



KORTLÆGNING AF LUFTKVALITET LANGS MOTOR- OG LANDEVEJE I DANMARK

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 154

2015



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

KORTLÆGNING AF LUFTKVALITET LANGS MOTOR- OG LANDEVEJE I DANMARK

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 154

2015

Steen Solvang Jensen
Ulas Im
Matthias Ketzel
Per Løfstrøm
Jørgen Brandt

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. 154
Titel:	Kortlægning af luftkvalitet langs motor- og landeveje i Danmark
Forfattere:	Steen Solvang Jensen, Ulas Im, Matthias Ketzel, Per Løfstrøm &, Jørgen Brandt
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	November 2015
Redaktion afsluttet:	Oktober 2015
Faglig kommentering:	Matthias Ketzel & Per Løfstrøm
Kvalitetssikring, DCE:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Finansiell støtte:	Vejdirektoratet
Bedes citeret:	Jensen, S.S., Im, U., Ketzel, M. Løfstrøm, P. & Brandt, J. 2015. Kortlægning af luftkvalitet langs motor- og landeveje i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 41 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 154. http://dce2.au.dk/pub/SR154.pdf
Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse	
Sammenfatning:	Denne rapport beskriver resultaterne af en kortlægning af luftkvaliteten langs motor- og landeveje i hele Danmark. Det er første gang, at der skabes et nationalt datasæt af modellerede luftkvalitetsdata langs hele statsvejet. Kortlægningen er gennemført med OML-Highway modellen, og anvendte metoder og datagrundlag er beskrevet.
Emneord:	OML-Highway, luftkvalitet, kortlægning, motorvej, landevej
Layout:	Majbritt Ulrich
Foto forside:	Vejdirektoratet
ISBN:	978-87-7156-149-4
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	40
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR154.pdf

Indhold

1	Indledning	5
2	Sammenfatning	6
3	Summary in English	10
4	Metode og datagrundlag	13
4.1	OML-Highway modellen	13
4.2	Beregningspunkter	15
4.3	Vej- og trafikgrundlag	17
4.4	Emission	21
4.5	Baggrundskoncentrationer	22
4.6	Meteorologi	25
5	Evaluering af modelresultater	27
5.1	Validering af baggrundskoncentrationer i luftkvalitetskortlægningen i 2012	27
5.2	Validering af OML-Highway modellen mod målinger fra 2003	28
5.3	Sammenligning med tidligere kortlægning i Roskilde Amt fra 2003	29
5.4	Supplerende analyser	30
6	Luftkvalitet langs statsvejnet	32
6.1	Geografisk beskrivelse for NO ₂	32
6.2	Geografisk beskrivelse for PM _{2,5} og PM ₁₀	35
6.3	Statistisk beskrivelse	37
	Litteraturliste	38

1 Indledning

I 2014-2015 har Vejdirektoratet med OML-Highway modellen kortlagt luftkvaliteten langs statslige motor- og landeveje i hele Danmark. Det er første gang, at der skabes et nationalt datasæt af modellerede luftkvalitetsdata langs hele statsvejnettet. Denne rapport beskriver resultaterne af kortlægningen og den anvendte metode og datagrundlaget.

Vejdirektoratet har finansieret udvikling og anvendelse af beregningsprogrammet OML-Highway, som er et GIS-baseret værktøj til beregning af luftkvalitet langs veje i åbent terræn.

Den landsdækkende luftkvalitetskortlægning vil kunne bruges af vejmyndigheder som et screeningsværktøj i forbindelse med kommende VVM-undersøgelser af vejprojekter og være en kilde til information om luftkvalitet for borgere. Luftkvalitetskortlægningen vil i løbet af 2015 blive lagt ind på Vejdirektoratets hjemmeside, således at alle kan tilgå luftkvalitetskortet.

Luftkvalitetskortet viser udvalgte luftforurenende stoffer relateret til sundhedseffekter. Det er beregnede årsmiddelkoncentrationer i 2012 af NO₂ (kvælstofdioxid) og massen af luftbårne partikler angivet ved PM₁₀ og PM_{2,5}, som er henholdsvis den samlede masse af partikler med en diameter under 10 og 2,5 mikrometer. Beregningerne er gennemført for beregningspunkter i forskellige afstande fra vejen ud til 1000 m, hvorefter bidraget fra vejen er mindre.

En styregruppe har ledet projektet bestående af Jakob Fryd og Lene Nøhr Michelsen fra Vejdirektoratet og Steen Solvang Jensen og Matthias Ketzel fra DCE.

Vejdirektoratet har tidligere anvendt OML-Highway til VVM-vurderinger i forbindelse med undersøgelser af udvidelse af motorvejen omkring Odense, en 3. Limfjordsforbindelse med ny motorvej vest om Aalborg og en udbygning af rute 26 mellem Viborg og Aarhus. I 2014 udgav Vejdirektoratet endvidere en vejledning i luftkvalitetsvurdering langs motorveje. Vejledningen bygger på de hidtidige erfaringer. I 2015 har Vejdirektoratet støttet udgivelse af en brugermanual for OML-Highway.

Udvikling af OML-Highway og dets anvendelser er udført af DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet.

Kapitel 2 er den danske sammenfatning og kapital 3 er den engelske sammenfatning.

Kapitel 4 beskriver metode og datagrundlag, og beskriver kort OML-Highway modellen og de anvendte inputdata.

Kapitel 5 beskriver modelevaluering, hvor modelresultater sammenlignes med tidligere gennemførte målinger og beregninger.

Kapitel 6 beskriver resultater af kortlægningen langs statsvejnettet både geografisk gennem en række figurer og gennem beskrivende statistik.

2 Sammenfatning

Baggrund og formål

I 2014-2015 har Vejdirektoratet med OML-Highway modellen kortlagt luftkvaliteten langs statelige motor- og landeveje i hele Danmark. Det er første gang, at der skabes et nationalt datasæt af modellerede luftkvalitetsdata langs hele statsvejetnettet. Denne rapport beskriver resultaterne af kortlægningen og den anvendte metode og datagrundlaget.

Vejdirektoratet har finansieret udvikling og anvendelse af beregningsprogrammet OML-Highway, som er et GIS-baseret værktøj til beregning af luftkvalitet langs veje i åbent terræn.

Den landsdækkende luftkvalitetskortlægning vil kunne bruges af vejmyndigheder som et screeningsværktøj i forbindelse med kommende VVM-undersøgelser af vejprojekter og være en kilde til information om luftkvalitet for borgere. Luftkvalitetskortlægningen vil i løbet af 2015 blive lagt ind på Vejdirektoratets hjemmeside, således at alle kan tilgå luftkvalitetskortet.

Luftkvalitetskortet viser udvalgte luftforurenende stoffer relateret til sundhedseffekter. Det er beregnede årsmiddelkoncentrationer i 2012 af NO₂ (kvælstofdioxid) og massen af luftbårne partikler angivet ved PM₁₀ og PM_{2,5}, som er henholdsvis den samlede masse af partikler med en diameter under 10 og 2,5 mikrometer. Beregningerne er gennemført for beregningspunkter i forskellige afstande fra vejen ud til 1000 m, hvorefter bidraget fra vejen er marginalt.

Undersøgelsen

OML-Highway modellen kræver information om vejnettet med trafikdata, baggrundskoncentrationer, meteorologi samt beregningspunkter.

OML-Highway har et eksisterende værktøj til generering af beregningspunkter langs vejnettet, hvor brugeren kan definere afstande mellem beregningspunkter vinkelret på vejstrækningen, og med hvilken afstand beregningspunkter skal dannes langs vejstrækningen. For at forbedre visualiseringen af resultaterne er der udviklet et supplerende værktøj, som kan visualisere resultaterne som sammenhængende bufferzoner, hvilket det tyske firma Lohmeyer (www.lohmeyer.de) har stået for.

Vejnettet er baseret på vejman.dk, som omfatter alle statsveje. Som noget nyt er der anvendt GPS baseret rejsehastighedsdata fra SpeedMap fra Vejdirektoratet (<http://speedmap.dk/portal>). SpeedMap ligger på Navteq vejnettet ligesom Landstrafikmodellen, som har en anden datamodel og segmentering end vejman.dk. Det har derfor været nødvendigt at udvikle et udtræksprogram, som knytter rejsehastigheder fra SpeedMap til vejman.dk, hvilket firmaet Hermes Traffic Intelligence har stået for.

Der ses bort fra indflydelse af støjskærme, støjvolde, og dæmninger og broer, da det er vanskeligt at knytte disse data til vejnettet på en måde, så det kan beregnes med OML-Highway, og fordi indflydelsen på luftkvaliteten er begrænset.

Baggrundskoncentrationer er beregnet med den regionale model Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM) og bybaggrundsmøllen Urban Background Model (UBM) med tilhørende emissions- og meteorologidata for alle 1x1 km² gitterceller i Danmark, hvor der er beregningspunkter langs vejnettet. For Danmark er emissioner baseret på emissionsmøllen SPREAD, som har emissioner for hele Danmark fra alle kilder på 1x1 km² gitterceller. Modeller og data er udviklet af AU/DCE.

Beregningerne er gennemført på følgende måde. Der tages udgangspunkt i beregnede baggrundskoncentrationer for centerpunktet for et 1x1 km² gitternet fra DEHM/UBM, som udgør baggrundskoncentrationen for en given vejstrækning på statsvejnettet. For at undgå dobbelttælling af trafikemissioner er emissioner fra trafik for de 1x1 km² gitterceller i SPREAD, som er berørt af statsvejnettet, ikke inkluderet i baggrundsberegningerne. Emissioner fra statsvejene vil typisk dominere trafikemissionerne i disse gitterceller, men der kan også være et bidrag fra kommunale veje. Herefter er bidraget fra statsvejnet til beregningspunkter langs vejstrækningen blev beregnet med OML-Highway. For disse beregningspunkter benyttes den nærmest placeret baggrundskoncentration til at repræsentere baggrundskoncentrationen for det pågældende beregningspunkt, hvor bidragene lægges sammen.

For ikke-reaktive stoffer som NO_x, PM_{2,5} og PM₁₀ kan ovenstående beregninger gennemføres uden justeringer. NO_x består af NO og NO₂. Da NO₂ indgår i fotokemi, er der ikke en lineær sammenhæng mellem NO_x og NO₂, og NO₂-bidraget fra statsvejene er derfor beregnet ud fra en simplificeret kemimodel, som er baseret på årsmiddel af NO_x-, NO₂- og ozonkoncentrationer samt oplysninger om direkte NO₂-emissioner fra trafikken.

Hovedkonklusioner

NO₂

Den geografiske variation af NO₂ i 2012 er som forventet med de højeste koncentrationer på de mest trafikerede motorvejsstrækninger, men indflydelsen af baggrundsforsurenningen fra de større byer ses også fx i københavnsmrådet og i Aalborg.

Formålet med kortlægningen af luftkvaliteten langs statsvejnettet er at beskrive den geografiske variation, og kan betragtes som en screening af luftkvaliteten. Der kan være betydelig usikkerhed på enkeltresultater, da der kan være stor usikkerhed på inputdata, og der er også usikkerheder i selve luftkvalitetsmodellerne.

Formålet er således *ikke* at forsøge at beregne antallet af overskridelser af NO₂ grænseværdien langs med statsvejnettet i Danmark. Modelberegninger skal i stedet opfattes som et supplerende værktøj til en skønsmæssig vurdering af luftkvaliteten og vurdering af potentielle overskridelser på steder, hvor der ikke måles.

Det er Miljøstyrelsen, som har det overordnede ansvar for at grænseværdierne for luftkvalitet overholderes i Danmark. Den officielle udmelding om overskridelser af EU's grænseværdier foretages i forbindelse med den årlige rapportering fra Delprogram for Luft under NOVANA (Ellermann et al. 2015). Vurderingen af overskridelserne baseres dels på målingerne fra de danske målestationer, og dels på basis af modelberegninger på udvalgte gader i København og Aalborg, hvor der foretages beregninger, og hvor det er muligt at få tilstrækkeligt gode inputdata fra kommunerne baseret på talt

trafik. Den eneste overskredne grænseværdi er årsmiddelværdien af NO₂, som overskrides på H.C. Andersens Boulevard i København. Overvågningsprogrammet har ikke målestationer langs motorveje, da trafikstationer i de større byer er prioriteret, og tidligere kampagnemålinger ved Køge Bugt Motorvejen og Holbækmotorvejen har kun indikeret mulige overskridelser af NO₂ grænseværdien lige op ad motorvejen men ikke længere væk.

Grænseværdien gælder for udeluft, men ikke på selve kørebanen af statsvejene. Den gælder heller ikke på lokaliteter inden for et område, som offentligheden ikke har adgang til, og hvor der ikke er nogen permanent beboelse. I forbindelse med måling af luftkvaliteten er der forskellige kriterier for placering af målestationer, som har til hensigt at give et udtrykt for befolkningens eksponering dvs. hvor mennesker bor og arbejder og færdes udendørs. Målestationer er placeret i gaderum, bybaggrund (tagniveau i byer) og på landet.

Placering af indikative overskridelser for NO₂ som årsmiddel i 2012 er beregnet som koncentrationer over 40,5 µg/m³. Grænseværdien er 40 µg/m³, som skal være overholdt fra 2010, og betragtes som overskredet, hvis værdien 40,5 er overskredet. Overskridelse af denne beregnede værdi forekommer langs dele af Køge Bugt Motorvejen, Holbækmotorvejen og Motorring 3. Alle overskridelser finder sted i beregningspunkterne 15 m fra vejmidten og kun i nogle få tilfælde på Køge Bugt Motorvejen i en afstand af 37,5 m fra vejmidten. Den højeste beregnede værdi på 54,7 µg/m³ forekommer på Køge Bugt Motorvejen. Det er ikke inden for nærværende projekt undersøgt om der bor mennesker på de steder, hvor beregningerne overskider grænseværdien, men det er sandsynligt at der er tale om få mennesker, da erfaringer fra tidligere undersøgelser af befolkningseksposering langs motorveje i det tidligere Roskilde Amt viste at meget få mennesker bor meget tæt på motorvejene.

Ovenstående indikerer at der sandsynligvis ikke er overskridelser af grænseværdien, hvor mennesker bor langs med statsvejnettet på baggrund af de beregnede årsmiddelniveauer for NO₂. Det er dog vigtigt at holde sig for øje at der er usikkerhed på selve modellen og input data, som kan gøre det vanskeligt at drage klare konklusioner omkring overskridelser, når beregningerne er tæt på niveauet for grænseværdien.

En mere grundig vurdering af om grænseværdien er overskredet kræver mere detaljerede undersøgelser af input data og validering af modellen, og ultimativt målinger over lang tid, da grænseværdien er en årsmiddelværdi.

PM_{2,5}

Den geografiske variation af PM_{2,5} i 2012 er meget forskellig fra NO₂, idet baggrundsforureningen betyder meget, og bidraget fra statsvejnettet betyder mindre. Der ses derfor en tydelig gradient fra syd mod nord med højere koncentrationer i syd og lavere i nord, som er bestemt af baggrundsforureningen, hvor emissionskilder i Centraleuropa bidrager til baggrundsforureningen i Danmark.

Den højeste beregnede værdi er 13,3 µg/m³. Grænseværdien for PM_{2,5} er 25 µg/m³ i 2015, og det er ikke sandsynligt, at denne værdi overskrides, selvom den beregnede baggrundsforurening af PM_{2,5} underestimeres, som sammenligning mellem målinger og beregninger viser.

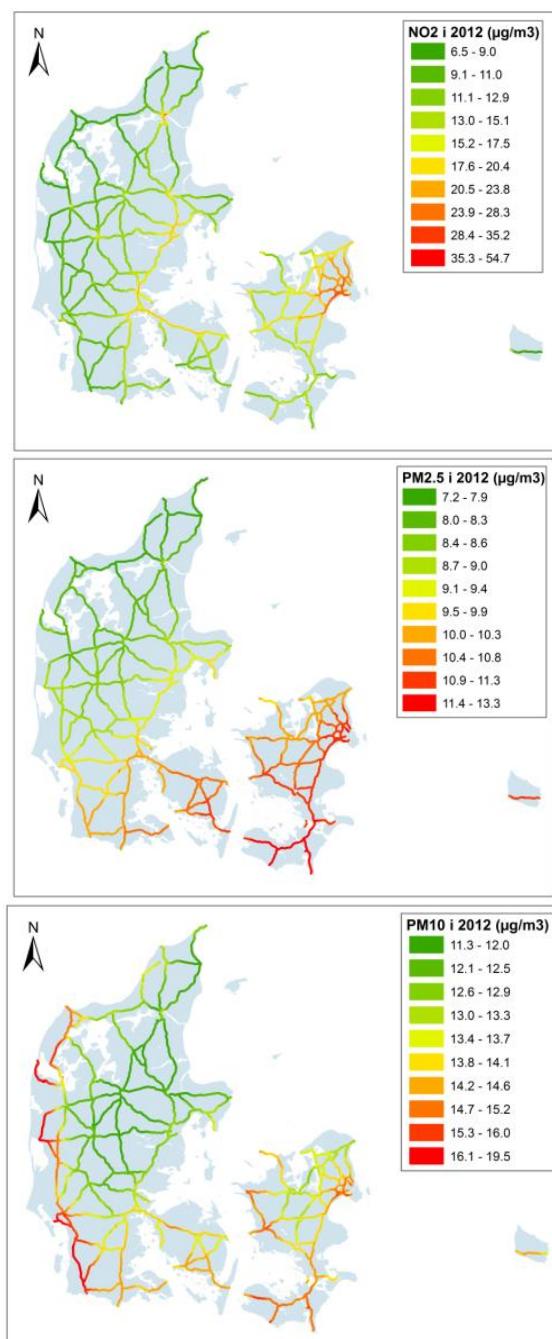
PM₁₀

Den geografiske variation af PM₁₀ i 2012 minder om variationen for PM_{2,5}, men afviger, da PM₁₀ også er væsentligt influeret af havsalt, som bevirker højere koncentrationer langs vest- og sydvendte kyster pga. den dominerende sydvestlige vindretning.

Den højeste beregnede værdi er 19,5 µg/m³. Grænseværdien for PM₁₀ er 40 µg/m³ i 2010, og det er ikke sandsynligt, at denne værdi overskrides, selvom den beregnede baggrundsforurening af PM₁₀ underestimeres, som sammenligning mellem målinger og beregninger viser.

Projektresultater

Den geografiske variation af hhv. NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ i 2012 er vist i nedenstående figur.



Figur 2.1. Geografisk variation af beregnede års middelværdier for hhv. NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ i 2012.

3 Summary in English

Background and aim

The Danish Road Directorate mapped air quality along the motorways and other main roads throughout Denmark with the OML-Highway model during 2014-2015. It is the first time that a national data set of modelled air quality data has been established along the entire state road network. This report describes the results of the assessment, and the methodology and input data used.

The Danish Road Directorate has funded the development and application of OML-Highway, which is a GIS-based tool for calculating air quality along roads in open terrain.

Road authorities may use the nationwide air quality mapping results as a screening tool in connection with EIA studies of road projects and citizens may use the results as an information source on air quality. The Danish Road Directorate will publish the air quality maps at their home page during 2015.

The air quality maps show selected air pollutants related to health effects: Annual mean concentrations in 2012 of NO₂ (nitrogen dioxide), and the mass of particulate matter of PM₁₀ and PM_{2.5}, respectively, the total mass of particles with a diameter less than 10 and 2.5 microns. The calculations are carried out for calculation points in different distances from the road out to a distance of 1000 m where the contribution from the road is less important.

The investigation

The OML-Highway model requires information about the road network with traffic data, background concentrations, meteorological data and calculation points.

The OML-Highway model has an existing tool for generating calculation points along the road network. This tool enables the user to define distances between calculation points perpendicular to the road, and to define the distance between calculation points along the road. In order to improve visualization of the results a supplemental tool has been developed. This tool can visualize the results as coherent buffer zones which the German company Lohmeyer (www.lohmeyer.de) has developed.

The road network is based on vejman.dk which includes all state roads in Denmark. The Danish Road directorate has developed vejman.dk. A new feature the GPS-based travel speed data from SpeedMap from the Danish Road Directorate (<http://speedmap.dk/portal>) has been used. SpeedMap data is associated to a 'Navteq' road network like the Landstrafikmodellen from DTU Transport (a national traffic model). This dataset has a different data model and segmentation than vejman.dk. Therefore, it has been necessary to develop a procedure to associate the travel speeds from SpeedMap to vejman.dk which the company Hermes Traffic Intelligence has developed.

In the calculations, the influence of noise barriers, dams and bridges are not taken into account, as it is difficult to link this data to the road network in such a way that it can be calculated with the OML-Highway, and also because the impact on air quality is limited.

Background concentrations are calculated with the regional air quality model Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM) and a local-scale model Urban Background Model (UBM) with associated emission and meteorological data. Emissions for Denmark are based on the emission model SPREAD which has emissions for Denmark for all sources broken down on $1 \times 1 \text{ km}^2$ grid cells. Models and data are developed by AU/DCE.

The calculations are carried out in the following way. The starting point is calculated background concentrations for the centre point of a $1 \times 1 \text{ km}^2$ grid from DEHM/UBM. This constitutes the background concentration for a given road segment of the road network. Emissions from the state roads have not been included in these background calculations to avoid double-counting of emissions from roads. Next, the OML-Highway model is used to calculate the contribution from the road to the calculation points along the road. The nearest located background concentrations are added to concentrations of the calculation points.

For non-reactive substances such as NO_x , $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} , the above calculation procedure can be carried out without adjustments. NO_x includes NO and NO_2 . Since NO_2 is part of photochemistry, there is not a linear relationship between NO_x and NO_2 , and the NO_2 contribution from the state roads are therefore calculated using a simplified chemistry model, which is based on annual mean of NO_x , NO_2 and ozone concentrations as well as information about the directly emitted NO_2 emissions from traffic.

Main Conclusions

The geographical variation of NO_2 in 2012 is as expected with the highest concentrations on the busiest motorways but the influence of background concentrations from the larger cities is also seen e.g. in the Copenhagen Area and in Aalborg.

The purpose of the mapping of air quality along the state road network is to describe the geographic variation, and can be considered a screening of air quality. The uncertainty can be considerable on single results due to uncertainty in input data and also due to the general uncertainty of the air quality models.

The aim is *not* to try to calculate the number of exceedances of the limit value along with state road network in Denmark for NO_2 . Model calculations should be seen as a complementary tool for preliminary assessment of ambient air quality and assessment of potential exceedances in locations where there are no measurements.

It is the Danish EPA which has the overall responsibility for compliance with the limit values for air quality in Denmark. The official announcement of exceedances of the limit values is done in the annual reporting from the Sub-program on air quality under the NOVANA program (Ellermann et al. 2015). The assessment of exceedances is based on measurements from the Danish monitoring stations, and partly on the basis of model calculations for selected urban streets in Copenhagen and Aalborg, which calculations are made, and where it is possible to get quality assured input data from the municipalities about traffic. The only limit value that is exceeded is the annual mean of NO_2 which is exceeded on H.C. Andersens Boulevard in Copenhagen.

The limit value does not apply for the carriageway of roads, but where people are staying e.g. where people live and work.

There are no air quality monitor stations along motorways since traffic stations in the larger cities are prioritized. Furthermore, former air quality campaigns at the Køge Bugt Motorway and the Holbæk Motorway have only indicated possible exceedances of the NO₂ limit value very close to the motorway.

The limit value is 40 µg/m³ for annual NO₂ in 2010. An exceedance is considered if the value of 40.5 is exceeded. The location of indicative exceedances of the NO₂ annual mean in 2012 has been identified. Exceedances of this value occur along parts of Køge Bugt Motorway, Holbæk Motorway and Motorway Ring 3. Almost all exceedances occur in the calculation points of 15 m from the centre line of the road and only a few cases at the Køge Bugt Motorway also at distances of 37.5 m from the centre line of the road. This is in areas where it is likely that no or very few people live and the limit value is therefore likely not exceeded. The highest calculated value is 54.7 µg/m³ and occurs at the Køge Bugt Motorway.

The geographical variation of PM_{2.5} in 2012 is very different from NO₂ since background concentrations dominate, and the contribution from the state roads contribute less. There is a clear gradient from south to north in Denmark with higher concentrations in south and lower in north due to the contribution from emission sources in Central Europe.

The highest calculated value is 13.3 µg/m³. The limit value for PM_{2.5} is 25 µg/m³ in 2015, and it is not likely that this limit value is to be exceeded even if the calculated background concentration of PM_{2.5} is underestimated, as comparisons between measurements and calculations show.

The geographical variation of PM₁₀ in 2012 is similar to the variation of PM_{2.5} except that PM₁₀ is also significantly influenced by sea salt, which causes higher concentrations along west and south-oriented coast areas due to the dominant southwest wind direction.

The highest calculated value is 19.5 µg/m³. The limit value for PM₁₀ is 40 µg/m³ in 2010, and it is not likely that this value will be exceeded even if the calculated background concentrations of PM₁₀ are underestimated, as comparisons between measurements and calculations show.

Project Results

The geographical variations of NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ in 2012 are shown in the below figure.

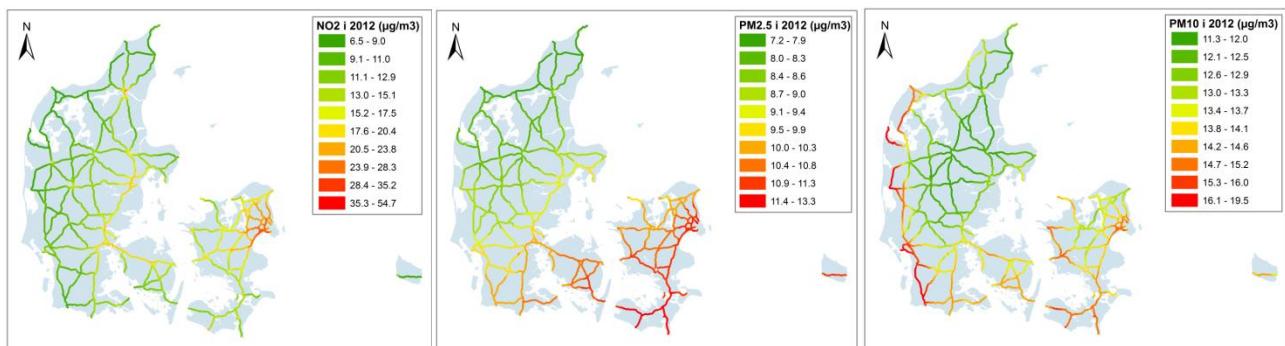


Figure 3.1. Geographical variation of calculated annual means of NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀ in 2012.

4 Metode og datagrundlag

I dette kapitel beskrives metode og datagrundlag for beregningerne af luftkvaliteten langs med statsvejnettet. Der gives først en kort beskrivelse af OML-Highway modellen, som kræver information om vejnettet med trafikdata, baggrundskoncentrationer, meteorologi samt beregningspunkter.

4.1 OML-Highway modellen

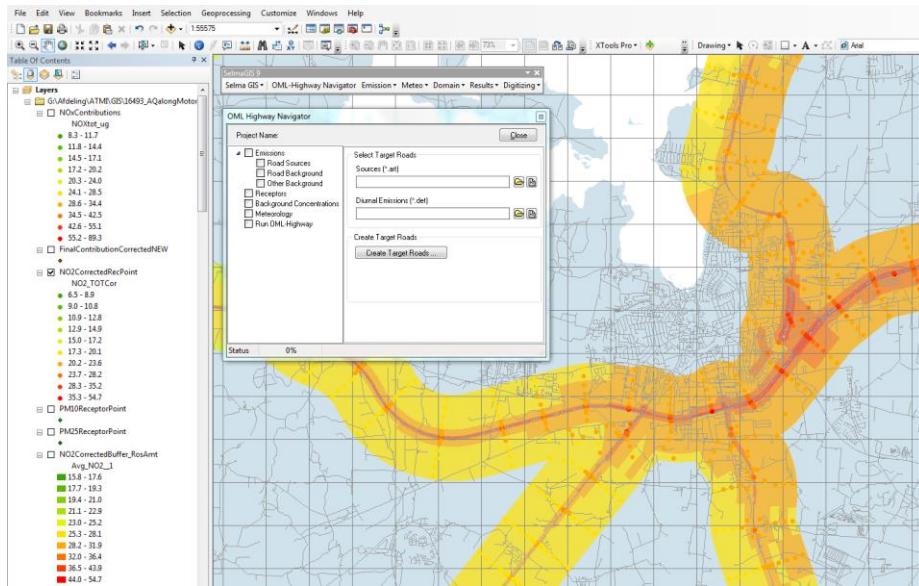
OML-Highway er en gaussisk lokalskala spredningsmodel specielt udviklet til at beskrive spredning af luftforurening langs med veje i åbnet terræn (www.au.dk/OML-Highway). OML-Highway er baseret på OML modellen (Olesen et al. 1992;2007), som bl.a. benyttes til vurdering af luftkvalitet fra punktkilder i forbindelse med miljøgodkendelser. OML modellen blev modificeret, således at den tager hensyn til forholdene for veje i åbent terræn ved at integrere og videreudvikle en beskrivelse af trafikskabt turbulens, som stammer fra gadeluftkvalitetsmodellen Operational Street Pollution Model (OSPM) (Berkowicz 2000a).

OML-Highway modellen er detaljeret beskrevet og evaluert i forhold til målinger langs med Køge Bugt Motorvejen (Jensen et al. 2004), og den har tidligere været anvendt til kortlægning af koncentrationsniveauer langs hele motorvejsnettet i det tidlige Roskilde Amt (Jensen et al. 2005a,b). Der er endvidere foretaget en evaluering af OML-Highway modellen baseret på danske målinger (Køge Bugt Motorvejen) og norske målinger samt en sammenligning med andre spredningsmodeller, som anvendes i de nordiske lande for motorveje (Berger et al. 2010). I denne evaluering havde OML-Highway modellen en højere korrelation med målingerne end de andre modeller, som indgik i evalueringen. Der har endvidere været gennemført en målekampagne på Holbækmotorvejen med det formål at bestemme og evaluere emissionsfaktorer for partikelemission (PM_{10} og $PM_{2.5}$ – partikler under hhv. 10 og 2,5 mikrometer) (Ellermann et al. 2009). Den samme målekampagne fra Holbækmotorvejen har også været brugt til at sammenligne målinger af gasser og partikelforurening med en trafikeret bygade i København - H.C. Andersens Boulevard (Wang et al. 2010).

GIS-baseret brugerflade

OML-Highway har en brugerflade baseret på Geografiske Informationssystemer (GIS), se figur 4.1.

OML-Highway er blevet integreret i SELMA^{GIS}, som er udviklet af det tyske firma Lohmeyer. SELMA^{GIS} er baseret på ESRI's ArcGISTM, som er et standard GIS program. ArcGISTM muliggør programmering af såkaldte extensions, således at man kan tilføje sin egen brugerflade til ArcGISTM. SELMA^{GIS} med OML-Highway modellen er programmeret som en sådan udvidelse.



Figur 4.1. Hovedmenuerne i brugerfladen til OML-Highway samt eksempel på en dialogboks i brugerfladen til OML-Highway.

Egenskaber

Brugergrænsefladen i GIS er opbygget således, at der kun behøves få inputdata for at kunne køre OML-Highway modellen. Modellen tager sig af mange mellemliggende beregninger og omformateringer af inputdata.

Koblingen af OML-Highway med GIS er en kombination, der gør det muligt at bruge GIS til at udvælge, visualisere og analysere input og outputdata. Med brug af GIS kan der oprettes beregningspunkter langs veje, og input- og outputdata kan kobles til med øvrige data som fx luftfotos, bygningsomrids, befolkningsdata mv. GIS giver også fleksibilitet i håndtering af data fx til at udvælge beregnings- og baggrundsveje, fastsætte beregningspunkter og danne gitternet til emissionsberegninger.

OML-Highway indeholder også rutiner, som kan generere emissionsdata fra trafikken.

VVM vurderinger og vejledning i luftkvalitetsvurderinger

I løbet af 2011 har OML-Highway været anvendt til luftkvalitetsvurderinger i forbindelse med VVM-vurderinger for: udvidelse af motorvejen ved Odense Syd (Jensen et al. 2011a), ny 3. Limfjordsforbindelse (Jensen et al. 2011a;2012) og nye motorvejs- og motortrafikstrækninger på rute 26 mellem Aarhus og Viborg (Jensen et al. 2011c).

I 2014 udgav Vejdirektoratet endvidere en vejledning i luftkvalitetsvurdering langs motorveje. Vejledningen bygger på de erfaringer, der hidtil er gjort med OML-Highway og VVM-vurderinger (Jensen et al. 2013).

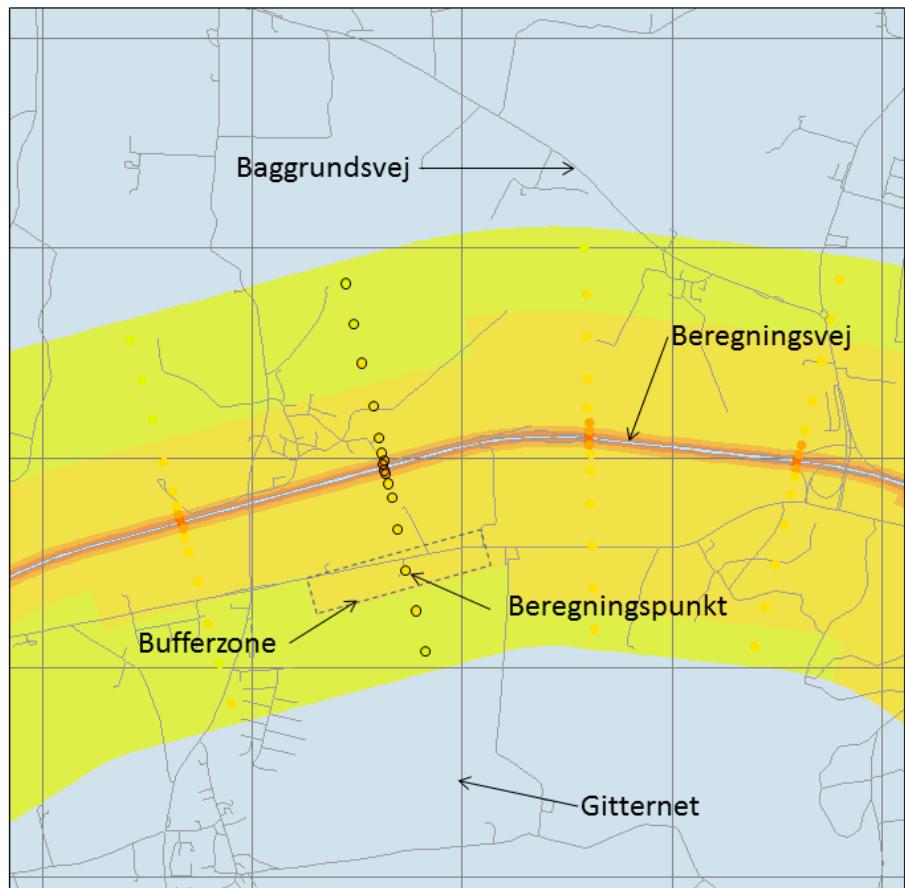
Beregningsveje og baggrundsveje

Alle vejstrækningerne skal underopdeles i beregningsveje og baggrundsveje, se figur 4.2.

Beregningsveje er strækninger, hvor trafikemissionen bliver beregnet og placeret geografisk for hver delstrækning, og det er muligt at generere beregningspunkter langs disse strækninger med værktøjer indbygget i OML-

Highway. I forbindelse med kortlægningen af luftkvalitet udgør hele statsvejnettet beregningsvejene.

Baggrundsveje er strækninger, hvor OML-Highway kan beregne aggregerede trafikemissioner på et gitternet, som brugeren specificerer, fx $1\text{ km} \times 1\text{ km}$. I forbindelse med kortlægningen af luftkvalitet er denne funktionalitet dog ikke anvendt. Hvordan øvrige emissioner fra andre kilder end trafik indgår i beregningerne er nærmere beskrevet i afsnit 4.5 under baggrundskoncentrationer.



Figur 4.2. Illustration af beregningsveje og baggrundsveje. Beregningsvejene er veje, hvor der ønskes luftkvalitsberegninger langs vejene i forskellige afstande af vejene. Beregningsvejene er i dette tilfælde en motorvej, hvor hver retning er digitaliseret som enkeltstrækninger. Beregningspunkter langs beregningsvejene er også illustreret. En bufferzone er en firkant med beregningspunktet i centrum heraf, som gør at den beregne koncentration i beregningspunktet kan visualiseret som en farvet firkant.

4.2 Beregningspunkter

Beregningspunkter, også kaldet receptorpunkter, er punkter, hvor koncentrationen af forskellige luftforurenninger beregnes. Der er funktionaliteter i OML-Highway, som kan generere beregningspunkter på en række forskellige måder.

Det influensområde, som bør dækkes, er - på samme måde som trafikstøj - alle boliger, som er beliggende inden for en afstand af 1.000 m fra beregningsvejene. I afstande over 1.000 m er der kun en mindre indflydelse af emissioner fra vejen. Afstanden mellem beregningspunkter indbyrdes på langs af vejen er ligeledes valgt til 1000 m. Bufferzonerne har derfor som udgangspunkt en længde på 1000 m i kortlægning, men kan være kortere af-

hængig af hvordan vejlinjerne er fx hvor veje krydser, hvor vejen svinger, i udfletringer mv.

De forskellige afstande fra motorvejen, som indgår i luftkvalitetskortlægningen fremgår af tabel 4.1. Bufferafstanden er mindst tæt på vejen og større længere væk fra vejen for at afspejle at koncentrationerne aftager relativt hurtigt med afstanden. Bufferzoner beskrives i næste afsnit.

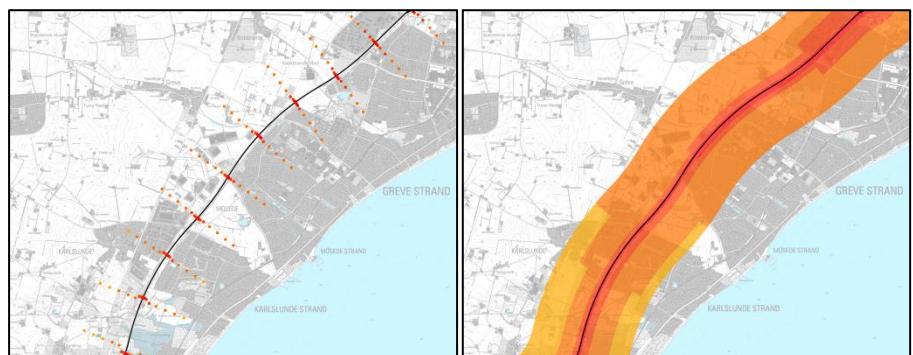
Tabel 4.1. Afstande fra statsvej til beregningspunkter

Afstand (m)	Repræsentativ for buffer (m)
15	5-25
37.5	25-50
75	50-100
150	100-200
300	200-400
500	400-600
700	600-800
900	800-1000

Udvikling af værktøj til visualisering af bufferzoner

OML-Highway har et eksisterende værktøj til generering af beregningspunkter langs vejnettet, hvor brugeren kan definere afstande mellem beregningspunkter vinkelret på vejstrækningen, og med hvilken afstand beregningspunkter skal dannes langs vejstrækningen. For at forbedre visualiseringen af resultaterne i forbindelse med luftkvalitetskortlægningen er der udviklet et supplerende værktøj, som kan visualisere resultaterne som sammenhængende bufferzoner, hvilket det tyske firma Lohmeyer (www.lohmeyer.de) har stået for.

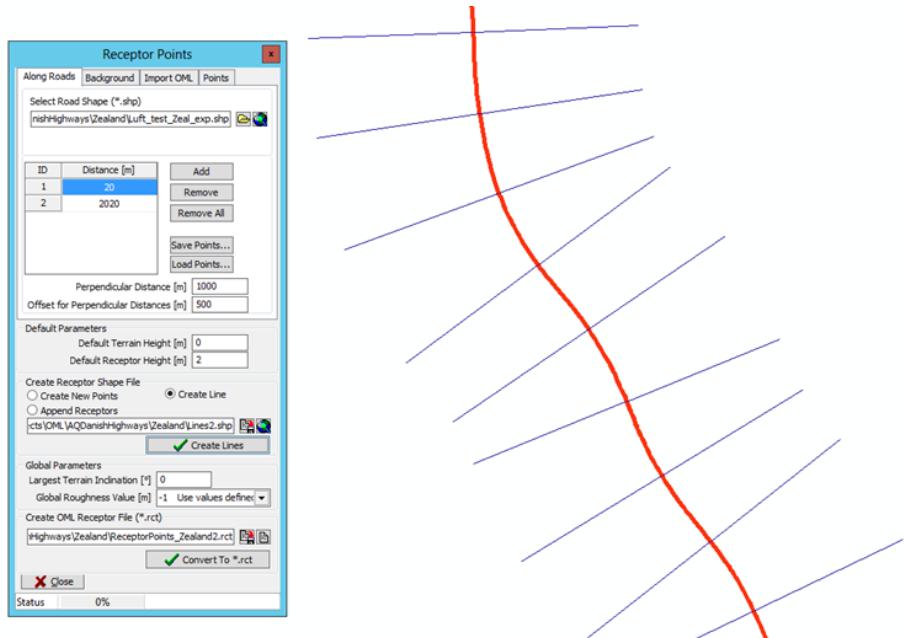
Resultatet heraf er illustreret i figur 4.3, hvor venstre del af figuren viser beregningspunkter og højre side viser tilsvarende sammenhængende bufferzoner.



Figur 4.3. Visualisation of OML-Highway koncentrationer. Til venstre som beregningspunkter, og til højre som bufferzoner, hvor midtpunktet i bufferzonen er beregningspunktet.

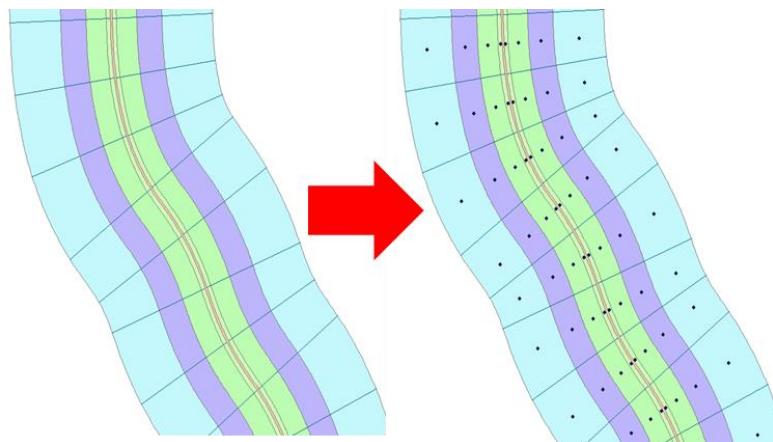
For at kunne generere disse bufferzoner er der udviklet et lille værktøj i brugerfladen til OML-Highway, hvor brugeren kan danne nogle støttelinjer vinkelret på vejen vha. funktionen "Create line", se figur 4.4. Den indbyrdes afstand og deres afstand fra vejen kan specificeres. Endvidere kan specifice-

res et "offset". Dvs. en forskydning fra vejen, som muliggør at bufferzoner efterfølgende ikke dannes lige oven i vejen.



Figur 4.4. Ved hjælp af menuen til beregningspunkter er det muligt at oprette linjer vinkelret på beregningsveje. Disse linjer kan efterfølgende blive brugt til at danne bufferzoner vha. en række standard værkstøjer i ArcMap værkøjer.

Herefter følger en manuel proces, hvor en række ArcMap værkøjer anvendes for at nå det ønskede resultat. Bufferzoner dannes med ArcMap værkøjet *Multiple Ring Buffer* efterfulgt af værkøjet *Split Polygons*, hvor det dannede støttelinjetema udnyttes til at skære bufferringene over. Herefter anvendes værkøjet *Multipart to Singlepart* for at opnå individuelle bufferzone-polygoner. Værktøjet *Feature to point* bruges til at danne beregningspunkter i midten af de individuelle bufferzoner. Disse beregningspunkter anvendes i OML-Highway til luftkvalitetsberegninger og kan efterfølgende knyttes til de individuelle bufferzoner. Proces og resultat er visualiseret i figur 4.5.



Figur 4.5. Bufferzoner langs beregningsveje og beregningspunkter danner inden for hver bufferzone. Beregningspunkt og bufferzone har samme luftkvalitetsværdi.

4.3 Vej- og trafikgrundlag

I dette afsnit beskrives vejnettet og de trafikdata, som bruges i OML-Highway beregningerne.

Vejnet

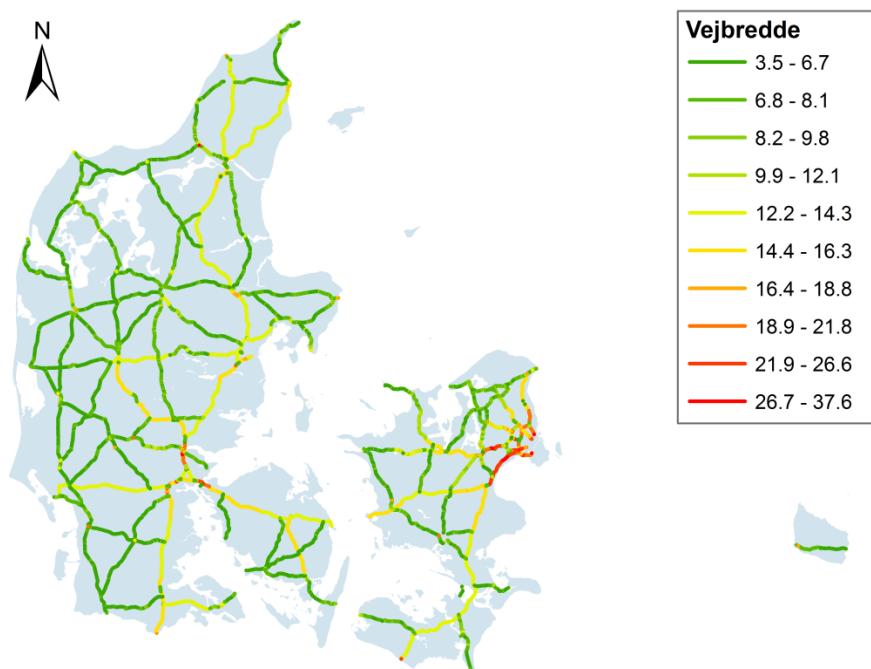
Vejnettet er baseret på vejman.dk, som omfatter alle statsveje. Vejdirektoralet er vejmyndighed for disse veje. Som noget nyt er der anvendt GPS baseret rejsehastighedsdata fra SpeedMap fra Vejdirektoratet (<http://speedmap.dk/portal>). SpeedMap ligger på Navteq vejnettet ligesom Landstrafikmodellen fra DTU Transport, som har en anden datamodel og segmentering end vejman.dk. Det har derfor været nødvendigt at udvikle et udtræksprogram, som knytter rejsehastigheder fra SpeedMap til vejman.dk, hvilket firmaet Hermes Traffic Intelligence har stået for.

Vejnettet er enkelt digitaliseret, dvs. at motorveje er repræsenteret som en enkelt vejlinje. Vejnettet repræsenterer situationen i 2013 og med trafik fra samme år. Datasættet indeholder 16.843 vejsegmenter (rekords).

Vejnettet og tilhørende trafikdata er kvalitetsikret, og i tilfælde af manglende data eller åbenlyse outliers er data erstattet med sandsynlige værdier for tilstødende veje.

Kørebanebredde

Kørebanebredden på vejnettet er vist i figur 4.6.



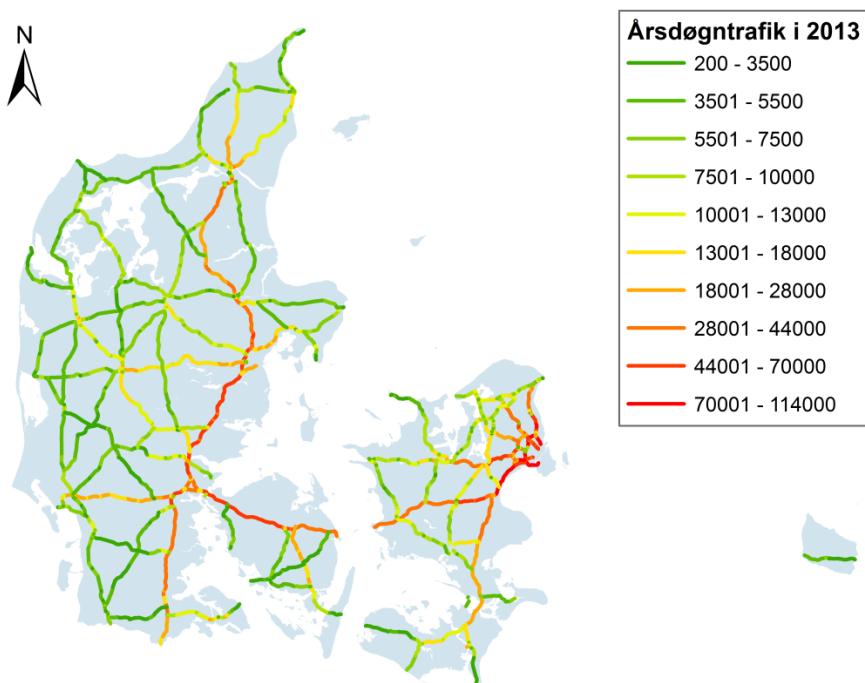
Figur 4.6. Kørebanebredden i meter på statsvejnettet i 2013.

Som beskrevet tidligere dannes beregningspunkter i en fast afstand fra vejmiden defineret af brugeren, hvor mindste afstande i dette kortlægningseksempel er på 15 m. For vejbredder over 30 meter betyder det, at beregningspunktet er på kørebanen, hvilket ikke er hensigtsmæssigt. Den bredeste vej er 37,6 m.

Det ville være en fordel, hvis det værkstøj, som danner beregningspunkter, blev videreudviklet til at danne beregningspunkter, som blev specificeret i forhold til vejkanten. Hvis beregningspunkterne var i forhold til vejkanten ville beregnede koncentrationer være direkte sammenlignelige mellem vejstrækninger med forskellige vejbredder.

Årsdøgntrafik

Årsdøgntrafikken (ÅDT) dvs. den gennemsnitlige døgntrafik over et år, er vist i figur 4.7. ÅDT repræsenterer 2013.



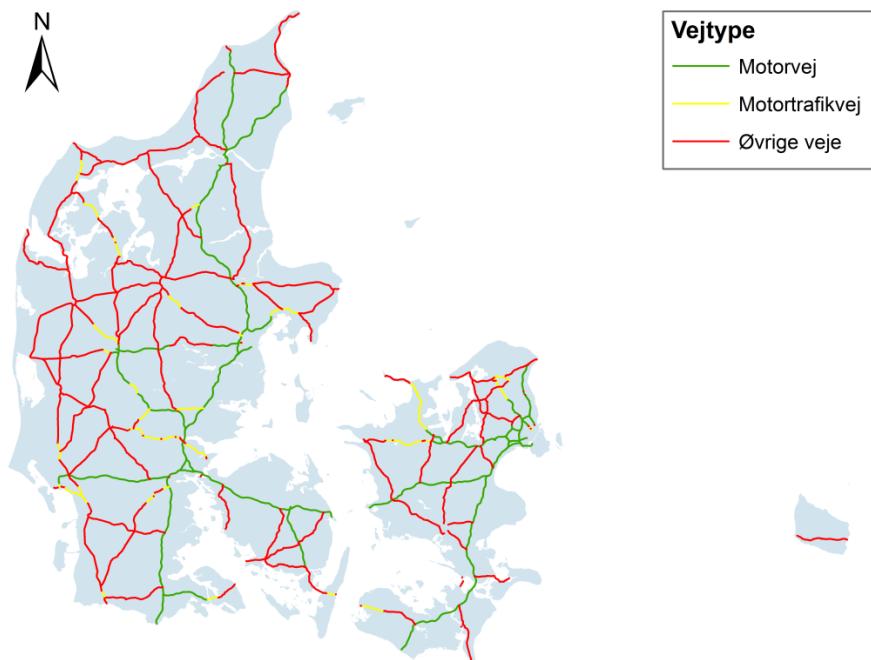
Figur 4.7. Årsdøgntrafikken i 2013 på statsvejnnettet.

Døgnfordeling

Oplysninger om trafikkens døgnvariation er nødvendig for kunne beregne emission på timebasis og dermed koncentrationer på timebasis. I OML-Highway er dette baseret på standard-døgnfordelinger af trafikken afhængig af vejtype. Dette er døgnfordelinger for de forskellige køretøjskategorier underopdelt på mandag-torsdag, fredage, lørdage og søndage samt yderligere underopdelt på juli samt måneder uden for juli. Dette er parallelt til Operational Street Pollution Model (OSPM), som benyttes til beregning af luftkvalitet for byveje. Der er 8 forskellige vejtyper baseret på typiske byveje i Danmark (A-H), (TetraPlan 2001).

På statsvejnnettet er der kun motorveje, motortrafikveje og øvrige veje (antaget at svare til veje over 6 meter). For motorveje og motortrafikveje er disse antaget at svare til type B (dvs. "Gennemfartsveje i storby") og veje over 6 meter til type F (dvs. "Indfaldsveje til store byer"). Vejtyperne er vist i figur 4.8.

Der er mindre forskelle mellem de forskellige døgnfordelinger og forskellene har lille betydning for beregnede årsmiddelværdier, som er i fokus i kortlægningen af luftkvalitet langs statsvejnnettet. Der er derfor benyttet type F for alle veje, som er yderligere begrundet i, at døgnfordelingstype også indgår i beskrivelsen af køretøjsfordeling, hvor der er nogle tekniske begrænsninger i hvor mange døgnfordelingstyper, der kan opereres med, hvis man samtidig ønsker stor spredning i andelen af tunge køretøjer (tungandel) og rejsehastigheder, se efterfølgende afsnit.



Figur 4.8. Vejtyper på statsvejnættet i 2013.

Køretøjsfordeling

Emissionsbeskrivelsen for de enkelte vejsegmenter i OML-Highway afhænger bl.a. af en kombination af døgnfordelingstype, tungandel og rejsehastighed. Tungandel er andelen af tunge køretøjer dvs. lastbiler og busser typisk angivet i procent. Tungandel og rejsehastighed er givet i hhv. vejman.dk og SpeedMap.

Døgnfordelingstype er fastsat til type F for alle veje. De forskellige døgnfordelingstyper har lille forskel på årsmiddelkoncentrationer.

Mulige tungandele er fastsat til 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, og 30. Der er her valgt en stor variation i tungandel, da dette har væsentlig indflydelse på emissionen.

Mulige rejsehastigheder er fastsat til 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 og 120 km/t. Der er valgt en stor variation i rejsehastighed, da dette har væsentlig indflydelse på emissionen.

Dette giver i alt 181 kombination af døgnfordelingstype, tungandel og rejsehastighed, som er tæt på grænsen af mulige kombinationer, som tillades (200 kombinationer).

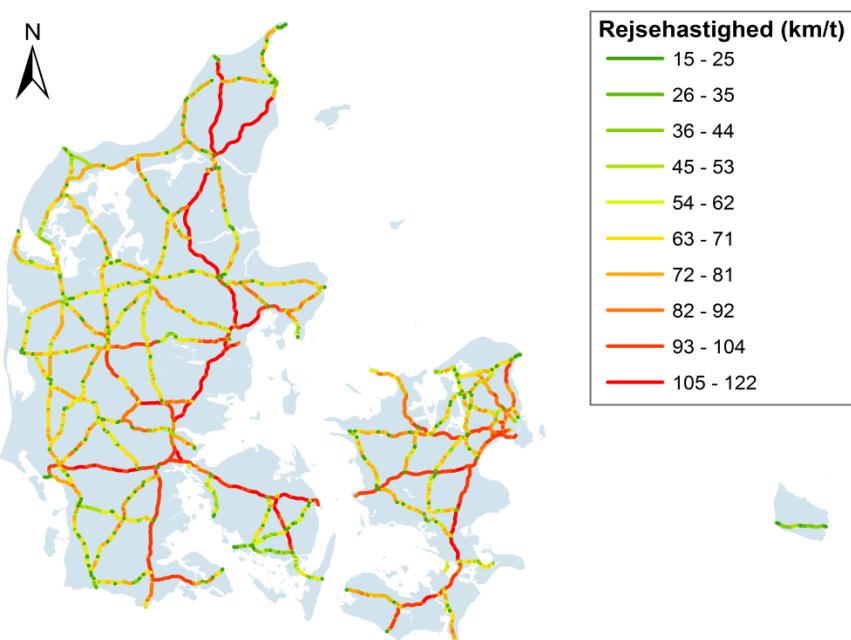
Andelen af person- og varebiler beregnes som 100% minus tungandel for det pågældende vejsegment. Dvs. ved en tungandel på 10% er andelen af person- og varebiler tilsammen 90%. Forholdet mellem andelen af personbiler og varebiler bestemmes af døgnfordelingstypen. For type F er det forholdet 79,69%/11,88%. I det givne eksempel bliver andelen af personbiler $79,69\%/(79,69\%+11,88\%)*90\% = 78,32\%$ og andelen af varebiler bliver tilsvarende $11,88\%/(79,69\%+11,88\%)*90\% = 11,68\%$.

Af emissionshensyn skal tungandelen yderligere opsplittes i lastbiler < 32t, lastbiler ≥ 32 ton og busser. Denne information findes i døgnfordelingensfilen, fx type F.

Rejsehastighed

Rejsehastigheder er GPS-baserede rejsehastighedsdata fra SpeedMap fra Vejdirektoratet (<http://speedmap.dk/portal>). Rejsehastigheden er gennemsnitshastigheden over en strækning. For vejman.dk er vejsegmenterne relativt korte, men analyser viser, at der er mange observationer på selv korte vejsegmenter. Rejsehastigheden afspejler hverdage for den lette trafik af person- og varebiler, hvilket også er input til OML-Highway. I modellen ligger der via standard døgnfordelinger antagelser om den tunge trafiks hastighed afhængig af rejsehastigheden for den lette trafik. Rejsehastighedsdata repræsenterer 2013.

Der er fastsat en minimums rejsehastighed på 15 km/t for ikke at få urealistiske lave hastigheder med høje emissioner.



Figur 4.9. Rejsehastigheder på statsvejnnettet i 2013.

4.4 Emission

Emissioner fra statsvejnnettet (beregningsvejene) er baseret på den officielle EU-emissionsmodel COPERT IV (version 9) (EEA 2007), som anbefales af EU til nationale emissionsopgørelser, og som er integreret i OML-Highway. Det er det samme emissionsmodul, som er integreret i OSPM. Dette muliggør fuld udnyttelse og konsistens med emissionsmodulet i OSPM, som løbende opdateres.

COPERT IV-emissionsmodellen beskriver emissionen fra vejtrafik ud fra køretøjskategori, emissionsklasse og brændstoftype. Emissionen er endvidere afhængig af rejsehastigheden, andelen af koldstartede biler (forhøjet emission ved kold motor), og forværrelselsfaktorer (fx falder effektiviteten af katalysatorer med alderen). Emissionsmodulet implementeret i OML-Highway inkluderer: NO_x, CO, benzen, PM₁₀, PM_{2.5} og partikelantal. Direkte NO₂ andele (andel af NO_x-emission, som udsendes som NO₂) er også implementeret i emissionsmodulet, og giver NO₂ andele for de forskellige køretøjskategorier og emissionsklasser.

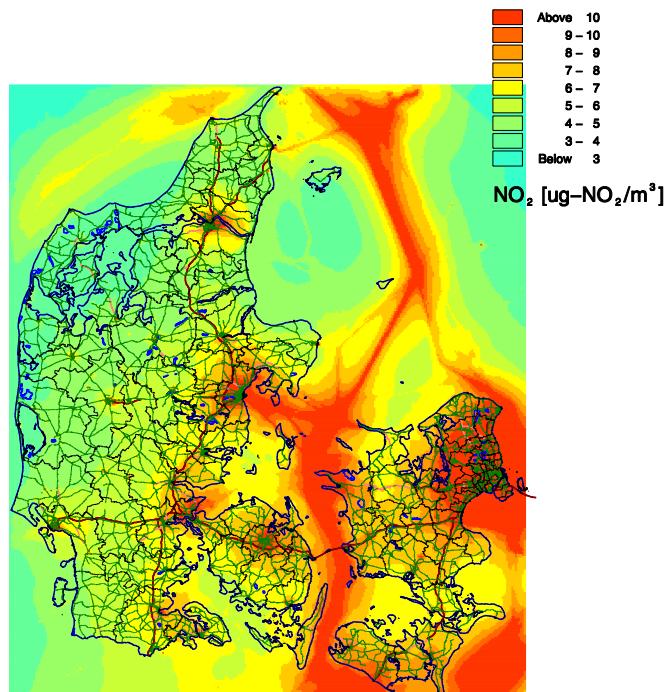
Emissionsforholdene repræsenterer 2012.

4.5 Baggrundskoncentrationer

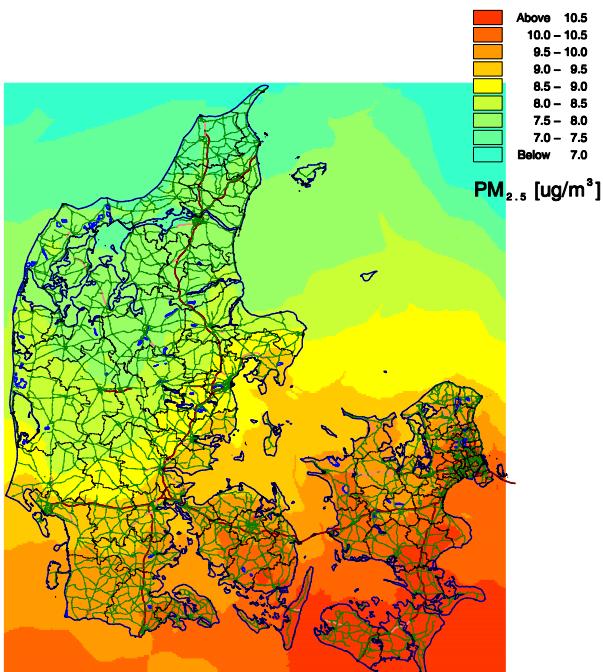
OML-Highway modellen har brug for baggrundskoncentrationer. I en typisk anvendelse af OML-Highway til VVM vurderinger vil baggrundskoncentrationerne repræsentere randbetingelserne for den pågældende vejstrækning og indgå direkte i beregningerne af koncentrationen for beregningspunkter langs beregningsveje sammen med bidrag fra beregnings- og baggrundsveje og evt. øvrige emissionskilder.

I forbindelse med kortlægning af luftkvaliteten langs hele statsvejnettet er der valgt en anden tilgang. Baggrundskoncentrationer varierer over Danmark. Det vil derfor indebære en betydelig usikkerhed, hvis der blot blev antaget én baggrundskoncentration til at repræsentere hele Danmark eller flere til at repræsentere forskellige regioner. Det er derfor valgt at basere baggrundskoncentrationer beregnet på et $1 \times 1 \text{ km}^2$ gitternet for Danmark, hvor beregningspunktet er i midten af en gittercelle ved brug af luftkvalitetsmøllerne DEHM og UBM, som er samme modelsetup som benyttes i luftovervågningsprogrammet NOVANA (Ellermann et al. 2015). Baggrundskoncentrationer repræsenterer 2012.

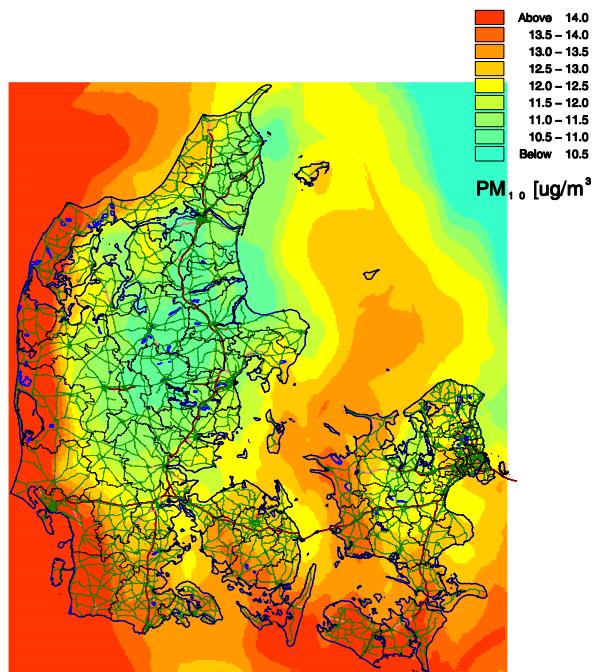
Nedenstående figur 4.10-4.12 viser den geografiske fordeling af baggrundskoncentrationer beregnet med DEHM/UBM. Bemærk at koncentrationer også er visualiseret over vandområder.



Figur 4.10. NO_2 baggrundskoncentrationer i 2012



Figur 4.11. PM_{2.5} baggrundskoncentrationer i 2012.



Figur 4.12. PM₁₀ baggrundskoncentrationer i 2012.

For NO₂ er det tydeligt, at det er de lokale kilder (især trafik), som betyder meget, og byerne og større transportkorridorer ses tydelig. For PM_{2.5} er der et andet mønster, idet der er en tydelig gradient fra syd mod nord, da PM_{2.5} for en stor del er langtransporteret. For PM₁₀ ses svagt den samme syd mod nord gradient som for PM_{2.5}, men ellers er det bidraget fra havsalt, som træder tydeligt igennem, med høje PM₁₀ koncentrationer i Vestjylland og Vestsjælland.

DEHM-UBM

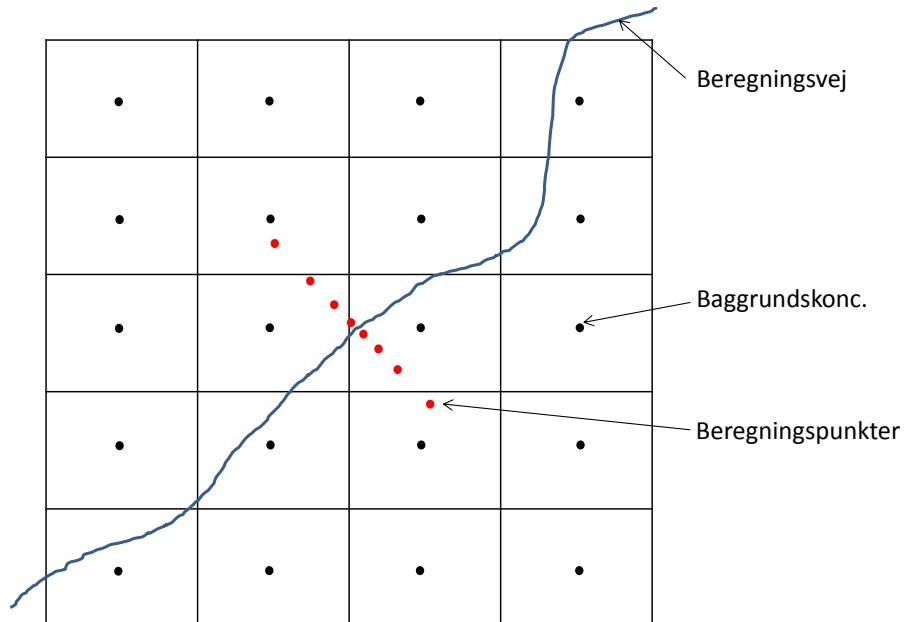
Baggrundskoncentrationerne er beregnet med den regionale model Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM) og bybaggrundsmodellen Urban Background Model (UBM) for alle 1x1 km² gitterceller i Danmark, hvor der er beregningspunkter langs statsvejnætten.

Den regionale luftforurening beregnes med Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM) (Christensen, 1997; Brandt et al. 2012) som input til en bybaggrundsmodel. Den regionale baggrund repræsenterer koncentrationerne i landområder. Modellen beregner koncentrationen af 9 partikelkomponenter og 58 gasser, herunder NO_x, NO₂, O₃, CO, SO₂, NH₃, VOC, mv. Den totale PM_{2.5} og PM₁₀ i DEHM modellen består af summen af de følgende stoffer: primært emitteret mineralsk støv, sod (black carbon (fresh (friske) og aged (ældede)), organisk kulstof, og de sekundære uorganiske partikler i form af sulfater og nitrater (H₂SO₄, NO₃⁻, NH₄NO₃, NH₄HSO₄ og (NH₄)₂SO₄) samt havsalt. Der justeres for sekundære organiske partikler (SOA), som ikke er fuldt ud inkluderet i modellen ligesom i tilsvarende regionale modeller (mass-closure problem). Der anvendes modellerede meteorologiske data fra den meteorologiske model MM5v3 og emissionsdata fra en række europæiske og globale emissionsopgørelser, da modellen dækker den nordlige halvkugle.

Bybaggrundsforurenningen repræsenterer den generelle forurening i byerne eller på landet og bidraget fra lokale emissionskilder, som er beregnet med

Urban Background Model (UBM) (Berkowicz, 2000b; Brandt et al. 2003). DEHM- og UBM-beregningerne foregår i en koblet proces, således at UBM-modellen får input om beregnede opstrøms regionale koncentrationer tids for tids fra DEHM. Modellen inkluderer simpel fotokemi (NO_x , NO_2 , O_3) og øvrige stoffer, som ikke indgår heri, spredes blot. For Danmark benyttes SPREAD-emissionsmodellen (Plejdrup & Gyldenkærne 2011), som anvender forskellige geografiske fordelingsmetoder til at fordele den nationale emissionsopgørelse på $1 \times 1 \text{ km}^2$ oplosning for hele Danmark. Dette datasæt indeholder alle kilder som trafik, energi, industri, boligopvarmning, landbrug mv.

Beregningstilgangen er skitseret i figur 4.13.



Figur 4.13. Baggrundskoncentrationer fra DEHM-UBM på $1 \times 1 \text{ km}^2$ gitternet (sorte prikker) og beregningspunkter (røde prikker) langs beregningsvej.

Vejemissioner indgår i SPREAD, dvs. emissioner fra både statsvejnættet og kommunevejnættet. For at undgå dobbelttælling af vejemissioner bør emissioner fra statsvejnættet først trækkes ud af SPREAD, før bidraget fra statsvejnættet til beregningspunkter langs statsvejnættet beregnes. Dette gælder kun for $1 \times 1 \text{ km}^2$ gitterceller, som er inden for 1 km af statsvejnættet. Dette blev først forsøgt men førte til tilfældige resultater, hvor emissionerne kunne blive negative i en gittercelle. Det skyldes, at SPREAD er baseret på en top-down tilgang, hvor den nationale emissionsopgørelse fordeles geografisk, mens emissioner beregnet med OML-Highway er en bottom-up tilgang.

Det er derfor valgt at undgå dobbelttælling af emissioner fra vejtrafik ved at ekskludere vejtrafikemissioner fra SPREAD emissionerne i beregningerne af baggrundskoncentrationerne. Dette gælder kun for $1 \times 1 \text{ km}^2$ gitterceller, som er inden for 1 km af statsvejnættet. Dette ekskluderer både emissioner fra både statsvejnættet og kommunevejnættet, og da bidraget efterfølgende kun lægges til for statsvejnættet introduceres en underestimering af baggrundskoncentrationer, da bidraget fra kommuneveje ikke indgår. Denne underestimering vurderes dog at være lille i langt de fleste tilfælde, da statsvejene vil udgøre langt det største emissionsbidrag i langt de fleste gitterceller. I byområder med betydelige kommunale veje tæt på statsvejnættet vil underestimeringen være størst.

Herefter er bidraget fra vejstrækningen til beregningspunkter langs vejstrækningen blevet beregnet med OML-Highway. For beregningspunkter langs statsvejene benyttes den nærmest placeret baggrundskoncentration til at repræsentere baggrundskoncentrationen for det pågældende beregningspunkt, hvor bidraget fra statsvejene lægges til vha. OML-Highway.

Korrektion af NO₂

For ikke-reaktive stoffer som NO_x, PM_{2,5} og PM₁₀ kan ovenstående beregninger gennemføres uden justeringer. NO_x består af NO og NO₂. Da NO₂ indgår i fotokemi er der ikke en lineær sammenhæng mellem NO_x og NO₂, og NO₂ ved beregningspunkterne er derfor beregnet ud fra en metode opstillet af Düring et al. (2011). Det er en simplificeret kemimodel, som er baseret på årsmiddel af NO_x for beregningspunkt og baggrundskoncentrationspunkt, NO₂ og ozon for baggrundskoncentrationspunkt samt oplysninger om andelen af direkte NO₂ emissioner af NO_x emissioner fra trafikken.

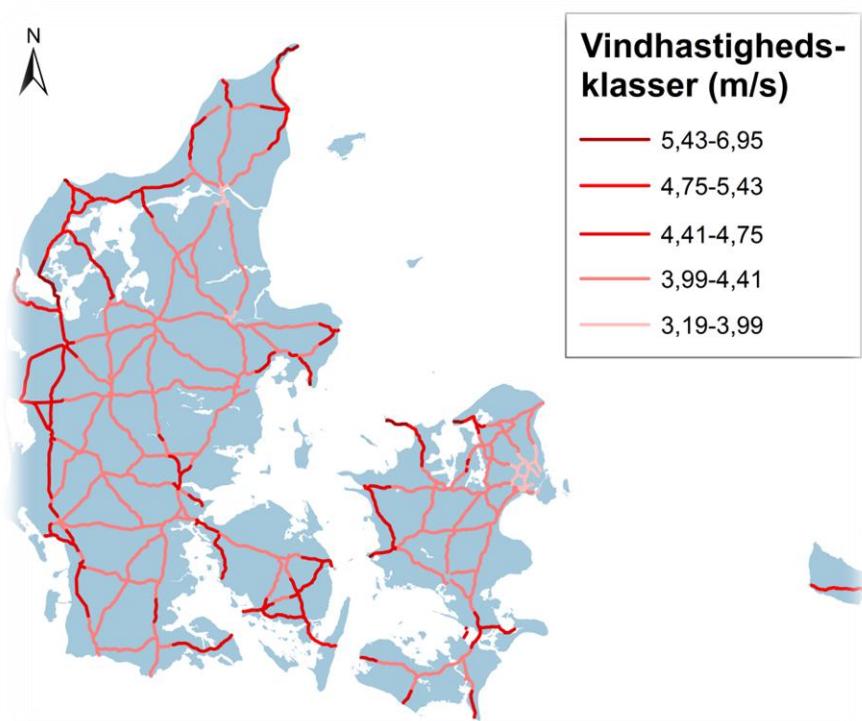
4.6 Meteorologi

Meteorologiske input er nødvendige for OML-Highway beregninger. Det omfatter vindhastighed, vindretning, global stråling, temperatur, skydække mv. Data stammer fra modellerede meteorologiske data fra den meteorologiske model MM5v3.

Vindhastigheden har afgørende indflydelse på årsmiddelkoncentrationen, og vindhastigheden har derfor styret inddeling af alle 1x1 km² gitterceller langs statsvejnætten i 5 vindhastighedsklasser, se figur 4.14. Der er herefter valgt én meteorologisk fil fra hver vindhastighedsklasse til at repræsentere den pågældende klasse.

Som forventet er vindhastigheden størst langs vestvendte kyster pga. den dominerende sydvestlige vindretning og mindst i de største byer pga. den dæmpende effekt, som byens ruhed har på vindhastigheden.

Da nogle af vindhastighedsklasserne omfatter meget store dele af vejnettet har det været nødvendigt yderligere at underopdele vejnettet inden for en vindhastighedsklasse for at kunne køre OML-Highway beregninger. Dette resulterede i alt 14 OML-Highway kørsler.



Figur 4.14. 5 meteorologiske klasser baseret på vindhastighed, som danner baggrund for beregninger af bidrag fra beregningsvejene til beregningspunkter langs statsvejnættet.

5 Evaluering af modelresultater

Dette afsnit evalueringer modelresultaterne ved at sammenligne og relatere til tidligere gennemførte luftkvalitetsmålinger og modelberegninger. Først sammenlignes beregningerne af baggrundsbidraget i 2012 modelleret med DEHM/UBM med tilgængelige målinger for 2012 fra 4 bybaggrundsmålestationer i de større byer og med 2 regionale baggrundsstationer. Der eksisterer ikke målinger langs motorveje for 2012, som kunne bruges til validering af modelresultaterne. Derfor opsummeres tidligere validering af OML-Highway modellen for Køge Bugt Motorvejen i 2003, hvor modellerede koncentrationer i forskellige afstande fra vejen sammenlignes med målinger. Til sidst sammenlignes en tidligere kortlægning gennemført i det daværende Roskilde Amt for 2003 med den nye kortlægning for 2012 for at sammenligne den geografiske variation.

5.1 Validering af baggrundskoncentrationer i luftkvalitetskortlægningen i 2012

I forbindelse med et andet projekt, som kaldes "Luften på din vej", er der anvendt samme modelsetup med DEHM/UBM for 2012. I det følgende er beregninger for baggrundskoncentrationer sammenlignet med luftkvalitetsmålinger for de faste baggrundsstationer under luftovervågningsprogrammet NOVANA (Ellermann et al 2013).

Sammenligning af modelresultater og målinger for NO₂

I tabel 5.1 er modelresultater og målinger for NO₂ sammenlignet.

Tabel 5.1. Sammenligning mellem beregnede NO₂ baggrundskoncentrationer og NO₂ målinger på målestationerne i Danmark i 2012 (års middelværdi)

Enhed: µg/m ³	Målinger	Model resultater	Difference	Modeller
<i>Bybaggrund:</i>				
København/1259	17	18	4%	DEHM/UBM
Aarhus/6159	17	15	-13%	DEHM/UBM
Odense/9159	13	14	5%	DEHM/UBM
Aalborg/8159	13	12	-5%	DEHM/UBM
<i>Regional baggrund:</i>				
Risø-Lille Valby/2090	9	12	29%	DEHM/UBM
Keldsnor/9055	8	8	-4%	DEHM/UBM

NO₂-baggrundskoncentrationer ligger inden for -13% til +5% af målinger for bybaggrundsstationerne. For de to regionale stationer underestimeres Keldsnor lidt (-4%) mens der er en større overestimering for Risø-Lille Valby (+29%).

Alle målinger og modelresultater ligger væsentligt under grænseværdien på 40 µg/m³.

Sammenligning af modelresultater og målinger for PM_{2,5} og PM₁₀

Modelresultater og målt PM_{2,5} på målestationerne i Danmark i 2012, se tabel 5.2. Det ses, at modellen generelt underestimerer for baggrundsstationer med -17% til 0%, og for en regional station med -2%.

Alle målinger og modelresultater ligger væsentligt under grænseværdien på 25 µg/m³.

Tabel 5.2. Sammenligning mellem PM_{2,5} modelresultater og målinger på målestationerne i Danmark i 2012 (års middelværdi)

Enhed: µg/m ³	Målinger	Model resultater	Difference	Modeller
<i>Bybaggrund:</i>				
København/1259	11	11	0%	DEHM/UBM
Aarhus/6159	11	9	-17%	DEHM/UBM
Odense/9159	n.a.	10	n.a.	DEHM/UBM
Aalborg/8159	9	8	-12%	DEHM/UBM
<i>Regional baggrund:</i>				
Risø-Lille Valby/2090	10	10	-2%	DEHM/UBM
Keldsnor/9055	n.a.	11	n.a.	DEHM/UBM

Modelresultater for PM₁₀ er sammenlignet med målt PM₁₀ på målestationerne i Danmark i 2012, se tabel 5.3. Det ses, at modellen underestimerer for den ene baggrundsstation med -21%, og for de regionale stationer underestimeres med -24% til -10%.

Alle målinger og modelresultater ligger væsentligt under grænseværdien på 40 µg/m³.

Tabel 5.3. Sammenligning mellem PM₁₀ modelresultater og målinger på målestationerne i Danmark i 2012 (års middelværdi)

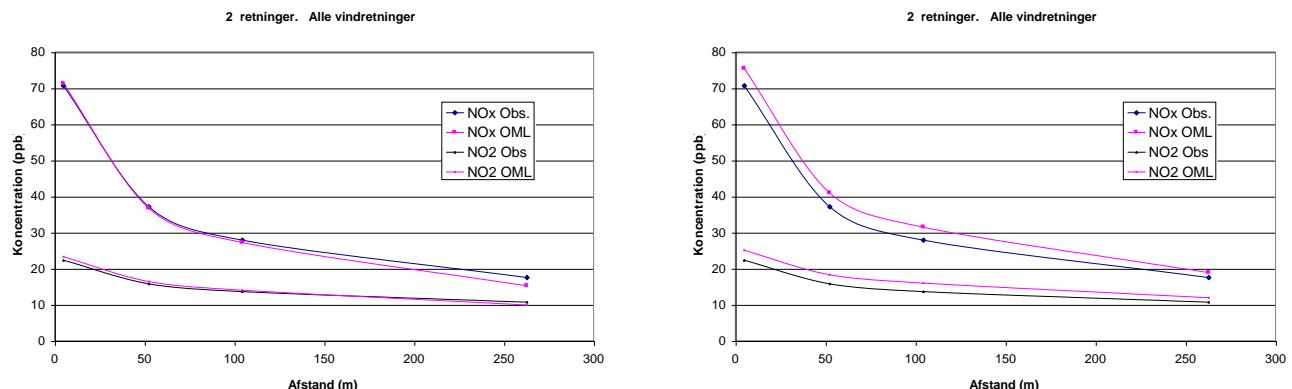
Enhed: µg/m ³	Målinger	Model resultater	Difference	Modeller anvendt
<i>Bybaggrund:</i>				
København/1259	17	13	-21%	DEHM/UBM
Aarhus/6159	n.a.	12	n.a.	DEHM/UBM
Odense/9159	n.a.	13	n.a.	DEHM/UBM
Aalborg/8159	n.a.	11	n.a.	DEHM/UBM
<i>Regional baggrund:</i>				
Risø-Lille Valby/2090	16	12	-24%	DEHM/UBM
Keldsnor/9055	16	14	-10%	DEHM/UBM

5.2 Validering af OML-Highway modellen mod målinger fra 2003

OML-Highway modellen er detaljeret beskrevet og evalueret i forhold til målinger for 2003 langs med Køge Bugt Motorvejen (Jensen et al. 2004;2005a,b). Resultaterne opsummeres kort nedenfor. Modellen er siden blevet integreret i SELMA^{GIS} som en extension i ArcGIS™.

Målekampagnen omfattede NO_x og NO₂ i perioden fra 17. september til 15. december 2003. Denne validering viste, at modellen for alle vindretninger under kampagneperioden bestemmer NO_x og NO₂ med stor nøjagtighed, idet afvigelser mellem målt og beregnet gennemsnitsværdier i forskellige afstande ligger fra nogle få procent til 15%. Se figur 5.1 (venstre halvdel). I disse beregninger inddrages 742,5 m på hver side af målestedet som emissionskilder.

I figur 5.1 (højre del) er det illustreret, hvilken betydning det har at inddrage en større del af hele motorvejsnettet, idet dette eksempel inddrager 5.000 m på hver side af målestedet. Det ses, at modelberegninger nu overvurderer de målte koncentrationer med ca. 7-13% for NO_x og 12-17% for NO₂ lidt afhængig af afstanden fra motorvejen. Det er denne version, som benyttes til kortlægning af luftkvaliteten langs motorveje i Roskilde Amt, som beskrives senere.



Figur 5.1. Illustration af hvilken betydning det har at inddrage en større del af motorvejsnettet (10.000 m) i forhold til kun at benytte vejstykket fra modeludviklingen (1.483 m). Figuren til venstre er for 1.483 m og figuren til højre er for 10.000 m. Obs er målte værdier og OML er beregnede værdier. Værdier er angivet i ppb. For at kunne sammenligne med grænseværdier skal NO₂ i ppb ganges med 1,882 for få mikrogram per kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

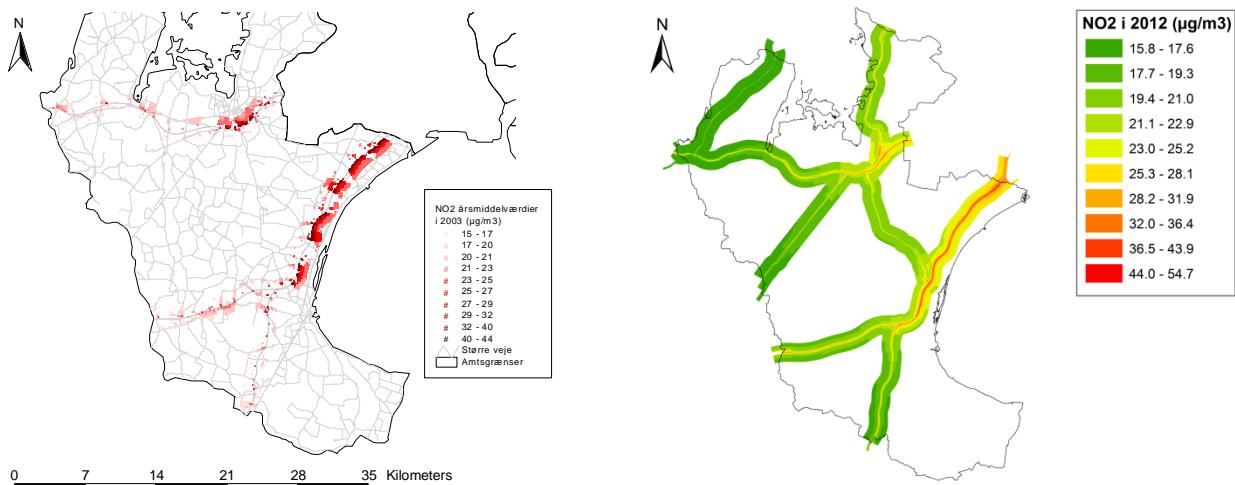
Der er endvidere foretaget en evaluering af OML-Highway modellen baseret på norske målinger samt en sammenligning med andre spredningsmodeller, som anvendes i de nordiske lande for motorveje (Berger et al. 2010). I denne evaluering havde OML-Highway modellen en højere korrelation med målingerne end de andre modeller, som indgik i evalueringen.

Der har også været gennemført en målekampagne på Holbækmotorvejen med det formål at bestemme og evaluere emissionsfaktorer for partikelemission (PM₁₀ og PM_{2,5} – partikler under hhv. 10 og 2,5 mikrometer) (Ellermann et al. 2009). Den samme målekampagne fra Holbækmotorvejen har også været brugt til at sammenligne målinger af gasser og partikelforurening med en trafikeret bygade i København - H.C. Andersens Boulevard (Wang et al. 2010).

5.3 Sammenligning med tidligere kortlægning i Roskilde Amt fra 2003

OML-Highway har tidligere været anvendt til kortlægning af koncentrationsniveauer for 2003 langs hele motorvejsnettet i det tidligere Roskilde Amt (Jensen et al. 2005a,b). NO₂-koncentrationer blev her beregnet på bopælsadresser langs motorvejnettet, som er vist i figur 5.2 (venstre side). Adresser som ligger inden for en bufferzone er her tildelt det koncentrationsniveau, som er beregnet i receptorpunktet, som ideelt ligger midt i bufferzonen. Kortlægningen af luftkvalitetsniveauerne langs hele motorvejsnettet viste, at kun 3 adresser (11 mennesker eller 0,02% af befolkningen i Roskilde Amt) har NO₂-årsmiddelkoncentrationer over 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i 2003, hvilket er grænseværdien, der skal være overholdt i 2010. Den højest beregnede værdi var dog 47,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, men den optrådte ikke et sted med boliger. De højeste koncentrationer optræder langs Køge Bugt Motorvejen, da trafikken er størst her.

I figur 5.2 (højre side) er tilsvarende vist beregningerne for 2012. Det ses som forventet, at de højeste koncentrationer forekommer de samme steder, men niveauerne for de højeste koncentrationer er lidt højere i 2012 i forhold til 2003.



Figur 5.2. Venstre: Årsmiddel koncentrationen af NO₂ i 2003 på bopælsadresser langs motorvejene i Roskilde Amt i op til 1.000 m fra motorvejene.

Højre: Årsmiddel koncentrationen af NO₂ i 2012 langs motorvejene i Roskilde Amt i op til 1.000 m fra motorvejene visualiseret på bufferzoner.

5.4 Supplerende analyser

Validering af OML-Highway modellen

For at kunne vurdere usikkerheden på beregningerne vil det være ønskeligt at foretage en ny validering af OML-Highway modellen, da model implementering og metode er væsentligt anderledes end den validering, som blev foretaget i 2003 med målekampagnen ved Køge Bugt Motorvejen. Dette ville muliggøre validering af OML-Highway's implementering i SELMA^{GIS} og den konkrete metode, som er anvendt i nærværende kortlægning, hvor baggrundskoncentrationen er beskrevet ved DEHM/UBM, og der inddrages et meget stort vejnet som beregningsveje i beregningerne for et givent beregningspunkt. Endvidere er benyttet en forenklet metode til beregning af NO₂.

Trafikalt input fra 2003 vil kunne genbruges i validering. Dette kunne yderligere understøttes af en ny målekampagne i forskellige afstande fra Køge Bugt Motorvejen for validering af OML-Highway modellen, hvor der også PM_{2.5} og PM₁₀ måles, idet den tidlige målekampagne i 2003 kun omfattede NO_x og NO₂. En mindre ressourcekrævende målekampagne kunne udføres i forskellige afstande af motorvejen baseret på passive NO₂ opsamlere, som kan give middelværdier over længere varighed fx 1 uge.

For valideringen vil det også være muligt at udnytte den tidlige målekampagne ved Holbækmotorvejen ved Tåstrup, hvor der blev målt NO_x, NO₂ samt PM_{2.5} og PM₁₀. Der blev målt lige ved siden af vejen og på en baggrundsstation. Formålet var at bestemme partikelemissionen, og der blev ikke gennemført OML-Highway beregninger.

**Kortlægning af befolkningsekspionering langs statsveje og helbredseffekter
og helbredsomkostninger af luftforurening fra statsveje**

Trafikverket i Sverige har fået gennemført beregninger af luftkvalitet, befolkningsekspionering og helbredsomkostninger land statsvejnettet i Sverige (Andersson et al. 2014).

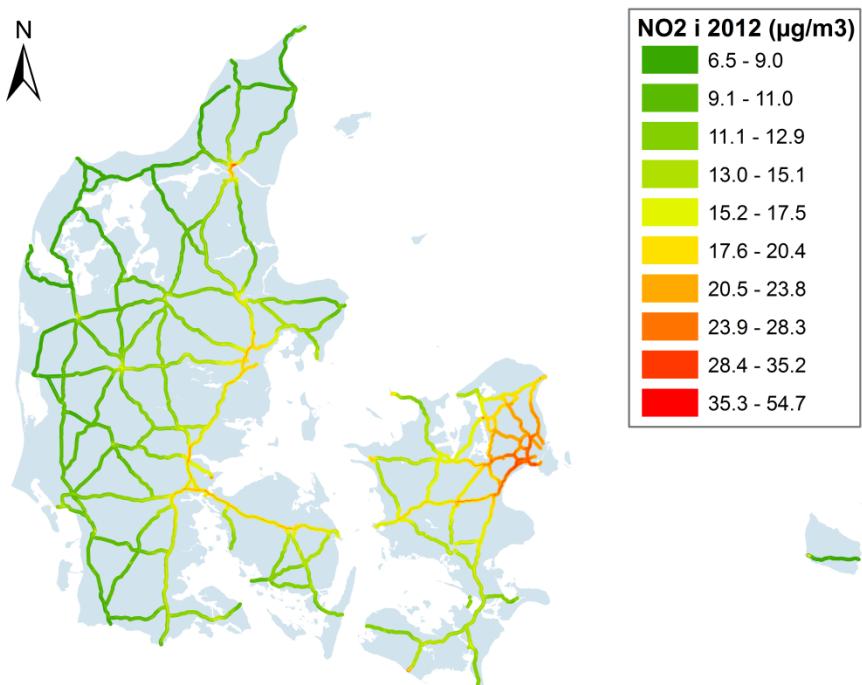
Luftkvalitetskortlægningen langs det danske statsvejenet kan let suppleres med vurdering af befolkningsekspioneringen ved at koble luftkvalitetsberegninger sammen med adresseregisteret og befolkningsdata fra CPR (alder, køn, antal). Dette vil belyse, hvor mange mennesker der eksponeres ved forskellige forureningsniveauer og hvor.

Beregning af helbredseffekter og helbredsomkostninger (samfundsøkonomisk tab) ved luftforureningen fra statsvejnettet vil også kunne beregnes vha. EVA-systemet (Economic Valuation of Air Pollution) udviklet af DCE (Brandt et al. 2013). I dette modelsystem beregnes helbredseffekter og helbredsomkostninger af en emissionskilde som fx statsvejene på en geografisk oplosning på 1x1 km² ved at koble bybaggrundskoncentrationer (DEHM/UBM), befolkningsdata (CPR) for estimering af befolkningsekspionering, eksponerings-respons sammenhænge for at bestemme helbredseffekter, og prissætning af helbredseffekter.

6 Luftkvalitet langs statsvejnet

6.1 Geografisk beskrivelse for NO₂

Den geografiske variation af NO₂ i 2012 er vist i figur 6.1. Som forventet er koncentrationerne højest på de mest trafikerede motorvejsstrækninger, men indflydelsen af baggrundsforureningen fra de større byer ses også fx i København og i Aalborg. Baggrundskoncentrationerne er vist i tidligere figur 4.11.



Figur 6.1. Geografiske variation af NO₂ som årsmiddelværdi i 2012 for statsvejnettet.

Indikative overskridelser af NO₂ grænseværdien

Formålet med kortlægningen af luftkvaliteten langs statsvejnettet er at beskrive den geografiske variation, og kan betragtes som en screening af luftkvaliteten. Der kan være betydelig usikkerhed på enkeltresultater, da der kan være stor usikkerhed på inputdata, og der er også usikkerheder i selve luftkvalitetsmodellerne.

Formålet er således *ikke* at forsøge at beregne antallet af overskridelser af NO₂ grænseværdien langs med statsvejnettet i Danmark. Modelberegninger skal i stedet opfattes som et supplerende værktøj til en skønsmæssig vurdering af luftkvaliteten og vurdering af potentielle overskridelser på steder, hvor der ikke måles.

Det er Miljøstyrelsen, som har det overordnede ansvar for at grænseværdierne for luftkvalitet overholdes i Danmark. Den officielle udmelding om overskridelser af EU's grænseværdier foretages i forbindelse med den årlige rapportering fra Delprogram for Luft under NOVANA (Ellermann et al. 2015). Vurderingen af overskridelserne baseres dels på målingerne fra de danske målestationer, og dels på basis af modelberegninger på udvalgte gader i København og Aalborg, hvor der foretages beregninger, og hvor det er

muligt at få tilstrækkeligt gode inputdata fra kommunerne baseret på talt trafik. Den eneste overskredne grænseværdi er årsmiddelværdien af NO₂, som overskrides på H.C. Andersens Boulevard i København. Overvågningsprogrammet har ikke målestationer langs motorveje, da trafikstationer i de større byer er prioriteret, og tidligere kampagnemålinger ved Køge Bugt Motorvejen og Holbækmotorvejen har kun indikeret mulige overskridelser af NO₂ grænseværdien lige op ad motorvejen men ikke længere væk.

Grænseværdien gælder for udeluftens, men ikke på selve kørebanen af statsvejene. Den gælder heller ikke på lokaliteter inden for et område, som oftentligthen ikke har adgang til, og hvor der ikke er nogen permanent beboelse. I forbindelse med måling af luftkvaliteten er der forskellige kriterier for placering af målestationer, som har til hensigt at give et udtrykt for befolkningens eksponering dvs. hvor mennesker bor og arbejder og færdes udendørs. Målestationer er placeret i gaderum, bybaggrund (tagniveau i byer) og på landet.

Placering af indikative overskridelser for NO₂ som årsmiddel i 2012 er beregnet som koncentrationer over 40,5 µg/m³. Grænseværdien er 40 µg/m³, som skal være overholdt fra 2010, og betragtes som overskredet, hvis værdien 40,5 er overskredet. Overskridelse af denne beregnede værdi forekommer langs dele af Køge Bugt Motorvejen, Holbækmotorvejen og Motorring 3, se figur 6.2. Alle overskridelser finder sted i beregningspunkterne 15 m fra vejmidten og kun i nogle få tilfælde på Køge Bugt Motorvejen i en afstand af 37,5 m fra vejmidten. Den højeste beregnede værdi på 54,7 µg/m³ forekommer på Køge Bugt Motorvejen. Det er ikke inden for nærværende projekt undersøgt om der bor mennesker på de steder, hvor beregningerne overskider grænseværdien, men det er sandsynligt at der er tale om få mennesker, da erfaringer fra tidligere undersøgelser af befolkningsekspionering langs motorveje i det tidligere Roskilde Amt viste at meget få mennesker bor meget tæt på motorvejene.

Ovenstående indikerer at der sandsynligvis ikke er overskridelser af grænseværdien, hvor mennesker bor langs med statsvejnettet på baggrund af de beregnede årsmiddelniveauer for NO₂. Det er dog vigtigt at holde sig for øje at der er usikkerhed på selve modellen og input data, som kan gøre det vanskeligt at drage klare konklusioner omkring overskridelser, når beregningerne er tæt på niveauet for grænseværdien.

En mere grundig vurdering af om grænseværdien er overskredet kræver mere detaljerede undersøgelser af input data og validering af modellen, og ultimativt målinger over lang tid, da grænseværdien er en årsmiddelværdi.



Figur 6.2. Placering af indikative overskridelser for NO_2 som årsmiddelværdi i 2012 er vist med blå markering. Beregnede koncentrationer over $40,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Grænseværdien er $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, som skal være overholdt fra 2010.

I figur 6.3 er vist NO_2 koncentrationer som årsmiddelværdi i 2012. Her er valgt koncentrationer, som er højere end $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Det ses, at dette niveau er overskredet på en større del af motorvejsnettet i Københavnsområdet og Sjælland, men også ved Aalborg, Vejle, dele af Trekantsområdet, og dele af den Fynske Motorvej.

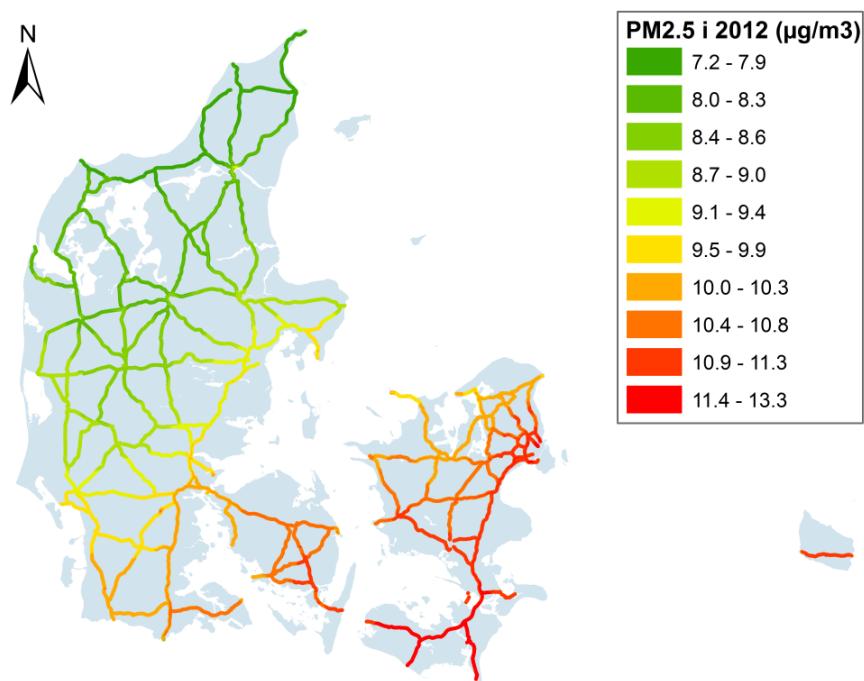


Figur 6.3. Placering af beregnede NO₂ koncentrationer som årsmiddelværdi i 2012, som er højere end 35 µg/m³ er vist med blå markering. Der er kun overskridelser af denne værdi på dele af motorvejsnettet på Sjælland (dele af Vestmotorvejen, Køge Bugt Motorvejen, Holbækmotorvejen, Motorring 3, Helsingørsmotorvejen) samt dele af Lyngbyvej, på Fyn (mindre dele af Fynsmotorvejen) og i Jylland (omkring Trekantsområdet, Vejle, Aarhus og Aalborg).

6.2 Geografisk beskrivelse for PM_{2,5} og PM₁₀

Den geografiske variation af PM_{2,5} i 2012 er vist i figur 6.4. Den geografiske variation er meget forskellig fra NO₂, idet baggrundsforureningen betyder meget og bidraget fra statsvejnettet betyder mindre. Der ses derfor en tydelig gradient fra syd mod nord, som er bestemt af baggrundsforureningen, se tidligere figur 4.12.

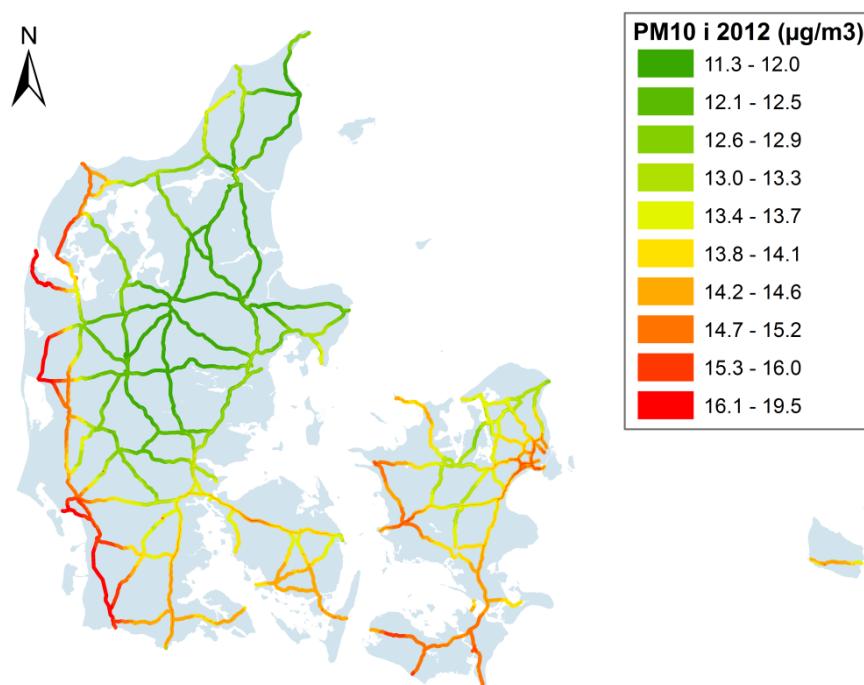
Den højeste beregnede værdi er 13,3 µg/m³. Grænseværdien for PM_{2,5} er 25 µg/m³ i 2015, og det er ikke sandsynligt, at denne værdi overskrides selvom baggrundsforureningen af PM_{2,5} underestimeres, som beskrevet i tidligere tabel 5.3.



Figur 6.4. Geografisk variation af PM_{2.5} som årsmiddelværdi i 2012 langs statsvejnettet.

Den geografiske variation af PM₁₀ i 2012 er vist i figur 6.5. Den geografiske variation minder om variationen for PM_{2.5}, men afviger, da PM₁₀ også er væsentligt influeret af havsalt, som det fremgår af tidligere figur 4.13.

Den højeste beregnede værdi er 19,5 µg/m³. Grænseværdien for PM₁₀ er 40 µg/m³ i 2010, og det er ikke sandsynligt, at denne værdi overskrides selvom baggrundsforureningen af PM₁₀ underestimeres, som beskrevet i tidligere tabel 5.4.



Figur 6.5. Geografisk variation af PM₁₀ som årsmiddelværdi i 2012 langs statsvejnettet.

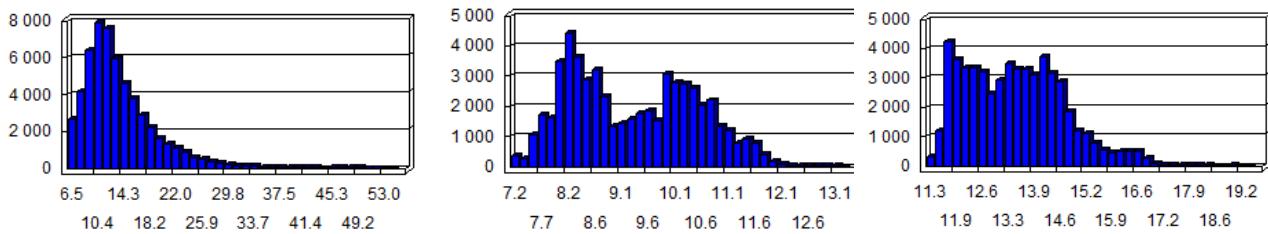
6.3 Statistisk beskrivelse

Enkelte beskrivende statistiske parametre er vist i tabel 6.1.

Tabel 6.1. Statistiske parametre for årsmiddelkoncentrationer i 2012 for NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ langs statsvejnettet

	NO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀
Minimum	7	7	11
Maksimum	55	13	20
Gennemsnit	14	9	14

Den statistiske fordeling af årsmiddelkoncentrationer langs statsvejnettet er vist i figur 6.6. Der er forskelle mellem fordelingerne afhængig af luftforureningen. NO₂ fordelingen er domineret af bidraget fra trafikken, mens PM₁₀ og især PM_{2,5} er domineret af bidraget fra den regionale luftforurening.



Figur 6.6. Statistisk fordeling af årsmiddelkoncentrationer i 2012 for NO₂ (venstre), PM_{2,5} (midte) og PM₁₀ (højre) langs statsvejnettet. Y-aksen er antallet af observationer og x-aksen er koncentrationsniveauet i µg/m³.

Litteraturliste

Andersson, S., Windmark, F., Torstensson, M., Omstedt, G., Asker, C., Jakobsson, M. (2014): Beräkningar av halter, befolkningsexponering och hälsokonsekvenser längs det statliga vägnätet. Nationella modellberäkningar med SIMAIR för år 2013 till Trafikverkets årliga utvärdering. SMHI Rapport Nr. 2014-16. 94 s.

Berger J., Walker S-E., Denby B., Berkowicz R., Løfstrøm P., Ketzel M., Härkönen J., Nikmo J. and Karppinen A. (2010): Evaluation and inter-comparison of open road line source models currently in use in the Nordic countries. Boreal Environment Research. Available as preprint at www.borenv.net/BER/pdfs/preprints/Berger.pdf. ISSN 1797-2469 (online), ISSN 1239-6095.

Berkowicz, R. (2000a). [OSPM - A parameterised street pollution model](#), Environmental Monitoring and Assessment, Volume 65, Issue 1/2, pp. 323-331.

Berkowicz, R. (2000b): A simple model for urban background pollution, Environmental Monitoring and Assessment 2000, 65, 259-267. doi: 10.1023/A:1006466025186.

Brandt, J., J. H. Christensen, L. M. Frohn and R Berkowicz (2003): "Air pollution forecasting from regional to urban street scale – implementation and validation for two cities in Denmark". *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 28, pp. 335-344, 2003.

Brandt, J., J. D. Silver, L. M. Frohn, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, C. A. Skjøth, H. Villadsen, A. Zare, and J. H. Christensen (2012): An integrated model study for Europe and North America using the Danish Eulerian Hemispheric Model with focus on intercontinental transport. *Atmospheric Environment*, Volume 53, June 2012, pp. 156-176, doi:10.1016/j.atmosenv.2012.01.011 Christensen, J.H. (1997): The Danish Eulerian Hemispheric Model – a three-dimensional air pollution model used for the Arctic. *Atmospheric Environment*, 31, 4169–4191.

Brandt, J., Jensen, S.S., Plejdrup, M. (2013): Sundhedseffekter og relaterede eksterne omkostninger af luftforurening i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 46 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 64. <http://dce2.au.dk/Pub/SR64.pdf>.

Christensen, J. H. (1997): The Danish Eulerian Hemispheric Model – a three-dimensional air pollution model used for the Arctic, Atm. Env., 31, 4169–4191.

Düring, I., Bächlin, W., Ketzel, M., Baum, A., Friedrich, U., Wurzler, S. (2011): A new simplified NO/NO₂ conversion model under consideration of direct NO₂-emissions Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20, No. 1, 067-073 (February 2011) Open Access Article © by Gebrüder Borntraeger 2011 (published online).

EEA (2007): EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook 2007. Methodology for the calculation of exhaust emissions. Road Transport. Version 6.0 August 2007. COPERT 4. European Environmental Agency. 105 p.

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. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy. 59 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy. No. 67. <http://dce2.au.dk/pub/SR67.pdf>.

Ellermann, T., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M. Jansen, S., Massling, A. & Jensen, S.S. (2015): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2013. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 72 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 134. <http://dce2.au.dk/pub/SR134.pdf>.

Jensen, S.S., Løfstrøm, P., Berkowicz, R., Olesen, H.R., Frydendal, J., Fuglsang, K., Hummelshøj, P. (2004): Luftkvalitet langs motorveje - Målekampe og modelberegninger. Danmarks Miljøundersøgelser, 67 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 522.
http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_Publikationer/3_Fagrapparter/rapporter/FR522_2udgave.pdf.

Jensen, S.S., Løfstrøm, P., Berkowicz, R., Madsen, I. (2005a): Kortlægning af luftkvalitet langs motorveje. Udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser for Roskilde Amt. Roskilde Amt. 45 s. Elektronisk rapport www.ra.dk.

Jensen, S.S., Løfstrøm, P., Berkowicz, R., Olesen, H.R., Frydendal, J., Madsen, I.L., Fuglsang, K., Hummelshøj, P. (2005b): Kortlægning af luftkvalitet langs motorveje. Trafikdage på Aalborg Universitet 22.-23. august 2005. www.trafikdage.dk/td/papers/papers05/Trafikdage-2005-419.pdf.

Jensen, S.S., Becker, T., Ketzel, M., Løfstrøm, P., Olesen, H.R., Lorentz, H. (2010): OML-Highway within the framework of SELMA^{GIS}. 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., Becker, T., Løfstrøm, P., Olesen, H.R., Lorentz, H., Michelsen, L.N., Fryd, J. (2010): OML-Highway – en ny brugervenlig GIS-baseret luftkvalitetsmodel for motorveje, landeveje og andre veje i åbent terræn. Trafikdage på Aalborg Universitet, 23.-24. august 2010. www.trafikdage.dk.

Jensen, S.S., Ketzel, M., Becker, T., Løfstrøm, P., Olesen, H.R. (2011a): Luftkvalitetsvurdering af udvidelse af motorvej syd om Odense. VVM redegørelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. <http://www.dmu.dk/Pub/FR825.pdf>.

Jensen, S.S., Ketzel, M., Becker, T., Hertel, O., Løfstrøm, P., Olesen, H.R. (2011b): Luftkvalitesvurdering for 3. Limfjordsforbindelse. VVM redegørelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. <http://www.dmu.dk/Pub/FR824.pdf>.

Jensen, S.S., Ketzel, M., Becker, T., Hertel, O. (2011c): Luftkvalitetsvurdering for rute 26 Viborg-Aarhus. VVM redegørelse. 72 s. DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 12. <http://www2.dmu.dk/-Pub/SR12.pdf>.

Jensen, S.S., Ketzel, M., Becker, T., Løfstrøm, P., Hertel, O., Olesen, H.R., Lorenz, H. (2012): OML-Highway - a GIS-based road source model for air quality assessment – applications in EIA. 8th International Conference on Air Quality – Science and Application 2012, Athens.

Jensen, S.S., Ketzel, M., Hertel, O., Becker, T., Løfstrøm, P., Olesen, H.R. (2013): Vejledning i luftkvalitetsvurdering af motorveje. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Vejdirektoratets rapportserie RAPPORT 455 – 2013. 67 s.

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.([doi-Link](#))

Olesen, H.R., Løfstrøm, P., Berkowicz, R. and Jensen, A.B. (1992): An improved dispersion model for regulatory use - the OML model. In: Air Pollution Modeling and its Application IX, H. van Dop and G. Kallos (eds.). Plenum Press, New York.

Olesen, H.R., Berkowicz, R.B, Løfstrøm, P., (2007): OML: Review of model formulation. National Environmental Research Institute, Denmark. 130pp. - NERI Technical Report No. 609, <http://www.dmu.dk/Pub/FR609>.

Olesen, H.R., Ketzel, M., Jensen, S.S., Løfstrøm, P., Im, U., Becker, T. (2015): User's Guide to OML-Highway. A tool for air pollution assessments along highways. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 63 pp. Technical Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 59 <http://dce2.au.dk/pub/TR59.pdf>

Plejdrup, M.S. & Gyldenkærne, 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. <http://www.dmu.dk/Pub/FR823.pdf>

TetraPlan (2001): Standardværdier for trafikdata til OSPM modellen.

Vejdirektoratet (2013): 60-punktstællinger. Hovedresultater 2012.

Wang, F., Ketzel, M., Ellermann, T., Wåhlin, P., Jensen, S. S., Fang, D., and Massling, A. (2010): Particle number, particle mass and NOx emission factors at a highway and an urban street in Copenhagen, Atmos. Chem. and Phys., 10, 2745-2764.

KORTLÆGNING AF LUFTKVALITET LANGS MOTOR- OG LANDEVEJE I DANMARK

Denne rapport beskriver resultaterne af en kortlægning af luftkvaliteten langs motor- og landeveje i hele Danmark. Det er første gang, at der skabes et nationalt datasæt af modellerede luftkvalitsdata langs hele statsvejnettet. Kortlægningen er gennemført med OML-Highway modelen, og anvendte metoder og datagrundlag er beskrevet.

ISBN: 978-87-7156-149-4

ISSN: 2244-9981