

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift
Udvalgte Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet
(Selected Proceedings from the Annual Transport
Conference at Aalborg University)

ISSN 1903-1092

www.trafikdage.dk/artikelarkiv

Modtaget: 18.09.2015

Godkendt: 30.06.2016



Kortlægning af luftkvalitet langs motor- og landeveje i Danmark

*Steen Solvang Jensen, Ulas Im, Matthias Ketzel, Per Løftstrøm, Jørgen Brandt,
Jakob Fryd¹ og Lene Nøhr Michelsen¹*

Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet, Roskilde

¹Vejdirektoratet

Abstrakt

Denne artikel 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 statsvejnettet. Beregningerne er gennemført for årsmiddelkoncentrationer i 2012 af de sundhedsrelaterede stoffer NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀. Kortlægningen er gennemført med OML-Highway luftkvalitetsmodellen, og anvendte metoder og datagrundlag er beskrevet. Endvidere er beregningerne sammenholdt med tidligere gennemførte målinger og beregninger.

1. Baggrund og formål

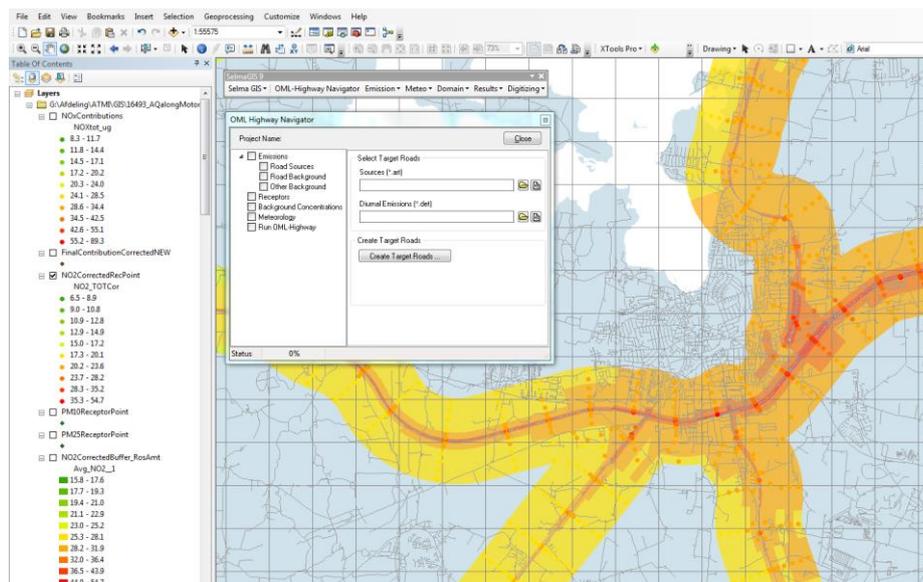
OML-Highway^{1,2} er udviklet af Nationalt Center for Miljø og Energi – DCE. Vejdirektoratet har støttet udvikling og anvendelse af OML-Highway, som er et GIS baseret værktøj til beregning af luftkvalitet langs veje i åbent terræn^{6,8,9}. OML-Highway har været anvendt i forbindelse med VVM-vurderinger i forbindelse med udvidelse af motorvejen omkring Odense³, samt anlæg af nye motorveje ved Aalborg⁴ med den 3. Limfjordsforbindelse og mellem Viborg og Aarhus⁵ ved udbygning af rute 26. Vejdirektoratet har endvidere udgivet en vejledning i luftkvalitetsvurdering langs motorveje¹¹, som bygger på ovenstående erfaringer. Der er også udarbejdet en brugermanual til OML-Highway¹⁴.

Formålet med kortlægningen af luftkvaliteten langs statsvejnettet er at beskrive den geografiske variation, og kan betragtes som en screening af luftkvaliteten med mulighed for en grov indikativ vurdering af om grænseværdierne er overskredet. I denne artikel beskrives metode og datagrundlag samt resultater af kortlægningen af luftkvaliteten langs motor- og landeveje i hele Danmark dvs. langs hele statsvejnettet med anvendelse af OML-Highway modellen. Metode, datagrundlag og resultater er mere detaljeret beskrevet i en rapport¹⁶ fra DCE.

2. Metode

2.1 OML-Highway med GIS-baseret brugerflade

OML-Highway har en brugerflade baseret på Geografiske Informationssystemer (GIS), se Figur 2.1. OML-Highway er 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 2.1. Hovedmenuerne i brugerfladen til OML-Highway samt eksempel på en dialogboks i brugerfladen til OML-Highway.

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 baseret på COPERT 4.

2.1 Datagrundlag

OML-Highway modellen kræver information om vejnettet med trafikdata, baggrundskoncentrationer, meteorologi samt beregningspunkter. Data repræsenterer 2012.

Vejman.dk og SpeedMap

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 fra DTU Transport, som har en anden datamodel og segmentering end Vejdirektoratets vejnet - 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.

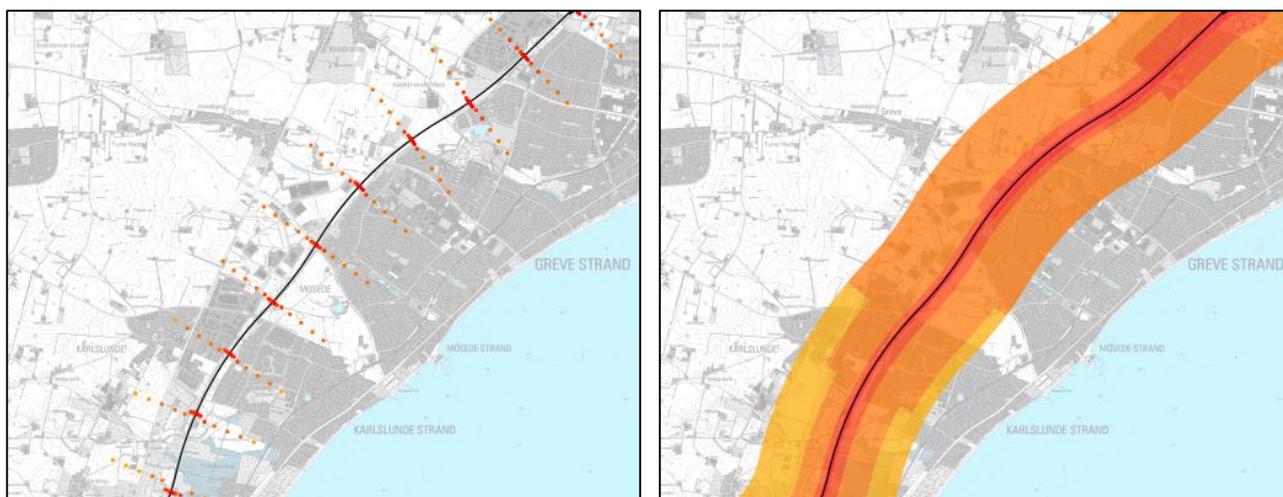
Baggrundskoncentrationer samt meteorologi

Baggrundskoncentrationer er beregnet med den regionale model Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM)⁷ og bybaggrundsmodellen Urban Background Model (UBM)¹² med tilhørende emissions- og meteorologidata for alle 1x1 km² gitterceller i Danmark, hvor der er beregningspunkter langs vejnettet. For Danmark er emissioner baseret på emissionsmodellen SPREAD¹⁰, som har emissioner for hele Danmark fra alle kilder på 1x1 km² gitterceller. Modeller og data er udviklet af AU/DCE.

Beregningspunkter og 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 forhold til kortlægningen 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 2.2, hvor venstre del af figuren viser beregningspunkter og højre side viser tilsvarende sammenhængende bufferzoner.



Figur 2.2. Visualisation of OML-Highway koncentrationer. Til venstre som beregningspunkter, og til højre som bufferzoner, hvor midtpunktet i bufferzonen er beregningspunktet.

Beregningerne er gennemført for beregningspunkter indenfor 1000 m på hver side af statsvejene. 1000 m er valgt, da langt hovedparten af vejens koncentrationsbidrag til omgivelserne falder inden for denne afstand.

De forskellige afstande fra motorvejen, som indgår i luftkvalitetskortlægningen fremgår af Tabel 2.1 med tilhørende bufferzoner, som beregningspunkterne repræsenterer. Bufferbredden er mindst tæt på vejen og større længere væk fra vejen for at afspejle, at koncentrationerne aftager relativt hurtigt med afstanden.

Tabel 2.1 Afstande fra statsvej til beregningspunkter. Afstand er fra vejmidte.

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

2.2 Modellering af luftkvalitet med OML-Highway

OML-Highway modellen er anvendt med ovenfor beskrevne input data for beregning af årsmiddelkoncentrationer i 2012 for NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀, som er sundhedsrelaterede stoffer.

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 baggrundsregningerne. Emissioner fra statsvejene vil typisk dominere trafikemissionerne i disse gitterceller, men der kan også være et bidrag fra kommunale veje. Herefter er bidraget fra statsvejnettet til beregningspunkter langs vejstrækningen beregnet med OML-Highway. For disse beregningspunkter benyttes den nærmest placeret baggrundskoncentration til at repræsentere baggrunds-koncentrationen 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. Denne kemimodel er baseret på en metode udviklet af Düring et al., som er valideret på tysk luftkvalitetsdata¹³. Input til kemimodellen er årsmiddel af NO_x koncentrationen ved beregningspunktet beregnet med OML-Highway, årsmiddel af NO_x-, NO₂- og ozonkoncentrationer i tilhørende baggrundspunkt beregnet med DEHM/UBM samt oplysninger om direkte NO₂-emissioner fra trafikken (andel af NO_x emission som er NO₂). Output er årsmiddelkoncentrationen af NO₂ ved beregningspunktet.

Det har været nødvendigt at regionalisere beregningerne dels af tekniske grunde, men også for at tage højde for at de meteorologiske forhold er forskellige i Danmark. Danmark er blevet underopdelt i 13 regionale områder, som afspejler forskellige forhold for vindhastighed og baggrundsforurening.

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 begrænset¹¹.

3. Resultater

3.1 Indikativ vurdering af overskridelser af grænseværdier

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 NOVANA¹⁵. Vurderingen af overskridelserne baseres dels på målingerne fra de danske målestationer, og dels på basis af modelberegninger på udvalgte gadesegmenter 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.

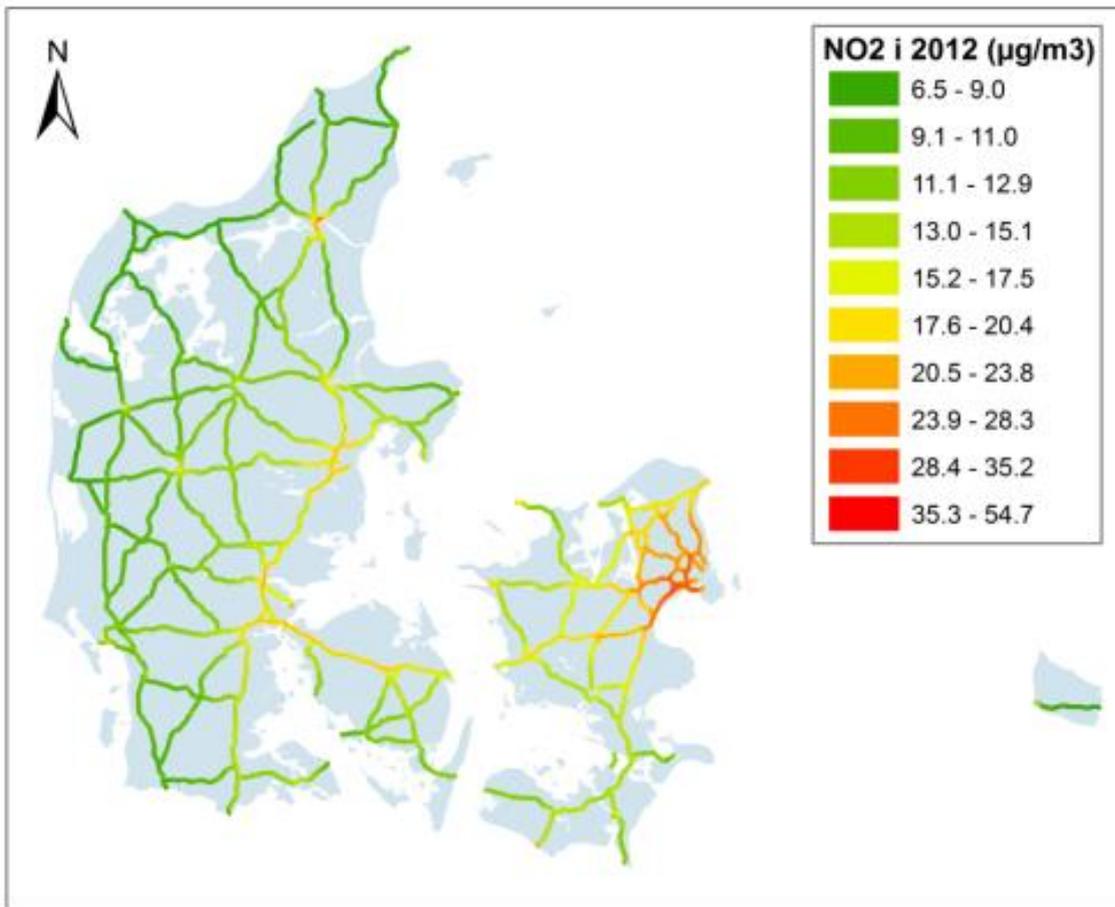
Grænseværdien gælder ikke på selve kørebanen af statsvejene, men hvor mennesker opholder sig dvs. hvor mennesker bor og arbejder eller opholder sig i længere tid.

Grænseværdien for årsmiddelværdien er 40 µg/m³ for NO₂ (2010), 25 µg/m³ for PM_{2,5} (2015) og 40 µg/m³ for PM₁₀ (2005).

3.2 Geografisk variation

NO₂

Den geografiske variation af NO₂ i 2012 er vist i figur 3.1.



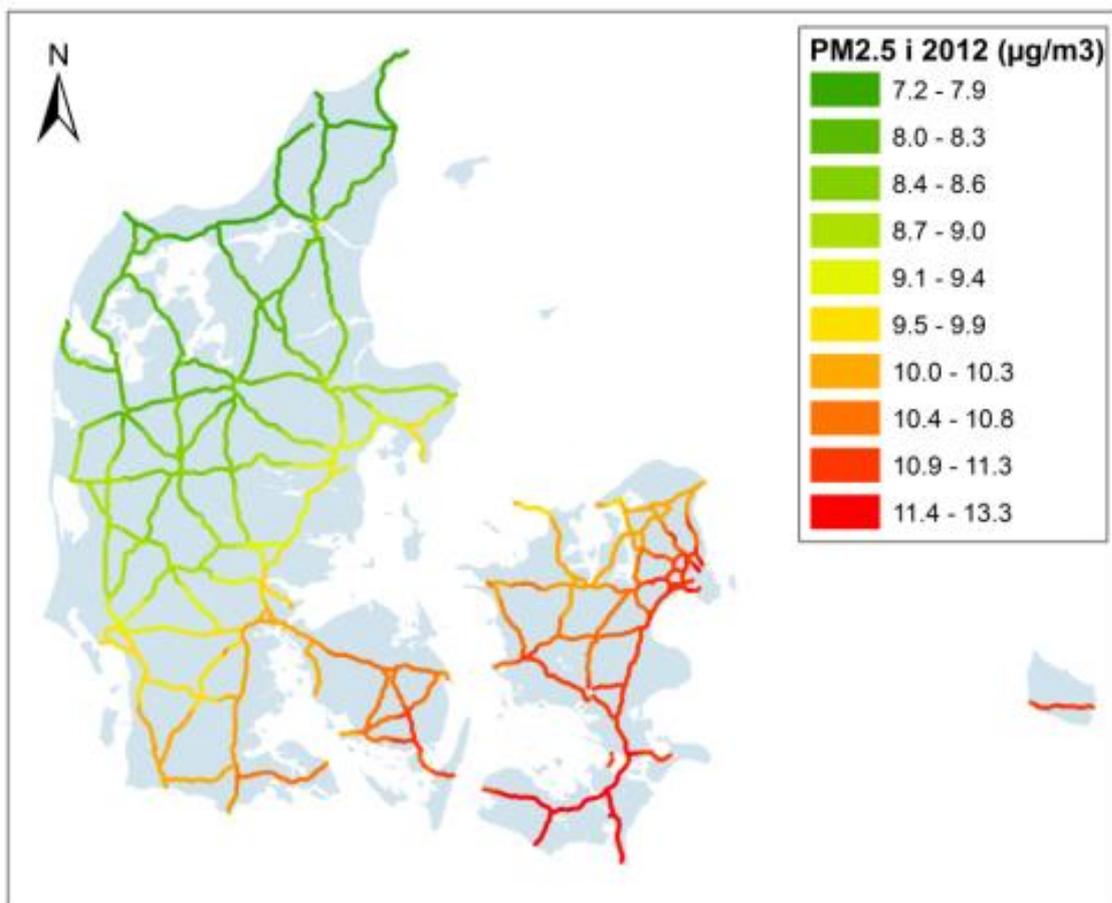
Figur 3.1. Geografisk variation af beregnede årsmiddelværdier for NO₂ langs statsvejnettet i 2012.

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

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 37,5 m. Den højeste beregnede værdi på 54,7 µg/m³ forekommer på Køge Bugt Motorvejen.

PM_{2.5}

Den geografiske variation af PM_{2.5} i 2012 er vist i figur 3.2.



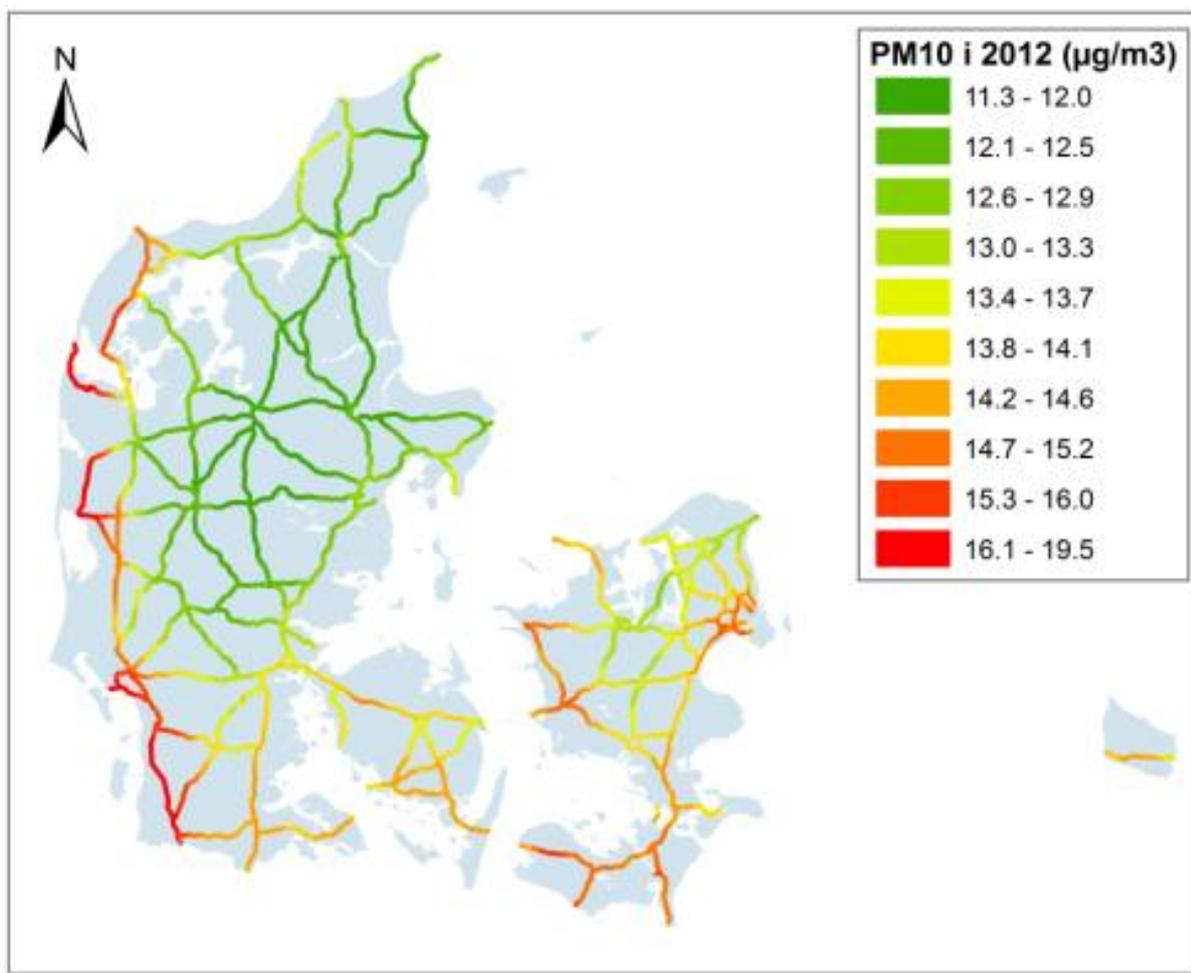
Figur 3.2. Geografisk variation af beregnede årsmiddelværdier for PM_{2.5} langs statsvejnettet i 2012.

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, se afsnit 4.

PM₁₀

Den geografiske variation af PM₁₀ i 2012 er vist i figur 3.3.



Figur 3.3. Geografisk variation af beregnede årsmiddelværdier for PM₁₀ langs statsvejnettet i 2012.

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, se afsnit 4.

4. Diskussion

I det følgende diskuteres usikkerhed på beregningerne, idet omfang det er muligt. Først sammenlignes beregningerne af baggrundsbidraget i 2012 modelleret med DEHM/UBM med tilgængelige målinger 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.

4.1 Validering af baggrundskoncentrationer i luftkvalitetskortlægningen i 2012

I det følgende er beregninger for baggrundskoncentrationer med DEHM/UBM sammenlignet med luftkvalitetsmålinger for de faste baggrundsstationer under luftovervågningsprogrammet NOVANA¹⁵.

I Tabel 4.1 er modelresultater og målinger for NO₂ sammenlignet.

Tabel 4.1. Sammenligning mellem NO₂ målinger og beregnede NO₂ baggrundskoncentrationer på målestationerne i Danmark i 2012 (årsmiddelværdi)

	Målinger (µg/m ³)	Model resultater (µg/m ³)	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.

Tilsvarende sammenligninger er lavet for PM_{2.5} og PM₁₀ i Danmark i 2012, som kort opsummeres nedenfor. Der er ikke målinger for alle stationer for disse to stoffer.

Modelresultater og målt PM_{2.5} på målestationerne viser, at modellen generelt underestimerer for tre baggrundsstationer med -17% til 0%, og for en regional station med -2%. Alle målinger og modelresultater ligger væsentligt under grænseværdien på 25 µg/m³.

Modelresultater for PM₁₀ er sammenlignet med målt PM₁₀ på målestationerne, og viser at modellen underestimerer for en baggrundsstation med -21%, og for to regionale stationer underestimeres med -24% til -10%. Alle målinger og modelresultater ligger væsentligt under grænseværdien på 40 µg/m³.

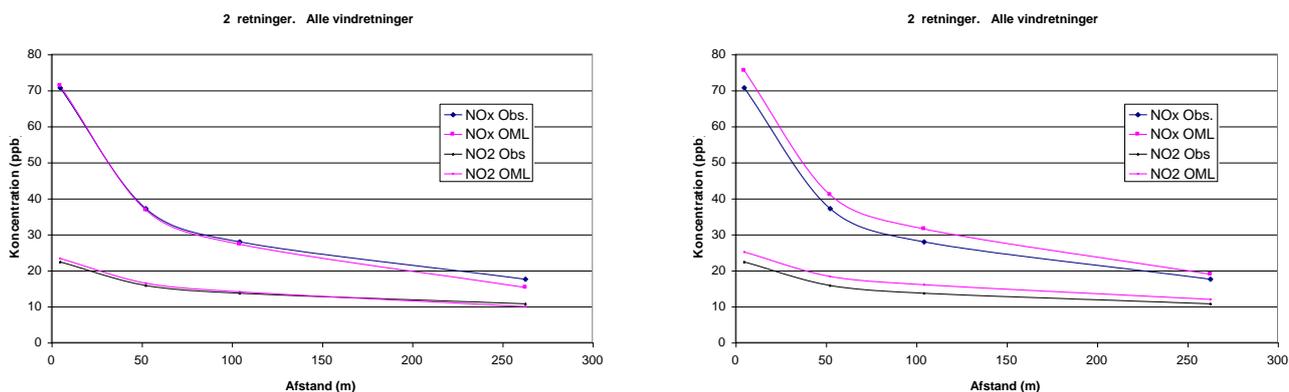
4.2 Validering af OML-Highway modellen mod målinger i 2003

OML-Highway modellen er detaljeret beskrevet og evalueret i forhold til målinger langs med Køge Bugt Motorvejen¹⁷. 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 langs med Køge Bugt Motorvejen. 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 4.1 (venstre halvdel). I disse beregninger inddrages 742,5 m på hver side af målestedet som emissionskilder.

I Figur 4.1 (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 i næste afsnit.



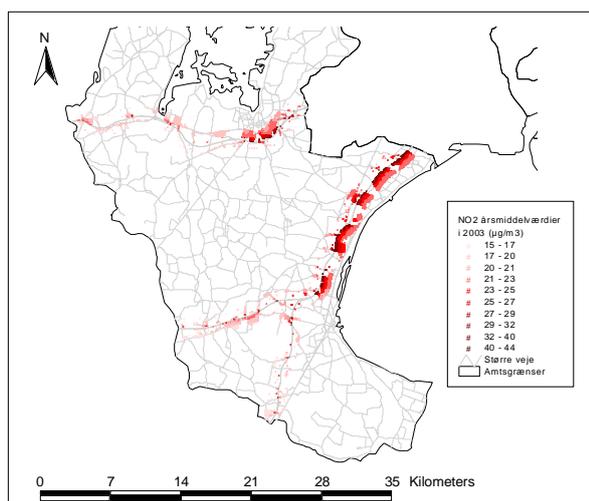
Figur 4.1. Illustration af hvilken betydning det har at inddrage en større del af motorvejsnettet (10.000 m) i forhold til kun at benytte vejstykket fra modeludviklingen (1.483 m). Figuren til venstre er for 1.483 m og figuren til højre er for 10.000 m. Obs er målte værdier og OML er beregnede værdier. 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 motorveje⁸. I denne evaluering havde OML-Highway modellen en højere korrelation med målingerne end de andre modeller, som indgik i evalueringen.

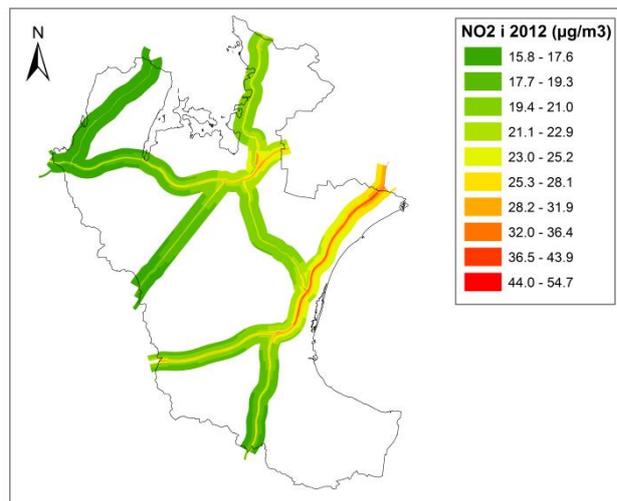
4.3 Sammenligning med tidligere kortlægning i Roskilde Amt for 2003

OML-Highway har tidligere været anvendt til kortlægning af koncentrationsniveauer for 2003 langs hele motorvejsnettet i det daværende Roskilde Amt¹⁸. NO₂-koncentrationer blev her beregnet på bopælsadresser langs motorvejnettet, som er vist i Figur 4.2 (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 4.2 (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 4.2. 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.

4.3 Supplerende analyser

Ovenstående analyser i dette kapitel peger på at det er ønskeligt at foretage en dybdegående analyse af modelberegninger for 2012, hvor de trafikale informationer fra Køge Bugt Motorvejen for 2003 anvendes sammen med OML-Highway modellens implementering i SELMA^{GIS} til at evaluere beregninger i forhold til målinger i 2003. Dette kunne yderligere understøttes af en ny målekampagne i forskellige afstande fra Køge Bugt Motorvejen for validering af OML-Highway modellen, hvor også PM_{2.5} og PM₁₀ måles, idet den tidligere målekampagne i 2003 kun omfattede NO_x og NO₂.

5. Konklusion

For første gang er der skabt et nationalt datasæt af modelleret luftkvalitetsdata af årsmiddelkoncentrationer i 2012 af de sundhedsrelaterede stoffer NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀ langs hele statsvejnettet for beregningspunkter i forskellige afstande ud til 1000 m fra vejens centerlinje, som kan visualiseres i sammenhængende bufferzoner med forskellige koncentrationsniveauer.

Taksigelse

Projektet er finansieret af Vejdirektoratet (www.vd.dk). Firmaet Hermes Traffic Intelligence har udviklet et udtræksprogram, som knytter rejsehastigheder fra SpeedMap til vejman.dk, og det tyske firma Lohmeyer har udviklet en ny feature i OML-Highway til forbedret visualisering af luftkvalitetsdata i sammenhængende bufferzoner.

Referencer

- ¹Jensen, S.S., Becker, T., Ketzler, 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>.
- ²Jensen, S.S., Ketzler, 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.
- ³Jensen, S.S., Ketzler, M., Becker, T., Løfstrøm, P., Olesen, H.R. (2011): Luftkvalitetsvurdering af udvidelse af motorvej syd om Odense. VVM redegørelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. <http://www.dmu.dk/Pub/FR825.pdf>.

- ⁴Jensen, S.S., Ketznel, M., Becker, T., Hertel, O., Løfstrøm, P., Olesen, H.R. (2011): Luftkvalitesvurdering for 3. Limfjordsforbindelse. VVM redegørelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. <http://www.dmu.dk/Pub/FR824.pdf>.
- ⁵Jensen, S.S., Ketznel, M., Becker, T., Hertel, O. (2011): 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>.
- ⁶Jensen, S.S., Ketznel, M., Becker, T., Løfstrøm, P., Hertel, O., Olesen, H.R., Lorentz, 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.
- ⁷Christensen, J. H. (1997): The Danish Eulerian Hemispheric Model – a three-dimensional air pollution model used for the Arctic, *Atm. Env.*, 31, 4169–4191.
- ⁸Berger J., Walker S-E., Denby B., Berkowicz R., Løfstrøm P., Ketznel 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.borenav.net/BER/pdfs/preprints/Berger.pdf. ISSN 1797-2469 (online), ISSN 1239-6095.
- ⁹Wang, F., Ketznel, M., Ellermann, T., Wählin, P., Jensen, S. S., Fang, D., and Massling, A. (2010): Particle number, particle mass and NO_x emission factors at a highway and an urban street in Copenhagen, *Atmos. Chem. and Phys.*, 10, 2745–2764.
- ¹⁰Plejdrup, 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. <http://www.dmu.dk/Pub/FR823.pdf>
- ¹¹Jensen, S.S., Ketznel, M., Hertel, O., Becker, T., Løfstrøm, P., Olesen, H.R. (2014): Vejledning i luftkvalitetsvurdering af motorveje. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Rapport fra Vejdirektoratet udarbejdet af DCE. 67 pp.
- ¹²Berkowicz, R. 2000. A Simple Model for Urban Background Pollution. *Environmental Monitoring and Assessment* Vol. 65, Issue 1/2, pp. 259-267. Berkowicz, R. 2000b. [OSPM - A parameterised street pollution model](http://www.dmu.dk/Pub/FR823.pdf), *Environmental Monitoring and Assessment*, Volume 65, Issue 1/2, pp. 323-331.
- ¹³Düring, I., Bächlin, W., Ketznel, 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).
- ¹⁴Olesen, H. R., Ketznel, M., Jensen, S. S., Løfstrøm, P., Im, U. & Becker, T. (2015): User Guide to OML-Highway. A tool for air pollution assessments along highways. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 66 pp. Technical Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 59. <http://dce2.au.dk/pub/TR59.pdf>
- ¹⁵Ellermann, T., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, 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>
- ¹⁶Jensen, S.S., Im, U., Ketznel, M., Løfstrøm, P., Brandt, J. (2015): Kortlægning af luftkvalitet langs motor- og landeveje i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, xx s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. xxx. <http://dce2.au.dk/pub/SRxxx.pdf>. (under udgivelse).
- ¹⁷Jensen, S.S., Løfstrøm, P., Berkowicz, R., Olesen, H.R., Frydendall, J., Fuglsang, K. & Hummelshøj, P. 2004: Luftkvalitet langs motorveje. Målekampagne og modelberegninger. Danmarks Miljøundersøgelser. 67 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 522. <http://fagligerrapporter.dmu.dk>.
- ¹⁸Jensen, 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.