



UNDERSØGELSE AF DE FORØGEDE KONCENTRATIONER AF NO₂ PÅ H.C. ANDERSENS BOULEVARD

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 111

2014



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

UNDERSØGELSE AF DE FORØGEDE KONCENTRATIONER AF NO₂ PÅ H.C. ANDERSENS BOULEVARD

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 111

2014

Thomas Ellermann
Jørgen Brandt
Steen Solvang Jensen
Ole Hertel
Per Løfstrøm
Matthias Ketzel
Helge Rørdam Olesen
Morten Winther

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 111
Titel:	Undersøgelse af de forøgede koncentrationer af NO ₂ på H.C. Andersens Boulevard
Forfattere:	Thomas Ellermann, Jørgen Brandt, Steen Solvang Jensen, Ole Hertel, Per Løfstrøm, Matthias Ketzel, Helge Rørdam Olesen & Morten Winther
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	December 2014
Redaktion afsluttet:	September 2014
Faglig kommentering:	Ole Hertel
Kvalitetssikring, centret:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Ellermann, T., Brandt, J., Jensen, S.S., Hertel, O., Løfstrøm, P., Ketzel, M., Olesen, H.R. & Winther, M. 2014. Undersøgelse af de forøgede koncentrationer af NO ₂ på H.C. Andersens Boulevard. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 100 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 111 http://dce2.au.dk/pub/SR111.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi har i 2013 og 2014 gennemført detaljerede undersøgelser af årsagerne til den observerede stigning af koncentrationerne af kvælstofdioxid (NO ₂) ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard i sommeren 2010. Den observerede stigning er på 8 µg/m ³ i gennemsnit og har været relativt konstant siden sommeren 2010. Resultaterne af undersøgelserne viser, at hovedårsagerne til de forøgede koncentrationer er ændringer i vejbanerne ud for målestationen, hvilket har flyttet trafikken tættere på målestationen, samt nedsat hastighed på vejstrækningen grundet øget kødannelse og trængsel.
Emneord:	Luftkvalitet, kvælstofdioxid, kvælstofoxider, NO ₂ , NO _x , Grænseværdier, H.C. Andersens Boulevard, målinger, modelberegninger, trafikændringer
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Foto: Stefan Jansen
ISBN:	978-87-7156-088-6
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	100
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR111.pdf

Indhold

Forord	5
Sammenfatning og konklusion	6
1 Introduktion	12
2 Baggrund for undersøgelserne	15
2.1 Forøgede koncentrationer af NO ₂ og NO _x	15
2.2 Ændring af vejbanerne på H.C. Andersens Boulevard	19
3 Entreprenørmaskiner	20
3.1 Baggrund	20
3.2 OML spredningsberegninger	21
3.3 Vindretningsafhængighed	24
4 Analyse af trafikken på H.C. Andersens Boulevard	27
4.1 Baggrund og formål	27
4.2 Generel udvikling i trafikken i København	27
4.3 Udvikling i årsdøgntrafikken på H.C. Andersens Boulevard	28
4.4 Udvikling i køretøjsfordeling på H.C. Andersens Boulevard	31
4.5 Udvikling i rejsehastighed	40
4.6 Udvikling i øvrige trafikale parametre	52
4.7 Døgnfordeling	52
4.8 Konklusion	53
5 Undersøgelse af sammenhæng mellem kødannelser og kortidsvariation af NO_x-koncentration	56
5.1 Introduktion	56
5.2 Metode	56
5.3 Direkte observationer af sammenhæng mellem trafik og målt NO _x	57
5.4 Fordeling af NO _x -koncentrationer før og efter sommeren 2010	64
5.5 Konklusioner	68
6 Følsomhedsanalyse af trafikparametres indflydelse på luftkvaliteten	69
6.1 Udgangssituation	69
6.2 Følsomhed af emissioner over for trafikparametre	70
6.3 Følsomhed af koncentrationer over for trafik og modelparametre	73
6.4 Konklusioner	75

7	Lokalskalamodellering af omlægning af vejbaner	77
7.1	Modeller – egenskaber og begrænsninger	78
7.2	Emissionsmæssige forudsætninger	80
7.3	Resultater	83
7.4	Konklusion	87
8	Ekstra målestation på H.C. Andersens Boulevard	88
8.1	Placering af målestation og målemetoder	88
8.2	Resultater	89
8.3	Udviklingstendens for NO ₂ på HCAB efter sommeren 2010	94
8.4	Diskussion	96
8.5	Konklusion	96
9	Referencer	98

Forord

Nærværende rapport præsenterer resultaterne af en større undersøgelse af årsagerne til forøgede koncentrationer af kvælstofdioxid og kvælstofoxider ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard. Undersøgelsen, der er finansieret af Miljøstyrelsen, er udført i 2012-2014 i regi af DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet med Institut for Miljøvidenskab som udførende part.

Sammenfatning og konklusion

Måleresultater for koncentrationerne af NO₂ og NO_x ved H.C. Andersens Boulevard (HCAB) og sammenligning mellem måleresultater fra HCAB og Jagtvej viser, at der i perioden fra sommeren 2010 og frem til september 2013 (seneste kvalitetssikrede resultater) har været en forøgelse af koncentrationerne af NO₂ og NO_x på HCAB. Stigningen i koncentrationen skete over en periode på 1-2 måneder i 2010, og da der fortsat er forøgede koncentrationer, er der tale om en forøgelse med en forholdsvis permanent karakter. Stigningen er på omkring 8 µg/m³ for NO₂ og omkring 35 µg/m³ for NO_x i gennemsnit for hele perioden fra sommeren 2010 og frem til september 2013. Dette svarer til en stigning på 15% og 25% for henholdsvis NO₂ og NO_x.

DCE foretager altid en løbende kvalitetskontrol i forbindelse med de akkrediterede målinger på HCAB. DCE har i forbindelse med nærværende projekt endvidere foretaget et dobbelttjek af målingerne. På basis af denne kan det konkluderes, at stigningen på HCAB ikke skyldes fejl i måleresultaterne. Da stigningen udelukkende observeres på HCAB, vurderes det, at stigningen i koncentrationerne af NO₂ og NO_x skyldes en øget belastning af målestationen fra udledninger i området omkring målestationen.

Årsagen til den forøgede belastning af målestationen kan være mange, da der i området omkring HCAB har været mange ekstraordinære aktiviteter og forandringer:

- Ombygning og lukning af Vester Voldgade for gennemkørende trafik (fra september 2010). Vester Voldgade havde tidligere en daglig trafik på omkring 10.000 køretøjer.
- Midlertidig lukning af Bernstorffsgade (20.000 køretøjer dagligt) i 2012.
- Byggeri og entreprenørarbejde i forbindelse med Industriens Hus, gravearbejde på Rådhuspladsen, nedlægning af forsyningsrør og mindre gravearbejder umiddelbart ved siden af målestationen.
- Ændring af vejbanerne på HCAB i 2010, således at busbanen nærmest målestationen er fjernet, og erstattet af en almindelig vejbane, hvorved al tung trafik og personbiler er kommet tættere på målestationen.
- Omlægning af lyskryds i begge ender af HCAB i 2010, herunder omlægning af vejbane til venstresving fra HCAB til Stormgade. Venstresvingbanen er reduceret fra to til en vejbane og er blevet forlænget, så den når hen forbi målestationen. Tilsvarende ændring af venstresvingbane fra HCAB mod Vesterbrogade.
- En lang række andre større eller mindre omlægninger af trafikken i forbindelse med ovenstående aktiviteter.
- En periodevis u hensigtsmæssig styring af trafiklysene på HCAB, som har medført trafikkkøer og dermed langsommere afvikling af trafikken.
- Omlægninger af busruter og etablering af ny busholdeplads på HCAB.

Disse ekstraordinære aktiviteter kan sammenfattes til følgende fem mulige hovedårsager til de forøgede koncentrationer af NO₂ og NO_x på den del af HCAB, som ligger ud for målestationen:

- Øgede udledninger fra entreprenørmaskiner i forbindelse med byggerierne og anlægsarbejderne
- Øgning af trafikintensiteten

- Ændring af køretøjssammensætningen
- Nedsættelse af gennemsnitlig hastighed af trafikken og øgning i kødanelse
- Ændring af vejbaner således at lastbil- og personbiltrafikken på HCAB er flyttet tættere på målestationen.

DCE har i nærværende projekt foretaget en vurdering af bidraget fra disse fem mulige hovedårsager til de forøgede koncentrationer på HCAB.

Entreprenørmaskiner

Modelberegninger har vist, at øgede udledninger af NO_x fra brug af entreprenørmaskiner i forbindelse med de gennemførte byggerier og anlægsarbejder omkring Rådhuspladsen kun i mindre omfang kan have bidraget til de forøgede koncentrationer. Endvidere har byggerierne og anlægsarbejderne været af meget varierende omfang i gennem perioden fra sommeren 2010 og frem til i dag, og i relativt lange perioder har der kun været anvendt få entreprenørmaskiner. Øgningen i koncentrationerne har til gengæld været ret konstant i hele perioden fra sommeren 2010 og helt frem til i dag. Denne omstændighed underbygger, at entreprenørmaskinerne kun har spillet en mindre rolle, selv om det ikke kan udelukkes, at de har bidraget i mindre omfang til stigningen i koncentrationerne af NO₂ og NO_x (dog næppe over 5%).

Endvidere har detaljerede analyser af koncentrationsmålingerne i forhold til vindretninger før sommeren 2010 vist, at de forøgede koncentrationer ikke kommer fra områderne, hvor der i 2010-11 var omfattende anvendelse af entreprenørmaskiner. I stedet indikerer analysen, at kilden til springet i NO₂ og NO_x er ændringer relateret til trafikken på HCAB.

Det vurderes, at entreprenørmaskinerne ikke har spillet nogen væsentlig rolle i forbindelse med stigningen.

Trafikintensitet

Der har i tidens løb kun været foretaget to manuelle trafiktællinger ved luftkvalitetsmålestationen på HCAB. Sådanne tællinger gennemføres fra om morgenen til om aftenen på én dag. Ud fra talt trafik regnes til årlig gennemsnitlig døgntrafik (ÅDT). Den manuelle trafiktælling i 2003 viste en ÅDT på 58.050 og i 2013 en ÅDT på 55.400 køretøjer. Dette peger på et svagt fald (5%) over den tiårige periode, men det viser ikke noget om, hvorvidt der har været en stigning i ÅDT fra før og til efter sommeren 2010.

Ud fra detailstudier af samtlige trafiktællinger i nærheden af målestationen forventer DCE et relativt jævnt mindre fald i ÅDT på HCAB på strækningen ved målestationen svarende til det, der er observeret ved trafiktællestederne på HCAB ved Jarmers Plads og Langebro. Faldet på Langebro har været 15% fra 2003 til 2011 og 8% for Jarmers Plads på baggrund af regressionslinjerne gennem målepunkterne. I den sidste del af perioden (2006 – 2012) har faldet på Langebro dog kun været på omkring 4%.

De forskellige trafiktællinger i området peger alle i retning af et generelt fald i trafikken. I perioden fra 2006 – 2013 har der, som nævnt ovenfor, kun været foretaget én tælling af ÅDT ud for målestationen (april 2013). Det kan derfor ikke helt udelukkes, at der har været mindre ændringer i ÅDT i perioden fra før til efter sommeren 2010 på HCAB ud for målestationen. Dette kan eksempelvis være sket som en konsekvens af, at Vester Voldgade har været lukket for gennemkørende trafik siden 2010 og at Bernstorffsgade har været

midlertidigt lukket i hele 2012. Sådanne mindre ændringer i ÅDT kan være årsag til ændringer i trafikafviklingen på HCAB (f.eks. nedsat hastighed og kødannelse) og dermed give større effekt på udledningerne end blot vurderet ud fra ændringerne i ÅDT alene.

Modelberegninger med gadeluftsmodellen OSPM viser, at en hypotetisk stigning i ÅDT på 8% kun giver anledning til en stigning i trafikdens bidrag til NO_x på 6% svarende til $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, idet den øgede trafikintensitet giver en større fortynding pga. trafikskabt turbulens, hvilket i nogen grad modvirker den øgede udledning fra køretøjerne. Det betyder, at en forøget NO_x koncentration på $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ville kræve, at ÅDT skulle være blevet øget med mere end 35%, hvis ændring i ÅDT alene skulle være årsag til stigningen i NO_x . Ved denne betragtning er der dog ikke taget hensyn til, at øget ÅDT vil påvirke faldende rejsehastighed, som vil øge emissionen yderligere.

DCE vurderer derfor, at analyse af trafikdata ikke giver belæg for, at en generel øgning i trafikintensiteten på strækningen ved målestationen på HCAB skulle være hovedårsagen til de forøgede koncentrationer.

Køretøjssammensætning

Udviklingen i køretøjssammensætningen er analyseret for de 2 manuelle tællinger ud for målestationen, for 3 manuelle trafiktællestationer i nærområdet, for bustrafikken ud fra køreplaner samt for den generelle udvikling i København.

Udviklingen i køretøjssammensætningen siden 2003 (første manuelle trafik-tælling) til nyeste manuelle trafik-tælling (april 2013) viser øget andel af varebiler og mindre andel af tung trafik i overensstemmelse med den generelle udvikling i København.

På baggrund af modelberegninger med OSPM er det vurderet, at ændringerne i køretøjssammensætningen giver et mindre fald i koncentrationen af NO_x . DCE vurderer derfor, at ændring i køretøjssammensætning ikke har bidraget til de forøgede koncentrationer.

Nedsat hastighed og øget kødannelse

DCE har fremskaffet to datasæt for kørehastighed for trafikken på vejstrækningen ved målestationen på HCAB. De to datasæt er baseret på GPS registreringer af to flåder af køretøjer. Det største datasæt (Vejdirektoratets Speedmap) viser, at der kun er sket mindre ændringer i den gennemsnitlige hastighed fra før til efter sommeren 2010. Det lidt mindre, men mere detaljerede datasæt (Københavns Kommunes) viser en faldende rejsehastighed for dele af døgnet og et relativt markant fald i den gennemsnitlige hastighed for de 25% af køretøjerne med den laveste gennemsnitlige hastighed, hvilket peger på øgede kødannelser. Analyser af det pågældende datasæt peger på, at når man sammenligner tiden før 2010 med tiden efter, er der 17% større NO_x -emission for trafikken i retning mod Rådhuspladsen og 4% større emission for trafikken i retning mod Stormgade som isoleret effekt af lavere gennemsnitlig hastighed. Selve procenttallene skal benyttes med varsomhed, fordi datagrundlaget ikke er særlig omfattende.

Ved hjælp af OSPM er der udført følsomhedsstudier af, hvordan trafikdens hastighed påvirker emissionerne af NO_x , samt koncentrationen af NO_x og NO_2 . Ved en nedsættelse af den gennemsnitlige hastighed fra 45 km/t til 22 km/t ses en øgning i emissionerne på 20%, mens en nedsættelse fra 22 km/t

til 11 km/t giver en øgning på 32%. I det sidste tilfælde ses en stigning i koncentrationen af NO_x på 45 µg/m³ og i NO₂ på 15 µg/m³, hvilket viser, at såvel emissioner som koncentrationer er meget følsomme over for ændringer i kørehastighederne.

Analyser af måleresultaterne har vist, at de gennemsnitlige koncentrationer af NO_x er steget hele døgnet rundt, men at koncentrationerne både absolut og relativt er steget mest i myldretiderne. Dette peger på, at ændringer i trafikafviklingen (herunder nedsat hastighed og kødannelse) er en af årsagerne til de forøgede koncentrationer om end det formentligt kun spiller en mindre rolle for de gennemsnitlige koncentrationer.

Det er DCE's vurdering, at nedsat gennemsnitlig hastighed for trafikken og øget kødannelse kan spille en mindre rolle i forbindelse med de øgede koncentrationer af NO_x og NO₂. Årsagerne til den nedsatte hastighed og øget kødannelse kan være:

- Fjernelse af busbanen har reduceret antallet af vejbaner fra 4 til 3 vejbaner til afvikling af den samlede trafik ind mod Rådhuspladsen. Bussernes hastighed kan være blevet nedsat, da busserne nu skal følge den øvrige trafik, hvor de før kunne køre i egen busbane (se Figur 8.8).
- Omlægning af trafiklys ved HCAB-Stormgade og HCAB-Vesterbrogade.
- Ændringer i venstresvingsbanen mod Stormgade og Vesterbrogade fra to til en vejbane og forlængelse af venstresvingsbanerne. Der observeres jævnligt stillestående kø i venstresvingsbanen mod Stormgade helt ned forbi målestationen.

Der har ikke været udført særskilte analyser af problematikken omkring uhensigtsmæssigt indstillede trafiklys. Københavns Kommune har oplyst, at der har været sådanne problemer i mindre omfang i 2012, men at de skulle være løst permanent med overgangen til nye systemer i foråret 2013.

Flytning af trafikken tættere på målestationen - modelberegninger

I sommeren 2010 blev vejbanerne på HCAB ud for målestationen ændret. Busbanen blev fjernet, således at trafikken (bortset fra busserne) i retning mod Rådhuspladsen blev flyttet en vejbane (omkring 3 m) tættere på målestationen. Ud fra simple spredningsbetragtninger vil en sådan flytning af trafikken give anledning til en betydelig øgning i koncentrationerne af NO₂ og NO_x. Det er imidlertid ikke en simpel opgave at vurdere effekten af en flytning af vejbanerne, da spredningen af trafikforureningen påvirkes af de meteorologiske forhold, de detaljerede bygningsforhold og deres indvirkning på strømningsforholdene i gaden, samt den turbulens, som skabes af trafikken selv. Derfor benyttes modeller til beregning af spredningen af udledningerne fra trafikken. DCE har imidlertid ikke en model, som er specifikt udviklet til at beskrive de meget lokale spredningsforhold på mikrometeorologisk skala lige omkring målestationen. DCE har valgt at udføre nogle indikative beregninger af effekten af at flytte vejbanerne tættere på målestationen med spredningsmodellen OML-Highway. Resultaterne fra OML-Highway-modellen betegnes som indikative, fordi modellen ikke er udviklet til at beskrive de aktuelle forhold på lokaliteten og på grund af den meget lille skala, som der er tale om her.

De indikative beregninger med OML-Highway peger på, at selve flytningen af vejbanerne har givet anledning til en tydelig øgning af koncentrationerne af NO_x og NO₂, og dermed er en central årsag til stigningen. Usikkerheden

på de indikative beregninger gør det umuligt at kvantificere den totale effekt på årsbasis.

Nye målinger af vindretninger helt lokalt ved målestationen har været iværksat i forbindelse med det aktuelle projekt. Resultaterne understreger, hvor komplekse de spredningsmæssige forhold er på denne lokalitet. I forhold en egentlig kvantificering af øgningen i koncentration ved målestationen kræves anvendelse af andre modelværktøjer end OML-Highway. Det mest oplagt i denne forbindelse vil være anvendelse af meget regnetunge CFD modeller (Computational Fluid Dynamics), som bedre kan beregne det komplekse turbulente flow i gaden omkring målestationen. Et sådant arbejde har imidlertid ligget uden for rammerne af nærværende projekt.

Analyser af måleresultaterne har endvidere vist, at fra før sommeren 2010 til efter sommeren 2010 er de gennemsnitlige koncentrationer af NO_x steget hele døgnet rundt, ikke blot i dagtimerne. Der er en markant stigning i koncentrationerne om aftenen og natten (20-30%), hvor der kun yderst sjældent er kødannelse. Stigningen i koncentrationerne om aftenen og natten kan forklares ved ændringerne af vejbanerne, som har flyttet trafikken tættere på målestationen. Ændringer i trafikken kunne også give anledning til en stigning i koncentrationerne om aftenen og natten, men der findes ingen robuste data, som kan anvendes til at vurdere eventuelle ændringer i trafikken om aftenen og natten.

Flytning af trafikken tættere på målestationen - parallelmålinger

I perioden 8-2-2014 til 23-6-2014 blev der gennemført parallelmålinger af koncentrationerne af NO₂ og NO_x mellem målestationen på HCAB og en ekstra målestation placeret 2,75 m længere væk fra vejbanerne end selve målestationen. Parallelmålingerne har vist, at der som følge af den forøgede afstand i gennemsnit er en forskel på 10 og 29 µg/m³ for henholdsvis NO₂ og NO_x, hvilket svarer til et fald i koncentrationerne på omkring 20%, hvilket svarer til en øgning på 29% ved simulering af at vognbanerne er flyttet tættere på den permanente målestation.

Det vurderes, at parallelmålingerne på målestationen på HCAB og den ekstra målestation giver et realistisk billede af effekten af selve omlægningen af vejbanerne fra før til efter sommerferien 2010. Her blev den inderste busbane omlagt til almindelig vejbane, så trafikken ind mod Rådhuspladsen blev flyttet en vejbane tættere på målestationen. Parallelmålingerne giver dog ikke et realistisk billede for busserne, fordi hovedparten af bustrafikken ikke blev flyttet i forbindelse af vejbaneomlægningerne i sommeren 2010 til forskel for situationen med parallelmålingerne, hvor bustrafikken er flyttet omkring en vognbane længere væk fra den ekstra målestation. Det betyder, at parallelmålingerne overvurderer effekten af vejbaneændringerne i sommeren 2010. Med et forsigtigt skøn vurderes, at denne overestimering maksimalt vil være omkring 2 µg/m³. Endvidere kan parallelmålingerne ikke afspejle ændringer i trafikafviklingen før og efter sommeren 2010.

Ud fra målingerne på målestationen på HCAB er den samlede effekt af ændringerne i trafikforholdene på gadesegmentet ud for målestationen vurderet til at have givet et spring opad i koncentrationerne på omkring 8 µg/m³ NO₂ og 35 µg/m³ NO_x som gennemsnit for perioden fra sommeren 2010 til og med første halvår af 2014. Parallelmålingerne har vist, at alene flytningen af vejbanerne kan forklare denne forskel. Her skal der dog tages forbehold for, at springet i koncentrationerne er vurderet som gennemsnit over 4 år,

mens parallelmålingerne kun repræsenterer en måleperiode på et halvt år. Endvidere er springet vurderet relativt til koncentrationerne på Jagtvej og selv om det vurderes, at der ikke er sket store ændringer i trafikforholdene på Jagtvej, så vil ændringer på Jagtvej påvirke analysen af, hvor stort springet på HCAB vurderes at være.

Samlet vurdering

Alt i alt vurderes flytningen af vejbanerne til klart at være den væsentligste årsag til den stigning i koncentrationerne, som blev observeret i sommeren 2010. Forsøget med parallelmålingerne kan imidlertid ikke give en fuldstændig simulering af de ændringer i trafikforholdene, som fandt sted i sommeren 2010. Det kan derfor ikke udelukkes, at ændringer i afviklingen af trafikken (hastighed, kødannelse m.m.) også har spillet en mindre rolle.

Den kendsgerning, at ændringerne af vejbanerne skete samtidigt med, at koncentrationerne øgedes, underbygger ovenstående vurderinger. Ændringerne af vejbanerne er endvidere en "permanent" ændring, hvilket er i overensstemmelse med, at øgningen af koncentrationerne har været stort set konstante i perioden fra sommeren 2010 og frem til i dag, og at der er sket øgning i koncentrationen såvel om natten som om dagen.

Der er forsat usikkerhed om den faktiske hidtidige udvikling i trafikken (ÅDT, køretøjssammensætning, gennemsnitlig hastighed) på HCAB. Det har vanskeliggjort de analyser, som er foretaget inden for projektet, og samtidig gjort det umuligt at drage helt sikre konklusioner. De eksisterende trafikdata i området peger på et fald i trafikken, men der findes ikke et tilstrækkeligt datagrundlag i form af trafiktællinger på strækningen af HCAB ud for målestationen til, at det helt kan afvise, at der på denne strækning er sket en stigning i trafikintensiteten. Derfor kan det heller ikke udelukkes, at der har været ændringer i trafikintensitet og køretøjssammensætning, som i et vist omfang har bidraget til de øgede koncentrationer. Det står dog klart, at ændringer i ÅDT og køretøjssammensætning ikke i sig selv kan være hovedårsag til de forøgede koncentrationer. Imidlertid kan en lille øgning i ÅDT formentlig give anledning til en relativt stor øgning i trængslen og kødannelsen i de situationer, hvor der i forvejen er stor belastning på vejstrækningen. Dette vil kunne give en stigning i koncentrationerne, som er væsentligt større end vurderet ud fra selve stigningen i ÅDT.

1 Introduktion

Siden sommeren 2010 og frem til august 2013 (de seneste kontrollerede måledata) har koncentrationerne af kvælstofdioxid (NO_2) på H.C. Andersens Boulevard (HCAB) i gennemsnit ligget omkring $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ højere end i de foregående år. Ligeledes har der været en gennemsnitlig forøgelse af koncentrationerne af kvælstofoxider ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) på omkring $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. NO_2 og NO_x ligger dermed efter 2010 henholdsvis 15% og 30% højere end gennemsnit for perioden fra 2006 til 2009. Som et resultat af denne forøgelse af koncentrationen ligger årsmiddelværdien for NO_2 i 2012 på $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket er væsentligt højere end grænseværdien for NO_2 på $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

I forbindelse med den årlige rapportering fra overvågningen af luftkvalitet under Delprogram for luft under NOVANA pegede DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE) i første omgang på, at de forøgede koncentrationer ved HCAB formentligt skyldtes øgede udledninger fra entreprenørmaskiner anvendt ved de mange byggerier og anlægsarbejder omkring Rådhuspladsen i 2010 og 2011. (Ellermann et al., 2012). Endvidere blev det vurderet, at der var tale om en midlertidig forøgelse af koncentrationerne.

Siden hen har det vist sig, at de forøgede koncentrationer er blevet observeret i længere tid end oprindeligt forventet, og det har derfor været nødvendigt med en mere detaljeret undersøgelse af årsagerne til de forøgede koncentrationer på HCAB.

Miljøstyrelsen har derfor finansieret to på hinanden følgende projekter, som begge har til formål at fastlægge årsagerne til de fortsat forøgede koncentrationer af NO_2 på HCAB.

Det første projekt omfatter følgende seks aktiviteter:

1. Vurdering af entreprenørmaskiners indflydelse på de forøgede koncentrationer på HCAB

På basis af modelberegninger med DCE's lokalskalamodel OML er der foretaget kvantitative vurderinger af, hvor store udledninger, der kræves for at anvendelsen af entreprenørmaskiner ved byggerierne og anlægsarbejderne omkring Rådhuspladsen, kan være årsag til de forøgede koncentrationer på HCAB. Modelberegningerne er suppleret med en detaljeret analyse af måledata, hvor det undersøges, om der er sammenhæng mellem forøgede koncentrationer af NO_x og vindretninger, hvor vinden blæser fra byggerierne og anlægsarbejderne over mod målestationen på HCAB.

2. Videregående analyse af Københavns Kommunes trafikdata i området omkring målestationen

Københavns Kommune tæller årligt trafikken på udvalgte lokaliteter i området omkring målestationen på HCAB, men indtil 2013 har den ikke foretaget tællinger ved selve målestationen. Indtil nærværende undersøgelse har DCE vurderet trafikken ved målestationen ud fra de to tællinger på Jarmers Plads og Langebro. Et bedre grundlag for vurdering af udviklingen af trafikken ved målestationen har kunnet etableres ved at kigge på udviklingen på et bredere udsnit af tællesteder i området omkring målestationen og ved at inddrage den nyeste trafiktælling fra april 2013.

3. Kortlægning af rejsehastigheder via GPS-tracking

Vejdirektoratet har en landsdækkende database med data fra GPS-tracking af omkring 2000 køretøjers daglige kørsel på vejnettet i Danmark. Tilsvarende har Københavns Kommune et datasæt med GPS-tracking fra en flåde af køretøjer, som blandt andet dækker HCAB. På basis af disse data er det muligt at fastlægge trafikens rejsehastigheder på forskellige vejstrækninger. I nærværende undersøgelse har data været benyttet til at fastlægge de typiske rejsehastigheder for trafikken ud for målestationen på HCAB og at vurdere, om der er sket en udvikling i hastighederne i perioden fra 2008-2011 (det har ikke været muligt at skaffe data for 2012). Rejsehastigheden på HCAB har indtil denne undersøgelse været baseret på kvalificeret skøn, da der tidligere ikke eksisterede hastighedsmålinger ud for målestationen.

4. Undersøgelse af sammenhæng mellem kødannelser og korttidsvariation af NO_x-koncentration

På basis af detaljerede studier af måleresultater med tidsopløsning på minutskala er det undersøgt, om der er sket ændringer i variationerne i koncentrationerne, som kan relateres til ændringer i trafikmønstret i perioden fra 2009 til august 2013. Endvidere er der på en række udvalgte dage foretaget observationer på målestationen af sammenhængen mellem koncentrationerne af NO_x og kødannelse. Endelig er der foretaget en analyse af døgnvariationen af de forøgede koncentrationer af NO₂ og NO_x med henblik på afklaring af årsagerne til de forøgede koncentrationer.

5. Følsomhedsanalyse af trafikparametres indflydelse på luftkvaliteten

Vurdering af måleresultaterne fra 2010 – 2013 har vist, at der i denne periode har været forøgede koncentrationer af NO_x og NO₂ på henholdsvis omkring 35 µg/m³ og 8 µg/m³ ved målestationen på HCAB. Ændrede trafikforhold kan være en af hovedårsagerne til stigningerne i koncentrationerne. Ved hjælp af lokalskalamodelberegninger undersøges, hvor store ændringer i trafikken (trafikintensitet, hastighed, andel af tungtrafik m.m.), der skal til for at forklare de forøgede koncentrationer.

6. Lokalskalamodellering af omlægning af vejbaner

Ved hjælp af lokalskalamodelberegninger med OML-Highway er det undersøgt, hvor stor kvantitativ betydning ændring af vejbanerne og kødannelserne har for de observerede koncentrationer af NO_x og NO₂. OML-Highway er designet til at kunne tage højde for placering af vejbanerne og trafikmængden i de enkelte vejbaner, men modellen har forskellige begrænsninger, som indebærer at beregningerne kun kan give indikative resultater.

Det andet projekt blev iværksat for yderligere at underbygge grundlaget for vurdering af årsagerne til de forøgede koncentrationer af NO₂ på HCAB og består af følgende syvende aktivitet:

7. Målinger på ekstra målestation

I en fem måneders periode blev der opstillet en ekstra målestation på HCAB, som var placeret 2,75 m længere væk fra kanten af den inderste vejbane end selve målestationen. Den ekstra målestation afspejler, så godt som praktisk muligt, den oprindelige situation før sommeren 2010, hvor der var en vejbanes afstand mellem målestationen og den største del af trafikken. Målestationen på HCAB afspejler selvsagt den nuværende situation, som har været

gældende siden sommeren 2010. Ved at måle koncentrationen af NO₂ og NO_x på begge målestationer og se på forskellen mellem de to målestationer, er det muligt, at få det bedste kvantitative mål for effekten af flytningen af vejbanerne.

Nærværende rapport samler de mange resultater fra de to projekter. Rapporten indledes med et baggrundskapitel, som dels beskriver de ændringer, som er observeret i koncentrationerne af NO₂ på HCAB og dels beskriver de trafikomlægninger, som fandt sted i sommeren 2010. Herefter beskriver de følgende syv kapitler resultaterne fra de syv aktiviteter.

2 Baggrund for undersøgelserne

Baggrunden for alle de syv aktiviteter er dels, at DCE har målt forøgede koncentrationer af NO_2 og NO_x ved målestationen på HCAB, og dels at DCE har kunnet konstatere, at der i perioden fra 2010-2012 har været en lang række ændringer i de trafikale forhold på det stykke af HCAB, hvor målestationen er placeret. Som introduktion til rapporteringen af de syv aktiviteter gives i dette kapitel en kort gennemgang af de seneste års målinger af NO_2 og NO_x ved HCAB og af omlægningerne af vejbanerne ved målestationen.

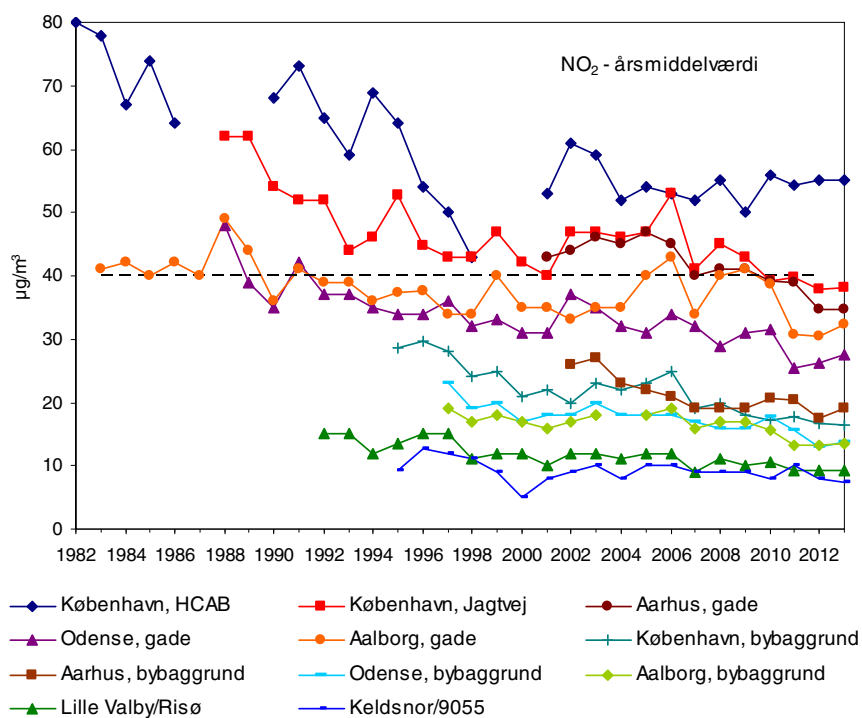
2.1 Forøgede koncentrationer af NO_2 og NO_x

Figur 2.1 og 2.2 viser udviklingstendens for årsmiddelværdier af NO_2 og NO_x målt ved de danske målestationer. For alle stationerne ses en faldende koncentration af såvel NO_2 som NO_x , hvor faldet er mest markant for NO_x . NO_x er et mål for de samlede koncentrationer af NO og NO_2 , og faldet i koncentrationerne er direkte et udtryk for faldet i udledningerne fra de lokale kilder, som på gadeniveau primært er trafikken. Når faldet i NO_2 er mindre end for NO_x skyldes det, at den største del af NO_x udledes som NO , der først via de kemiske reaktioner i luften i gaderummet vil blive omdannet til NO_2 og at denne kemiske dannelse af NO_2 i gaderummet er begrænset af tilstedeværelsen af ozon.

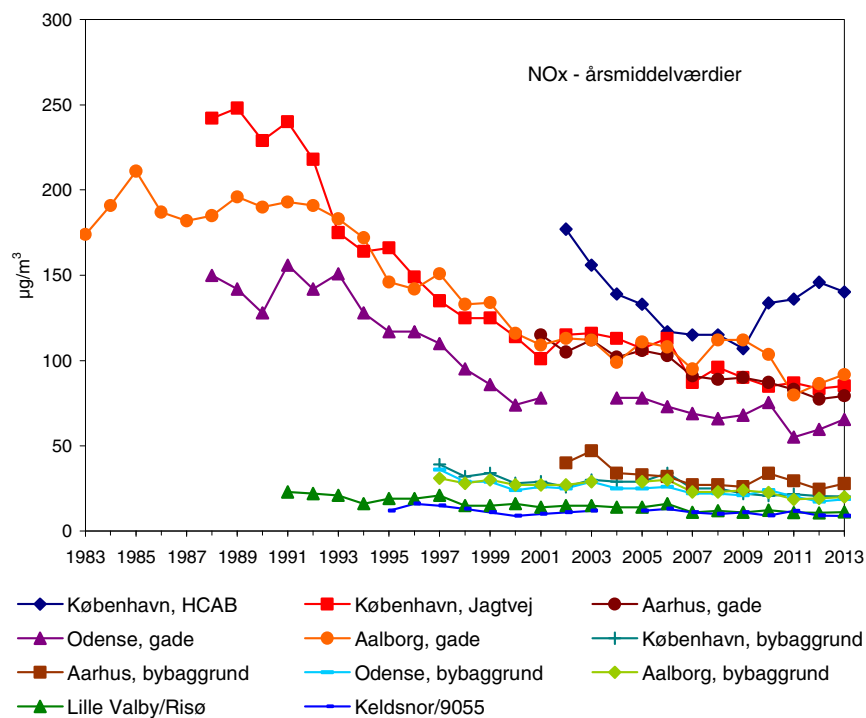
For HCAB, hvor der er de højeste koncentrationer, ses også en tendens til et fald i koncentrationen af NO_2 , når hele perioden fra 2001 til 2012 vurderes. I de seneste år afviger HCAB imidlertid væsentligt fra de øvrige gademålestationer, idet der på HCAB ses, at koncentrationen af NO_2 i 2010-2013 ligger højere end de forgående 6 år (Figur 2.1). På de øvrige gademålestationer ses derimod markante fald i koncentrationen af NO_2 gennem de seneste 10 år og her ses navnlig tydelige fald i de seneste fire år. For koncentrationen af NO_x (Figur 2.2) ses endnu mere tydeligt, at der i de seneste år er sket en anderledes udvikling i koncentrationerne på HCAB end på de øvrige målestationer.

For at få et større indblik i årsagen til forskellen mellem HCAB og de øvrige gademålestationer, har DCE analyseret udviklingen i månedsmiddelkoncentrationer på HCAB og Jagtvej, som er de to eneste gademålestationer i København. På disse to målestationer forventes umiddelbart, at der ville være en nogenlunde parallel udvikling i koncentrationerne, da det så at sige er nogenlunde den samme trafikflåde, som kører på de to gadestrækninger.

Figur 2.1. Udviklingstendens for årsmiddelværdien af NO₂. Målingerne er foretaget i forbindelse med Delprogram for luft under NOVANA (Ellermann et al., 2014).



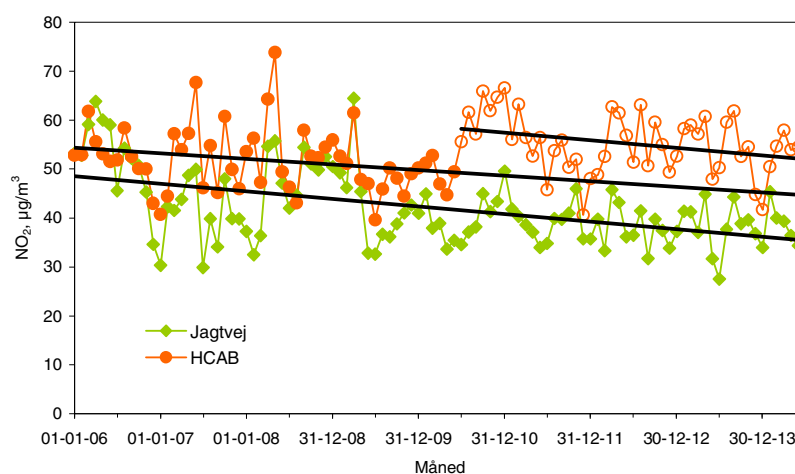
Figur 2.2. Udviklingstendens for årsmiddelværdien af NO_x. Målingerne er foretaget i forbindelse med Delprogram for luft under NOVANA (Ellermann et al., 2014).



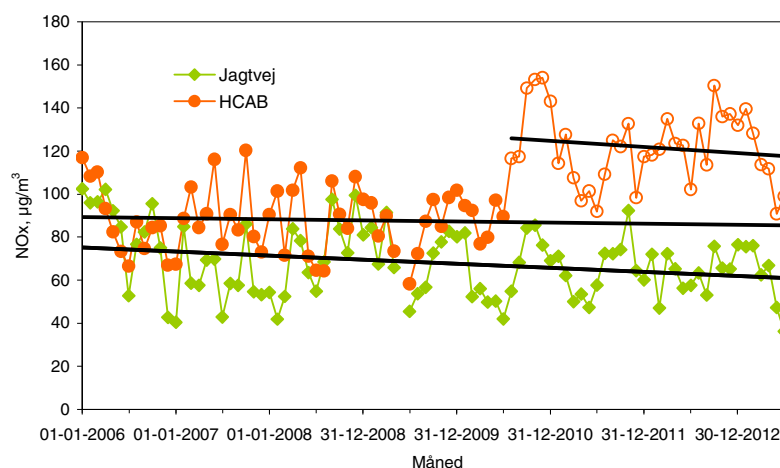
Figur 2.3 viser udviklingstendensen for månedsmiddel af NO_2 siden 2006. På Jagtvej ses en generelt faldende tendens for månedsmiddelkoncentrationen af NO_2 . Der er betydelig variation mellem de enkelte måneder, hvilket primært skyldes de naturlige variationer i de meteorologiske forhold. På HCAB ses ligeledes et fald i koncentrationen frem til sommeren 2010, hvor der ses en tydelig forøgelse af koncentrationen i løbet af nogle få måneder og at niveauet herefter har ligget nogenlunde permanent med en forøget koncentration i sammenligning med Jagtvej. Den forøgede koncentration, herefter også kaldet "springet" i koncentrationen af NO_2 , er i gennemsnit på omkring $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for hele perioden fra sommeren 2010 og frem til august 2013.

Figur 2.4 viser udviklingen i månedsmiddelkoncentrationen for det såkaldte gadebidrag til koncentrationen af NO_x . Gadebidraget er defineret som koncentrationen målt på gadeniveau fratrasket koncentrationen målt i bybaggrunden (H.C. Ørsted Institutet). Gadebidraget anvendes typisk i forbindelse med vurdering af selve trafikens bidrag til forureningen i en bestemt gade, men bidrag fra lokale kilder tæt på gaderummet vil også indgå i et vist omfang i gadebidraget. Bidrag fra anvendelse af entreprenørmaskiner tæt ved målestationen vil derfor indgå i gadebidraget.

Udviklingen for månedsmiddelkoncentrationer i NO_x viser det samme billede som for NO_2 . Her er springet i gennemsnit på omkring $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for perioden efter sommeren 2010. For NO_x ses i mange perioder de samme svingninger i månedsmiddelkoncentrationerne på de to stationer, hvilket skyldes, at de meteorologiske variationer fra måned til måned (herunder sæsonvariationerne) påvirker de to målestationer på samme måde.



Figur 2.3. Udviklingstendens for månedsmiddelværdien af NO_2 ved HCAB og Jagtvej i København siden 2006. De orange symboler repræsenterer HCAB, hvor de fyldte symboler viser perioden før springet i koncentrationen i sommeren 2010, mens de ikke fyldte symboler viser perioden efter sommeren 2010. De sorte linjer angiver udviklingstendens beregnet med lineær regression og er medtaget for visuelt at indikere udviklingen gennem perioden, men skal ikke opfattes som en egentlig statistisk analyse af udviklingstendensen. Målingerne er foretaget i forbindelse med Delprogram for luft under NOVANA (Ellermann et al., 2013).



Figur 2.4. Udviklingstendens for månedsmiddelværdien af gadebidraget for NO_x ved HCAB og Jagtvej i København siden 2006. Gadebidraget er forskellen mellem koncentrationen målt på gadeniveau og i bybaggrunden (H.C. Ørsted Institutet). De orange symboler repræsenterer HCAB, hvor de fyldte symboler viser perioden før springet i koncentrationen i sommeren 2010, mens de ikke fyldte symboler viser perioden efter sommeren 2010. De sorte linjer angiver udviklingstendens beregnet med lineær regression og er medtaget for visuelt, at indikere udviklingen gennem perioden, men skal ikke opfattes som en egentlig statistisk analyse af udviklingstendensen. Målingerne er foretaget i forbindelse med Delprogram for luft under NOVANA (Ellermann et al., 2013).

For at sikre at springet i koncentrationerne i NO₂ og NO_x på HCAB ikke skyldes fejl i målingerne på denne målestation har DCE foretaget en ekstra vurdering af kvaliteten af målingerne. Denne vurdering har vist følgende:

- DCE's akkrediterede målinger opfylder alle krav i forbindelse med EU's sammenlignende målinger.
- Der er ikke foretaget større ændringer på målestationen i forbindelse med selve stigningen i koncentrationerne i sommeren 2010.
- Målingerne på HCAB følger samme metode som på Jagtvej og de øvrige målestationer.
- Monitorerne, som anvendes til måling af NO_x på målestationerne udskiftes regelmæssigt i forbindelse med den rutinemæssige service af monitorerne. Monitorerne anvendes ½-1 år på målestationen. Der har derfor været anvendt adskillige forskellige monitører på HCAB i perioden fra sommeren 2010 og frem til juni 2014. Flere af de monitører, som har været anvendt på HCAB, har også været anvendt på Jagtvej i perioden efter sommeren 2010.
- I november 2011 foretog Force Technology uafhængige målinger af koncentrationen af NO₂ på HCAB og Jagtvej igennem en 5 ugers periode (Ellermann et al., 2012b). Målingerne blev foretaget ved hjælp af passiv opsamling af NO₂ og efterfølgende laboratorieanalyse. Målingerne fra Force Technology er i fuld overensstemmelse med målingerne fra DCE.

Der er derfor ingen grund til at betvivle kvaliteten af DCE's målinger.

2.2 Ændring af vejbanerne på H.C. Andersens Boulevard

I de senere år har der været mange ændringer af trafikforholdene i området omkring H.C. Andersens Boulevard. Her beskrives kort de to omlægninger af vejbanerne, der fandt sted i sommeren 2010, og som forventes at have stor betydning for udviklingen af de målte koncentrationer af NO₂ og NO_x på HCAB.

Den ene omlægning indebærer, at en busbane tæt ved luftmålestationen er blevet inddraget til almindelig kørebane. Dette er sket omkring midten af 2010. Den trafik, der ikke er busstrafik, er dermed flyttet tættere på målestationen, hvilket kan medføre højere koncentrationer. Omlægningen er illustreret på Figur 2.5.



Figur 2.5. H.C. Andersens Boulevard. Foto til venstre er fra 2009 og viser busbanen lige ved siden af målestationen (markeret med blått ved den røde pil). Foto til højre er fra 2011, hvor busbanen er omlagt til almindelig kørebane. Baggrundskort: © Geodatastyrelsen.

Den anden omlægning drejer sig om banerne til venstresving, når man kommer fra Rådhuspladsen ad H.C. Andersens Boulevard og vil svinge til venstre ad Stormgade. Mens der før 2010 var to venstresvingsbaner er der efter 2010 kun en enkelt, samtidig med at en 'ø' i midten af vejen er gjort bredere. Dette er illustreret på Figur 2.6. Tilsvarende ændringer er foretaget ved krydset mellem HCAB og Vesterbrogade.



Figur 2.6. H.C. Andersens Boulevard ved Stormgade-krydset. Stormgade går på tværs i kortets højre side. T.v. situationen i 2009, hvor der var to venstresvingsbaner. T.h. situationen i 2011. Baggrundskort: © Geodatastyrelsen.

3 Entreprenørmaskiner

3.1 Baggrund

Den konstaterede forhøjelse af koncentrationerne af NO₂ og NO_x på HCAB indtraf i sommeren 2010. I perioden herefter var der en hel del byggeri og anlægsarbejder omkring Rådhuspladsen, herunder ombygningen af Industriens Hus og anlægsarbejder i forbindelse med metrobyggeriet. Den udvendige ombygning af Industriens Hus blev afsluttet i 2011, mens anlægsarbejder i forbindelse med omlægning af metroen stadig pågår, dog har der været relativt lange perioder, hvor der stort set ingen aktivitet har været i forbindelse med bygning af metroen.

For at belyse betydningen af disse aktiviteter for de målte koncentrationer ved målestationen er det blevet forsøgt at indhente oplysning om emissioner fra byggeaktiviteterne i perioden 2010-2011 fra henholdsvis Metroselskabet og entreprenøren bag ombygningen af Industriens Hus.

Metroselskabet oplyste, at der i 2010-11 var så begrænset aktivitet, at man ikke har foretaget registreringer, og at der derfor ikke kunne tilvejebringes emissionsoplysninger, som kunne være til nytte.

Entreprenøren bag ombygningen af Industriens Hus oplyste, at der ikke er foretaget nærmere registreringer af aktiviteter med arbejdsmaskiner i forbindelse med ombygningen. Det blev oplyst, at der under arbejdet har været anvendt gravemaskiner udstyret med nedbrydningsudstyr og bobcat-typer ved byggepladsen, lastbiler har kørt nedbrudt materiale væk, og der har været brugt betonpumper og betonkanoner ved støbningen af beton, men en kvantificering har ikke været mulig.

Det har således vist sig umuligt at tilvejebringe en meningsfuld emissionskortlægning af de byggeaktiviteter ved Industriens hus, der foregik i slutningen af 2010 og starten af 2011.

Derfor er problemstillingen grebet an med en anden tilgang. Der er gennemført en form for baglænsberegning, hvor det er beregnet, hvor stor aktivitet i form af entreprenørmaskiner, der skulle være på byggepladsen ved Industriens Hus, hvis denne aktivitet alene skulle forklare den observerede stigning i NO_x-koncentrationen.

Fokus har været på aktiviteter, der foregik imellem sommeren 2010 og foråret 2011. Ved beregningerne er derfor benyttet meteorologiske data fra en periode på 8 måneder i 2010-11.

Der er gennemført spredningsberegninger med OML spredningsmodellen. Metroselskabet oplyste som nævnt, at der i den pågældende periode var ringe aktivitet. Derfor har fokus været på byggeriet ved Industriens Hus. Vi vil i det følgende gennemføre en vurdering ved en form for baglænsberegning for at besvare spørgsmålet: Hvor stor aktivitet af entreprenørmaskiner ved Industriens Hus skulle der have været, dersom denne aktivitet alene skulle have givet anledning til den forhøjelse af NO_x-koncentrationer, der er observeret ved luftmålestationen på H.C. Andersens Boulevard?

Når fokus er på NO_x , skyldes det, at der her er en direkte (proportional) sammenhæng mellem udledninger til luften og koncentrationer. Derimod er det mere kompliceret at behandle NO_2 , fordi NO_2 dannes og nedbrydes ved kemiske reaktioner i luften.

3.2 OML spredningsberegninger

Baglænsberegningen bygger på spredningsberegninger foretaget med OML-modellen (www.au.dk/oml). Der skal kort gøres rede for forudsætningerne ved disse beregninger.

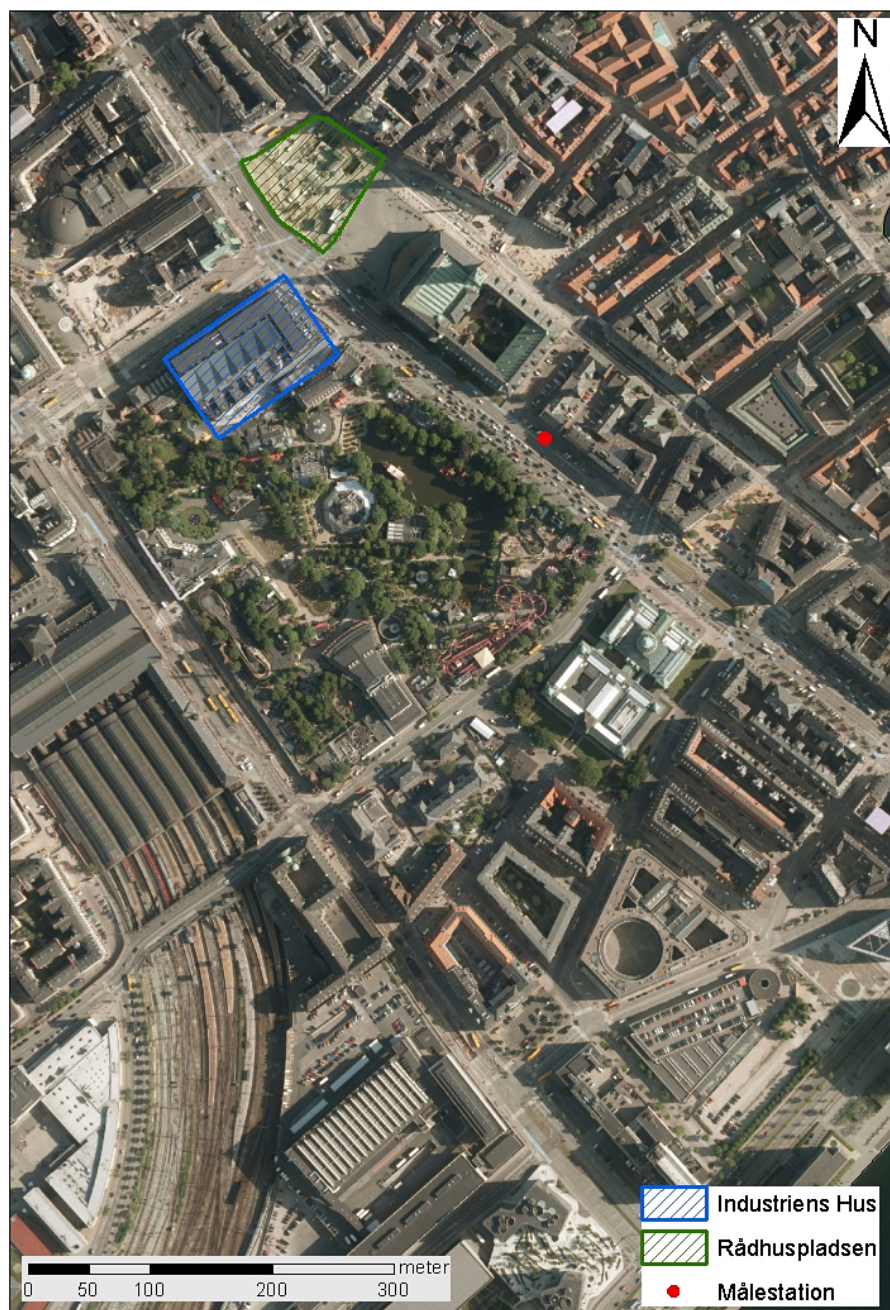
Som udgangspunkt er valgt den 8 måneders periode 1. juni 2010 - 31. januar 2011. Der er indhentet meteorologiske data for denne periode, gældende for København og klargjort til brug for OML-modellen med den meteorologiske model MM5 (anvendt inden for AU's THOR-system, www.au.dk/thor). Til brug for beregningerne er det antaget, at der i 8 timer om dagen (kl. 8-16) i den pågældende periode er emitteret 1 gram NO_x per sekund fra byggepladsen ved Industriens Hus (Figur 3.3). Ud fra resultatet kan der laves forholdsregning for at belyse andre emissionsniveauer.

Det er antaget, at emissionen er foregået jævnt over et areal på 80 x 120 meter som vist på Figur 3.1. I OML er emissionen beskrevet som en såkaldt arealkilde med en emissionshøjde på 10 m og en bygningshøjde på 25 m. Den præcise værdi af disse højder har størst betydning for koncentration-niveauerne tæt på kilden, men kun marginal betydning for koncentrationerne ved målestationen HCAB, der befinder sig i en afstand af 80 meter fra kildens nærmeste punkt og 250 meter fra dens centrum. OML-beregningerne tager ikke højde for den detaljerede udformning af kilde og omgivelser.

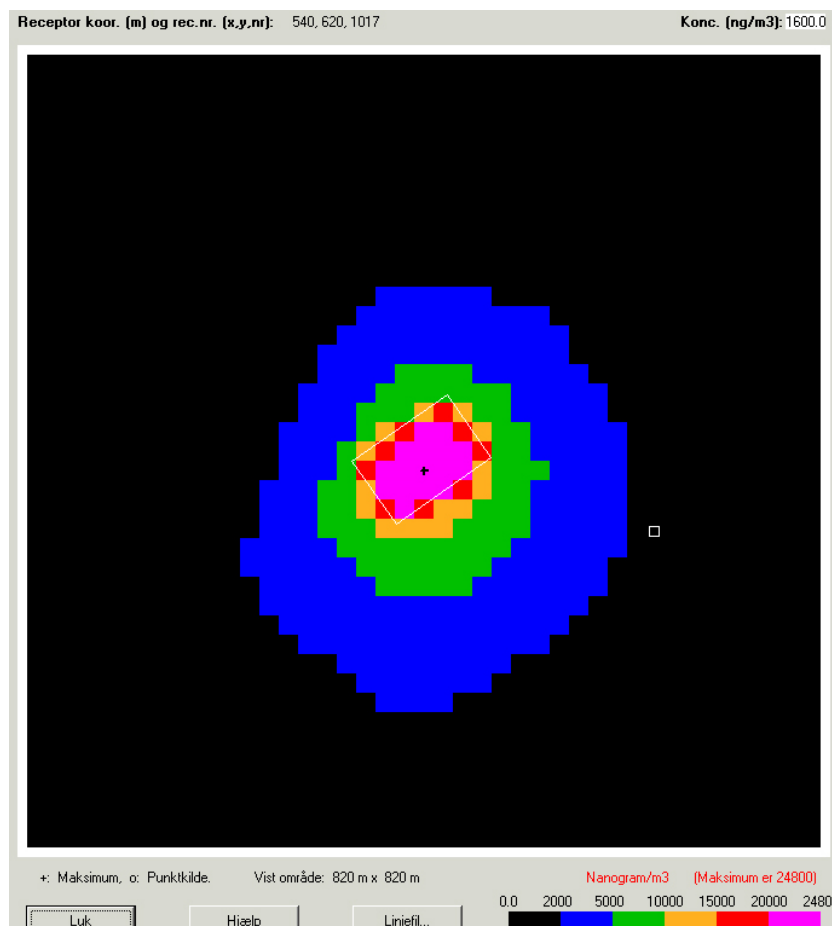
OML-beregningerne giver som resultat, at hvis der i 8 timer om dagen (kl. 8-16) emitteres 1 gram NO_x per sekund fra byggepladsen ved Industriens Hus, kan man på årsbasis forvente et koncentrationsbidrag på 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ved målestationen HCAB. Man kan foretage forholdsregning baseret på denne oplysning. Som beskrevet i kapitel 2 har været en forhøjelse af NO_x -niveauet på omkring 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i tiden siden sommeren 2010. Såfremt en emission ved Industriens Hus alene skulle bevirke en sådan forhøjelse, skulle der emitteres 22 g NO_x per sekund i dagtimerne.

Det afføder så et spørgsmål om, hvor mange entreprenørmaskiner der skal til for at emittere 22 g NO_x per sekund.

Figur 3.1. Området omkring målestationen HCAB. Ved OML-beregningerne er der placeret en arealkilde på det blå skraverede område. Baggrundskort: © Geodatastyrelsen.



Figur 3.2. Resultat af OML-beregningerne. Figuren skal tolkes som et kort, der for et område på 820 x 820 m viser koncentrationer af NO_x. Rektanglet i midten af figuren repræsenterer industriens Hus, mens målestationen HCAB er markeret som en lille hvid firkant. Den ligger i det sorte område, dvs. at koncentrationen er mindre end 2000 nanogram/m³ (den er 1.6 mikrogram/m³).



For at illustrere dette kan man definere et sæt af forskellige entreprenørmaskiner, som benyttes ved den pågældende type arbejder. Vi betragter et sæt af ikke-vejgående maskiner bestående af følgende typer maskiner:

- Gummihjulslæssere (> 5,1 tons)
- Hydrauliske gravemaskiner på hjul
- Dumpere
- Generator
- Kompressor
- Pumper

og betragter tre maskiner af hver type, nemlig en maskine der opfylder nyeste emissionsnorm, en maskine, der opfylder næst nyeste norm, og en maskine der opfylder en endnu ældre norm (undtagelse: for generatorer og kompressorer er der kun valgt to maskiner, fordi der kun er to emissionsnormer at vælge imellem). For dette sæt af maskiner (i alt 16 maskiner af forskellig art) tages den gennemsnitlige emission hentet fra den nationale emissionsopgørelse. Disse emissioner fremgår af Tabel 3.1. Hvis hele det betragtede sæt af maskiner er i aktivitet, emitteres der 1,09 g NO_x per sekund.

Når denne emission sættes i forhold til ovenstående beregninger fremgår det, at der kræves 20 sådanne sæt af entreprenørmaskiner (i aktivitet kl. 8-16) for at levere den emission på 22 g NO_x per sekund, der kræves for at udvirke den observerede forhøjelse af koncentrationer ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard.

Tabel 3.1. Et sæt af forskellige entreprenørmaskiner, der bruges som eksempel. Se teksten.

Udstyr	Emissionsnorm	Størrelse (kW)	Belastningsfaktor	NO _x g/s
Gummihjulslæssere (> 5,1 tons)	Stage I	120	0,5	0,13
Gummihjulslæssere (> 5,1 tons)	Stage II	120	0,5	0,08
Gummihjulslæssere (> 5,1 tons)	Stage IIIA	120	0,5	0,05
Hydr. gravemaskiner på hjul	Stage I	100	0,6	0,13
Hydr. gravemaskiner på hjul	Stage II	100	0,6	0,08
Hydr. gravemaskiner på hjul	Stage IIIA	100	0,6	0,05
Dumpere	Stage I	60	0,4	0,05
Dumpere	Stage II	60	0,4	0,04
Dumpere	Stage IIIA	60	0,4	0,03
Generator	1991-Stage I	45	0,5	0,07
Generator	Stage II	45	0,5	0,03
Kompressor	1991-Stage I	45	0,5	0,07
Kompressor	Stage II	45	0,5	0,03
Pumper	1991-Stage I	75	0,5	0,14
Pumper	Stage II	75	0,5	0,05
Pumper	Stage IIIA	75	0,5	0,04
Sum				1,09

Med så stor en krævet aktivitet (ca. 320 maskiner af forskellig art) virker det ikke plausibelt, at byggeriet ved Industriens Hus har nogen hovedrolle i den observerede forhøjelse af NO_x-koncentrationen på målestationen.

For fuldstændighedens skyld skal bemærkes, at man ikke får helt korrekte resultater, hvis man laver forholdsregning og antager, at såfremt emissionen foregår over hele døgnet vil man få tre gange så store koncentrationer som med en 8 timers arbejdsdag i dagtiden. I henhold til OML-beregninger vil koncentrationen ved HCAB med døgnarbejde blive næsten 5 gange så stor som på en 8 timers arbejdsdag. Det skyldes, at de meteorologiske forhold er mindre gunstige for fortynding af forureningen om aftenen og natten end om dagen.

Det skal endelig bemærkes, at *afstanden* til kilden er særdeles væsentlig. Med kort afstand til kilden fås væsentligt større koncentrationer.

Konklusionen er, at byggeriet ved Rådhuspladsen kun i mindre omfang kan have bidraget til de forøgede koncentrationer. Dette understøttes også af den omstændighed, at forhøjelsen af koncentrationer er fortsat på nogenlunde samme niveau efter at byggeriet ved Industriens Hus er ophørt.

3.3 Vindretningsafhængighed

For at identificere kilderne til den forøgede koncentration af NO₂ er det bedre at betragte NO_x, som er summen af NO og NO₂. NO_x giver det klareste billede af kilderne, fordi det varierer direkte med kildestyrken, hvorimod NO₂ afhænger af de kemiske reaktioner i atmosfæren (bl.a. dannelse af NO₂ ud fra

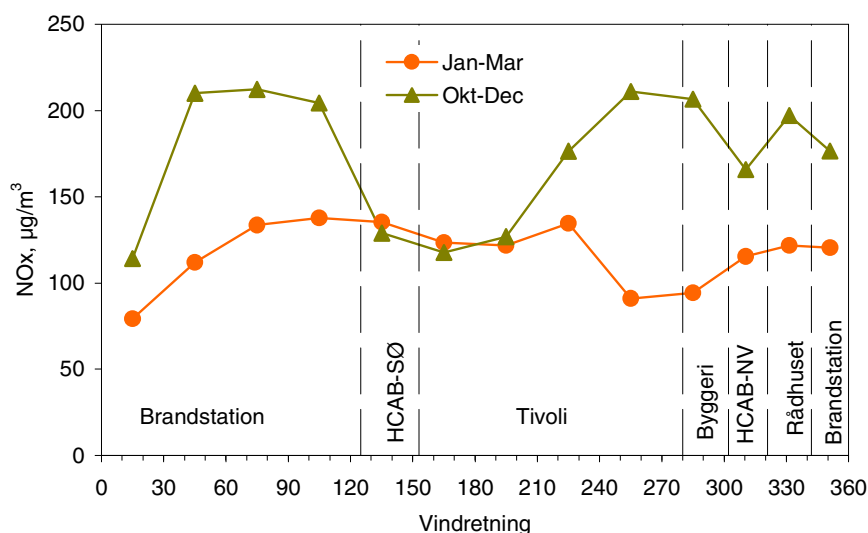
NO og ozon). På Figur 3.3 vises et detailkort over området omkring målestationen med angivelse af retninger for placering af Industriens Hus, Rådhuspladsen, HCAB (SØ og NV), Rådhus m.m. På Figur 3.4 ses de gennemsnitlige halvtimesmiddelkoncentrationer for NO_x fordelt på vindretninger. Vindretningerne er målt på en bybaggrundsstation over taget på H.C. Ørsted Institutet. Data er opdelt på to perioder, som er vist med hver sin kurve. Den ene angiver gennemsnittet for januar-marts 2010, og den anden gennemsnittet for oktober-december 2010. Den første periode ligger inden starten af byggeaktiviteter mv., mens den anden ligger efter starten. Det fremgår tydeligt, at koncentrationerne er betydeligt højere i oktober-december end i januar-marts, og at vindretningerne med forøgede koncentrationer dækker området med byggerierne ved Industriens Hus og Rådhuspladsen. Der ses ligeledes højere koncentrationer i vindretninger svarende til Tivoli og Brandstationen. For vindretningerne benævnt "Tivoli" blæser vinden tværs over H.C. Andersens Boulevard hen mod målestationen, hvilket derfor peger på, at trafikken spiller en rolle i forbindelse med de forøgede koncentrationer fra disse vindretninger. Med hensyn til vindretningerne svarende til Brandstationen, så må det ligeledes forventes, at de forhøjede koncentrationer for en stor del stammer fra trafikken på H.C. Andersens Boulevard på grund af den turbulenshvirvel, som opstår, når vind fra nord til øst blæser hen over Brandstationen. En mulighed er også, at lægning af forsyningsledninger på Vester Voldgade kunne bidrage med udledninger af NO_x , men her er der til gengæld ingen vejtrafik, hvilket fører til mindre udledninger.

For at opnå et mere kvantitativt billede af, hvor meget de forskellige vindretninger bidrager til gennemsnittet over hele perioden, er der foretaget en vægtning af koncentrationerne af NO_x med frekvensen af vind fra de forskellige vindretninger (Figur 3.5). Når koncentrationerne vægtes med vindretningsfrekvens, ses det, at byggeriet ved Industriens Hus stort set bidrager med den samme andel af NO_x i de to perioder. Det er vindretninger omkring 180–270 grader og 320–90 grader, som giver anledning til de forøgede koncentrationer af NO_x målt i oktober – december i forhold til januar – marts. Til gengæld giver vindretninger fra 90–150 grader anledning til lidt lavere NO_x i oktober – december i forhold til januar – marts.

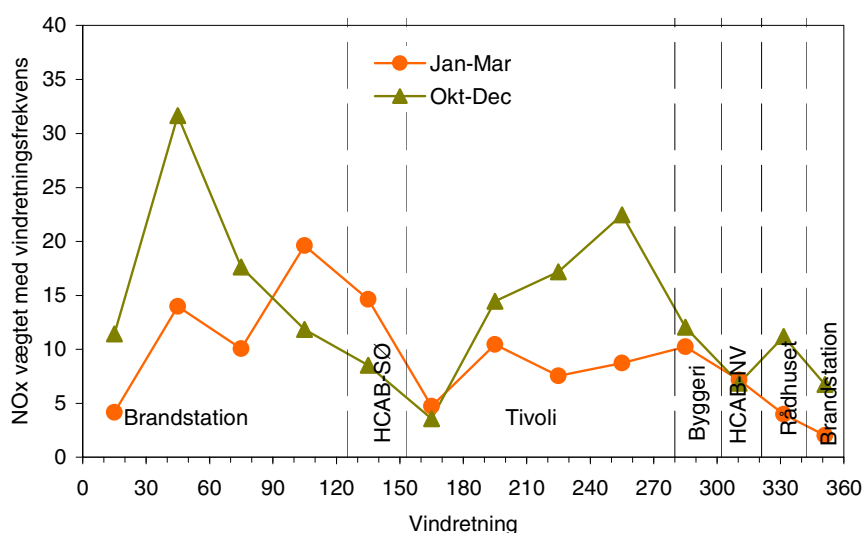
Figur 3.3. Kort med placering af målestation (rød plet) og angivelse af vindretninger. Kilde kort: Google Maps 2012.



Figur 3.4. Gennemsnitlige koncentrationer af NO_x fordelt efter vindretning for perioderne januar-marts og oktober-december 2010. Figuren angiver endvidere retning mod de væsentligste lokaliteter/bygninger i området. Byggeri angiver byggeplads ved Industriens Hus.



Figur 3.5. Gennemsnitlige koncentrationer af NO_x vægtet med vindretningsfrekvens og fordelt efter vindretning for perioderne januar-marts og oktober-december 2010. Figuren angiver endvidere retning mod de væsentligste lokaliteter/bygninger i området. Byggeri angiver byggeplads ved Industriens Hus.



Analysen af sammenhængen mellem de forøgede koncentrationer af NO_x og vindretninger giver derfor ikke et simpelt og entydigt svar på, i hvor høj grad byggerierne har været medvirkende årsag til de forøgede NO_x-koncentrationer i anden halvdel af 2010. Når NO_x-koncentrationerne vægtes med vindretningsfrekvens, ser det ud til, at byggeriet på Industriens Hus ikke medfører en forøget NO_x-belastning af målestationen. Data er derimod konsistente med, at det hovedsageligt er trafikken, som er årsagen til den forøgede NO_x-belastning.

Det skal bemærkes, at ovenstående analyse er foretaget på basis af vindretninger målt på taget af H.C. Ørsted Instituttet i Universitetsparken. Den har derfor ikke kunnet tage hensyn til den drejning af vinden, som altid forekommer i forbindelse med husene langs en vej.

4 Analyse af trafikken på H.C. Andersens Boulevard

4.1 Baggrund og formål

Siden sommeren 2010 er der forekommet en uventet stigning i de målte koncentrationer af kvælstofdioxid (NO₂) på målestationen på H.C. Andersens Boulevard i København, når man sammenligner med tidligere år.

Ændringer i trafikken er en af flere mulige forklaringer på, hvorfor der fortsat er forhøjede koncentrationer af NO₂ på H.C. Andersens Boulevard.

I dette kapitel er der fokus på, hvordan trafikken i form af årsdøgntrafik, køretøjsfordeling og rejsehastighed kan have ændret sig i perioden 2003-2012, da dette spiller en rolle for emissionen fra trafikken og dermed for luftkvaliteten. Analysen går helt tilbage til 2003, da dette indtil 2013 var det eneste år, hvor der foreligger en trafiktælling direkte ud for luftkvalitetsmålestationen på H.C. Andersens Boulevard.

4.2 Generel udvikling i trafikken i København

Trafikken udvikler sig ikke ens overalt i Københavns Kommune. I gennemsnit for trafikken der, hvor vejene krydser kommunegrænsen, har der siden 2000 været en vækst på omkring 6,5%. Fra 2010 til 2011 faldt trafikmængden dog med 1,2% og er i 2011 på niveau med trafikken i 2004. I gennemsnit for trafikken i det såkaldte sø-snit (hvor vejene krydser søerne og havnen) er faldet med 14,5% siden 2000. I 2011 faldt trafikmængden med 5,7 i forhold til 2010 (Københavns Kommune 2012).

Andelen af tunge køretøjer (dvs. lastbiler og busser over 3,5 tons) varierer fra strækning til strækning. I snittet med kommunegrænsen og i søsnittet i København ligger andelen på omkring 4,2% i 2011. Den tunge trafik over både kommunegrænsen og søsnittet har generelt været faldende siden 2000 frem til 2011 med hhv. 42% for kommunegrænsen og 45% over søsnittet (Københavns Kommune 2012). I perioden steg antallet af varebiler med 40% fra 2002 til 2011 på 14 undersøgte veje (COWI 2013).

COWI har for Københavns Kommune undersøgt mulige forklaringer herpå (COWI 2013). Der er peget på fire mulige hovedårsager:

- Nedgang i bygge- og anlægsaktiviteterne
- Udflytning af produktionsvirksomheder fra København til forstæderne
- Omlægning til mindre biler, hvor trafikken med varebiler er steget markant, mens den tunge trafik er faldet,
- Bedre konsolidering af godset. Transportørerne er blevet bedre til at samle godset på færre biler, hvorved trafikken reduceres.

Ovenstående vedrører lastbiler, men mængden af busser er også faldet, da antallet af busser på 14 undersøgte tællesteder i 2002 var 4.741 busser pr. dag og 3.714 busser pr. dag i 2011 svarende til et fald på 22%. Antallet af busser i fast rute har været nogenlunde konstant for disse 14 undersøgte tællesteder, så hele faldet ligger i gruppen turistbusser, hvor antallet er blevet halveret fra 2002 til 2011 (COWI 2013).

Den generelle udvikling har således været et væsentligt fald i andelen af lastbiler og turistbusser, en stigning i andelen af varebiler, mens de samlede trafikmængder har været svagt faldende.

4.3 Udvikling i årsdøgntrafikken på H.C. Andersens Boulevard

Københavns Kommune gennemfører løbende trafiktællinger på udvalgte vejstrækninger i Københavns Kommune. Der gennemføres dels kontinuerte maskinelle tællinger på enkelte strækninger, som giver trafikniveauet, dels manuelle tællinger typisk en gang om året på mange strækninger, hvor også køretøjsfordelingen baseret på observationer i tidsrummet kl. 07-19 angives (Københavns Kommune, 2012). I denne analyse er der anvendt resultater fra de manuelle tællinger leveret af Københavns Kommune.

Årsdøgntrafikken er den gennemsnitlige trafik pr. døgn for hele året inkl. ferie- og helligdage, og betegnes ÅDT. ÅDT beregnes ud fra manuelt talt trafik på følgende måde i følge Københavns Kommune. For tællinger til og med 2008 (som er talt kl. 6-18) ganges med 1,21 (køretøjer). For tællinger i 2009 og frem (som er talt kl. 7-19) ganges med 1,17 (køretøjer). Disse faktorer er baseret på kontinuerte trafiktællinger.

Trafiktællestationer

Der har desværre ikke været en trafik tællestation lige ud for luftkvalitetsmålestationen på H.C. Andersens Boulevard, men Københavns Kommune har besluttet at gøre dette sted til en tællestation med årlige manuelle tællinger, som første gang blev udført i april 2013. Der vil ligeledes blive en årlig manuel trafiktælling ud for luftkvalitetsmålestationen på Jagtvej. I forbindelse med et forskningsprojekt blev trafikken på H.C. Andersens Boulevard talt ud for målestationen som en manuel tælling tilbage i 2003, og resultaterne herfra vil også blive inddraget i analysen selvom tællingen er 10 år gammel. Da der kun er disse to trafiktællinger lige ud for målestationen er det vanskeligt at basere en trend på disse to tællinger, idet der er usikkerhed på den enkelte tælling. Det er derfor ønskeligt at have en længere tidsserie af manuelle tællinger for at kunne uddrage en trend.

Vurdering af udviklingen i ÅDT er derfor også suppleret med data fra trafiktællestationer, som kan tænkes at være repræsentative for strækningen ud for målestationen, og hvorfra der foreligger lange tidsserier.

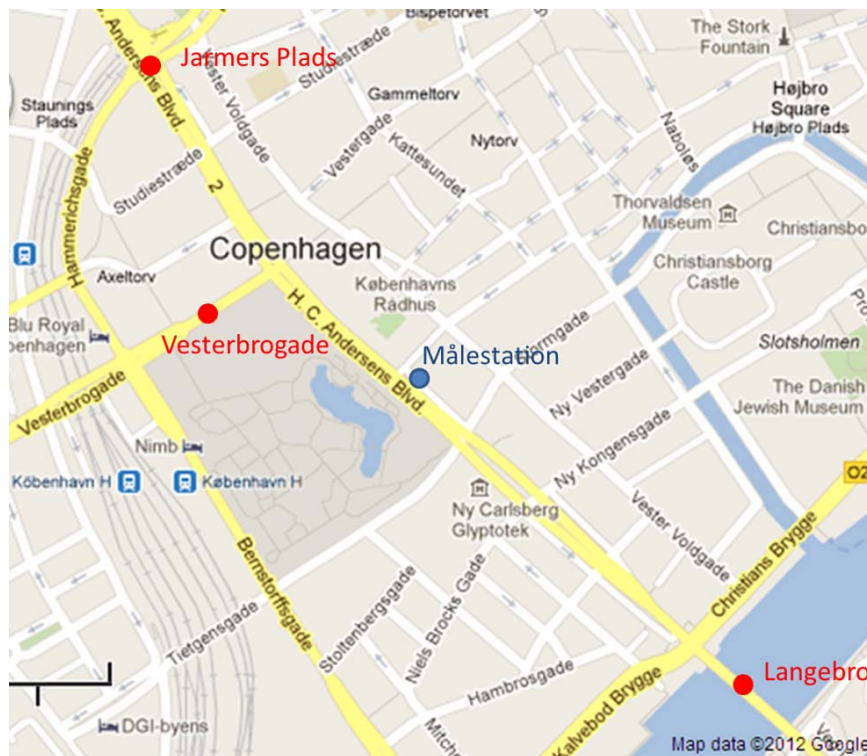
Der er en trafiktællestation på H.C. Andersens Boulevard, sydøst for Jarmers Plads (tællestation nr. 1). Denne trafiktællestation er i de efterfølgende figurer benævnt Jarmers Plads. Trafiktællestationen kunne tænkes at være repræsentativ for trafikken på H.C. Andersens Boulevard, hvor luftkvalitetsmålestationen er placeret. Dog kan noget af trafikken i sydlig retning dreje fra ved Vesterbrogade, ligesom der kan komme trafik fra Vesterbrogade til vejstrækningen ved målestationen, og der er også mindre veje som Studies træde og Axeltorv.

Langebrogade (tællestation nr. 29) kunne også tænkes at være repræsentativ, men trafik kan også dreje fra og komme til fra Stormgade/Tietgensgade samt nogle mindre veje.

Vesterbrogade vest for Rådhuspladsen (tællestation nr. 52) kunne også give nogle indikationer af udviklingen på strækningen ud fra luftkvalitetsmålestationen, da denne gade både leverer og aftager trafik fra H.C. Andersens Boulevard.

Placering af de forskellige trafiktællestationer i forhold til luftkvalitetsmålestationen er vist i Figur 4.1.

Figur 4.1. Placering af trafiktællestationer (rød cirkel) og luftkvalitetsstation (blå cirkel)



Manuelle tællinger

Den første manuelle tælling direkte ud for målestationen er fra torsdag 9. okt. 2003 og viste 61.200 køretøjer i døgnet (0-24 timer). Der blev talt 48.780 køretøjer i perioden kl. 6-18, hvilket når det ganges op til ÅDT er 58.050.

Onsdag den 24. april 2013 blev der foretaget en ny manuel trafiktælling på vejstrækningen lige ud for målestationen på H.C. Andersens Boulevard i tidsrummet kl. 7-19, hvor der blev talt 47.363 køretøjer. Københavns Kommune har omregnet talt trafik til ÅDT til 55.400 (Hansen 2013)

Tabel 4.1. ÅDT ud fra manuelle trafiktællinger ud fra målestationen på H.C. Andersens Boulevard

	9. okt. 2003	24. april 2013
ÅDT	58.050	55.400

Hvis disse manuelle tællinger alene lægges til grund for udviklingen i ÅDT på H.C. Andersens Boulevard er trafikken faldet med knap 5% på 10 år fra 2003 til 2013.

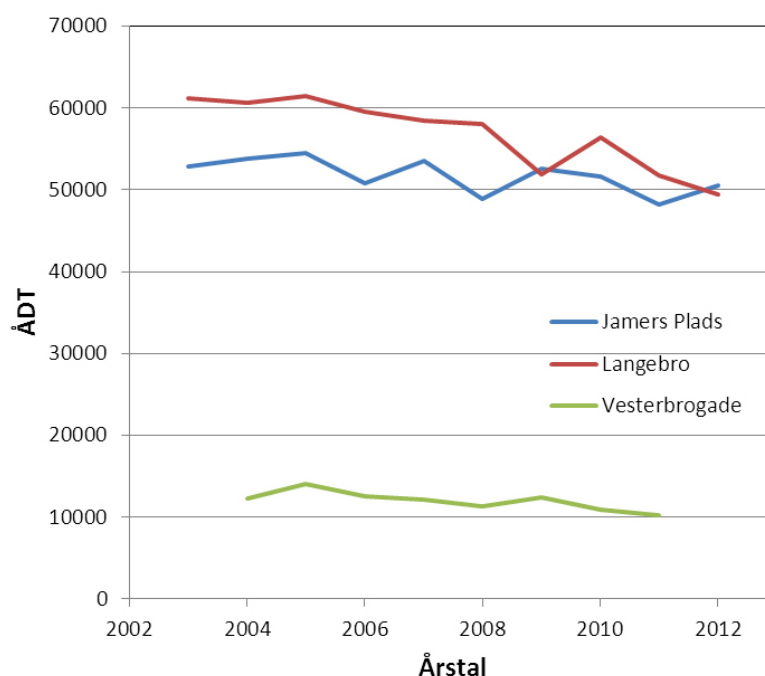
De to manuelle tællinger kan dog ikke sige noget om en eventuel ændring i ÅDT umiddelbart før eller efter det observerede spring i NO₂ koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard.

For årene 2003 til 2012 er udviklingen i ÅDT vist for de tre trafiktællestationer (Jarmers Plads, Langebro og Vesterbrogade) i Tabel 4.2 og illustreret i Figur 4.2.

Tabel 4.2. Udvikling i ÅDT på tre trafiktællestationer

Årstal	Jarmers Plads	Langebro	Vesterbrogade
2003	52800	61200	n.a.
2004	53800	60700	12300
2005	54500	61400	14000
2006	50800	59600	12600
2007	53500	58500	12200
2008	48900	58000	11400
2009	52600	51900	12400
2010	51600	56400	10900
2011	48200	51800	10200
2012	50500	49500	n.a.

Figur 4.2. Udvikling i ÅDT på tre trafiktællestationer.



Det ses, at der for alle tre trafiktællestationer har været tale om en generel faldende tendens for ÅDT siden 2003. Faldet på Langebro har været 15% fra 2003 til 2011 og 8% for Jarmers Plads på baggrund af regressionslinjerne gennem målepunkterne. I gennemsnit har det været 11%. Tilsvarende har der også været et generelt fald i trafikken over sø-snittet i den samme periode, hvor trafikken er faldet med omkring 15% fra 2000 til 2011 (Københavns Kommune 2012).

Ud fra ovenstående analyse af de omkringliggende tællestationer er der således ikke noget, der tyder på, at trafikken skulle have været stigende omkring sommeren 2010 og frem, hvor de forhøjede koncentrationer af NO₂ blev konstateret og efterfølgende er forblevet på et højt niveau. Tværtimod peger analysen på, at trafikken har haft en faldende tendens på de tre tælle-

stationer, som det er nærliggende at benytte som indikatorer for trafikken ved luftkvalitetsmålestationen.

De to eneste manuelle tællinger ud for målestationerne fra 2003 og 2013 indikerer også et fald i ÅDT på omkring 5% fra 2003 til 2012. Disse to manuelle trafiktællinger belyser dog ikke, om der kunne have været en trafikstigning på H.C. Andersens Boulevard i 2010 og frem pga. lukning af Vester Voldgade for gennemkørende trafik, som kunne have øget trafikken på H.C. Andersens Boulevard.

Vurderet på baggrund af trafiktællinger fra de omkringliggende tællestationer skulle man forvente et gradvist mindre fald af ÅDT siden 2003, hvilket vil resultere i en ÅDT ved luftmålestationen på 51.500 i 2011 (11% fald siden 2003). Imidlertid er ÅDT ved den nyeste tælling ved selve luftkvalitetsmålestationen fundet til 55.400 (5% fald siden 2003). ÅDT er dermed omkring 6% højere end forventet ud fra den generelle trend.

Der mangler konkrete holdepunkter til at fastslå, hvordan forløbet i ÅDT faktisk har været ved målestationen i perioden 2003 til 2013. Det er tænkeligt, men udokumenteret, at udviklingen indtil 2010 har været som for de omkringliggende veje med faldende trafik, og at der i 2010 kunne være indtruffet en stigning i trafikmængden på H.C. Andersens Boulevard som konsekvens af, at Vester Voldgade har været lukket for gennemkørende trafik siden 2010. De eneste data, som underbygger dette er, at ÅDT ved luftmålestationen nu i 2013 er omkring 6% højere end forventet ud fra den generelle trend på Jarmers Plads og Langebro. Men der kan ikke drages håndfaste konklusioner omkring dette pga. usikkerheder ved de to manuelle tællinger ud for målestationen.

4.4 Udvikling i køretøjsfordeling på H.C. Andersens Boulevard

Københavns Kommune har et omfattende program for trafiktællinger bestående af manuelle tællinger, som giver detaljerede oplysninger om køretøjs sammensætningen. Tællinger gennemføres på en hverdag, og blev til og med 2008 talt kl. 6-18 og fra 2009 kl. 7-19.

Manuelle trafiktællinger ud fra målestation

Tabel 4.3 viser resultater fra de to eneste manuelle trafiktællinger ud for luftkvalitetsmålestationen på H.C. Andersens Boulevard fra 2003 og 2013. Tællingen i 2003 var en del af et forskningsprojekt og havde bl.a. til formål at få oplysninger om taxier og om trafikken om natten, herunder om natten i weekenden. Taxier blev desværre ikke talt i 2013.

Tabel 4.3. Eneste manuelle trafiktællinger ved målestation på H.C. Andersens Boulevard.

H.C. Andersens Boulevard ved målestation:	2003 Kl. 6-18 Torsdag 9. okt	2013 Kl. 7-19 Onsdag 24. apr
Køretøjsgruppe:	(%)	(%)
PERSONBILER	76,1	76,3
TAXI	5,8	
MOTORCYKLER	1,0	0,8
VAREVOGNE (MAX. 3,5 T)	11,7	19,4
A: LET TRAFIK IALT	94,6	96,5
SOLOLASTBILER, 2 aksler	3,7	0,9
SOLOLASTBILER, 3 aksler	0,2	0,4
KØRETØJER 4 - flere aksler	0,2	0,9
BUSSER I FAST RUTE	0,3	0,9
ANDRE BUSSE	0,9	0,4
B: TUNG TRAFIK IALT	5,4	3,5
A+B: KØRETØJER IALT	100	100
Talt trafik	48780	47363

Den generelle udvikling i København med faldende andel af lastbiler og turistbusser samt en stigning i andelen af varebiler ses også på H.C. Andersens Boulevard. For busser i fast rute er der dog tale om en stigning.

Udvikling på formodede repræsentative tællestationer

Udviklingen i køretøjsfordelingen for de tre trafiktællestationer, som formodes at være indikatorer for trafikken på H.C. Andersens boulevard ud for luftkvalitetsmålestationen er vist i Tabel 4.4, Tabel 4.5 og Tabel 4.6.

Tabel 4.4. Udvikling i køretøjsfordeling på H.C. Andersens Boulevard, ved Jarmers Plads (tællested nr. 1).

H.C. Andersens Boulevard, ved Jarmers Plads (Tællested 1)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Køretøjsgruppe:	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
PERSONBILER	77,7	78,5	78,0	77,5	78,8	76,1	78,7	75,3	74,7	76,3
MOTORCYKLER	1,2	1,0	1,1	1,2	1,1	1,0	1,1	1,2	0,6	0,5
VAREVOGNE (MAX. 3,5 T)	13,6	14,5	15,4	17,1	14,8	18,0	16,2	18,9	21,3	19,5
A: LET TRAFIK IALT	92,5	94,0	94,5	95,7	94,8	95,0	96,1	95,3	96,5	96,3
SOLOLASTBILER, 2 aksler	3,8	3,3	2,2	2,0	2,5	2,2	1,0	0,9	0,8	0,9
SOLOLASTBILER, 3 aksler	0,9	0,5	0,7	0,4	0,6	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4
KØRETØJER 4 - flere aksler	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,7	1,2	0,9	1,1
BUSSER I FAST RUTE	1,6	1,4	1,4	1,1	1,0	1,2	1,3	1,1	1,0	1,0
ANDRE BUSSE	1,0	0,5	0,8	0,5	0,9	0,7	0,5	1,1	0,3	0,3
B: TUNG TRAFIK IALT	7,6	6,0	5,5	4,3	5,2	5,0	3,9	4,7	3,5	3,7
A+B: KØRETØJER IALT	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabel 4.5. Udvikling i køretøjsfordeling på Langebro (tællested nr. 29).

Langebro (Tællested 29)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Køretøjsgruppe:	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
PERSONBILER	77,2	77,4	77,3	78,2	77,7	72,6	74,0	75,2	75,5	75,2
MOTORCYKLER	1,3	1,0	0,9	0,8	1,1	1,1	1,2	0,9	0,8	0,7
VAREVOGNE (MAX. 3,5 T)	14,7	15,0	15,2	14,1	14,5	20,2	19,2	18,3	19,4	19,2
A: LET TRAFIK IALT	93,2	93,5	93,5	93,1	93,2	93,9	94,4	94,4	95,6	95,2
SOLOLASTBILER, 2 aksler	3,2	3,1	3,2	3,3	3,4	2,8	2,1	1,9	1,4	1,1
SOLOLASTBILER, 3 aksler	0,4	0,5	0,4	0,7	0,7	0,8	0,6	0,5	0,4	0,5
KØRETØJER 4 - flere aksler	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,7	1,0	0,8	1,2
BUSSE I FAST RUTE	1,8	1,8	1,6	1,5	1,5	1,4	1,5	1,4	1,4	1,6
ANDRE BUSSE	1,1	0,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7	0,7	0,4	0,4
B: TUNG TRAFIK IALT	6,8	6,5	6,5	6,9	6,8	6,1	5,6	5,6	4,4	4,8
A+B: KØRETØJER IALT	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabel 4.6. Udvikling i køretøjsfordeling på Vesterbrogade (tællested nr. 52).

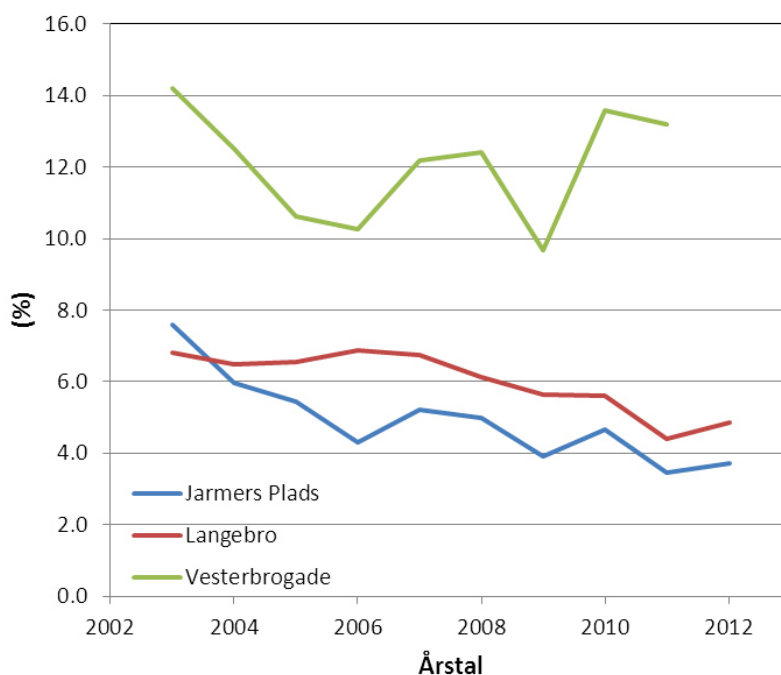
Vesterbrogade (Tællested 52)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Køretøjsgruppe:	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
PERSONBILER	67,2	69,0	74,8	73,9	72,4	67,5	65,2	64,4	64,3
MOTORCYKLER	1,2	1,0	0,7	0,9	1,4	0,9	1,1	1,0	0,8
VAREVOGNE (MAX. 3,5 T)	16,8	17,5	13,9	14,9	14,1	19,1	24,0	21,0	21,6
A: LET TRAFIK IALT	85,3	87,5	89,4	89,8	87,8	87,6	90,3	86,4	86,8
SOLOLASTBILER, 2 aksler	2,4	2,4	2,6	3,7	3,8	3,4	1,3	2,2	1,9
SOLOLASTBILER, 3 aksler	1,0	0,8	0,4	0,3	0,4	0,2	0,6	0,6	0,6
KØRETØJER 4 - flere aksler	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,8
BUSSE I FAST RUTE	8,8	7,9	6,1	4,8	6,3	6,8	6,6	9,0	8,8
ANDRE BUSSE	1,8	1,2	1,4	1,2	1,5	1,9	1,0	1,2	1,1
B: TUNG TRAFIK IALT	14,2	12,5	10,6	10,2	12,2	12,4	9,7	13,6	13,2
A+B: KØRETØJER IALT	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Udviklingen på disse tre trafiktællestationer følger ligeledes den generelle udvikling i København med faldende andel af lastbiler og turistbusser samt en stigning i andelen af varebiler. For busser i fast rute er der tale om et fald på to af tællestationerne og mere eller mindre konstant men varierende for en af dem (Vesterbrogade).

Udviklingen i tung trafik

I Figur 4.3 vises udviklingen i den tunge trafik for de tre trafiktællestationer, som formodes at være indikatorer for trafikken på H.C. Andersens Boulevard ud for luftkvalitetsmålestationen. Tung trafik omfatter lastbiler og busser.

Figur 4.3. Udviklingen i andelen af tung trafik på 3 trafiktællestationer.



Det ses, at udviklingen i den tunge trafik på H.C. Andersens Boulevard ved Jarmers Plads og på Langebro har fulgt den generelle tendens med lavere andel af tung trafik og med omtrent samme størrelsesorden som gennemsnittet over kommunegrænsen og søsnittet.

Andelen af tung trafik på Vesterbrogade er meget høj, men varierende og med stigende tendens. Langt størstedelen af den tunge trafik er dog busser i fast rute, idet de udgør omkring 9 procentpoint i 2010 og 2011. Dette illustrerer også, at andelen af rutebusser i sagens natur er meget varierende fra gade til gade, da det afhænger af, hvor der er busruter. Vesterbrogade synes derfor ikke repræsentativ for H.C. Andersens Boulevard, hvad angår tung trafik.

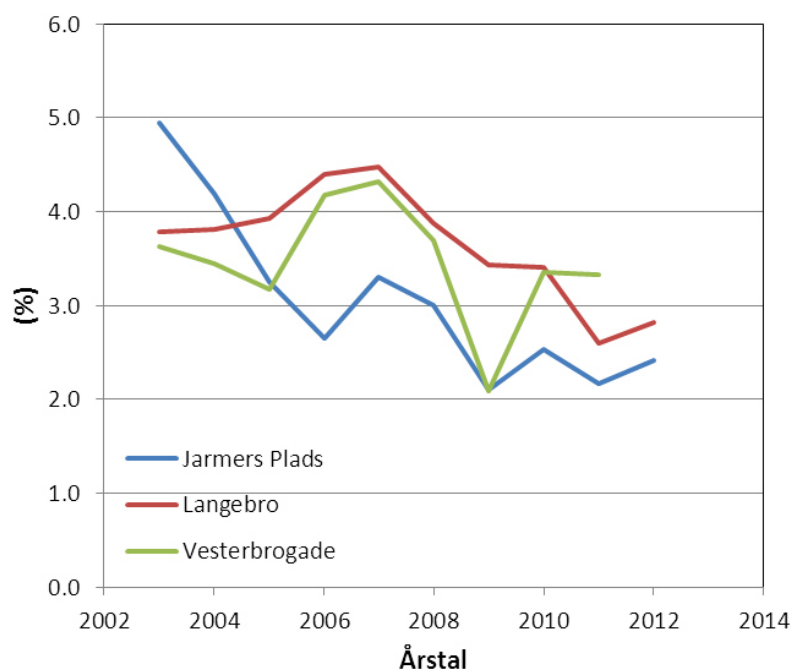
Ud fra ovenstående er der ikke noget, der tyder på, at der er sket drastiske ændringer i andelen af tung trafik omkring 2010, som kan forklare forhøjede NO₂ koncentrationer på H.C. Andersens Boulevard, idet der snarere er tale om en faldende tendens i andelen af tung trafik.

På baggrund af den generelle udvikling i København og udviklingen på Jarmers Plads og Langebro er det sandsynligt, at den tunge trafik på H.C. Andersens Boulevard ud for luftkvalitetsmålestationen også er faldet, og at andelen af tunge køretøjer målt i 2003 ud for luftkvalitetsmålestationen på H.C. Andersens Boulevard derfor er for høj i forhold til situationen i 2011.

Udvikling i lastbiltrafikken

I Figur 4.4 vises udviklingen i lastbiltrafikken på de tre tællestationer.

Figur 4.4. Udviklingen i andelen af lastbiler på 3 trafiktællestationer.



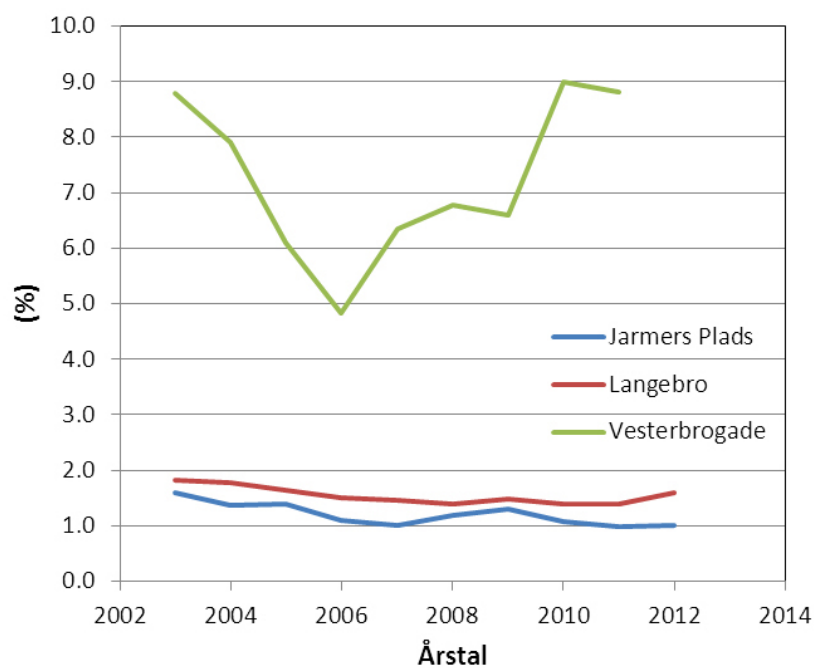
Lastbiltrafikken har vist en faldende tendens, men varierer meget fra gade til gade. For Jarmers Plads er faldet fra 2003 til 2012 på omkring 50%, Langebro på 25% og Vesterbrogade på 8% (2003-2011).

Lastbiltrafikken blev talt til 4,1% i 2003 og til 2,2% i 2013 ud for luftkvalitetsmålestationen på H.C. Andersens Boulevard, og faldet er her omkring 50%.

Udvikling i rutebustrafikken

I Figur 4.5 er vist udviklingen i rutebustrafikken på de tre tællestationer.

Figur 4.5. Udviklingen i andelen af rutebustrafik på 3 trafiktællestationer.



Det ses, at rutebustrafikken for Jarmers Plads og Langebro har været faldende omkring 35% og 10% fra 2003 til 2012. Andelen på Vesterbrogade har været meget varierende og har samme niveau i 2003 og 2011. Tendensen er lidt anderledes end den generelle udvikling på de 14 tællestationer, som indgik i COWI's undersøgelse, som viste et nogenlunde konstant niveau (COWI 2013).

Rutebustrafikken blev talt til 0,3% i 2003 og til 0,9% i 2013 ud for luftkvalitetsmålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Den er dermed steget med en faktor 3, hvilket afviger fra det generelle mønster.

Vurdering af bustrafik ud for målestation ud fra køreplaner

Da andelen af busser kan variere meget fra gade til gade afhængig af busruter, er der lavet en særkilt analyse af antallet af rutebusser på vejstrækningen ud for luftkvalitetsmålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Movia's hjemmeside (www.movia.dk) er anvendt til at identificere buslinjer på H.C. Andersens Boulevard ud for målestationen (Figur 4.6).

Figur 4.6. Buslinjer på vejstrækning ud for luftkvalitetsmålestation på H.C. Andersens Boulevard. Buslinjerne 12, 14, 26 og 33. Sorte udfyldte cirkler er stoppesteder. (www.movia.dk).



Der er følgende buslinjer ud for luftkvalitetsmålestationen på H.C. Andersens Boulevard: 12, 14, 26 og 33. Ud fra køreplanerne er rutebustrafikken opsummeret i Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Rutebustrafik på H.C. Andersens Boulevard ud for luftkvalitetsmålestation i april 2013 (Antal rutebusser)

Linje	Hverdage Nord på	Hverdage Syd på	Hverdage Begge retn.	Lørdage Nord på	Lørdage Syd på	Lørdage Begge retn.	Søndage Nord på	Søndage Syd på	Søndage Begge retn.
12	62	61	123	52	51	103	45	49	94
14	73	73	146	59	60	119	48	47	95
26	91	92	183	96	82	178	52	52	104
33	82	81	163	74	73	147	63	61	124
I alt	308	307	615	281	266	547	208	209	417

Den samlede rutebustrafik er 615 på hverdage, 547 på lørdage og 417 på søndage, og for en gennemsnitsdag 577. En tilsvarende optælling blev foretaget i maj 2012, som viste 667 på hverdage, 588 på lørdage og 485 på søndage, og for en gennemsnitsdag 630. Rutebustrafikken er således faldet med 8% fra 2012 til 2013. Det dækker over fald på alle linjer undtagen linje 26. Natbussen 94N kører ikke længere på strækningen, men havde kun meget få afgang.

Ved den manuelle tælling i 2003 var der tilsvarende kun omkring 0,3% (160 rutebusser) , og det tyder således på, at der er blevet mere rutebustrafik de sidste 10 år på H.C. Andersens Boulevard modsat den generelle tendens, som har været nogenlunde konstant. For rutebustrafikken er det derfor vigtigt at have trafikdata for den pågældende vej.

De to busstoppesteder, der er vist på Figur 4.6 eksisterende også i maj 2012 og med samme placering ifølge Movia's hjemmeside. Ændringer i placering af stoppesteder, især tæt på målestationen ville potentielt kunne påvirke de målte koncentrationer.

Movia's hjemmeside viser kun de aktuelle buslinjer, og det er således ikke muligt at bestemme buslinjer i 2009, 2010, og 2011, og det har ikke været muligt indenfor projektets tidsramme at indhente og analysere informationer fra Movia om bustrafikken i 2009-2011.

De forskellige vejarbejder kan have påvirket bustrafikken. Vi har ikke et præcist billede af, hvor de har fundet sted, hvor længe og hvilke dele af trafikken, som er påvirket.

Vester Voldgade har pga. vejombygning været spærret i længere tid, men det har ikke været en gade med meget bustrafik, så det er ikke sandsynligt, at dette skulle have påvirket rutebustrafikken på H.C. Andersens Boulevard. I dag er det kun 11A, som betjener dele af Vester Voldgade.

Fra januar til udgangen af 2012 blev der lagt fjernvarmerør og fjernkølerør på Bernstoffsgade, som var spærret for biltrafik i denne periode, men bustrafikken kunne fortsat køre på strækningen. Dette formodes derfor ikke at have påvirket rutebustrafikken.

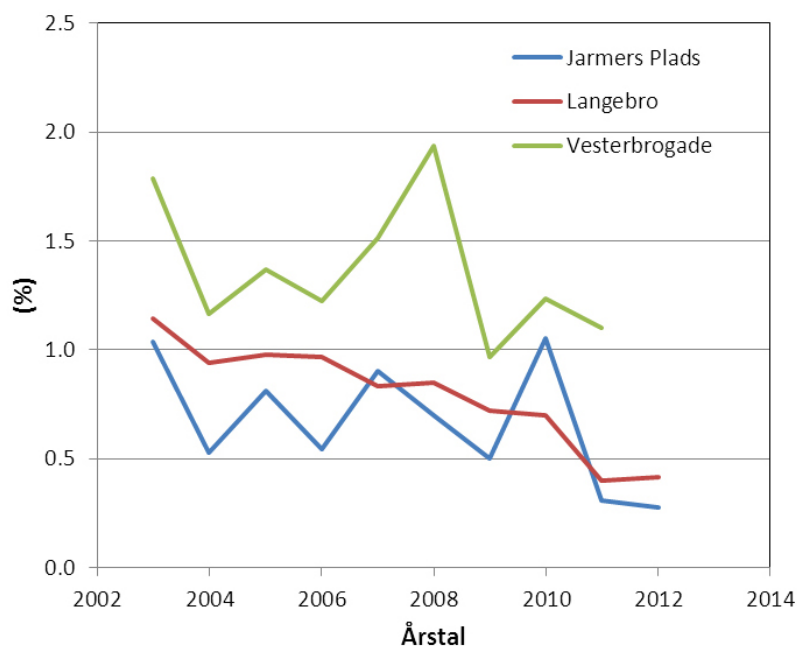
Analysen tyder på, at rutebustrafikken på H.C. Andersens Boulevard ud for målestationen har været stigende fra 2003, dog med et målt fald på 8% fra 2012 til 2013. Det var de samme buslinjer som betjente H.C. Andersens Boulevard i 2012 og 2013 med undtagelse af natbussen 94N, som havde meget få afgang. Kendt vejarbejde på Vester Voldgade og Bernstoffsgade formodes ikke at have påvirket rutebustrafikken på H.C. Andersens Boulevard, men

andre vejarbejder kan have gjort det. På grund af manglende information om rutebustrafikken i 2009, 2010 og 2011 kan der ikke drages sikre konklusioner om, hvordan rutebustrafikken kan have påvirket NO₂ koncentrationerne på H.C. Andersens Boulevard fra sommeren 2010-2012, men der ville skulle være tale om meget store ændringer for at rutebustrafikken alene skulle kunne forklare forhøjede koncentrationer i 2010-2012.

Udvikling i andre busser

I Figur 4.7 er vist udviklingen for andre busser (primært turistbusser) på de tre tællestationer.

Figur 4.7. Udviklingen i andelen af andre busser (primært turistbusser) på 3 trafiktællestationer.



Det ses, at der har været et generelt fald i andre busser for alle tre tællestationer. Faldet er omkring 75%, 65% og 40% for hhv. Jarmers Plads, Langebro og Vesterbrogade fra 2003 til 2011/12. Det gennemsnitlige fald er 60%.

Den generelle udvikling på de 14 tællestationer, som indgik i COWI's undersøgelse, viste et fald på omkring 22% fra 2002 til 2011 (COWI 2013) for bustrafikken som helhed. Dette tilskrives næsten udelukkende faldet i turistbusser, da rutebustrafikken var nogenlunde konstant. For de tre tællestationer falder bustrafikken (rute og turistbusser) med omkring 50%, 30% og 6% for hhv. Jarmers Plads, Langebro og Vesterbrogade fra 2003 til 2011/12. Det ser således ud til, at de tre tællestationer har større reduktion i både rutebusser og turistbusser end den generelle tendens.

I procentberegningerne for de tre tællestationer er disse alene baseret på ændringer i køretøjsfordelingen, og det er således implicit antaget, at ÅDT er den samme. Da ÅDT rent faktisk er faldet med omkring 11% fra 2003 til 2012, er antallet af busser faldet lidt mere i procent end angivet ovenfor. COWI's procenttal er beregnet ud fra udviklingen i antallet af f.eks. busser.

I tællingen ud for målestationen fra 2003 udgjorde turistbusser omkring 0,9% af trafikken og i kun 0,4% i 2013. Der har således også været et kraftigt fald i andre busser ved målestationen.

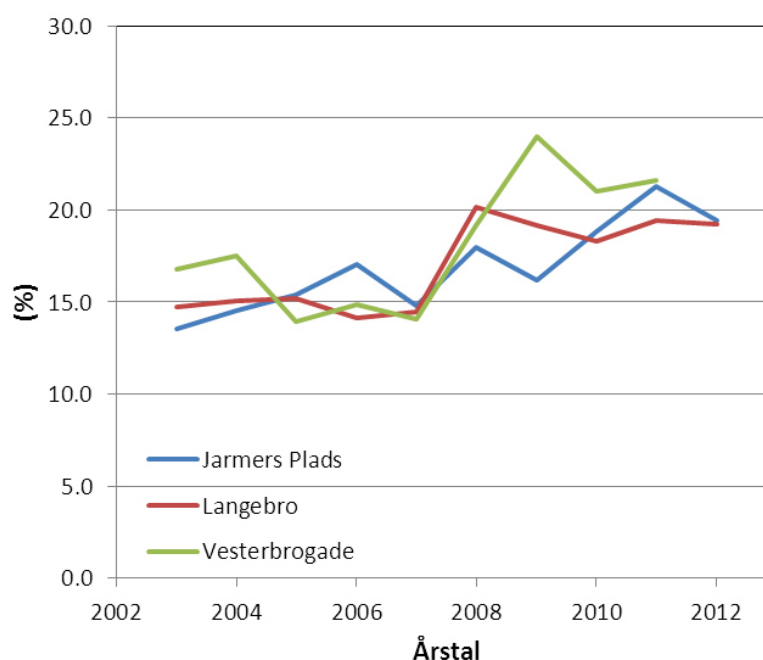
I den nationale statistik over bilparken er fordelingen af rutebusser og turistbusser: 71% rutebusser og 29% turistbusser. I det talte trafikdata fra 2003 på H.C. Andersens Boulevard er det næsten omvendt, da der er 3-4 gange flere turistbusser end rutebusser. I 2013 er der god overensstemmelse med den nationale statistik, da fordelingen af rutebusser og turistbusser er 69% rutebusser og 31% turistbusser.

Der er således intet, der tyder på, at turistbusser er steget omkring 2010, og at dette skulle være en forklaring på stigende NO₂ koncentrationer.

Varebiler

I Figur 4.8 viser udviklingen for varebiler på de tre tællestationer.

Figur 4.8. Udviklingen i andelen af varebiler på 3 trafiktællestationer.



Der ses en tydelig tendens til en markant stigning i varebiler på de 3 tællestationer. Stigningen er omkring 45%, 30 % og 30% for hhv. Jarmers Plads, Langebro og Vesterbrogade fra 2003 til 2011/12. Den gennemsnitlige stigning er 35%.

I perioden steg antallet af varebiler med 40% fra 2002 til 2011 på 14 undersøgte veje i København (COWI 2013), hvilket passer godt overens med tendensen for de 3 tællestationer omkring H.C. Andersens Boulevard. Det har dog været en glidende udvikling, som ikke specielt kan forklare de forhøjede NO₂ koncentrationer på H.C. Andersens Boulevard omkring 2010 og frem.

I 2003 blev der ud for luftkvalitetsmålestationen målt 11,7% varebiler og i 2013 19,4%.

Det relative bidrag fra varebiler til NO_x emissionen i forhold til andre køretøjskategorier har været stigende i perioden, mens det relative bidrag fra tung trafik har været faldende. Beregnes ændringen i antallet af varebiler og antallet af lastbiler fra 2003 til 2013 for trafiktællestationen ved H.C. Andersens Boulevard ud fra ÅDT og køretøjsfordelingen ses, at der er kommet 3956 flere varebiler og 1161 færre lastbiler i perioden, dvs. at der kommet

væsentligt flere varebiler end det tilsvarende fald i antallet af lastbiler. Da NO_x emissionsfaktorerne (g/km) er omkring 6 gange lavere for varebiler i forhold til lastbiler er der en samlet reduktion i NO_x emissionen som følge af flere varebiler og færre lastbiler. Der er således ikke noget, der tyder på, at udviklingen i flere varebiler og færre lastbiler skulle kunne forklare de forhøjede NO_2 koncentrationer fra 2010 og frem.

Taxier

Taxier bliver ikke som standard talt i manuelle trafiktællinger, og vi har derfor kun trafiktællinger fra ganske få gader, hvor tællingen har været gennemført i forbindelse med forskningsprojekter. Ud fra tællingen i 2003 ud for luftkvalitetsmålestationen kan andelen af taxier på en gennemsnitlig uge estimeres til 7,5%.

Der er ingen grund til at tro, at andelen af taxier har været stigende i perioden 2010-2012, da den økonomiske krise sandsynligvis har reduceret efterspørgsel efter taxier. Dette er tendensen på landsplan, hvor trafikarbejdet i taxi har været svagt stigende op til 2008, hvorefter det er faldet svagt i 2009 - 2011 (www.vd.dk) (Tabel 4.8). Denne tendens gør sig sandsynligvis også gældende i København.

Tabel 4.8. udviklingen i det nationale trafikarbejde for taxier (mio. kørte km).

Årstal	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Taxi	518	510	510	520	534	541	504	490	480

Der er således intet der tyder på, at taxier er steget omkring 2010, og at dette skulle være en forklaring på stigende NO_2 koncentrationer.

Endvidere er emissionen fra taxier faldende i perioden fra 2009 pga. af loven om grønne taxier, hvor Euro 5 er påkrævet fra den 15. september 2009 for nye taxier, og fra den 1. januar 2011 skal nye taxier opfylde Euro 6. Grønne taxier er dog i praksis ikke indfaset så hurtigt, da der har været så få modeller på markedet, der opfyldte kravene om Euro 6, at Trafikstyrelsen har udsendt kravet, således der fortsat er et krav, om at nye taxier som minimum skal opfylde Euro 5.

Personbiler

For de tre tællestationer har andelen af personbiler stort set været konstant i perioden 2003 til 2012 med få procentpoints udsving, som det fremgår af Tabel 4.4, Tabel 4.5, og Tabel 4.6, og der har kun været et meget svagt fald på 2-4%. Det faktiske antal personbiler er faldet.

Ud for luftkvalitetsmålestationen blev der i 2003 målt 81,9% personbiler inkl. taxier og i 2013 76,3%. Andelen er derfor faldet lidt i overensstemmelse med, at varebilandelen er steget.

4.5 Udvikling i rejsehastighed

Lavere rejsehastigheder vil give anledning til øget emission og dermed højere NO_x/NO_2 koncentrationer. Der er derfor gennemført analyser af, om rejsehastigheden har ændret sig over tid.

I forbindelse med dette arbejde er benyttet datasæt fra to forskellige kilder, nemlig Vejdirektoratet og Københavns Kommune.

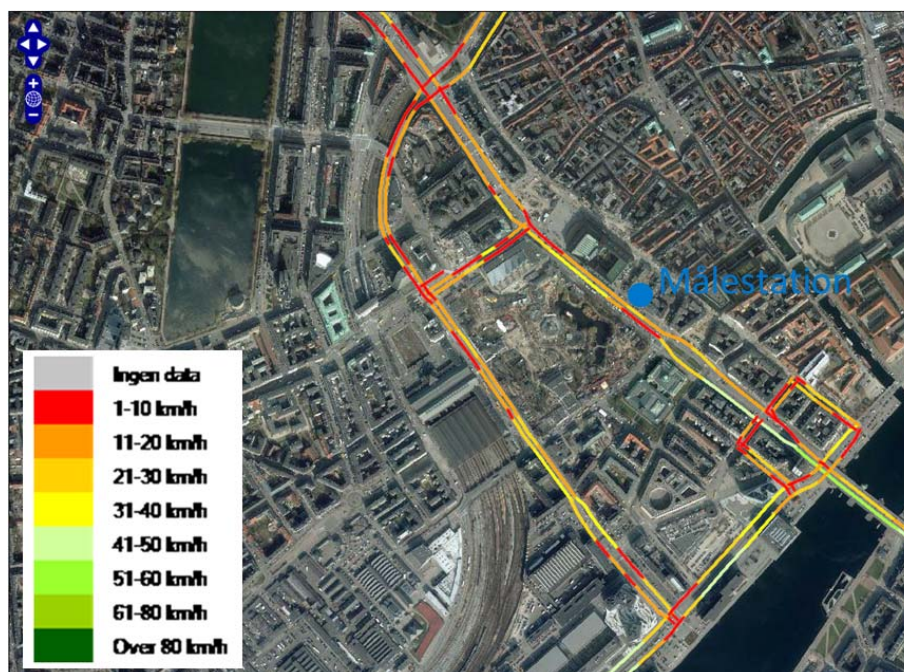
4.5.1 Vejdirektoratets rejsehastighedsdata

Vejdirektoratet har opbygget en national database med rejsehastigheder for alle strækninger i det danske vejnet for de seneste år. Systemet kaldes SpeedMap. Det er baseret på GPS-data fra primært vare- og lastbiler men også personbiler. Data kommer fra flådeejere og eller firmaer med koordineret kørsel f.eks. handicapkørsel, og som selv bruger data til f.eks. ruteoptimering, lokalisering af biler i forbindelse med tyveri mv. Vejdirektoratet har således samarbejdsaftaler med f.eks. Post Danmark, firmaet som står for handicapkørsel, udlejningsfirmaer mv. I dag modtages data fra ca. 6.000-7.000 køretøjer. Data er lagt ind på vejnettet Navteq, som bl.a. anvendes til navigation, og som også er det anvendte vejnet til Landstrafikmodellen fra DTU Transport (www.transport.dtu.dk).

Det er muligt at se data på kort via WebGIS (Figur 4.9) og særligt login, som er tilvejebragt gennem Vejdirektoratet (<http://speedmap.dk/portal>). Hastighedsdata er tilgængelige for 2007, 2008, 2009 og 2010 via denne hjemmeside, mens data for 2011 er leveret særskilt af Vejdirektoratet.

Data er underopdelt på Navteq's vejklasser (1-4), og statsvejene kan vises særskilt. Udover hastigheden kan antallet af observationer også vises. Der er følgende døgntyper: mandage, tirsdage, onsdage, torsdage, fredage, lørdage og søndage, skolesommerferie, lørdage i sommerferien samt typiske hverdage. Tidsgrupperingen er i 5 tidsperioder: 00.00-6:30, 6:30-9:00, 9:00-15:30, 15:30-18:00, 18:00-00:00, men data kan også vises som ½ times værdier. Der er to køretøjsgrupper: let trafik < 3,5 t og tung trafik > 3,5 t.

Figur 4.9. Eksempel på rejsehastigheder fra SpeedMap. Let trafik (person og varebiler) i 2010 for typisk hverdag i morgenmyledretiden kl. 6.30-9.00 for vejklasse 1-2.



På baggrund af dataudtræk af gennemsnitsværdierne for de enkelte delstrækninger på H.C. Andersens Boulevard ud for luftkvalitetsmålestationen er der foretaget en analyse af udviklingen i rejsehastigheden for 2008-2011 for let og tung trafik under ét for tidsperioderne 6:30-9:00 (morgen), 9:00-15:30 (midt dag), og 15:30-18:00 (eftermiddag), se Figur 4.10. Delstrækninger af H.C. Andersens Boulevard på stykket mellem Stormgade og Rådhuspladsen er benævnt N0, N1, N2, N3, N45 og N6 for nordlige retninger og S0, S1, S2, S3, S45 og S6 for sydlige retninger. (N45 og S45 er en kombination af to meget korte strækninger). Luftmålestationen ligger ud for delstrækningen N2 (med S2 på den modsatte side af H.C. Andersens Boulevard). Der er valgt let og tung trafik under ét for at få flest mulige observationer. Hastighederne er generelt lavere for den tunge trafik, men forskellen mellem let og tung trafik er ikke så stor, da strækningen er meget trafikeret, og hastigheden i hovedsagen er bestemt af den øvrige trafik og lyskrydsene.

Figur 4.10. Eksempel på rejsehastigheder fra SpeedMap. Let og tung trafik under et i 2008 for typisk hverdag i morgenmyldretiden kl. 6:30-9:00 for vejklasse 1-4. ">" og "<" angiver retning. Placering af målestationen er også vist. Delstrækningerne ud for målestationen er benævnt: N1, N2 og N3 for nordlige retninger og S1, S2 og S3 for sydlige retninger.



Antallet af observationer udvikler sig over tid. For en typisk hverdag i morgenmyldretiden kl. 6:30-9:00 er datagrundlaget f.eks. omkring 300 køretøjer i 2008, 700 i 2009 og omkring 1000 i 2010 for både let og tung trafik. Rejsehastighederne er vist i Tabel 4.9 og Tabel 4.10.

Tabel 4.9. Rejsehastigheder (km/t) for seks delstrækninger (nordlige/sydlige retninger) for 2008-2011 for tre tidsperioder.

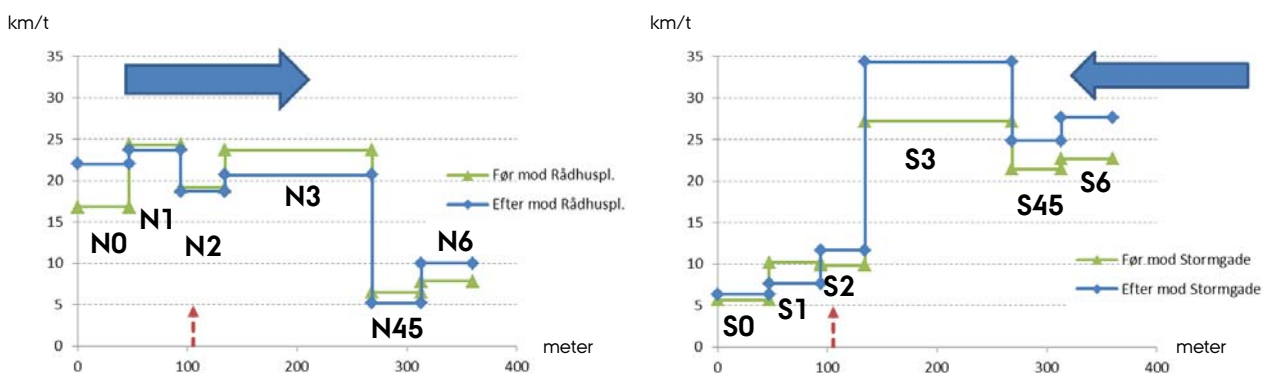
Årstal	Tidsperiode	N0	N1	N2	N3	N45	N6	S0	S1	S2	S3	S45	S6
2008	6:30-9:00	19	24	15	21	5,5	9	5	11	9	22	14,5	21
	9:00-15:30	15	28	24	32	8	7	5	9	11	33	27	20
	15:30-18:00	13	15	11	18	5	7	6	10	8	27	26,5	19
2009	6:30-9:00	21	25	18	20	5,5	9	6	11	10	24	21,5	27
	9:00-15:30	21	39	36	35	9,5	8	6	10	12	33	23	27
	15:30-18:00	12	15	11	16	5,5	7	6	10	9	24	16	22
2010	6:30-9:00	20	21	17	18	6	9	6	9	16	29	26,5	28
	9:00-15:30	25	29	24	27	7	9	7	7	8	25	18	27
	15:30-18:00	16	15	11	16	6	9	8	11	12	25	17,5	25
2011	6:30-9:00	20	18	11	16	5	9	5	7	9	34	21	27
	9:00-15:30	25	31	27	26	5,5	10	7	6	9	33	21,5	27
	15:30-18:00	21	22	18	20	5	11	7	10	17	36	32	29
Gns		19	24	19	22	6	9	6	9	11	29	22	25

Tabel 4.10. Gennemsnitlige rejsehastigheder for delstrækningerne N1-N3 og S1-S3 for 2008-2011 fordelt på nordlig og sydlig retning ud for målestationen på H.C. Andersens Boulevard (km/t). Gennemsnit over dagtimerne 6:30-18.

Årstal	N1	S1	N2	S2	N3	S3	Gns. N	Gns. S
2008	22	10	17	9	24	27	21	16
2009	26	10	22	10	24	27	24	16
2010	22	9	17	12	20	26	20	16
2011	24	8	19	12	21	34	21	18
Gns.	24	9	19	11	22	29	21	16

Figur 4.11 giver et vist overblik over hovedtræk i tabellernes data med specielt fokus på, om der er sket en ændring af rejsehastigheder i tiden før og efter 2010. Figuren viser trafikens rejsehastighed på de 6 delstrækninger af H.C. Andersens Boulevard, i alt en strækning af 360 meters længde. Der er vist to kurver, hvoraf den ene afbilder data for 2008 og 2009 (gennemsnit af de to år), mens den anden afbilder data fra 2011. Dermed illustrerer den første kurve en "før-situation", mens den anden illustrerer en "efter-situation" i henseende til de vejbaneomlægninger, der foregik i 2010. Kurverne viser rejsehastigheder for tidsrummet kl. 6.30-18.00. Placeringen af luftmålestationen ud for strækning N2/S2 er vist.

Højre panel i Figur 4.11 viser, at der i retning mod Stormgade tæt ved krydset ved Stormgade er meget lave gennemsnitshastigheder (6-10 km/time) i overensstemmelse med den iagttagelse, at der hyppigt er kø. Ud fra data kan man imidlertid ikke se nogen markant, systematisk forskel på før- og efter-situationen, idet der ikke er tale om, at den blå kurve forløber konsekvent under eller over den grønne. På figuren og i de underliggende data for forskellige tidsperioder kan man godt finde nogle tegn på forværring fra 2009 til 2011 – f.eks., at på strækningen N3 med retning mod Rådhuspladsen er rejsehastigheden i gennemsnit faldet fra 23 km/t til 21 km/t, og at rejsehastigheden på strækningen S1 i sydgående retning kort før krydset ved Stormgade i morgenmyldretiden er faldet fra 11 km/t til 7 km/t – men billedet forplumres af afvigende tendenser på andre strækninger og i andre tidsrum.



Figur 4.11. Rejsehastigheder (km/t) i henhold til Vejdirektoratets data. x-aksen viser afstand i meter fra Stormgadekrydset. Venstre panel gælder trafik med retning mod Rådhuspladsen, højre panel trafik mod Stormgade. Den røde pil viser placeringen af målestationen.

Det er forventet, at rejsehastighederne er lavere i morgenmyldretiden og eftermiddagsmyldretiden end midt på dagen. Forskellen er dog mindre end man umiddelbart kunne forvente, hvilket peger på at lysreguleringerne har stor indflydelse på hastighederne.

Det fremgår ikke overraskende (f.eks. af Figur 4.11), at delstrækning 3, som er midterstykket mellem krydset ved Vesterbrogade og Stormgade, samlet set har de højeste rejsehastigheder.

Det er også forventeligt, at gennemsnitshastigheden før lyskryds er markant lavere end efter lyskryds. Trafikken før lyskryds bremser op eller holder i kø, mens den efter lyskryds typisk kører med jævn hastighed eller accelererer.

Det sker jævnligt, at der i retning fra Rådhuspladsen ved Stormgadekrydset holder en kø af venstresvingende biler, der i nogle situationer vokser sig så lang, at den når hen forbi målestationen. Det ses, at de relevante strækninger (S0, S1 og S2) har en meget lav gennemsnitshastighed, men der er ikke en entydig forskel mellem før og efter-situationen.

Det er værd at bemærke, at der i alle ovenstående data er tale om gennemsnitshastigheder, og at gennemsnitshastighed alene ikke giver tilstrækkelig information til at drage konklusioner om emissionsforhold. Køretøjers emission stiger kraftigt med faldende rejsehastighed. Den efterfølgende analyse af et supplerende datasæt for rejsehastigheder giver mulighed for at uddybe denne problemstilling.

4.5.2 Københavns Kommunes rejsehastighedsdata

Københavns Kommune har averteret blandt private bilister for at opbygge et korps af frivillige, der har en boks med GPS monteret i deres bil, og som dermed leverer data til en database over rejsehastigheder. Man har især henvendt sig til pendlere i opbygningen af denne flåde af biler.

Data fra den pågældende database (Hansen, 2013) er blevet inddraget i nærværende projekt og har været genstand for en detaljeret analyse.

Datasættet indeholder information om hastigheder målt cirka midt på strækningen mellem Stormgade og Rådhuspladsen. Kommunens formål har været at få viden om rejsehastigheder i nogen afstand fra kryds. De pågældende data må formodes at repræsentere nogenlunde den vejstrækning, der i Vejdirektoratets data benævnes N3 (nordgående), henholdsvis S3 (sydgående). Ved en sammenligning af data fra de to databaser kan strækningerne N2 og S2 dog også være værd at tage i betragtning, fordi de ligger tæt på midterstykket mellem Stormgade og Rådhuspladsen.

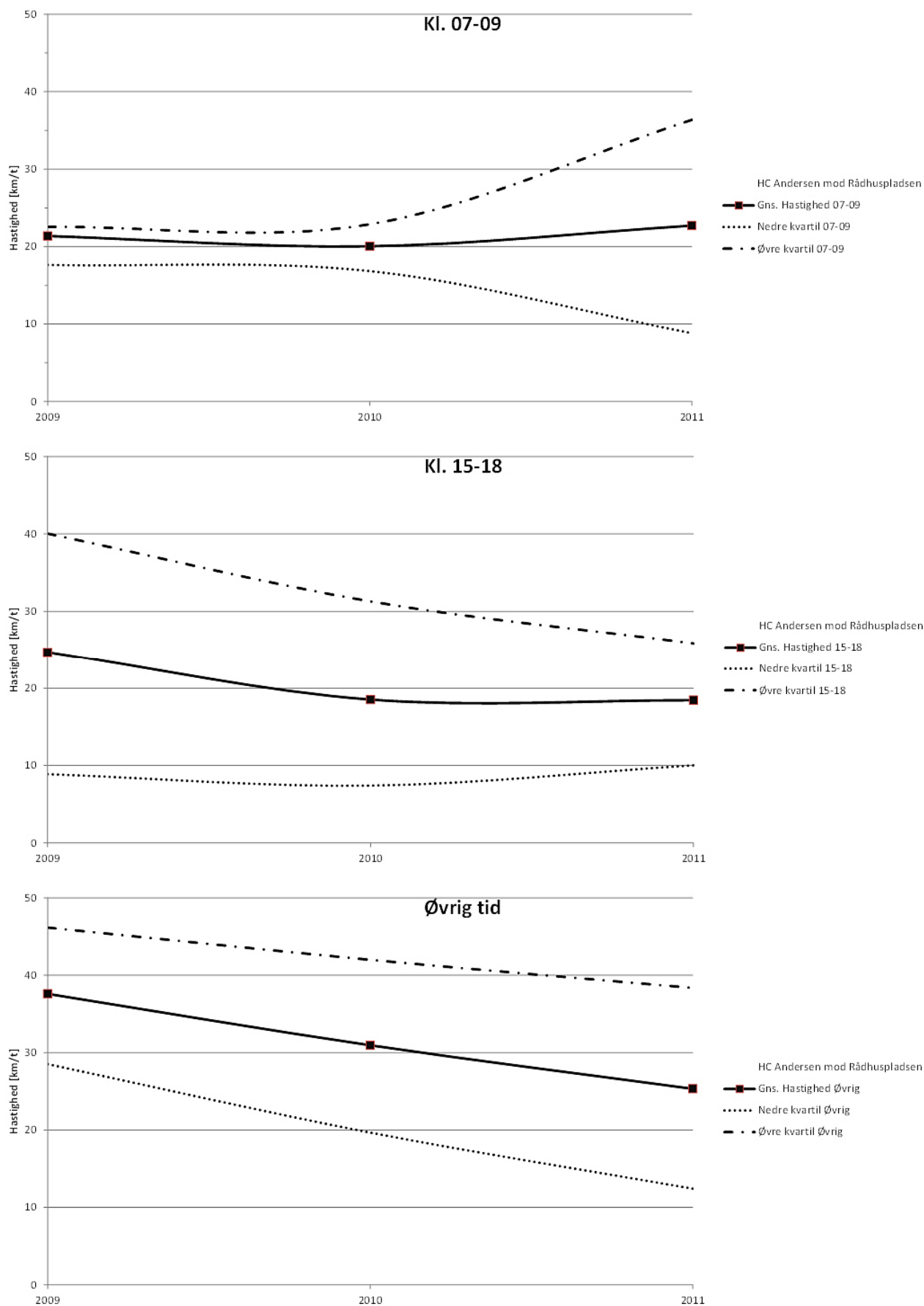
Københavns Kommunes database (fremover benævnt KK's data) har observationer fra hele døgnet, men med tyngdepunkt i dagtimerne. KK's database er noget mindre end Vejdirektoratets. Når alle døgnets timer inkluderes, er antallet af biler i kommunens database ca. 750 pr. år i sydgående retning, og ca. 1000 pr. år i nordgående. Eksempler på Vejdirektoratets datavolumen er, at for 2009 har Vejdirektoratet ca. 1300 observationer i sydgående retning på strækning S2, og for 2010 ca. 2000 i sydgående retning på samme strækning. For de kortere strækninger er der i Vejdirektoratets data en del færre observationer. Dermed er den statistiske repræsentativitet størst i Vejdirektoratets data. Til gengæld er KK's database yderst interessant, fordi den ikke alene

indeholder gennemsnitshastigheder, men også giver mulighed for at udtrække information om de enkelte køretøjers hastigheder. Den giver eksempelvis mulighed for at præsentere information om hastighedsfordelingen i form af kvartiler. Således giver den information om, hvorledes hastigheden er for de 25 % af køretøjerne, der i en given tidsperiode kører langsomst.

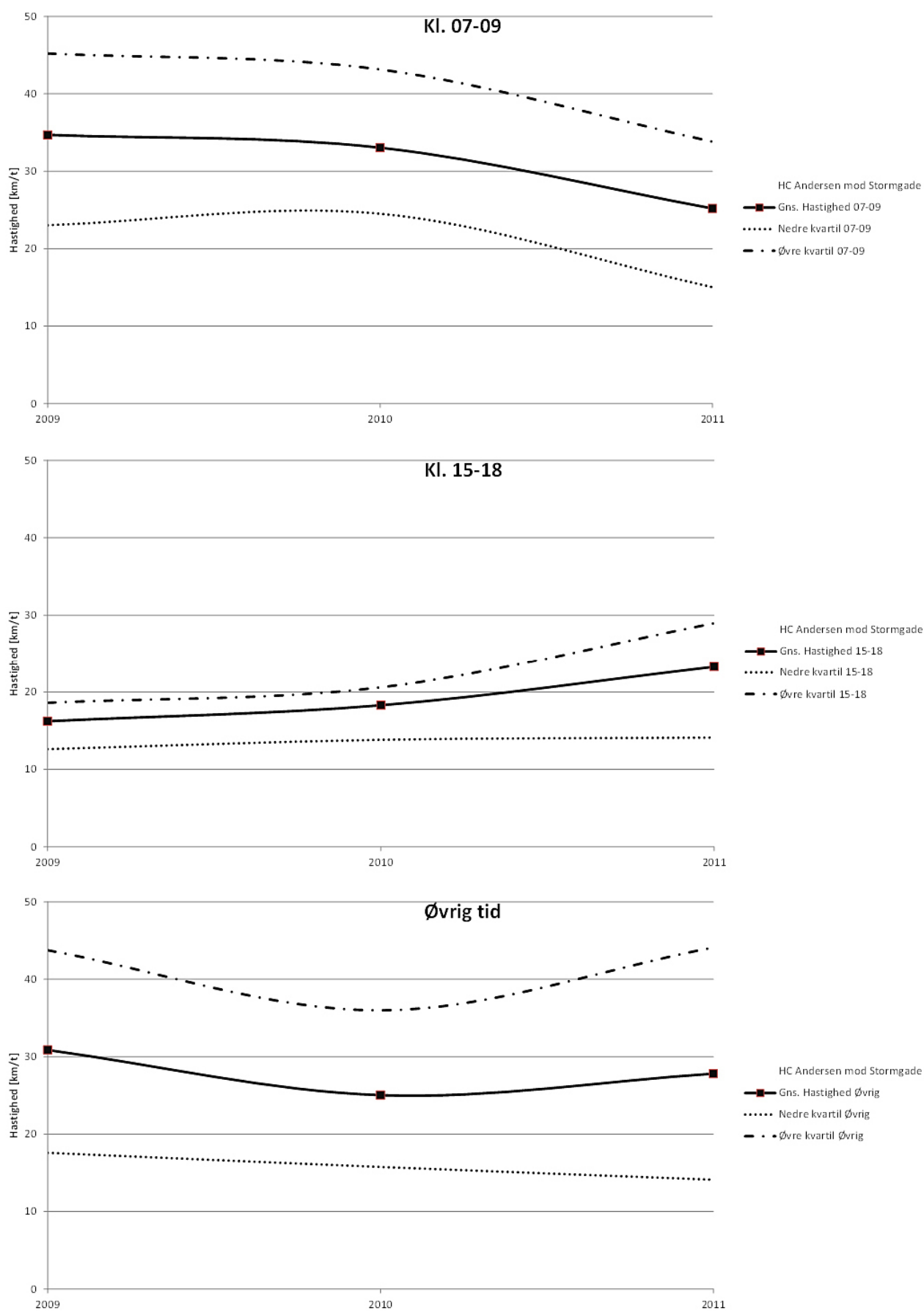
Figur 4.12 giver et overblik over resultater fra KK's database, mens Figur 4.13 og Figur 4.14 giver detaljer om kvartiler for rejsehastigheder. Hovedtallene fra databasen fremgår af Tabel 4.11 og Tabel 4.12. Desuden sammenstiller Figur 4.15. rejsehastigheder fra KK's og Vejdirektoratets databaser.



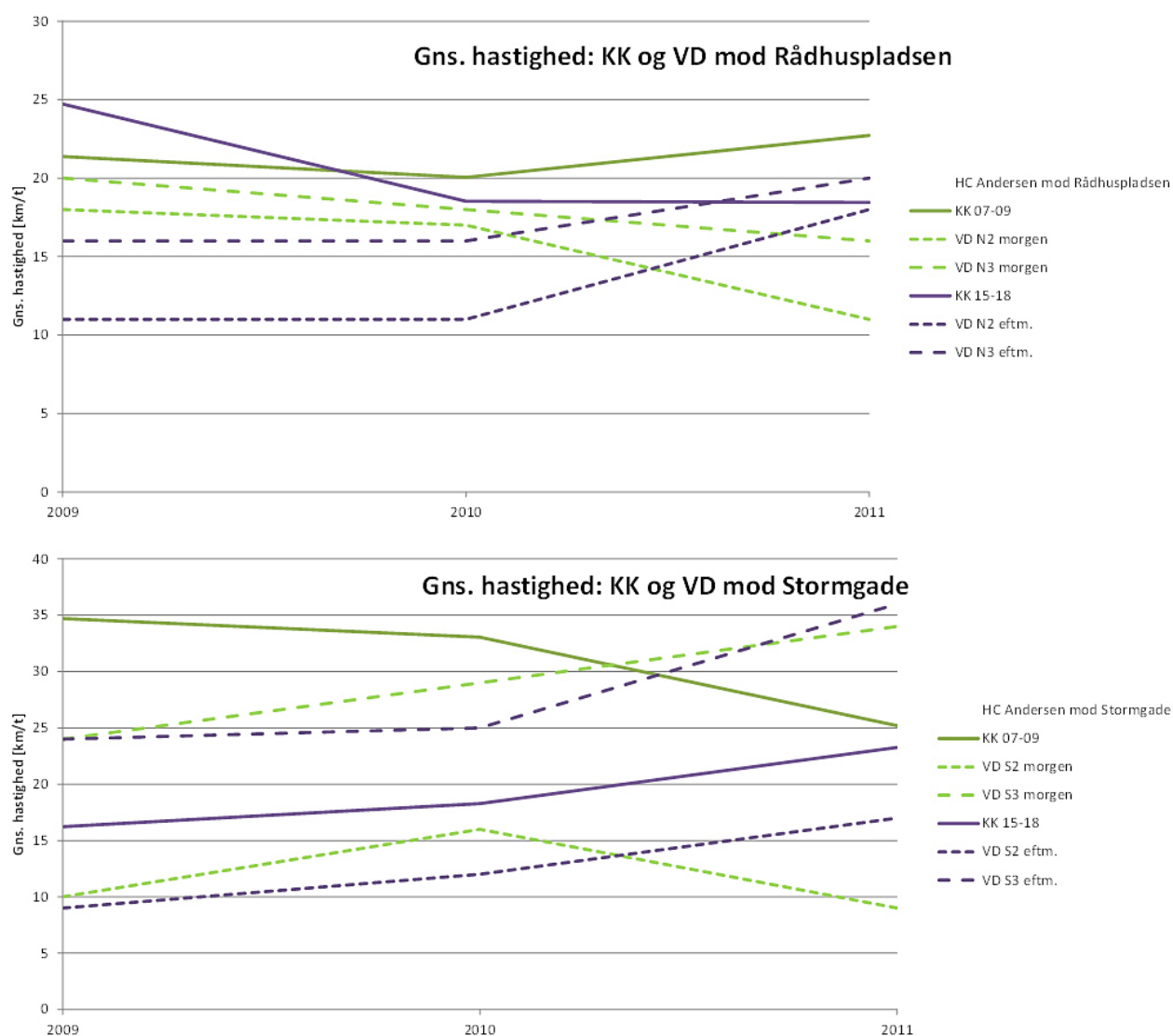
Figur 4.12. Overblik over gennemsnitlige rejsehastigheder på H.C. Andersens Boulevard midt på strækningen mellem Stormgade og Rådhuspladsen i henhold til Københavns Kommunes database. Der er tale om en opdeling i 2 retninger og 6 tidsperioder. De tre perioder, der vedrører aften- og natte timer er markeret med stiplede linjer for at antyde, at antallet af observationer er væsentligt mindre end for dagtidernes vedkommende.



Figur 4.13. Detaljerede data, der ud over gennemsnitlige rejsehastigheder også viser kvartiler for trafik i retning mod Rådhuspladsen. Data er her kun opdelt i 3 perioder: Morgen, Eftermiddag og Øvrig tid.



Figur 4.14. Detaljerede data, der ud over gennemsnitlige rejsehastigheder også viser kvartiler for trafik i retning mod Stormgade. Data er her kun opdelt i 3 perioder: Morgen, Eftermiddag og Øvrig tid.



Figur 4.15. Sammenstilling af rejsehastigheder i henhold til de to databaser. Øverst: Rejsehastigheder i retning mod Rådhuspladsen i henhold til dels KK's database (fuldt optrukne linjer), dels Vejdirektoratets (stiplede linjer, dels for strækningen N2, dels N3). Morgenmyldretid er grøn kurve, Eftermiddagsmyldretid lilla. Ved god overensstemmelse burde de fuldt optrukne linjer ligge imellem N2 og N3, nærmest N3. Nederst: Tilsvarende figur for retning mod Stormgade.

Tabel 4.11. KK's data for gennemsnitlige rejsehastigheder (km/t) i retning mod Rådhuspladsen.

Periode	2009	2010	2011	Antal observationer (total for 3 år)
05-07	43	31	38	169
07-09	21	20	23	546
09-15	37	30	22	964
15-18	25	19	18	1158
18-21	39	34	26	152
21-05	41	35	31	105
Sum				3094

Tabel 4.12. KK's data for rejsehastigheder (km/t) i retning mod Stormgade.

Periode	2009	2010	2011	Antal observationer (total for 3 år)
05-07	-	51	34	11
07-09	35	33	25	884
09-15	30	22	24	602
15-18	16	18	23	504
18-21	30	29	31	135
21-05	41	38	41	98
Sum				2234

KK's database er som udgangspunkt opdelt i perioderne *Morgenmyldretid* (7-9), *Eftermiddagsmyldretid* (15-18), samt *Øvrig tid*, der inkluderer både tiden midt på dagen samt aften og nat. De to første perioder kan sammenlignes med omtrent samtidige perioder i Vejdirektoratets data (6:30-9:00 og 15:30-18:00). Det er imidlertid muligt at udtrække information med en finere tidsopløsning fra databasen, hvilket er udnyttet i visse af de gennemførte analyser.

Som udgangspunkt er der 6 kombinationer (datagrupper) af retning og periode i KK's datasæt. En overordnet beskrivelse af før- og efter-situation på grundlag af disse data er, at for 4 af de 6 datagrupper er der tale om en nedgang i gennemsnitsrejsehastigheden fra 2009 til 2011 (se de forgående figurer). For én datagruppe (morgentrafik mod Rådhuspladsen) har der været en svag stigning i gennemsnitshastigheden, men et meget klart fald i hastigheden for den langsomste kvartil af biler. For den sidste datagruppe (eftermiddagstrafik mod Stormgade) er der en stigning i gennemsnitshastigheden, mens den laveste kvartil af biler har haft omtrent uændret hastighed.

For de to grupper, der skiller sig ud ved ikke at have den laveste gennemsnitshastighed i efter-situationen, er i øvrigt værd at bemærke, at antallet af observationer i 2011 er væsentligt lavere end i de foregående år. Muligvis kan der være tale om et fravalg af at køre på H.C. Andersens Boulevard på grund af trængselsproblemer, men det er svært at få rede på, hvor store problemerne med datarepræsentativitet er.

Figur 4.15 viser en sammenligning af gennemsnitlige rejsehastigheder fra Vejdirektorats database og KK's database. Det ses, at der ofte er uoverensstemmelser mellem gennemsnit fra de to kilder, hvilket betyder, at repræsentativiteten af data er mangelfuld, og at det er betænkeligt, at drage helt håndfaste konklusioner.

Det er værd at bemærke, at gennemsnitshastighed alene ikke giver tilstrækkelig information til at drage konklusioner om emissionsforhold. Køretøjers emission stiger kraftigt med faldende rejsehastighed. Næste afsnit omhandler denne problemstilling.

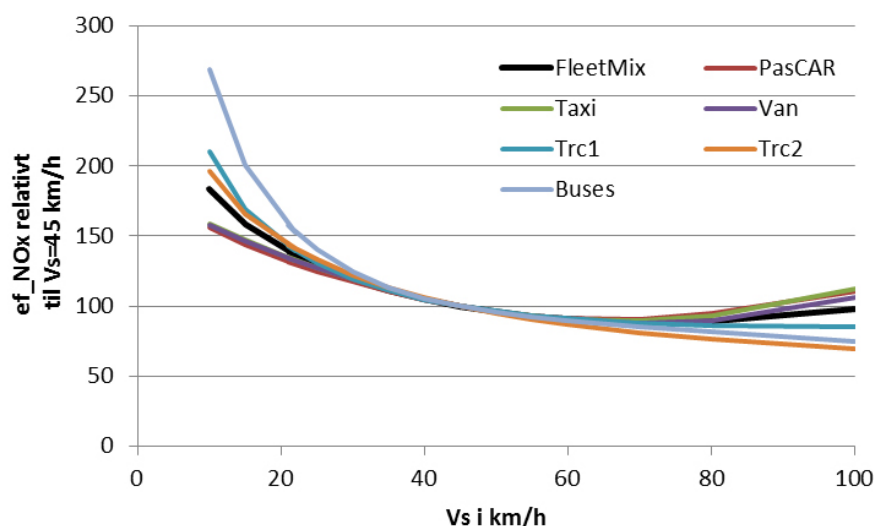
4.5.3 Udvikling i emissionsindeks og kødannelse

I forbindelse med den følsomhedsanalyse af trafikparametre, der er gennemført i indeværende projekt (kapitel 6), er der blevet beregnet emissionsfaktorer for H.C. Andersens Boulevard som funktion af rejsehastigheden. Figur 4.16 gengiver hovedresultater fra følsomhedsanalysen i form af et indeks for

den gennemsnitlige emissionsfaktor, normeret således at emissionsfaktoren ved 45 km/t er sat til 100.

Det er muligt ud fra KK's database at udlede information om hvert enkelt køretøjs rejsehastighed fordelt på tidsrum i døgnet. Denne information kan kombineres med det nævnte indeks for emissionsfaktoren og udnyttes til at udtale sig om, hvor meget emissionen på H.C. Andersens Boulevard er ændret på grund af ændret rejsehastighed i årene 2009-2011 – forudsat at data i KK's database er repræsentative.

Figur 4.16. Emissionsfaktorer på H.C. Andersens Boulevard i 2010 for NO_x som funktion af rejsehastigheden for de forskellige køretøjsklasser. PasCar er personbil, Van er varebiler, Trc1 er lastbil < 32t, Trc2 er lastbil > 32t og buses er bus. FleetMix er den gns. køretøjsfordeling. Relativt til hastighed 45 km/h.



Ved denne analyse er der taget udgangspunkt i kurven for FleetMix (gns. køretøjsfordeling) i Figur 4.16. Denne kurve udtrykker emissionsfaktoren (i form af et indeks) for netop den køretøjssammensætning, der er på H.C. Andersens Boulevard. For hvert køretøj i KK's database er aflæst et indeks på kurven, der svarer til køretøjets hastighed. Dermed kan man beregne et gennemsnitligt emissionsindeks for den køretøjsflåde, der i et givet år og inden for en bestemt periode af døgnet kørte mod Rådhuspladsen, henholdsvis Stormgade. Eksempelvis ville indeks være 100, hvis alle biler i en bestemt periode på dagen i et givet år kørte 45 km/t. Emissionsindeks stiger jo langsommere bilerne kører.

Resultater vedrørende samtlige perioder er angivet i Tabel 4.13 for retning mod Rådhuspladsen og i Tabel 4.14 for retning mod Stormgade. Data er afbildet i Figur 4.17 og Figur 4.18.

Figur 4.17 viser indeks for NO_x-emission for køretøjer med retning mod Rådhuspladsen. Der er kurver for 6 forskellige perioder i døgnet. De tre perioder, der vedrører aften- og nattetimer er markeret med stiplede linjer for at antyde, at antallet af observationer er væsentligt mindre end for dagtimernes vedkommende; dermed er usikkerheden på data større. For alle perioder på nær de tidlige morgentimer kl. 05-07 er der tale om en ret markant stigning i indekset fra 2009 til 2011. Den totale emission for en given periode er direkte proportional med indekset. Hvis man skal udtale sig om den samlede emission over et helt døgn skal indeks for de forskellige perioder vægtes forskelligt, fordi trafikintensiteten er forskellig. Dette er gjort i tabellens nederste linje. Det fremgår, at der er sket en stigning fra indeks 125 i 2009 til 146 i 2011. Det kan tolkes som en 17% relativ stigning i NO_x emissionerne, som er den isolerede effekt af ændringer i rejsehastigheden og dens fordeling.

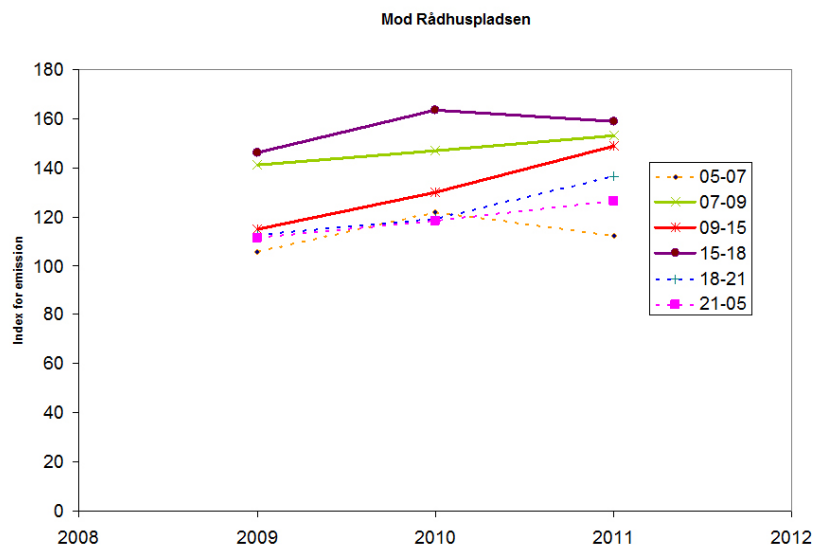
Tabel 4.13. Emissionsindeks der beror på hver bils rejsehastighed. Index er 100 for 45 km/t. Retning mod Rådhuspladsen. Kolonnen med ændring viser f.eks., at for tidsrummet 09-15 er emissionen øget med 29% fra 2009 til 2011.

Periode	2009	2010	2011	Ændring 2009-11 (%)	Antal observationer (total over 3 år)
05-07	106	122	112	6	169
07-09	141	147	153	8	546
09-15	115	130	149	29	964
15-18	146	164	159	9	1158
18-21	112	119	136	21	152
21-05	111	118	127	14	105
Vægtet gns.	125	137	146	17	3094

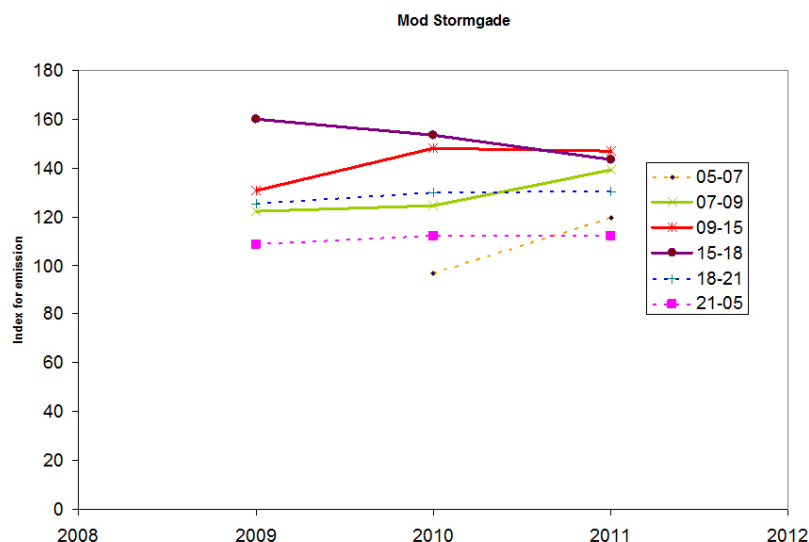
Tabel 4.14. Emissionsindeks der beror på hver bils rejsehastighed. Retning mod Stormgade.

Periode	2009	2010	2011	Ændring 2009-11 (%)	Antal observationer (total over 3 år)
05-07	-	97	120	-	11
07-09	122	124	139	14	884
09-15	131	148	147	12	602
15-18	160	153	143	-10	504
18-21	125	130	130	4	135
21-05	109	112	112	3	98
Vægtet gns.	133	139	139	4	2234

Figur 4.17. Indeks for emission baseret på køretøjers hastighed. Trafikretning mod Rådhuspladsen. Baseret på Københavns Kommunes database. Der er kurver for 6 forskellige perioder i døgnet. De tre perioder, der vedrører aften- og natteimer er markeret med stiplede linjer for at antyde, at antallet af observationer er væsentligt mindre end for dagtimernes vedkommende.



Figur 4.18. Indeks for emission baseret på køretøjers hastighed. Trafikretning mod Stormgade. I øvrigt som **Figur 4.**



De tilsvarende data for den modsatte trafikretning (mod Stormgade) viser ikke så markant en udvikling. For eftermiddagsmyldretiden er der tale om et fald i emissionsindeks frem til 2011. Men hvis man danner et vægtet indeks for hele døgnet, hvor vægtningen beror på trafikintensiteten, fås (Tabel 4.14) en stigning fra indeks 133 til 139, hvilket udgør en 4% stigning. Det kan tolkes som en 4% relativ stigning i NO_x emissionerne, som alene skyldes ændringer i rejsehastigheden og dens fordeling.

At emissionsindex er steget, kan tolkes som resultat af en øget kødannelse. Hvis man tager Københavns Kommunes data for pålydende, peger de alt i alt på, at den isolerede effekt af udviklingen i rejsehastigheder er en forøgelse af NO_x-emissionen ud for målestationen på mellem 4% og 17%; 17% fra vejbanerne tættest ved målestationen, og 4% fra vejbanerne på modsatte side af H.C. Andersens Boulevard.

De præcise tal skal tages med varsomhed, bl.a. fordi de bygger på et udsnit af trafik, der muligvis ikke er repræsentativt.

Sammenfattende kan siges, at KK's data peger på, at en del af den observerede stigning i koncentrationer skyldes større emissioner på grund af lavere rejsehastighed for de langsomste køretøjer (kødannelse).

4.6 Udvikling i øvrige trafikale parametre

4.6.1 Koldstarts andel

En bil har under koldstart forhøjede emissioner (ca. 2 første minutter efter start af kold motor). Der er pt. meget sparsomt data om dette.

Det har ikke været muligt inden for rammerne af nærværende rapport at vurdere eventuelle ændringer i andelen af koldstartede biler på H.C. Andersens Boulevard, men det er ikke sandsynligt, at der har været ændringer.

4.7 Døgnfordeling

Trafikkens døgnfordeling har betydning for NO₂ koncentrationens tidslige variation, men kan også påvirke den gennemsnitlige koncentration. Det

skyldes både meteorologi og kemi. For eksempel vil en forskydning af trafikken mod middag/eftermiddag give lavere koncentrationer pga. højere blandingslag og dermed mere fortynding. Derimod vil det virke i modsat retning, at dannelsen af NO₂ er begrænset af tilstedeværelsen af ozon i luften: ozonkoncentrationerne er gennemgående højst midt på dagen, så en forskydning af trafikken mod middag/eftermiddag vil give højere NO₂ koncentrationer midt på dagen, hvis man betragter denne effekt isoleret. Trafikkens døgnfordeling udvikler sig meget langsomt over tid, da den hænger sammen med variationen i de økonomiske og sociale aktiviteter i samfundet. Det er ikke sandsynligt, at der er sket væsentlige ændringer i trafikens døgnfordeling, som kunne give anledning til markante ændringer i NO₂ årsmiddelværdien.

Rejsehastighedens døgnfordeling har også betydning for NO₂ koncentrationerne, som beskrevet i afsnit 4.5.

4.8 Konklusion

Dette kapitel har analyseret, hvordan trafikken i form af årsdøgntrafik, køretøjsfordeling og rejsehastighed kan have ændret sig i perioden 2003-2012, da dette spiller en rolle for emissionen fra trafikken og dermed for luftkvaliteten, som har været forhøjet siden 2010. Analysen går helt tilbage til 2003, da dette indtil 2013 var det eneste år, hvor der foreligger en trafiktælling direkte ud for luftkvalitetsmålestationen på H.C. Andersens Boulevard. Anden tælling ud for målestationen er gennemført i april 2013.

Analysen refererer den generelle trafikudvikling i København, og undersøger, hvordan årsdøgntrafikken (ÅDT) og køretøjsfordelingen har ændret sig på tre trafiktællestationer, som formodes at være indikatorer for trafikken ud for luftkvalitetsmålestationen (Jarmers Plads, Langebro og Vesterbrogade), samt ændringer på en tællestation ud for selve målestationen. Endvidere analyseres rutebustrafik på strækningen ud fra analyse af køreplansdata (Movia's hjemmeside). Udvikling i rejsehastigheden er vurderet ud fra målte GPS data fra Vejdirektoratet for strækningen ved luftkvalitetsmålestationen på H.C. Andersens Boulevard (SpeedMap) samt et tilsvarende, men mere detaljeret datasæt fra Københavns Kommune.

Ud fra en analyse af data fra de 3 omkringliggende tællestationer er der ikke noget, der tyder på, at ÅDT skulle have været stigende omkring sommeren 2010 og frem, hvor de forhøjede koncentrationer af NO₂ blev konstateret og efterfølgende er forblevet på et højt niveau. Tværtimod tyder analysen på, at trafikken har haft en faldende tendens på de tre tællestationer, som det er nærliggende at benytte som indikatorer for trafikken ved luftkvalitetsmålestationen. For de tre stationer er der tale om et generelt fald i tiden siden 2003, som også er stået på i slutningen af perioden. Herover for står den omstændighed, at trafikken ved de to eneste trafiktællinger, der er foretaget ved selve luftkvalitetsmålestationen i henholdsvis 2003 og 2013, kun er faldet med 5%, mens ÅDT er faldet med ca. 11% på de øvrige tællestationer. Det er teoretisk muligt, men udokumenteret, at udviklingen ved luftkvalitetsmålestationen indtil 2010 kunne have været som for de omkringliggende veje med faldende trafik, og at der i 2010 kunne være indtruffet en stigning i trafikmængden på H.C. Andersens Boulevard som konsekvens af, at Vester Voldgade har været lukket for gennemkørende trafik siden 2010.

Andelen af tung trafik (lastbiler og busser) viser også en faldende tendens i perioden 2003-2013, men varierer meget fra gade til gade. For Jarmers Plads er faldet fra 2003 til 2012 på omkring 50%, Langebro på 25% og Vesterbrogade på 8% (2003-2011). Andelen af lastbiler blev talt til 4,1% i 2003 og til 2,2% i 2013 ud for luftkvalitetsmålestationen på H.C. Andersens Boulevard, hvor der således også har været et kraftigt fald.

Rutebustrafikken for Jarmers Plads og Langebro har også været faldende mht. omkring 35% og 10% fra 2003 til 2012. Andelen på Vesterbrogade har været meget varierende og har samme niveau i 2003 og 2011. På H.C. Andersens Boulevard ud for luftmålestationen viser en vurdering af rutebustrafik ud fra køreplaner et fald på 8% fra 2012 til 2013, men det har ikke været muligt inden for projektets tidsramme at fremskaffe og analysere oplysninger om øvrige år. Der er dog sket en stor stigning siden de manuelle tællinger ved målestationen i 2003, hvor andelen af rutebusser er gået fra 0,3% i 2003 til 0,9% i 2013. Det har ikke været muligt inden for projektets tidsramme at skaffe data for, hvornår denne stigning har fundet sted.

Andre busser (primært turistbusser) faldt omkring 75%, 65% og 40% for hhv. Jarmers Plads, Langebro og Vesterbrogade fra 2003 til 2011/12. Det gennemsnitlige fald er 60%. I tællingen ud for luftmålestationen fra 2003 udgjorde turistbusser omkring 0,9% af trafikken og kun 0,4% i 2013. Der har således også været et kraftigt fald i andre busser ved målestationen.

Derimod har været en markant stigning i varebiler på de 3 omkringliggende tællestationer. Stigningen er omkring 45%, 30% og 30% for hhv. Jarmers Plads, Langebro og Vesterbrogade fra 2003 til 2011/12. Den gennemsnitlige stigning er 35%. I 2003 blev der ud for luftkvalitetsmålestationen målt 11,7% varebiler og i 2013 19,4%, så der har også været markant stigning ved målestationen.

Det relative bidrag fra varebiler til NO_x emissionen i forhold til andre køretøjskategorier har selvfølgelig været stigende i perioden. Beregnes ændringen i antallet af varebiler og antallet af lastbiler fra 2003 til 2013 for trafiktællestationen ved H.C. Andersens Boulevard ud fra ÅDT og køretøjsfordelingen fås, at der er kommet 3956 flere varebiler og 1161 færre lastbiler i perioden dvs., at der kommet væsentligt flere varebiler end det modsvarende fald i antallet af lastbiler. Da NO_x emissionsfaktorerne (g/km) er omkring 6 gange lavere for varebiler i forhold til lastbiler, er der en samlet reduktion i NO_x emissionen som følge af flere varebiler og færre lastbiler.

Der er intet der tyder på, at små ændringer i andelen af personbiler eller taxier kan forklare forhøjede NO₂ koncentrationer fra 2010.

Analyse af gennemsnitlige rejsehastighedsdata fra SpeedMap fra Vejdirektoratet giver ikke anledning til at kunne konkludere at vejomlægninger har ført til en permanent påvirkning af rejsehastigheden. Derimod viser analyse af de mere detaljerede rejsehastighedsdata fra Københavns Kommune, hvor rejsehastigheder foreligger for de enkelte biler, at der er sket en forøgelse af NO_x-emissionen ud for målestationen på 4% (trafik mod Stormgade) og 17% (trafik mod Rådhuspladsen dvs. tættest på målestationen), som følge af ændringer i rejsehastigheden og dens fordeling. Dette skyldes lavere rejsehastighed for de langsomste køretøjer (kødannelse).

Alt i alt giver analysen af data fra de omkringliggende tællestationer ikke grundlag for at konkludere, at ændringer i trafikmængden og køretøjssammensætningen skulle kunne forklare de forhøjede NO₂ koncentrationer fra sommeren 2010 og frem. Det kan dog ikke udelukkes, at der ud for luftmålestationen på H.C. Andersens Boulevard siden 2010 er sket en udvikling som afviger fra udviklingen i øvrigt på de omkringliggende tællestationer.

Analyser af rejsehastighedsdata peger på, at lavere rejsehastighed for de langsomste køretøjer kan være en delforklaring på de forhøjede NO₂ koncentrationer fra sommeren 2010 og frem, men datagrundlaget er spinkelt.

5 Undersøgelse af sammenhæng mellem kødannelser og korttidsvariation af NO_x-koncentration

5.1 Introduktion

I forbindelse med undersøgelser af luftkvalitet i Københavns Lufthavn Kastrup har DCE haft succes med at lokalisere kilderne til luftforureningen ved sammenkobling af visuelle observationer af aktiviteter og de målte koncentrationer (Ellermann et al., 2011). På basis af disse erfaringer har vi valgt at gennemføre tilsvarende undersøgelser ved målestationen på HCAB. Metoden går ud på at observere trafikmønstrene ud for målestationen og sammenholde disse observationer med fluktuationerne i koncentrationen af NO_x målt med så hurtig tidsopløsning som muligt (ca. et minut, se afsnit 3.3). Da det kun er praktisk muligt at gennemføre denne form for undersøgelser i et begrænset tidsrum (her fire dage) kan metoden ikke give resultater, som er statistisk dækkende for et helt år, og resultaterne er derfor af mere kvalitativ karakter.

For at få en mere kvantitativ information om hvordan de trafikale ændringer har påvirket koncentrationerne er ovenstående metode suppleret med en undersøgelse af, hvordan frekvenserne af de forskellige koncentrationsniveauer har ændret sig i perioden før og efter sommeren 2010. Denne undersøgelse er baseret på en hypotese om, at f.eks. en forøget kødannelse på HCAB hyppigst vil forekomme i myldretidsperioderne. Alt andet lige vil dette betyde, at de høje koncentrationer vil blive endnu højere; med andre ord at der vil ske en stigning i frekvensen af de højeste koncentrationer. Ud fra en frekvensanalyse af koncentrationerne vil det derfor til en vis grad være muligt at vurdere i hvor høj grad en øget kødannelse vil påvirke det gennemsnitlige koncentrationsniveau på målestationen.

5.2 Metode

Koncentrationen af NO_x måles kontinuerligt ved DCE's målestationer i forbindelse med Delprogram for luft under NOVANA (Ellermann et al., 2012). Målingerne foretages med NO_x-monitoren (API model T) og er sporbare til DCE's referencegasser. Målingerne lagres normalt med ½-times midlingstid, men til dette projekt er der hentet data hjem med en frekvens på ca. 20 s. Grundet monitorernes og opsamlingssystemets konstruktioner er der imidlertid en vis udglatning af de målte koncentrationer. De målte koncentrationer skal derfor opfattes som glidende middelværdier af omkring 1 minuts varighed. Der er endvidere en vis forsinkelse i monitor og opsamlingssystem. For at kompensere for dette er de målte koncentrationer blevet korigeret fremad med 2 minutter for at harmonere med de visuelle observationer af trafikmønstrene.

Trafikobservationerne er alle blevet foretaget fra bil parkeret på en af p-pladserne umiddelbart nordvest for målestationen og via mobillink har det været muligt online at følge med i de målte koncentrationer. Observationsperioderne er angivet i Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Observationsperioder og vejrforhold. De meteorologiske parametre er fra bybaggrundsmålestationen på H.C. Ørsted Institutet (HCØ) og angiver derfor de generelle vejrforhold i København. Vindretning er angivet ved et interval. Global stråling er en parameter, som angiver solstråling.

Observationsperiode		Vindretning grader	Vindhastighed m/s	Temperatur °C	Relativ fugtighed %	Global stråling w/m ²
14.03.2013	07:40 - 10:20	340 - 4	2,3	-0,4	70	281
14.03.2013	14:00 - 17:00	4 - 26	3,2	1,3	56	103
15.03.2013	14:00 - 16:20	68 - 73	2,1	-1,0	77	121
16.04.2013	08:00 - 10:00	194 - 241	2,0	11,5	85	248

Måling af vindretning og hastighed ved målestationen er først blevet etableret i forbindelse med nærværende projekt den 12-04-2013. Disse målinger er foretaget med Sonic anemometer placeret oven på målestationen tæt på indtaget for NO_x-monitoren (1,6 m over taget og 4,6 m over asfalten; se Figur 5.1). De første tre perioder med observationer af trafikmønsteret lå før op-sætning af Sonic anemometer. Der blev derfor for disse perioder foretaget nogle indikative observationer af vindretning ved hjælp af en simpel vindfane placeret tæt ved kørebanen i omkring 1,5 m højde.

Figur 5.1. Sonic anemometer (instrument yderst til højre) oven på målestationen på HCAB.



5.3 Direkte observationer af sammenhæng mellem trafik og målt NO_x

Det generelle indtryk af trafikken i observationsperioderne er, at trafikken er præget af den store trafikintensitet på HCAB på stykket mellem lyskrydset ved Stormgade og lyskrydset ved Rådhuspladsen. Dog er indtrykket også, at trafikken for hovedparten af tiden (mere end ¾ af tiden) flød uden de store forsinkelser i perioderne uden for den værste myldretid. Det generelle trafikmønster var præget af bølger af køretøjer (30-50 stk.) i retning mod Rådhuspladsen. Tidrummet mellem disse bølger var omkring 50 s svarende til frekvensen af grønt lys for ligeudkørsel på HCAB ved lyskrydset ved Stormgade (retning mod Rådhuspladsen). Som hovedregel måtte disse bølger af køretøjer igen standse for rødt ved næste lyskryds ved Rådhuspladsen. Kun sjældent nåede køen af holdende biler ned i nærheden af målestationen. Tilsvarende bølger af ligeudkørende biler observeredes i den modsatte retning fra Rådhuspladsen mod Langebro med omkring samme frekvens.

Det generelle indtryk er, at der grundet lyskrydset ved Stormgade ofte opstår kø af holdende køretøjer i båsen for venstresving ned mod Stormgade. Køretøjer sås ofte holde i kø i flere minutter, da perioden med grøn venstresvingspil er kort (omkring 15 s og med en frekvens på lidt under et minut. På trods af dette vurderes det, at det var i mindre end 25% af tiden, at køen af venstresvingende biler nåede ned forbi målestationen, som ligger omkring 100 m fra vejkrydset.

I selve myldretiden om morgenen observeredes en væsentlig tungere afvikling af trafikken end overfor beskrevet. Her var det generelle billede, at der som oftest (mere end $\frac{3}{4}$ af tiden) var fyldt op med kø af holdende køretøjer i venstresvingsbanen mod Stormgade til langt hen forbi målestationen. De tre ligeudbaner mod Langebro var tæt pakkede med biler og relativt tit (lidt under halvdelen af tiden) var der fyldt op med holdende biler til hen forbi målestationen og op til Bag Rådhuset. Ligeledes var der en stor del af tiden kø af holdende eller meget langsomt kørende biler i de tre baner ind mod Rådhuspladsen, og relativt tit stod køen stille helt ned til Stormgade.

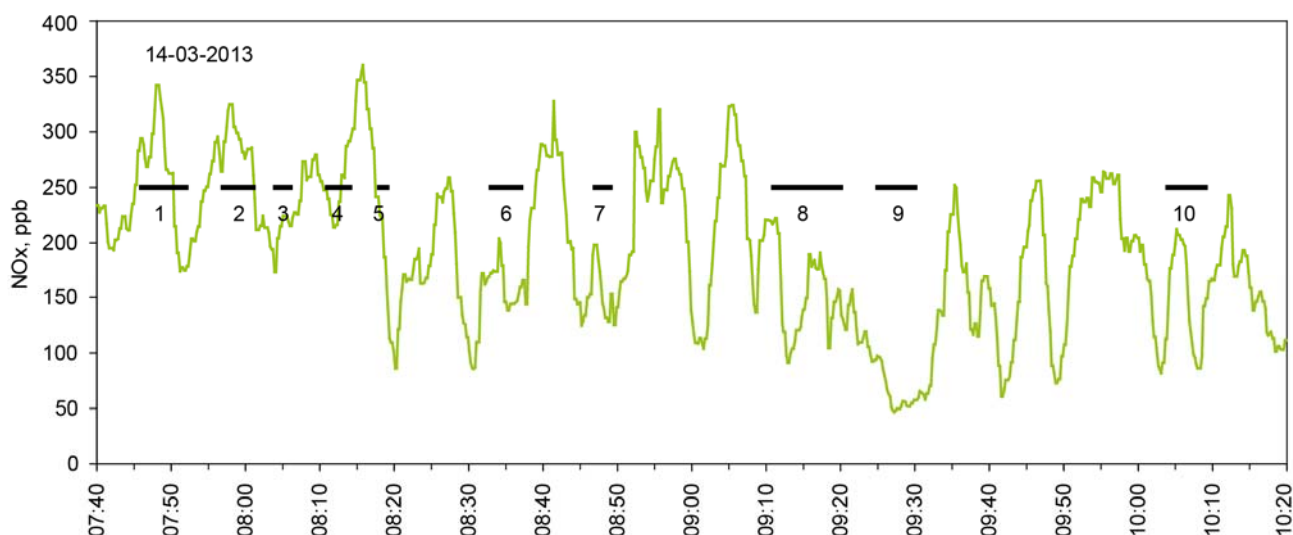
De første observationer af sammenhæng mellem variationer af trafik og koncentrationerne af NO_x blev foretaget i morgenmyldretidsperioden torsdag den 14.3.2013 i perioden fra 7:40 til 10:20. Den såkaldte frie vind (over hustagene) kom fra nordlig retning (Tabel 5.1). Ved målestationen på HCAB var der svag vind (1-3 m/s) overvejende fra sydøstlig retning, hvilket umiddelbart betyder, at det hovedsageligt er trafikken i området sydøst for målestationen, som forventes at påvirke målestationen. Vinden var dog meget varierende og flere perioder med f.eks. nordvestlig vind blev observeret. Temperaturen lå på lige over frysepunktet og der var en del solskin.

De målte koncentrationer af NO_x i observationsperioden ses på Figur 5.2. Det skal bemærkes, at der er en vis usikkerhed på timingen mellem en observation af trafikken og den tid, hvor de pågældende udledninger fra f.eks. en holdende bus bliver registreret på NO_x -monitor som følge af forskelle i afstand mellem kilde og monitor, varierende vindhastighed og turbulens og endelig udglatning af signalet og forsinkelser i instrumentet selv.

På figuren angives med numre en række eksempler på trafikmønstre, som kunne forventes at påvirke koncentrationen af NO_x . I de følgende forklaringer af trafikmønstrene betegnes kørebanerne med 1-3 for de tre baner mod Rådhuspladsen, bane 4 er venstresvingsbanen mod Stormgade og bane 5-7 er de tre baner mod Langebro, som ligger længst væk fra målestationen. Vindretning nævnes kun, når den afviger fra den typiske sydøstlige vindretning. Trafikmønstrene svarende til numrene er følgende:

1. Venstresvingsbåsen mod Stormgade er fyldt op med holdende køretøjer (personbiler, varevogne, bus).
2. Venstresvingsbåsen mod Stormgade er fyldt op med holdende køretøjer (personbiler, varevogne, bus).
3. Lav trafik i alle spor.
4. Massiv kø i de tre baner (1-3) mod Rådhuspladsen helt ned mod lyskrydset ved Stormgade. To store lastvogne kørte langsomt forbi målestationen i inderste bane mod Rådhuspladsen.
5. Tæt pakket i de tre baner (1-3) mod Rådhuspladsen.
6. Tæt pakket i bane 1-3 ned forbi målestationen med flere lastvogne og varevogne.

7. Varevogn og bus holdende i venstresvingsbås (4) ud for målestationen. Vindretningen var i denne korte periode overvejende fra sydvest.
8. Relativt lang periode, hvor venstresvingsbåsen stort set var fyldt op hele tiden med varierende sammensætning af personbiler, busser, lastvogne og varevogne.
9. Få køretøjer i alle spor.
10. Relativt frit flydende trafik i begge retninger. Toppen kan ikke umiddelbart forklares.



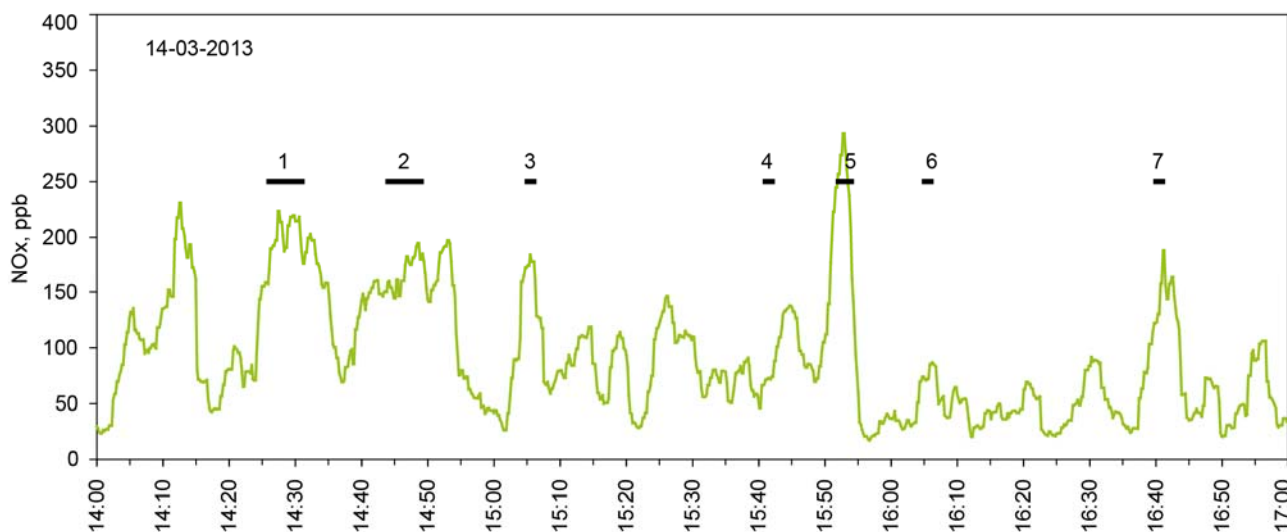
Figur 5.2. Koncentrationen af NO_x i den første observationsperiode målt med høj tidsopløsning på HCAB den 14. marts 2013 i perioden fra 7:40 til 10:20. De sorte vandrette streger og numrene refererer til observationer af trafik som beskrevet i teksten.

Koncentrationerne af NO_x varierer relativt kraftigt i observationsperioden med toppe og dale typisk af 3-10 minutters varighed. Disse variationer kan derfor ikke umiddelbart forklares af frekvenserne for skift af lyskrydsene (omkring 1 minut). I visse tilfælde kan de forklares som en følge af ekstra massiv kødannelse, som det tager mere end et omløb af lyskrydset at afvikle (1, 2, 4 og 8). I andre tilfælde er der ikke umiddelbare trafikale forklaringer på variationerne i koncentrationerne (10). Det er derfor givet, at variationerne i koncentrationen af NO_x skyldes samspillet mellem de observerede trafikmønstre og den relativt varierende vind.

Den anden observationsperiode lå i eftermiddagsmyldretiden torsdag den 14.3.2013 i perioden fra 14:00 til 17:00. Den frie vind var fra nordlig retning. Vinden var stadig svag, men dog noget kraftigere end ved den første observationsperiode (Tabel 5.1). Den hyppigste vindretning ved observationspunktet (50 m nordøst for målestationen og tæt på passagen Bag Rådhuset) var fra nordøst. Grundet turbulensen skabt af bygningerne forventes vindretningen ved målestationen, som hovedregel at være fra sydvest og dermed afvige betydeligt fra den generelle vindretning. Det var skyet med en del sol ind imellem. Temperaturen ved målestationen lå på 3-4 plus grader, og der var en del solskin. De målte koncentrationer af NO_x i observationsperioden ses på Figur 5.3. Trafikmønstrene svarende til numrene i figuren er følgende:

1. Venstresvingsbåsen mod Stormgade er fyldt op med holdende køretøjer (personbiler, varevogne, bus) ud for målestationen.
2. Venstresvingsbåsen mod Stormgade er fyldt op med holdende køretøjer (personbiler, varevogne, bus) langt hen forbi målestationen.
3. Normal trafikafvikling.
4. Kø i de tre spor (1-3) mod Rådhuspladsen 20 m ned forbi målestationen.

5. Normal trafikafvikling.
6. Sydlig vindretning for omkring 30 s. Dette skift i vinden kan have været årsag til denne mindre top i en periode med generelt lave koncentrationer.
7. Normal trafikafvikling.

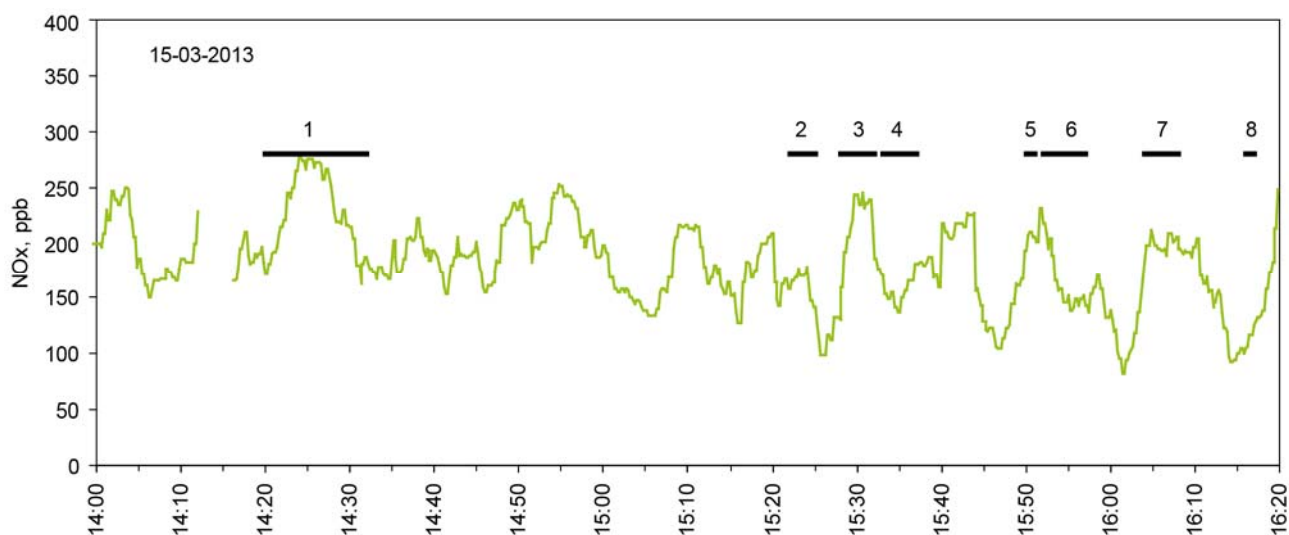


Figur 5.3. Koncentrationen af NO_x i den anden observationsperiode målt med høj tidsopløsning på HCAB den 14. marts 2013 i perioden fra 14:00 til 17:00. De sorte vandrette streger og numrene refererer til observationer af trafik som beskrevet i teksten.

Det generelle trafikmønster i perioden mindede om det, som blev observeret i den første observationsperiode. Dog var antallet af lastvogne og varevogne mindre end i den første periode. Den mest intense trafik var i bane 5-7 mod Langebro. Det var kun sjældent, at der kom lang kø af holdende biler i venstresvingsbanen mod Stormgade. Generelt varierer koncentrationerne af NO_x på samme måde som i den første observationsperiode, men koncentrationerne er tydeligt lavere end i den første observationsperiode. Det vurderes, at dette væsentligst skyldes, at vinden er gået over i nordvestlig retning og blevet lidt kraftigere.

Den tredje observationsperiode lå i eftermiddagsmyldretiden fredag den 15-3-2013 i perioden fra 14:00 til 16:20. Den frie vind var fra nordøst. Ved målestationen var vinden ganske svag (2-3 m/s). Vindretningen varierede en hel del, men den hyppigste vindretning var fra sydøst, hvilket vil sige stort set parallelt med HCAB. Det var hovedsageligt sol med temperaturer ved målestationen på et par plus grader. De målte koncentrationer af NO_x i observationsperioden ses på Figur 5.4. Trafikmønstrene svarende til numrene i figuren er følgende:

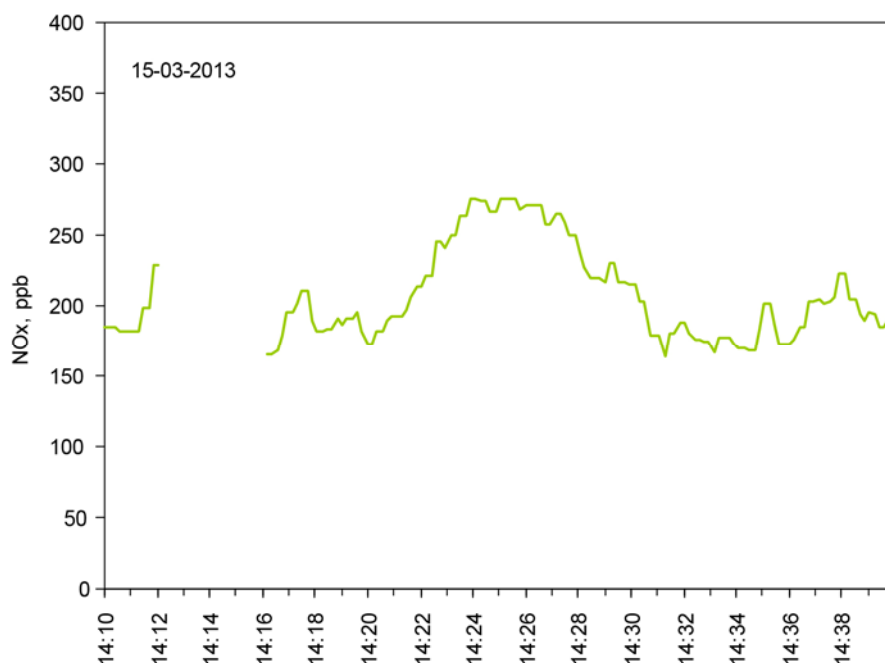
1. Ingen speciel kødannelse. Periode præget af bølger af køretøjer på omkring 30-50 stk. i bane 1-3. Forholdsvis hurtigt kørende.
2. Kødannelse i bane 1-3 helt ned til Stormgade. Trillende.
3. Massiv kø hele vejen ned til Stormgade i bane 1-3. Holder næsten stille.
4. Holder fortsat hele vejen ned til Stormgade i bane 1-3, men knap så massivt og ind i mellem vind fra nordlig i retningen.
5. Bus holdt 1 minut i venstresvingsbanen (4) ud for målestationen.
6. Frit flow i trafikken.
7. Busser afløser hinanden i venstresvingsbanen (4), så der nogenlunde konstant har været bus holdende i 4 minutter.
8. Bus holdt i venstresvingsbane (4) sammen med lastvogn i bane 5. Lidt forsinket kom en større top, som de måske var medvirkende til.



Figur 5.4. Koncentrationen af NO_x i den tredje observationsperiode målt med høj tidsopløsning på HCAB den 15. marts 2013 i perioden fra 14:0 til 16:20. De sorte vandrette streger og numrene refererer til observationer af trafik som beskrevet i teksten.

Toppen mærket med 1 i Figur 5.4 er yderligere forstørret i Figur 5.5. Her kan en række mindre toppe ses oven på den bredere top. Disse små toppe kommer med omkring 1 minuts mellemrum, hvilket svarer til tidsrummet mellem bølgerne af køretøjer på 30-50 stk., som kommer kørende med relativt god fart i bane 1-3 ind mod Rådhuspladsen, hver gang der blev grønt for ligeudkørende ved lyskrydset ved Stormgade. Frekvensen af bølgerne svarer tidsmæssigt til den udglætning af de målte koncentrationer (1 minuts løbende middelværdier), som sker i instrumentet. En mindre udglætning i instrumentet ville derfor formentligt føre til en bedre opløsning af de målte koncentrationer af NO_x .

Figur 5.5. "Forstørrelse" af top mærket med 1 i Figur 5.4. De små toppe ovenpå den store top svarer til en bølge af 30-50 biler, som kommer med relativt stor fart forbi målestationen i bane 1-3. Frekvensen af de små toppe på omkring 1 minut svarer til frekvensen af grønt lys for ligeudkørende på HCAB ved lyskrydset ved Stormgade.



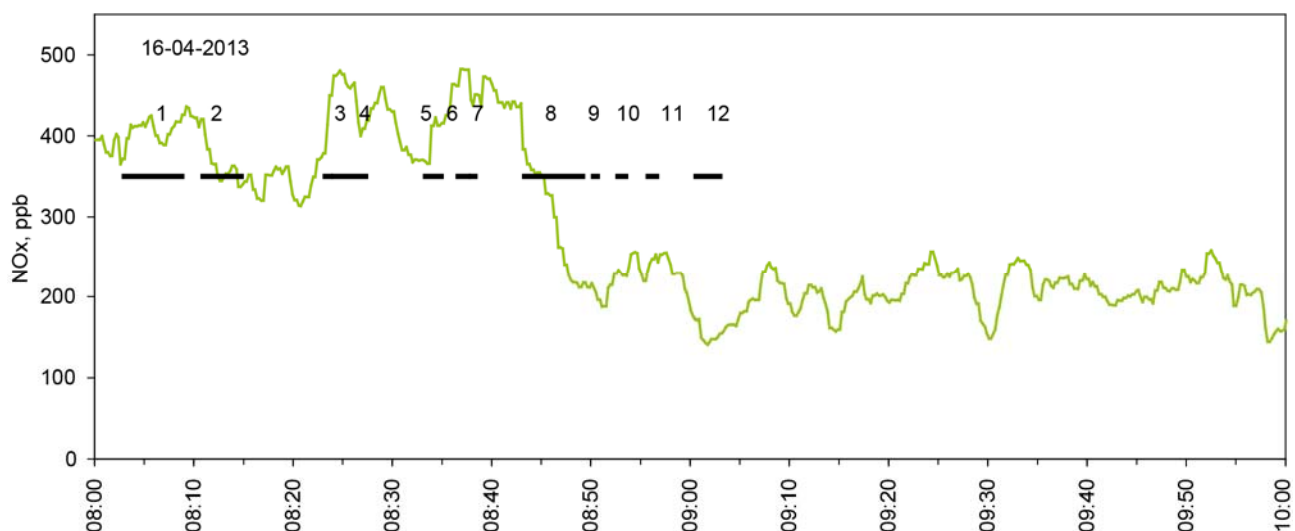
Den fjerde observationsperiode lå i morgenmyldretiden tirsdag den 16-04-2013 i perioden fra 8:00 til 10:00 (sommertid). For den første del af perioden var der stort set ingen vind (0,8 m/s og 242° på H.C. Ørsted Instituttet (HCØ)). I løbet af de næste 2 timer øgedes vinden sagte (omkring 3 m/s og 200° på HCØ). Ved målestationen på HCAB var der ligeledes svag vind (0,5-1,5 m/s) overvejende fra SØ (omkring 135°), men med meget varierende vindretninger. Vindhastigheden var relativt svag i hele perioden. Temperaturen lå på 11,5 °C på HCØ. I hovedparten af perioden lå der en let morgentåge, som solen ikke kunne bryde helt igennem.

De målte koncentrationer af NO_x i observationsperioden ses på Figur 5.6. Trafikmønstrene svarende til numrene i figuren er følgende:

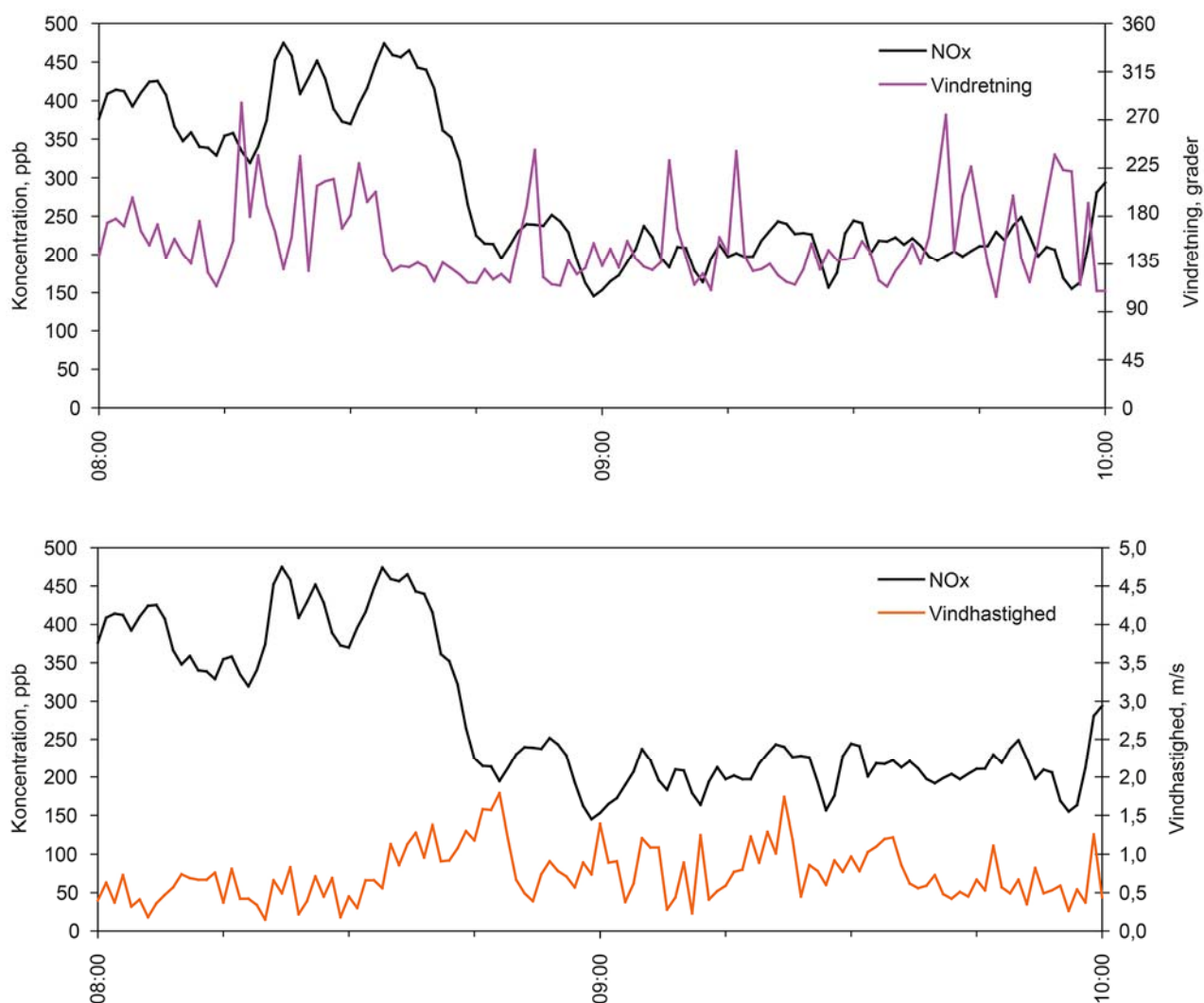
1. Kø i bane 1-3 hele vejen ned til Stormgade.
2. Periode med bedre glid i bane 1-3 og med knap så mange køretøjer.
3. 4 lastbiler langsomt forbi målestation i bane 1.
4. Bane 4-7 tæt pakket med kø, som oftest går ned forbi målestationen.
5. Bane 1-3 med kø hele vejen ned til Stormgade bl.a. med lastbil som holdt stille ud for målestationen.
6. Kø i bane 1-3 hele vejen til Stormgade. To lastbiler langsomt forbi målestation i bane 1.
7. Stillestående kø i alle baner i 20 s.
8. Periode hvor bane 4 er stort set konstant fyldt med køretøjer og bane 5-7 er hårdt belastet.
9. Lastbil holdende lige ud for målestation i bane 1 og 2 lastbiler i bane 4.
10. Lastbil langsomt forbi målestation i bane 1. Kunne tydeligt lugtes.
11. Kø i bane 1 hele vejen til Stormgade og med to busser holdende i 15 s ud for målestationen.
12. Lidt pause i trafikken.

I den sidste del af perioden (efter 9:05) gled trafikken tydeligvis lettere end i den foregående time, hvilket skyldtes, at morgenmyldretrafikken var aftagende. Det betød også generelt noget højere hastigheder.

Figur 5.7 viser vindretning og hastighed målt ved HCAB i observationsperioden sammen med de målte koncentrationer. Der ses en vis sammenhæng mellem vindhastigheder og NO_x, f.eks. ses, at det store fald i koncentrationen omkring kl. 8:45 er sammenfaldene med en periode med relativt høj vindhastighed. Dog er det også klart, at korrelationen mellem NO_x og f.eks. vindhastighed eller vindretning generelt ikke er særligt stærk, hvilket skyldes, at variationerne af NO_x er styret af samspillet mellem variationerne af udledningerne og de meteorologiske forhold.



Figur 5.6. Koncentrationen af NO_x i den fjerde observationsperiode målt med høj tidsopløsning på HCAB den 16. april 2013 i perioden fra 8:00 til 10:00 (sommertid). De sorte vandrette streger og numrene refererer til observationer af trafik som beskrevet i teksten.



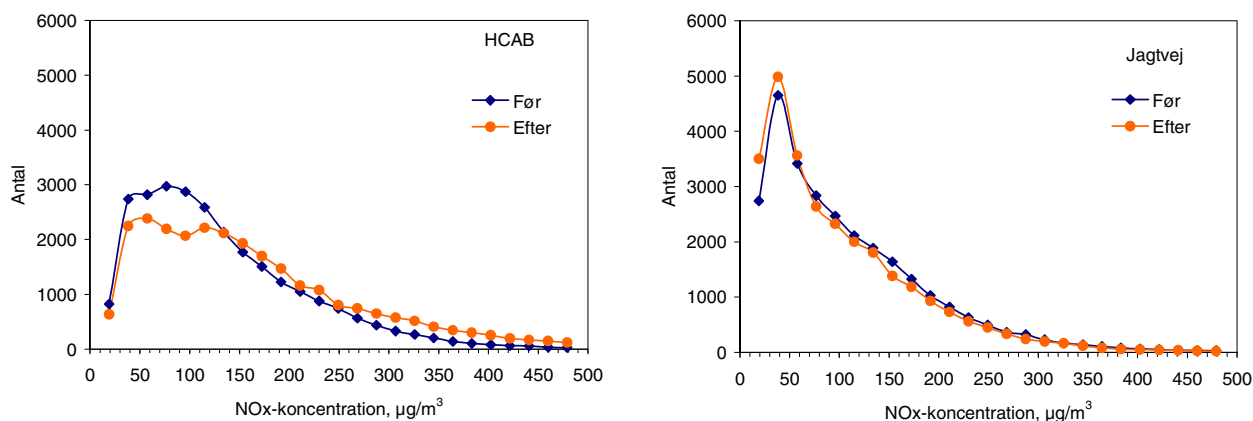
Figur 5.7. Koncentrationen af NO_x i den fjerde observationsperiode vist sammen med vindretning (øverst) og vindhastighed (nederst) målt med Sonic på HCAB.

5.4 Fordeling af NO_x-koncentrationer før og efter sommeren 2010

For at få et mere kvantitativt billede af, hvordan koncentrationerne af NO_x har ændret sig i sommeren 2010 er der lavet en undersøgelse af fordelingen af de forskellige koncentrationsniveauer. I Figur 5.8 ses et plot af fordelingen af NO_x-koncentrationerne før (2008 til og med maj 2010) og efter (september 2010 til og med 2012) på henholdsvis HCAB og Jagtvej. Den lange tidsperiode på 2½ år før og efter sommeren 2010 er valgt for at minimere effekten af de naturlige variationer i de meteorologiske forhold.

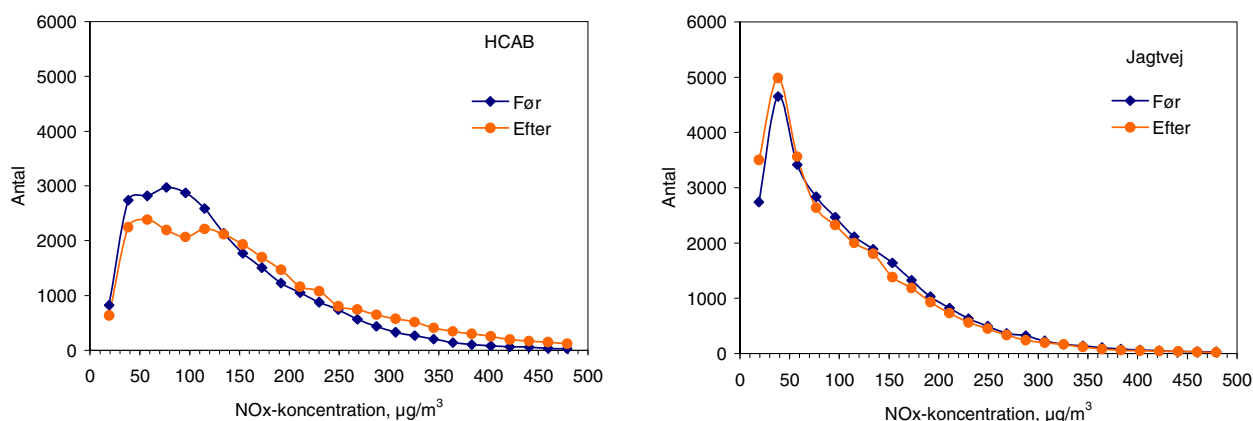
På Jagtvej ses en stort set identisk fordeling af koncentrationer før og efter sommeren 2010. Dette viser, at de trafikale og meteorologiske forhold har været relativt konstante i de to perioder, hvilket er i overensstemmelse med forventningerne.

På HCAB ses et relativt stort skift i fordelingen af koncentrationerne, hvor der er blevet færre af de lave koncentrationer og flere af de høje koncentrationer. Det er så at sige hele spektret af koncentrationer, som er blevet ændret. Dette peger på, at årsagen til ændringerne i koncentrationsniveauet på HCAB må være noget, der giver en ændring, som påvirker såvel de helt lave koncentrationer som de helt høje koncentrationer. Dette kunne pege på, at fjernelse af busbanen har været en af de væsentligste årsager til de øgede koncentrationer, fordi denne ændring påvirker hele døgnet rundt. Hvis de forøgede koncentrationer hovedsageligt var skabt af øget kødannelse forventes det, at det navnlig er de høje koncentrationer, som ville være blevet højere, mens de lave koncentrationer om natten stort set ville være uforandrede.

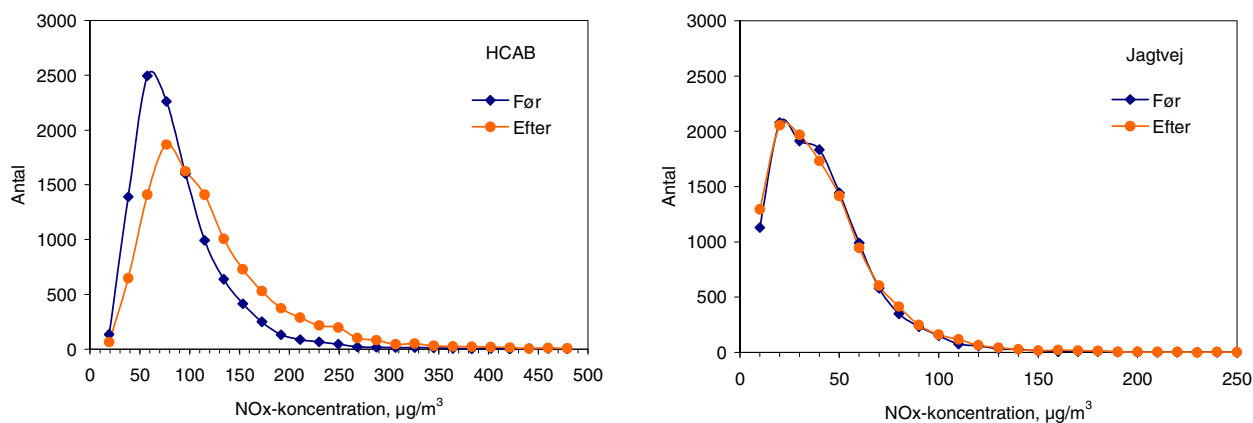


Figur 5.8. Fordeling af NO_x-koncentrationer (½-timesmiddelværdier) på HCAB og Jagtvej før sommeren 2010 (2008 til og med maj 2010) og efter sommeren 2010 (september 2010 til og med 2012).

I Figur 5.9 og 5.10 ses ændringerne i fordelingen af NO_x opdelt på hverdage og weekend. Som ventet ses, at de højeste koncentrationer forekommer på hverdagene. For Jagtvej ses relativt ens fordelinger før og efter sommeren 2010 for henholdsvis hverdag og weekend. For HCAB ses i begge tilfælde tydelige ændringer med et færre antal lave koncentrationer og et højere antal høje koncentrationer.



Figur 5.9. Fordeling på hverdage af NO_x-koncentrationer (½-timesmiddelværdier) på HCAB og Jagtvej før sommeren 2010 (2008 til og med maj 2010) og efter sommeren 2010 (september 2010 til og med 2012).



Figur 5.10. Fordeling i weekenden af NO_x-koncentrationer (½-timesmiddelværdier) på HCAB og Jagtvej før sommeren 2010 (2008 til og med maj 2010) og efter sommeren 2010 (september 2010 til og med 2012).

Ændringerne i middelværdierne for NO_x på alle dage, hverdage og i weekend ses i Tabel 5.2. For HCAB ses en øgning af koncentrationen på alle dage på 31%, mens ændringerne for hverdage er lidt mindre (28%) og i weekend lidt højere (39%), hvilket er uventet. Tilsvarende mønster ses for Jagtvej, hvilket peger på, at årsagen ikke skal findes i forbindelse med ændringerne på HCAB, men må skyldes mere generelle ændringer i f.eks. trafikforholdene. En mulig forklaring kunne være, at ændringerne i butikkernes åbningstider har flyttet en del trafik fra hverdag og over til weekenden. Dette er dog blot en hypotese, som bør undersøges yderligere. En anden årsag kan være, at der på trods af den relativt lange undersøgelsesperiode fortsat kan være forskelle i de meteorologiske forhold mellem hverdag og weekend, som ikke er blevet elimineret fuldstændigt.

Tabel 5.2. Middelværdi af NO_x-koncentrationen alle dage, hverdage og weekend på HCAB og Jagtvej før sommeren 2010 (2008 til og med maj 2010) og efter sommeren 2010 (september 2010 til og med 2012). Endvidere angives den procentvise ændring.

	HCAB			Jagtvej		
	Før µg/m ³	Efter µg/m ³	Ændring %	Før µg/m ³	Efter µg/m ³	Ændring %
Alle dage	111	145	31	92	88	-4
Hverdage	124	159	28	102	94	-7
Weekend	79	110	39	70	71	2

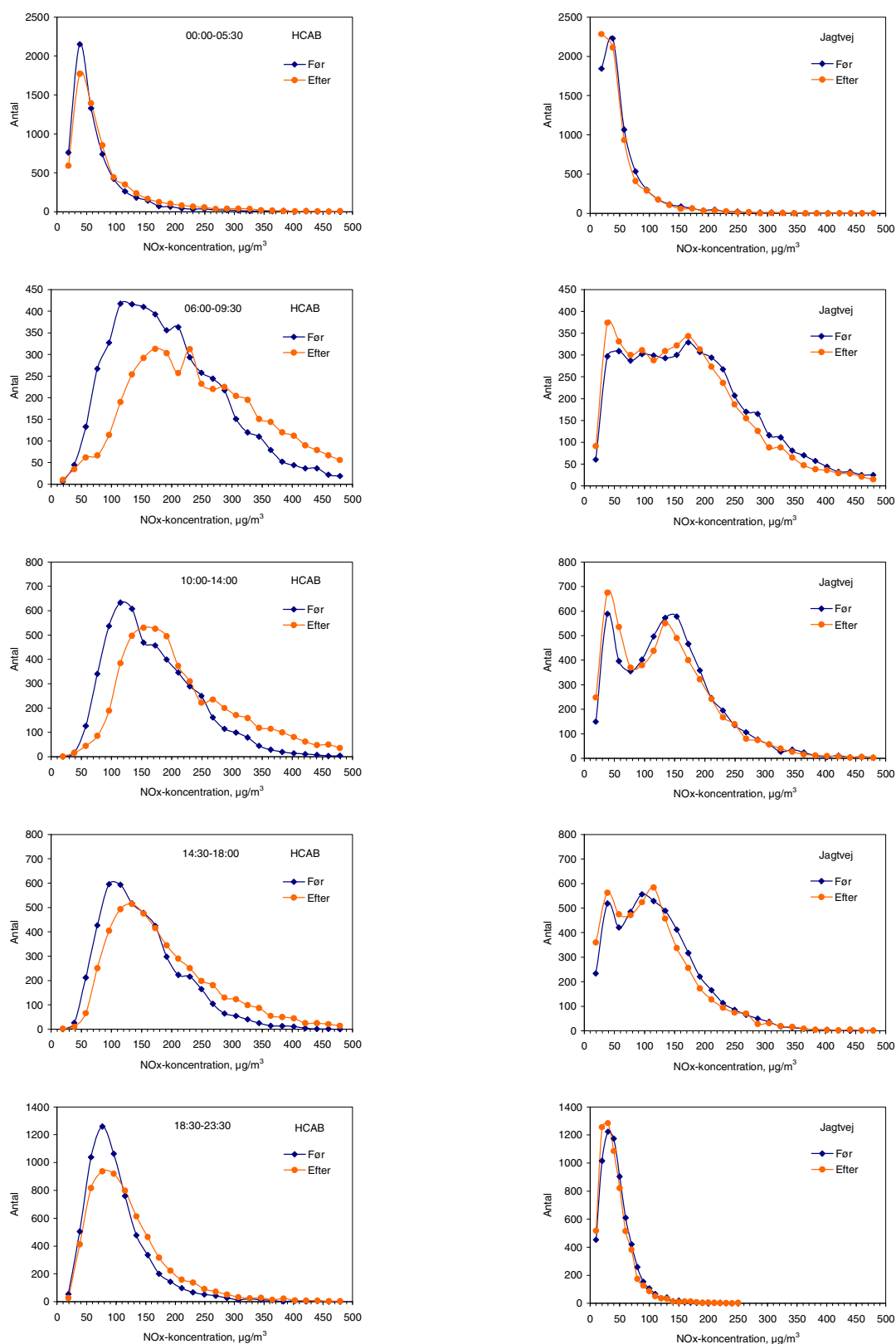
Figur 5.11 viser fordelingen af NO_x på forskellige tidsrum af alle hverdage. Dagen er blevet delt op i nat (00:00-05:30), morgenmyldretid (06:00-09:30), midt på dagen (10:00-14:00), eftermiddagsmyldretid (14:30-18:00) og aften (18:30-23:30). For HCAB ses igen, at der er sket en flytning af så at sige hele fordelingen mod højere koncentrationer, og at det gælder for såvel natten som myldertidsperioderne. For Jagtvej ses igen stort set ens fordelinger før og efter sommeren 2010. For både HCAB og Jagtvej er der tydelig forskel mellem fordelingerne om natten og f.eks. morgenmyldretid, hvor natten har en smal fordeling med maksimum omkring 40 µg/m³, mens morgenmyldretiden har en bred fordeling med maksimum på omkring 115 µg/m³.

I Tabel 5.3 angives middelkoncentrationerne for NO_x for de forskellige perioder på hverdagene. For Jagtvej ses et fald på omkring 7% for alle perioderne undtagen natten, hvor faldet er på 11%. Faldet på Jagtvej fra før til efter sommeren 2010 skyldes for en stor del de generelle reduktioner i udledningerne, som følge af forbedringer af køretøjerne. Variationer i de meteorologiske forhold kan også være en del af forklaringen på faldet på Jagtvej.

For HCAB ses en stigning i alle perioderne. Den mindste stigning ses om natten og aftenen (21%) og den største i morgenmyldretid (36%) og midt på dagen (34%). Dette peger på, at årsagen til de øgede koncentrationer for det første skyldes en ændring, som påvirker koncentrationerne hele døgnet rundt og som påvirker koncentrationerne selv om natten, hvor der ikke forventes alvorlige problemer med kødannelse og stillestående trafik. For det andet skyldes de forøgede koncentrationer nogle ændringer, som giver en ekstra øgning af koncentrationerne i perioderne med den højeste trafikintensitet.

Tabel 5.3. Middelværdi af NO_x-koncentrationen i forskellige tidsrum på hverdage (00:00-05:30, 06:00-09:30, 10:00-14:00, 14:30-18:00, 18:30-23:30) på HCAB og Jagtvej før sommeren 2010 (2008 til og med maj 2010) og efter sommeren 2010 (september 2010 til og med 2012). Endvidere angives den procentvise ændring.

	HCAB			Jagtvej		
	Før µg/m ³	Efter µg/m ³	Ændring %	Før µg/m ³	Efter µg/m ³	Ændring %
00:00-05:30	61	74	21	46	41	-11
06:00-09:30	193	262	36	176	165	-7
10:00-14:00	160	213	34	129	121	-7
14:30-18:00	142	180	26	111	103	-7
18:30-23:30	94	113	21	77	72	-6



Figur 5.11. Fordeling i forskellige tidsrum på hverdage (00:00-05:30, 06:00-09:30, 10:00-14:00, 14:30-18:00, 18:30-23:30) af NO_x -koncentrationer ($\frac{1}{2}$ -timesmiddelværdier) på HCAB og Jagtvej før sommeren 2010 (2008 til og med maj 2010) og efter sommeren 2010 (september 2010 til og med 2012). Klokketættene angiver tidspunkt for begyndelsen af en $\frac{1}{2}$ -time, således at hele døgnet er dækket af de valgte perioder.

5.5 Konklusioner

Ændringerne af fordelingerne af koncentrationerne af NO_x og ændringerne i middelværdierne på Jagtvej og HCAB peger på følgende:

- De øgede koncentrationer af NO_x på HCAB er et specielt fænomen for HCAB. De øvrige veje i København forventes at have en udviklingstendens svarende til den, der observeres på Jagtvej
- De øgede koncentrationer skyldes dels ændringer, som påvirker koncentrationerne hele døgnet rundt og dels ændringer, som giver en ekstra forøgelse af koncentrationerne i navnlig myldretiderne men også midt på dagen.
- Ændringerne af vejbanerne på HCAB i sommeren 2010 har ført til en generel flytning af trafikken tættere på målestationen, hvilket alt andet lige vil føre til øgede koncentrationer hele døgnet rundt. Ændringerne i vejbanerne kunne derfor være en årsag, som har ført til en øgning af koncentrationerne hele døgnet rundt.
- I forbindelse med observationerne på HCAB observeredes jævnligt meget trængsel og hyppige kødannelser, hvor trafikken ofte står næsten stille ud for målestationen. Disse kødannelser kunne være årsagen til den ekstra forøgelse af koncentrationerne, som observeres i myldretiderne og midt på dagen.

6 Følsomhedsanalyse af trafikparametres indflydelse på luftkvaliteten

Vurdering af måleresultaterne fra 2010 – 2012 har vist, at der i denne periode har været forøgede gennemsnitlige koncentrationer af NO_x og NO_2 på henholdsvis omkring $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ved målestationen på HCAB. Det forventes at ændrede trafikforhold er årsag til stigningerne i koncentrationerne, herunder ændringer i trafikintensitet, øget trængsel og nedsat hastighed.

For at kvantificere effekten af ændringer i trafikken (koldstart, intensitet og hastighed) har DCE ved hjælp af lokalskalamodelberegninger undersøgt, hvor store ændringer i trafikken (trafikintensitet, hastighed, andel af tungtrafik m.m.), der skal til for at forklare de forøgede koncentrationer.

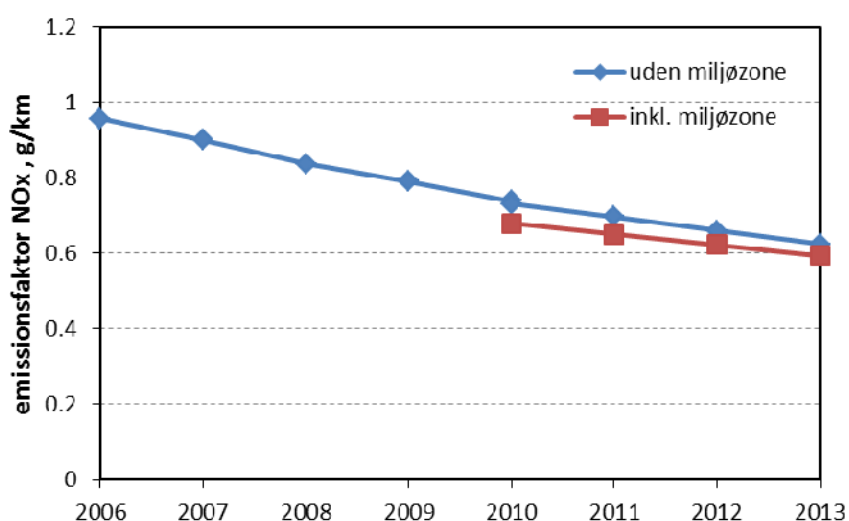
Kapitlet indledes med en beskrivelse af udgangssituationen i forhold til emissions- og koncentrationsudvikling. Herefter præsenteres resultater fra en række modelberegninger, som viser modellens følsomhed over for ændringer i de vigtigste parametre for selve trafikken.

6.1 Udgangssituation

6.1.1 Variation af emissioner med køretøjssammensætning

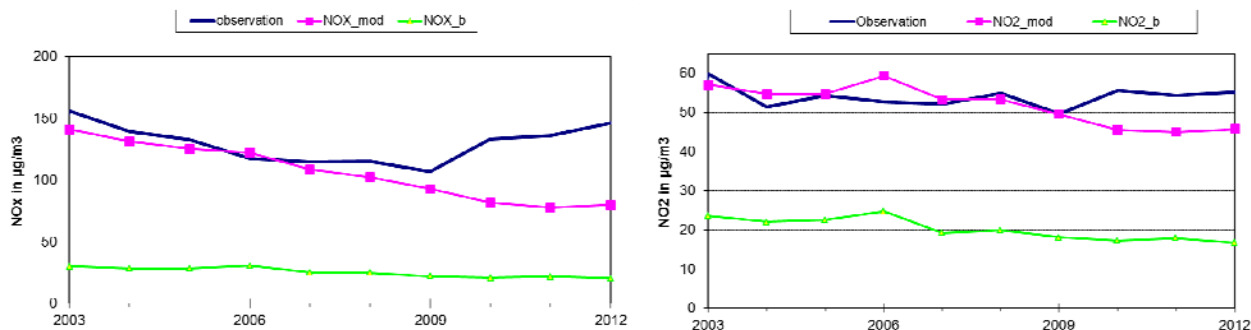
På grund af den løbende fornyelse af køretøjsparken og de forventede lavere emissionsfaktorer af de nyeste EURO-klasser beregnes der på grundlag af COPERT emissionsmodellen et fald i udledningerne af NO_x fra år til år, hvilket illustreres for HCAB i Figur 6.1. Det fald i emissionsfaktorer som modellen beregner, er ca. 5-7% per år. Her i kapitlet lægges COPERT's forudsætninger til grund for beregningerne. Introduktion af miljøzonen i København giver en yderligere reduktion på ca. 7%. Det viste fald er beregnet for en konstant trafik gennem årene.

Figur 6.1. Udvikling af NO_x emissionsfaktor (enhed: $\text{g NO}_x / \text{km}$) fra 2006 til 2013 for et gennemsnitskøretøj på HCAB.



6.1.2 Koncentrationer

Udviklingen i 2003-2012 i de målte og med OSPM® beregnede koncentrationer af NO_x og NO₂ er vist i Figur 6.2. OSPM i sin nuværende opsætning er ikke i stand til at forklare den stigning i de målte koncentrationer efter 2009. OSPM® viser en god overensstemmelse med målinger i 2003-2009 især for NO₂, men OPSM har en tendens til at underestimere NO_x.



Figur 6.2. Målte (observation) og modelberegnete koncentrationer af NO_x og NO₂ som årsmiddel fra 2003 til 2012. NO_x_mod og NO_x_b angiver henholdsvis modelberegnete gadekoncentrationer og modelberegnete bybaggrunds-koncentrationer. Tilsvarende gælder for NO₂.

6.2 Følsomhed af emissioner over for trafikparametre

I dette afsnit analyseres ændringer i udledninger af NO_x som følge af ændringer i andelen af koldstarter og trafikens hastighed (rejsehastighed). Som udgangspunkt for beregningerne anvendes en køretøjssammensætning fra HCAB baseret på datagrundlag fra 2012 som vist i første linje i Tabel 6.1. Imidlertid er der foretaget en trafiktælling af Københavns kommune i april 2013. Resultater baseret på denne tælling er anført nederst i Tabel 6.1. Væsentlige ændringer er, at andelen af tung trafik er faldet fra 4,7% til 3,5% mens andelen af varebiler stiger fra 11% til 19%. Effekten af den nye trafik-tælling er estimeret i næste afsnit. Selve fordelingen på alder og EURO normer inden for køretøjsskategorierne baseres på data for 2010. Det vurderes at valg af aldersfordeling ikke har væsentlig indflydelse på resultater af følsomhedsanalysen, da hastighedsafhængighed for de forskellige EURO-normer ligner hinanden.

Tabel 6.1. Absolutte og relativ køretøjssammensætning på HCAB som antaget i Jensen et al. (2012) og Ellermann et al. (2012), som bruges i sensitivitetsanalyser i dette afsnit (øverste linje). Køretøjssammensætning ifølge en tælling i april 2013 er vist i nederste linje.

Datakilde	ÅDT (køret./døgn)	Personbiler	Taxa	Varebiler	Lastbiler < 32t	Lastbiler > 32t	Busser	Tungt i alt
Data fra 2012	51 500	39375	3888	5824	1339	180	886	2405
relativt		76.5%	7.6%	11.3%	2.6%	0.4%	1.7%	4.7%
Tælling i 4/2013	55 400	38531	4183	10748	1074	145	720	1939
Relativt		69.6%	7.6%	19.4%	1.9%	0.3%	1.3%	3.5%

6.2.1 Koldstart

I den nuværende (senest revideret i 2012) trafikfil er koldstartsandelen på 7%. Dvs. at 7% af alt trafik på HCAB kører med kold motor eller kold katalysator (ca. 2 første minutter efter start af kold motor).

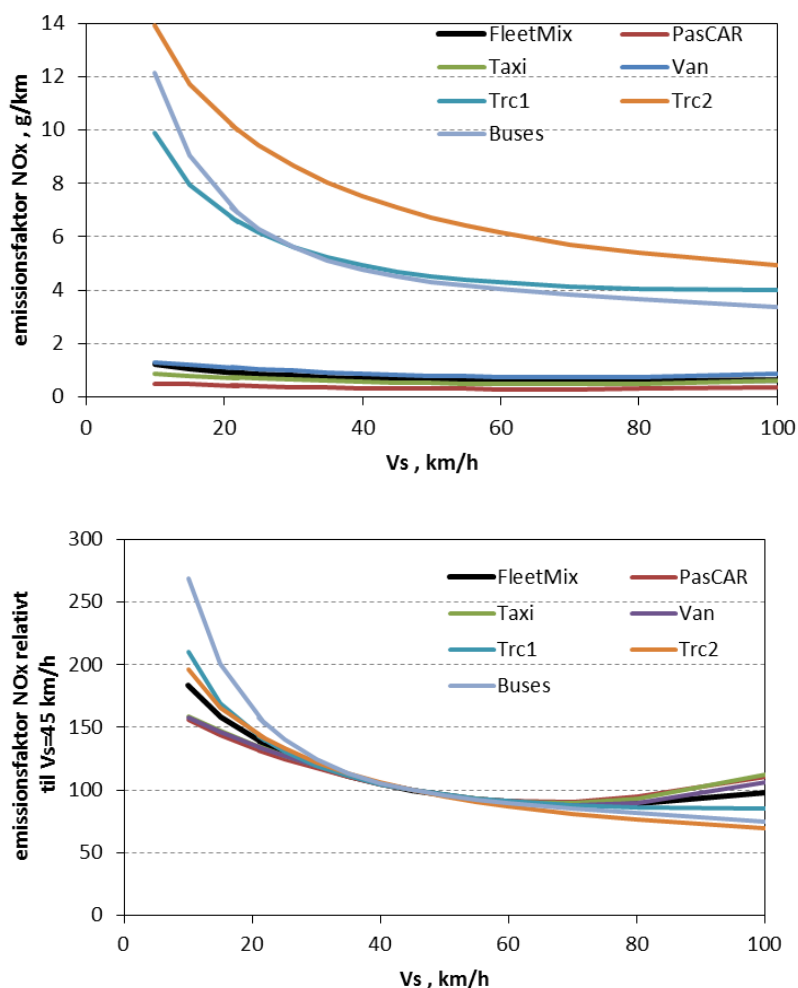
En ændring fra den nuværende koldstartsandel fra 7% til 0% vil medføre en reduktion i emissionerne på ca. 9% for personbiler, 1% for taxa og varebiler, mens ingen ændringer optræder for tunge køretøjer (se Tabel 6.3). I middel for hele køretøjsparken vil emissionerne falde med ca. 4%.

6.2.2 Rejsehastighed

Figur 6.3 viser emissionsfaktorer på HCAB i 2010 for NO_x som funktion af rejsehastigheden for de forskellige køretøjsklasser. Tabel 6.2 giver ændringer af emissioner for de enkelte klasser i forhold til en referencerjeshastighed på 45 km/t svarende til den gennemsnitlige rejsehastighed, som hidtil er blevet anvendt i OSPM-modellen.

I Tabel 6.3 angives de beregnede emissionsfaktorerne for 4 scenarier, hvor den gennemsnitlige rejsehastighed ændres. Det ses tydeligt, at rejsehastigheden har en afgørende betydning på emissionerne af NO_x (og CO) med en kraftig stigning, når rejsehastigheden sænkes. En reduktion i rejsehastigheden til 75%, 50% og 25% (svarende til 34 km/t, 22 km/t og 11 km/t) af den nuværende anvendte gennemsnitlige rejsehastighed på 45 km/t giver en forøgelse af emissionerne af NO_x på henholdsvis 14%, 36% og 78%.

Figur 6.3. Emissionsfaktorer på HCAB i 2010 for NO_x som funktion af rejsehastigheden for de forskellige køretøjsklasser. Øverst: Absolutte værdier. Nederst: Relativt til hastighed 45 km/t.



Tabel 6.2. Relative ændringer i emissionerne af NO_x ved varierende rejsehastighed ifølge emissionsmodellen COPERT. Emissioner for rejsehastighed på 45 km/t er sat til 100.

Hastigh. (km/t)	Alle køretøjer	Personbiler	Taxa	Varebiler	Lastbiler < 32t	Lastbiler > 32t	Busser
10	184	156	159	158	210	196	269
15	158	144	147	146	169	165	201
21	139	132	135	134	143	144	158
25	129	125	127	127	131	133	140
30	119	117	119	119	120	122	124
35	111	110	112	112	111	113	114
40	105	104	105	105	105	106	106
45	100	100	100	100	100	100	100
50	96	96	96	96	96	95	96
70	89	91	90	88	88	81	85
100	98	111	112	106	85	70	75

Tabel 6.3. Emissionsfaktorer for NO_x i g/km på HCAB i referencesituation (2010) og med ændringer i koldstartandel og rejsehastighed. Relative ændringer i % er beregnet i forhold til referencesituationen.

Scenarie	Alle køret.	Personb.	Taxi	Vareb.	Lastb. <32t	Lastb. >32t	Busser	Koldstart andel i %	Hastigh. i km/h
Reference	0,679	0,327	0,544	0,834	4,955	7,562	4,788	7	44,9
Koldstart 0%	0,654	0,297	0,538	0,822	4,955	7,562	4,788	0	44,9
Relativt	-3.7%	-9.2%	-1,1%	-1,4%	0,0%	0,0%	0,0%		
Hast. 75%	0,772	0,367	0,616	0,945	5,662	8,705	5,646	7	33,7
Relativt	14%	12%	13%	13%	14%	15%	18%		
Hast. 50%	0,921	0,424	0,717	1,097	6,923	10,457	7,411	7	22,4
Relativt	36%	30%	32%	32%	40%	38%	55%		
Hast. 25%	1,212	0,502	0,848	1,29	9,955	13,987	12,22	7	11,2
Relativt	78%	54%	56%	55%	101%	85%	155%		

Gennemsnitsrejsehastigheden er dog ikke den eneste parameter som bestemmer emissionerne. Den samme gennemsnitshastighed kan give meget forskellige emissioner afhængigt af vejtype og hvilket trafikmønster, der køres efter. Dvs. det har betydning, om der køres med konstant hastighed eller med mange accelerationer, og hvor stor en andel af tiden trafikken kører med et "Stop & Go"-mønster. COPERT giver kun en emission for den gennemsnitlige rejsehastighed og tager ikke højde for sådanne variationer. En række europæiske lande benytter The Handbook of Emission Factors for Road Transport (HBEFA, <http://www.hbefa.net>), som et alternativ til COPERT. Denne metode har den fordel, at den giver mulighed for at vurdere emissionerne som funktion af vejtype og trafikmønster. Herudfra vurderes det, at emissionerne med samme gennemsnitlige rejsehastighed kan variere med op til plus/minus 30% som følge af variationer i trafikmønster og vejtype. HBEFA opererer med over 200 forskellige trafiksituationer, og der er en del usikkerhed i hvilken man skal vælge for at repræsentere den aktuelle vej på forskellige tidpunkter af døgnet. Det vil kræve detaljerede målinger og analyser af trafikmønsteret for at kunne bestemme trafiksituationen med større sikkerhed.

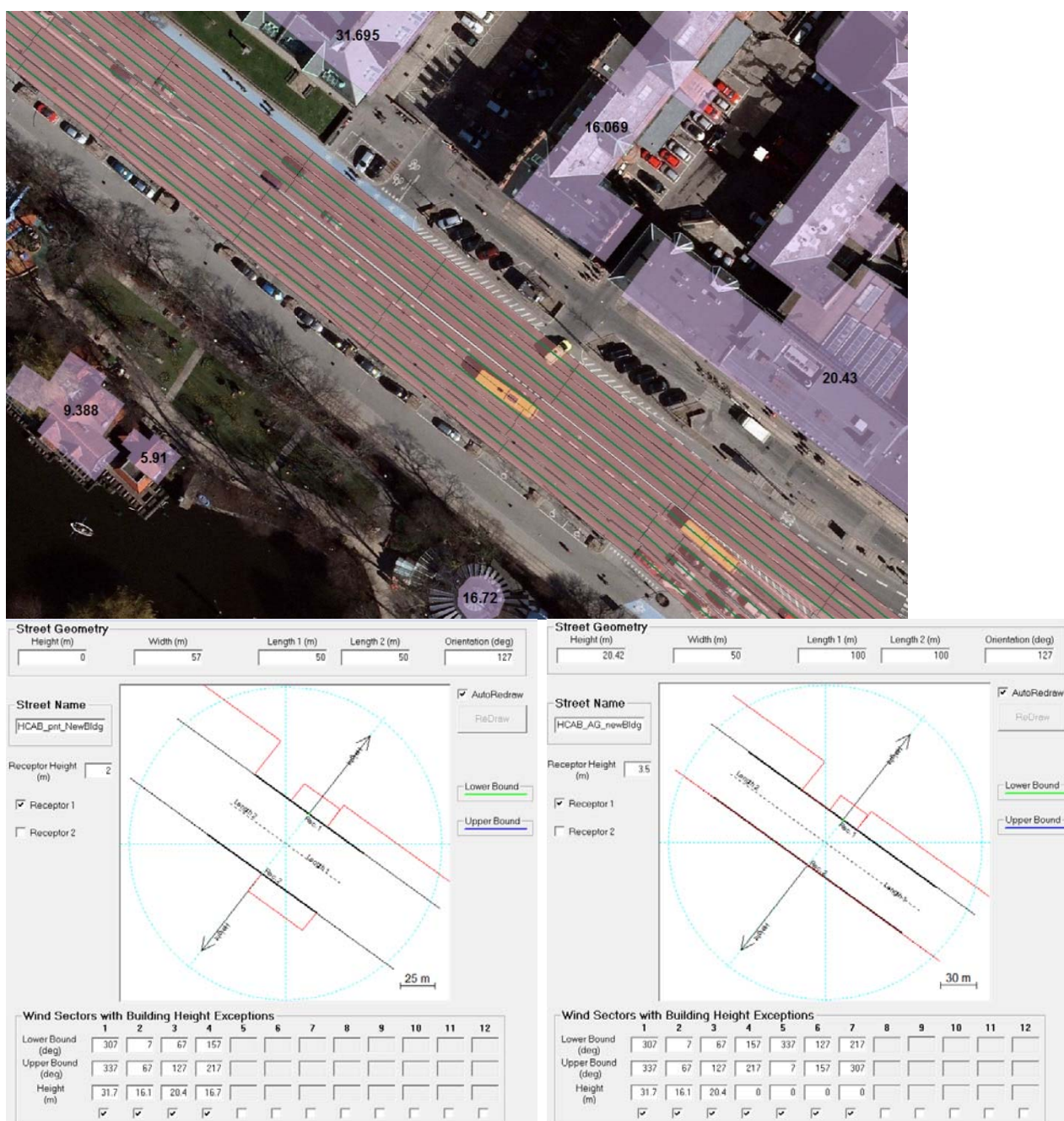
6.3 Følsomhed af koncentrationer over for trafik og modelparametre

Udover emissionerne har gade- og bygningskonfiguration også afgørende betydning for, hvordan den udledte forurening spredes i gaderummet, og dermed hvor store koncentrationer en given udledning vil resultere i.

I Figur 6.4 angives de nyeste GIS-bygningspolygoner og bygningshøjder i meter. Data blev genereret i februar 2013. Samme figur viser også OSPM bygningskonfigurationen for målestationen på HCAB genereret med AirGIS ud fra de viste bygningspolygoner. Vejbredden estimeres her til at være 57 m, hvilket er afstanden fra bygninger ved nordøstsiden til en mindre bygning på Tivolis areal. Denne bygning med højde på ca. 17m er oprindeligt blevet regnet med ind i bygningskonfigurationen. I forbindelse med nærværende beregninger vurderes det dog, at bygningen pga. afstanden, det lavere terrænniveau og den runde udformning ikke spiller en væsentlig rolle i forbindelse med beskrivelse af gadekonfiguration i modellen. Derfor er bygningen udeladt i de udførte modelberegninger. Endvidere måles vejbredden til ca. 50 m fra bygninger på nordøstsiden til heget på Tivolisiden, hvilket anses for at være mere korrekt end både den hidtil anvendte vejbredde på 60 m og den med AirGIS estimerede bredde på 57 m. Den resulterende nye OSPM-gadekonfiguration er også vist i Figur 6.4.

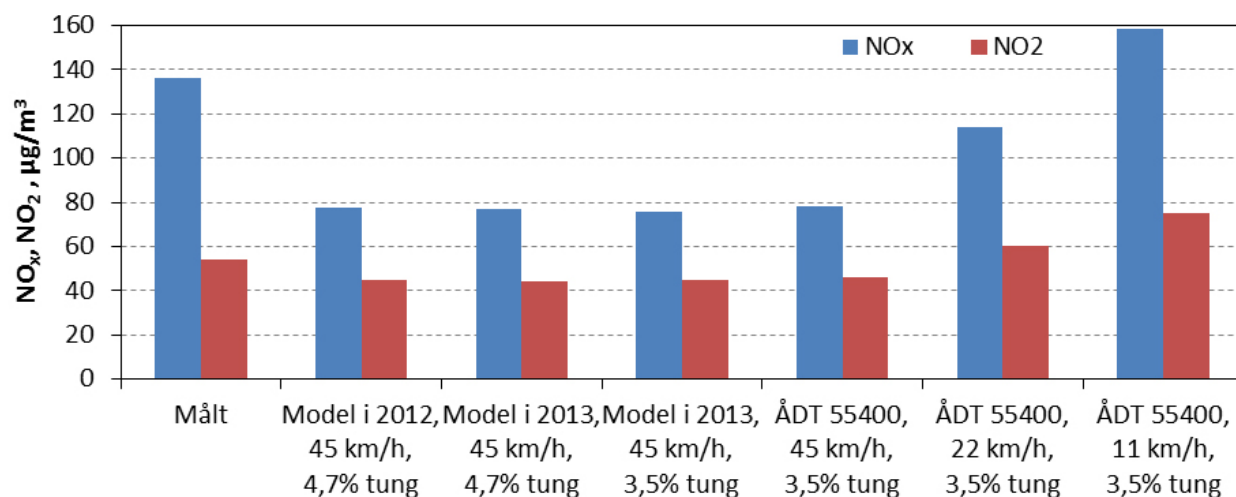
Der er beregnet årsmiddelkoncentrationer for NO_x og NO₂ på HCAB i 2011 for følgende scenarier:

1. Originale inputdata som brugt i NOVANA og Ren-luftzone rapporter i 2012 (Jensen et al. 2012, Ellermann et al. 2012), dvs. 4,7% tung trafik, hastighed 45 km/h.
2. Nyeste GIS-bygningsdata ellers som i scenarie 1.
3. Nye køretøjssammensætning med 3,5% tung trafik ellers som scenarie 2
4. Nyt ÅDT på 55 400 ellers som scenarie 3.
5. Rejsehastighed sat til 22 km/h ellers som scenarie 4.
6. Rejsehastighed sat til 11 km/h ellers som scenarie 4.



Figur 6.4. Øverst: Kort med de nyeste GIS-bygningspolygoner og højder i meter (data genereret i februar 2013). De 7 kørebaneer er digitaliseret i GIS med 3 meter brede linjekilder, som bruges til senere OML-Highway beregninger (kapitel 7). Nederst tv.: Den oprindelige AirGIS/OSPM bygningskonfiguration for målestationen på HCAB genereret med nyeste GIS-bygninger, vej-bredde 57 meter. Nederst th.: Den her anvendte modificerede gadekonfiguration med vejbredder på 50 meter og uden bygning på Tivolisiden.

De målte koncentrationer af NO_x og NO_2 og resultaterne fra ovennævnte OSPM beregninger er angivet i Figur 6.5 og i Tabel 6.4. Ændringerne i gadekonfiguration og køretøjssammensætning giver kun anledning til en stigning af NO_x og NO_2 på omkring $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mens nedsættelse af rejsehastighed giver betydeligt højere stigninger i koncentrationerne. Reduktion til 22 km/t giver således en stigning i NO_x og NO_2 på henholdsvis 35 og $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og en reduktion til 11 km/t giver stigning på henholdsvis 80 og $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 6.5. Målte og modelberegnete årsmiddelkoncentrationer for NO_x og NO₂ på HCAB i 2011. De udførte OSPM-beregninger svarer til de ovenfor beskrevne scenarier.

Tabel 6.4. Årsmiddelkoncentrationer i µg/m³ for NO_x og NO₂ på HCAB i 2011 som målte koncentrationer samt en række resultater fra diverse OSPM beregninger. For gadebidraget er der fratrullet bybaggrundskoncentration fra den totale koncentration. Bybaggrundskoncentrationen er målt på HCØ målestationen til 21,7 µg/m³ og 17,9 µg/m³ for henholdsvis NO_x og NO₂ (Ellermann et al., 2012).

Beskrivelse	Tungand. (%)	ÅDT	Hastighed (km/h)	NO _x (µg/m ³)		NO ₂ (µg/m ³)	
				Gadebidr.	Totalt	Gadebidr.	Totalt
Målt				114,5	136,1	36,5	54,3
1) OSPM, Original input fra 2012	4,7	51 500	45	55,8	77,5	27,1	45,0
2) nye GIS højder ellers som 1)	4,7	51 500	45	55,2	76,9	26,3	44,2
3) ny køretøjsfordeling ellers som 2)	3,5	51 500	45	53,8	75,5	26,9	44,8
4) nyt ÅDT ellers som 3)	3,5	55 400	45	56,8	78,5	28,1	45,9
5) hastighed 22 km/h ellers som 4)	3,5	55 400	22	92,2	113,9	42,4	60,3
6) hastighed 11 km/h ellers som 4)	3,5	55 400	11	136,7	158,4	57,6	75,4

6.4 Konklusioner

I henhold til COPERT emissionsmodellen er der i Danmark et generelt fald på ca. 5-7% i emissionsfaktorerne pga. fornyelse i køretøjsparken. For HCAB har miljøzonerne medført en yderligere emissionsreduktion på ca. 7% i 2010 og 2011. Gyldigheden af COPERT modellen diskuteres i kapitel 8.

En ændring fra den nuværende koldstartsandel på 7% til 0% vil medføre en reduktion i emissionerne på ca. 9% for personbiler, 1% for taxa og varebiler, mens der ingen ændringer optræder for tunge køretøjer, da koldstartsandelen for denne kategori i forvejen var 0%. I middel for hele køretøjsparken vil emissionerne falde med ca. 4%. Vurdering af koldstartsandel er inddraget i dette projekt, fordi der har været stillet spørgsmål om hvorvidt den anvendte koldstartsandel har været for høj. Det har derfor været ønskeligt, at få en vurdering af i hvor høj grad koldstartsandelen påvirkede de beregnede koncentrationer. Der er ingen grund til at forvente, at der er sket en pludselig stor ændring i koldstartsandele i sommeren 2010.

En reduktion i rejsehastigheden til 75%, 50% og 25% (svarende til 34 km/t, 22 km/t og 11 km/t) af den hidtil anvendte gennemsnitlige rejsehastighed på 45 km/t vil føre til en forøgelse af emissionerne af NO_x på henholdsvis 14%, 36% og 78%.

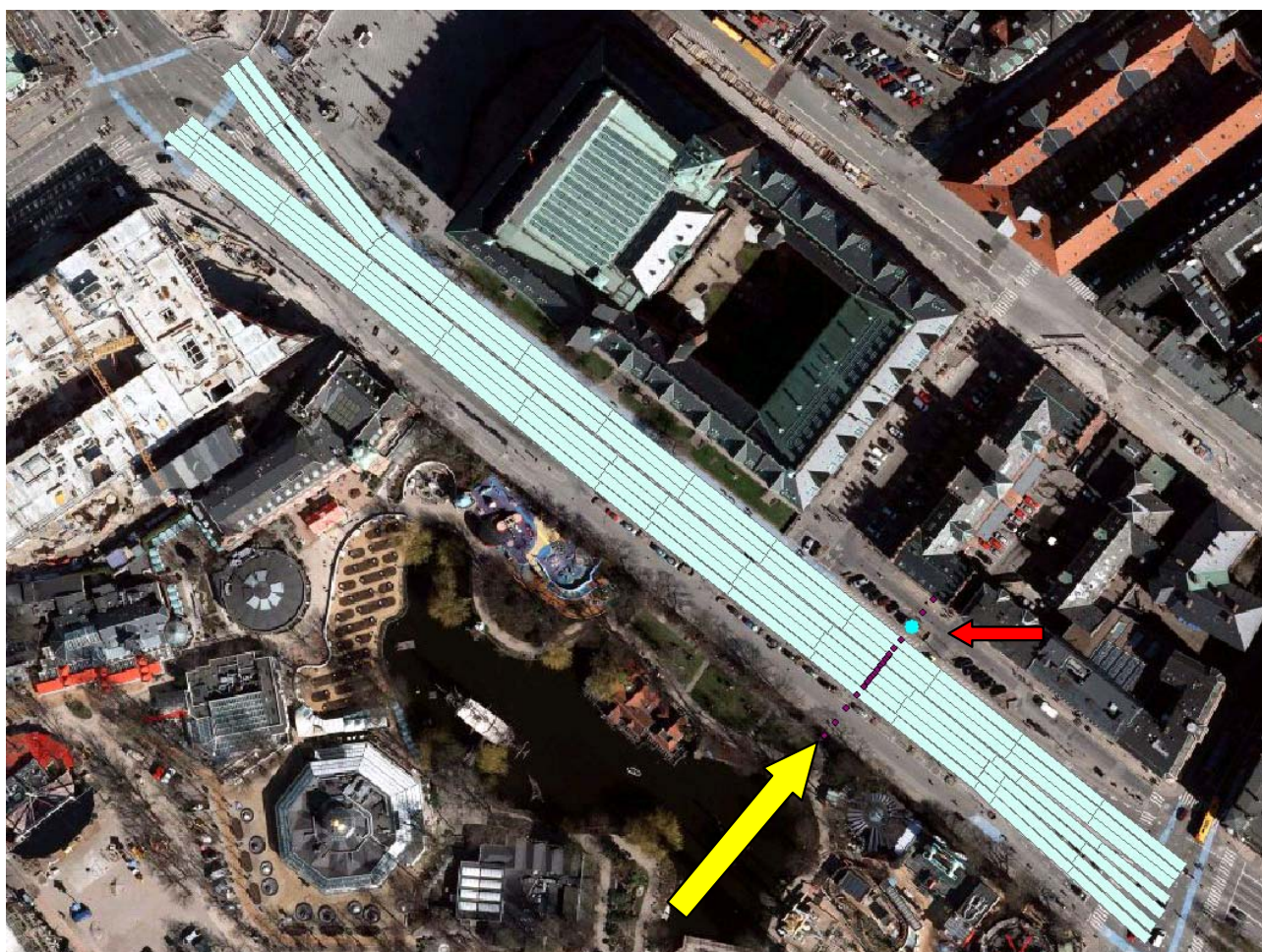
Gade- og bygnings konfigurationen er opdateret i AirGIS/OSPM på basis af det nyeste GIS bygningstema og aktuelle højder gældende i 2012/2013. Der optræder små ændringer i forhold til den tidligere bygningskonfiguration på HCAB, som dog kun giver minimale ændringer i de beregnede årsmiddelskoncentrationer på HCAB, hvis alle andre inputparametre holdes konstant (f.eks. hastighed på de nuværende 45 km/t).

Nye trafiktællinger på HCAB i april 2013 har resulteret i justeringer i ÅDT og køretøjs sammensætning, hvilket har medført mindre ændringer (plus/minus 1-2 µg/m³) i beregnede koncentrationer af NO_x og NO₂. Stigningen i ÅDT på omkring 8% har givet anledning til en stigning i NO_x på kun 3 µg/m³. Det er derfor usandsynligt, at en stigning i ÅDT skulle være den væsentligste årsag til den markante stigning i NO_x på omkring 35 µg/m³ i sommeren 2010. Dog skal det bemærkes, at beregningerne forudsætter samme rejsehastighed uanset ÅDT, så beregningsresultatet angiver den isolerede effekt af en større ÅDT.

Analyser af GPS-baserede rejsehastigheder (se afsnit 4.5) peger på, at rejsehastigheden på HCAB generelt er lavere (omkring 22 km/t) end den indtil nu anvendte rejsehastighed på 45 km/t. Endvidere peger analyser af Københavns Kommunes GPS-baserede trafikdata på, at der er sket et fald i rejsehastigheden ud for målestationen. Effekten af en ændret rejsehastighed er her beregnet for rejsehastigheder på 50% og 25% (ca. 22 km/t og 11 km/t) af den oprindelige værdi. Med rejsehastighed på 22 km/t blev koncentrationerne af NO_x og NO₂ forøget med henholdsvis 46% og 30%, mens en reduktion til 11 km/t giver en forøgelse af koncentrationerne af NO_x og NO₂ med henholdsvis omkring 100% og 63%. Koncentrationen af NO_x og NO₂ varierer derfor meget ved ændringer i rejsehastighed, hvilket peger på, at ændringer i rejsehastigheden kan være en af de væsentlige årsager til den markante stigning i NO_x og NO₂ i sommeren 2010.

7 Lokalskalamodellering af omlægning af vejbaner

Der er i sommeren 2010 sket en ændring af vejbanerne på H.C. Andersens Boulevard. Ændringen indebærer bl.a., at trafikken er flyttet tættere på luftkvalitetsmålestationen. I nærværende kapitel analyseres effekten af flytningen af vejbanerne ved hjælp af lokalskalamodelberegninger med modelværktøjet OML-Highway. Problemstillingen er imidlertid langt fra simpel, bl.a. fordi den involverer meget lokale spredningsforhold på mikrometeorologisk skala lige omkring målestationen, herunder komplekse bygningsmæssige forhold, hvor der primært kun er bygninger på den nordøstlige side af vejen, og hvor disse bygninger har meget forskellig bygningshøjde (Figur 7.1). Forskellige modelmæssige begrænsninger betyder, at de foreliggende beregninger kun kan give indikative resultater for koncentrationen af NO_x ved målestationen.



Figur 7.1. H.C. Andersens Boulevard. De vejbaner, der benyttes ved modelberegninger er indtegnet. Luftmålestationen er markeret med blå ved den røde pil. Den gule pil viser retningen for vind med vindretningen 220 grader (på tværs af vejen). En serie beregningspunkter er indtegnet på tværs af vejen (lilla) ud for den gule pil. Stormgade er den krydsende vej i nederste højre hjørne og Rådhuspladsen er for oven til venstre. Længden af vejstrækningen er 360 meter. Baggrundskort: © Geodatastyrelsen.

7.1 Modeller – egenskaber og begrænsninger

Den spredningsmodel, der almindeligvis bliver benyttet ved beregning af luftforurening i københavnske gader, er OSPM-modellen (Berkowicz, 2000; Kakosimos et al., 2011). OSPM er udviklet til at beskrive forholdene i lukkede gaderum, hvor der er bygninger på begge sider, og hvor vejbanen modelmæssigt omfatter hele gadebredden. OSPM sigter på at beregne koncentrationer ved husfacaderne. I den foreliggende version af OSPM er der ikke nogen parameter, der beskriver beregningspunktets afstand fra kanten af vejbanen.

I modsætning til OSPM kan spredningsmodellen OML-Highway (Jensen et al., 2010) tage højde for placering af vejbanerne og trafikmængden i de enkelte vejbaner, og modellen kan beskrive, at koncentrationen ændrer sig efter luftens passage over vejbanerne.

Derfor er OML-Highway blevet inddraget som værktøj til at belyse konsekvenserne af fjernelsen af busbanen og de øvrige vejbaneomlægninger.

Imidlertid har OML-Highway visse andre begrænsninger i forhold til OSPM. Som følge heraf kan resultater fra OML-Highway ikke uden videre tages for pålydende. OML-Highway's begrænsninger forklares i det følgende.

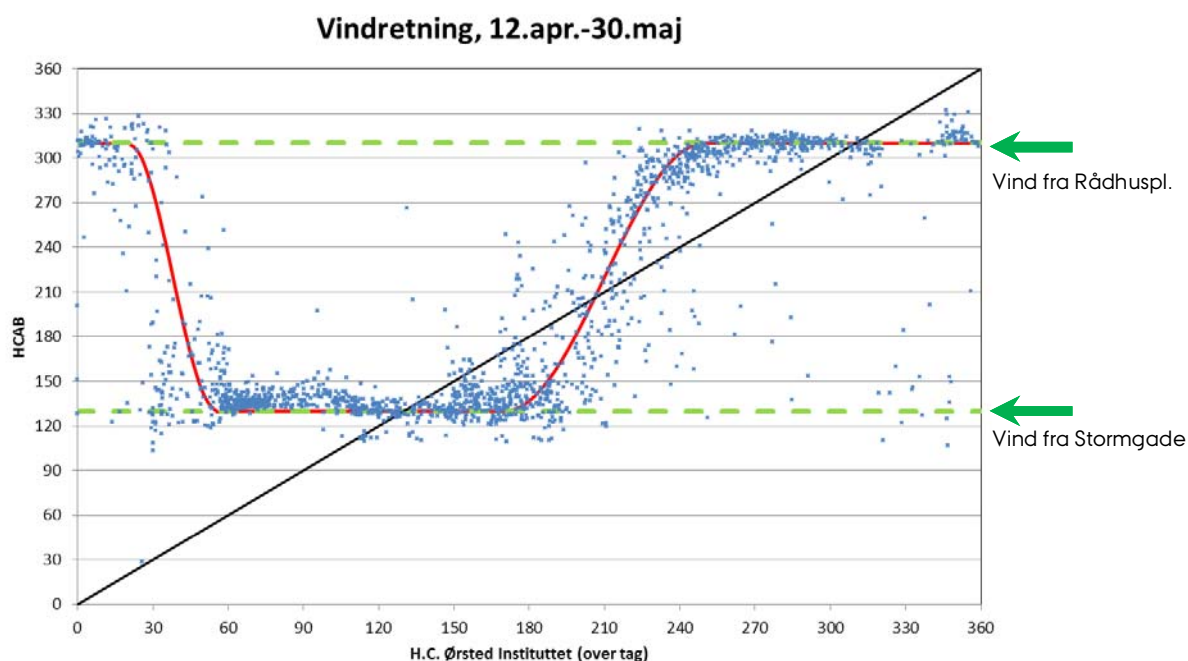
OML-Highway er udviklet til at beskrive forureningen fra en vej med relativt hurtigtgående trafik i åbent terræn (landevej eller motorvej). Derfor giver det kun mening at bruge OML-Highway for vindretninger, hvor vinden kommer fra Tivolisiden (vindretninger 130-310 grader). Det drejer sig om ca. 64% af årets timer (2011-data). For de øvrige vindretninger (fra Rådhus siden) møder strømmingen store forhindringer (bygninger). Når luften fra disse vindretninger kommer frem til H.C. Andersens Boulevard vil det ske over hustage, og den vil blive trukket ned og fanget i hvirvler i gaderummet. Vindretningen i gadeplan på H.C. Andersens Boulevard vil dermed være en anden end den generelle vindretning i stor højde, og der vil optræde et kompliceret strømningsmønster, som OSPM beskriver, og som ikke beskrives i OML-Highway.

Selv for de vindretninger, hvor OML-Highway søges benyttet (fra Tivolisiden), opfylder strømmingen ikke til fulde de forudsætninger, som OML-Highway kræver. Modellen er som nævnt udviklet til åbent terræn. Den vindhastighed, modellen bruger, er ikke justeret til at afspejle forholdene i meget lav højde (ved bilernes udstødning) i byområder, og vindhastigheden vil derfor være for høj.

Som en første tilnærmelse er koncentrationen omvendt proportional med vindhastigheden. Det indebærer, at der tilnærmelsesvis kan kompenseres for ovennævnte problem ved at betragte *relative* koncentrationer (bidraget fra trafikken i en efter-situation sat i relation til bidraget i en før-situation) frem for at betragte absolutværdier.

Det skal også bemærkes, at der i et vist omfang sker en refleksion af strømmingen fra bygninger på Rådhus siden af vejen, hvilket OML-Highway ikke har mekanismer til at beskrive.

En yderligere komplikation, der vanskeliggør korrekte modelberegninger og tolkning af resultater, er at luftstrømningen ved H.C. Andersens Boulevard i et vist omfang bliver kanaliseret på langs af gaden. Dette fænomen ses tydeligt ved selve målestationen på H.C. Andersens Boulevard, hvor der i april 2013 blev opsat en vindmåler. Figur 7.2 viser vindretninger ved H.C. Andersens Boulevard og ved H.C. Ørsted Institutet. Hvert punkt på figuren repræsenterer en ½ times måling samtidig på de to lokaliteter. Vindretningen på H.C. Andersens Boulevard er målt 1 meter over måleskurets tag, dvs. 3,85 meter over gaden, mens retningen på H.C. Ørsted Institutet er målt 10 meter over taget på en 20 meter høj bygning. Disse målinger i stor højde må antages også at repræsentere vindretningen i nogen højde over tagene på H.C. Andersens Boulevard.



Figur 7.2. Vindretninger målt på målestationen på H.C. Andersens Boulevard afbildet som funktion af vindretningen over taget af H.C. Ørsted Institutet. Der er indtegnet en kurve (rød) for en funktion, som med tilnærmelse gengiver sammenhængen. Den sorte linje viser, hvordan punkterne ville have været fordelt, hvis der havde været overensstemmelse mellem vindretningerne de to steder.

Figur 7.2 viser, at der er væsentlig forskel på vindretningerne målt i stor højde over tag på H.C. Ørsted Institutet og nede i gaderummet ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard. Ved gademålestationen er vindretninger på langs ad vejen (ca. 130 og 310 grader) absolut dominerende.

Man skal dog holde sig for øje, at Figur 7.2 illustrerer forholdene på H.C. Andersens Boulevard i blot et enkelt punkt, der ligger ca. 10 meter fra husfacaden. Strømningsretningen vil variere med afstanden fra husfacaden, så når man bevæger sig ud i større afstand fra husfacaden vil fordelingen af vindretninger være en anden. Resultaterne understreger, hvor komplekse de spredningsmæssige forhold er.

I det følgende benytter vi OML-Highway til at beregne koncentrationer i en før-situation og en efter-situation for at kunne udlede nogle udsagn om effekten af vejbaneomlægningerne.

Essensen af alle de nævnte omstændigheder vedrørende gyldigheden af beregningerne er, at beregnede koncentrationer fra OML-Highway ikke kan tages for pålydende, men må betragtes relativt. De kan give nogle indikationer om den procentvise ændring mellem før- og efter-situationen. I lyset af usikkerhederne anses det for meningsfuldt at betragte trafikens *bidrag til NO_x-koncentrationer*, hvorimod beregninger af NO₂-koncentrationer ville introducere yderligere en række komplikationer ved tolkningen af resultaterne. Derfor rapporteres der ikke modelresultater for NO₂. Kvalitativt vil gælde, at en ændring i NO_x-koncentrationer vil afspejle sig i en tilsvarende, men lidt mindre ændring i NO₂-koncentrationer. Man skal generelt gøre sig klart, at der er betydelig usikkerhed på de kvantitative resultater af modelberegningerne.

Der er gennemført sammenligninger for før- og efter-scenarier under visse forskellige forudsætninger mht. trafikemissioner og trafikens geografiske fordeling.

Som nævnt er OML-Highway udviklet med henblik på landevejstrafik. Visse parametre i OML-Highway bygger på, at man har en situation med hurtigt-kørende biltrafik. Det gælder bl.a. nogle parametre, der vedrører startspredningen, straks efter at udstødningen forlader bilen, samt den trafikskabte turbulens. Den pågældende parametrisering i OSPM er lidt anderledes end i OML-Highway. Derfor er OML-Highway dels benyttet i sin originale version og dels i en version, der har parametriseringer svarende til OSPM's. I flertallet af scenarier er der taget udgangspunkt i den sidstnævnte modelversion, som det anses for mest rimeligt at benytte i den foreliggende situation.

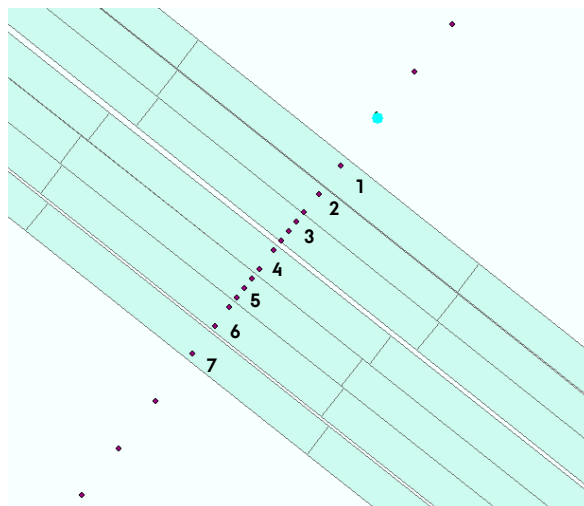
Forskellige andre versioner af OML-Highway har været benyttet i forbindelse med undersøgelserne, men her gengives kun de mest relevante resultater.

I det følgende præsenteres resultater af en række modelberegninger udført med to versioner af modellen (jvf. ovenfor) under forskellige emissionsmæssige forudsætninger. Der er for samtlige beregningers vedkommende tale om parvis beregninger, hvor et før-scenarie med en busbane tæt ved luftmålestationen er sammenholdt med et efter-scenarie med en almindelig vognbane tæt på stationen. En række andre forudsætninger har været holdt konstant. Således er der i alle tilfælde benyttet meteorologiske data fra året 2011. Data er klargjort til brug for OML-Highway med den meteorologiske model MM5. I et enkelt scenarie er de meteorologiske data for vindretninger ikke benyttet direkte, men korrigeret for at simulere den kanaliseringseffekt, der er illustreret i Figur 7.2.

7.2 Emissionsmæssige forudsætninger

Figur 7.3 viser, hvorledes H.C. Andersens Boulevard til beregningsformål er opdelt i 7 vejbaner, nummereret 1 til 7. Som beskrevet i kapitel 2 (afsnit 2.2) skete der i sommeren 2010 en omlægning, så vejbanen nærmest målestationen i stedet for at være busbane blev ordinær vejbane. Vejbanerne har forskellig rolle i før- og efter-scenarierne, hvilket er skitseret i Tabel 7.1.

Figur 7.3. Vejbaner benyttet ved beregningerne. Beregningspunkter på tværs af vejen er indtegnet. Bredden af vejen (lyseblå) er 21 meter.



Tabel 7.1. Karakteristika for vejbaner i den simpleste beregning, hvor trafikken i hver retning som hovedregel er jævnt fordelt mellem vejbanerne. Trafikkens retning og omfang er beskrevet.

	7	6	5	4	3	2	1
Før-scenarie	Mod syd. 1/3 af sydgående trafik	Mod syd. 1/3 af sydgående trafik	Mod syd. 1/3 af sydgående trafik	Mod nord. 1/3 af øvrig nordgående trafik (ej bus)	Mod nord. 1/3 af øvrig nordgående trafik (ej bus)	Mod nord. 1/3 af øvrig nordgående trafik (ej bus)	Mod nord. Busser
Efter-scenarie	Mod syd. 1/4 af sydgående trafik	Mod syd. 1/4 af sydgående trafik	Mod syd. 1/4 af sydgående trafik	Mod syd. 1/4 af sydgående trafik	Mod nord. 1/3 af nordgående trafik	Mod nord. 1/3 af nordgående trafik	Mod nord. 1/3 af nordgående trafik

Der er foretaget beregninger under følgende forskellige sæt forudsætninger, som forklares i det følgende:

- Jævn fordeling af trafik på vejbaner, respektive fordeling med tung trafik til højre i hver kørselsretning.
- Trafik med rejsehastighed på 22 km/h, respektive trafik med rejsehastighed, der varierer på tre delstrækninger af H.C. Andersens Boulevard.

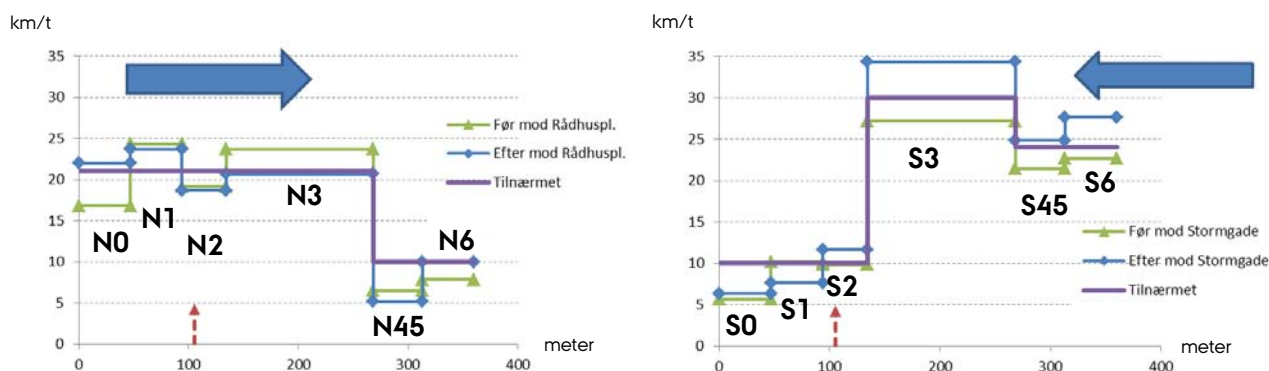
Ved alle beregninger er der taget udgangspunkt i en årsdøgntrafik på 55.400 køretøjer, svarende til en trafiktælling fra april 2013. Her uddybes, hvad forudsætningerne indebærer.

1. *Jævn trafik.* Kørebanefordeling og fordelingen af trafikken er som vist i Tabel 7.1.

2. *Tung trafik til højre.* Kørebanefordeling er som vist i Tabel 7.1. Trafikken er imidlertid fordelt ud fra et princip om, at tung trafik placeres i højre vognbane. For trafikken mod Stormgade placeres 1/3 af den tunge trafik dog i venstre vognbane, for at simulere, at den har gjort sig klar til venstresving, mens 2/3 placeres i højre vognbane. I øvrigt indebærer princippet f.eks., at al nordgående tung trafik på nær busser er placeret i bane 2 i før-scenariet, mens al tung trafik inklusive busser er placeret i bane 1 i efter-scenariet.

3. *Trafik med rejsehastighed 22 km/h.* I de fleste beregningseksempler er regnet med en rejsehastighed på 22 km/t på hele vejstrækningen mellem Stormgade og Rådhuspladsen i begge retninger. Der er indbygget en vis døgnvariation i modellen, så hastigheden i en given time kan afvige noget fra de 22 km/t.

4. *Trafik med varierende rejsehastighed på forskellige vejstrækninger.* Som diskuteret i kapitel 4 viser data fra Vejdirektoratet og Københavns Kommune, at hastighederne varierer på forskellige delstrækninger af H.C. Andersens Boulevard. F.eks. er rejsehastigheden meget lav i sydlig retning tæt ved Stormgadekrydset (strækning S1). En sådan variation af hastigheden er taget i betragtning i nogle af beregningerne. Figur 7.4 viser de hastigheder, der er benyttet, sammenholdt med Vejdirektoratets data, der har dannet grundlag for den viste tilnærmede kurve. Der er benyttet den samme kurve for før- og efter-situationen, fordi data ikke giver belæg for en velbegrundet skelnen mellem forskellige gennemsnitshastigheder. Det skal bemærkes, at OSPM's emissionsmodul ikke har særskilte værdier for hastigheder under 10 km/t, og derfor er den lavest benyttede hastighed sat til 10 km/t. Det er vigtigt at gøre sig klart, at forudsætningerne om samme gennemsnitshastighed i før- og eftersituationen betyder, at modelresultaterne ikke indregner den tendens til lavere rejsehastighed og dermed større emission i eftersituationen, som blev påpeget i kapitel 4 på baggrund af Københavns Kommunes rejsehastighedsdata.



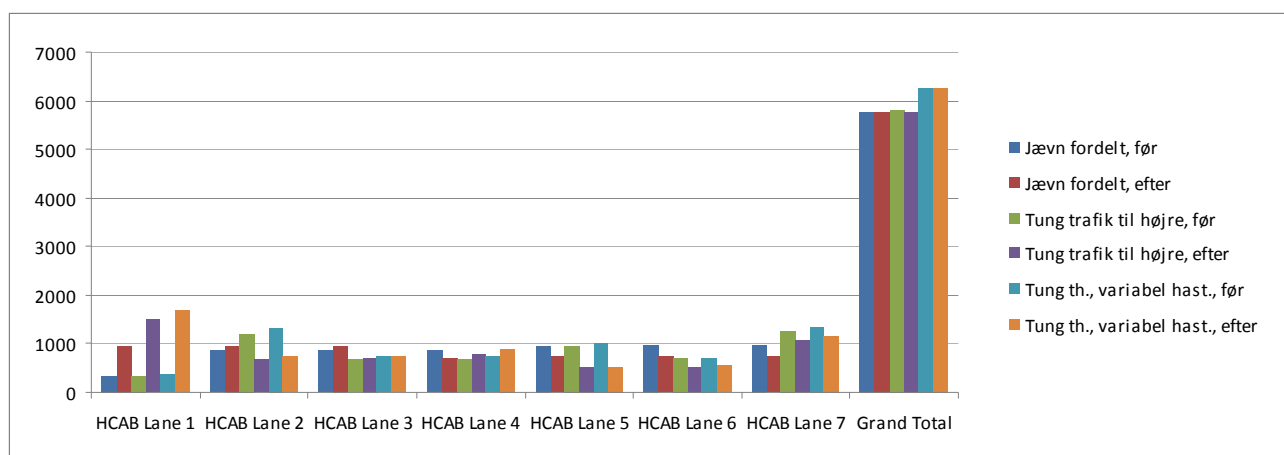
Figur 7.4. Kurverne for rejsehastighed fra kapitel 4 samt de tilnærmede kurver, der er benyttet ved modelberegningerne.

Hensigten med at tildele de forskellige vejstrækninger forskellig rejsehastighed er at få så realistisk geografisk fordeling af emissionerne som muligt, hvilket kan have en vis effekt på forskellen mellem før- og efter-situationen.

Konsekvenserne for emissionerne i de forskellige scenarier for hver vejbane er vist i Figur 7.5. Figuren viser den samlede emission i hver vejbane i kg/år for hele strækningen mellem Rådhuspladsen og Stormgade.

Der er 8 grupper af søjler, hvoraf de 7 vedrører hver sin vejbane, mens den ottende angiver summen af emissioner fra alle vejbaner. Gruppen med summen viser, at emissionen for scenariet med variabel hastighed er noget større end for de øvrige scenarier. I øvrigt er totalemissionen den samme i hvert før-scenarie som i det tilsvarende efter-scenarie.

Gruppen med emission fra vejbane 1 viser, at der i denne vejbane er meget stor forskel på før- og efter-scenarier, fordi vejbane 1 i før-situationen udelukkende benyttes af busser.



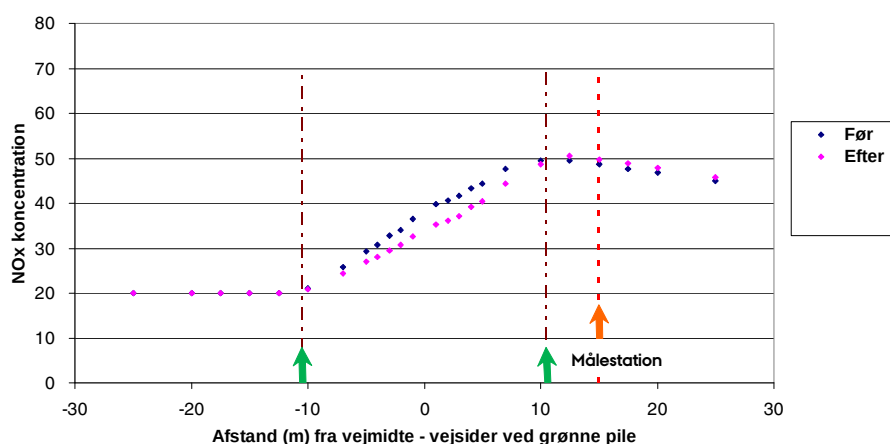
Figur 7.5. Emissioner for hver vejbane og for summen af vejbaner for 3 hovedscenarier (hver med et før- og et efter-scenarie). Enheden er kg/år for vejstrækningen mellem Rådhuspladsen og Stormgade (360 meter).

7.3 Resultater

I dette afsnit vises resultater af spredningsberegninger med OML-Highway under forskellige forudsætninger.

Figur 7.6 til Figur 7.8 er eksempler på grafer, der er udarbejdet for alle scenarier, men kun disse eksempler er medtaget her i notatet. Figureerne tjener til at understøtte den følgende forklaring på, hvad modelberegningerne indebærer. De vedrører det scenarie, der i Tabel 7.2 har nummer 2.

Figur 7.6. Beregnede koncentrationer af NO_x i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i et snit på tværs af H.C. Andersens Boulevard ud for målestationen for scenarie 2 (jvf. Tabel 7.). Tivolisiden er til venstre. x-aksen er afstand i meter fra vejmidten. Vejens sider og målestationen er markeret med lodrette stiplede linjer. Vinden blæser fra venstre ind over vejen. Her er kun et snævert vindretningsinterval taget i betragtning. Yderligere forklaring i teksten.



Figur 7.6 viser den beregnede koncentrationsfordeling i et snit på tværs af vejen ved målestationen. Det er gennemsnitskoncentrationen for et år (2011), der vises, men kun for de timer i året, hvor vindretningen har været fra Tivolisiden og omtrent vinkelret på vejen – mere præcist vindretninger i et interval på plus/minus 10 grader i forhold til 220 grader: Det drejer sig om 633 timer i henhold til de benyttede meteorologiske data (2011-data trukket ud af den meteorologiske model MM5). x-aksen viser afstanden på tværs af vejen, hvor vejens midte har x lig 0. x er positiv for punkter på Rådhusssiden af vejmidten. Der er 7 vejbaner på hver 3 meters bredde (ikke vist). Vejens sider er markeret med stiplede linjer 10,5 meter fra midten, mens positionen af målestationen er markeret med en stiplede linje med x-koordinat 15. Y-aksen angiver koncentrationer af NO_x i $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Punkterne i grafen repræsenterer beregnede koncentrationer (inklusive baggrund) i forskellige afstande fra

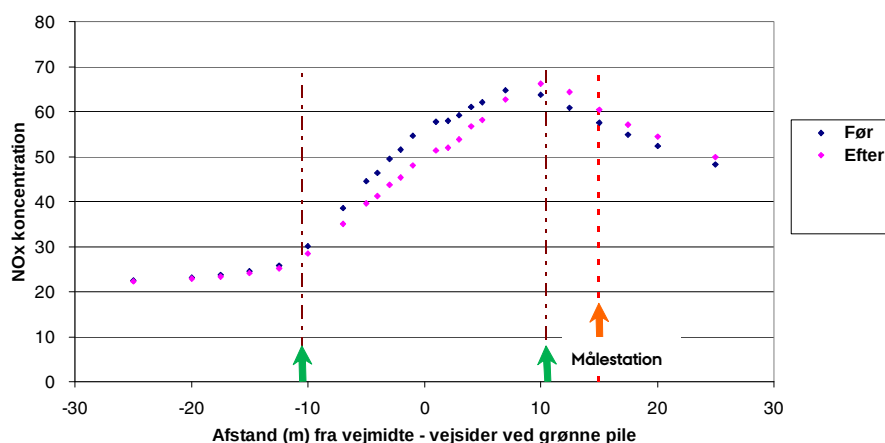
vejmidten. Koncentrationen er beregnet i en højde på 3,5 meter, svarende til målestationens luftindtag. Blå punkter repræsenterer før-situationen, mens røde repræsenterer efter-situationen. Bane 1, der i før-situationen var busbane, er placeret til venstre for den stiplede linje, der har en x-værdi på ca. 10. Hvis man sammenligner forløbet af de blå og røde punkter hen over vejen (startende fra Tivolisiden) ses, hvorledes de blå punkter ligger øverst, indtil man når busbanen, som i efter-situationen har en kraftigt øget trafikmængde, og hvor de røde punkter derfor kommer til at ligge højere end de blå. Den røde kurve ligger fortsat over den blå i nogen afstand fra vejkanthen, men forskellen mellem de to kurver indsnævres. Det er meningsløst at følge kurverne ud til store x-værdier, fordi vejen da er afløst af bygninger. Formålet med den aktuelle undersøgelse er at estimere forskellen mellem den røde og den blå kurve ved målestationen for at vurdere, i hvor høj grad omlægningen af vejbanerne kan forklare de observerede forskelle i før- og efter-koncentrationer.

Den beskrevne figur omfatter alene et ret snævert interval af vindretninger. OML-Highway kan bruges for et større interval af vindretninger, men under ingen omstændigheder større end et interval på plus/minus 90 grader i forhold til retningen fra Tivolisiden vinkelret på vejen (130 til 310 grader). Det skal bemærkes, at der ved de viste beregninger ikke er taget hensyn til den kanaliseringseffekt, der er illustreret i Figur 7.2; dette spørgsmål diskuteres senere.

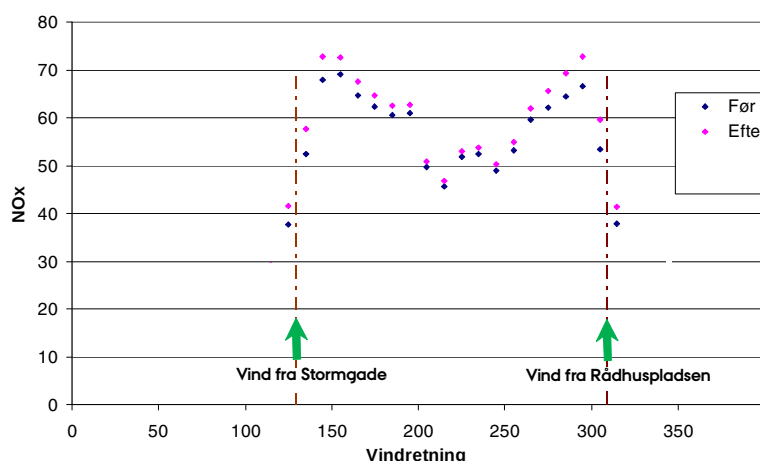
Figur 7.7 svarer helt til Figur 7.6, men medtager alle vindretninger i hele det nævnte 180 graders interval. Det gælder 64 % af timerne i året 2011. Det ses, at der beregnes større koncentrationer end for retninger vinkelret på vejen. Det skyldes, at der ved vindretninger omtrent parallelt med vejen kan luftmassen samle mere forurening op på sin vej til målestationen.

Retningsafhængigheden demonstreres tydeligere i Figur 7.8. Den viser alene koncentrationer i målepunktet, men her er data vist som funktion af vindretningen.

Figur 7.7. Beregnede koncentrationer af NO_x i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i et snit på tværs af H.C. Andersens Boulevard ud for målestationen. Tivolisiden er til venstre. Figuren svarer til **Figur 7.6**, men her er medtaget alle timer med vindretninger i hele 180 graders intervallet fra Tivolisiden (130-310 grader).



Figur 7.8. Beregnede NO_x-koncentrationer i µg/m³ ved målestationen som funktion af vindretningen (grupperet i 10 graders intervaller). Hvert punkt repræsenterer gennemsnittet for de timer, hvor vindretningen har været i det pågældende 10 graders interval. Beregningerne er kun relevante for vindretninger i intervallet 130-310 grader (markeret med stiplede linjer).



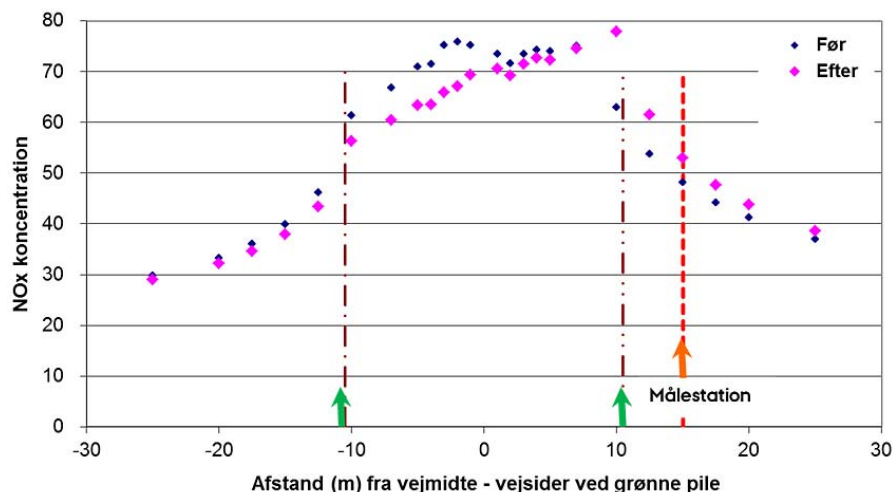
Et centralt resultat fra den scenarieberegning, som de ovenstående figurer illustrerer, er forskellen mellem før- og efter-situationen ved målestationen. Den kan aflæses på Figur 7.8 og udgør forskellen mellem 57,5 µg/m³ i før-situationen og 60,4 µg/m³ i efter-situationen, altså 2,9 µg/m³. Som tidligere nævnt indeholder OML-Highway ikke mekanismer til korrekt at beskrive vindhastigheden i meget lav højde under bymæssige forhold, og dette vil betyde, at OML-Highway systematisk undervurderer koncentrationen. Det vil derfor være mere retvisende at interessere sig for den *relative* ændring i koncentrationer mellem før- og efter-situationen end at betragte den absolute ændring. Ved vurdering af den relative ændring er det NO_x-bidraget fra trafikken, der har interesse, mens baggrundskoncentration – der indgår i ovennævnte tal – er irrelevant for trafikens bidrag og spredningen af det. Baggrundskoncentrationen udgør (for de pågældende vindretninger) 20,6 µg/m³. Dermed kan den relative ændring af bidraget fra trafikken i det konkrete scenarie beregnes som $2,9 / (57,5 - 20,6) = 8 \%$ for jævnt fordelt trafik.

Ved at betragte relative bidrag kan der kompenseres for en del af de begrænsninger, som beregninger med OML-Highway er underlagt, og som er diskuteret i afsnit 7.1. Men de resultater, der opnås, er helt givet behæftet med væsentlig usikkerhed.

Et meget væsentligt problem er, at de hidtil viste modelberegninger ikke tager hensyn til den kanaliseringseffekt, der optræder i virkeligheden, og som ytrer sig kraftigt i de målinger, der blev vist i Figur 7.2. Problemet med kanalisering er søgt adresseret med en scenarieberegning, hvor vindretningerne i inddata er korrigeret, så de svarer til den kurve, der er vist på Figur 7.2. De originale inddata repræsenterer vindretninger i åbent terræn, mens korrektionen tvinger vindretningerne til at forløbe omtrent på langs ad vejen.

Figur 7.9 viser resultatet af sådanne beregninger med hensyntagen til kanaliseringseffekt; figuren kan sammenholdes med Figur 7.7. Hensyntagen til kanaliseringseffekten giver større forskelle mellem før- og eftersituation end brug af de oprindelige vindretninger. Mellem vejkannten og målestationen ses en endnu større forskel, hvilket illustrerer at beregningerne er ganske følsomme over for hvor målestationen er placeret.

Figur 7.9. Beregnede koncentrationer af NO_x i µg/m³ i et snit på tværs af H.C. Andersens Boulevard ud for målestationen. Tivolisiden er til venstre. Figuren svarer til Figur 7.7, men ved beregningerne er der taget hensyn til en kanaliseringseffekt som beskrevet i teksten. Der er benyttet et trafikscenarie, hvor tung trafik er placeret til højre.



7.3.1 Resultater af scenarier - opsummering

De hovedresultater, der kan uddrages af beregningerne, vedrører ændringen fra før- til efter-situationen. Resultatet udtrykkes som en procentvis stigning i koncentrationer, der er regnet i forhold til vejtrafikkens NO_x-bidrag i før-situationen (med andre ord: baggrundskoncentrationen af NO_x er ikke medregnet). Det er en begrænsning for resultaterne, at de kun vedrører den 180-graders sektor, hvor vinden kommer fra Tivolisiden af vejen.

Man skal i øvrigt gøre sig klart, at modelresultaterne alene sigter på at sige noget om effekten af omlægningen af vejbanerne. De siger derimod intet om, hvad effekten er af kødannelse og tager ej heller i betragtning, at der er sket en vis forbedring af bilparken i tiden mellem 2009 og 2011.

Tabel 7.2 viser sådanne hovedresultater for 4 scenarier. Der er følgende scenarier:

- (1) Et scenarie med OML-Highways originale parametrisering af startspredningen. Rejsehastigheden er antaget konstant, og den tunge trafik jævnt fordelt på vejbaner (bortset fra busser i nordgående retning). Forøgelsen af koncentrationsbidraget fra før- til efter-situation er på 8%.
- (2) Et scenarie med OSPM-parametrisering af startspredningen, men ellers identisk med (1). Den benyttede modelversion er formentlig mere retvisende at benytte end (1). Hovedresultatet af beregningen er det samme (8% forøgelse).
- (3) Igen et scenarie med OSPM-parametrisering af startspredningen, men med tung trafik fortrinsvis placeret i højre vognbane. Hovedresultatet af beregningen er omtrent som før (9% forøgelse)
- (4) Et scenarie, der bygger videre på (3), men som forsøger at modellere en lidt mere realistisk hastighedsfordeling på de forskellige delstrækninger af H.C. Andersens Boulevard. Hovedresultatet af dette scenarie (5% forøgelse) afviger noget fra de tidligere.

- (5) Et scenarie, der tager hensyn til kanaliseringseffekt ved at benytte vindretninger, der i vidt omfang tvinges til at forløbe på langs ad vejen i overensstemmelse med kurven i Figur 7.2. Som i (3) er der benyttet OSPM-parametrisering af startspredningen og tung trafik fortrinsvis placeret i højre vognbane. Hovedresultatet af beregningen er en 17% forøgelse af koncentrationen i efter-situationen.

De scenarier, hvor der ikke er taget hensyn til kanaliseringseffekt indikerer at en stigning på 5-9% af koncentrationsbidraget fra trafikken kan forklares med vejbaneomlægningen. Kanaliseringseffekten er imidlertid vigtig, og hensyntagen til den – i det omfang det er muligt – resulterer i en stigning på ca. 17%.

Som det fremgår af den foregående diskussion, er hele problematikken med forudsætninger og strømningsforhold imidlertid så kompleks, at de konkrete tal må tages med stort forbehold.

Tabel 7.2. Hovedresultater af modelberegninger. Modelberegningerne viser den rene effekt af omlægningen af vejbanerne, men kun for vindretninger, hvor vinden kommer fra Tivoli-siden. Effekten af kødannelse er ikke taget i betragtning.

Nr.	Model-version	Hastighed	Tung trafik	Forøgelse af
				koncentrationsbidrag (pct.)
1	OML-Highway med original parametrisering af startspredning	Konstant	Jævnt fordelt	8
2	OML-Highway med OSPM-parametrisering af startspredning	Konstant	Jævnt fordelt	8
3	OML-Highway med OSPM-parametrisering af startspredning	Konstant	Placeret til højre	9
4	OML-Highway med OSPM-parametrisering af startspredning	Variierende	Placeret til højre	5
5	OML-Highway med OSPM-parametrisering af startspredning. Hensyntagen til kanalisering.	Konstant	Placeret til højre	17

7.4 Konklusion

De indikative beregninger med OML-Highway peger på, at selve flytningen af vejbanerne har givet anledning til en tydelig øgning af koncentrationerne af NO_x. De konkrete modelresultater med hensyntagen til kanaliseringseffekt peger på, at flytningen af vejbaner kan forklare en stigning på ca. 17% af koncentrationsbidraget fra trafikken (uden baggrundsbidrag). Hele problematikken omkring forudsætninger og strømningsforhold imidlertid så kompleks, at de konkrete tal må tages med meget stort forbehold.

Nye målinger af vindretninger helt lokalt ved målestationen har været iværksat i forbindelse med det aktuelle projekt. Resultaterne understreger, hvor komplekse de spredningsmæssige forhold er, og at kanaliseringseffekter er vigtige. Hvis modeller skal bruges til bedre at kvantificere øgningen i koncentration må der benyttes andre modelværktøjer end OML-Highway. Her tænkes på CFD modeller (Computational Fluid Dynamics), som bedre kan beregne det komplekse turbulente flow i gaden omkring målestationen. Et sådant arbejde har imidlertid ligget uden for rammerne af nærværende projekt.

8 Ekstra målestation på H.C. Andersens Boulevard

I perioden fra den 24. januar til den 23. juni 2014 var der placeret en ekstra målestation på H.C. Andersens Boulevard (HCAB). Den ekstra målestation (HCAB-ekstra) var placeret 2,75 m (ca. en vejbanebredde) længere væk fra kanten af den inderste vejbane end selve målestationen. Den ekstra målestation afspejler, så godt som praktisk muligt, den oprindelige situation før sommeren 2010, hvor der var en vejbanes afstand mellem målestationen og den største del af trafikken. Målestationen på HCAB afspejler selvsagt den nuværende situation, som har været gældende siden sommeren 2010. Ved at måle koncentrationen af NO_2 og NO_x på begge målestationer og se på forskellen mellem de to målestationer, er det muligt, at få et kvantitativt mål for effekten af flytningen af vejbanerne.

Parallelmålingerne på selve målestationen og den ekstra målestation kan ikke afspejle forskellen mellem situationen før og efter sommeren 2010 på en nøjagtig måde. Dels er der formentligt sket nogle ændringer i selv afviklingen af trafikken (f.eks. hastighed, kødannelser og ændringer af venstresvingsbane), og dels er det ikke praktisk muligt at genskabe forholdene fra før sommeren 2010. Disse begrænsninger diskuteres afslutningsvis i kapitlet.

8.1 Placering af målestation og målemetoder

En af DCE's mobile målestationer blev i selve måleperioden fra den 24. januar til den 23. juni 2014 placeret tæt på målestationen på HCAB, men den ekstra målestation var forskudt 2,75 m længere væk fra vejbanerne end den oprindelige målestation (Figur 8.1), hvilket er lidt mindre end vejbanebredden på ca. 3 m. Årsagen til denne forskel er hensyn til trafikikkerheden for cyklisterne. Det vurderes dog, at denne forskel kun har lille betydning for resultaterne. Endvidere var den ekstra målestation forskudt omkring 8 m længere ind ad vejen mod Rådhuset (nordvest) end selve målestationen for at undgå, at de to målestationer ikke "skyggede" alt for meget for hinanden.

Den mobile målestation blev i forbindelse med målingerne bygget højere og længere, så den i højden og længden svarede til selve målestationen på HCAB. Bredden blev dog ikke forøget, da målestationen så ville rage ud på den bagved liggende vej, hvor bl.a. cyklerne kører. Målet med denne ombygning var, at den turbulens som skabes af målestationernes facade bliver så ens som muligt på de to målehuse.

Da placering af indtagsrøret til måleinstrumenterne kan have betydning i forbindelse med måling af disse lokale effekter blev indtagsrørets placering flyttet og højden justeret på den ekstra målestation, således at de to målestationer var ens på dette område. Der blev endvidere sørget for at længden af indtagsslangerne (fra indtagsrørets åbning og ned til måleinstrumentet) var ens.

I begge målestationer blev der målt NO_2 og NO_x efter DCE's akkrediterede metode. Der var tale om identisk udstyr (NO_x -monitoren fra API, kalibreringsgasser, fortyndingsudstyr m.m.), så forskellen mellem selve målingerne blev så lille som muligt. Det vurderes, at de systematiske forskelle mellem de to sæt målinger af henholdsvis NO_2 og NO_x er på mindre end 5 procent i forbindelse med denne målekampagne.

Figur 8.1. Placering af den ekstra målestation på HCAB.



8.2 Resultater

Figur 8.2 viser døgnmiddelmålkoncentrationerne målt på selve målestationen (HCAB) og på den ekstra målestation (HCAB-ekstra) under selve målekampagnen. Øverst ses koncentrationerne for NO_2 , som er den sundhedsfarlige komponent af kvælstofoxider og nederst NO_x , som er summen af NO og NO_2 . NO_x inddrages fordi den er et godt mål for selve udledning af kvælstofoxider fra trafikken.

Overordnet ses et lille fald i det gennemsnitlige koncentrationniveau af NO_x , som følge af lavere udledning om sommeren end om vinteren. Koncentrationerne af NO_2 er på samme niveau gennem hele perioden, hvilket skyldes, at de faldende udledninger af NO_x kompenseres med en lidt højere omdannelse af NO til NO_2 , som følge af reaktion med ozon. I gennem

For såvel NO₂ som NO_x ses, at der igennem hele perioden måles tydeligt mindre koncentrationer på HCAB-ekstra sammenlignet med HCAB.

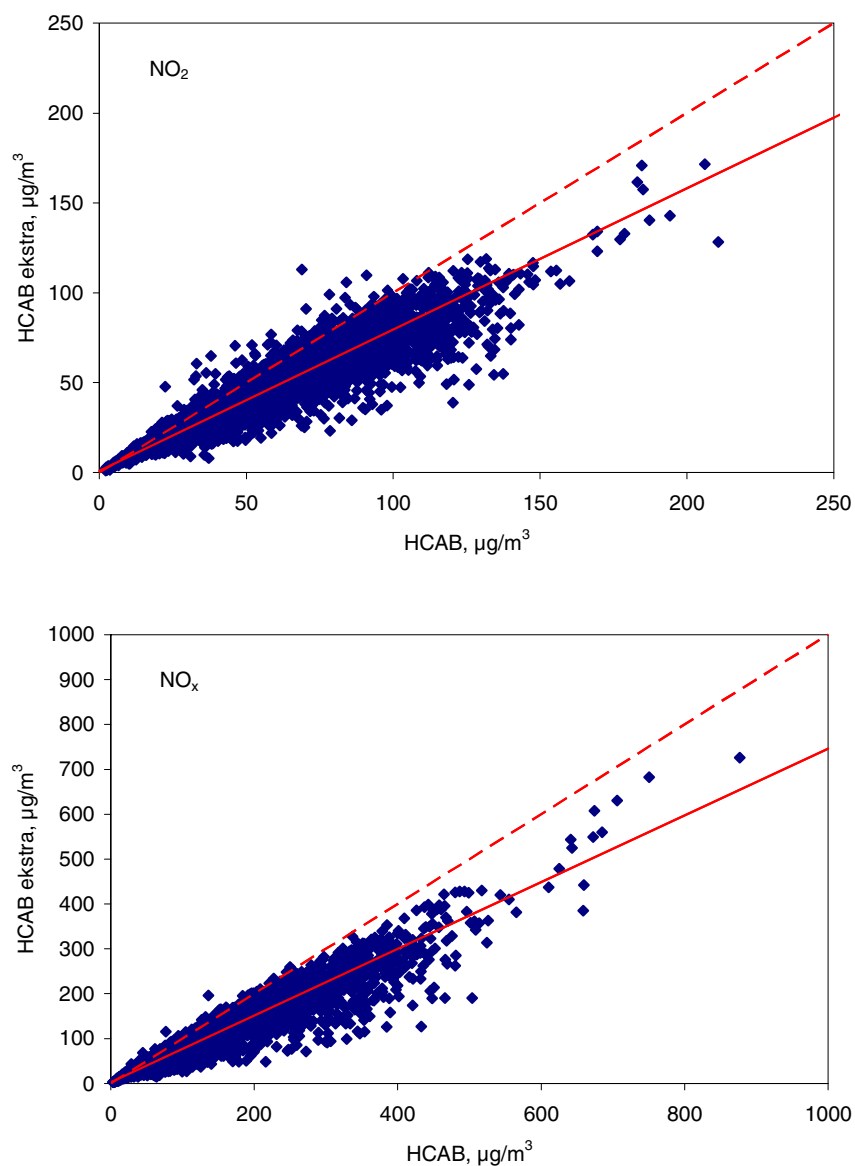
The figure consists of two vertically stacked line graphs. The top graph displays the concentration of NO_2 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on the y-axis (ranging from 0 to 120) against time on the x-axis (from 01-01 to 18-06). The bottom graph displays the concentration of NO_x in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on the y-axis (ranging from 0 to 350) against the same time period. Both graphs compare data from two stations: HCAB (represented by blue circles) and HCAB ekstra (represented by orange triangles). The data shows significant seasonal and daily fluctuations, with peaks often occurring in winter and during specific events or periods of high traffic.

Effekten af forskydningen af HCAB-ekstra med 2,75 m væk fra vejbanen i forhold til HCAB skal derfor vurderes på basis af den gennemsnitlige forskel. Middelværdierne og forskellen mellem de to målestationer er angivet i Tabel 8.1. Heraf ses, at forskellen mellem de to målestationer i gennemsnit er på 10 µg/m³ for NO₂ og 29 µg/m³ for NO_x.

90

som kan omdannes til NO_2 . Alt i alt betyder dette, at andelen af NO_x omdannet til NO_2 er større jo længere afstand, der er mellem kilden og der hvor koncentrationerne måles, fordi den større afstand giver mere ozon til rådighed for omdannelsen til NO_2 . I den konkrete situation bliver andelen af kemisk dannet NO_2 højere ved HCAB-ekstra end ved HCAB, hvilket igen betyder, at den relative forskel mellem HCAB-ekstra og HCAB er lidt mindre for NO_2 end for NO_x .

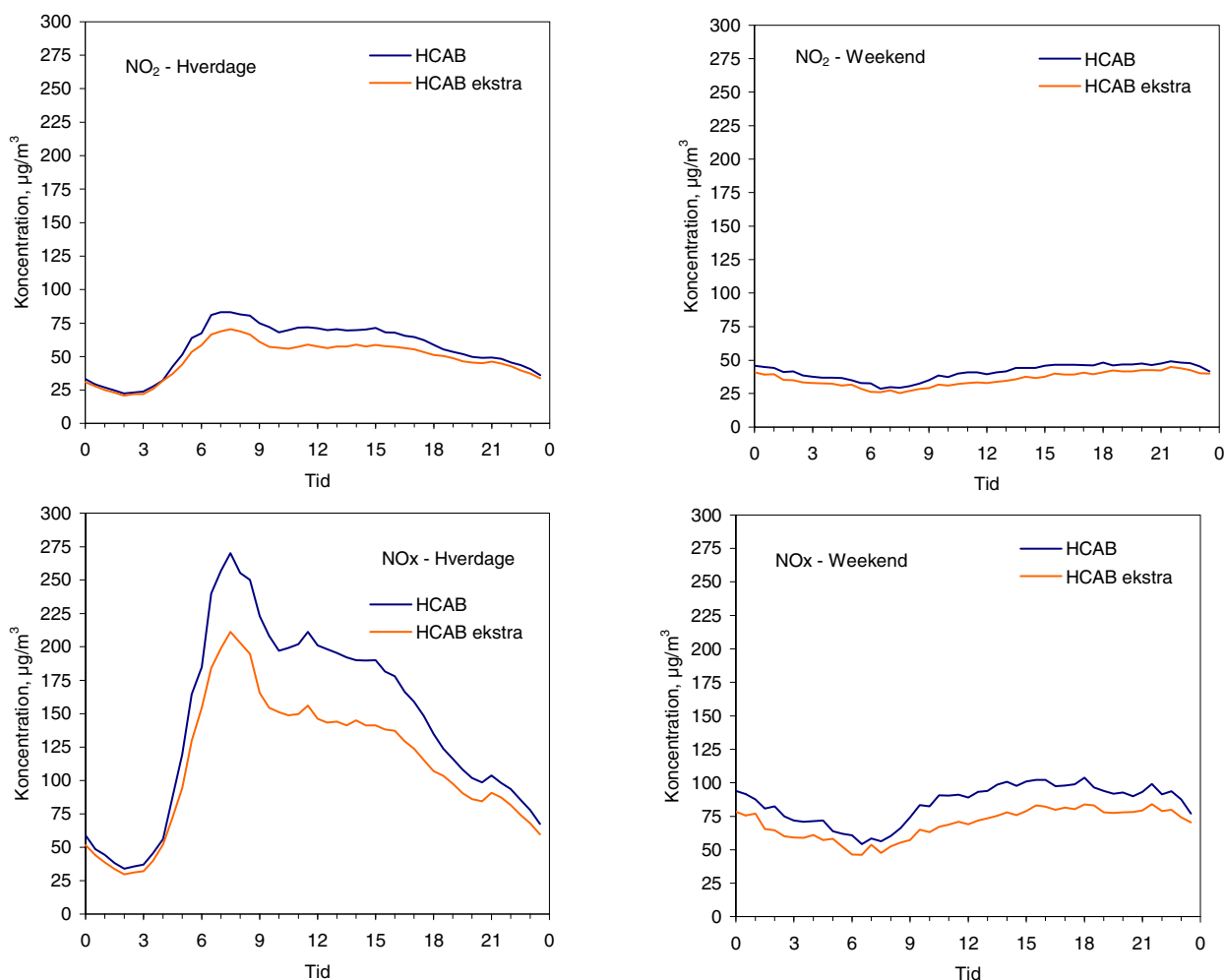
Figur 8.3. Halvtimesmiddelværdier af NO_2 (øverst) og NO_x (nederst) på HCAB-ekstra som funktion af HCAB. Den stiplede røde linje viser 1:1 linjen, mens den fuldt optrukne røde linje angiver den lineære regressionslinje beregnet ved ortogonal regression.



Tabel 8.1. Middelkoncentrationer målt på de to målestationer i perioden fra 8/2 2014 til 23/6 2014. Der er kun medtaget resultater fra de halvtimer, hvor der er godkendte resultater for begge målestationer. Endvidere angives forskellen mellem de to målestationer.

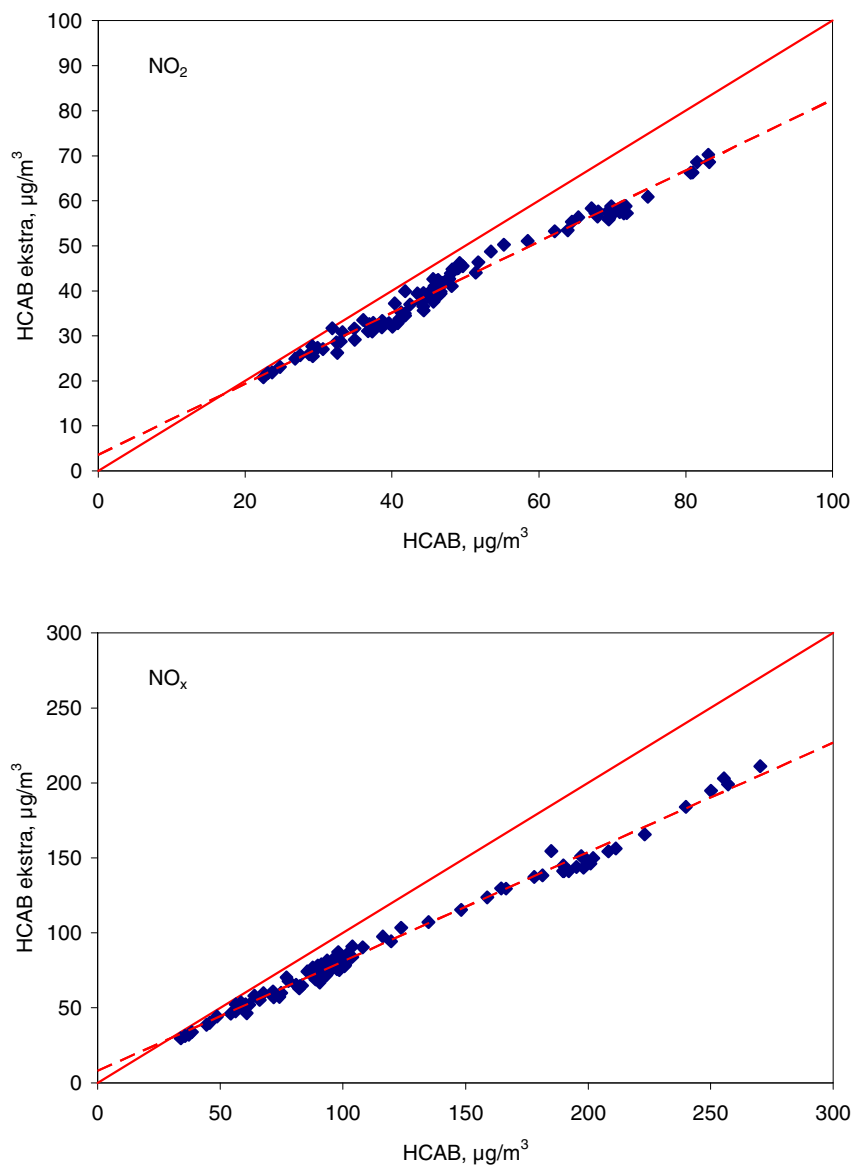
		NO_2	NO_x
HCAB	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	55	129
HCAB-ekstra	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	45	100
Forskel	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10	29
Relativ forskel	%	18	23

For både NO_2 og NO_x ses, at koncentrationerne i gennem hele døgnet er lavere på HCAB-ekstra set i forhold til HCAB. Dette illustreres tydeligere på Figur 8.5, hvor de samme data for de gennemsnitlige middelværdier på HCAB-ekstra er afbildet som funktion af HCAB. Der ses en lineær sammenhæng mellem HCAB-ekstra og HCAB, hvilket er i overensstemmelse med forventningerne, da den eneste forskel mellem de to målestationer er afstanden til vejbanerne. Den større afstand til vejbanerne fra HCAB-ekstra giver en lavere koncentration end på HCAB grundet den ekstra fortynding af trafikudledningerne med "ren luft". Denne forskel giver en konstant relativ forskel mellem de to målestationer hele døgnet rundt.



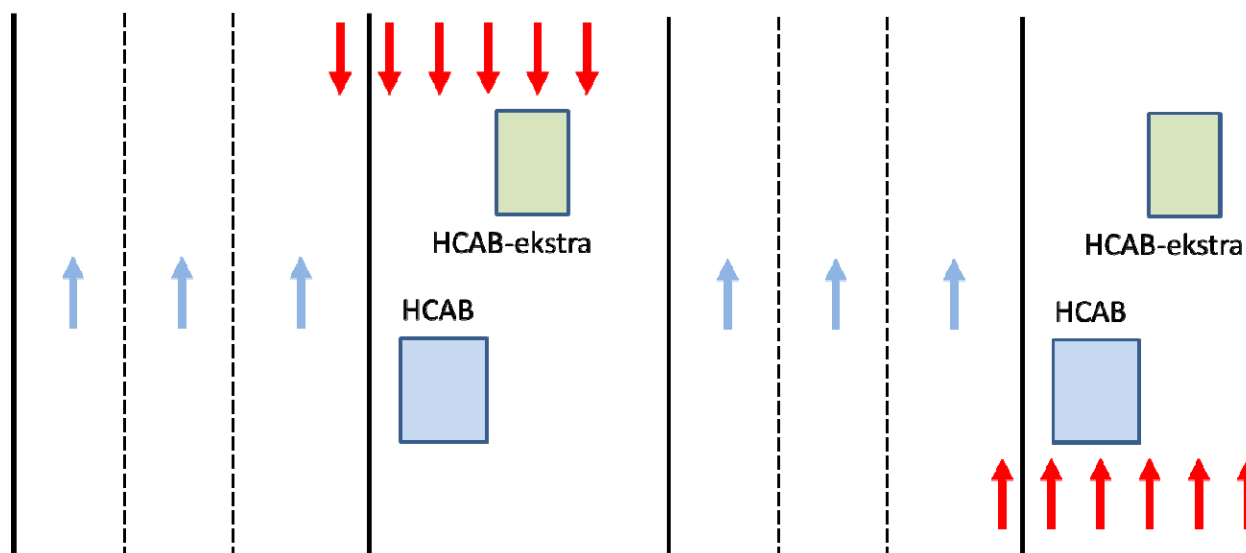
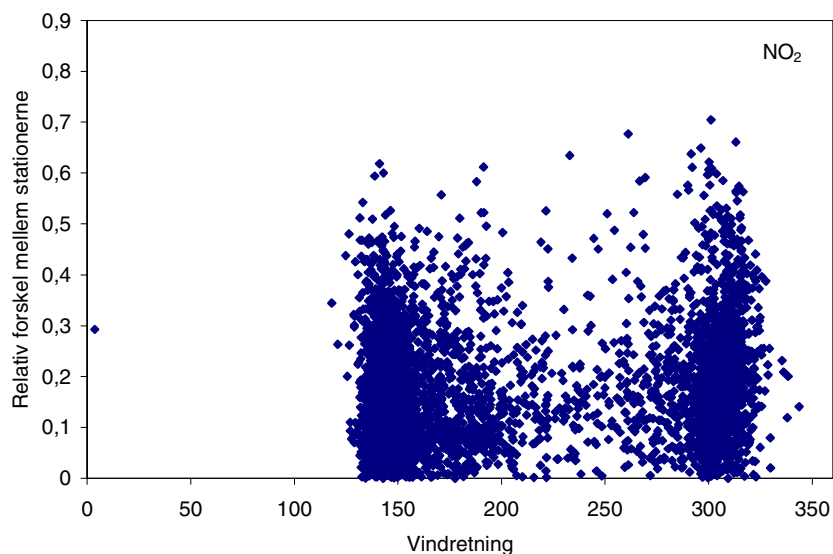
92

Figur 8.5. Data fra Figur 8.4, hvor resultaterne fra HCAB-ekstra er afbildet som funktion af HCAB. Den fuldt optrukne røde linje viser 1:1 linjen, mens den stiplede røde linje angiver den lineære regressionslinje beregnet ved ortogonal regression.



Figur 8.6 viser den relative forskel mellem halvtimesmiddelværdierne på de to målestationer som funktion af gennemsnitlig halvtimes middelvindretning målt på selve målestationen. De to vindretninger på langs af vejen (ca. 130 og 310 grader) er absolut dominerende, hvilket skyldes, at facaderne langs vejen presser vinden til enten at løbe ind mod Rådhuspladsen (ca. 310 grader) eller ned mod Stormgade (ca. 130 grader). De to "skyer" af datapunkter svarende til vind fra Rådhuspladsen og Stormgade svarer til hinanden, hvilket viser, at den relative forskel mellem målestationerne ikke afhænger væsentligt af om vinden kommer langs vejen fra Rådhuspladsen eller langs vejen fra Stormgade. Der er derfor ikke noget, som tyder på, at den målte forskel mellem de to målestationer skyldes en artefakt som følge af, at målestationerne "skygger" for hinanden. Hvis dette havde været tilfældet forventes det, at der ville være en forskel mellem de to vindretninger langs vejen, fordi den rumlige placering af målestationerne er forskellig alt efter om man ser målestationerne fra Rådhuspladsen eller fra Stormgade (Figur 8.7).

Figur 8.6. Den relative forskel mellem halvtimesmiddelkoncentrationer af NO₂ målt på HCAB-Ekstra og HCAB som funktion af gennemsnitlig vindretning (grader). De to skyer af punkter svarer til de dominerende vindretninger langs vejen fra Rådhuspladsen (ca. 130 grader) og Stormgade (ca. 310 grader).



Figur 8.7. Illustration af hvordan vind (røde pile) fra Rådhuspladsen (venstre) og vind fra Stormgade (højre) eventuelt ville kunne give anledning til forskellig påvirkning mellem de to målestationer. Når vinden passerer en af målestationerne vil der skabes turbulens efter målestationen. Når vinden kommer fra Rådhuspladsen ligger begge målestationer mere "åbent" for vinden langs vejen, mens når vinden kommer fra Stormgade, ville der kunne være en vis "skyggeeffekt" mellem de to målestationer. Skitsen er ikke tegnet i fast målestok.

8.3 Udviklingstendens for NO₂ på HCAB efter sommeren 2010

Som led i de detaljerede undersøgelser af årsagerne til de forhøjede koncentrationer af NO₂ og NO_x på HCAB er der ligeledes lavet en vurdering af, om udviklingstendensen efter springet følger den generelle tendens, eller om HCAB også afviger på dette punkt.

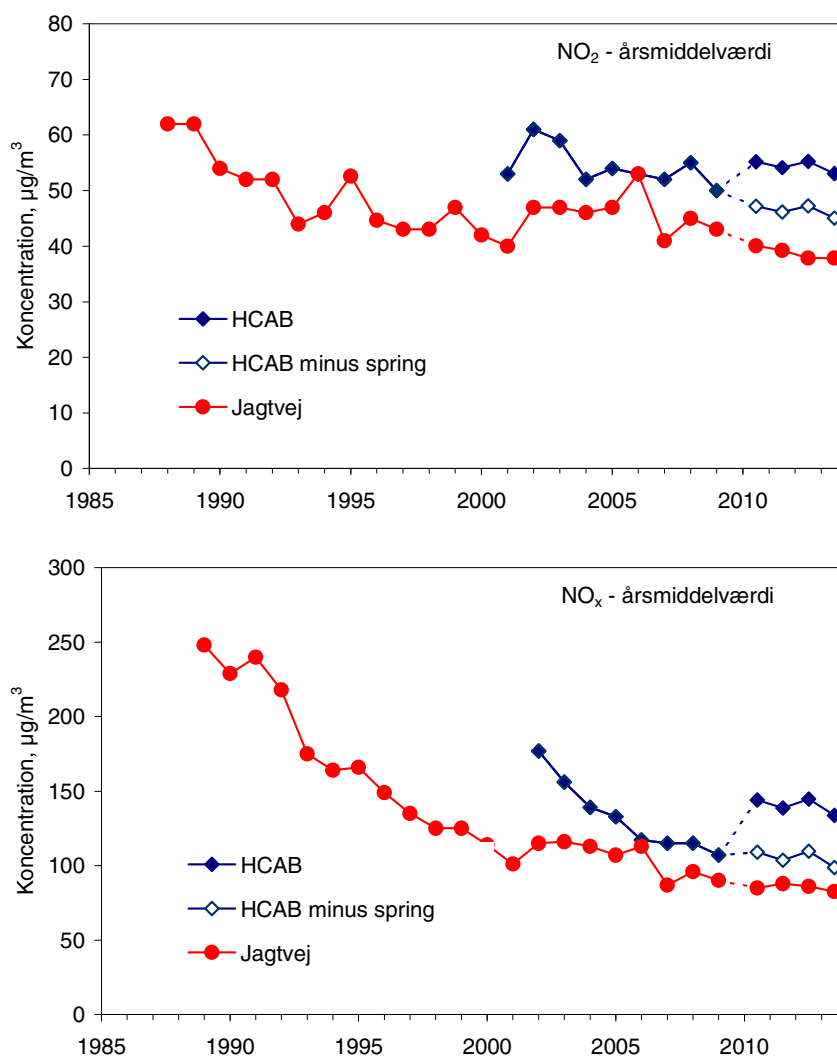
I Figur 8.8 ses den samlede tidsserie for HCAB, og til sammenligning ses desuden tidsserien for Jagtvej. Årsmiddelværdierne efter 2009 er på begge målestationer forskudt et halvt år, således at årsmiddelværdierne er bereg-

net fra juli til juli det efterfølgende år. Denne fremgangsmåde er valgt for at tage hensyn til, at springet i koncentrationerne fandt sted i sommeren 2010, og ved at forskyde årsmiddelværdierne et halvt år, bliver det muligt at beregne fire årsmiddelværdier i perioden efter springet (fra juli til juli i 2010-2011, 2011-2012, 2012-2013 og 2013-2014).

For såvel NO_2 som NO_x ses et lille fald i koncentrationerne efter sommeren 2010. Dette fald minder om billedet for Jagtvej. Da tidsserien efter springet kun er på fire år, er det ikke muligt at vurdere, om det lille fald skyldes et fald i udledningerne fra trafikken, eller om det skyldes år til år variationer i de meteorologiske forhold.

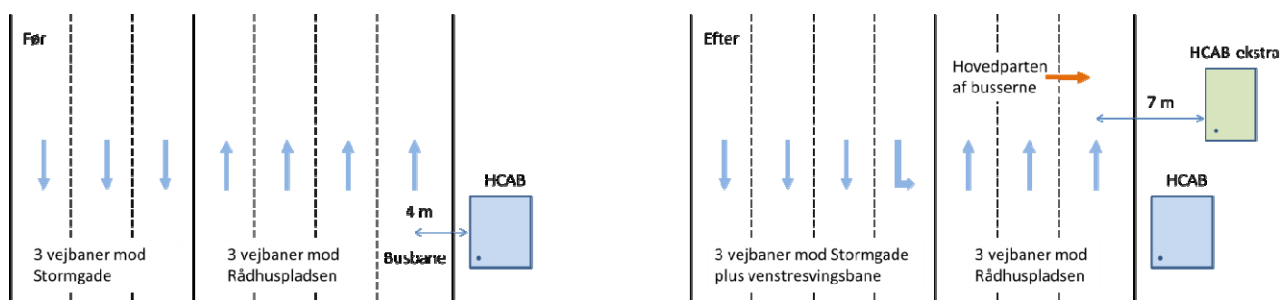
Figur 8.8 viser også en skønnet udviklingstendens, hvor årsmiddelværdierne for NO_2 og NO_x er korrigeret for springet. Korrektionen er foretaget under antagelse af, at springet har været konstant gennem de fire år. For både NO_2 og NO_x ses et udviklingsforløb for den skønnede tidsserie som gennem den seneste årrække svarer til situationen på Jagtvej.

Figur 8.8. Udviklingstendens for NO_2 og NO_x på HCAB og Jagtvej. Efter sommeren 2009 er årsmiddelværdierne forskubbet, så de er beregnet fra juli til juli det efterfølgende år. Endvidere er der for perioden efter springet i 2010 beregnet skønnede årsmiddelværdier, hvor koncentrationerne er korrigeret ned for at tage højde for springet i koncentrationerne. Det er antaget, at springet er konstant på $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for NO_2 og $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for NO_x .



8.4 Diskussion

Parallelmålingerne på HCAB og HCAB-ekstra kan ikke afspejle forskellen mellem situationen før og efter sommeren 2010 på en helt nøjagtig måde. En af de største forskelle er formentligt, at busserne før sommeren 2010 kørte i busbanen, som var placeret i den inderste vejbane op mod målehuset, hvor midten af busbanen var omkring 4 m fra målehuset. Efter sommeren 2010 er denne vejbane omlagt til almindelig vejbane, hvor hovedparten af busserne fortsat kører, men nu sammen med den almindelige trafik. HCAB-ekstra er placeret ca. en vejbane længere væk fra den nuværende inderste vejbane end selve målestationen, hvilket betyder, at busserne nu kører omkring 7 m væk fra den ekstra målestation set i forhold til situationen før sommeren 2010 (Figur 8.9). Endvidere havde busserne før sommeren 2010 deres egen busbane at køre i, mens de efter sommeren 2010 skal følges med den almindelige trafik. Bussernes gennemsnitshastighed er derfor formentligt faldet ligesom busserne formodes at kunne køre med jævn hastighed før 2010, hvor de efter sommeren 2010 er afhængig af den almindelige trafik og i myldretiden kører i kø med såkaldt "Stop & Go" trafik. Det er ikke umiddelbart muligt at kvantificere effekten af de anderledes forhold for busserne før og efter sommeren 2010. Modelberegninger har imidlertid vist, at busserne på H.C. Andersens Boulevard bidrager med omkring $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 , hvilket derfor giver et maksimum for effekten af de anderledes forhold for busserne.



Figur 8.9. Skitse af de ændrede vejbaneforhold ud for målestationen på HCAB. Skitsen er ikke i fast målestok.

Parallelmålingerne giver endvidere kun viden om effekten af flytning af vejbanerne tættere på målestationen, mens de ikke giver informationer om, hvorvidt der har været en ændring i afviklingen af trafikken (ændret hastighed, øget kødannelse m.m.) på gadesegmentet ud for målestationen fra før til efter sommeren 2010.

8.5 Konklusion

I perioden 8-2-2014 til 23-6-2014 blev der gennemført parallelmålinger af koncentrationerne af NO_2 og NO_x mellem målestationen på HCAB og en ekstra målestation placeret 2,75 m længere væk fra vejbanerne end selve målestationen. Parallelmålingerne har vist, at der som følge af den forøgede afstand i gennemsnit er en forskel på 10 og $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for henholdsvis NO_2 og NO_x , hvilket svarer til et fald i koncentrationerne på omkring 20%, hvilket svarer til en øgning på 29 % ved simulering af, at vognbanen er flyttet tættere på den permanente målestation.

Det vurderes, at parallelmålingerne på målestationen på HCAB og den ekstra målestation giver et realistisk billede af den overordnede effekt af selve omlægningen af vejbanerne fra før til efter sommerferien 2010. Her blev den inderste busbane omlagt til almindelig vejbane, så trafikken ind mod Rådhuspladsen blev flyttet en vejbane tættere på målestationen. Parallelmålin-

gerne giver dog ikke et helt realistisk billede for busserne, hvilket betyder at parallelmålingerne overvurderer effekten af vejbaneflytningen. Med et forsigtigt skøn er det vurderet, at denne overvurdering højest kan være på omkring $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Endvidere kan parallelmålingerne ikke afspejle ændringer i trafikafviklingen før og efter sommeren 2010.

Ud fra målingerne på målestationen på HCAB er den samlede effekt af ændringerne i trafikforholdene på gadesegmentet ud for målestationen vurderet til et spring opad i koncentrationerne på omkring $8 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$ og $35 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_x$ som gennemsnit for perioden fra sommeren 2010 til og med første halvår af 2014. Parallelmålingerne har vist, at alene flytningen af vejbanerne kan forklare denne forskel. Her skal der dog tages forbehold for, at springet i koncentrationerne er vurderet som gennemsnit over 4 år, mens parallelmålingerne kun repræsenterer en måleperiode på et halvt år. Endvidere er springet vurderet relativt til koncentrationerne på Jagtvej og selv om der ikke er sket store ændringer i trafikforholdene på Jagtvej, så vil ændringer på Jagtvej påvirke, hvor stort springet på HCAB vurderes at være.

Alt i alt vurderes flytningen af vejbanerne til klart at være den væsentligste årsag til den stigning i koncentrationerne, som blev observeret i sommeren 2010. Forsøget med parallelmålingerne kan imidlertid ikke give en fuldstændig simulering af de ændringer i trafikforholdene, som fandt sted sommeren 2010. Det kan derfor ikke udelukkes, at ændringer i afviklingen af trafikken (hastighed, kødannelse m.m.) også har spillet en mindre rolle.

9 Referencer

Beever, S.D., Westmoreland, E., de Jong, M.C., Williams, M.L., Carslaw, D.C (2012): Trends in NO_x and NO₂ emissions from road traffic in Great Britain. *Atm. Env.* 54 (2012) 107-116.

Berkowicz, R. (2000): OSPM – a parameterised street pollution model. *Environ. Monit. Assess.* , 65, 323.

Borken-Kleefeld et al. (2013): Emission developments for mobile sources and their impact on air quality. 4th meeting of the DG-ENV SEG on Review of EU Air Policy. Brussels, 5. december 2012. Præsentation af IIASA.

Carslaw DC, Beevers SD, Tate JE, Westmoreland EJ, Williams ML (2011): Recent evidence concerning higher NO_x emissions from passenger cars and light duty vehicles. *Atmos Environ* 45: 7053-7063.

COWI (2013): Hvorfor falder den tunge trafik i København? Udført for Københavns Kommune. Marts 2013.

Danske Bilimportører (2010): Vejtransporten 2010 - i tal og tekst. September 2010.

Ellermann, T., Ketzel, M. & Solvang Jensen, S. 2012b. Sammenligning af NO₂-målinger og OSPM-beregninger for 10 gadestrækninger i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 26 s. - Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 9 <http://www.dmu.dk/Pub/TR9.pdf>

Ellermann, T., Massling, A., Løfstrøm, P, Winther, M., Nøjgaard, J. K. & Ketzel, M. (2011): Undersøgelse af luftforureningen på forpladsen i Københavns Lufthavn Kastrup i relation til arbejdsmiljø. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 148 s. – Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 5.

Ellermann, T., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Jansen, S., Massling, A. & Jensen, S. S. (2013): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2012. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. No. 67. 62 pp. (in preparation).

Ellermann, T., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M. & Jensen, S. S. (2012a): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2011. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. No. 37. 63 pp. <http://www2.dmu.dk/Pub/SR37.pdf>

Hansen, A. R. (2013): Rejsehastighedsdata leveret 17.6.2013 af trafikplanlægger Anders Rody Hansen, Københavns kommune.

Jensen, S. S., Becker, T., Ketzel, M., Løfstrøm, P., Olesen, H. R., Lorentz, H. (2010): OML-Highway within the framework of SELMAGIS. Final Report. National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark, 26 p, NERI Technical Report No. 771. <http://www.dmu.dk/Pub/FR771.pdf>.

Jensen, S.S., Ketzel, M., Brandt, J., Winther, M. 2012: Luftkvalitetsvurdering af renluftzone i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 86 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 25 <http://www.dmu.dk/Pub/SR25.pdf>

Kakosimos K.E., Hertel O., Ketzel M. and Berkowicz R. (2010): Operational Street Pollution Model (OSPM) - a review of performed validation studies, and future prospects. *Environmental Chemistry*, 7, 485-503.

Kakosimos K.E., Hertel O., Ketzel M. and Berkowicz R. (2011): "Operational Street Pollution Model (OSPM) - a review of performed validation studies, and future prospects", *Environmental Chemistry*, 7, 485-503

Ketzel, M., Berkowicz, R., Hvidberg, H., Jensen, S.S., Raaschou-Nielsen, O. (2011): Evaluation of AirGIS - A GIS-Based Air Pollution And Human Exposure Modelling System. *Int. J. of Environment and Pollution*. Vol. 47, Nos. 1/2/3/4, 2011.

Ketzel, M., Jensen, S. S., Ellermann, T., Olesen, H. R., Berkowicz, R., & Hertel, O. (2012). Evaluation of the Street Pollution Model OSPM for Measurements at 12 Streets Stations Using a Newly Developed and Freely Available Evaluation Tool. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, doi: 10.4172/2165-784X.S1-004

Københavns Kommune (2008): Færdselstællinger og andre trafikundersøgelser 2003-2007. Københavns Kommune, April 2008.

Københavns Kommune (2012): Trafikken i København 2006-2011. Københavns Kommune, Efterår 2012.

Transportministeriet (2013): Basistrafikfremskrivninger 2018, 2025 og 2040. Trængselskommissionen. Notat fra TetraPlan, 8.05.2013.

UNDERSØGELSE AF DE FORØGEDE KONCENTRATIONER AF NO₂ PÅ H.C. ANDERSENS BOULEVARD

DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi har i 2013 og 2014 gennemført detaljerede undersøgelser af årsagerne til den observerede stigning af koncentrationerne af kvælstofdioxid (NO₂) ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard i sommeren 2010. Den observerede stigning er på 8 µg/m³ i gennemsnit og har været relativt konstant siden sommeren 2010. Resultaterne af undersøgelserne viser, at hovedårsagerne til de forøgede koncentrationer er ændringer i vejbanerne ud for målestationen, hvilket har flyttet trafikken tættere på målestationen, samt nedsat hastighed på vejstrækningen grundet øget kødannelse og trængsel.