



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Luftforurening fra togdrift i byområder

Miljøprojekt nr. 1484, 2013

Titel:

Luftforurening fra togdrift i byområder

Redaktion:

Helge Rørdam Olesen, Thomas Ellermann, Morten Winther, Marlene Schmidt Plejdrup, Jørgen Brandt.
Institut for Miljøvidenskab ved Aarhus Universitet

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

Kvalitetssikring:

Steen Solvang Jensen
Institut for Miljøvidenskab ved Aarhus Universitet

År:

2013

ISBN nr.

978-87-93026-15-5

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	5
Sammenfatning og konklusion	7
Formål og fremgangsmåde.....	7
Emissioner fra tog relativt til andre kilder	7
Emissionsopgørelse	7
NO _x -bidrag fra tog – geografisk fordeling	8
NO ₂ -bidrag fra tog – geografisk fordeling	8
Partikel-bidrag fra tog – geografisk fordeling	9
Summary and conclusions	11
Objective and method.....	11
Emissions from railway relative to other sources	11
Environmental effect of railway service in Copenhagen and Aarhus.....	11
NO _x contribution from trains– geographical distribution.....	12
NO ₂ contribution from trains – geographical distribution.....	12
Particle pollution – geographical distribution of contribution from trains	13
1. Indledning	15
1.1 Projektets indhold.....	15
1.2 Emissioner på landsbasis	15
2. Togtrafik i København og Aarhus – emissionsopgørelse	17
2.1 Aktivitetsdata – Passagertrafik	18
2.2 Aktivitetsdata – Klargøring	20
2.3 Aktivitetsdata – Godstrafik	21
2.4 Emissionsfaktorer	21
2.5 Beregningsmetode	22
2.6 Resultater – energiforbrug og emissioner	22
2.7 Geografisk fordeling af emissioner fra togtrafik i København og Aarhus	26
2.8 Emissioner i København og Aarhus – overblik	28
3. Koncentrationsberegninger for togtrafik i København og Aarhus	30
3.1 Opsætning af OML-beregningerne	30
3.2 Koncentrationer – resultater for København	31
3.3 Detaljeret beregning for en banestrækning	35
3.4 Koncentrationer – resultater for Aarhus	36
4. Indikative målinger i forbindelse med hot spots for tog i København	41
4.1 Målesteder og metode.....	41
4.2 Resultater	44
Referencer	47
Bilag 1: Emissionsopgørelser for tog	

Forord

Miljøstyrelsen iværksatte september 2012 et projekt til vurdering af, hvilken indflydelse tog samt mobile ikke-vejpgående maskiner har på luftkvaliteten i byområder. Nærværende rapport har fokus på vurderinger af togdriftens bidrag til udslip og koncentrationer i København og Aarhus, mens resultater vedrørende mobile ikke-vejpgående maskiner rapporteres særskilt.

Projektet er gennemført af *DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi* ved Aarhus Universitet (AU) med Institut for Miljøvidenskab ved AU som udførende enhed.

Projektledelsen er fra Miljøstyrelsens side blevet varetaget af Christian Lange Fogh og Katja Asmussen. Projektdeltagerne fra DCE er Helge Rørdam Olesen (projektleder), Thomas Ellermann, Morten Winther, Marlene Schmidt Plejdrup og Jørgen Brandt – alle tilknyttet Institut for Miljøvidenskab, AU.

Den detaljerede opgørelse af emissioner fra tog er gennemført takket være informationer leveret af Klaus Skafte Nielsen, DSB, Stig Bang-Mortensen, DB Schenker, Lars Winther Wagner, Arriva Tog A/S, Lars Storgaard, Midtjyske Jernbaner og Banedanmark Banedata.

Sammenfatning og konklusion

Formål og fremgangsmåde

Nærværende rapport beskriver resultaterne af et projekt om den luftforureningsmæssige betydning af togdrift i København og Aarhus. Projektet har omfattet tre aktiviteter.

- **Emissionsopgørelse.** Der er indhentet detaljerede oplysninger om togdriften med dieseltog i København og Aarhus, og på grundlag af oplysningerne er der beregnet emissioner af NO_x og PM_{2.5} (partikler mindre end 2,5 mikrometer i diameter) fra banestrækninger og stationer.
- **Modelberegninger af koncentrationer.** Disse emissionsdata har givet grundlag for beregninger af koncentrationer i luften i nærheden af banestrækningerne og ved målestationer.
- **Indikative målinger.** Der er foretaget indikative målinger af NO₂ (kvælstofdioxid) på enkelte udvalgte lokaliteter – dels med formodet stor påvirkning fra både vejtrafik og tog, dels med formodet kraftig påvirkning fra tog alene. De indikative målinger har været af begrænset omfang.

Fokus har været på en overordnet vurdering, hvor resultater er udtrykt som årsmiddelværdier. Ved emissionsopgørelserne og hovedparten af modelberegningerne er detaljer på en skala mindre end 100 meter ikke beskrevet. Endvidere omfatter beregningerne for partikelforurening kun direkte udledninger af partikler i form af PM_{2.5}, mens ophvirvling af partikler og støv fra slid og af bremses og skinner ikke er medtaget. Ej heller er antallet af ultrafine partikler taget i betragtning.

Projektet er gennemført af DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet.

Emissioner fra tog relativt til andre kilder

Et overordnet indtryk af togdriftens betydning i de to byområder fremgår af følgende størrelsesforhold:

- På nationalt plan er tog ansvarlige for 2 % af udledningen af NO_x og for 0,3 % af udledningen af PM_{2.5}.
- I Københavnsområdet (defineret som en cirkel med radius 5 km omkring Københavns Hovedbanegård) er tog ansvarlige for 3 % af udledningen af NO_x og 0,6 % af udledningen af PM_{2.5}.
- I Aarhusområdet (i en tilsvarende cirkel omkring banegården) er tog ansvarlige for 2 % af udledningen af NO_x og 0,6 % af udledningen af PM_{2.5}.

Emissionsopgørelse

I projektet er der udarbejdet en ny, detaljeret emissionsopgørelse for udledningerne af NO_x (kvælstofoxider) og partikler fra togdrift for København og Aarhus. Den nye emissionsopgørelse har haft fokus på at få en korrekt geografisk fordeling af udledningerne, og på anvendelse af de bedst tilgængelige aktivitetsdata for togdrift i de to byområder.

I henhold til opgørelserne finder en væsentlig andel af emissionerne i København sted under klargøringen af togene, nemlig ca. 30 % for såvel udslip af NO_x som PM_{2.5}. Dette beror på de ret lange holdetider for klargøring (45 minutter), der er oplyst af DSB.

NO_x-bidrag fra tog – geografisk fordeling

På basis af emissionsopgørelsen er der udført modelberegninger af bidraget til luftkoncentrationer af NO_x og partikler fra togdrift. Disse beregninger viser, at togdrift giver de højeste bidrag til koncentrationen tæt på banelegemet og i klargøringsområderne. Det største koncentrationsbidrag i København er således beregnet ved klargøringsområdet Belvedere vest for Dybbølsbro Station, hvor bidraget fra togdrift til den årlige koncentration af NO_x er beregnet til 31 µg/m³ (mikrogram per kubikmeter). Ved Københavns Hovedbanegård og klargøringsarealer udgør togbidraget omkring 30 µg/m³ for NO_x. På den nærliggende Ingerslevsgade udgør bidraget omkring 20 µg/m³, og der er et lignende niveau ved Valby Station. Områder omkring klargøringsarealer samt stationer er i denne sammenhæng de mest belastede arealer. Andre steder er bidraget fra togene noget lavere. F.eks. er bidraget omkring 15 µg/m³ på banelegemet vest for Valby, og det falder hurtigt, når man bevæger sig bort fra banen. Togbidraget til NO_x ved den permanente luftmålestation på H.C. Andersens Boulevard ca. 300 meter fra Hovedbanegården udgør under 2 µg/m³. Alle de nævnte værdier er *bidrag*, der kommer oven i den normale baggrundsforurening. Til sammenligning er det målte totale NO_x-niveau på H.C. Andersens Boulevard og på Jagtvej henholdsvis 136 og 87 µg/m³, mens det i bybaggrund (H.C. Ørstedes Institut) er omkring 22 µg/m³ (2011-tal).

I Aarhus er NO_x-bidraget fra tog gennemgående væsentligt mindre end i København. Generelt ligger det beregnede bidrag for spidsbelastningsområder (banelegemet) under 7 µg/m³, men helt lokalt ved Banegården er der for to beregningspunkter bestemt koncentrationsbidrag på henholdsvis 20 og 12 µg/m³, hvilket nærmer sig de største værdier fra Københavnsområdet.

NO₂-bidrag fra tog – geografisk fordeling

NO_x (kvælstofoxider) består af NO (kvælstofmonoxid) og NO₂ (kvælstofdioxid). Af NO og NO₂ udgør NO₂ den sundhedsskadelige komponent. I luften omdannes NO til NO₂ i reaktioner med ozon, og dannelsen af NO₂ er således afhængig af mængden af ozon i luften. Mængden af ozon er således en af de væsentligste begrænsende faktorer for dannelse af NO₂.

En kildes bidrag til koncentrationerne af NO_x er forholdsvis simpelt at beregne, mens bidraget til koncentrationerne af NO₂ afhænger af mange ydre omstændigheder – primært af bidraget fra andre kilder til forurening med NO og NO₂ og af, i hvilket omfang andre kilder har "spist" den tilgængelige ozon. Bidraget til NO_x varierer derimod direkte i takt med kildestyrken.

Hvad angår togdriftens bidrag til koncentrationerne af NO₂ er der ikke foretaget detaljerede beregninger, men der foreligger et model-baseret estimat baseret på forholdene ved banelegemet 300 m vest for Valby Station. Lige ved banelegemet udgør NO₂-bidraget ca. 1/3 af det totale NO_x-bidrag på ca. 15 µg/m³, altså ca. 5 µg/m³, og det aftager hurtigt med afstanden til banen. Til sammenligning er grænseværdien for koncentrationen af NO₂ på 40 µg/m³. I stor afstand fra jernbanenettet vil hovedparten af NO_x fra togdrift være omsat til NO₂. Hvor hurtigt dette sker, afhænger af meteorologiske forhold samt baggrundskoncentrationen af ozon. Som anført ovenfor er NO_x-bidraget fra tog beregnet til under 2 µg/m³ ved DCE's luftmålestation på H.C. Andersens Boulevard godt 300 m fra Hovedbanegården, og NO₂-bidraget kan som sagt ikke være højere end dette.

Der er foretaget indikative målinger af NO₂ på tre lokaliteter i København: ved Tietgensgade ved Hovedbanegården, Toftegårds Allé ved Valby Station og i en privat have tæt på banelegemet vest for Valby Station. Målingerne viser, at koncentrationerne af NO₂ ved de tre målepunkter ligger lavt set i sammenligning med resultaterne fra overvågning af luftkvalitet i København. Ved Københavns Hovedbanegård og Valby Station ligger de målte koncentrationer lidt under niveauerne målt i bybaggrund, og i den private have vest for Valby Station ligger niveauet under koncentrationerne målt i landlig baggrund. Opsamlingsperiodens begrænsede varighed (14 dage) og de ensidige vindforhold betyder, at resultaterne ikke kan betragtes som repræsentative for de årlige middelkoncentrationer ved de tre målesteder. Ligeledes er det vigtigt at holde sig for øje, at der kun

er tale om indikative målinger, som har væsentligt større usikkerhed end referencemålingerne foretaget i forbindelse med den rutinemæssige overvågning af luftkvalitet.

Med forbehold for den manglende repræsentativitet vurderes det, at koncentrationerne på de tre målesteder ligger under koncentrationerne på Jagtvej (hvor grænseværdien er overholdt), og at der derfor ikke forventes problemer med overholdelse af grænseværdien for årsmiddel som følge af bidrag fra togdrift. Der bør dog gennemføres yderligere målinger over en længere tidsperiode for at underbygge denne skønsmæssige vurdering af bidragene til koncentrationerne af NO₂ set i relation til grænseværdier.

Partikel-bidrag fra tog – geografisk fordeling

Modelberegningerne viser, at det maksimale årlige PM_{2.5}-bidrag fra udledninger fra tog udgør 0,9 µg/m³. Dette maksimale bidrag er beregnet for klagøringsområdet Belvedere ved Dybbølsbro i København. Ved den nærliggende Ingerslevsgade er bidraget lidt lavere, men stadig over 0,5 µg/m³. Ved H.C. Andersens Boulevard (300 meter fra Københavns Hovedbanegård) er der beregnet et bidrag til PM_{2.5} på 0,05 µg/m³, hvilket udgør 0,25 % af den samlede PM_{2.5} på omkring 20 µg/m³ (Ellermann et al., 2012b).

Som et sammenligningsgrundlag kan man betragte bidraget fra bilers udstødning. Bidraget fra bilernes udstødning på H.C. Andersens Boulevard, der er en særdeles stærkt trafikeret gade, er på baggrund af analyse af målinger vurderet til omkring 5 µg/m³ for 2005-2007 og omkring 4 µg/m³ ved modelberegninger for 2010 (Jensen et al., 2009). Nyere undersøgelser tyder imidlertid på, at bilernes udstødningsbidrag i dag er væsentligt reduceret i forhold til tidligere. De nyeste modelberegninger for 2011 peger således på et bidrag på omkring 1,2 µg/m³ på H.C. Andersens Boulevard og 0,7 µg/m³ på Ingerslevsgade (Jensen et al., 2013).

De detaljerede beregninger tæt ved banelegemet 300 m vest for Valby Station viser et bidrag fra tog på 0,4 µg/m³ for PM_{2.5} på selve banelegemet.

På Aarhus Banegård beregnes et maksimalt bidrag på 0,5 µg/m³ PM_{2.5}.

Den vejledende grænseværdi (målværdi) for koncentrationen af PM_{2.5} er 25 µg/m³ (gældende fra 2010, og med status som egentlig grænseværdi fra 2015). Alt i alt vurderes det, at der ikke kan siges at være et generelt problem set i relation til overholdelse af grænseværdierne. Helt lokalt omkring baneterræn, klagøringsområder og stationer er bidrag til PM_{2.5} fra togudstødning på 5-10 % af det totale PM_{2.5}-niveau på 10-20 µg/m³.

Denne procentandel kan forekomme beskeden; her skal det dog tages i betragtning, at hovedparten af PM_{2.5} stammer fra fjerntransport og ikke umiddelbart lader sig regulere – Og i øvrigt at ophvirvlet støv og brems støv ikke indgår i beregningerne. Endvidere peger nyere forskning på, at direkte udledte partikler fra forbrændingsmotorer har større negative helbredseffekter end fjerntransporterede partikler generelt (Janssen et al., 2011), og verdenssundhedsorganisationen WHO har i 2012 klassificeret dieseludstødning som kræftfremkaldelse (gruppe 1) mod tidligere sandsynligvis kræftfremkaldende (gruppe 2A).

Hvad angår de udførte indikative målinger skal det bemærkes, at de ikke har omfattet målinger af partikelforureningen, hverken som partikelmasse eller partikelantal, og at målingerne blev foretaget med en lang midlingstid (14 dage), og kun i en enkelt måleperiode. Supplerende målinger af forureningen fra togtrafik bør foretages med kort tidsopløsning for at kunne vurdere spidsbelastningen fra togtrafikken. Målingerne med kort tidsopløsning vil kunne belyse de gener, der opleves når tog passerer, bl.a. i området vest for Valby. Den foreliggende undersøgelse giver ikke grundlag for, at man kan udtale sig om gener fra spidsbelastningssituationer.

Afslutningsvis skal bemærkes, at emissionerne fra togdrift er gjort op på grundlag af oplysninger indhentet i oktober 2012. I december 2012 er køreplanen ændret, så antallet af MR-tog er faldet meget. Endvidere benyttes der et såkaldt emissionskit på ME-lokomotiver, hvilket opgørelsen ikke tager højde for. Alt i alt ville en fornyet beregning gældende for 2013 overordnet set føre til 10-20 % lavere koncentrationsbidrag fra tog for både partikler og NO_x i forhold til de gennemførte beregninger.

Summary and conclusions

Objective and method

The present report describes the results of a project on the air pollution impact of railways in the towns of Copenhagen and Aarhus. The project has comprised three activities.

- **Emission inventory.** Detailed information about the activity of diesel fuelled trains in Copenhagen and Aarhus has been acquired. Based on this information emissions of NO_x and PM_{2.5} (particles with a diameter of less than 2.5 micron) have been computed for railways and stations.
- **Computations of concentrations.** The above mentioned emission data have provided a base for computation of concentrations of air pollutants close to railways and at further distances from them.
- **Indicative measurements.** A number of indicative measurements of NO₂ (nitrogen dioxide) have been carried out at a few selected locations – some with an assumed large exposure to road traffic and trains, and others with assumed exposure from trains only. These indicative measurements have been limited in various respects.

The focus of the entire work was to obtain an overall assessment, where results are expressed in terms of annual mean values. Features at a scale of less than 100 meters have not been described in the emission inventories, neither in the majority of the dispersion model calculations.

Assessments for particle pollution involve only direct emissions of particles as PM_{2.5}, whereas resuspension of dust and wear from brakes and rails has been disregarded. Neither has the number of ultrafine particles been considered.

The project has been carried out by *DCE –Danish Centre of Environment and Energy* at Aarhus University.

Emissions from railway relative to other sources

The bullets below provide a general indication of the environmental significance of railway service in the two towns:

- On a national level trains account for 2 % of NO_x emission and 0.3 % of PM_{2.5} emission.
- In the Copenhagen area (defined as a circle with radius 5 km and centre at Copenhagen Central Station) trains account for 3 % on NO_x emission and 0.6 % of PM_{2.5} emission.
- In the Aarhus area (a similar circle around Aarhus Central Station) trains account for 2 % on NO_x emission and 0.6 % of PM_{2.5} emission.

Environmental effect of railway service in Copenhagen and Aarhus

Within the project a new, detailed emission inventory for emissions of NO_x and particles from railway service has been established. The new inventory has focus on utilizing the best available activity data for railway service, thus providing a correct geographical distribution.

According to the inventory a relatively large fraction of the emissions in Copenhagen takes place when trains are serviced, amounting to 30 % for both NO_x and PM_{2.5} exhaust. This is a consequence of the long duration of stops for service (45 minutes).

NO_x contribution from trains– geographical distribution

Based on the emission inventory established within the project, dispersion model calculations have been carried out in order to assess the contribution to concentration levels of NO_x and particles from trains. These model calculations show that railway service contributes with the highest concentrations close to the railway and within the train service areas. The largest computed concentration in Copenhagen is found at the service area Belvedere west of Dybbølsbro Station, where the contribution from railway service to the level of NO_x has been computed as 31 µg/m³ (annual average). At Copenhagen Central Station and nearby train service areas the contribution from trains amounts to around 30 µg/m³ for NO_x. At the Ingerslevgade close to the service areas the contribution is around 20 µg/m³, and there is a similar level at Valby Station. The most polluted areas are those next to service areas as well as stations. Elsewhere the contribution is lower. For instance, right at the railway west of Valby station the level is around 15 µg/m³; it is rapidly decreasing with distance away from the railway. At H.C. Andersens Boulevard 300 m from Copenhagen Central Station where there is a permanent air pollution monitoring site, the contribution to NO_x amounts to less than 2 µg/m³. All values mentioned above are *contributions*, which are added to the general background air pollution level. For comparison, the measured level of NO_x at H.C. Andersens Boulevard and at Jagtvej is, respectively, 136 and 87 µg/m³, while in urban background (H. C. Ørsted Institutet), it amounts to approximately 22 µg/m³ (data from 2011).

In Aarhus, generally the NO_x contribution from trains is substantially lower than in Copenhagen. For the areas most exposed (the railway line) the contribution is less than 7 µg/m³, although locally at Aarhus Central Station there are two calculation points with contributions of, respectively, 20 and 12 µg/m³ – thus approaching the largest values in Copenhagen.

NO₂ contribution from trains – geographical distribution

NO_x (Nitrogen Oxides) is composed of NO (Nitrogen Monoxide) and NO₂ (Nitrogen Dioxide). Of the two components NO and NO₂, only NO₂ is harmful to health. However, in the air NO is transformed to NO₂ through reactions with ozone. The level of ozone is one of the limiting factors for the formation of NO₂.

It is relatively simple to compute the contribution to NO_x concentrations from a source, as the contribution varies directly with source strength, whereas the contribution to NO₂ concentrations depends on many external conditions – the determining factors are primarily the contribution from other sources to pollution with NO and NO₂, and to which extent other sources have consumed the amount of ozone available for chemical reactions.

For such reasons there has not been produced a full set of computations of the contribution from trains to NO₂ concentrations. However, a model-based estimate has been established for a specific location, based on conditions in the vicinity of the railway 300 m west of Valby Station. At the railway the contribution to NO_x concentration is around 15 µg/m³, whereas for NO₂ the level is around one third of this. The EU limit value for NO₂ concentrations is 40 µg/m³. At great distances from the railway the major part of NO_x from trains has been transformed to NO₂. How fast this happens depends on external conditions at the location in question. At the measuring station at H.C. Andersens Boulevard in Copenhagen (300 m from the railway), the NO_x contribution from railways has been computed to less than 2 µg/m³, and the NO₂ contribution can therefore be no larger than this.

The project has comprised a limited number of indicative measurements of NO₂ at three locations in Copenhagen: at Tietgensgade next to Copenhagen Central Station, at Toftegårds Allé next to Valby Station, and in a private garden neighbouring the railway west of Valby Station. The measurements show that the NO₂ concentration level at the three points is low compared to results from the routine monitoring of air quality in Copenhagen. Next to Copenhagen Central Station and

next to Valby Station measured concentration levels are somewhat lower than levels measured in urban background, and in the private garden west of Valby Station the level is below what has been measured at a rural background station north of Roskilde. It is worth noting that the measurements are indicative, and subject to a much larger uncertainty than reference measurements performed at the permanent monitoring sites.

Due to the short duration (two weeks) of the sampling period and the limited range of wind directions represented, these results cannot be regarded representative for annual average concentrations at the three measurement locations.

With some reservations due to the limited representativity it is estimated that the NO₂ concentrations at the three sites are below the concentrations at the permanent monitoring stations at H.C. Ørsted Institutet (urban background) and Jagtvej (street); thus, no problems are expected in relation to complying with the EU limit values. This conclusion, however, deserves to be verified by measurements over a longer time period.

Particle pollution – geographical distribution of contribution from trains

The dispersion model calculations indicate that the maximum contribution from trains to PM_{2.5} is 0.9 µg/m³. This maximum occurs for the service area Belvedere at Dybbølsbro in Copenhagen. At H.C. Andersens Boulevard (300 m from Copenhagen Central Station) the contribution to PM_{2.5} is computed as 0.05 µg/m³, which amounts to around 0.25 % of the total PM_{2.5} of approximately 20 µg/m³ (Ellermann et al., 2012b).

For comparison the contribution from car exhaust can be considered. The contribution from exhaust at H.C. Andersens Boulevard, which is a heavily trafficked street, is estimated to approximately 5 µg/m³ according to an analysis of measurements for 2005-2007, and to approximately 4 µg/m³ according to dispersion computations for 2010 (Jensen et al. 2009). However, newer studies indicate that the exhaust contribution is now considerably reduced compared to previously. The newest model calculations for 2011 indicate a contribution of around 1.2 µg/m³ at H.C. Andersens Boulevard and 0.7 µg/m³ at Ingerslevgade (Jensen et al., 2013).

The detailed calculations close to the railway 300 m west of Valby Station indicate a contribution from trains of 0.4 µg/m³ PM_{2.5} at the railway.

At Aarhus Central Station a maximum contribution of 0.5 µg/m³ PM_{2.5} is computed.

For PM_{2.5} there is a so-called *target value* of 25 µg/m³, which will change status to a proper limit value in 2015. Concerning PM_{2.5}, the overall conclusion in respect to contribution from trains is that it does not constitute any general problem in respect to compliance with limit values. Locally, around service areas, train stations and close to railway lines, the contribution from train exhaust amounts to 5-10% of the total level of 10-20 µg/m³.

This percentage may appear modest; however, it should be considered that the bulk of PM_{2.5} is a result of long range transport and is not easily subject to regulation – and furthermore that resuspended dust and brake wear is disregarded in the calculations. Also, recent research indicates that directly emitted particles from combustion engines have a larger negative health potential than long range transported particles in general (Janssen et al., 2011), and in 2012 the WHO (World Health Organisation) classified diesel exhaust as carcinogenic (group 1) as opposed to previously “possibly carcinogenic” (group 2A).

It should be noted that the indicative measurements did not consider particle pollution, neither in terms of mass nor particle number, and that the averaging time for the samples was long (an average over the entire sampling period of 14 days), with only one measuring period. The

measurements provide no indication of what problems may occur right when trains are passing by. In order to illuminate the problems felt by some citizens, e.g. in the area west of Valby, it would be recommended to perform supplementary measurements with higher time resolution. The present study does not supply any evidence to evaluate what nuisance might be experienced in peak load situations.

Finally, it should be recognized that the information concerning emissions for railway service was compiled in October 2012. In December 2012 the train schedule was changed, so the number of MR trains in service subsequently has decreased substantially. Furthermore, a so-called emission kit is in use on ME locomotives, which the inventory does not account for. Altogether, a repeated set of calculations for 2013 would lead to concentration contributions from trains which would be on average 10-20 % lower for both particles and NO_x, as compared to the values given here.

1. Indledning

1.1 Projektets indhold

Nærværende rapport beskriver resultaterne af et projekt om den luftforureningsmæssige betydning af togdrift i København og Aarhus. Projektet har omfattet tre aktiviteter.

- **Emissionsopgørelse.** Der er indhentet detaljerede oplysninger om togdriften med dieseltog i København og Aarhus, og på grundlag af oplysningerne er der beregnet emissioner af NO_x og PM_{2.5} fra banestrækninger og stationer.
- **Modelberegninger af koncentrationer.** Disse emissionsdata har givet grundlag for beregninger af koncentrationer i luften i nærheden af banestrækningerne og ved målestationerne.
- **Indikative målinger.** Der er foretaget indikative målinger af NO₂ på enkelte udvalgte lokaliteter – dels med formodet stor påvirkning fra både trafik og tog, dels med formodet kraftig påvirkning fra tog alene.

Projektet er overvejende blevet udført i efteråret 2012 og baserer sig på data indsamlet i denne periode. Projektet var en del af et større projekt med flere komponenter, og måledelen har haft et relativt beskedent omfang.

Fokus har været på en overordnet vurdering, hvor resultater er udtrykt som årsmiddelværdier. Ved emissionsopgørelserne og hovedparten af modelberegningerne er detaljer på en skala mindre end 100 meter ikke beskrevet.

Den resterende del af denne indledning sætter emissionerne fra togdrift i perspektiv relativt til andre kilder. Derefter følger kapitler, der beskriver de tre hovedaktiviteter i projektet:

- Emissionsopgørelse for tog i København og Aarhus.
- Modelberegninger for at vurdere koncentrationer i luften omkring banestrækninger.
- Indikative målinger af NO₂ med passivt opsamlingsudstyr på enkelte udvalgte lokaliteter i København.

Konklusionerne findes sammen med sammendraget forrest i rapporten.

1.2 Emissioner på landsbasis

Tabel 1 sætter emissionerne fra togdrift og visse andre sektorer i perspektiv, idet den samlede nationale udledning af NO_x og PM_{2.5} (partikler med en diameter på mindre end 2,5 mikrometer, benævnt fine partikler) er sammenstillet med udledningen fra henholdsvis vejtrafik, togtrafik og ikke-vejgående maskiner i forskellige kategorier.

Tabellen viser, at bidraget fra togtrafik på nationalt plan beløber sig til ca. 2 % af de samlede danske NO_x-udledninger og ca. 0,3 % af PM_{2.5}-udledningerne. De tilsvarende tal for vejtrafik er 37 % hvad angår NO_x og 6,5 % hvad angår PM_{2.5}. Ikke-vejgående maskiner giver et anseligt bidrag. Således beløber emissionen fra ikke-vejgående maskiner i industri sig til ca. 6 % af de samlede danske NO_x-udledninger og ca. 3 % af PM_{2.5}-udledningerne. Kategorien "ikke-vejgående maskiner i industrien" i de nationale emissionsopgørelser omfatter maskiner, der benyttes indenfor produktion samt bygge- og anlæg; f.eks. forskellige grave/læssmaskiner, dumpere, dozere, asfaltudlæggere, tromler, pumper, generatorer, kompressorer og gaffeltrucks.

Tabel 1

Emissioner af NO_x og PM_{2.5} fra forskellige sektorer, herunder togtrafik. Tabellen omfatter ikke alle sektorer. Tal fra 2011.

Sektorer	NO _x		PM _{2.5}	
	Tons	% af total	Tons	% af total
Danmark Grand total	125 532	100,0	23 155	100,0
Vejtrafik	46 175	36,8	1 495	6,5
Togtrafik	2 500	2,0	78	0,3
Ikke-vejgående maskiner i industrien	7 947	6,3	646	2,8
Ikke-vejgående maskiner i landbruget	9 770	7,8	752	3,2
Ikke-vejgående maskiner i skovbruget	64	0,1	10	0,0
Ikke-vejgående maskiner – havemaskiner	305	0,2	0,0	0,0

I afsnit 2.8 gives der et overblik over emissioner fra forskellige kilder i byområderne København og Aarhus. Det fremgår, at emissionsandelen fra tog i de to byområder ikke adskiller sig særligt fra hvad den er på landsplan, idet den i de to byer er 2-3 % for NO_x og noget under 1 % for PM_{2.5}.

2. Togtrafik i København og Aarhus – emissionsopgørelse

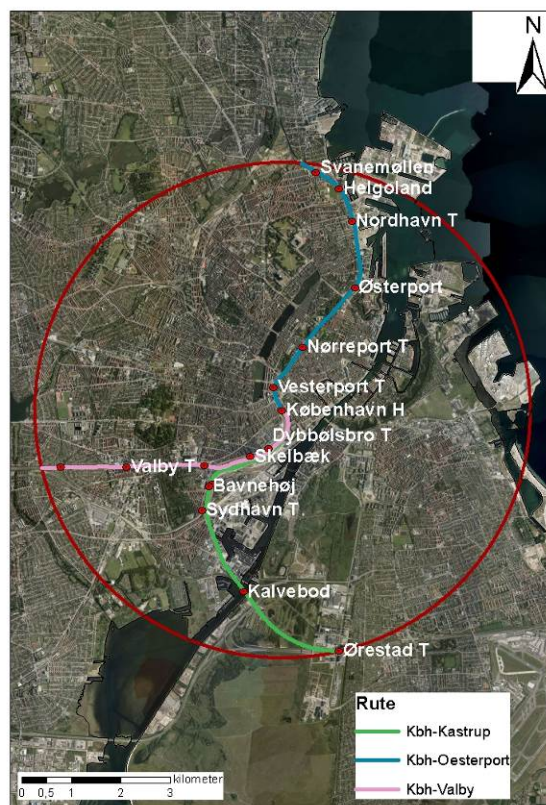
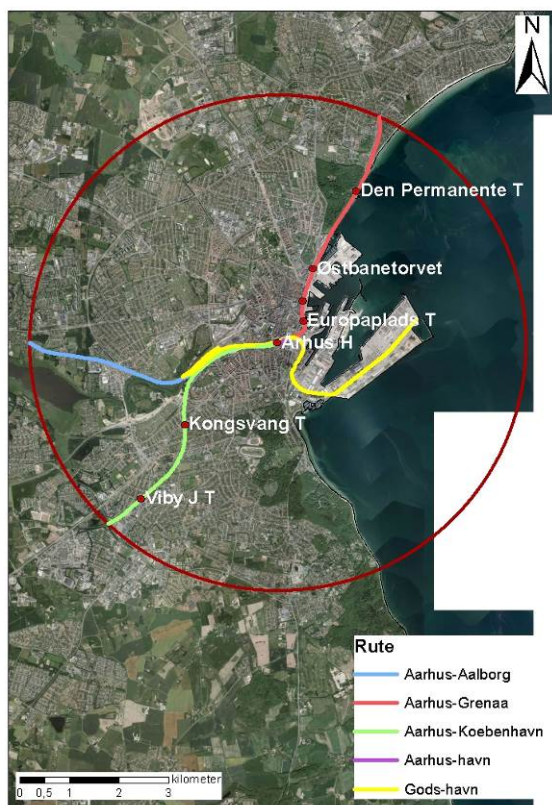
Der er indhentet detaljerede oplysninger om togdriften med dieseltog i København og Aarhus, og på grundlag af disse oplysninger er der beregnet emissioner af NO_x og PM_{2.5} fra banestrækninger og stationer. Emissionerne er indplaceret i et gitternet med celler på 100 x 100 m med henblik på de efterfølgende modelberegninger af koncentrationer med spredningsmodellen OML.

De følgende afsnit beskriver metode og resultater hvad angår de indhentede aktivitetsdata og de udarbejdede emissionsopgørelser.

Emissionsopgørelsen for togtrafik ved København og Aarhus indeholder energiforbrug samt NO_x og partikel (PM_{2.5}) emissioner for dieseltog fordelt på togtype (Litra) for kørsel, ophold på station og klargøring af tog på banestrækninger i to undersøgelsesområder indenfor en radius af fem km fra hhv. København Hovedbanegård (Kbh. H) og Aarhus Hovedbanegård (Aarhus H). Områderne er vist på Figur 1.

For København indeholder opgørelsen emissioner for passagertransport på strækningerne Kbh. H-Valby, Kbh. H-Lufthavn og Kbh. H-Østerport. For passagertransport ved Aarhus er emissioner beregnet for DSB's togtrafik på strækningerne fra Aarhus H i nordlig (Aarhus H–Nord) og sydlig retning (Aarhus H-Syd) og på Grenåbanen ud. Derudover er emissioner beregnet for Arrivas togtrafik på ruterne Aarhus H-Skjern og Aarhus H-Struer og Midtjyske Jernbaners togtrafik på Odderbanen. Udover passagertransport indeholder opgørelsen emissioner fra godstrafikken i området ved Aarhus H og frem til containerterminalen på Aarhus Havn (forestås af DB Schenker), samt emissioner fra klargøring af tog på to områder ved Kbh. H (Klargøringscenter København og Belvedere) og et område ved Aarhus H. Klargøringscenter København (KGC) ligger i området mellem Københavns Hovedbanegård og Dybbølsbro. Klargøringscenter Belvedere ligger umiddelbart syd for Ingerslevsgade, mellem Dybbølsbro og Enghavevej. Hvad angår godstrafik i København er der ikke godstrafik med dieseldrift på de betragtede banestrækninger.

Emissionerne er gjort op på grundlag af oplysninger indhentet i oktober 2012. Det skal bemærkes, at køreplanen i december 2012 er ændret, så antallet af MR-tog er faldet meget. Endvidere benyttes der et såkaldt emissionskit på ME lokomotiver, hvilket opgørelsen ikke tager højde for. Alt i alt ville en fornyet beregning gældende for 2013 overordnet set føre til 10-20 % lavere koncentrationsbidrag fra tog end de gennemførte beregninger. Dette er uddybet i afsnit 2.6.



Figur 1

Kort over de udvalgte undersøgelsesområder, defineret som området indenfor en radius af 5 km fra hhv. Aarhus H og København H. Der er indtegnet ruter, som omtales i afsnit 2.7.

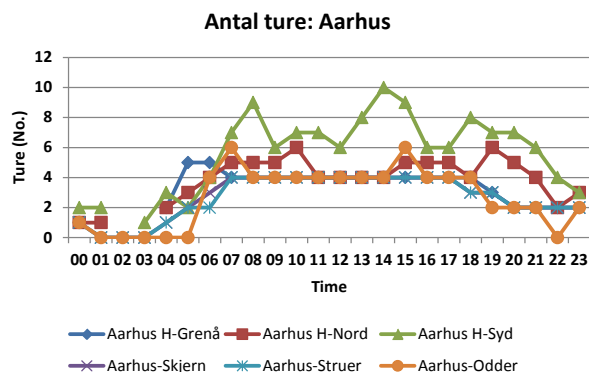
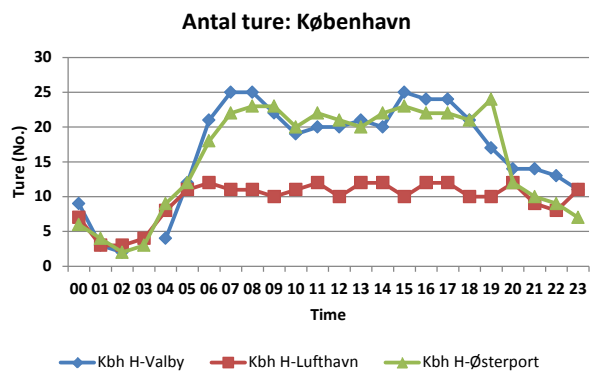
Baggrundskort: © Geodatastyrelsen

2.1 Aktivitetsdata – Passagertrafik

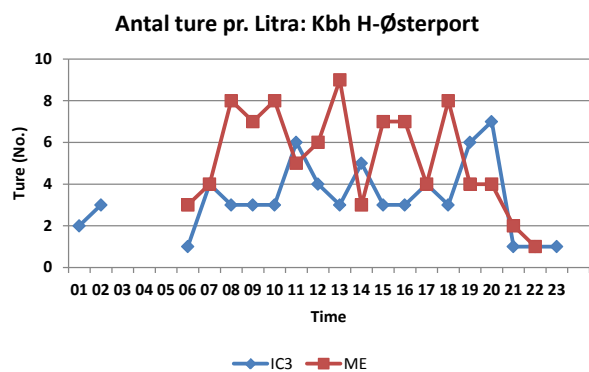
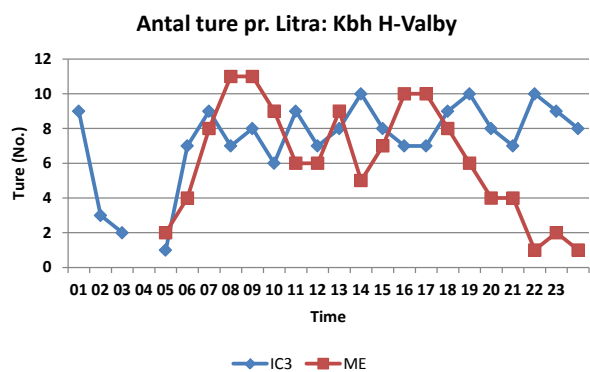
Aktivitetsdata for trafikken med passagertog er indsamlet for en onsdag med typisk hverdagsaktivitet. For den senere opskalering til at repræsentere data på årsbasis er benyttet faktoren 310, der ifølge DSB give en passende hensyntagen til weekender og ferier (Skaft Nielsen, 2013). For DSB's togtrafik er togdata tilsendt af DSB, der for hvert enkelt tog (tognummer) på hhv. Kbh. H og Aarhus H inkluderer tidspunkt for ankomst og afgang ved station, litrabenævnelse og antal togsæt per tog (Skaft Nielsen, 2012). For trafikken på ruterne Aarhus H-Skjern og Aarhus H-Struer samt Odderbanen er køreplaner anvendt.

Figur 2 viser døgnavariationen af det samlede antal ture udført med passagertog på de enkelte delstrækninger i undersøgelsen for København og Aarhus.

IC3 er de eneste dieseltog der benyttes på strækningen Kbh. H-Lufthavn. På strækningerne Kbh. H-Valby og Kbh. H-Østerport benyttes både IC3 og ME tog, og antallet af ture fordelt over døgnet er vist på Figur 3.

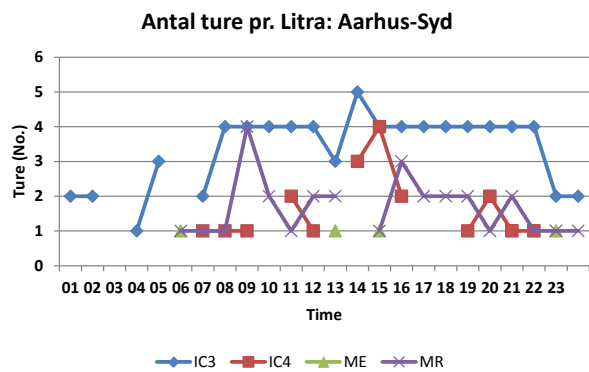
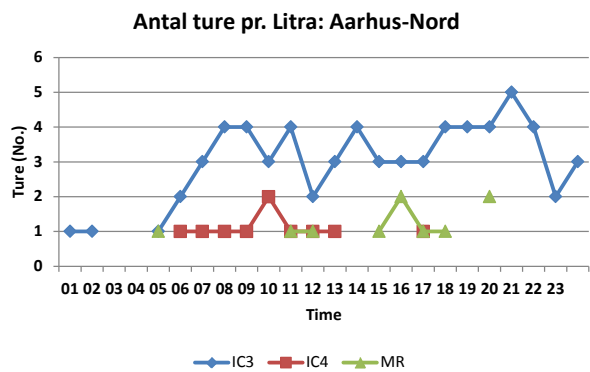


Figur 2
Antal ture per time (på en onsdag).



Figur 3
Antal ture per time fordelt på togtype i København (på en onsdag).

På Grenåbanen samt ruterne Aarhus H-Skjern og Aarhus H-Struer benyttes kun MQ tog. På Odderbanen bruger Midtjyske Jernbaner ældre Y-materiel, der antages at have emissionsniveauer svarende til MR tog. DSB benytter IC3, IC4 og MR tog på strækningen Aarhus H–Nord og IC3, IC4, ME og MR tog på strækningen Aarhus H-Syd For de sidste to strækninger er døgnfordelingen af antallet af ture per togtype vist i Figur 4.



Figur 4
Antal ture per time fordelt på togtype på strækninger i Aarhus (på en onsdag)

Strækningsslængder på de enkelte banesegmenter er beregnet ud fra elektroniske kortoplysninger udleveret af Banedanmark (2012). De er angivet i en tabel i Bilag 1.

Holdetider på stationerne i undersøgelsesområdet er oplyst af DSB (Skaft Nielsen, 2012) fordelt på turtyperne Lyn, Intercity og Regional. Til at gruppere DSB's togdata efter DSB's turtyper og dermed allokere en holdetid på den enkelte station er en relation mellem tognummerserier i DSB's togdata og turtypen benyttet. Holdetiderne på ruterne Aarhus H-Skjern, Aarhus H-Struer samt Odderbanen er oplyst af Arriva (Wagner, 2012) og Midtjyske Jernbaner (Storgaard, 2012). Holdetiderne på de enkelte stationer er angivet i Bilag 1.

2.2 Aktivitetsdata – Klargøring

For klarlægning af tog benyttes data tilsendt af DSB der inkluderer tidspunkt for ankomst og afgang ved klarlægningsskemaerne, litrabensnavne og holdetider i forbindelse med klarlægning (Skaft Nielsen, 2012).

Antal klarlagte tog ved ankomst i København og Aarhus er vist i Figur 5 fordelt over døgnets timer. På Belvedere og Klargøringscenter København (KGC København) klarlægges udelukkende hhv. ME og IC3 tog, hvorimod både IC3, IC4, ME og MR tog klarlægges i Aarhus.



Figur 5
Antal tog til klarlægning på en onsdag.

Tabel 2

Holdetider for klargøring af tog ved hhv. ankomst og afgang fra klargøringscentrene (minutter).

Lokalitet	Holdetid ankomst	Holdetid afgang
KGC København	5	20
Aarhus	5	20
Belvedere	45	45

2.3 Aktivitetsdata – Godstrafik

For godstrafikken er oplysninger fra DB Schenker (Bang-Mortensen, 2012) anvendt til at beskrive de typiske aktiviteter for en onsdag. Tidligt onsdag ankommer et læsset godstog sydfra til Aarhus og kører videre til containerterminalen på Aarhus Havn. Derefter udfører lokomotivet (MZ) rangering på havneområdet, og kører herefter tilbage mod garage ved Aarhus H (Ringgadebroen). Ved Ringgadebroen sker der også brændstoftpåfyldning. Onsdag aften foregår der kørsel med tomt lokomotiv fra garage ved Aarhus H tilbage til containerterminalen på Aarhus Havn, rangering på havneområdet, og kørsel med lokomotiv og godsvogne tilbage til Aarhus H og videre i sydlig retning. I Bilag 1 findes to tabeller, der viser de stedbestede aktivitetsdata bestående af kørt strækning, tidsrum for kørsel, tomgangsforbrug og beregnet energiforbrug opstillet for de to bevægelser med godstog. Det bemærkes at samme godskørselsrutine sker en gang mere per uge. Tidlig fredag morgen ankommer et læsset godstog til Aarhus Havn og et læsset godstog kører tilbage i sydlig retning mandag aften.

2.4 Emissionsfaktorer

Emissionsfaktorerne for MR, MQ, IC3, IC4 og ME litratyperne stammer fra DSB's måleprogram og er nærmere dokumenteret i Transportministeriets TEMA2010 model (Transportministeriet, 2010). DSB's nye MQ tog, der kører på Grenåbanen, er udstyret med filter, og det er derfor efterfølgende skønnet, at disse PM_{2.5} emissionsfaktorer ligger 90 % lavere end emissionsfaktorerne, der er målt for motorerne uden filter. Det har ikke været muligt i projektet at beregne emissionsfaktorer specifikt for de kørehastigheder togene benytter ved kørsel i undersøgelsesområdet ved Kbh. H og Aarhus H. For IC3 og IC4 bruges DSB's emissionsfaktorer opstillet for regionalkørsel, der generelt er opsamlet ved lavere gennemsnitlige kørehastigheder end inter city eller lyntog.

Som omtalt i det indledende afsnit i kapitel 2 tager de gennemførte beregninger ikke hensyn til, at der er monteret emissionskit på 20 ME tog. Betydningen heraf diskuteres i afsnit 2.6.

Tabel 3

Emissionsfaktorer ved kørsel. Enheden plkm står for plads-kilometer. HC er kulbrinter.

Litra	Energi	CO	HC	NO _x	PM _{2.5}	Kapacitet
	MJ/plkm	g/plkm	g/plkm	g/plkm	g/plkm	Pl/togsæt
MR	0,241	0,071	0,037	0,274	0,01466	132
MQ	0,228	0,047	0,018	0,135	0,00249	114
MQ (DPF)	0,228	0,047	0,018	0,135	0,000249	114
IC3	0,219	0,012	0,006	0,091	0,0008	144
IC4	0,252	0,014	0,006	0,105	0,00092	205
ME	0,286	0,065	0,017	0,421	0,01378	360

Det har ikke været muligt at indsamle specifikke emissionsfaktorer for togmotorernes tomgangsdrift ved ophold på station og klargøringscenter i dette projekt. I stedet er brændstofrelaterede emissionsfaktorer beregnet ud fra de km relaterede emissionsfaktorer i Tabel

3. For IC3 og IC4 er det ved omregningen benyttet, at to ud af fire motorer i hvert enkelt togsæt slukkes ved opholdet på station og under klargøring.

Tabel 4

Energi- og emissionsfaktorer ved stop. HC er kulbrinter.

	Energi	Energi	CO	HC	NO _x	PM _{2.5}	
	l/min/motor	l/min	MJ/min	g/min	g/min	g/min	
MR	0,083	0,083	2,989	0,88058	0,45889	3,39828	0,18182
MQ	0,067	0,067	2,3912	0,49292	0,18878	1,41584	0,02611
IC3	0,067	0,133	4,7824	0,26205	0,13102	1,98721	0,01747
IC4	0,083	0,167	5,978	0,33211	0,14233	2,49083	0,02182
ME	0,5	0,5	17,934	4,07591	1,06601	26,39935	0,86409

2.5 Beregningsmetode

Energiforbrug og emissioner ved kørsel per togtype og banestrækning beregnes ved at kombinere energi- og emissionsfaktorerne fra Tabel 3 med antallet af kørte ture vist i Figur 2 og Figur 3, samt strækninglængder fra tabellen i Bilag 1. For IC3 og IC4 køres ofte med flere togsæt sammenkoblet, og dette tager beregningerne også hensyn til.

Energiforbrug og emissioner ved stop på station og under klargøring beregnes ved at kombinere energi- og emissionsfaktorerne fra Tabel 4 med holdetider fra tabeller i Bilag 1 for hhv. station og klargøring samt antallet af stop/klargjorte tog. Antallet af stop afledes af antallet af kørte ture (Figur 2 og Figur 3), og antallet af klargjorte tog på de tre klargøringsområder kan ses i Figur 5.

Energiforbrug for godskørsel er opstillet i tabeller i Bilag 1 for de enkelte delsegninger.

Emissionerne beregnes ved at kombinere energiforbrugene med brændstofrelaterede emissionsfaktorer for DB Schenkers godstog opstillet i TEMA2010 for CO (0,227 g/MJ), HC (0,140 g/MJ), NO_x (1,288 g/MJ) og PM_{2.5} (0,041 g/MJ).

2.6 Resultater – energiforbrug og emissioner

Som det fremgår af de foregående afsnit er emissionsopgørelsen foretaget for følgende fire aktiviteter:

- Kørsel
- Ophold på station
- Klargøring
- Godstrafik (i Aarhus)

Hovedresultaterne er præsenteret her, mens der i Bilag 1 findes en række figurer og tabeller, som går i detaljer for de enkelte aktiviteter. De resultater, der præsenteres her og i bilaget, drejer sig alle om kørsel i løbet af et onsdagsdøgn.

Figur 6 viser, hvor stort bidrag de enkelte aktiviteter er ansvarlige for, hvad angår henholdsvis energiforbrug, NO_x og PM_{2.5} i København og Aarhus. De tal, som 'lagkagerne' refererer til, er angivet i Tabel 5 og Tabel 6.

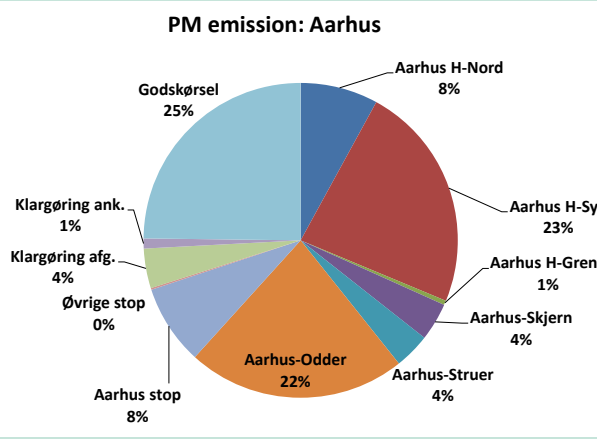
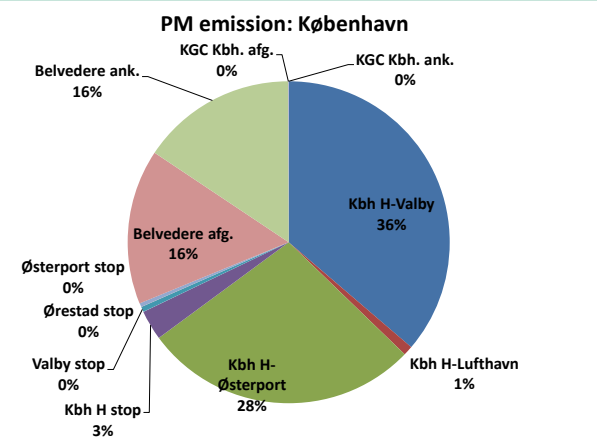
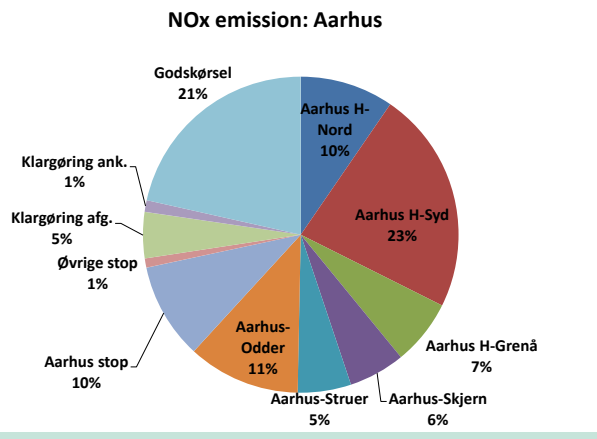
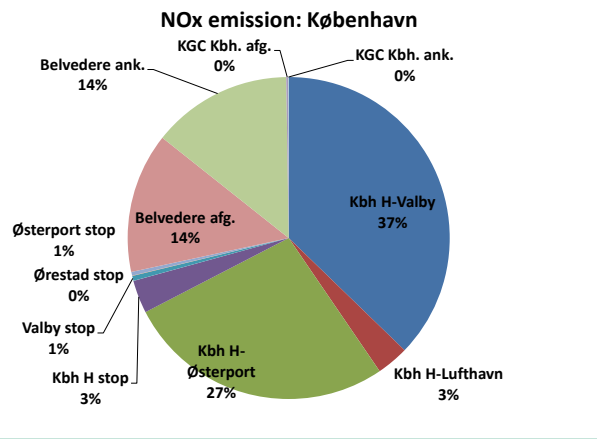
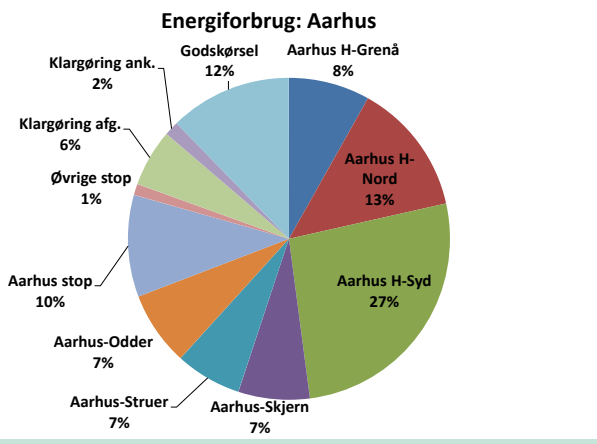
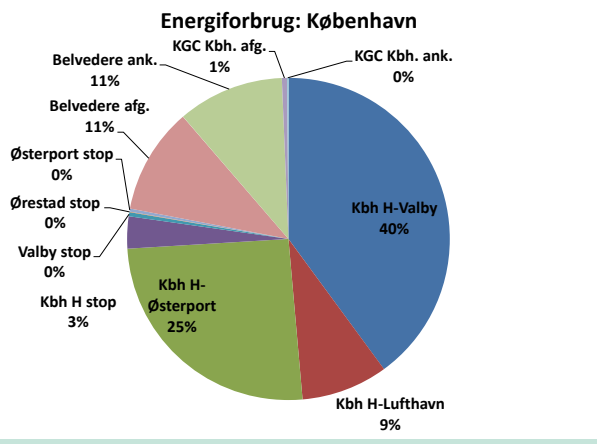
Diagrammerne viser, at klargøring er ansvarlig for et ret betydeligt bidrag, især i København (lagkagestykkerne mærket "Belvedere" og "KGC"), hvor det beløber sig til 28 % for NO_x og 31 % for PM_{2.5}. Det skyldes, at der i henhold til de indhentede oplysninger er lang opholdstid i tomgang i forbindelse med klargøring (45 minutter på Belvedere, noget mindre på KGC).

Som illustration af størrelsesforholdene for tallene i Tabel 5 kan man beregne den omtrentlige årlige NO_x-emission for undersøgelsesområdet i København ved at gange med 310 (jf. afsnit 2.1).

Det resulterer i 107 ton NO_x per år. I henhold til Tabel 1 er den samlede emission fra togtrafik i Danmark 2.500 ton, og de samlede nationale NO_x-emissioner fra alle kilder på 126.000 ton.

Som omtalt i starten af kapitel 2 er køreplanen ændret i december 2012, så antallet af MR tog er faldet meget, ligesom effekten af et emissionskit på 20 ud af de i alt 32 ME tog ikke er indregnet i de gennemførte, detaljerede beregninger. Effekten af emissionskit installeret på et ME lokomotiv er et emissionsfald på omtrent 30 % for både NO_x og partikler. Når der tages hensyn til den ændrede køreplan og andelen af ME tog i togtrafikken i København og Aarhus viser et overslag, at en fornyet beregning for 2013 ville resultere i følgende omtrentlige fald i de samlede emissioner:

- For NO_x i København: ca. 16 % fald
- For PM_{2.5} i København: ca. 18 % fald
- For NO_x i Aarhus: ca. 11 % fald
- For PM_{2.5} i Aarhus: ca. 20 % fald.



Figur 6
 Hvert diagram viser, hvor stort bidrag de enkelte aktiviteter er ansvarlige for. Til venstre findes resultater for København og til højre for Aarhus. Der er diagrammer for energiforbrug, NO_x og PM_{2.5}-emissioner.

Tabel 5

Samlede energiforbrug og emissioner for København for en gennemsnitlig onsdag. HC er kulbrinter.

Område	Lokalitet	Energi (MJ)	CO (g)	HC (g)	NO _x (g)	PM _{2.5} (g)
København	Kbh. H-Valby	123967	19432	5745	128935	3716
København	Kbh. H-Lufthavn	26882	1473	737	11170	98
København	Kbh. H-Østerport	78968	14194	3997	93255	2836
København	Kbh. H stop	9992	1705	536	11460	307
København	Valby stop	1282	262	72	1713	53
København	Ørestad stop	163	15	8	117	1
København	Østerport stop	965	198	55	1297	40
Belvedere	Belvedere afg.	33088	7520	1967	48707	1594
Belvedere	Belvedere ank.	33088	7520	1967	48707	1594
KGC København	KGC Kbh. afg.	1626	89	45	676	6
KGC København	KGC Kbh. ank.	407	22	11	169	1
Samlet		310428	52431	15138	346206	10247

Tabel 6

Samlede energiforbrug og emissioner for Aarhus for en gennemsnitlig onsdag. HC er kulbrinter.

Område	Lokalitet	Energi (MJ)	CO (g)	HC (g)	NO _x (g)	PM _{2.5} (g)
Aarhus	Aarhus H-Nord	17868	1596	803	9276	212
Aarhus	Aarhus H-Syd	35529	3966	1877	22068	618
Aarhus	Aarhus H-Grenå	10950	2257	864	6483	12
Aarhus	Aarhus-Skjern	9432	1944	745	5585	103
Aarhus	Aarhus-Struer	8933	1841	705	5289	98
Aarhus	Aarhus-Odder	9795	2886	1504	11136	596
Aarhus	Aarhus stop	13733	1825	828	9592	222
Aarhus	Øvrige stop	1513	377	124	928	6
Aarhus	Klargøring afg.	7724	749	332	4573	108
Aarhus	Klargøring ank.	1931	187	83	1143	27
Aarhus	Godskørsel	16457	3739	2307	21198	671
Samlet		133568	21300	10130	96891	2659

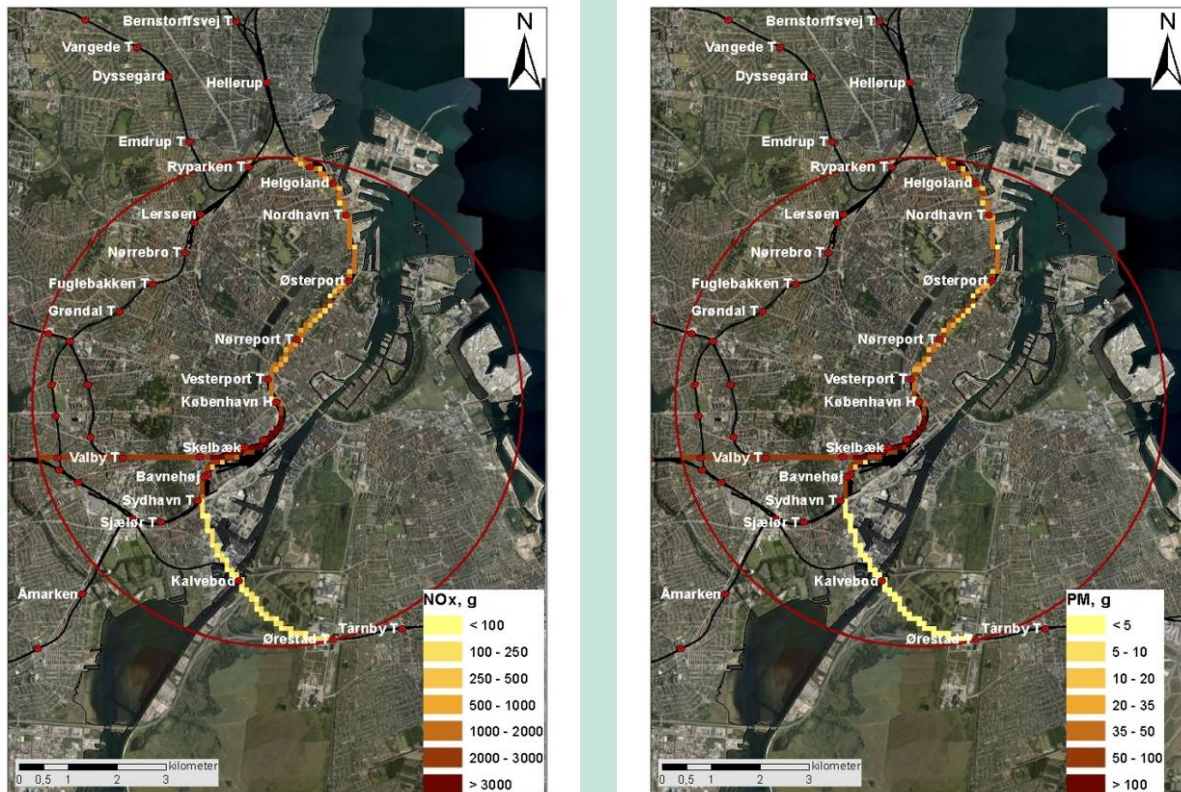
2.7 Geografisk fordeling af emissioner fra togtrafik i København og Aarhus

Til brug for den geografiske fordeling af emissioner i nærværende projekt er indhentet detaljerede data for jernbanenettet fra Banedanmark (2012). De tilgængelige data omfatter hovedparten af det danske jernbanenet. De privatbaner der ikke er inkluderet i datamaterialet, er alle beliggende uden for de valgte undersøgelsesområder omkring Aarhus H og København H. Ud over placeringen af spor og stationer, omfatter datasættet også sportyper (fx hovedspor, sidespor og vigespor) og sporkategorier (togvejsspor, havnebane og privatbanespor). En oversigt over sportype og sporkategori er vist i Bilag 1.

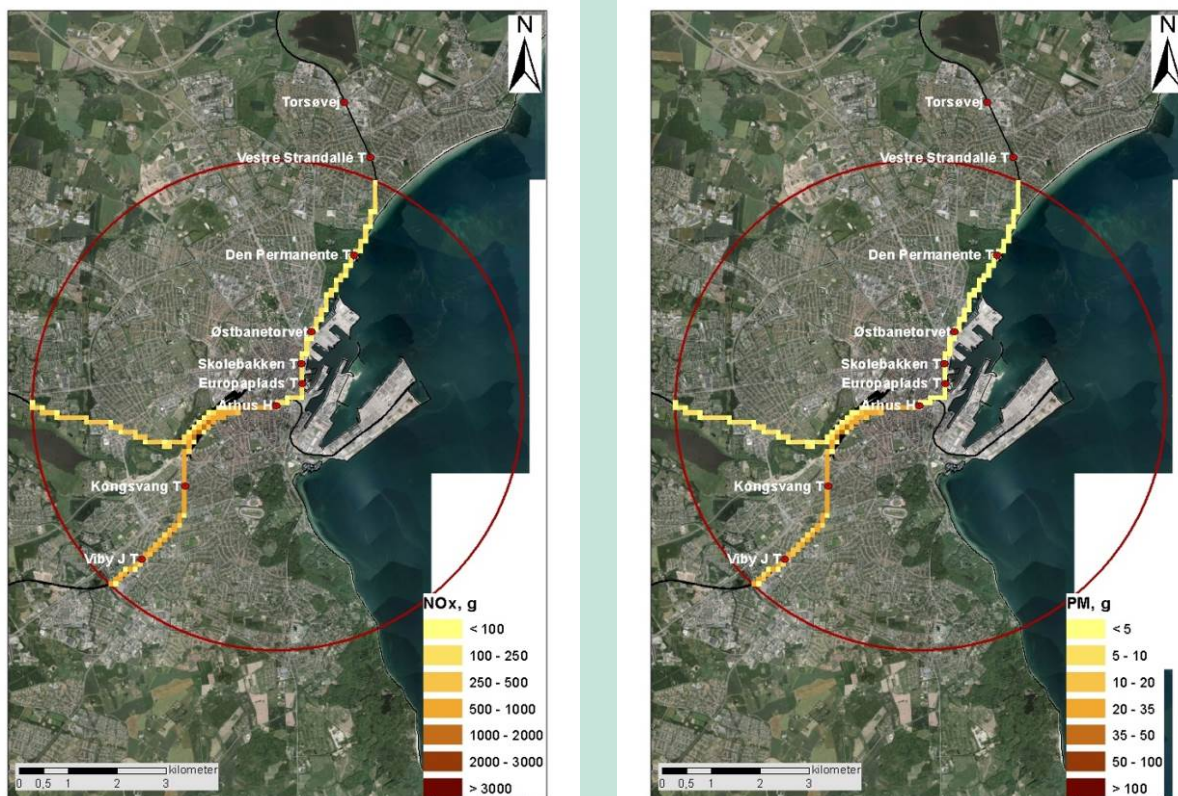
Emissionerne for togekørsel er beregnet for hver banestrækning i de to undersøgelsesområder (se Figur 1). Desuden er der beregnet emissioner fra tomgang for hver station på banerne. Endelig er der beregnet emissioner fra klargøring af passagertog samt fra rangering, tankning, opstart og tomgang i garage for godstog (godstog kun relevant for undersøgelsesområdet ved Aarhus H). Emissionerne fra kørsel er fordelt jævnt over den del af en pågældende banestrækning, der ligger indenfor undersøgelsesområdet, fx strækningen fra København H til Ørestad T på ruten København H-Kastrup Lufthavn (ruterne er vist på Figur 1). Emissioner fra tomgang ved standsning på stationer er allokeret til hver stations geografiske placering. Emissioner fra kørsel med godstog i Aarhus er beregnet og fordelt jævnt på delstrækningerne "Viby - Aarhus H", "Aarhus H - Aarhus Havn" og "Aarhus Havn - Ringgadebroen", mens emissioner fra rangering på havnen er fordelt på sporene på den ydre del af havneområdet. Emissioner fra brændstofpåfyldning og tomgang i garage er allokeret til sporene i området omkring Ringgadebroen i Aarhus, som anbefalet af DB Schenker (Bang-Mortensen, 2012).

Alle emissioner fra jernbanetransport (inklusive emissioner fra tomgang på stationer) er aggregeret til et gitternet med celler på 100 m x 100 m. Emissionerne af NO_x og PM_{2.5} er vist på kortene herunder (Figur 7 og Figur 8) for de to undersøgelsesområder. Det ses som forventet, at der er størst emissioner i undersøgelsesområdet omkring København H, hvor togenes frekvens er størst, og hvor der ligger klagøringsarealer. De største emissioner ses for strækningen mellem København H og Valby.

I undersøgelsesområdet omkring Aarhus H findes de største emissioner på strækningen syd for Aarhus H, hvor der kører tog mod både København og Odder.



Figur 7
NO_x og PM_{2.5} emissioner fra togtransport (inklusive stop og klagøring) i undersøgelsesområdet i København. Enheden er gram per celle på 100 x 100 m per døgn (en onsdag). Baggrundskort: © Geodatastyrelsen



Figur 8
 NO_x og PM_{2.5} emissioner fra togtransport (inklusive stop og klargøring) i undersøgelsesområder i Aarhus.
 Baggrundskort: © Geodatastyrelsen

2.8 Emissioner i København og Aarhus – overblik

Tabel 7 og Tabel 8 giver et overblik over emissionsbidraget fra forskellige kilder lokalt for København og Aarhus. Tabellernes tal er som hovedregel beregnet på grundlag af de nationale emissionsopgørelser med brug af den såkaldte SPREAD-model, der kan levere estimater for emissionen i bestemte områder. SPREAD er en GIS- og database-baserede model udviklet ved Aarhus Universitet (AU) (Plejdrup og Gyldenkærne, 2011). SPREAD-modellen bygger på, at der for hver enkelt kilde eller gruppe af kilder er udviklet en nøgle til fordeling af de nationale emissioner ud fra de disponible geografiske data, fx arealanvendelse, befolkningstæthed, infrastruktur og trafikdata. Tabellens tal er baseret på de normalt benyttede fordelingsnøgler i SPREAD.

Ud over tal beregnet med SPREAD er der også i tabellerne angivet den beregnede emission for togdrift i henhold til den detaljerede emissionsopgørelse, der er beskrevet i de foregående afsnit.

Tabel 7 vedrører et cirkulært område med radius 5 km og med centrum i Københavns Hovedbanegård (ca. 79 km²), og Tabel 8 et tilsvarende område i Aarhus. Områderne er indtegnet på Figur 1. Værdierne i tabellen er kildebidrag på årsbasis, baseret på 2010-tal.

Det fremgår af de to tabeller, at det her beregnede bidrag ikke adskiller sig afgørende fra det resultat, SPREAD-modellen leverer. Desuden ses det, hvis man sammenholder med Tabel 1, at emissionsandelen fra tog i de to byområder ikke adskiller sig særligt fra hvad den er på landsplan, idet den i de to byer er 2-3 % for NO_x og noget under 1 % for PM_{2.5} (værdierne på landsplan er henholdsvis 2 % for NO_x og 0,6 % for PM_{2.5}).

Tabel 7

Forureningsbidrag fra forskellige kildetyper i et cirkulært område med centrum i Københavns Hovedbanegård og radius 5 km (ca. 79 km²). Værdierne er kildebidrag på årsbasis, baseret på 2010-tal. Data for "Jernbane, aktuelle projekt..." er angivet med kursiv, fordi de repræsenterer en alternativ tilgang til en kildetype, som i forvejen er medtaget i tabellen.

Kilde	NO _x (ton)	% af total for området	PM _{2.5} (ton)	% af total for området
Total for område	3796	100	624	100
Vejtransport	2236	59	180	29
Jernbane	116	3	4	0,6
<i>Jernbane, aktuelle projekt, opskaleret til årstotal</i>	<i>107</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>0,6</i>
Mobile ikke-vejpgående maskiner i industri	234	6	19	3
Mobile ikke-vejpgående maskiner i handel og service	23	1	7	1

Tabel 8

Forureningsbidrag fra forskellige kildetyper i et cirkulært område med radius 5 km og centrum i Aarhus Banegård. Tabellen svarer i øvrigt til Tabel 7.

Kilde	NO _x (ton)	% af total for området	PM _{2.5} (ton)	% af total for området
Total for område	1536	100	139	100
Vejtransport	1025	67	82	59
Jernbane	36	2	1	0,9
<i>Jernbane, aktuelle projekt, opskaleret til årstotal</i>	<i>30</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>0,6</i>
Mobile ikke-vejpgående maskiner i industri	149	10	12	9
Mobile ikke-vejpgående maskiner i handel og service	7	0	2	2

3. Koncentrationsberegninger for togtrafik i København og Aarhus

Der er foretaget spredningsberegninger for at vurdere bidraget til koncentrationer i luften forårsaget af togtrafik i København og Aarhus. Beregningerne er foretaget med spredningsmodellen OML, der giver en relativt detaljeret beskrivelse af forholdene. Fokus er på NO_x og partikler, og grundlaget for beregningerne er den emissionsopgørelse, der er beskrevet i foregående kapitel. Banestrækningerne og servicearealer er således betragtet som bestående af felter på 100 x 100 m, hvor udledningen sker jævnt inden for hver enkelt celle. Dermed bliver detaljer på en skala mindre end 100 m ikke beskrevet.

Der er ikke taget hensyn til udformning af bebyggelsen omkring banestrækningerne og dens indflydelse på spredningen. Derfor kan man ikke bruge resultaterne til at give en pålidelig vurdering af de reelle forhold tæt ved bygninger langs banen, hvorimod koncentrationsniveauerne i en afstand på hundrede meter eller mere ikke er særlig stærkt påvirket af, om der forekommer bygninger på strækningen imellem banen og det betragtede punkt.

For at belyse forholdene med en finere geografisk opløsning er der for en enkelt banestrækning (vest for Valby Station) foretaget supplerende beregninger, hvor de emissionsmæssige antagelser er ændret.

Det ligger i de emissionsmæssige forudsætninger, at beregningerne tager hensyn til direkte udledninger fra dieseltog, men ikke til ophvirvling af støv. Det kan med rimelighed antages, at al partikel-emission fra motorernes udstødning udgøres af fine partikler, altså PM_{2.5}. Der er foretaget beregninger time for time, men resultatet præsenteres i form af årsmiddelværdier. Man skal holde sig for øje, at koncentrationerne i enkelttimer kan være væsentligt højere end disse middelværdier.

Endelig skal det bemærkes at beregningerne er foretaget på grundlag af data indhentet fra DSB og andre togoperatører i oktober 2012. Som anført i afsnit 2.6 vil man for 2013 kunne forvente ca. 10-20 % lavere emissioner og koncentrationer, dels på grund af udfasning af MR-tog, dels på grund af at ME-tog er forsynet med et emissions-kit, som beregningerne ikke tager hensyn til.

3.1 Opsætning af OML-beregningerne

Til OML-beregningerne er benyttet meteorologiske data for 2011 fra henholdsvis København og Aarhus, beregnet ud fra foreliggende observationer med den meteorologiske model MM5. Disse data er behandlet, så de kan benyttes som input for OML modellen.

Der foreligger emissionsdata for et onsdagsdøgn. Når disse data skal opskaleres til at repræsentere et helt år, skal et onsdagsdøgns emission i henhold til oplysninger fra DSB ganges med 310 (i stedet for 365) for at få en årsemission, der er korrigeret for lavere trafik i weekender og ferier. Beregningerne er foretaget som om onsdagens emission (korrigeret med denne faktor) er blevet

gentaget hver eneste dag i 2011 og udsat for den pågældende dags meteorologiske forhold. Ret teknisk er der foretaget 24 OML-beregninger for hvert setup, nemlig en for hver time igennem et år.

3.2 Koncentrationer – resultater for København

Resultaterne af beregningerne for København er præsenteret i form af kort på Figur 9- Figur 12. Figurerne drejer sig om *bidraget* fra tog for et helt år. De to første figurer viser resultater for NO_x, mens de to sidste viser resultater for PM_{2.5}. For hvert stof vises først et kort på ca. 12 km x 8 km, og dernæst et udsnit på ca. 3 km x 2 km med fokus på området omkring Københavns Hovedbanegård.

Kortene viser, at der flere steder på banestrækningen mellem Københavns Hovedbanegård og Enghave er koncentrationsbidrag til NO_x på omkring 30 µg/m³. Den største værdi findes lidt syd for Dybbølsbro Station ved klargøringsområdet Belvedere, og den beløber sig til 31 µg/m³. Ved selve Københavns Hovedbanegård beregnes også koncentrationsbidrag på omkring 30 µg/m³. NO_x-koncentrationen aftager med afstanden. Således er bidraget ved gadeluftmålestationen på H. C. Andersens Boulevard nede på 1,6 µg/m³.

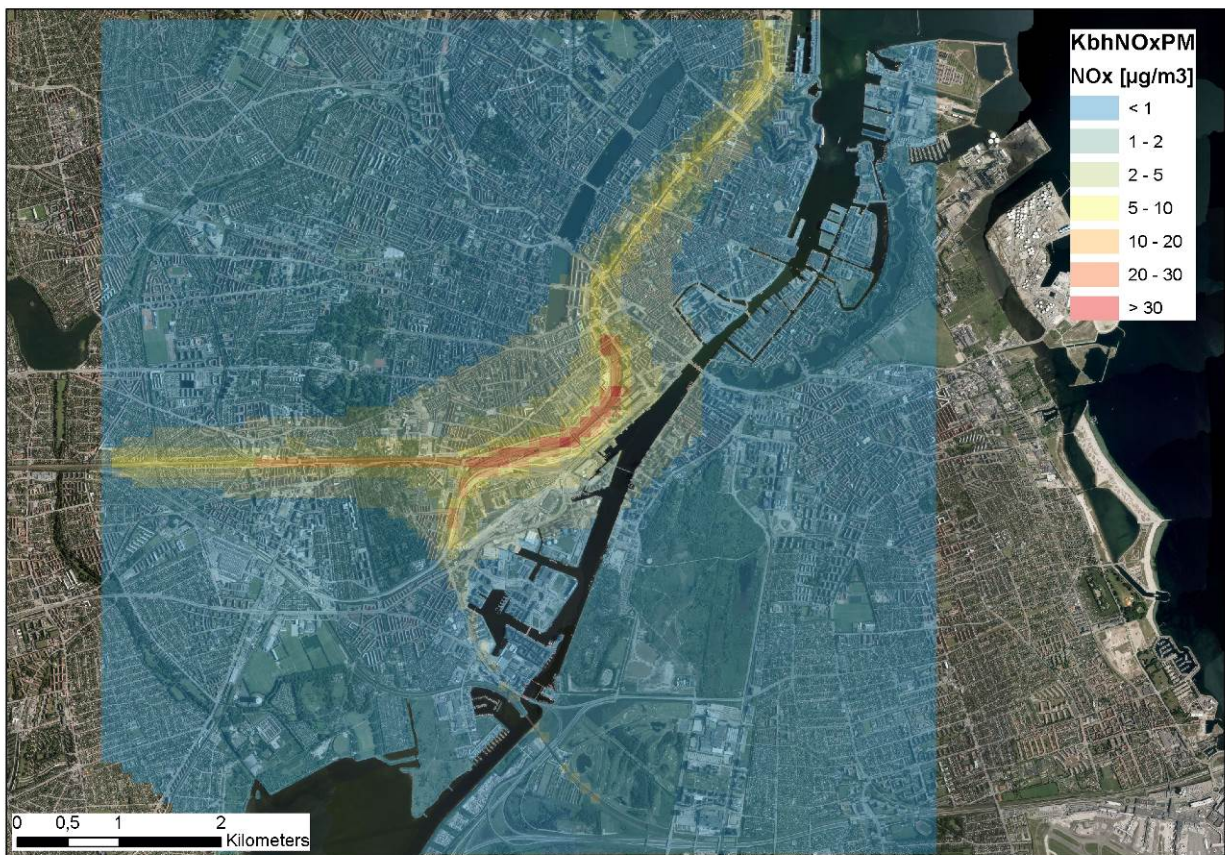
Hvad angår partikler er bidraget ved H.C. Andersens Boulevard beregnet til 0,05 µg/m³. De største partikel-bidrag indtræffer samme steder som de største NO_x-bidrag, og den størst beregnede værdi noget sted (på baneterrænet lige syd for Dybbølsbro Station) beløber sig til 0,9 µg/m³.

For at give læseren en referenceramme er der i Tabel 5 sammenstillet bidrag for tog for udvalgte lokaliteter med totale målte koncentrationer, hvor der foreligger målinger.

Tabel 9

Målte koncentrationer (2011) samt beregnede bidrag for tog.

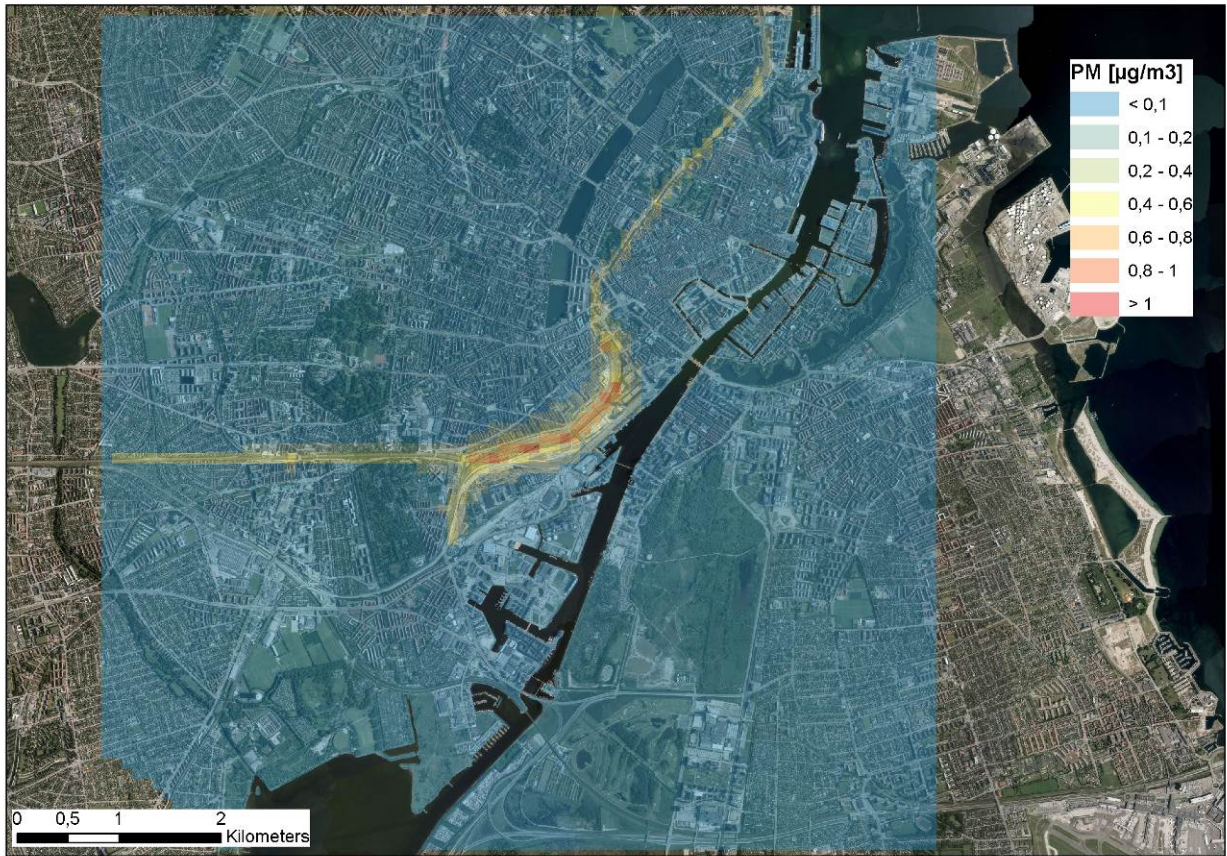
Målte koncentrationer	NO_x (µg/m³)	PM_{2.5} (µg/m³)
H.C. Andersens Boulevard (gadestation, København)	136	19
Jagtvej (gadestation, København)	87	21
Banegårdsgade (gadestation, Aarhus)	83	18
HC Ørsted Institutet (bybaggrundsstation, København)	22	17
Risø (landbaggrund)	11	15
Beregnete bidrag fra togtrafik		
Klargøringsområde Belvedere (Dybbølsbro)	31	0,9
Banelegeme vest for Valby (på selve banelegemet)	15	0,4
H.C. Andersens Boulevard (gadestationen 300-400 meter fra tog)	1,6	0,05
Banegårdsgade (Aarhus, 300 m fra banen)	2,3	0,07
Aarhus Banegård	20	0,5

**Figur 9**Bidrag fra togtrafik i Københavnsområdet til koncentrationen af NO_x.

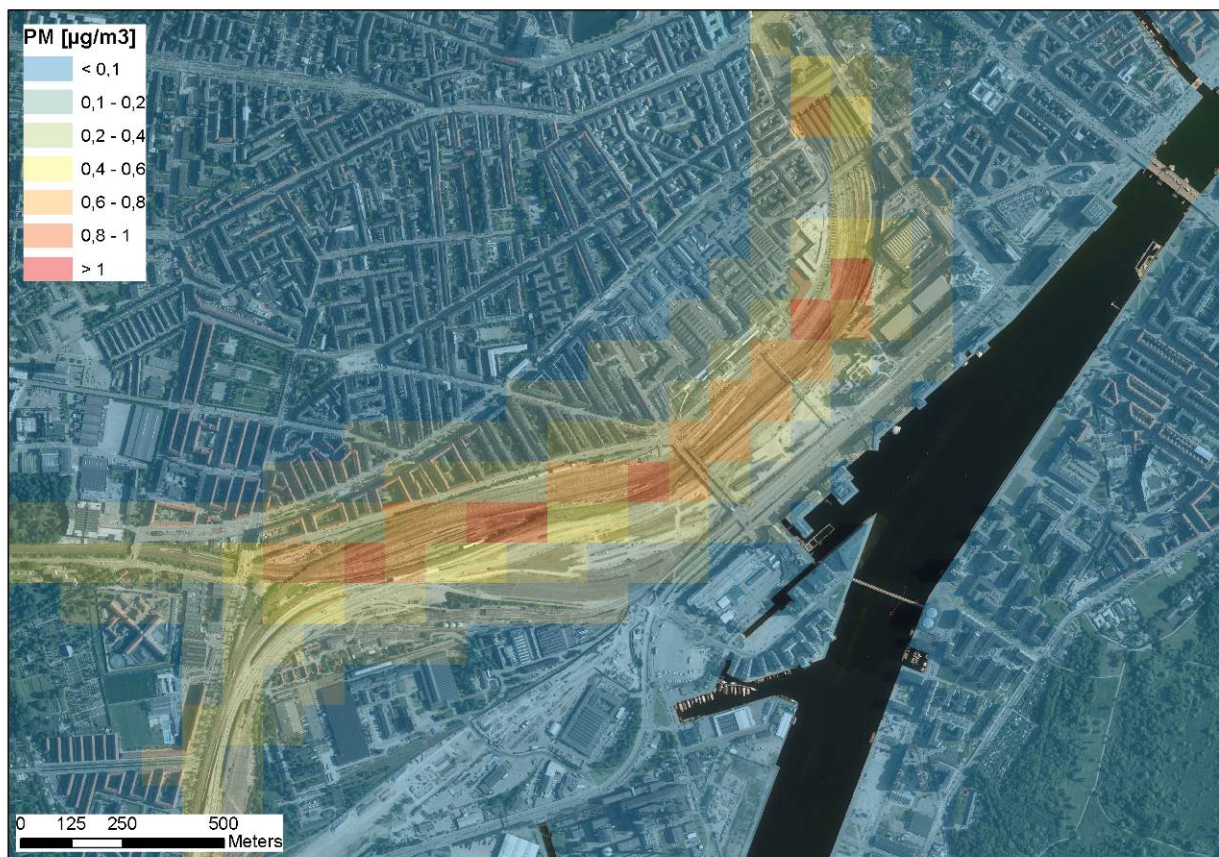


Figur 10

Bidrag fra togtrafik i Københavnsområdet til koncentrationen af NO_x. Som ovenfor, men med fokus på området omkring Hovedbanegården.



Figur 11
 Bidrag fra togtrafik i Københavnsområdet til koncentrationen af PM_{2.5}.



Figur 12
Bidrag fra togtrafik i Københavnsområdet til koncentrationen af $\text{PM}_{2,5}$. Som ovenfor, men med fokus på området omkring Hovedbanegården.

3.3 Detaljeret beregning for en banestrækning

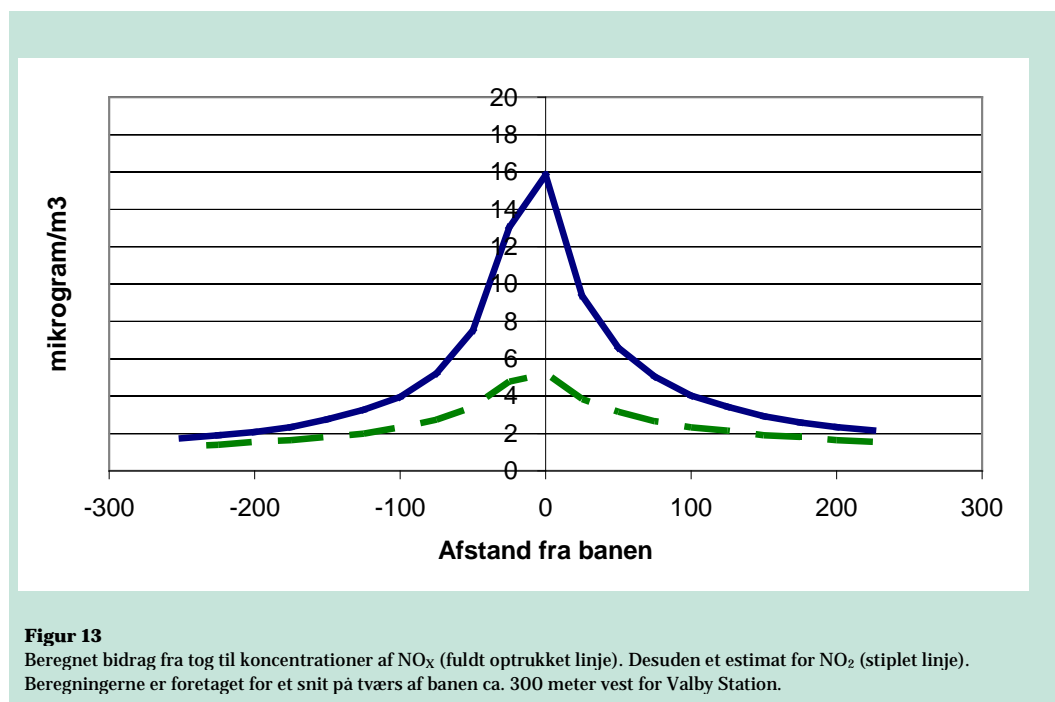
De hidtil beskrevne beregninger har en begrænsning i deres geografiske detaljeringsgrad, i og med at emissionen er antaget at være jævnt fordelt i celler på 100 x 100 m. For banestrækninger med to spor er det let at beskrive emissionen med større detaljeringsgrad, og det er gjort i forbindelse med en supplerende beregning for banestrækningen vest for Valby Station. Den er en af de mest trafikerede i København.

For denne banestrækning er der udført beregninger, hvor emissionen er antaget at stamme fra en 10 meter bred arealkilde (de to fjerntogsspor på jernbanen), og koncentrationerne er beregnet i et mere finmasket net end ved de generelle beregninger.

Det skal bemærkes, at der er tale om beregninger, hvor der ikke tages hensyn til detaljerede strømningsforhold omkring støjskærm og banevold. Det antages, at emissionen sker fra en 4,3 meter høj arealkilde med en 'bygningseffekt' på 4 meter. (Lokomotiverne er typisk 4,3 meter høje, og 'bygningseffekten' bevirker en forøgelse af spredningen, svarende til den et hus giver anledning til, når emissionen sker fra en skorsten på taget). Terrænet antages at være fladt. Beregningen sker for receptorpunkter i 1,5 meters højde, sådan som det er normalt for beregninger i henhold til Luftvejledningen.

Som for de øvrige resultater fokuseres der på **årsmiddelværdier** – koncentrationerne over kort tid kan være langt højere. På Valby Station er koncentrationen af NO_x beregnet til $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i det område, hvor togene holder. Koncentrationen på selve banen vest for Valby er beregnet til ca. $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Figur 13 viser for et tværsnit 300 m vest for Valby station, hvordan koncentrationen hurtigt

aftager, når man bevæger sig bort fra banen i tværgående retning. På figuren er også (stiplet kurve) indtegnet et estimat for *bidraget til NO₂ koncentrationen* fra tog. Estimateret er beregnet med OML-modellen i kemi-mode. En sådan beregning kræver en række yderligere forudsætninger set i forhold til de hidtidige beregninger, og derfor skal NO₂-bidraget ikke betragtes som præcis værdi, men som et velbegrundet estimat. Beregningerne kræver kendskab til baggrundskoncentrationen af NO_x, NO₂ og ozon det pågældende sted; her er benyttet data fra baggrundmålestationen H.C. Ørsted instituttet. I øvrigt er det antaget, at togene udsender 10 % af NO_x i form af NO₂. Dette svarer til NO₂-andelen fra større dieselmotorer, og er i henhold til oplysninger fra DSB en rimelig antagelse. Togene betragtes som en kontinuert linjekilde. Det fremgår, at tæt ved kilden er koncentrationsbidraget til NO₂ væsentligt lavere end NO_x-bidraget. Således udgør det på selve banelegemet omkring en tredjedel af NO_x-bidraget. I 50 meters afstand fra banen er NO₂-bidraget faldet til omkring 1 µg/m³. Det betyder, at det vil være relativt svært at verificere en sådan forhøjelse med målinger af NO₂.



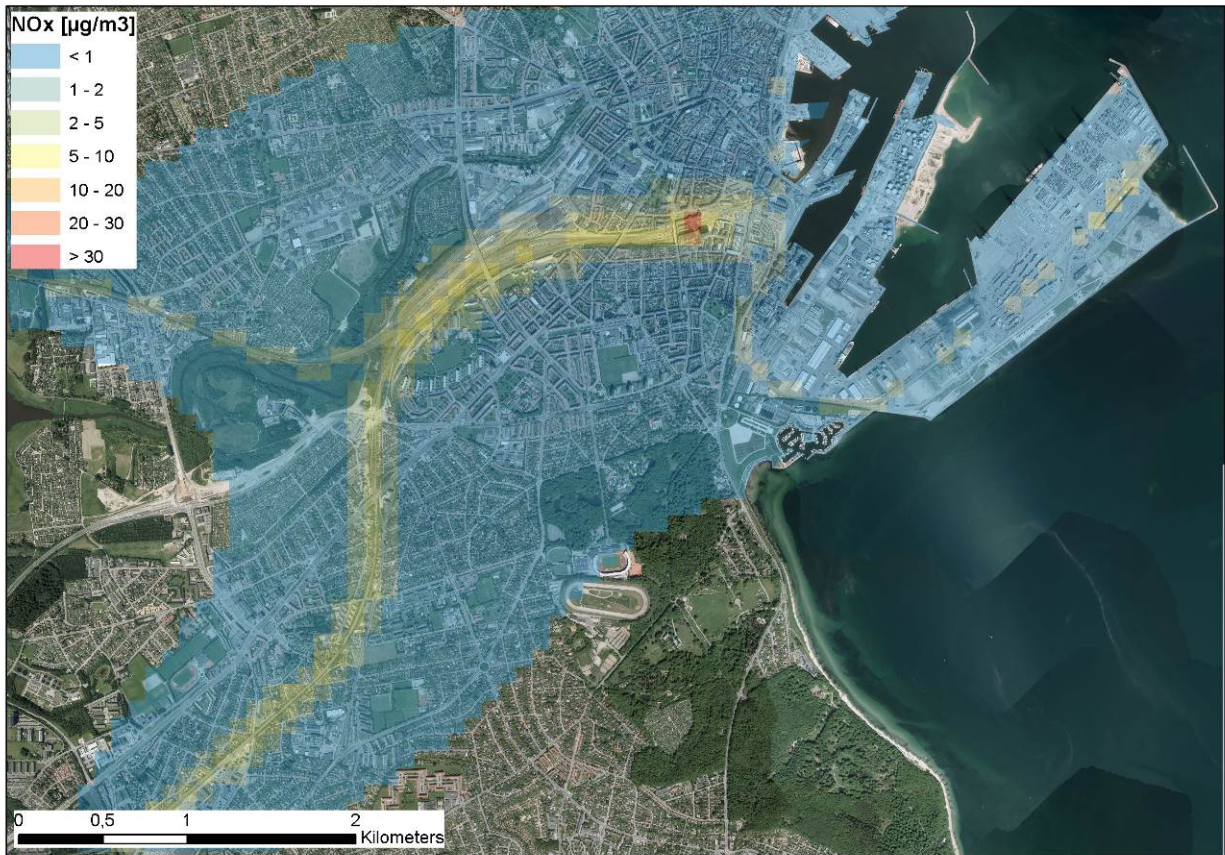
3.4 Koncentrationer – resultater for Aarhus

Figur 14 og Figur 15 viser det beregnede bidrag fra togtrafik til NO_x-koncentrationer i Aarhus-området. Figur 14 viser et område på ca. 12 km x 8 km, mens Figur 15 viser et udsnit på ca. 3 km x 2 km omkring Banegården. Gennemgående er NO_x-bidraget i Aarhus væsentligt mindre end i København (den totale emission i undersøgelsesområdet i Aarhus er omkring 1/3 af hvad den er i undersøgelsesområdet i København), men helt lokalt ved Banegården er der for to beregningspunkter koncentrationer på henholdsvis 20 og 12 µg/m³, hvilket nærmer sig de største københavnske værdier. Ellers ligger niveauet under 7 µg/m³.

De tilsvarende resultater for PM_{2.5} (som er vist på Figur 16 og Figur 17) er, at der lokalt ved Banegården indtræffer koncentrationsbidrag på 0,5 og 0,3 µg/m³ i to punkter, mens koncentrationen i øvrigt ikke overstiger 0,2 µg/m³.

Ved DCE's gadeluftmålestation på Banegårdsgade i Aarhus (ca. 300 meter fra banelegemet) er NO_x-bidraget 2,3 µg/m³, mens PM_{2.5}-bidraget blot beløber sig til 0,1 µg/m³. Der måles på Banegårdsgade ret store NO₂-koncentrationer i forhold til antallet af køretøjer, der passerer målestationen. Den

aktuelle undersøgelse viser, at togdriften ikke bidrager væsentligst hertil. Den meget store andel af tunge køretøjer på gaden må derfor være den væsentligste årsag til de høje koncentrationer.

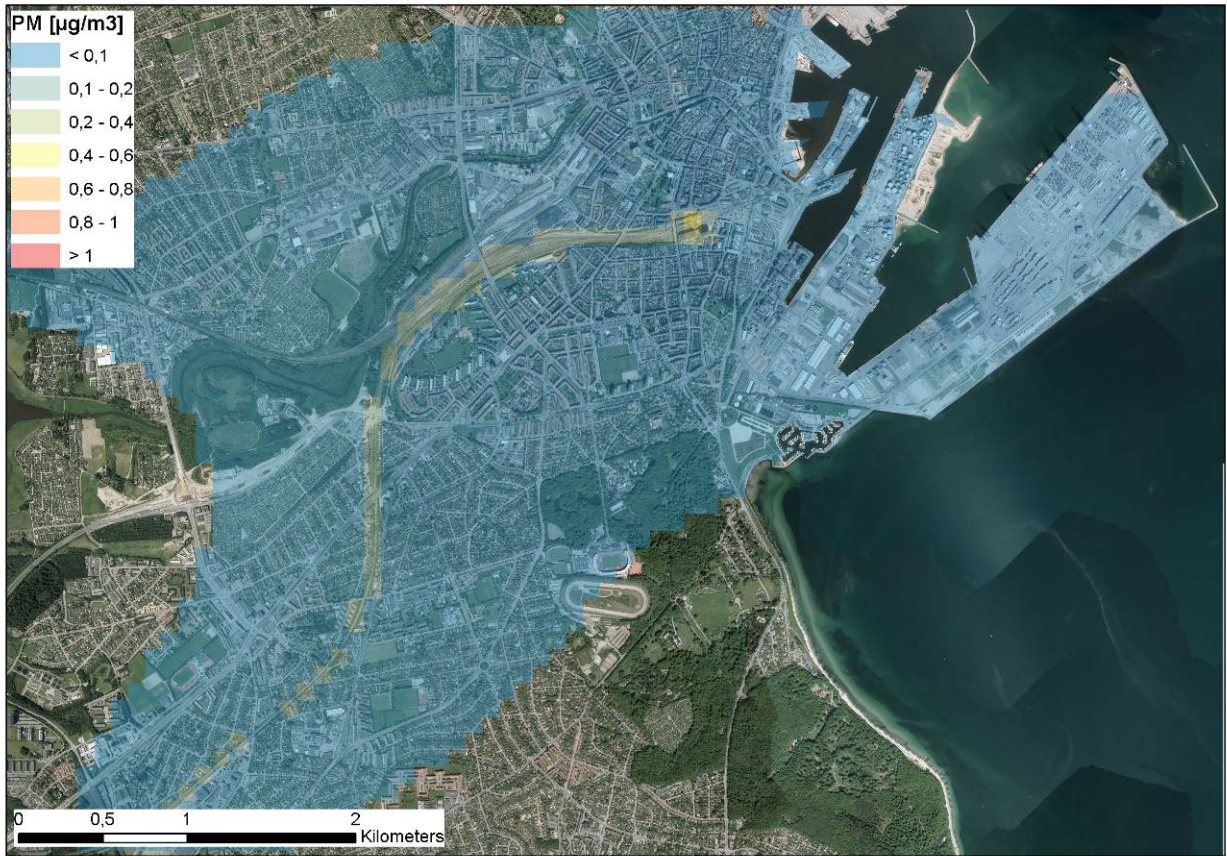


Figur 14
Bidrag fra togtrafik i Aarhusområdet til koncentrationen af NOx.



Figur 15

Bidrag fra togtrafik i Aarhusområdet til koncentrationen af NO_x. Som ovenfor, men fokus på området omkring Banegården i Aarhus.



Figur 16
Bidrag fra togtrafik i Aarhusområdet til koncentrationen af PM_{2.5}.



Figur 17
Som ovenfor, men fokus på området omkring Banegården i Aarhus (bidrag til koncentrationen af $\text{PM}_{2,5}$)

4. Indikative målinger i forbindelse med hot spots for tog i København

Projektet har inkluderet indikative målinger af NO₂ ved Tietgensgade ved Hovedbanegården, Toftegårds Allé ved Valby Station og i en privat have tæt på banelegemet vest for Valby Station. Disse målesteder forventes at være nogle af de områder, som vil have den højeste belastning med NO₂, som følge af udledningerne fra dieseltog. Formålet med disse målinger var at få en indikation af, hvor store problemer, der eventuelt vil være med overholdelse af grænseværdierne for NO₂ i forbindelse med offentligt tilgængelige områder, som både udsættes for intensiv vejtrafik og togdrift. Endvidere at vurdere eksponeringen for folk, som bor tæt på togtrafik.

Der er udført tilsvarende målinger ved målestationen ved H.C. Andersens Boulevard og Jagtvej, således at måleresultaterne fra Tietgensgade, Toftegårds Allé og Dybbølsbro kan relateres til ovennævnte indikative målinger.

4.1 Målesteder og metode

Opsamling af NO₂ blev foretaget med passiv opsamling på Radiellorør til NO₂ (Sigma Aldrich, 2011) med en samlet opsamlingsperiode på 28 dage. Opsamlerne ses på Figur 18, mens Figur 19 - Figur 22 viser billeder fra de fire målesteder og den geografiske placering af målestederne.

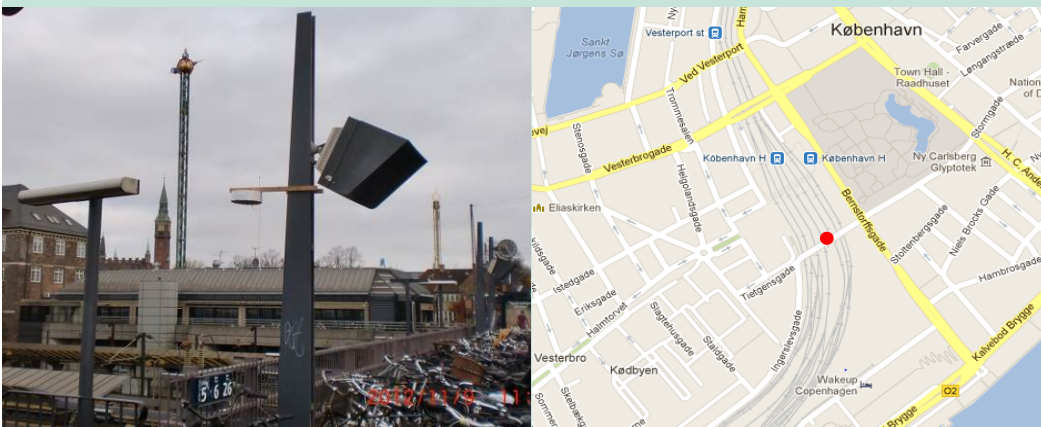
Ved hvert målested er der opsamlet parallelt på to Radiellorør i to perioder af hver 14 dage. Denne metode er blevet anvendt af DCE ved lignende målekampagner og sikrer under normale forhold robuste måleresultater (usikkerhed mindre end 15 %). Efter opsamlingsperiodens afslutning er Radiellorørene indsamlet. De er ekstraheret i laboratorier og ekstrakt analyseret, således at koncentrationen af NO₂ har kunnet beregnes.

Resultaterne er kvalitetssikret ved at sammenligne resultaterne fra de passive opsamlere med DCE's målinger med EU's referencemetode på H.C. Andersens Boulevard. Disse målinger udføres i forbindelse med Delprogram for luft under NOVANA.



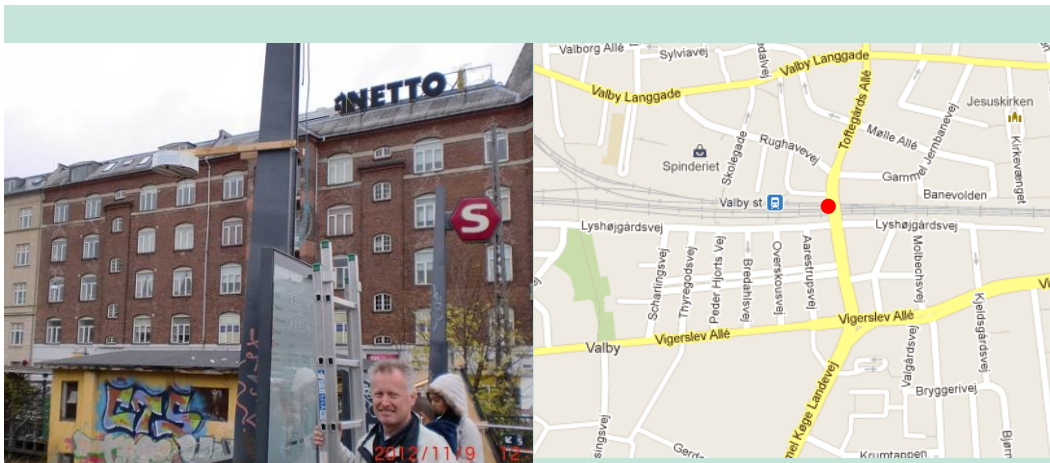
Figur 18

De to Radiellorør (blå rør) placeret i den hvide spand, som fungerer som beskyttelse af Radiellorørene mod nedbør og kraftig vind. Jerngitteret er for at mindske risiko for at nogen ødelægger målingerne.



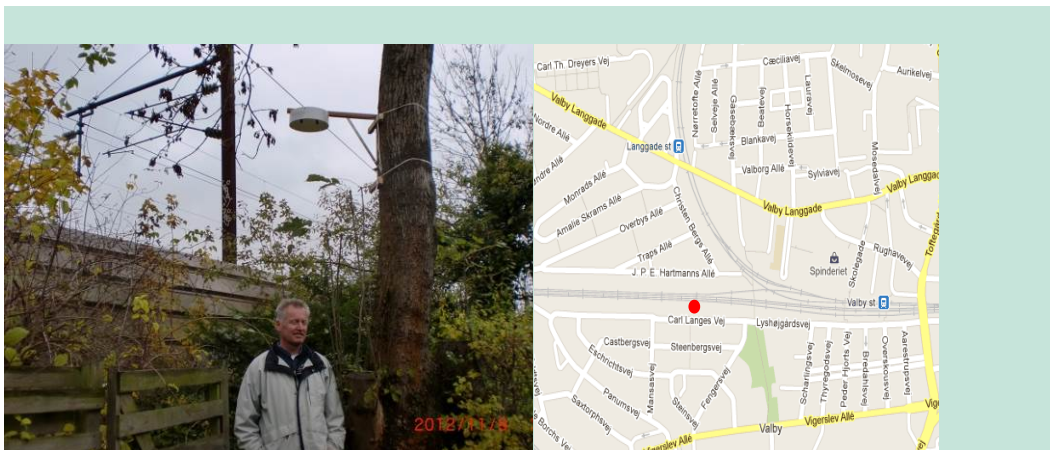
Figur 19

Opsamlere ved Hovedbanegården (venstre) og kort med angivelse af placeringen (højre). Opsamlere var placeret på Tietgensbroen omkring 3,1 m. over fortovet og mellem spor 4 og 5. Kort: Google Maps.



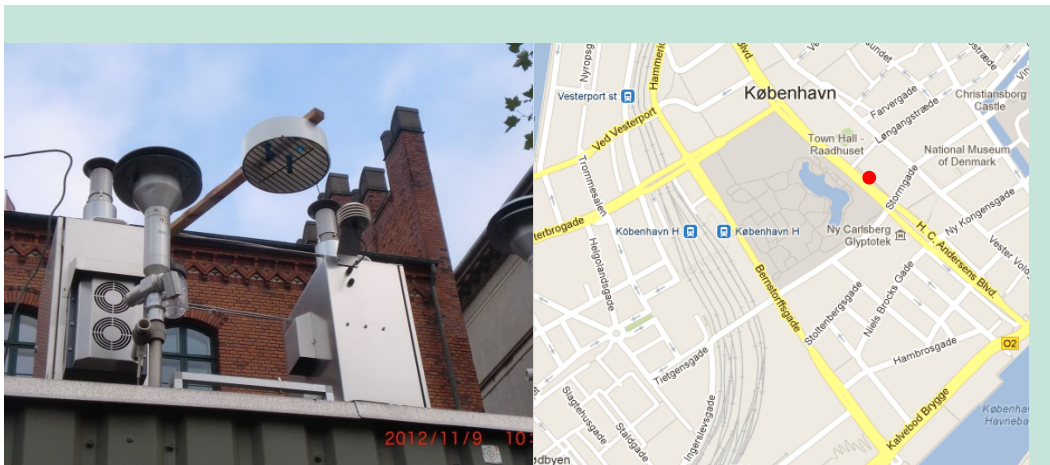
Figur 20

Opsamleren ved Valby Station (venstre) og kort med angivelse af placeringen (højre). Opsamleren var placeret på broen på Toftegårds Allé omkring 3,1 m. over fortovet og med sporene til dieseltogene mod syd og sporene til S-togene mod nord.
Kort: Google Maps.



Figur 21

Opsamleren placeret i privat have tæt på banelegemet omkring 500 m vest for Valby Station (venstre) og kort med angivelse af placeringen (højre). Opsamleren var placeret i omkring 4 m. højde og omkring 8 m. syd for banelegemet. Kort: Google Maps.



Figur 22
Opsamleren placeret ovenpå målestationen på H.C. Andersens Boulevard (venstre) og kort med angivelse af placeringen (højre). Kort: Google Maps.

4.2 Resultater

De to gange 14 dages opsamling blev gennemført i perioderne 9.11.2012 – 23.11.2012 og 23.11.2012 – 6.12.2012.

Resultaterne fra den første måleperiode fremgår af Tabel 10. Der er god overensstemmelse mellem koncentrationerne af NO₂ bestemt med passiv opsamling og monitormålingerne på H.C. Andersens Boulevard, hvilket viser, at resultaterne har en tilfredsstillende kvalitet. Dog vurderes det, at usikkerheden er forøget (25 %, skønsmæssigt vurderet), da luftfugtigheden var relativt høj i målekampagnen, hvilket kan give ekstra usikkerhed på resultaterne, da nogle af opsamlingsrørene blev fugtige.

I den anden måleperiode var der stor uoverensstemmelse mellem passiv opsamling og monitormålingerne på H.C. Andersens Boulevard. Det vurderes, at dette formentligt skyldes den megen sne og de lave temperaturer i den sidste del af opsamlingsperioden. Resultaterne fra denne måleperiode er derfor kasseret.

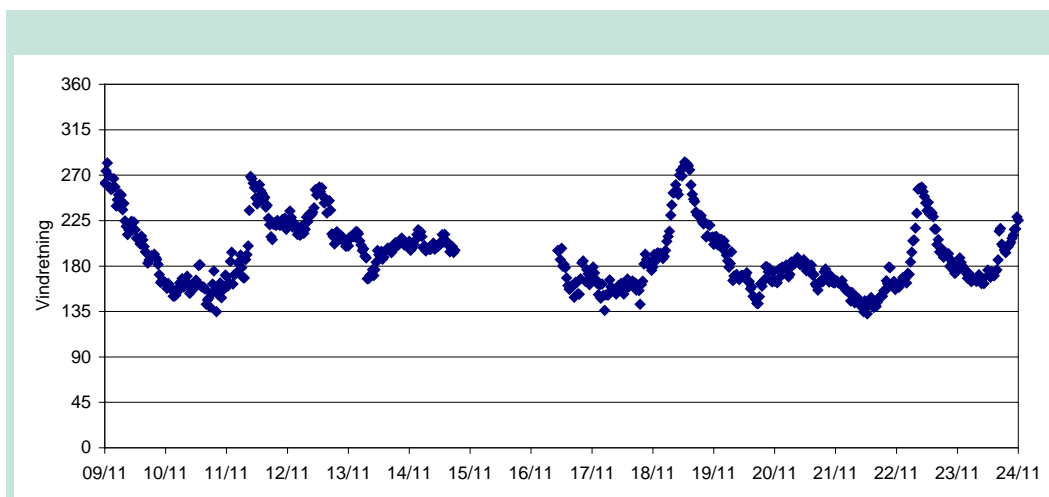
Tabel 10

Koncentration af NO₂ i måleperioden fra 9.11.2012 – 23.11.2012. Dels resultater fra passivopsamlinger der er udført i forbindelse med nærværende projekt og dels fra målinger med monitorer udført i forbindelse med Delprogram for luft under NOVANA.

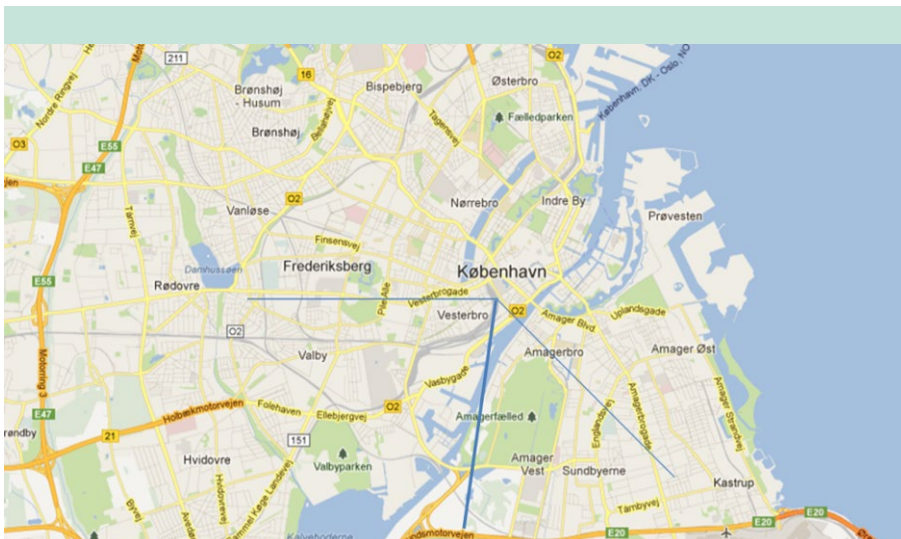
Målested	NO ₂ , µg/m ³	
	Passiv sampling	Monitor
H.C. Andersens Boulevard (gade)	53	54
Jagtvej (gade)		39
HCØ (bybaggrund)		28
Risø (landbaggrund)		19
Hovedbanegården, Tietgensgade	21	
Valby Station, Toftegårds Allé	21	
Carl Langesvej (privat have)	11	

Resultaterne viser, at koncentrationerne af NO₂ ved Hovedbanegården og Valby Station ligger lige under niveauet målt i bybaggrund på HCØ, og at koncentrationerne på Carl Langesvej ligger endnu lavere. De lave koncentrationer skyldes formentligt væsentligt to faktorer. For det første ligger målestederne relativt frit og ikke i et gaderum, som H.C. Andersens Boulevard eller Jagtvej.

Gaderum vil alt andet lige give anledning til ”opkoncentrering” af udledningerne. For det andet har der i måleperioden været vind fra hovedsageligt sydlige vindretninger, med en gennemsnitlig vindretning på 188 grader (Figur 23). Figur 24 viser et oversigtskort over København med angivelse af middelvindretningen set i forhold til målestedet ved Hovedbanegården. I sydlig retning fra målestedet ses relativt åbne områder (havnen, Amagerfælled) med relativt få kilder. Lokalt omkring målestedet ved Hovedbanegården vil sydlig vindretning endvidere betyde, at opsamleren kun i ringe grad vil blive påvirket af de holdende tog på Hovedbanegården. Endvidere vurderes umiddelbart, at trafikbelastningen på Tietgensgade kan have været relativt lav i denne periode grundet vejarbejdet i området. Tilsvarende vil der for Valby Station kunne argumenteres for, at sydlige vindretninger vil bevirke, at koncentrationerne formentligt vil ligge under årsgennemsnittet.



Figur 23
Tidligt forløb af vindretning i måleperioden.



Figur 24
Ud fra målepunktet ved Hovedbanegården er indtegnet middelvindretningen på 188 grader (fed linje), samt det vinkelinterval, vindretningerne befandt sig inden for i måleperioden (tynde blå streger). Kort: Google Maps.

Den private have på Carl Langesvej ligger placeret umiddelbart syd for banelegemet, som går stort set øst-vest. Opsamleren var placeret kun 8 m. fra banelegemet og det var derfor forventet, at opsamleren i rimelig grad ville blive påvirket af udledningerne fra toget, bl.a. andet som følge af den turbulens, som toget selv genererer. Den meget lave koncentration af NO_2 i den private have indikerer imidlertid, at opsamleren kun i ringe grad har været påvirket af udledningerne fra toget

som følge af, at vindretningerne i hele perioden hovedsageligt har været fra sydlige vindretninger og med en gennemsnitlig vindretning på 188 grader.

De målte koncentrationer på Carl Langesvej ligger tydeligt under koncentrationerne målt i landlig baggrund ved Risø. Den gennemsnitlige vindretning på 188 grader betyder, at målestationen ved Risø vil være påvirket af udledningerne fra hele Roskilde, hvilket er medvirkende årsag til, at koncentrationerne målt for måleperioden ($19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ligger omkring dobbelt så højt, som årsgennemsnittet for Risø ($9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Derudover skal det tages med i betragtning, at den simple målemetode ikke giver resultater af samme kvalitet som for måleinstrumenterne anvendt på målestationerne, og at denne forskel i kvalitet kan være en del af forklaringen på den observerede forskel mellem resultaterne fra Carl Langesvej og Risø.

Referencer

Banedanmark 2012: Kort over det danske jernbanenet. Banedanmark Banedata, oktober 2012.

Bang-Mortensen 2012: Aktivitetsdata for godskørsel oplyst af DB Schenker, Stig Bang-Mortensen, 2012.

Ellermann, T., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M. & Jensen, S. S. 2012b: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2011. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 64 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. No. 37. <http://www.dmu.dk/Pub/SR37.pdf>

Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M. & Jensen, S.S. 2011: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2010. National Environmental Research Institute, Aarhus University. 55 pp. NERI Technical Report No. 836.

Janssen, N. A., Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer, P., van Bree, L., ten Brink H, Keuken M, Atkinson RW, Anderson HR, Brunekreef B, & Cassee, F. R. (2011). Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM₁₀ and PM_{2.5}. Environmental health perspectives, 119(12), 1691.

Jensen, S.S., Ketzel, M., Nøjgaard, J. K. & Wählin, P. 2009: Luftkvalitetsvurdering af miljøzoner i Danmark. Midtvejsrapport. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet 64 s. –Faglig rapport nr. 748. <http://www.dmu.dk/Pub/FR748.pdf>.

Jensen, S.S., Brandt, J., Ketzel, M., Plejdrup, M.S. 2013: Kildebidrag til sundhedsskadelig luftforurening i Københavns Kommune. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Endnu ikke offentliggjort.

Plejdrup, M.S. & Gyldenkerne, S. 2011: Spatial distribution of emissions to air – the SPREAD model. National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark. 72 pp. – NERI Technical Report no. FR823.

Sigma Aldrich, 2011:

http://www.sigmaaldrich.com/etc/medialib/docs/Supelco/Application_Notes/radiello_f1_f2.Par.0001.File.dat/radiello_f1_f2.pdf

Skaft Nielsen 2012: Togaktivitetsdata leveret af DSB, Klaus Skaft Nielsen, 2012.

Skaft Nielsen 2013: Pers Comm. Klaus Skaft Nielsen, DSB 2013.

Storgaard 2012: Pers. Comm. Lars Storgaard, Midtjyske Jernbaner

Tema2012: TEMA2010 – Et værktøj til beregning af transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, 133 s.,Transportministeriet, oktober 2010.

Wagner 2012: Pers. Comm. Lars Winther Wagner, Arriva Tog A/S.

Winther, M. & Nielsen, O.K. 2006: Fuel use and emissions from non-road machinery in Denmark from 1985–2004 – and projections from 2005-2030. The Danish Environmental Protection Agency. - Environmental Project 1092: 238 pp. Available at:
<http://www.dmu.dk/Udgivelser/Arbejdsrapporter/Nr.+200-249/>

Winther, M. 2012: Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until the year 2010. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 283 pp. – DCE Scientific Report No. 24. <http://www.dmu.dk/Pub/SR24.pdf>

Bilag 1: Emissionsopgørelse for tog

Dette bilag indeholder tabeller og figurer, der uddyber afsnittet om emissionsopgørelse for togtrafik (Kapitel 2).

Strækningsslængder

Strækningsslængder på de enkelte banesegmenter er beregnet ud fra elektroniske kortoplysninger udleveret af Banedanmark (2012). De er vist i tabellen herunder.

Tabel 1: Banestrækninger

Bane	Banelængde (km)
København H-Lufthavn	7,224
København H-Valby	5,740
København H-Østerport	6,106
Aarhus H-Grenå	5,266
Aarhus H-Nord, Aarhus H-Struer	5,370
Aarhus H-Syd, Aarhus H-Skjern, Aarhus H-Odder	5,583

Holdetider

Holdetider på stationerne i undersøgelsesområdet er oplyst af DSB (Skaftø Nielsen, 2012) fordelt på turtyperne Lyn, Intercity og Regional. Til at gruppere DSB's togdata efter DSB's turtyper og dermed allokere en holdetid på den enkelte station er en relation mellem tognummerserier i DSB's togdata og turtypen benyttet. Holdetiderne på ruterne Aarhus H-Skjern, Aarhus H-Struer samt Odderbanen er oplyst af Arriva (Wagner, 2012) og Midtjyske Jernbaner (Storgaard, 2012).

Tabel 2: Holdetider ved stationerne i de to undersøgelsesområder tæt ved Kbh. H og Aarhus H.

Bane	Station	Tur	Litra	Holdetid (min)
København H-Østerport	Østerport	Lyn	IC3	1
København H-Østerport	Østerport	Intercity	IC3	1
København H-Østerport	Østerport	Regional	IC3, ME	1
København H-Østerport	København H	Lyn	IC3	5
København H-Østerport	København H	Intercity	IC3	8
København H-Østerport	København H	Regional	IC3, ME	3
København H-Valby	Valby	Lyn	IC3, ME	1
København H-Valby	Valby	Intercity	IC3	1
København H-Valby	Valby	Regional	IC3, ME	1
København H-Valby	København H	Lyn	IC3, ME	5
København H-Valby	København H	Intercity	IC3	8
København H-Valby	København H	Regional	IC3, ME	3
København H-Lufthavn	Lufthavn	Lyn	IC3	1
København H-Lufthavn	Lufthavn	Intercity	IC3	1
København H-Lufthavn	Lufthavn	Regional	IC3	1
København H-Lufthavn	København H	Lyn	IC3	5
København H-Lufthavn	København H	Intercity	IC3	8
København H-Lufthavn	København H	Regional	IC3	3
Aarhus H-Nord	Aarhus H	Lyn	IC3	8
Aarhus H-Nord	Aarhus H	Intercity	IC3	9
Aarhus H-Nord	Aarhus H	Regional	IC3, IC4, MR	5
Aarhus H-Syd	Aarhus H	Lyn	IC3	8

Aarhus H-Syd	Aarhus H	Intercity	IC3	9
Aarhus H-Syd	Aarhus H	Regional	IC3, IC4, MR, ME	5
Aarhus H-Grenå	Aarhus H	Lokal	MQ	2
Aarhus H-Grenå	Øvrige	Lokal	MQ	0,25
Aarhus H-Skjern	Aarhus H	Lokal	MQ	5
Aarhus H-Skjern	Viby	Lokal	MQ	0,5
Aarhus H-Struer	Aarhus H	Lokal	MQ	5
Aarhus H-Odder	Aarhus H	Lokal	MR (Y)	4
Aarhus H-Odder	Kongsvang	Lokal	MR (Y)	0,5
Aarhus H-Odder	Viby	Lokal	MR (Y)	0,5

Aktivitetsdata – Godstrafik

For godstrafikken er oplysninger fra DB Schenker (Bang-Mortensen, 2012) anvendt til at beskrive de typiske aktiviteter for en onsdag. Tidligt onsdag ankommer et læsset godstog sydfra til Aarhus og kører videre til containerterminalen på Aarhus Havn. Derefter udfører lokomotivet (MZ) rangering på havneområdet, og kører herefter tilbage mod garage ved Aarhus H (Ringgadebroen). Ved Ringgadebroen sker der også brændstofpåfyldning. Onsdag aften foregår der kørsel med tomt lokomotiv fra garage ved Aarhus H tilbage til containerterminalen på Aarhus Havn, rangering på havneområdet, og kørsel med lokomotiv og godsvogne tilbage til Aarhus H og videre i sydlig retning. Tabel 3 og 4 viser de stedbestede aktivitetsdata bestående af kørt strækning, tidsrum for kørsel, tomgangsforbrug og beregnet energiforbrug opstillet for de to bevægelser med godstog. Det bemærkes, at samme godskørselsrutine sker en gang mere per uge. Tidlig fredag morgen ankommer et læsset godstog til Aarhus Havn og et læsset godstog kører tilbage i sydlig retning mandag aften.

Tabel 3: Aktivitetsdata for læsset godstog mod Aarhus Havn og tomt lokomotiv tilbage til garage

	Aktivitet	Kørsel	Kørsel	Rang. Havn	Kørsel	Brændstofpåf.	Garage
	Lokalitet	Viby-Aarhus	Aarhus-Havn	Havn	Havn-Aarhus	Ringgadebroen	Ringgadebroen
	Tidsrum	-01.40	01.40-01.55	01.55-2.25	2.25-2.40	2.40-3.00	3.00-3.20
Tomgang	Længde (km)	5,6	4,5	0	4,5	0	
	Tid (minutter)	5,8	15	30	15	20	20
	Idle FC (l/t)	20	20	20	20	20	20
	Idle FC i alt (l)	1,9	5,0	10,0	5,0	6,7	6,7
	Energi (MJ)	69,5	179,3	358,7	179,3	239,1	239,1
Trin	Trin		2		2		
	Trin (kW)		345		345		
	Trin virkningsgrad		0,3		0,3		
	Længde		4,5		4,5		
	Tid		35		15		
	Trin (sekunder)		2100		900		
	Trin Energi (MJ)		2415		1035		
	Energi total per tur (MJ)	69,5	2594,3	358,7	1214,3	239,1	239,1

Tabel 4: Aktivitetsdata for tomt lokomotiv fra garage mod Aarhus Havn og læsset godstog væk fra Aarhus

	Aktivitet	Opstart lok.	Kørsel	Rang. Havn	Kørsel	Kørsel
	Lokalitet	Ringgadebroen	Aarhus-Havn	Havn	Havn-Aarhus	Aarhus-Viby
	Tidsrum	19.28-19.58	19.58-20.13	20.13-21.03	21.02-21.18	21.18-
Tomgang	Længde (km)				4,5	5,6
	Tid (minutter)	30	15	60	15	14,0
	Idle FC (l/t)	20	20	20	20	20
	Idle FC i alt (l)	10	5	20	5	4,7
	Energi (MJ)	358,7	179,3	717,4	179,3	166,9
Trin	Trin		2		3	8
	Trin (kW)		345		616	2600
	Trin virkningsgrad		0,3		0,3	0,3
	Længde		4,5		5	5
	Tid		15		15	14,0
	Trin (sekunder)		900		900	837
	Trin Energi (MJ)		1035,0		1848,0	7257,7
	Energi total per tur (MJ)	358,7	1214,3	717,4	2027,3	7424,6

Resultater af emissionsopgørelse for tog

I en række figurer og tabeller herunder vises resultaterne af emissionsopgørelsen. De resultater, der præsenteres, drejer sig om kørsel i løbet af et onsdagsdøgn. Der er tale om fire aktiviteter, som der vises forskellige resultater for:

- Kørsel
- Ophold på station
- Klargøring
- Godstrafik (i Aarhus)

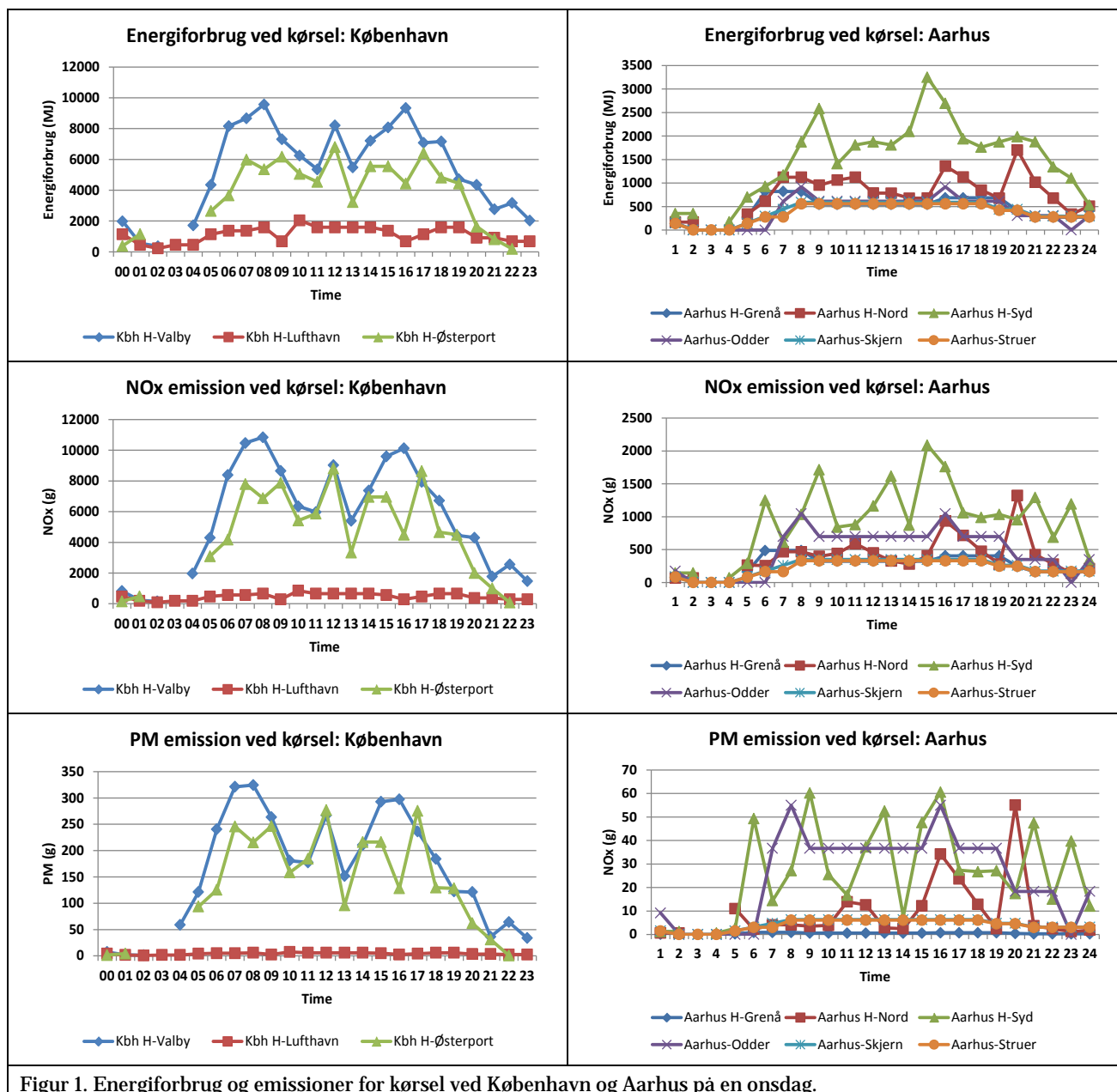
De samlede resultater for alle aktiviteter er opgjort i selve rapporten.

Energiforbrug og emissioner for kørsel ved København og Aarhus på en onsdag

Tabel5: Resultater ved kørsel per bane og litra. HC er kulbrinter.

Område	Bane	Litra TEMA	Togsæt km	Energi (MJ)	CO (g)	HC (g)	NO _x (g)	PM _{2,5} (g)
København	Kbh. H-Valby	IC3	1607	50685	2777	1389	21061	185
København	Kbh. H-Valby	ME	712	73283	16655	4356	107874	3531
København	Kbh. H-Valby	I alt	2319	123967	19432	5745	128935	3716
København	Kbh. H-Lufthavn	IC3	852	26882	1473	737	11170	98
København	Kbh. H-Østerport	IC3	690	21759	1192	596	9041	79
København	Kbh. H-Østerport	ME	556	57209	13002	3401	84214	2756
København	Kbh. H-Østerport	I alt	1246	78968	14194	3997	93255	2836
Aarhus	Aarhus H-Nord	IC3	397	12532	687	343	5207	46
Aarhus	Aarhus H-Nord	IC4	54	2774	154	66	1156	10
Aarhus	Aarhus H-Nord	MR	81	2562	755	393	2913	156
Aarhus	Aarhus H-Nord	I alt	532	17868	1596	803	9276	212
Aarhus	Aarhus H-Syd	IC3	648	20424	1119	560	8487	75
Aarhus	Aarhus H-Syd	IC4	117	6057	336	144	2524	22
Aarhus	Aarhus H-Syd	ME	22	2299	523	137	3385	111
Aarhus	Aarhus H-Syd	MR	212	6749	1988	1036	7673	411

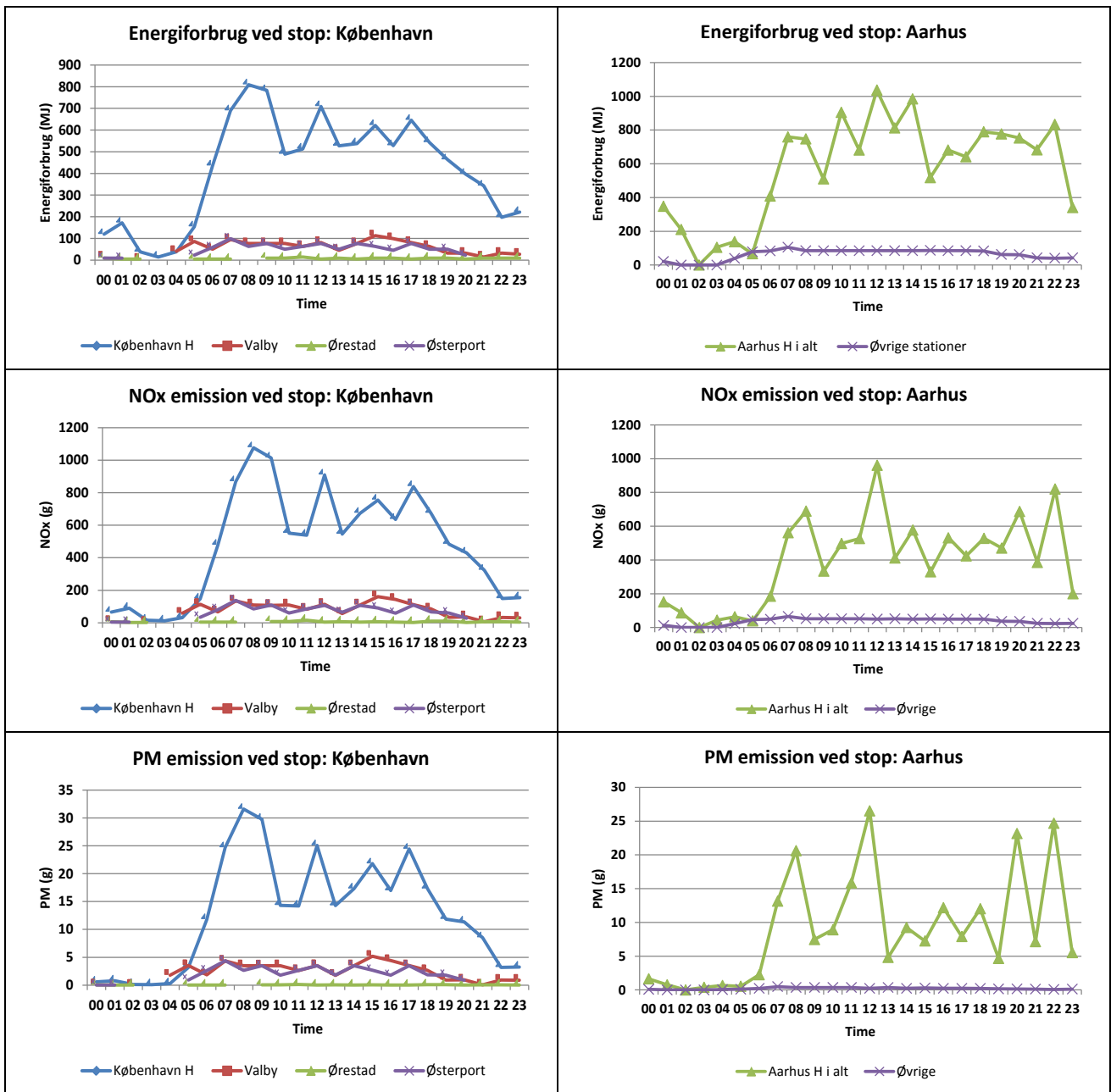
Aarhus	Aarhus H-Syd	I alt	999	35529	3966	1877	22068	618
Aarhus	Aarhus H-Grenå	MQ	421	10950	2257	864	6483	12
Aarhus	Aarhus-Skjern	MQ	363	9432	1944	745	5585	103
Aarhus	Aarhus-Struer	MQ	344	8933	1841	705	5289	98
Aarhus	Aarhus-Odder	MR	363	9795	2886	1504	11136	596



Energiforbrug og emissioner for stop ved København og Aarhus på en onsdag

Tabel 6: Resultater for stop per station og litera. HC er kulbrinter.

Område	Station	Litra TEMA	Energi (MJ)	CO (g)	HC (g)	NO _x (g)	PM _{2,5} (g)
København	Kbh. H stop	IC3	4199	376	188	2854	25
København	Kbh. H stop	ME	5793	1329	348	8606	282
København	Kbh. H stop	I alt	9992	1705	536	11460	307
København	Valby stop	IC3	206	17	9	129	1
København	Valby stop	ME	1076	245	64	1584	52
København	Valby stop	I alt	1282	262	72	1713	53
København	Ørestad stop	IC3	163	15	8	117	1
København	Østerport stop	IC3	158	14	7	109	1
København	Østerport stop	ME	807	183	48	1188	39
København	Østerport stop	I alt	965	198	55	1297	40
Aarhus	Aarhus stop	IC3	7470	548	274	4153	37
Aarhus	Aarhus stop	IC4	1973	117	50	877	8
Aarhus	Aarhus stop	ME	789	179	47	1162	38
Aarhus	Aarhus stop	MR	1381	523	273	2019	108
Aarhus	Aarhus stop	Øvrige	2120	458	185	1382	31
Aarhus	Aarhus stop	I alt	13733	1825	828	9592	222
Aarhus	Øvrige stop		1513	377	124	928	6



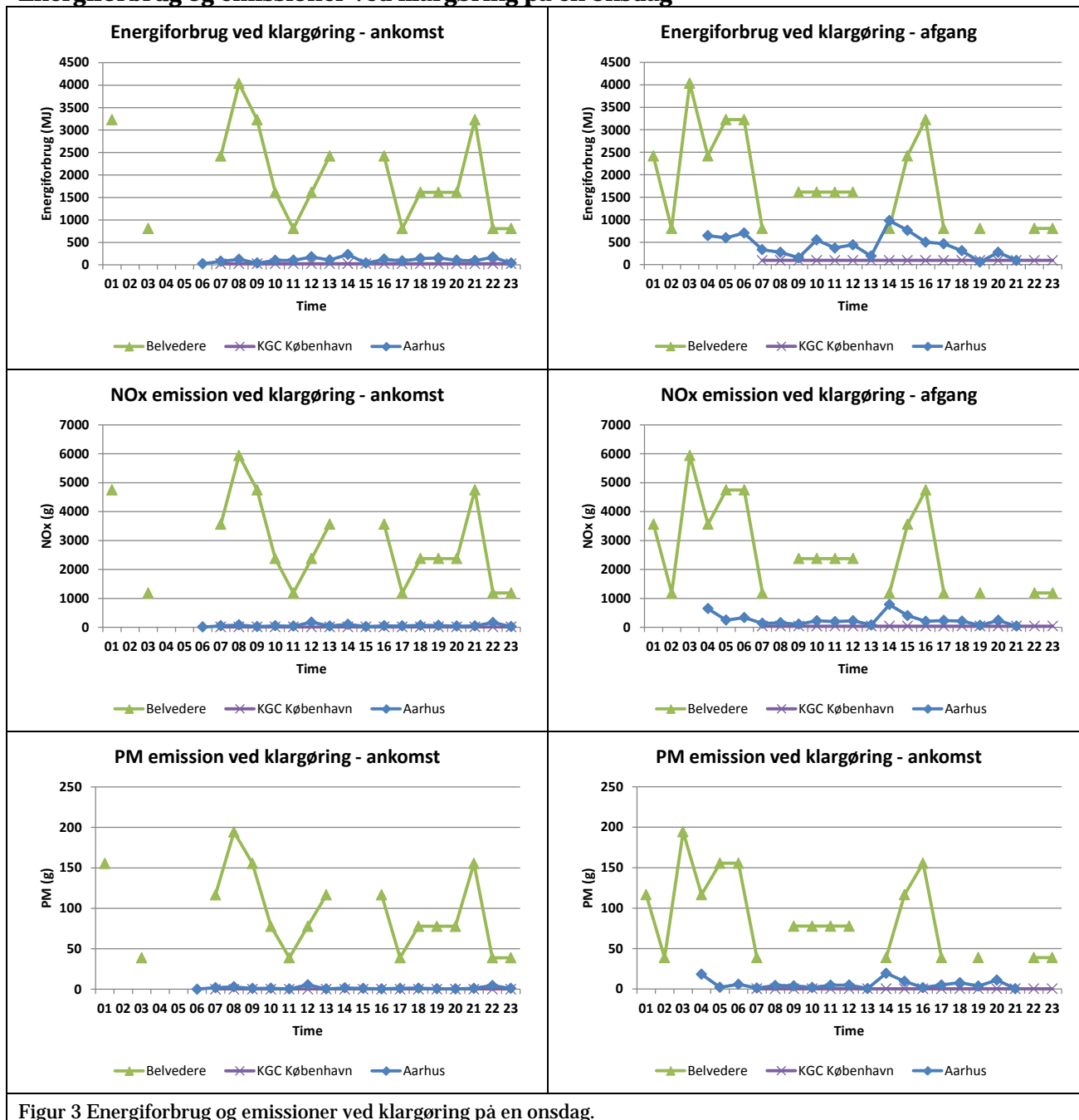
Figur 2 Energiforbrug og emissioner ved stop for København og Aarhus på en onsdag.

Energiforbrug og emissioner for godstrafik på en onsdag

Tabel 7: Resultater for godskørsel.

Aktivitet	Lokalitet	Tidsrum	Energi (MJ)	CO (g)	HC (g)	NO _x (g)	PM _{2.5} (g)
Kørsel	Viby-Aarhus	-01.40	70	16	10	90	3
Kørsel	Aarhus-Havn	01.40-01.55	2594	589	364	3342	106
Rang. Havn	Havn	01.55-2.25	359	81	50	462	15
Kørsel	Havn-Aarhus	2.25-2.40	1214	276	170	1564	49
Brændstofpåf.	Ringgadebroen	2.40-3.00	239	54	34	308	10
Garage	Ringgadebroen	3.00-3.20	239	54	34	308	10
Opstart lok.	Ringgadebroen	19.28-19.58	359	81	50	462	15
Kørsel	Aarhus-Havn	19.58-20.13	1214	276	170	1564	49
Rang. Havn	Havn	20.13-21.03	717	163	101	924	29
Kørsel	Havn-Aarhus	21.02-21.18	2027	461	284	2611	83
Kørsel	Aarhus-Viby	21.18-	7425	1687	1041	9563	303
I alt	Aarhus		16457	3739	2307	21198	671

Energiforbrug og emissioner ved klargøring på en onsdag



Figur 3 Energiforbrug og emissioner ved klargøring på en onsdag.

Sportype og sporkategori

Tabel 8: Sportype og sporkategori benyttet ved den geografiske fordeling af togemissionerne.

Sportype	Sporkategori
Gennemgående togvejsspor, gennemkørsel	Togvejsspor
Gennemgående togvejsspor, ikke gennemkørsel	Togvejsspor
Hovedspor	Togvejsspor
Sidespor	Egentlige havnespor
Sidespor	Firmaspor
Sidespor	Havnebane
Sidespor	Øvrige sidespor
Sidespor	Kommunalt stamspor
Sidespor	Privatbanespor (Sidespor)
Sidespor	Privatbanespor (Togvejsspor)
Sidespor	Togfølgevej/Afløb fra togvejsspor
Sidespor	Togvejsspor
Sidespor	Uegentlige havnespor
Transversaler mellem togvejsspor	Øvrige sidespor
Transversaler mellem togvejsspor	Togvejsspor
Vigespor	Øvrige sidespor
Vigespor	Privatbanespor (Togvejsspor)
Vigespor	Togvejsspor

Luftforurening fra togdrift i byområder

Miljøstyrelsen iværksatte september 2012 et projekt til vurdering af, hvilken indflydelse tog samt mobile ikke-vejpgående maskiner har på luftkvaliteten i byområder. Nærværende rapport har fokus på vurderinger af togdriftens bidrag til udslip og koncentrationer i København og Aarhus, mens resultater vedrørende mobile ikke-vejpgående maskiner rapporteres særskilt.

Projektet er gennemført af DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet (AU) med Institut for Miljøvidenskab ved AU som udførende enhed. DCE varetager det tidligere Danmarks Miljøundersøgelses opgaver med rådgivning af myndigheder, erhverv og offentligheden om faglige problemstillinger i relation til natur, miljø og energi.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
DK - 1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk