for the rest of Denmark. The variation of social costs of air pollution is large among the different vehicle categories. The highest social costs are for buses and trucks in Copenhagen (about 1.30 DDK/km) and the least social costs are for diesel-powered passenger cars driving in the country side (0.04 DDK/km). In Table 1 the estimated social costs of air pollution (excl. CO_2) are summarised for road traffic per km travelled for different vehicle categories and for different city-country side categories.

Table 1. Social costs (DKK/km) of air pollution from road traffic per kilometre (2006-prices).

	Country side	Smaller cities (10,000-100,000 inh.)	Large city (Copenhagen)
Passenger cars			
- petrol	0.04	0.06	0.09
- diesel	0.04	0.10	0.25
Buses (diesel)	0.52	0.80	1.31
Vans (petrol)	0.08	0.10	0.14
Vans (diesel)	0.08	0.17	0.41
Trucks (diesel)	0.43	0.61	1.09
Weighted average	0.08	0.12	0.22

1 Indledning

Formål

Projektets hovedformål er at styrke det faglige grundlag for at kunne reducere luftforureningens konsekvenser for folkesundheden igennem den måde som prisstrukturen for road pricing indrettes på.

Der er derfor gennemført en analysere af, hvordan prisstrukturen kan differentieres i sted og tid, således at prisstrukturen afspejler luftkvalitet, befolkningseksponering og eksternalitetsomkostninger i forskellige geografiske områder (forskellige bystørrelser og landområder) og over døgnet (myldretid kontra udenfor myldretid). Et delformål har desuden været, at vurdere hvilke trafikale effekter og deraf afledte effekter for luftforureningen, som kan forventes af de hidtidige skitserede prisniveauer for road pricing.

Denne viden vil kunne bruges til at fremme hensynet til reduktion af sundhedsskadelig luftforurening i fastlæggelse af den fremtidige prisstruktur i forbindelse med det forestående lovgivningsarbejde om indførelse af road pricing, og det vil også på sigt kunne medvirke til at sikre at Danmark overholder grænseværdier for luftkvalitet herunder deres eventuelle skærpelse i fremtiden (Regeringen 2008b).

Baggrund

Regeringen har i 2008 i rapporten "Bæredygtig transport – bedre infrastruktur" annonceret et lovforslag i 2009-2010 om road pricing (Regeringen 2008a). Road pricing forventes at omfatte lastbiler fra 2011 og personbiler fra 2015, dog således at indførelsen vil ske over en årrække for personbiler. Der er endnu ikke taget endelig beslutning om, hvornår road pricing skal indføres. Kørselsafgifterne vil blive baseret på et satellitbaseret GPS-system med en enhed i den enkelte bil, der måler præcist, hvor, og hvor langt, bilen kører, således at afgiften kan afregnes per kørt kilometer og evt. yderligere differentieres i tid. Indførelsen af kørselsafgiften vil ske som led i en omlægning af den samlede bilbeskatning inden for rammerne af skattestoppet. Indførelsen af kørselsafgiften skal derfor ledsages af en modsvarende nedsættelse af registreringsafgiften. Nedsættelsen af registreringsafgiften i forbindelse med omlægningen skal styrke tilskyndelsen til at vælge en energiøkonomisk bil. Derudover er et andet formål, at road pricing skal reducere trængsel især i og omkring de store byer. Omlægningen skal gælde alle veje og samtidig anvendes til at regulere trængsel i de områder, hvor denne udgør et problem, og hvor den kollektive trafik er tilstrækkeligt veludbygget. Ved at lade kørselsafgiften variere i forhold til tid og sted vil det være muligt at reducere trængslen i myldretiden og på de mest belastede vejstrækninger. Det vil ikke mindst få effekt i de største byer, hvor kørselsafgifter vil mindske støj og luftforurening. Samtidig skal det være billigere at køre på steder, hvor der er plads på vejene.

I det hidtidige forsknings- og udredningsarbejde har der været fokuseret mest på trængselsproblematikken, trafikale effekter, brugeradfærd og –accept, teknologi mv. mens de afledte miljømæssige effekter har været svagere belyst, og sammenhængen mellem en differentieret prisstruktur i tid og sted, som instrument for reduktion af sundhedsskadelig luftforurening har ikke været analyseret tidligere.

Rapportens opbygning

Kaptiel 1 "Road pricing og luftforurening" beskriver kortfattet fire forskellige hovedformål som kørselsafgifter kan have (afgiftsomlægning, miljøregulering, trængselsregulering, og finansiering) og de forhold, som er vigtige i forhold til luftforureningen (ændringer i bilparken, trafikarbejdet, køretøjsgrupper, og hastigheden).

Kapitel 2 "Trafikale effekter af road pricing" beskriver resultaterne af et litteraturreview af forventede trafikale effekter af road pricing baseret på en oversigt over eksisterende danske studier om road pricing og trafikale effekter.

I kapitel 3 "Geografisk og tidslig variation af luftkvalitet som pejlemærke for prisstruktur for road pricing" vurderes de afledte effekter for luftforureningen af de trafikale effekter beskrevet i kapitel 2. Endvidere illustreres, hvordan emission, luftkvalitet og befolkningseksponering varierer geografisk med hensyn til bystørrelse og i forhold til landområder. Dette sker gennem kort og statistiske analyser. Dette bidrager til at give en ide om, hvad den relative forskel skulle være mellem kørselsafgifter i byer og på landet, hvis luftkvalitet og befolkningseksponering lægges til grund for prissætning.

Kapitel 4 "Eksternalitetsomkostninger for luftforurening som pejlemærke for prisstruktur for road pricing" giver en vurdering af den geografiske variation i eksternalitetsomkostningerne ved luftforurening baseret på tidligere beregnede enhedsomkostninger, som vil illustrere de miljøøkonomiske omkostninger afhængig af bystørrelse/landområder. Endvidere gives en kort beskrivelse af økonomiske virkemidler i forhold til de forskellige eksternaliteter i forhold til trafikken (trængsel, klima, luftforurening, ulykker, støj mv.).

2 Road pricing og luftforurening

2.1 Road pricing

I litteraturen anvendes ord som road pricing, kørselsafgift, vejafgift, vejbenyttelsesafgift, bompenge, trængselsafgift. I denne rapport forstås road pricing, som et system, hvor køretøjerne betaler for den faktiske kørte strækning dvs. et km-baseret system, da det er et sådant system, som Regeringen i 2008 har beskrevet i rapporten "Bæredygtig transport – bedre infrastruktur". Dette er i modsætning til bompenge, hvor der betales for at passere en bomstation (fx Storebæltbroen og Øresundsbroen) eller en betalingsring for et afgrænset geografisk område (fx Stockholm eller London) eller betaling for benyttelse af vejnettet, hvor betaling er baseret på steder for indkørsel og udkørsel til vejnettet (fx franske og italienske motorveje).

Der er endnu ikke noget land i verden som har implementeret et km-baseret road pricing system for personbiler, men den hollandske regering var den første til at annoncere at den ønskede et sådant system. I Tyskland er der et km-baseret system for opkrævning af kørselsafgifter for lastbiler fra 12 tons på motorveje og andre større veje, som også kan opkræves automatisk via en GPS enhed i køretøjet ("MAUT") (http://tollcollect.de).

Road pricing vil være adfærdsregulerende. Der kan ske ændringer i selve bilvalget og i kørslen. Bilvalget kan fx påvirkes således at der kommer flere energieffektive biler, hvis registreringsafgiften og kørselsafgiften differentieres med dette formål for øje. De trafikale konsekvenser af road pricing afhænger af, hvilket geografisk område afgiften opkræves for, hvor høj den er, og for hvilke tidsperioder den opkræves for.

Da der ikke eksisterer erfaringer med km-baseret road pricing for person- og varebiler, og der kun eksisterer erfaringer fra Tyskland med store lastbiler på udvalgte veje, er alle forsøg på at kvantificere konsekvenserne af road pricing baseret på en eller anden form for modelberegninger eller forsøg.

2.2 Forskellige formål med road pricing

Transportrådet udgav i 2001 en rapport, hvor fire forskellige hovedformål med kørselsafgifter blev belyst. *Afgiftsomlægning:* Bilbeskatning omlægges til beskatning af forbrug frem for beskatning af at eje eller erhverve et køretøj. Der indføres et landsdækkende kørselsafgiftssystem hvor kørselsafgifterne afløser registreringsafgiften og den grønne ejeafgift. *Miljøregulering*: Her er sigtet at regulere miljøproblemerne både på landsplan og lokalt. Der opkræves en afgift per kilometer på landsplan som afspejler den globale/nationale miljøbelastning ved kørslen, og lokale tillægsafgifter som afspejler lokale miljøproblemer såsom støj og luftforurening. *Trængselsregulering*: Her sigter kørselsafgifter mod at regulere trængselsproblemer og man kan derfor nøjes med afgiftsbetaling

for kørsel i områder med trængsel og i myldretiderne. *Finansiering*: Her opkræves kørselsafgifter for at finansiere ny eller eksisterende trafikinfrastruktur. (Transportrådet, 2001).

Der kan forventes forskellige trafikale konsekvenser af disse forskellige typer af kørselsafgifter. Ved *afgiftsomlægning* er den overordnede idé med km-baserede kørselsafgifter at øge de variable kørselsomkostninger for derigennem at give et incitament til mindre kørsel, samtidig med at de faste kørselsomkostninger reduceres. Dette gøres typisk på en måde, således at det er udgiftsneutralt for bilisterne (jævnfør skattestoppet) eller provenuneutralt for statskassen. Km-baserede kørselsafgifter i forbindelse med afgiftsomlægning vil alt andet lige medføre mindre kørsel, men modvirkes af billigere og dermed flere biler, som alt andet lige, vil give mere kørsel. Den samlede trafikale nettoeffekt kan både være negativ og positiv, afhængig af hvordan afgifterne skrues sammen (Miljøstyrelsen , 2007).

Ved *miljøregulering* er ideen at eksternalitetsomkostningerne (luftforurening, støj, ulykker mv.) ved transport internaliseres i kørselsomkostningerne. Hidtidige vurderinger typer på at størrelsesordenen af eksternalitetsomkostningerne for trængsel, uheld og støj er på hhv. 0,34 kr./km, 0,18 kr./km og 0,26 kr./km og i alt 0,78 kr./km for byområder og omkring en fjerdedel for landområder (Trafikministeriet, 2004). Eksternalitetsomkostninger for luftforurening er især drevet af partikler og NO_x med hhv. 0,06 kr./km og 0,08 kr./km for byområder og omkring en tiendedel for partikler i landområder. Dette er baseret på enhedspriser (omkostninger pr. kg emission) og gennemsnitlige emissionsfaktorer for vejtrafikken med 0,044 g/km for $PM_{2.5}$ (udstødning og ikke-udstødning) og 1,0 g/km for NO_x (Andersen et al. 2004, Jensen et al. 2008). De samlede eksternalitetsomkostninger er derfor i størrelsesordenen 0,92 kr./km, hvilket ville have betydelig trafikal effekt, hvis kørselsomkostninger i denne størrelsesorden blev pålagt trafikken.

Ved *trængselsregulering* sigtes på kørselsafgifter til at regulere trængselsproblemer, og man kan derfor nøjes med afgiftsbetaling for kørsel i trængselsområder og i myldretiderne. Den gennemsnitlige omkostning ved trængsel er omkring 0,34 kr./km (Trafikministeriet, 2004), men omkostningerne varierer meget over døgnet og er størst i myldretiderne. Trængselsomkostningerne er meget små for lave trafikniveauer, men stiger hurtigt, når trafikniveauet kommer over et vist niveau. For motorveje når de marginale omkostninger op til 2 kr./km på de mest belastede delstrækninger, mens de på belastede byveje kan komme helt op på 4-8 kr./km (Københavns Kommune et al., 2004). Kørselsomkostninger i denne størrelsesorden vil reducere myldretidstrafikken (Nielsen & Sørensen, 2008).

Finansiering: Her opkræves kørselsafgifter for at finansiere ny trafikinfrastruktur, som det allerede er sket for broerne over Storebælt og Øresund. Her optimeres priserne med henblik på at finansiere broen inden for en acceptabel tilbagebetalingstid, og der er også taget hensyn til konkurrencen med andre forbindelser. Km-priserne er her meget høje (over 10 kr./km for personbiler). Finansiering kan også være af alle trafikinfrastrukturinvesteringer, som så skal betales via kørselsafgifter.

3 Trafikale effekter af road pricing

Dette kapitel vedrører de forventede trafikale effekter af road pricing.

3.1 Metode

Der er foretaget et lille review af forventede trafikale effekter af road pricing baseret på en gennemgang af eksisterende danske studier om road pricing og trafikale effekter. Oversigten er tilvejebragt ved at spørge trafikeksperter om relevante projekter og publikationer, samt systematisk gennemsøge publikationer i forbindelse med konferencen Trafikdage på Aalborg Universitet, samt hjemmesider for Transportministeriet, det tidligere Transportråd samt Miljøstyrelsen.

I gennemgangen af litteraturen er der lagt vægt på at identificere følgende, som påvirker luftforureningen fra trafik:

- *effekten af road pricing på trafikarbejdet*. Mindre trafik vil give mindre luftforurening.
- *effekten af road pricing på forskellige køretøjsgrupper*. De forskellige køretøjsgrupper har forskellig emission pr. kørt km, således at tunge køretøjer og varebiler har højere emissioner end personbiler. Overflytning fra persontrafik til kollektiv trafik kan derfor reducere luftforurening afhængig af kapacitetsudnyttelse og emissionsforhold.
- *effekten af road pricing på trafikkens døgnvariation*. Luftforureningen er i gennemsnit højest i morgen- og eftermiddagsmyldretiderne, hvilket er relateret til trafikkens myldretider, som kunne påvirkes gennem trængselsafgifter.
- *effekten af road pricing på hastigheden*. Emissionerne er højest ved lave rejsehastigheder (”stop and go” trafik) og ved høje rejsehastigheder. Trængselsafgifter kunne reducere ”stop and go” trafik.

Der er endvidere lagt vægt på beskrive de km-takster, som ligger til grund for de trafikale effekter, men der er ikke undersøgt egentlige elasticiteter for sammenhængen mellem takster og trafikal effekt.

3.2 Danske større projekter og udredninger

Der har de seneste 10 år været gennemført en række større projekter og udredninger, hvor road pricing har været et væsentligt element.

3.2.1 Større road pricing projekter

FORTRIN: Transport Telematics and Road User Charging. Forskningsprojektet blev udført af Danmarks Tekniske Universitet og Aalborg Universitet i 1998-2000. Det fokuserede på udvikling og evaluering af et elektronisk km-afhængigt road pricing system. Projektet inkluderede adfærdsstudier og modellering af økonomiske, miljømæssige og trafikale

effekter. Det undersøger således de trafikale konsekvenser af at opkræve kørselsafgifter på basis af, hvilke veje bilisterne benytter, og hvornår de kører. Afgiften opkræves således på basis af en viden om bilernes fysiske position på alle tider af døgnet (GPS) (Herslund et al., 2001).

TRIP: Transport Research on Environmental and Health Impacts var et forskningscenter bestående af en række institutioner, hvor forskere fra økonomi, geografi, ingeniør- og sundhedsvidenskab har gennemført forskning om miljø og transport organiseret i 16 projekter, der belyser forskellige dele af samspillet mellem transport, trafik og miljø. Dette projekt omhandlede bl.a. et road pricing scenarie, som blev gennemregnet med en trafikmodel, og resultaterne blev brugt til at belyse de regionaløkonomiske effekter af road pricing. Finansieret af Det Strategiske Miljøforskningsprogram 2000-2004. (TRIP, 2004).

AKTA: Alternative Kørsels og Trængselsafgifter. Hovedaktiviteten i projektet var et forsøg med kørselsafgifter, hvor 400 personer afprøvede forskellige afgiftssystemer. Her har målet været at efterligne en situation, hvor man skal betale for at køre i byen ved at installere et "taxameter" der beregner, hvor meget turen koster. Der er afprøvet 3 forskellige takstsystemer. To systemer med hhv. lav og høj km-takst og et system, hvor man betaler for at krydse zonegrænser. I alle tre systemer betaler man mest for at køre i myldretiden og mest for at køre i de centrale bydele. Taxametret har beregnet, hvor meget den enkelte forsøgsdeltager har sparet ved at ændre sin kørsel – og dette beløb er blevet udbetalt. Gennemført af Københavns Kommune, DTU, Vejdirektoratet, og Trafikministeriet i 2001-2003, og var del af EU projekt (PROGRESS) (Nielsen, & Sørensen (2008)).

Trængselsprojektet: Dette projekt blev startet i 2000 med det formål at opstille en alment gyldig definition på begrebet trængsel og at identificere egnede parametre til opgørelse af trængslens omfang. Projektet forsøger endvidere at opgøre det samlede trængselsomfang i hovedstadsområdet. Tallene viser, at de marginale omkostninger er meget små for lave trafikniveauer, hvilket svarer til teorien. Derimod stiger omkostningerne hurtigt, når trafikniveauet kommer over et vist niveau. For motorveje når de marginale omkostninger op til 2 kr./km på de mest belastede delstrækninger, mens de på Vesterbrogade og Ellebjergvej kan komme helt op på henholdsvis 4 og 8 kr./km. Beregningerne viser, at de marginale omkostninger på grund af forøget og varierende rejsetid er betydeligt større end for uheld og luftforurening. Udført af Københavns Kommune, Hovedstadens Udviklingsråd, Københavns Universitet, Vejdirektoratet, DTU, COWI (Københavns Kommune et al., 2004).

3.2.2 Større udredninger

Transportrådet (1997): Betalingssystemer på veje – trafik og teknologi.
Omhandler betalingssystemer for vejtrafikken, trafikale og økonomiske konsekvenser, teknologiske muligheder og begrænsninger, principper for udformning og erfaringer fra andre lande.

Trafikministeriet (2000): Road pricing eller variable kørselsafgifter –med hovedstadsområdet som case.
Rapporten afrapporterer et udvalgsarbejde, som blev igangsat på baggrund af en aftale mellem Københavns overborgmester og trafikministeren. Rapporten har karakter af en teknisk gennemgang af begrebet variable kørselsafgifter (roadpricing) og udgør som sådan ikke et oplæg til beslutning om indførelse af roadpricing i Danmark. I rapporten analyseres forskellige dimensioner af begrebet variable kørselsafgifter (roadpricing), og de fordele og ulemper, der kan være knyttet hertil både generelt, men med fokus mod en evt. anvendelse i hovedstadsområdet.

IMV og DTU (2006): Kørselsafgifter i København - De trafikale effekter.
IMV's projekt om kørselsafgifter består af to rapporter. I baggrundsrapporten, der er udarbejdet af Center for Trafik og Transport, DTU redegøres for de forventede trafikale effekter ved at indføre kørselsafgifter i København. De trafikale effekter bliver vurderet for fire forskellige modeller for kørselsafgifter i 2004. De to bedste vurderes ligeledes i 2015. Endelig gennemføres beregninger af de to 2015-modeller, hvor provenuet benyttes til forbedring af vejnettet og den kollektive trafik. Rapporten redegør endvidere for metoden i trafikmodelleringen. I hovedrapporten udføres en samfundsøkonomisk analyse af kørselsafgifter i København.

Miljøstyrelsen (2007): Ændring af bilafgifter
Rapporten beskriver CO_2 reduktioner og samfundsøkonomisk vurdering ved at omlægge bilafgifter fra registreringsafgift til vej- og ejerafgift. Beregningerne viser, at det er muligt at reducere CO_2-emissionerne ved en markant omlægning af afgifterne, samtidig med at der sikres provenuneutralitet og samfundsøkonomisk overskud. Det skal dog bemærkes, at en væsentlig del af gevinsterne skyldes reduktion af trængsel, uheld og støj som følge af reduktionen af bilernes trafikarbejde. Rapporten vurderer de trafikale konsekvenser af at indføre betalingsring i København samt regner på forskellige scenarier med samtidig reduktion i registreringsafgiften og km-baseret vejafgift under hensyntagen til provenunetralitet og CO_2-reduktion. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 3, 2007.

3.2.3 Øvrige analyser

Jespersen (2007; 2008) har gennemført en analyse af ændringer i bilafgifterne for personbiler baseret på en enkel national model. Analysen opstiller som forudsætninger at alle bilafgifter (registreringsafgift, brændstofafgift, grøn ejer afgift, afgift på ansvarsforsikring) pålægges som kørselsafgift. De km-baserede kørselsafgifter er hhv. 0,80 kr./km og 0,95 kr./km for brugerneutralitet (samme omkostninger for bilisten) og provenuneutralitet (samme provenu for staten). Trafikarbejdet reduceres med omkring 10% som en kombinationseffekt pga. øgede kørselsomkostninger (mindre kørsel) og flere biler (mere kørsel).

3.3 Trafikale effekter

De trafikale konsekvenser af road pricing afhænger af, hvilket geografisk område afgiften opkræves for, hvor høj den er og for hvilke tidsperioder den opkræves for.

3.3.1 Effekten af road pricing på trafikarbejdet

Den trafikale effekt for trafikarbejdet (kørte km) er opsummeret i nedenstående tabel.

	Nielsen & Sørensen (2008)	Jespersen, (2007;2008)	Miljøstyrelsen (2007)	DTU & IMV (2006); Rich et al. (2006)	Københavns Kommune (2005); Miljøstyrelsen (2009)	Trafikministeriet (2000)	Transportrådet (2001)
Ændring af trafikarbejde (%)	-12,8 (høj takst) -2,8 (lav takst)	-10	-7,0 (50%,0,25) -2,9 (25%, 0,25, MAUT) -4,8 (25%, 0,27, forhøjet ejerafgift) + 0,3 (75%, 0,10) +6,7 (50%, 0,09,MAUT) +4,1 (50%, 0,12)	-7,0	-11,7 (København og Frederiksberg kommuner) -9,0 (Københavns Amt) -8,4 (Frederiksborg Amt) -4,0 (Roskilde Amt)	-13 (København kommune) -10 (Frederiksberg kommuner) -7 (Københavns Amt) -2 (Frederiksborg Amt) -1 (Roskilde Amt)	-13 (Afgiftsomlægning) -10 (miljøregulering) -12 (finansiering)
Kørselsafgift (kr./km)	0,75 (høj takst) 0,25 (lav takst)	0,8 (brugerneutralt) 0,95 (provenuneutralt)	0,09-0,27 for personbiler og 0,89 for lastbiler ("MAUT" som i Tyskland, strækningsbaseret afgift for lastbiler fra 12 tons på motorveje og andre større veje, som også kan opkræves automatisk via GPS enhed i køretøj)	Optil 5 kr./km afhængig af zone og myldretid. Efter formål (beregnet): boligarb. 0,55/0,30; fritid: 0,30/0,25; varebil 0,70/0,39; lastbil: 1,89/1,07 (myldretid/udenfor)	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.	For personbiler 1,50 kr./km (city), 0,75 kr./km (brokvarterne), 0,50 kr./km (forstæderne), 1,50 kr./km (omegnen). Dobbelt takst for vare- og lastbiler.	*Afgiftsomlægning*: 0,50 kr./km. *Miljøregulering*: 0,20 kr./km på de overordnede veje på landet til 1,45 kr. på de lokale veje i tæt by. *Trængselsregulering*: bykørsel i myldretiden 1,09 kr./km. Udenfor myldretiden 0,40 kr./km. (trafikal effekt ikke kvantificeret). *Finansiering*: 1,50 kr./km i indre by, 0,75 kr./km i de øvrige centralkommuner, 0,50 kr./km indenfor Ring 4 og 0,35 kr./km i Københavns Amt.
Periode	2003-2004	2008-2020	2003-2023 år	2004, 2015	2010	2010	Ca. 2000
Projekt	AKTA, TRIP			KK-projekt, AKTA			FORTRIN
Køretøjsgrupper	Personbil	Personbil	Personbil og lastbil	Person-, vare-og lastbil samt bus	Person-, vare-og lastbil samt bus	Person-, vare-og lastbil samt bus	Personbiler
Metode	Analyse af faktiske kørselsmønstre i forsøg	Enkel national model	COWI's nationale samfundsøkonomiske bilvalgsmodel	Ny trafikmodel baseret på Ørestadstrafikmodellen (OTM) og AKTA data for Storkøbenhavn	Ørestadstrafikmodellen (OTM) for Hovedstadsområdet	Ørestadstrafikmodellen (OTM) for Hovedstadsområdet	Elasticitetsmodel, Ørestadstrafikmodellen (OTM) for Hovedstadsområdet
Forudsætninger	Beregninger for 4 zoner i Storkøbenhavn. Høj takst: Dyrest i central Kbh. med 5 kr./km og billigst i yderkant 1 kr. Halv pris uden for myldretid. Lav takst: Dyrest i central Kbh. med 2,5 kr./km og billigst i yderkant 0,5 kr. Gratis uden for myldretid.	Alle bilafgifter (registreringsafgift, brændstofafgift, grøn ejer afgift, afgift på ansvarsforsikring) pålægges som kørselsafgift.	Der er regnet på forskellige scenarier med kombinationer af reduktion af registreringsafgift (75%, 50%, 25% af nuværende) og øgede kørselsafgifter under hensyntagen til provenuneutralitet og CO_2 reduktion.	Beregninger for 4 zoner i Storkøbenhavn. Kun høj takst: Dyrest i central Kbh. med 5 kr./km og billigst i yderkant 1 kr. Halv pris uden for myldretid. 3 dobbelt takst for lastbiler.	Et blandt flere scenarier, som havde til formål at belyse effekten for antallet af overskridelser af NO_2 grænseværdien for luftkvalitet i 2010.	Afgiftområde består af sammenhængende byområder, hvor alle veje er omfattet. Kollektiv trafik er undtaget for afgift.. Afgiftsomlægning i forhold til registreringsafgift er ikke belyst.	Afgiftsomlægning: Provenu-neutral hvor kørselsafgifter erstatter registreringsafgiften og grøn ejerafgift. Miljøregulering: forsøg på internalisering af eksternalitetsomkostninger. Finansiering: finansiering af trafikinfrastruktur i Hovedstadsområde (25 års tilbagebetalingstid).
Bemærkninger	Trafikal effekt pga. øgede kørselsomkostninger.	Trafikal kombinationseffekt pga. øgede kørselsomkostninger og flere biler.	Trafikal kombinationseffekt pga. øgede kørselsomkostninger og flere biler. Trafikarbejde reduceres kun ved de høje kørselsafgifter og stiger ved lave kørselsafgifter.	Trafikal effekt pga. øgede kørselsomkostninger.	Trafikal effekt pga. øgede kørselsomkostninger.	Trafikal effekt pga. øgede kørselsomkostninger.	Trafikal effekt pga. øgede kørselsomkostninger for *miljøregulering* og *finansiering* mens *afgiftsomlægning* er en nettoeffekt af øgede kørselsomkostninger og flere biler.

Hvis road pricing alene fører til højere kørselsomkostninger reduceres trafikarbejdet, og størrelsen heraf afhænger af kørselsafgiften. I ovennævnte studier reduceres trafikarbejdet med 7-13% med de forslåede kørselsafgifter.

Flere studier vurderer, hvilken betydning nettoeffekten af lavere registreringsafgift (flere biler og mere kørsel) og højere kørselsafgifter (mindre kørsel) vil få for trafikarbejdet under forudsætning af provenuneutralitet. Her reduceres trafikarbejdet også med 7-13% med de forslåede kørselsafgifter. Miljøstyrelsens studie fra 2007 understreger dog at trafikarbejdet også kan stige, hvis afgiftsomlægningen resulterer i lave kørselsafgifter.

3.3.2 Effekten af road pricing på forskellige køretøjsgrupper

Road pricing begrænser særligt personbiltrafikken, da denne er følsom over for ændrede kørselsomkostninger. Kørselsafgifterne har mindre effekt på vare – og lastbiltrafikken. Enkelte studier har også set på transportmiddelvalg, hvor eksempelvis antallet af ture med bil blev reduceret med 6% som følge af road pricing samtidig med at kollektive ture steg med 8%, cykel med 7% og gang med 4% (DTU & IMV, 2006; Rich et al., 2006).

3.3.3 Effekten af road pricing på trafikkens døgnvariation

Et enkelt studie har modelleret den trafikale effekt af trængselsafgifter, som har til formål at reducere trafikken i myldretiderne (Nielsen & Sørensen, 2008). Beregninger for 4 zoner i Storkøbenhavn med høj takst: Dyrest i central Kbh. med 5 kr./km og billigst i yderkant med 1 kr. og halv pris uden for myldretid. Lav takst: Dyrest i central Kbh. med 2,5 kr./km og billigst i yderkant 0,5 kr. og gratis uden for myldretid. De høje takster reducerede antallet af ture med hhv. 12% og 5,5% i morgen- og eftermiddagsmyldretiderne, og 7,8% over hele perioden. Den lave takst førte til en lille stigning i morgenmyldretiden på 0,3% og en reduktion på 4% i eftermiddagsmyldretiden.

3.3.4 Effekten af road pricing på hastigheden

I de tilfælde hvor en vej er tæt på eller har overskredet sin kapacitet vil en reduktion i antallet af biler forøge hastigheden og dermed spare bilisterne tid. Road pricing som fokuserer på trængsel har netop dette formål. Trafikmodeller inkluderer hastigheden, men der er ingen af de undersøgte studier, som særskilt har afrapporteret effekten af road pricing på hastigheden.

4 Geografisk og tidslig variation af luftkvalitet som pejlemærke for prisstruktur for road pricing

4.1 Effekter for luftforureningen af forventet trafikal effekt af road pricing

4.1.1 Vurdering for 138 gader i København

Der er kun et studie, som har undersøgt effekten for luftkvaliteten af road pricing, som havde til formål at belyse effekten for antallet af overskridelser af NO_2 grænseværdien for luftkvalitet i 2010.

Københavns Kommune fik i 2005 gennemført et studie udført af DMU og TetraPlan, hvor road pricing var et blandt flere scenarier, som blev undersøgt i København (Københavns Kommune, 2005). Scenariet omfattede km-baserede kørselsafgifter med 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. Ørestadstrafikmodellen (OTM) for Hovedstadsområdet blev anvendt til at beregne ændringer i trafikken for person-, vare- og lastbil samt bus i 2010. Trafikarbejdet blev reduceret med 11,7% for København og Frederiksberg kommuner, 9,0% for det tidligere Københavns Amt, 8,4% for Frederiksborg Amt og 4,0% for Roskilde Amt. Den trafikale effekt blev opnået pga. øgede kørselsomkostninger, og i scenariet indgik ikke nedsættelse af registreringsafgiften. Studiet viste, at antallet af overskridelser af NO_2 grænseværdien som årsmiddelværdi (40 $\mu g/m^3$) blev reduceret fra 80 til 58 i 2010 ud af 138 undersøgte trafikerede gader i København. Effekten af miljøzonen i København er ikke indregnet heri, da miljøzonekravene ikke var vedtaget på daværende tidspunkt. Miljøstyrelsen har i 2009 i et andet studie opdateret dette scenarie med en fremskrivning fra 2010 til 2020 samt inddragelse af effekten af miljøzonekravene (Miljøstyrelsen, 2009).

Som det fremgik af det forrige kapitel er den forventede trafikale effekt af road pricing en reduktion i trafikarbejdet på 7-13% afhængig af scenario for kørselsafgifterne, som primært skyldes en reduktion i personbiltrafikken. Såfremt der indføres trængselsafgifter kan antallet af ture forventes at blive reduceret i størrelsesordenen hhv. 12% og 5,5% i morgen- og eftermiddagsmyldretiderne.

4.1.2 Vurdering for en konkret gade

I det følgende har vi illustreret, hvad de trafikale konsekvenser af road pricing betyder for luftkvaliteten for en konkret gade. Jagtvej i København er valgt, da DMU har detaljeret information om trafikken og luftkvalitetsmålinger.

Beregningerne er gennemført for 2008 med de samme forudsætninger som i modelberegningerne udført under NOVANA programmet (Kemp et al. 2008). Bybaggrundsniveauet er beregnet med en regional model

(DEHM) og en bybaggrundsmodel (UBM) og gadekoncentrationerne med OSPM modellen. Beregningerne er gennemført for NO_2 og NO_x. Modelberegninger for denne gade giver god overensstemmelse med målinger udført under Det Landsdækkende Måleprogram (LMP) under NOVANA for NO_x og NO_2.

Først regnes på et scenarie med 10% reduktion i hele trafikken opnået ved at reducere personbiltrafikken alene med 12,7%. Referencesituationen uden 10% reduktion er vist i tabel 4.1 og scenariet med 10% reduktion i trafikken er vist i tabel 4.2.

Tabel 4.1. Årsmiddelværdier i referencesituation i 2008 (µg/m^3)

	NO_2 gade	NO_2 bybaggrund	NO_x gade	NO_x bybaggrund
Gennemsnit	45,0	19,3	88, 1	23,5
18. højeste time	143	96	403	193

Tabel 4.2. Årsmiddelværdier for scenarie med 10% reduktion i trafikken (µg/m^3)

	NO_2 gade	NO_2 bybaggrund	NO_x gade	NO_x bybaggrund
Gennemsnit	44,4	19,3	85,5	23,5
18. højeste time	143	96	398	193

Det ses, at der sker en marginal reduktion i årsmiddel for gadekoncentrationen af NO_2 på ca. 1% og for NO_x på ca. 3% som følge af en reduktion på 10% i trafikken. Grunden til at reduktionen er mindre for luftkvaliteten end for trafikken skyldes, at personbilerne bidrager relativt lidt til NO_x emissionen i forhold til deres antal, og at bybaggrund ikke påvirkes. Reduktionen er mindre for NO_2 end for NO_x, da NO_2 er afhængig af ozon i luften, som oftest er den begrænsende faktor for dannelse af NO_2. De højeste koncentrationer (18. højeste time) er stort set ikke påvirket for NO_2 (ca. 0,5%) og kun meget lidt for NO_x (ca. 1%), da de højeste koncentrationer især er påvirket af ugunstige meteorologiske forhold eller høj baggrundsforurening. Grænseværdien i 2010 for NO_2 er 40 µg/m^3 for årsgennemsnit og 200 µg/m^3 for den 18. højeste time.

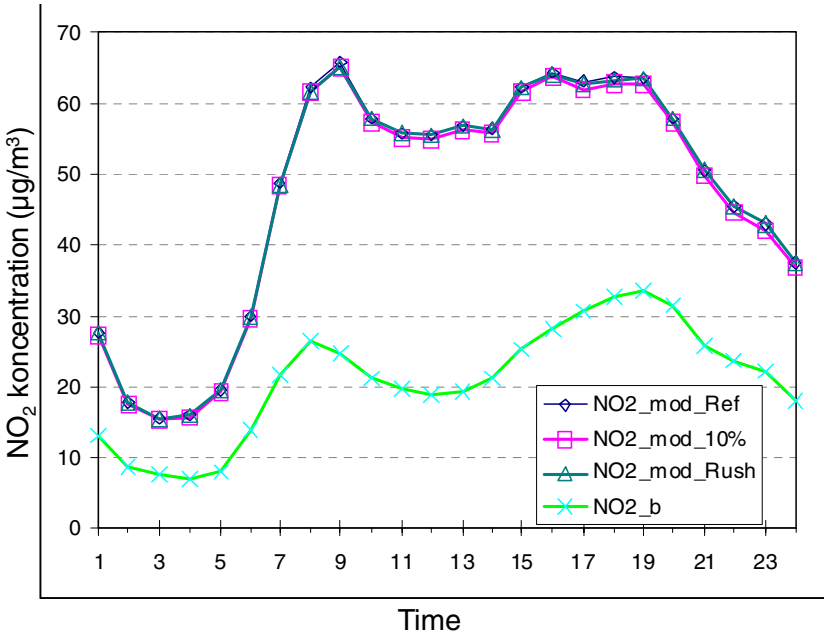
Der er endvidere regnet på et scenarie, hvor trafikken er reduceret hhv. 12% og 5,5% i morgen- og eftermiddagsmyldretiderne, hvilket ligeledes er opnået ved kun at reducere personbiltrafikken. Morgenmyldretiden er kl. 6-9 og eftermiddagsmyldretiden kl. 15-18. Reduktionen er kun sket for personbilstrafikken og svarer til reduktion heraf på hhv. 15,6% og 6,4%. Det svarer til en samlet reduktion over hele døgnet på omkring 7,8%. Se tabel 4.3.

Tabel 4.3. Scenarie med reduktion i trafikken i morgen- og eftermiddagsmyldretiderne (µg/m^3)

	NO_2 gade	NO_2 bybaggrund	NO_x gade	NO_x bybaggrund
Gennemsnit	44,9	19,3	87,5	23,5
18. højeste time	143	96	403	193

Som det fremgår af tabel 4.3 sker der en marginal reduktion i årsmiddel for gadekoncentrationen af NO_2 på ca. 0,2% og for NO_x på ca. 0,6% som følge af en reduktion af trafikken i myldretiderne. De højeste koncentrationer er ikke påvirket, hvilket måske kunne forventes, da emissionen er højest i myldretiderne, men de højeste koncentrationer er meget påvirket af ugunstige meteorologiske forhold eller høj baggrundsforurening. Reduktionen er lidt mindre end for scenariet med 10% reduktion i trafikken, hvilket er i overensstemmelse med at trafikken samlet kun reduceres med 7,8% i myldretidsscenariet.

Den gennemsnitlige døgnvariation for NO_2 koncentrationen på Jagtvej er vist i Figur 4.1 for reference situationen og for de to scenarier. Tilsvarende døgnvariation ses for NO_x.



Figur 4.1. Den gennemsnitlige døgnvariation for NO_2 koncentrationen på Jagtvej i København i 2008 i µg/m^3. "Ref" står for referencesituation, "10%" for scenarie med 10% reduktion af trafikken, og "Rush" for hhv. 12% og 5,5% reduktion i trafikken i morgen- og eftermiddagsmyldretiderne. "b" står for bybaggrund.

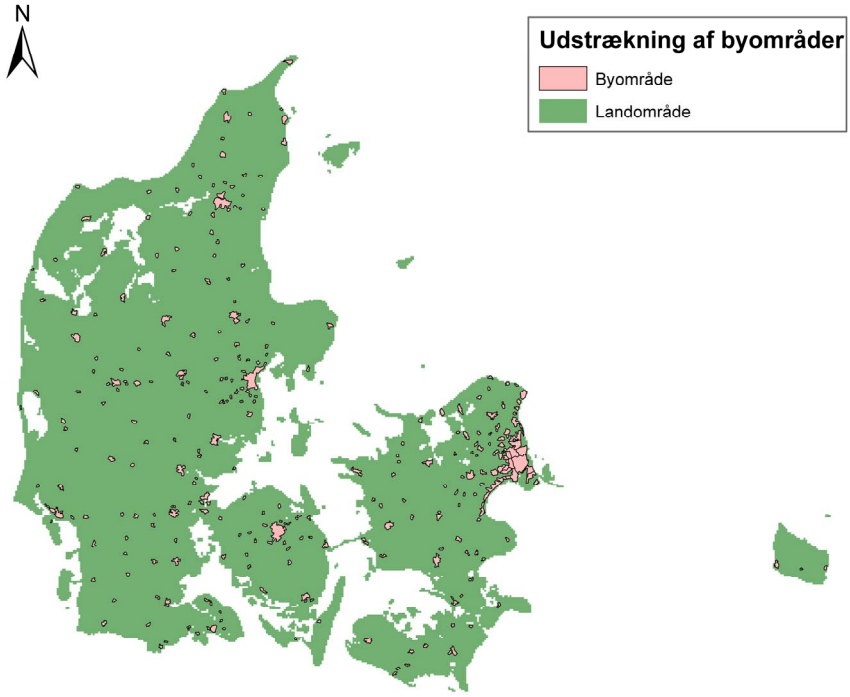
4.2 Geografisk variation af emission, luftkvalitet og befolkningseksponering

I det følgende er det illustreret, hvordan emission, luftkvalitet og befolningseksponering varierer geografisk med hensyn til bystørrelser og i forhold til landområder. Dette bidrager til at give en ide om, hvad den relative forskel skulle være mellem kørselsafgifter i byer og på landet, hvis trafikemission, luftkvalitet, eller befolkningseksponering lægges til grund for kørselsafgifter.

4.2.1 Bystørrelser

For at kunne relatere emission, luftkvalitet og befolkningseksponering til forskellige bystørrelser er der anvendt et GIS datasæt fra omkring 2001, som indeholder den geografiske udstrækning af alle byer i Danmark samt indbyggertal. Der er i alt 285 byer eller byområder. I Storkøben-

havn følger afgrænsningen de gamle kommunegrænser før strukturreformen. København og Frederiksberg kommuner er slået sammen til et sammenhængende byområde.



Figur 4.2. By- og landområder i Danmark

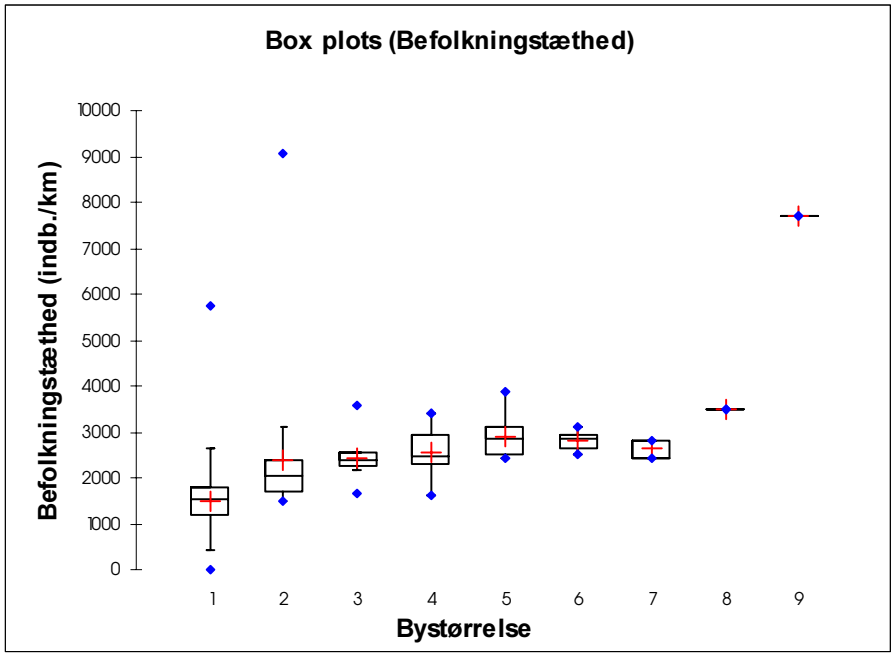
Byerne er blevet inddelt i 9 klasser efter deres størrelse, se tabel 4.4 og 4.5 og Figur 4.3. Transportministeriets Transportvaneundersøgelse (TU) inddeler forskellige bystørrelser i forskellige TU-klasser, som også er vist i tabel 1, da de eksterne omkostninger bl.a. er relateret hertil.

Tabel 4.4. Danske byer inddelt i klasser efter indbyggertal

Byklasse	Indbyggere	Eksempler
9	> 500.000	København inkl. Frederiksberg (TU1-klasse)
8	200.000 – 500.000	Aarhus (TU3-klasse)
7	100.000 – 200.000	Odense, Aalborg (TU3-klasse)
6	50.000 – 100.000	Esbjerg, Randers, Kolding, Gladsaxe (TU4-klasse)
5	40.000 – 50.000	Vejle, Horsens, Roskilde, Ballerup, Greve, Rungsted (TU4-klasse)
4	30.000 – 40.000	Køge, Søllerød, Køge, Holstebro, Viborg, Silkeborg (TU4-klasse)
3	20.000 – 30.000	Herning, Frederikshavn, Hillerød, Holbæk (TU4-klasse)
2	10.000 – 20.000	Billund, Lemvig, Ribe, Hundested, Gilleleje (TU4-klasse)
1	0 – 10.000	Gedser, Hvide Sande, Skørping, Rødby, Stege (TU5 og TU6)

Tabel 4.5. Indbyggere og befolkningstæthed i byerne

Byklasse	Antal byer	Min. indb.	Maks. indb.	Antal indb. i byerne	Gns. Befolkningstæthed (indb./km^2)
9	1	586026	586026	586026	7703
8	1	217260	217260	217260	3494
7	2	119617	145062	264679	2627
6	6	50609	73341	362982	2792
5	7	43100	49270	323085	2874
4	12	30173	39408	414994	2547
3	13	20375	29331	329307	2404
2	31	10000	19090	422272	2392
1	212	56	9955	783587	1492
I alt	285			3704192	



Figur 4.3. Befolkningstætheden (indb./km^2) afhængig af bystørrelse (klasse 1-9, se tabel 3.2). Box-whisker plottet viser minimum (blå prik) og maksimum (blå prik), boksen viser den nedre kvartil (25-percentil), median (samt gennemsnit som kryds) samt øvre kvartil (75-percentil), med streger er endvidere vist 1,5 gange forskellen mellem nedre og øvre kvartil lagt til øvre kvartal og fratrukket nedre kvartal (data uden for dette område betragtes som outliers).

Som det fremgår af tabel 4.4 og Figur 4.3 er der en generel tendens til stigende befolkningstæthed med stigende bystørrelse, men dog således at befolkningstætheden er forholdsvis ens for byer med 30.000-200.000 indbyggere. Det ses også, at København har en høj befolkningstæthed, som er over dobbelt så høj som for Aarhus. Befolkningstætheden i København er høj, da byområdet har en relativ lille udstrækning og er tæt bebygget med mange relativt høje etageejendomme.

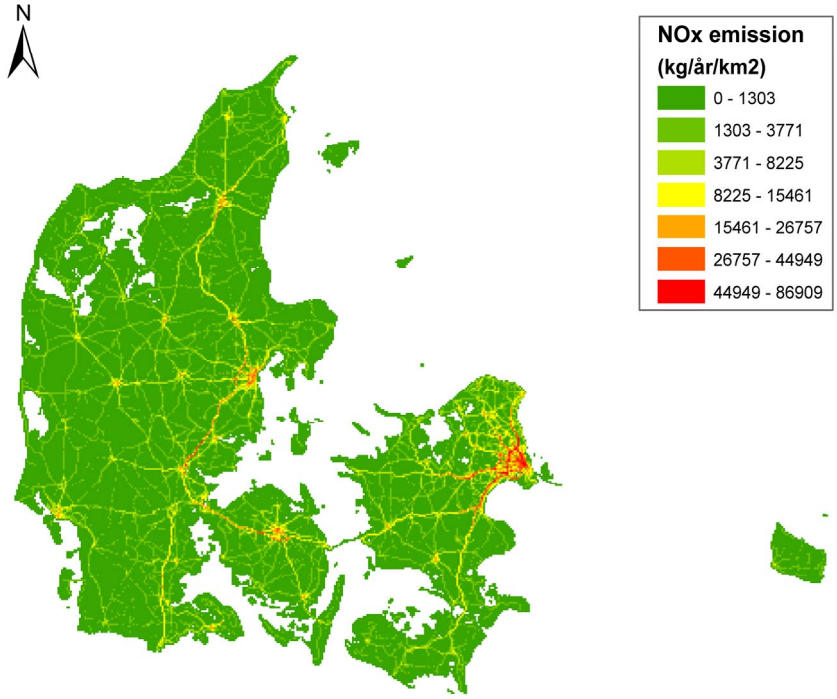
4.2.2 Danske kvadratnet

Det danske Kvadratnet er et gitternet i forskellige størrelser for Danmark, som Kort- og Matrikelstyrelsen (KMS) har defineret, som en fælles referenceramme for udveksling af GIS data. Det danske Kvadratnet i 1x1 km^2 opløsning er anvendt til at illustrere data for emission, luftkvalitet og befolningseksponering. For at kunne illustrere data i forhold til

bystørrelser er alle gitterceller, som indeholder den geografiske udstrækning af byerne udvalgt i GIS, således at det er muligt at beregne forskellige statistiske parametre.

4.2.3 Trafikemissioner

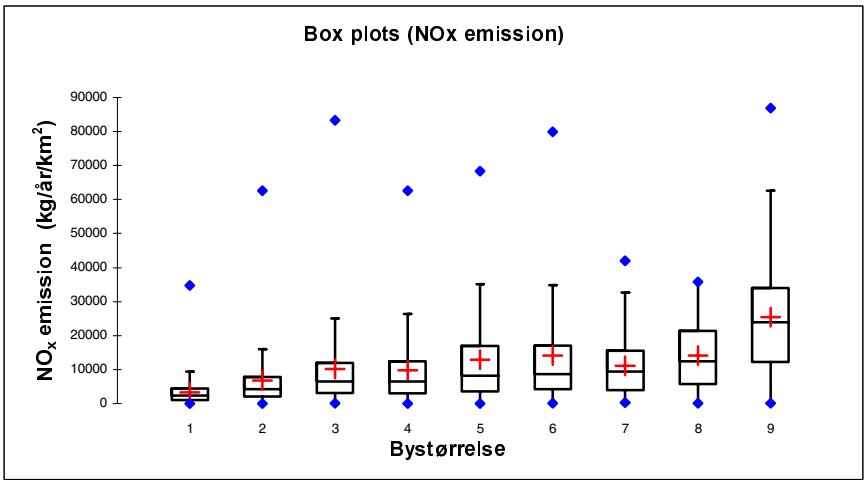
Vejtrafikemission for NO_x på et 1x1km^2 gitternet er baseret på DMU's GIS-orienteret vej- og trafikdatabase, som indeholder alle veje i Danmark med påført trafikdata fra forskellige kilder (Jensen et al., 2009). Trafikarbejdet i 2005 er beregnet på 1x1km^2 gitternet og emissionen efterfølgende beregnet ud fra emissionsmodellen COPERT IV for 2006.



Figur 4.4. Vejtrafikemission for NO_x på et 1x1km^2 gitternet i 2006.

Som det ses varierer NO_x emissionen fra vejtrafikken meget. Det er tydeligt at emissionen er størst i de større byer og på det overordnede vejnet.

I Figur 4.5 er NO_x emissionen vist afhængig af bystørrelse.



Figur 4.5. NO_x emissionstætheden (kg/år/km^2) afhængig af bystørrelse (klasse 1-9), se tabel 3.2. Box-whisker plottet viser minimum (blå prik) og maksimum (blå prik), boksen viser den nedre kvartil (25-percentil), median (samt gennemsnit som kryds) samt øvre kvartil (75-percentil), med streger er endvidere vist 1,5 gange forskellen mellem nedre og øvre kvartil lagt til øvre kvartal og fratrukket nedre kvartal (data uden for dette område betragtes som outliers).

Som det fremgår af Figur 4.5 er der en generel tendens til stigende NO_x emissionstæthed med stigende bystørrelse, men dog således at emissionstætheden er forholdsvis ens for byer med 40.000-200.000 indb. Dette minder om den samme tendens som ses for befolkningstæthed, og der må også forventes en vis sammenhæng mellem befolkningstæthed og trafiktæthed og dermed NO_x emission fra trafikken.

4.2.4 SUB-metoden for bybaggrundskoncentrationer

Bybaggrundsluftforureningen er valgt som indikator for luftkvaliteten. Bybaggrund er det koncentrationsniveau, som i byer er umiddelbart over tagryggene, i en baggård eller i en park. Bybaggrundsforureningen består af et regionalt bidrag (koncentrationer uden for byerne) samt et bybaggrundsbidrag, som forårsages af emissionen fra byen.

Beregningerne er gennemført for NO_x og NO_2. NO_x (summen af NO og NO_2) kan opfattes som et ikke-reaktivt stof, og vil derfor opføre sig som andre ikke-reaktive stoffer fra trafikken (fx CO, benzen, partikler mv.) NO_2 er derimod et reaktivt stof og koncentrationen er derfor også afhængig af kemiske processer. NO_x emitteres primært som NO, som oxideres til NO_2 ved reaktion med luftens O_3. Noget NO_2 emitteres også direkte.

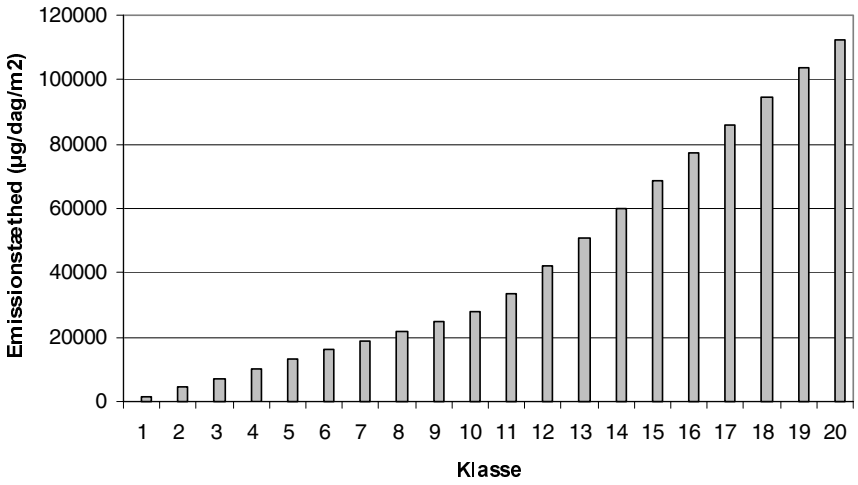
Bybaggrundskoncentrationerne er beregnet for et gitternet, som dækker hele Danmark med en geografisk opløsning på 1x1 km^2, hvilket giver 45.174 gitterceller.

Koncentrationsberegningerne er gennemført med den såkaldte SUB-metode (Jensen 1998), som er implementeret i WinOSPM modellen. Det er en simpel måde at beregne bybaggrundskoncentrationer på, som er mange gange hurtigere end beregninger med fx Urban Background Model (UBM), som også kan anvendes til bybaggrundsberegninger.

SUB-metoden kan anvendes til beregning af årsmiddelværdier med rimeligt godt resultat i forhold til almindelige gaussiske spredningsmodeller som UBM modellen (Berkowicz et al., 2008).

I metoden antages en ensartet emissionstæthed inden for det område, som påvirker den beregnede koncentration. Den beregnede koncentration er kun afhængig af vindhastigheden, idet der antages en uniform variation af vindretningen. Herudover indgår også den initiale spredningshøjde (generelle bygningshøjde) og byens udstrækning (radius af det centrale bebyggede område).

Emissionstætheden er defineret i 20 diskrete emissionsklasser (Figur 4.6). Disse klasser er genereret ud fra et 1x1 km^2 vejtrafikemissions datasæt for hele Danmark. Koncentrationen på et givet sted er bestemt af emissionen omkring dette, men således at de gitterceller som er tættest på bidrager mest. For at få en bedre indikator for emissionen er trafikarbejdet på 1x1 km^2 derfor udglattet. Denne udglatning giver for en given celle en gennemsnitsværdi af tilstødende gitterceller inden for 5x5 km^2 af cellen.



Figur 4.6. Illustration af anvendte 20 diskrete emissionsklasser for NO_x.

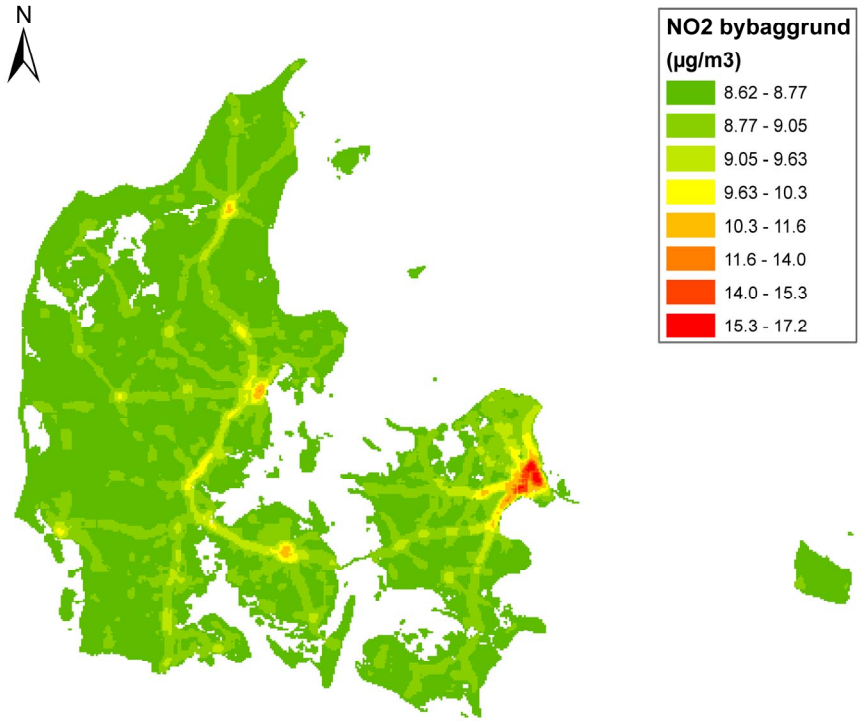
Der er således en emissionsklasse for hver eneste gittercelle i Danmark, og det er denne der bestemmer bybaggrundskoncentrationsniveauet i den pågældende gittercelle ud fra denne metode.

SUB metoden kræver input for regionale koncentrationer og meteorologi. For regionale koncentrationer er anvendt koncentrationsmålinger fra den regionale station Keldsnor på Langeland (timerværdier for NO_x, NO_2 og O_3). Årsmiddel for hhv. NO_x, NO_2 og O_3 er 9,7 µg/m^3, 8,6 µg/m^3, og 58,2 µg/m^3. Meteorologisk data er fra bybaggrundsstationen på H.C. Ørsted Instituttet i København.

Beregningerne repræsenterer bybaggrundskoncentrationer i 2008.

I beregningerne indgår også antagelser om den direkte NO_2 andel dvs. den procentdel af NO_x emissionen, som er direkte emitteret NO_2 emission. Den er default sat til 5% i SUB-metoden. Den direkte NO_2 procent i 2008 er omkring 13%, og SUB-metoden vil derfor undervurdere NO_2 koncentrationerne noget, men dette har ikke betydning for den relative fordeling mellem forskellige geografiske områder.

De beregnede bybaggrundskoncentrationer for NO_2 er vist i Figur 4.7.



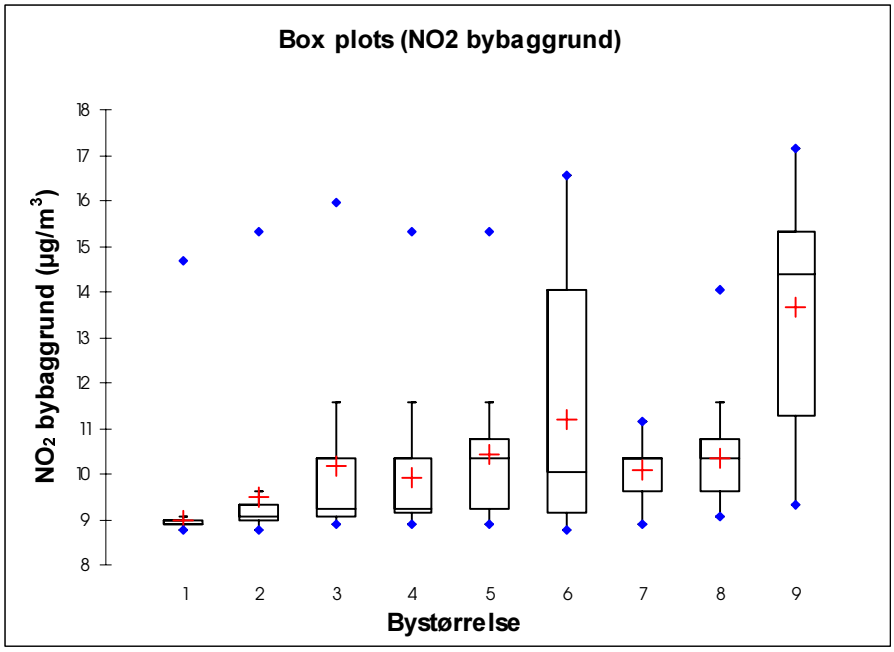
Figur 4.7. Bybaggrundskoncentrationer for NO_2 på 1x1 km^2 i 2008.

Det ses, at bybaggrundskoncentrationerne for NO_2 er mere udglattet i forhold til emissionsopgørelsen, hvilket skyldes den udglatningsprocedure, hvor en given emissionscelle har gennemsnitsværdien af tilstødende gitterceller inden for 5x5 km^2 af cellen. NO_x bybaggrundskoncentrationerne viser samme geografiske fordeling som NO_2.

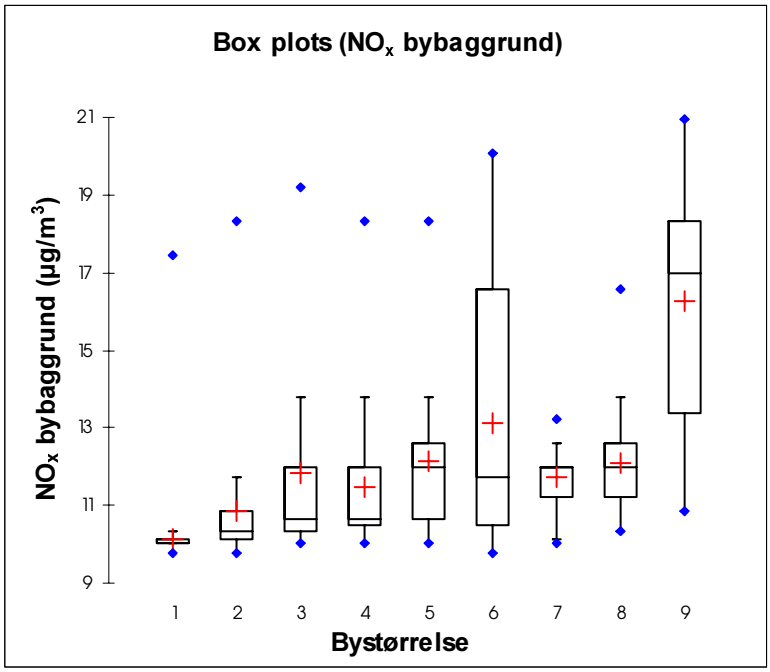
Den regionale baggrund for NO_2 er antaget at være 8,6 µg/m^3 for hele Danmark svarende til målinger fra Keldsnor på Langeland. Den højeste NO_2 bybaggrundskoncentration er i København, som er 17,2 µg/m^3. Dette er noget lavere end målinger på H.C. Ørsted Instituttet, som ligger omkring 20 µg/m^3. Beregnede koncentrationer i de andre målebyer (Aarhus, Odense og Aalborg) ligger også noget lavere end målingerne.

Det maksimale beregnede bybaggrundsbidrag (forskel mellem bybaggrund og regional baggrund) er 8,6 µg/m^3. Det tilsvarende tal for NO_x er 11,3 µg/m^3.

Figur 4.8 og Figur 4.9 viser hhv. NO_2 og NO_x bybaggrundskoncentrationer afhængig af bystørrelser. Som forventet viser NO_2 og NO_x samme tendens blot med højere koncentrationer for NO_x end for NO_2. Som det fremgår, er der en generel tendens til stigende NO_2 og NO_x bybaggrundskoncentrationer med stigende bystørrelse, men dog således at bybaggrundskoncentrationer er forholdsvis ens for byer med 30.000-500.000 indb. Dette minder om den samme tendens som ses for NO_x emissionen fra trafikken. Byer mellem 50.000-100.000 indb. har væsentlig større spredning i både NO_2 og NO_x koncentrationerne, som ikke umiddelbart kan forklares ved variationen i NO_x emissionen. Der er kun 6 byer i denne kategori.



Figur 4.8. NO_2 bybaggrund (µg/m^3) afhængig af bystørrelse (klasse 1-9), se tabel 3.2. Box-whisker plottet viser minimum (blå prik) og maksimum (blå prik), boksen viser den nedre kvartil (25-percentil), median (samt gennemsnit som kryds) samt øvre kvartil (75-percentil), med streger er endvidere vist 1,5 gange forskellen mellem nedre og øvre kvartil lagt til øvre kvartal og fratrukket nedre kvartal (data uden for dette område betragtes som outliers).



Figur 4.9. NO_x bybaggrund (µg/m^3) afhængig af bystørrelse (klasse 1-9), se tabel 3.2. Box-whisker plottet viser minimum (blå prik) og maksimum (blå prik), boksen viser den nedre kvartil (25-percentil), median (samt gennemsnit som kryds) samt øvre kvartil (75-percentil), med streger er endvidere vist 1,5 gange forskellen mellem nedre og øvre kvartil lagt til øvre kvartal og fratrukket nedre kvartal (data uden for dette område betragtes som outliers).

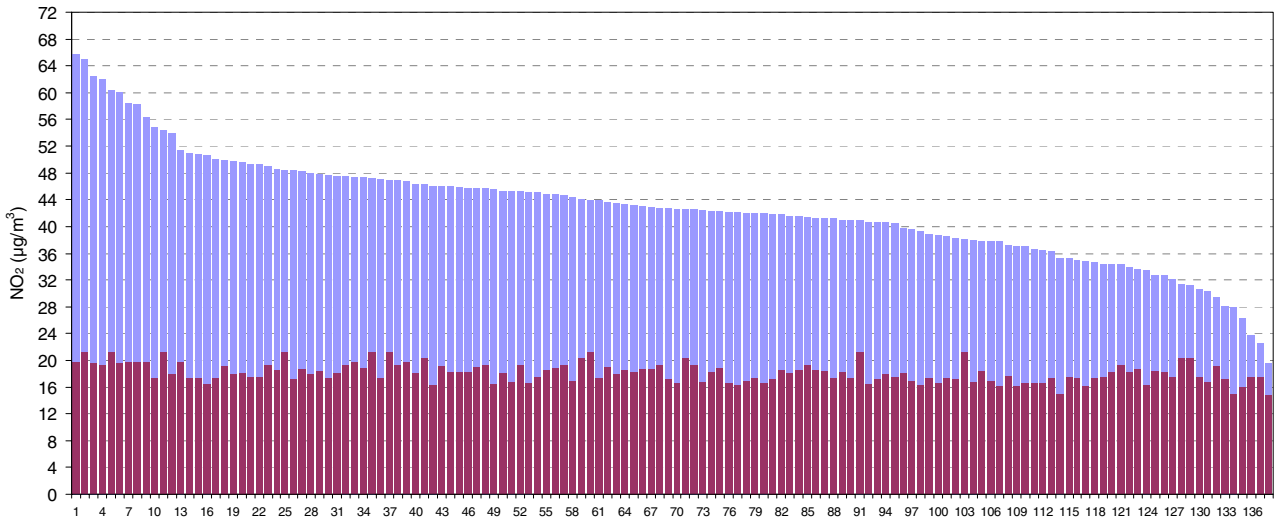
4.2.5 Gadekoncentrationer

Det er ikke muligt inden for dette projekt at gennemføre beregninger af gadekoncentrationer for alle veje og gader i Danmark. Men for at illustrere, hvor stort gadebidraget kan være er vist gadeberegninger for 138 trafikerede gader i København, hvor det gennemsnitlige antal køretøjer pr. døgn over et år (ÅDT) er omkring 10,000-67,000.

Det ses, at gadekoncentrationerne kan blive op til 66 µg/m^3 i 2008 eller mere end tre gange bybaggrundsniveauet. Grænseværdien for NO_2 som årsmiddelværdi er 40 µg/m^3, som skal være overholdt i 2010. Grænseværdi plus tolerancemargin i 2008 er 44 µg/m^3.

Bybaggrundskoncentrationerne varierer ikke så meget, da de ligger mellem 15-21 µg/m^3, mens gadekoncentrationerne varierer langt mere mellem 19-66 µg/m^3. Kørselsafgifter som kun afspejler bybaggrundskoncentrationerne vil derfor ikke fange den variation, der er i gadekoncentrationerne.

Prisstrukturen i road pricing bør være rimelig enkel, således at trafikanterne forstår den, og således at den kan føre til hensigtsmæssig trafikant adfærd. Det ville således være en for kompliceret prisstruktur, hvis kørselsafgifterne var afhængige af den enkelte gade selvom dette teoretisk i højere grad ville afspejle luftforureningens eksternalitetsomkostninger ved kørsel i byer.

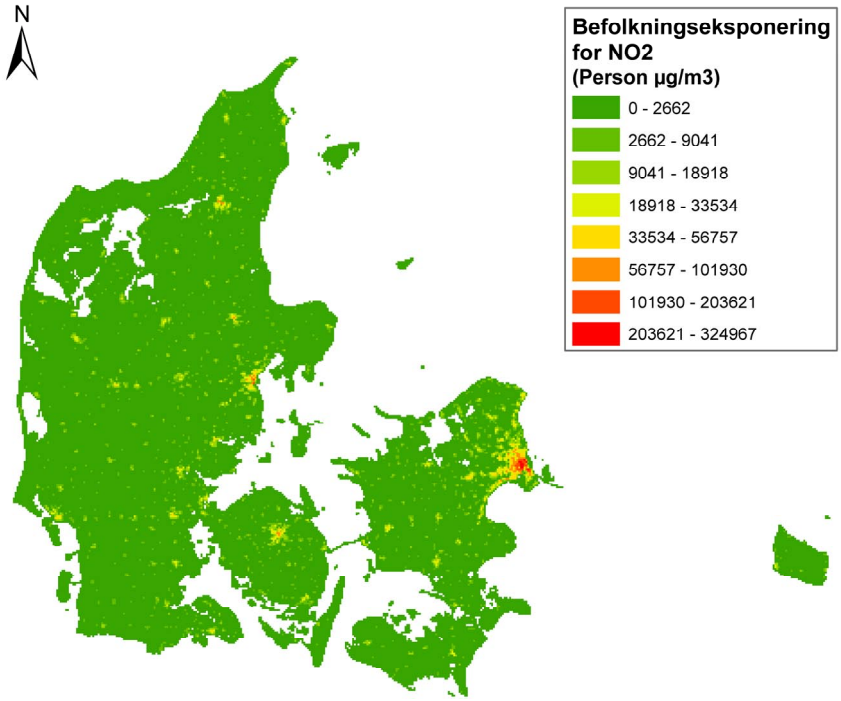


Figur 4.10. Årsmiddel for NO_2 i 2008 for 138 gader i København. Gadekoncentrationerne er beregnet med Operational Street Pollution Model (OSPM) modellen. Bybaggrund (mørkerøde farve) er beregnet med Urban Background Model (UBM) med input fra en regional model (DEHM). Beregninger er gennemført for begge sider af en gade og den højeste værdi er anvendt. Gaderne er sorteret efter koncentrationsniveauer.

4.2.6 Befolkningsdata og befolkningseksponering

Befolkningsdata på 1x1 km² er baseret på Det Centrale Personregister (CPR) og adresseregisteret. Alle personer med bopæl på en given adresse er først summeret, hvorefter alle adresser med tilhørende personer er opsummeret inden for hver 1x1 km² gittercelle. Datasættet indeholder 5.470.749 personer og CPR data stammer fra november 2008.

Befolkningseksponering fremkommer ved at gange bybaggrundskoncentrationer med befolkningsdata på 1x1 km² (Figur 4.11).



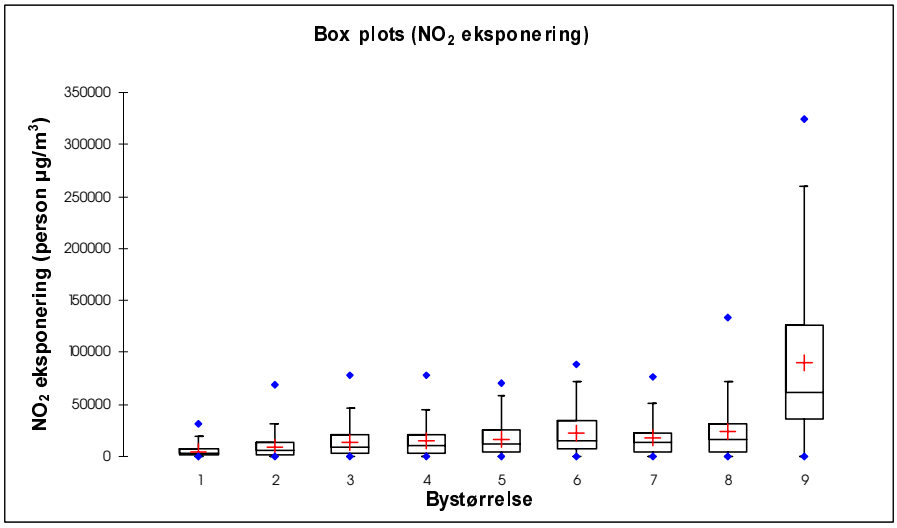
Figur 4.11. Befolkningseksponering for NO_2 i 2008 på 1x1 km^2 baseret på bybaggrundskoncentrationer efter SUB-metoden samt befolkningsdata fra CPR.

Der ses, at befolkningseksponeringen yderligere forstærker gradienten mellem laveste og højeste værdier, og yderligere markerer byerne samtidig med at man stort set ikke kan se det overordnede vejnet, da der ikke bor mange mennesker tæt op af dette.

Befolkningseksponering er en indirekte indikator for sundhedsbelastningen.

I Figur 4.12 er vist sammenhængen mellem befolkningseksponeringen for NO_2 og bystørrelser. Det ses, at København ligger markant højere end resten af byerne, som er en kombination af høj befolkningstæthed og højere NO_2 koncentrationer i København i forhold til de øvrige byer.

Der er en generel stigende tendens i befolkningseksponeringen med stigende bystørrelse, men der er også en stor mellemgruppe af byer fra 30.000-500.000, som er relativ ens.



Figur 4.12. Befolkningseksponering for NO_2 bybaggrund (person µg/m^3) afhængig af bystørrelse (klasse 1-9), se tabel 3.2. Box-whisker plottet viser minimum (blå prik) og maksimum (blå prik), boksen viser den nedre kvartil (25-percentil), median (samt gennemsnit som kryds) samt øvre kvartil (75-percentil), med streger er endvidere vist 1,5 gange forskellen mellem nedre og øvre kvartil lagt til øvre kvartal og fratrukket nedre kvartal (data uden for dette område betragtes som outliers).

5 Geografiske forskelle i de eksterne omkostninger ved luftforurening

5.1 Indledning

De eksterne omkostninger i transport sektoren består af følgende komponenter (Trafikministeriet, 2004):

- slid på infrastrukturen
- trængsel
- støj
- ulykker
- luftforurening
- klimapåvirkning

I forbindelse med en omlægning af registreringsafgiften bliver det aktuelt at vurdere, om der kan skabes en bedre sammenhæng mellem de eksterne omkostninger og de afgifter som i dag pålægges transportsektoren ud fra fiskale formål (behovet for finansiering af offentlige udgifter gennem skatter og afgifter).

Det nuværende afgiftssystem virker forvridende på forbrugernes beslutninger om valg af transportmidler, da eksempelvis personbiler er pålagt en meget høj beskatning i forhold til andre køretøjer. Såfremt afgifternes indretning svarede til de forårsagede eksterne omkostninger ville der ikke være tale om forvridning, men blot om at forbrugerne afholdt de afledte samfundsøkonomiske omkostninger af transporten.

DMU har tidligere vurderet de samlede eksterne omkostninger i transportsektoren til at udgøre i størrelsesordenen 33 mia. kr. i år 2000 (Birr-Pedersen et. al., 2002), hvilket svarede meget godt til den samlede afgiftsbelastning. Dette svarer til omkring 0,75 kr. per kørt km. Der synes derfor at være et potentiale for at opnå en bedre harmoni mellem afgiftsbelastningen og de eksterne omkostninger uden at sætte det fiskale formål over styr.

Tabel 5.1 illustrerer en mulig sammenhæng mellem udformningen af afgifterne og de respektive eksterne omkostninger. Der er her taget udgangspunkt i, at der er en så tæt sammenhæng mellem effekten og beskatningsgrundlaget som muligt.

Tabel 5.1. Eksterne effekter af kørsel og potentielt beskatningsgrundlag for internalisering.

Beskatningsgrundlag	Effekt
Registreringsafgift	Tilvejebringelse af infrastruktur
Afgift på drivmidler	Slid på infrastruktur, klima
Road pricing	Trængsel, luftforurening
Grøn ejerafgift	Støj, klima
Forsikrings-afgift (ny)	Ulykker

På grund af reglerne for EU's indre marked er den høje danske registreringsafgift på personbiler under pres. Regeringen har tilkendegivet at registreringsafgiften på længere sigt skal nedsættes og at provenutabet skal kompenseres gennem først og fremmest road pricing. Road pricing er en mulighed for at integrere effekten ved luftforureningen mere direkte i beskatningen af transportsektoren.

De eksterne omkostninger ved luftforurening har ikke tidligere været taget stærkt i betragtning ved udformningen af afgifterne i transportsektoren. Eksisterende overslag peger på, at de udgør en forholdsvis begrænset del af de samlede eksterne omkostninger, men et ministerielt udvalgsarbejde har konstateret at beregningsgrundlaget er delvis mangelfuldt. I denne rapport præsenteres nye beregninger på et mere retvisende atmosfærisk grundlag. Beregningsgrundlaget for trafikkens eksterne omkostninger er tilvejebragt gennem forskningen i CEEH, Center for, Energy, Environment and Health (www.ceeh.dk). I forbindelse med denne rapport er der sket en fordeling på geografi og køretøjer.

5.2 Eksterne omkostninger ved luftforurening

De sundhedsmæssige effekter af luftforureningen har igennem mange år været genstand for forskningsmæssig interesse. Der er publiceret adskillige undersøgelser i den miljømedicinske litteratur som viser, at menneskers helbred påvirkes negativt ved stigende luftforurening.

På grundlag af sådanne undersøgelser har det fælleseuropæiske ExternE-projekt udviklet en metode til at opgøre de samfundsøkonomiske omkostninger ved luftforureningen. I opgørelserne indgår både omkostninger ved sygelighed og ved tab af leveår. Luftforureningen kan variere ganske meget på grund af langtransport og kemisk omdannelse. Eksponeringen af mennesker afhænger kritisk af kildernes placering, udslipshøjde og spredningsveje m.v. Den i ExternE udviklede *impact pathway* metode er imidlertid steds-specific og bygger direkte på atmosfæriske modelleringer der kan gøre rede for, hvordan de eksterne omkostninger varierer med en kildes geografiske placering. Dermed er det muligt at give en forholdsvis præcis vurdering af de eksterne omkostninger, afhængigt af, *hvor* udledningen sker i forhold til eksponeringen af mennesker.

DMU har tidligere gennemgået og vurderet en række af de bagvedliggende undersøgelser, hvilket er sket i samarbejde med sagkyndige i folkesundhedsvidenskab og sundhedsøkonomi (Palmgren et. al., 2005; Nielsen, 2008).

5.3 EVA: et modelsystem til vurdering af eksterne omkostninger ved luftforurening

DMU har endvidere på grundlag af metoden i ExternE udviklet sit eget modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution), der med udgangspunkt i danske værdisætninger af helbredseffekterne kan beregne de eksterne omkostninger for de enkelte emissioner og afhængigt af de geografiske koordinater for udledningen. Modelsystemet er beskrevet i en dansk artikel af Frohn et al. (2008) og på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/Samfund/Miljoeoekonomi/EVA/. Metoden bag EVA er blevet gransket i et udvalgsarbejde mellem Transportministeriet, Energistyrelsen og Miljøstyrelsen, og de udviklede priser for punktkilder er løbende blevet anvendt som grundlag for samfundsøkonomiske analyser.

5.3.1 Vurdering af transportsektoren i EVA

Modelsystemet EVA er oprindeligt udviklet med udgangspunkt i stationære kilder, men i regi af Center for Energi, Miljø og Sundhed (CEEH) er andre sektorer blevet implementeret i EVA, herunder transportsektoren.

I tabel 5.2 er transportsektorens eksterne omkostninger fordelt på forskellige kategorier af køretøjer. Det er sket ved at linke informationer fra de følgende databaser og modeller.

DMU's COPERT emissionsdatabase rummer oplysninger om emissionsfaktorer for kørsel, der tager højde for, at der er forskellige kørselsmønstre for bymæssig kørsel og kørsel på henholdsvis landevej og motorvej. Databasen opgør både emissioner fra kørsel og ikke-udstødnings relaterede partikelemissioner. Ud fra data i COPERT har DMU's emissionsgruppe opgjort de anslåede emissioner i gram per kørt kilometer.

Tabel 5.2. Eksterne omkostninger (DKK/km) ved luftforurening per kørt kilometer (2006-priser).

	LAND TU7	BY TU4 (> 10.000)[1]	BY TU1 (KBH)
Personbil			
- benzin	0,04	0,06	0,09
- diesel	0,04	0,10	0,25
Bus (diesel)	0,52	0,80	1,31
Varebil (benzin)	0,08	0,10	0,14
Varebil (diesel)	0,08	0,17	0,41
Lastbil (diesel)	0,43	0,61	1,09
Vægtet gennemsnit	0,08	0,12	0,22

[1] Beregningen for TU4 er foretaget under antagelse om en befolkningstæthed på 800 indb./km2 i den samlede lokalskala (16,6 km x 16,6 km).

Tabel 5.3. Motorvej: Eksterne omkostninger (DKK/km) ved luftforurening per kørt kilometer (2006-priser)

	LAND TU7 MOTORVEJ	BY TU4 MOTORVEJ	BY TU1 (KBH) MOTORVEJ
Personbil			
- benzin	0,06	0,06	0,08
- diesel	0,06	0,07	0,17
Bus (diesel)	0,44	0,48	0,77
Varebil (benzin)	0,08	0,09	0,12
Varebil (diesel)	0,09	0,11	0,28
Lastbil (diesel)	0,38	0,43	0,73
Vægtet gn.snit	0,09	0,10	0,16

Med UBM modellen er foretaget en detaljeret modellering af transportens emissioner på et 1x1 km gitternet for hovedstadsområdet (Jensen et. al., 2004; 2008; Palmgren et al. 2005), hvilket giver mulighed for at opgøre den specifikke sammenhæng mellem ændringer i luftkvaliteten og emissionen af primære partikler ($PM_{2.5}$).

Selve EVA-modellen består af et lokalt og regionalt atmosfærisk modul. Den regionale modellering er baseret på den Eulerske langtransportmodel DEHM. Den lokale spredningsmodel i EVA er til brug for punktkilder baseret på OML modellen. I denne analyse af transportens eksterne omkostninger er for den lokale spredning i stedet anvendt modelberegningerne fra UBM modellen omtalt ovenfor.

Tabel 5.2 og 5.3 viser hovedresultaterne for de gennemsnitlige eksterne omkostninger per kørt kilometer for forskellige kategorier af køretøjer. Priserne er illustrative, idet beregningsgrundlaget fortsat udvikles.

5.3.2 Det beregningsmæssige grundlag

For antagelserne i EVA-modellen om sammenhængen mellem eksponering og de sundhedsmæssige effekter er anvendt de samme dosis-respons funktioner som tidligere, mens beregningspriserne for sundhedseffekterne er opdateret til 2006-priser (se Andersen et. al. 2004; Andersen et. al. 2008).

Tabel 5.4. Eksterne omkostninger ved vejtrafikkens luftforurening i Danmark modelleret på EVA (Kilde: DMU og CEEH, Brandt et al. 2009).

Eksterne omkostninger	SO_2 (1000 DKK)	NO_x (1000 DKK)	$PM_{2.5}$ (1000 DKK)
Tabte leveår	50.973	4.150.395	359.090
Indlæggelser	193	12.202	1.174
Astmatikere	1.427	117.673	10.367
KOL	3.078	251.885	22.372
Sygedage m.v.	7.785	637.050	56.575
Lungekræft term.	188	15.407	1.532
Akut død (O_3 ,SO_2 m.v.)	31.849	-186.250	5.018
Sum	95.492	4.998.361	456.128
Emissioner (tons)	400	74.520	2.120
Beregningspris (DKK/kg)	239	67	215

Ved den regionale atmosfæriske modellering af vejtrafikken i Danmark med EVA under CEEH er beregnet samlede eksterne omkostninger som vist i tabel 5.4. Ved modelleringen er foretaget 'tagging' med henblik på at undgå numerisk støj ved beregning af delta-koncentrationerne dvs. koncentrationsforskelle mellem to forskellige emissionssituationer (jf. forklaringen i Andersen et. al., 2008).

Eksponeringen fra vejtrafikken er større i byerne end på landet som følge af forskellen i befolkningstæthed. Transportministeriets enhedspriser differentierer traditionelt luftforureningsomkostninger mellem by og land. Under de aktuelle forhold med minimal SO_2-emission fra vejtrafikken er det imidlertid især emissionen af primære partikler som giver større eksponering i byerne. NO_x har lokale effekter, men omdannes også i atmosfæren til nitratforbindelser, ligesom SO_2 omdannes til sulfatforbindelser. Da dette tager tid sker eksponeringen ikke umiddelbart ved kilden.

I forbindelse med beregning af eksternalitetsomkostninger for vejtrafikken under CEEH er de landsgennemsnitlige omkostninger beregnet med en geografisk opløsning på 16,6 km x 16,6 km. For at komme frem til et estimat for de eksterne omkostninger der passer specifikt til befolkningstætheden i København, så skal der lægges et tillæg ind for den personeksponering, der svarer til forskellen på befolkningstætheden i København og befolkningstætheden i Danmark. Dette er gjort på følgende måde ud fra tidligere beregninger i forbindelse med vurdering af betydningen af miljøzoner for luftkvaliteten.

Koncentrationsbidraget fra et ton $PM_{2.5}$ til luftkvaliteten i bybaggrund er opgjort på grundlag af UBM-modelleringen i (Palmgren et al., 2005:52). I et lokalskala gitterfelt på 16,6 km x 16,6 km omkring Københavns centrum udgør koncentrationsbidraget i gennemsnit 2,004E-3 µg/m^3 per ton $PM_{2.5}$. Emissionsreduktionen er beregnet ud fra emissionsfaktorerne for trafikken for $PM_{2.5}$ udstødning i *Palmgren et al.* (2005) og trafikarbejdet i København (s. 21 i Thomsen, 2004), og der er antaget en partikelfiltereffektivitet på 80%. Reduktionen i $PM_{2.5}$ emissionen på 41,5 ton er fordelt på gennemsnittet for den opnåede luftkvalitetsforbedring for $PM_{2.5}$ på 0,083068 µg/m^3.

Ud fra koncentrationsbidraget beregnes de eksterne omkostninger på grundlag af impact pathway metoden i EVA-systemet for København per person. Det lokale tillæg er forskellen mellem befolkningstætheden i Danmark på 128/km^2 og i København på 6325/km^2.

Da lokalskalabidraget i et 16,6 x 16,6 km felt for $PM_{2.5}$ med landsgennemsnittets befolkningstæthed på 128 indb./ km^2 kan opgøres til 25 kr. per kg $PM_{2.5}$ kan den i EVA modellerede eksterne omkostning på 215 kr. per kg. $PM_{2.5}$ opdeles i henholdsvis et lokalskalabidrag på 25 kr. per kg $PM_{2.5}$ og et regionalskalabidrag på 190 kr. per kg $PM_{2.5.}$ Lokalskalabidraget for den eksterne omkostning kan herefter korrigeres for forskellen mellem befolkningstætheden i de forskellige byklasser og landsgennemsnittet. København bliver lokalbidraget således på 1260 kr. plus det regionale bidrag på 190 kr. i alt 1450 kr./kg $PM_{2.5}$ emission.

Ud fra ovenstående er lokalbidraget opgjort for forskellige bystørrelser afhængig af befolkningstætheden (se tabel 4.5). Det er rimeligt at antage en lineær sammenhæng mellem lokalbidraget og befolkningstætheden for primære partikler, $PM_{2.5}$. Et tillæg for SO_2 i byområder er ligeledes opgjort og medregnet. Beregningen følger samme principper som for $PM_{2.5,}$ men vises ikke her, da tillægget trods sin størrelse (eksempelvis 462 kr./kgSO_2 i København) er næsten uden betydning pga. de meget lave SO_2 emissioner fra køretøjerne.

5.3.3 Eksterne omkostninger afhængig af bystørrelse

Det ses af tabel 4.5 at lokalskalabidraget til de eksterne omkostninger er stort i København (TU1), men at regionalskalabidraget dominerer uden for byerne og i Danmark som helhed.

Tabel 5.5. Fordelingen mellem lokal- og regionalskala bidraget til de eksterne omkostninger for $PM_{2.5}$ (DKK/kg)

	LOKAL SKALA	REGIONAL SKALA	SUM
Danmark (128 pers/km^2)	25	190	215
Byklasse 1 (TU5, TU6)	297	190	487
Byklasse 2 (TU4)	476	190	666
Byklasse 3 (TU4)	479	190	669
Byklasse 4 (TU4)	507	190	697
Byklasse 5 (TU4)	572	190	762
Byklasse 6 (TU4)	556	190	746
Byklasse 7 (TU3)	523	190	713
Byklasse 8 (TU3)	696	190	886
Byklasse 9 (TU1)	1260	190	1450
Land (TU7) (18 pers/km^2)	3	190	193

5.3.4 Eksterne omkostninger afhængig af køretøjskategori

Køretøjerne, som er beskrevet i DMU COPERT, er baseret på DMU's emissionsdatabase. Køretøjskategorierne repræsenterer et vægtet gennemsnit af den danske bilpark. Kategorien lastbiler omfatter tunge køretøjer med en tilladt totalvægt over 3,5 ton. Kategorien varebil omfatter lettere erhvervskøretøjer under 3,5 ton (varevogne m.v.). Specielt for personbilerne må det bemærkes, at de beregnede eksterne omkostninger

er opgjort for bilparken ud fra en blanding af ældre biler og nyere biler, som lever op til forskellige generationer af euronormer. Partikelemissionerne omfatter udstødning men også ikke-udstødning, som omfatter bremseslid, dækslid og vejslid, men ikke ophvirvling af støv.

Nedenstående tabeller giver et mere detaljeret indblik i, hvordan luftforureningsomkostningerne fordeler sig på emissionerne.

Bemærk at $PM_{2.5}$ emission udgør det største bidrag til eksternalitetsomkostningerne per km i København-Frederiksberg (TU1) pga. høj befolkningstæthed efterfulgt at NO_x emission, mens SO_2 emission spiller en meget lille rolle pga. meget lille emission fra trafikken. For mindre byer (TU4) og på landet (TU7) er eksternalitetsomkostningerne per km for NO_x større end for $PM_{2.5}$. Bidragene for NO_x og SO_2 emission skyldes primært deres omdannelse til sundhedsskadelige sekundære partikler i atmosfæren.

Motorveje har lidt anderledes eksternalitetsomkostningerne per km, idet hastigheden har betydning for bestemmelse af emissionsfaktorerne.

Benzin personbiler har større eksternalitetsomkostningerne per km for NO_x end diesel personbiler. Dette skyldes, at benzinbilerne har større NO_x emissionsfaktorer end dieselbilerne i 2004, hvor emissionsdata stammer fra. Dette er imidlertid et forhold som ændrer sig over tid, idet NO_x emissionen for en gennemsnitlig personbil i fx 2010 vil være større for en dieselbil i forhold til en benzinbil.

Det vil være muligt at forbedre estimaterne af eksternalitetsomkostningerne per km, såfremt der blev gennemført samtidige regionale og lokalskala beregninger med EVA-systemet for de forskellige bystørrelser.

Tabel 5.6. Eksterne omkostninger (DKK/km) ved vejtrafikkens luftforurening i TU1 (København-Frederiksberg).

TU1[2]	$PM_{2.5}$	NO_x	SO_2	SUM
Personbil				
- benzin	0,03	0,05	0,01	0,09
- diesel	0,20	0,05	-	0,25
Bus (diesel)	0,66	0,63	0,02	1,31
Varebil (benzin)	0,05	0,08	0,01	0,14
Varebil (diesel)	0,32	0,09	0,01	0,41
Lastbil (diesel)	0,62	0,45	0,02	1,09

Tabel 5.7. Eksterne omkostninger (DKK/km) ved motorvejtrafikkens luftforurening i TU1 (København-Frederiksberg).

MOTORVEJ TU1	$PM_{2.5}$	NO_x	SO_2	SUM
Personbil				
- benzin	0,02	0,06	-	0,08
- diesel	0,13	0,04	-	0,17
Bus (diesel)	0,37	0,39	0,01	0,77
Varebil[5] (benzin)	0,03	0,08	-	0,12
Varebil (diesel)	0,22	0,06	-	0,28
Lastbil[6] diesel	0,38	0,33	0,02	0,73

Tabel 5.8. Eksterne omkostninger (DKK/km) ved vejtrafikkens luftforurening i TU4 (By med 10.000 indbyggere).

TU4[3]	$PM_{2.5}$	NO_x	SO_2	SUM
Personbil				
- benzin	0,01	0,05	-	0,06
- diesel	0,05	0,05	-	0,10
Bus (diesel)	0,16	0,63	0,01	0,80
Varebil (benzin)	0,01	0,08	-	0,10
Varebil (diesel)	0,08	0,09	-	0,17
Lastbil (diesel)	0,15	0,45	0,01	0,61

Tabel 5.9. Eksterne omkostninger (DKK/km) ved motorvejtrafikkens luftforurening i TU4 (By med 10.000 indbyggere).

MOTORVEJ TU4	$PM_{2.5}$	NO_x	SO_2	SUM
Personbil				
- benzin	-	0,06	-	0,06
- diesel	0,03	0,04	-	0,07
Bus (diesel)	0,09	0,39	0,01	0,48
Varebil (benzin)	0,01	0,08	-	0,09
Varebil (diesel)	0,05	0,06	-	0,11
Lastbil (diesel)	0,09	0,33	0,01	0,43

Tabel 5.10. Eksterne omkostninger (DKK/km) ved vejtrafikkens luftforurening i TU7 (landområder udenfor bymæssig bebyggelse).

TU7[4]	$PM_{2.5}$	NO_x	SO_2	SUM
Personbil				
- benzin	-	0,04	-	0,04
- diesel	0,01	0,03	-	0,04
Bus (diesel)	0,06	0,46	0,01	0,52
Varebil (benzin)	0,01	0,07	-	0,08
Varebil (diesel)	0,03	0,06	-	0,08
Lastbil (diesel)	0,06	0,37	0,01	0,43

Tabel 5.11. Eksterne omkostninger (DKK/km) ved motorvej-trafikkens luftforurening i TU7 (landområder udenfor bymæssig bebyggelse).

MOTORVEJ TU7	$PM_{2.5}$	NO_x	SO_2	SUM
Personbil				
- benzin	-	0,06	-	0,06
- diesel	0,02	0,04	-	0,06
Bus (diesel)	0,05	0,39	-	0,44
Varebil (benzin)	-	0,08	-	0,08
Varebil (diesel)	0,03	0,06	-	0,09
Lastbil (diesel)	0,05	0,33	0,01	0,38

[2] TU1 er Københavns kommune.
[3] TU4 er byer 10.000-100.000 indbyggere.
[4] TU7 er landområder udenfor bymæssig bebyggelse.

[5] Varevogne under 3,5 tons tilladt totalvægt
[6] Lastbil er tunge køretøjer over 3,5 tons tilladt totalvægt.

5.3.5 Sammenligning af eksterne omkostninger mellem Transportministeriet og DMU

Som nævnt har Transportministeriet beregnet de marginale eksterne omkostninger for luftforurening per kilometer til brug for samfundsøkonomiske analyser. Tabel 4.12 sammenstiller de af DMU beregnede kilometer-værdier med Transportministeriets. Der er tidligere blevet gennemført et opklaringsarbejde omkring forskellene mellem DMU's og Transportministeriets beregninger. De vigtigste forskelle er 1) Transportministeriet har nedskaleret sundhedseffekten af NO_x; 2) Transportministeriet har diskonteret værdien af fremtidige leveår; 3) Sidst, men ikke mindst, er selve det atmosfæriske modelleringsgrundlag ikke det samme.

Tabel 5.12. Sammenligning med Transportministeriets (TRM) luftforureningsomkostninger (2000-priser) og de af DMU beregnede (2006-priser). DKK/km.

	DMU LAND TU7	TRM LAND TU7	DMU BY TU1	TRM BY TU1
Personbil				
- benzin	0,04	0,01	0,09	0,02
- diesel	0,04	0,02	0,25	0,08
Bus (diesel)	0,52	0,19	1,31	0,99
Varebil (benzin)	0,08	0,02	0,14	0,03
Varebil (diesel)	0,08	0,05	0,41	0,19
Lastbil (diesel)	0,43	0,17	1,09	0,48

Referencer

Andersen, M.S., Frohn, L.M., Jensen, S.S., Nielsen, J.S., Sørensen, P.B., Hertel, O., Brandt, J., Christensen, J. (2004): Sundhedseffekter af luftforurening - beregningspriser. DMU arbejdsrapport Nr. 507, 2004, 88 s. http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_Publikationer/3_Fagrapporter/rapporter/FR507.pdf

Andersen, M.S., Frohn, L.M., Nielsen, J.S., Nielsen, M., Jensen, S.S., Christensen, J.H., Brandt, J. (2008): "A Non-linear Eulerian Approach for Assessment of Health-cost Externalities of Air Pollution", fremlagt ved *European Association of Environmental and Resource Economists 16th Annual Conference*, Gothenburg, 25.6.2008 - 28.6.2008. http://www.dmu.dk/Samfund/Miljoeoekonomi/EVA/

Berkowicz, B., Ketzel, M., Jensen, S.S., Hvidberg, M. Raaschou-Nielsen, O. (2008): Evaluation And Application of OSPM for Traffic Pollution Assessment for Large Number of Street Locations. Environmental Modelling & Software 23 (2008) 296-303.

Birr-Pedersen, K., (2002): Prissætning af transportens eksterne effekter, Miljøprojekt nr. 734, København: Miljøstyrelsen.

Brandt, J., L. M. Frohn, J. H. Christensen, M. S. Andersen, O. Hertel, C. Geels, A. Buus Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, and C. A. Skjøth Assessment of health-cost externalities of air pollution at the national level using the EVA model system. Poster presented at EGU General Assembly, Vienna, Østrig, 20. april 2009 - 24. april 2009.

Frohn, L.M., Andersen, M.S., Geels, C., Brandt, J., Christensen, J.H., Hansen, K.M., Hertel, O., Nielsen, J.S., Skjøth, C.A., Hedegaard, G.B., Madsen, P.V., Moseholm, L. (2008), "EVA - Et modelsystem til estimering af eksterne omkostninger relateret til luftforurening", *Miljø og Sundhed*, vol. 14 nr. 1, s. 7-13.

Herslund, Mai-Britt; Ildensborg-Hansen, J.; Jørgensen, Lars; Kildebogaard, Jan (2001): FORTRIN-rapport : Et variabelt kørselsafgiftssystem - hovedrapport. - Technical University of Denmark : Centre for Traffic and Transport (CTT), 2001.

IMV og DTU (2006): Kørselsafgifter i København - De trafikale effekter.

Jensen, S.S. (1998): Background Concentrations for Use in the Operational Street Pollution Model (OSPM), NERI Technical Report No. 234. 1998. 107 p.

Jensen, S.S., Berkowicz, B., Brandt, J., Willumsen, E., Kristensen, N.B. (2004): ExternE transport methodology for external cost evaluation of air pollution. Estimation of Danish exposure factors. NERI Technical Report No. 523. 43 p. http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_Publikationer/3_Fagrapporter/rapporter/FR523.pdf

Jensen, S.S., Willumsen, E., Brandt, J., Buus, N. (2008): Evaluation of Exposure Factors Applied in Estimation of Marginal External Costs of Transportation related Air Pollution. Transportation Research Part D 13 (2008) 255–273.

Jensen, S.S., Hvidberg, M., Petersen, J., Storm, L., Stausgaard, L., Hertel, O. (2009): GIS-baseret national vej- og trafikdatabase 1960-2005. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, Roskilde. 73 s. Faglig rapport nr. 678, 2009. http://www2.dmu.dk/Pub/FR678.pdf

Jespersen, P.H. (2007): Omlægning af bilafgifter. Samfundsøkonomen, Vol. 2, 2007.

Jespersen, P.H. (2008): Grøn bilbeskatning. Trafikdage på Aalborg Universitet 2008. www.trafikdage.dk

Jørgensen, L. (2001): Modelling the effects of a distance-dependent road pricing scheme. Trafikdage på Aalborg Universitet 2001.

Kemp, K., Ellermann, T., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, 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

Krawack, S. (2001): Fire Scenarier for trafik i Hovedstaden. Trafikdage på Aalborg universitet 2001. www.trafikdage.dk

Kristensen, J.P. (2003): Kørselsafgifter i byer. Status og erfaringer i Europa. Trafikdage på Aalborg Universitet 2003. www.trafikdage.dk

Kristensen, Jens Peder (2006): Teknologi til opkrævning af kørselsafgifter i København. Trafikdage på Aalborg Universitet 2006. www.trafikdage.dk

Københavns Kommune et al. (2004) Projekt trængsel.

Københavns Kommune (2005): Virkemidler til overholdelse af NO_2 grænseværdier for luftkvalitet i København. Udført af DMU og TetraPlan.

Larsen, T., Lindholm, R., Lahrmann, H. (2004): Statusrapport for ITS. Udarbejdet af Aalborg Universitet og ERTICO. Januar 2004.

Mertner, J. (2002): Potentialet for landsdækkende road-pricing for lastbiler. Trafikdage på Aalborg Universitet 2002. www.trafikdage.dk

Miljøstyrelsen (2007): Ændring af bilafgifter. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 3, 2007.

Miljøstyrelsen (2009): NO_2 virkemiddelkatalog - virkemidler til begrænsning af overskridelser af NO_2 grænseværdien for luftkvalitet i større danske byer. Miljøprojekt nr. 1268.

Nielsen, J. (2000): Bilismen kan styres - men vil vi? Scenarier for biltrafikken. Trafikdage på Aalborg Universitet 2001. www.trafikdage.dk

Nielsen, M.K. (2000): Kørselsafgifter -et studie af befolkningen forståelse, accept og holdning. Trafikdage på Aalborg Universitet 2000. www.trafikdage.dk

Nielsen, A.O. (2006): Kørselsafgifter i København - systemdesign, anvendelse af provenu og fremtiden for vejafgifter. Trafikdage på Aalborg Universitet 2006. www.trafikdage.dk

Nielsen, J.S. (2008): Valuing gains in life expectancy: Theoretical and empirical issues, National Environmental Research Institute, Aarhus University. Ph.d. afhandling antaget ved SDU, Sundhedsøkonomi.

Nielsen, O.A. and Jovicic, G. (2002): En sp-analyse af bilisters tidsværdier, oplevet trængsel og roadpricing - et empirisk studie af bilisters tidsværdier, trængsel og roadpricing. Trafikdage på Aalborg Universitet 2002. www.trafikdage.dk

Nielsen, O.A. and Sørensen, M.V (2008): The AKTA Road Pricing Experiment in Copenhagen *in* Jensen-Butler, Chris; Madsen, Bjarne; Nielsen, Otto Anker & Sloth, Birgitte (editors). Roadpricing, the economy and the environment. Springer 2008.

Nielsen, U., Nielsen, O.A., Rich, J. (2006): Kørselsafgifter i København – samfundsøkonomisk metode og resultater. Trafikdage på Aalborg Universitet 2006. www.trafikdage.dk

Palmgren, F., Glasius, M., Wåhlin, P., Ketzel, M., Berkowicz, R., Solvang Jensen, S., Winther, M., Illerup, JB, Andersen, MS, Hertel, O., Vinzents, P., Møller, P, Sørensen, M, Knudsen, LE, Schibye, B, Andersen, ZJ, Hermansen, M, Scheike, T, Stage, M, Bisgaard, H, Loft, S, Jensen, KA, Kofoed-Sørensen, V, Clausen PA, (2005): Luftforurening med partikler i Danmark, Miljøprojekt nr. 1021, København: Miljøstyrelsen.

Regeringen (2008): Bæredygtig transport - bedre infrastruktur.

Rich, J., Nielsen, O.A., Nielsen, U. (2006): Kørselsafgifter i København - trafikmodelberegninger og trafikale effekter. Trafikdage på Aalborg Universitet 2006. www.trafikdage.dk

Sørensen, S.B. and Lahrmann, H. (2007): Test af et satellitbaseret kørselsafgiftssystem. Trafikdage på Aalborg Universitet 2007. www.trafikdage.dk

Thomsen, B.B., (2004): Vurdering af luftkvalitet og sundhedseffekter i forbindelse med en miljøzoneordning i København, København: Miljøkontrollen.

Trafikministeriet (2000). Roadpricing eller variable kørselsafgifter, med hovedstadsområdet som case. Teknisk rapport, Department of Transport, Copenhagen.

Trafikministeriet (2004): Nøgletalskatalog – til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet. December 2004.

Transportministeriet (2004): External costs of transport, København: COWI.

Transportministeriet (2008), Transportøkonomiske enhedspriser til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet, København: DTU Transport.
http://www.dtu.dk/upload/institutter/dtu%20transport/modelcenter/transportoekonmiske%20enhedspriser/transportoekonomiske%20enhedspriser%20vers%201%202%20aug09.xls

Transportrådet (2001): Kørselsafgifter.

Transportrådet (1997): Betalingssystemer på veje – trafik og teknologi.

TRIP (2004): Slutrapport. November 2004.

DMU Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser
er en del af
Aarhus Universitet.

DMU's opgaver omfatter forskning,
overvågning og faglig rådgivning
inden for natur og miljø.

På DMU's hjemmeside www.dmu.dk
finder du beskrivelser af DMU's aktuelle
forsknings- og udviklingsprojekter.

Her kan du også finde en database over alle publikationer
som DMU's medarbejdere har publiceret, dvs. videnskabelige artikler,
rapporter, konferencebidrag og populærfaglige artikler.

Yderligere information: www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 4630 1200
Fax: 4630 1114

Administration
Afdeling for Arktisk Miljø
Afdeling for Atmosfærisk Miljø
Afdeling for Marin Økologi
Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afdeling for Systemanalyse

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejlsøvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 8920 1400
Fax: 8920 1414

Afdeling for Ferskvandsøkologi
Afdeling for Terrestrisk Økologi

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 14, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 8920 1700
Fax: 8920 1514

Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

Faglige rapporter fra DMU

På DMU's hjemmeside, www.dmu.dk/Udgivelser/, finder du alle faglige rapporter fra DMU sammen med andre DMU-publikationer. Alle nyere rapporter kan gratis downloades i elektronisk format (pdf).

Nr./No. **2010**

774 Kvælstofbelastningen ved udvalgte terrestriske habitatområder i Sønderborg kommune.
Af Frohn, L. M., Skjøth, C. A., Becker, T., Geels, C. & Hertel, O. 30 s.

769 Biological baseline study in the Ramsar site "Heden" and the entire Jameson Land, East Greenland.
By Glahder, C.M., Boertmann, D., Madsen, J., Tamstorf, M., Johansen, K., Hansen, J., Walsh, A., Jaspers, C. & Bjerrum, M. 86 pp.

768 Danish Emission Inventory for Solvent Use in Industries and Households.
By Fauser, P. 47 pp.

767 Vandmiljø og Natur 2008. NOVANA. Tilstand og udvikling.
Af Nordemann Jensen, P., Boutrup, S., Bijl, L. van der, Svendsen, L.M., Grant, R., Wiberg-Larsen, P., Jørgensen, T.B., Ellermann, T., Hjorth, M., Josefson, A.B., Bruus, M., Søgaard, B., Thorling, L. & Dahlgren. K. 106 s.

766 Arter 2008. NOVANA.
Af Søgaard, B., Pihl, S., Wind, P., Laursen, K., Clausen, P., Andersen, P.N., Bregnballe, T., Petersen, I.K. & Teilmann, J. 118 s.

765 Terrestriske Naturtyper 2008. NOVANA.
Af Bruus, M., Nielsen, K. E., Damgaard, C., Nygaard, B., Fredshavn, J. R. & Ejrnæs, R. 80 s.

764 Vandløb 2008. NOVANA.
Af Wiberg-Larsen, P. (red.) 66 s.

763 Søer 2008. NOVANA.
Af Jørgensen, T.B., Bjerring, R., Landkildehus, F., Søndergaard, M., Sortkjær, L. & Clausen, J. 46 s.

762 Landovervågningsoplande 2008. NOVANA.
Af Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Pedersen, L.E., Jensen, P.G., Hansen, B. & Thorling, L. 128 s.

761 Atmosfærisk deposition 2008. NOVANA.
Af Ellermann, T., Andersen, H.V., Bossi, R., Christensen, J., Kemp, K., Løfstrøm, P. & Monies, C. 74 s.

760 Marine områder 2008. NOVANA. Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten.
Af Hjorth, M. & Josefson, A.B. (red.) 136 s.

2009

759 Control of Pesticides 2008. Chemical Substances and Chemical Preparations.
By Krongaard, T. 25 pp.

758 Oplandsmodellering af vand og kvælstof i umættet zone for oplandet til Højvads Rende.
Af Grant, R., Mejlhede, P. & Blicher-Mathiesen, G. 74 s.

757 Ecology of Læsø Trindel – A reef impacted by extraction of boulders.
By Dahl, K., Stenberg, C., Lundsteen, S., Støttrup, J., Dolmer, P., & Tendal, O.S. 48 pp.

755 Historisk udbredelse af ålegræs i danske kystområder.
Af Krause-Jensen, D. & Rasmussen, M.B. 38 s.

754 Indicators for Danish Greenhouse Gas Emissions from 1990 to 2007.
By Lyck, E., Nielsen, M., Nielsen, O.-K., Winther, M., Hoffmann, L. & Thomsen, M. 94 pp.

753 Environmental monitoring at the Seqi olivine mine 2008-2009.
By Søndergaard, J., Schiedek, D. & Asmund, G. 48 pp.

751 Natur og Miljø 2009 – Del B: Fakta.
Af Normander, B., Henriksen, C.I., Jensen, T.S., Sanderson, H., Henrichs, T., Larsen, L.E. & Pedersen, A.B. (red.) 170 s. (også tilgængelig i trykt udgave, DKK 200)

750 Natur og Miljø 2009 – Del A: Danmarks miljø under globale udfordringer.
Af Normander, B., Jensen, T.S., Henrichs, T., Sanderson, H. & Pedersen, A.B. (red.) 94 s. (også tilgængelig i trykt udgave, DKK 150)

749 Thick-billed Murre studies in Disko Bay (Ritenbenk), West Greenland.
By Mosbech, A., Merkel, F., Boertmann, D., Falk, K., Frederiksen, M., Johansen, K. & Sonne, C. 60 pp.

747 Bunddyr som indikatorer ved bedømmelse af økologisk kvalitet i danske søer.
Af Wiberg-Larsen, P., Bjerring, R. & Clausen, J. 46 s.

ROAD PRICING, LUFTFORURENING OG EKSTERNALITETSOMKOSTNINGER

Rapporten bidrager til at styrke det faglige grundlag for at kunne reducere luftforureningens konsekvenser for folkesundheden igennem den måde som prisstrukturen for road pricing indret-tes på. Der er gennemført en analyse af, hvordan prisstrukturen kan differentieres i sted og tid, således at prisstrukturen afspejler luftkvalitet, befolknings-eksponering og eksternalitetsomkost-ninger i forskellige geografiske områder (forskellige bystørrelser og landområ-der) og over døg-net (myldretid kontra udenfor myldretid).

ISBN: 78-87-7073-159-1
ISSN: 1600-0048