



VALIDERING AF LUFTKVALITETSMODELLEN OML-HIGHWAY

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 240

2017



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

VALIDERING AF LUFTKVALITETSMODELLEN OML-HIGHWAY

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 240

2017

Steen Solvang Jensen
Matthias Ketzel
Ulas Im
Per Løfstrøm
Maria Bech Poulsen
Christian Monies
Thomas Ellermann

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. 240
Titel:	Validering af luftkvalitetsmodellen OML-Highway
Forfattere:	Steen Solvang Jensen, Matthias Ketzel, Ulas Im, Per Løfstrøm, Maria Bech Poulsen, Christian Monies, Thomas Ellermann
Institution:	Institut for Miljøvidenskab (ENVS), Aarhus Universitet
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Oktober 2017
Redaktion afsluttet:	September 2017
Faglig kommentering:	Helge Rørdam Olesen
Kvalitetssikring, DCE:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Finansiel støtte:	Vejdirektoratet.
Bedes citeret:	Jensen, S.S., Ketzel, M., Im, U., Løfstrøm, P., Poulsen, M.B., Monies, C., Ellermann, T. (2016): Validering af luftkvalitetsmodellen OML-Highway. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 49 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 240 http://dce2.au.dk/pub/SR240.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Abstrakt:	Vejdirektoratet fik i 2015 gennemført en kortlægning af luftkvaliteten langs alle statsvejene i Danmark med OML-Highway-modellen. Kortlægningen blev udført af DCE og repræsenterede luftkvaliteten i 2012. For at kunne gennemføre den nationale kortlægning af luftkvalitet blev der foretaget en række forenklinger. Det drejer sig om, hvor detaljeret veje og trafik beskrives, hvordan baggrunds-koncentrationer og meteorologi håndteres, og hvordan kvælstofdioxid (NO₂) beregnes. Formålet med denne rapport er at foretage en vurdering af, hvad disse forenklinger betyder for kvaliteten af den nationale kortlægning. Et delformål er at undersøge, hvorfor der blev beregnet relativt høje koncentrationer længere væk fra vejene, idet de modelberegnedte koncentrationer ikke aftog så hurtigt med afstanden fra vejen som umiddelbart forventet på basis af viden fra tidligere målekampagner. For at understøtte analysen er der gennemført en ny målekampagne ved Holbækmotorvejen ved Svogerslev i 2016, som bl.a. belyser, hvordan luftforureningen aftager i relativ stor afstand fra motorvejen med målinger i op til 400 meters afstand, hvilket er omkring dobbelt så langt fra motorvejen som i tidligere målekampagner. Endvidere er der gennemført sammenligninger af OML-Highway beregninger med den nye målekampagne ved Svogerslev i 2016, og det er forsøgt at estimere betydningen af de forenklinger, som blev foretaget i kortlægningen. Endelig er nye OML-Highway beregninger gennemført og sammenlignet med tidligere gennemførte målekampagner for Køge Bugt i 2003 og Tastrup i 2008.
Emneord:	OML-Highway, luftkvalitet, model, validering, passive NO ₂ målinger.
Layout:	Majbritt Ulrich
Foto forside:	Vejdirektoratet.
ISBN:	978-87-7156-287-3
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	49
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR240.pdf

1	Indledning	5
2	Sammenfatning	7
2.1	Baggrund og formål	7
2.2	Kortlægningsmetoden	7
2.3	Modificeret version af OML-Highway	8
2.4	Hovedkonklusioner	9
3	Summary in English	12
3.1	Background and objectives	12
3.2	Mapping method	12
3.3	Modified version of OML-Highway	13
3.4	Main conclusions	14
4	Validering af kortlægningsmetoden	17
4.1	OML-Highway luftkvalitetsmodellen	17
4.2	Kortlægningsmetoden	18
4.3	Modificeret version af OML-Highway	22
4.4	De tre målekampagner	22
4.5	Fælles input-data for modelberegninger	23
5	Validering for Svogerslev 2016	26
5.1	Målekampagne	26
5.2	Modelberegninger	28
5.3	Sammenligning mellem målinger og beregninger	31
5.4	Vurdering af metode for NO ₂ korrektion	33
5.5	Vurdering af meteorologiklasser	35
5.6	Det videre arbejde	36
6	Validering for Køge Bugt 2003	38
6.1	Målekampagne	38
6.2	Modelberegninger	39
7	Validering for Taastrup 2008	42
7.1	Målekampagne	42
7.2	Modelberegninger	43
	Referencer	47

[tom side]

1 Indledning

OML-Highway er en luftkvalitetsmodel, som er udviklet til at beregne luftkvaliteten langs veje i åbent terræn. OML-Highway er integreret i ArcGIS som en såkaldt extension med navnet SELMAGIS. En extension er et tilføjelsesprogram, som tilfører standardprogrammet ArcGIS nye specialiserede funktioner.

I 2015 blev OML-Highway anvendt i en national kortlægning af luftkvaliteten langs alle statsvejene i Danmark. Dette skete med udgangspunkt i Vejdirektoratets digitaliserede vejnet for statsvejene, som udgør en del af Vejdirektoratets forvaltningssystem kaldet vejman.

For at kunne gennemføre den nationale kortlægning blev der foretaget en række forenklinger. Det drejer sig om, hvor detaljeret veje og trafik beskrives, samt hvordan baggrundskoncentrationer og meteorologi håndteres, og hvordan NO₂, som indgår i fotokemi, beregnes.

Formålet med denne rapport er at foretage en vurdering af, hvad disse forenklinger betyder for kvaliteten af den nationale kortlægning af luftkvalitet langs statsvejene i Danmark.

For at understøtte analysen er der gennemført en ny målekampagne ved Holbækmotorvejen ved Svogerslev i 2016, som bl.a. belyser, hvordan luftforureningen aftager i relativ stor afstand fra motorvejen med målinger i op til 400 meters afstand, hvilket er omkring dobbelt så langt fra motorvejen som i tidligere målekampaner. Endvidere er der gennemført sammenligninger af OML-Highway beregninger med den nye målekampagne ved Svogerslev i 2016, og det er forsøgt at estimere betydningen af de forenklinger, som blev foretaget i kortlægningen. Endvidere er nye OML-Highway beregninger gennemført og sammenlignet med tidligere gennemførte målekampaner for Køge Bugt i 2003 og Tastrup i 2008.

Projektet er støttet af Vejdirektoratet og har været fulgt af en følgegruppe bestående af Jakob Fryd og Lene Nøhr Michelsen fra Vejdirektoratet og Steen Solvang Jensen og Matthias Ketzler fra Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE) under Aarhus Universitet.

Rapporten er struktureret på følgende måde:

Kapitel 2 er en dansk sammenfatning

Kapitel 3 er sammenfatningen på engelsk

Kapitel 4 beskriver kort OML-Highway, og hvordan metoden for den nationale kortlægning af luftkvaliteten langs statsvejnettet valideres i forhold til de tre målekampaner

Kapitel 5 beskriver validering for målekampagnen ved motorvejen ved Svogerslev i 2016, og vurdering af kortlægningsmetoden

Kapitel 6 beskriver validering for målekampagnen ved motorvejen ved Køge Bugt i 2003

Kapitel 7 beskriver validering for målekampagnen ved motorvejen ved Taastrup i 2008.

Der er en referenceliste til sidst i rapporten.

2 Sammenfatning

2.1 Baggrund og formål

Vejdirektoratet fik i 2015 gennemført en kortlægning af luftkvaliteten langs alle statsvejene i Danmark med OML-Highway-modellen. Kortlægningen blev udført af DCE og repræsenterede luftkvaliteten i 2012 (Jensen et al., 2015). OML-Highway er en luftkvalitetsmodel, som er specielt udviklet til at beregne luftkvaliteten langs veje i åbent terræn.

For at kunne gennemføre den nationale kortlægning af luftkvalitet langs statsvejene blev der foretaget en række forenklinger. Det drejer sig om, hvor detaljeret veje og trafik beskrives, hvordan baggrundskoncentrationer og meteorologi håndteres, og hvordan kvælstofdioxid (NO_2) beregnes.

Formålet med denne rapport er at foretage en vurdering af, hvad disse forenklinger betyder for kvaliteten af den nationale kortlægning. Et delformål er at undersøge, hvorfor der tilsyneladende blev beregnet relativt høje koncentrationer længere væk fra vejene, idet de modelberegnedte koncentrationer ikke aftog så hurtigt med afstanden fra vejen som umiddelbart forventet på basis af viden fra tidligere målekampagner. For at understøtte analysen, er der gennemført en ny målekampagne for NO_2 (kvælstofdioxid) ved Holbæk-motorvejen ved Svogerslev i 2016, som bl.a. belyser, hvordan luftforureningen aftager i relativ stor afstand fra motorvejen med målinger i op til 400 m, hvilket er omkring dobbelt så langt fra motorvejen som i tidligere målekampagner. Endvidere er der gennemført sammenligninger af OML-Highway beregninger med den nye målekampagne ved Svogerslev i 2016, og forsøgt at estimere betydningen af de forenklinger, som blev foretaget i kortlægningen. Endvidere er nye OML-Highway beregninger gennemført og sammenlignet med tidligere gennemførte målekampagner for Køge Bugt i 2003 og Tastrup i 2008.

I det følgende vurderes kortlægningsmetoden først for Svogerslev kampagnen i 2016, hvor den mest detaljerede analyse er foretaget. Efterfølgende opsummeres resultaterne af analyserne for hhv. kampagnerne for Køge Bugt i 2003 og Tastrup i 2008.

2.2 Kortlægningsmetoden

De forenklinger, som er indeholdt i kortlægningsmetoden, er kort beskrevet nedenfor.

Vejnettet

Vejnettet er baseret på vejman.dk, som omfatter alle statsveje. Dette vejnet er enkelt digitaliseret, dvs. at fx en motorvej repræsenteres ved en centerlinje, som ligger i midterrabatten. Vejens bredde er defineret ved vejbredden omkring denne centerlinje (ekskl. nødspor). OML-Highway muliggør en mere detaljeret beskrivelse af vejens præcise placering af vognbaner mv., som ikke er anvendt i kortlægningsmetoden.

Baggrundskoncentrationer

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 statsvejnettet.

Forenklingen består i, at et beregningspunkt tilknyttes nærmeste punkt for baggrundskoncentrationer. Baggrundskoncentrationen i beregningspunktet tages således fra nettet af gitterceller. Dette skulle kun introducere en marginal forskel. Endvidere består forenklingen i, at emissioner fra kommunale veje, som ligger i samme 1x1 km² gitterceller som statsveje, ikke medtages i beregningen af baggrundskoncentrationerne (som bivirkning ved en simpel metode til at undgå dobbelttælling af emissioner). Dette kan give en mindre underestimering af koncentrationerne. De kommunale veje indgår dog for alle gitterceller, som ikke indeholder statsveje, i forbindelse beregning af baggrundskoncentrationerne. Bidraget fra statsveje indgår ikke i beregning af baggrundskoncentrationer, men deres bidrag indgår i beregning for beregningspunkterne langs motorvejen.

NO₂-estimering

I OML-Highway beregnes NO₂ time for time ved at tage hensyn til at NO₂ indgår i fotokemiske reaktioner i atmosfæren (involverende NO (kvælstofoxid), NO₂ (kvælstofdioxid) og O₃ (ozon)), og der er ikke en lineær sammenhæng mellem NO_x og NO₂. Det ville have været meget ressourcekrævende at gennemføre beregningerne på denne måde i forbindelse med kortlægningen langs hele statsvejnettet. I stedet for beregninger, hvor baggrundskoncentrationen varierer time for time, er kortlægningsmetoden derfor baseret på årsmiddelværdier for baggrundskoncentrationer af NO₂ på en geografisk opløsning på 1 km x 1 km, som tidligere er blevet beregnet i et andet projekt. NO₂ ved beregningspunkterne er 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 beregningsstedet og baggrundskoncentrationsstedet, NO₂ og O₃ for baggrundskoncentrationsstedet samt oplysninger om andelen af direkte NO₂-emissioner af NO_x-emissioner fra trafikken.

Årsmiddelværdier for baggrundskoncentrationer beregnet med DEHM/-UBM indgår således som en integreret del af metoden for NO₂-estimering.

Meteorologi

I forbindelse med OML-Highway beregninger benyttes normalt en meteorologisk fil, som er repræsentativ for de meteorologiske forhold omkring beregningspunkterne. For at forenkle beregningerne i kortlægningsmetoden, således at der ikke skulle dannes en meteorologisk fil for hver 1 km x 1 km gittercelle i hele landet langs statsvejnettet, blev Danmark inddelt i 5 forskellige meteorologiske klasser baseret på den gennemsnitlige vindhastighed.

I kortlægningen blev der anvendt modelleret meteorologi fra den meteorologiske model MM5, men DCE er efterfølgende overgået til at anvende en anden meteorologisk model, WRF. WRF er anvendt i forbindelse med de nye OML-Highway beregninger i nærværende rapport. Sammenligning mellem MM5 og WRF viser ikke de store forskelle, men at WRF er lidt bedre end MM5. Dette er ikke en del af forenklingen ved kortlægningen, men kan introducere mindre forskelle i luftkvalitetsberegningerne.

2.3 Modificeret version af OML-Highway

Der er anvendt en modificeret version af OML-Highway i forhold til den udgave, som blev anvendt i kortlægningen. I den modificerede version medtages ikke bidrag fra emissionskilder fra statsvejnettet længere væk end 20 km,

da det vurderes at bidragene herfra bør være minimale, mens de i den tidligere version fik for stor vægt. Endvidere har grænselagshøjden i det meteorologiske input-data en minimumshøjde på 150 m, da den meteorologiske model WRF beregnede urealistisk lave værdier i nogle tilfælde. Begge disse forhold bidrager til lavere koncentrationer især længere væk fra vejen set i forhold til beregningerne foretaget i forbindelse med den nationale kortlægning. For Svogerslev reducerede dette koncentrationerne med omkring 3-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Den tidligere anvendte version af OML-Highway i kortlægningen har derfor overestimeret koncentrationerne især længere væk fra vejen uafhængig af de forenklinger, som er foretaget for at kunne gennemføre kortlægningen. Det er den modificerede version, som er anvendt til sammenligning med målingerne i alle tre kampagner (Svogerslev 2016, Køge Bugt 2003 og Taastrup 2008).

2.4 Hovedkonklusioner

2.4.1 Ny målekampagne ved Svogerslev i 2016

Der er gennemført en ny målekampagne med passive NO_2 -opsamlere ved Holbækmotorvejen ved Svogerslev vest for Roskilde. Måleperioden var 6 uger fra 10.05.2016 kl. 14 til 21.06.2016 kl. 11, dvs. uge 20 til uge 25. Til målekampagnen blev der anvendt det japansk producerede Advantec filter badge til passiv opsamling af NO_2 .

For at teste nøjagtigheden af de passive NO_2 -opsamlere er der gennemført samtidige målinger med de passive opsamlere ved de permanente målestationer på Jagtvej i København (gadestation) og ved Risø (landstation) under det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet. Disse sammenligninger viser høj korrelation mellem de to målinger, men de passive målinger ligger lidt lavere end de aktive. Forholdet mellem målingerne er anvendt til at kalibrere værdierne fra de passive NO_2 -opsamlere.

Målingerne viser som forventet højst koncentrationer tæt på motorvejen og hurtig aftagen med afstanden til motorvejen. I en afstand af omkring 400 m har koncentrationerne næsten nået baggrundsniveauet, hvor der ikke længere sker væsentlig yderligere aftagen med afstanden til motorvejen.

Sammenligning af OML-Highway med Svogerslev-målekampagne

Beregningerne med OML-Highway viser generelt noget højere koncentrationer end målingerne, dog undtaget målepunktet tættest på vejen syd for motorvejen. Overestimeringen er relativ større længere væk fra motorvejen.

Vurdering af forenklingerne i kortlægningsmetoden

I det følgende opsummeres betydningen af forenklingerne i kortlægningsmetoden baseret på beregninger og målinger fra Svogerslev kampagnen.

Forenkling af vejnettet

Digitaliseringen af centerlinjen er generelt af meget høj kvalitet, hvilket udvalgte stikprøver i forhold til digitale luftkort viser. En forskydning af centerlinjen med fx 1 m i forhold til virkeligheden vil have en betydning for de beregnede koncentrationer meget tæt på vejen, men vil være ubetydelige længere væk fra vejen. Denne forenkling er derfor ikke forsøgt kvantificeret, da den vurderes at være ubetydelig for kortlægningsresultaterne, lige så snart man er lidt længere væk fra motorvejen, dvs. i afstande af omkring 20-30 m fra vejmidten.

Forenklet NO₂-estimering

Den forenkledte NO₂-estimering i kortlægningsmetoden giver generelt lavere beregnede koncentrationer end de timebaserede OML-Highway-beregninger, og den har meget mindre forskel mellem minimumsværdier (langt fra motorvejen) og maksimumsværdier (tæt på motorvejen). Dette er en væsentlig årsag til, at der i kortlægningen af luftkvaliteten langs hele statsvejnettet ses uventet lille forskel på de beregnede koncentrationer tæt på motorvejen og længere væk, og at de beregnede koncentrationer i kortlægningen dermed ikke aftog så hurtigt, som det kunne forventes.

I forhold til målingerne undervurderer kortlægningsmetoden de højeste koncentrationer tæt på motorvejen, og kortlægningsmetoden overvurderer længere væk fra vejen. Dette illustrerer, at de beregnede koncentrationer længere væk fra motorvejen ikke aftager så hurtigt som forventet.

Den forenkledte NO₂-estimering har bevirket en tendens til generelt at beregne for lave koncentrationer, og har betydet mindre forskel mellem minimums- og maksimumsværdier, mens den anvendte version af OML-Highway i kortlægningen har bidraget til at overvurdere koncentrationerne især længere væk fra vejen. Disse to forhold har dermed til dels udlignet hinanden, dog således at koncentrationer især længere fra vejen har været overvurderet i kortlægningen.

Der er også usikkerhed på niveauet for årsmiddelkoncentrationerne beregnet med DEHM/UBM, men de absolutte forskelle er små i forhold til målingerne, og kan ikke forklare, hvorfor kortlægningen viste relativt høje koncentrationer længere væk fra vejen.

Anvendelse af vindhastighedsklasser

For at vurdere betydningen for koncentrationerne af at anvende vindhastighedsklasser i kortlægningsmetoden, er der for målekampen ved Svogerslev gennemført en følsomhedsanalyse med forskellige forudsætninger for meteorologiske data. Forskellen på at anvende den nedre og øvre grænse for vindhastigheden i vindhastighedsklassen er maksimalt op til 10%, og bidraget fra motorvejen påvirkes stort set lige meget i forskellige afstande af motorvejen, da fortyndingen afhænger af vindhastigheden. Anvendelse af vindhastighedsklasser forklarer derfor ikke, hvorfor kortlægningen har relativt høje koncentrationer længere væk fra vejen, men bidrager alene til den usikkerhed, som følger af at anvende vindhastighedsklasser.

2.4.2 OML-Highway og Køge Bugt 2003 målekampagne

For NO₂ undervurderer OML-Highway koncentrationerne tæt på motorvejen, mens koncentrationerne for alle øvrige punkter længere væk er overestimeret.

Sammenligning mellem OML-Highway-beregninger gennemført med meteorologisk data beregnet med henholdsvis WRF (Weather Research and Forecasting) og data målt med Sonic viste god overensstemmelse mellem resultaterne. Dette er en indikation af, at de modellerede meteorologiske data fra WRF ikke er meget forskellige fra målte meteorologiske data for længere midlingsperioder.

Det blev også undersøgt, hvor hurtigt luftforureningen aftager med afstanden ved at generere en række beregningspunkter vinkelret på motorvejen i for-

skellige afstande op til 10 km fra motorvejen. I henhold til modelberegningerne falder koncentrationer hurtigt de første 1.000 m, men baggrundsniveauet nås først efter omkring 8 km. I forhold til målingerne ved Svogerslev 2016 ser det ud til at baggrundsniveauet i modellen først nås i for stor afstand, idet målingerne dér viser at baggrundsniveauet næsten var nået i en afstand af omkring 400 m. Dette indikerer, at OML-Highway beregner for høje koncentrationer længere væk fra vejen.

2.4.3 OML-Highway og Taastrup 2008 målekampagne

Der har ikke tidligere været foretaget valideringsstudier for denne målekampagne ved Taastrup, da målekampagnen ikke var designet til dette, men til at vurdere emissionen fra trafikken, især partikler fra trafik ved høj hastighed. Forholdene er ikke særligt velegnede til et valideringsstudie, da de geometriske forhold er meget komplekse. Forholdene kan ikke til fulde beskrives med den nuværende version af OML-Highway, bl.a. fordi motorvejen er nedgravet det pågældende sted, og der er træer langs motorvejen.

I kampagnen blev der gennemført meteorologiske målinger med Sonic. Disse er anvendt til at sammenligne meteorologiske modelberegninger med WRF og Sonic målinger for timeværdier for de to vigtige parametre vindhastighed (som Ustar, u^*) og vindretning. Ustar er en spredningsmodelparameter, som bruges til at beskrive den vindskabte turbulens, og den er bl.a. tilnærmelsesvis proportional med vindhastigheden, dvs. jo højere vindhastighed jo højere Ustar. Analysen viste god overensstemmelse mellem WRF og målinger for disse to vigtige parametre.

2.4.4 Det videre arbejde

Der er fortsat behov for at videreudvikle OML-Highway, da modellen stadigvæk overestimerer koncentrationer især længere væk fra motorvejen. DCE har i april 2017 bevilget midler til et projekt, som skal adressere dette problem. Projektet forventes afsluttet ultimo 2017.

3 Summary in English

3.1 Background and objectives

The Danish Road Directorate conducted a mapping of air quality along all state roads in Denmark with the OML-Highway model in 2015. DCE carried out the mapping, and the model results represented air quality in 2012 (Jensen et al., 2015). OML-Highway is an air quality model, which is specifically designed to calculate the air quality along roads in open terrain.

In order to implement the national mapping a number of simplifications was made. These simplifications addressed how detailed roads and traffic are described, as well as how the background concentrations and meteorology are handled, and how nitrogen dioxide (NO₂) is calculated.

The aim of this report is to make an assessment of the impact of these simplifications for the quality of the national mapping. A secondary objective is to investigate why modelled concentrations in the national mapping do not decrease as fast as expected with distance from the road; such expectations are based on previous measurement campaigns. To support this analysis, a new measurement campaign at the motorway close to Svogerslev in 2016 was conducted. One of the purposes was to assess how air pollution decreases farther away from the highway. Furthermore, a comparison of OML-Highway calculations performed with and without the simplifications in mapping method was conducted. Additionally, a comparison of OML-Highway calculations and the measurements from the new measurement campaign at Svogerslev in 2016 was carried out, as well as new OML-Highway calculations compared with the previous measurement campaigns done at the motorway at Køge Bugt in 2003 and the motorway at Taastrup in 2008.

In the following the mapping method is assessed first for the Svogerslev measurement campaign in 2016, as this is the most detailed analysis. Afterwards, the results of the analyses of the campaigns for Køge Bugt in 2003 and Taastrup in 2008.

3.2 Mapping method

The simplifications of the mapping method are briefly outlined below.

The road network

The road network is based on vejman.dk, which includes all state roads in Denmark. This road network is single digitized e.g. a highway is represented by a single centre line. Road width is defined according to this centre line (excl. emergency lane). OML-Highway allows for a more detailed description of the exact location of road lanes etc., which are not used in mapping method.

Background concentrations

The background concentrations are calculated with a regional air quality model, the Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM) and a local scale background model, the Urban Background Model (UBM) for all 1 x 1 km² grid cells in Denmark along state roads. A simplifying assumption for background concentrations is that a calculation point along a road is represented by the nearest centre point for background concentrations in a 1 km x 1 km grid cell,

which should introduce only a marginal difference. A further simplifying assumption (a side effect of a simple way to avoid double counting) is that emissions of municipal roads located in the same 1 km x 1 km grid cell as a state road are not included when calculating background concentrations. This may allow for a minor underestimation. However, roads municipal roads are however included in the calculation of background concentrations for grid cells with no state. State roads are not included in the calculation of background concentrations but contribute to the concentration for the calculations points along the roads.

NO₂ estimation

OML-Highway calculates NO₂ concentrations hour by hour, by taking account of photochemical reactions in the atmosphere including NO (nitrogen oxide), NO₂ (nitrogen dioxide), and O₃ (ozone). There is not a linear relationship between NO_x and NO₂. It would be very resource demanding to carry out calculations in this way in the context of mapping along the entire State road network. Therefore, instead of calculations, where the background concentration varies for every hour, the mapping method is based on annual mean background concentrations of NO₂ on a spatial resolution of 1 km x 1 km. Such concentrations were previously calculated in another project. NO₂ at calculation points is calculated based on a method developed by Düring et al. (2011). It is a simplified chemistry model, which is based on annual mean NO_x concentrations for the calculation point and the associated background concentrations, as well as, NO₂ and ozone for background concentration at the site as well as information on the percentage of directly emitted NO₂ emissions of NO_x emissions from traffic.

Hence, background concentrations calculated with DEHM/UBM is an integrated part of the methodology for NO₂ estimation.

Meteorology

Denmark was divided into 12 regions, representing 5 different meteorological classes based on the average wind speed in order to avoid generation of a meteorological file for every single 1 km x 1 km grid cell along the state road network. The meteorological model MM5 was used in the mapping, but DCE has subsequently changed model to WRF (Weather Research and Forecasting). A comparison of MM5 and WRF shows no large differences, although the WRF is slightly better than MM5.

3.3 Modified version of OML-Highway

The calculations are carried out with a modified version of OML-Highway compared to the version that was used in the mapping. In the modified version contributions from emission sources from state roads further away than 20 km are not included. Furthermore, the boundary-layer height in the meteorological input data has a minimum height of 150 m, as WRF may estimate unrealistically low values in some cases. Both of these factors contribute to lower concentrations than in the mapping, in particular, further away from the road. These modifications reduced concentrations by about 3-5 µg/m³. The previously used version of OML-Highway in the mapping has therefore in particular overestimated concentrations further away from highways, and independently of the simplifications made in order to implement the mapping. It is the modified version that is used for comparisons with the measurements in all three campaigns (Svogerslev 2016, Køge Bugt 2003 and Taastrup 2008).

3.4 Main conclusions

3.4.1 New measurement campaign at Svogerslev in 2016

A new measurement campaign with passive NO₂ samplers was carried out at the Holbæk motorway at Svogerslev located west of Roskilde. The measurement period lasted 6 weeks from 10.05.2016 2 pm to 21.06.2016 11 am, that is week 20 to week 25. The Japanese produced Advantec filter badges for passive absorption of NO₂ were used.

To test the accuracy of the passive NO₂ samplers simultaneous measurements at the permanent measuring stations on Jagtvej in Copenhagen (Street station) and at Risø (rural station) under the National Air Quality Monitoring Programme were carried out. These comparisons show high correlation between the two types of measurements, but the passive measurements are slightly lower than the active. The relationship between the measurements is used to calibrate the values from the passive NO₂ samplers.

As expected the measurements show maximum concentrations close to the motorway and rapid decline in concentrations with distance to the highway. At a distance of around 400 m the concentrations have almost reached background levels.

Comparison of OML-Highway and Svogerslev measurement campaign

OML-Highway calculations show generally higher concentrations than measurements except for the measuring point closest to the motorway. The overestimation is relatively greater further away from the motorway.

Evaluation of the simplifications of the mapping method

In the following, a summary of the impacts of the simplifications of the mapping method is given based on calculations and measurements of the Svogerslev campaign.

Simplification of the road network

A road is single digitized, and the digitalization of the centre line is generally of very high quality, which has been demonstrated by comparing selected samples with aerial photos. A displacement of the centre line of e.g. 1 m will have an impact on the calculated concentrations very close to the road, but would be negligible farther away from the road, and the effect is therefore not quantified.

Simplified estimation of NO₂

The mapping method with its simplified NO₂ estimation generally leads to lower concentrations than hourly based OML-Highway calculations, and it has less span between lowest (far from motorway) and highest (close to motorway) calculated values. This is a major reason why in the national mapping there is unexpectedly small difference between modelled air quality levels, respectively, close to and further away from the state roads, and that the calculated concentrations in the mapping do not decline as quickly as expected.

Compared to measurements from Svogerslev the mapping method underestimates the highest concentrations close to the motorway and overestimates farther away from the road. This also illustrates that the calculated concentrations farther away from the highway do not decline as quickly as expected.

The simplified NO₂ estimation has contributed to the underestimation of the calculated concentrations in general, while the version of OML-Highway applied in the mapping has resulted in a tendency to overestimate the concentrations, especially farther from the road. Thus, these two factors have partly offset each other; however, they have led to the net result that the concentrations especially farther from the road have been overestimated in the mapping.

There is also uncertainty in the level of the annual mean concentrations calculated with DEHM/UBM, but the absolute differences are small compared to the measurements, and cannot explain why the mapping showed relatively high concentrations farther away from the road.

Application of wind speed classes

In order to assess the impact on concentrations of using wind speed classes in the mapping method, a sensitivity analysis was conducted for the Svogerslev campaign with different assumptions for meteorological data. The difference between the use of the lower and upper bound of wind speeds in the specific wind speed class showed a difference of up to 10%, and concentrations at all distances of the motorway were affected. Application of wind speed classes doesn't explain why the mapping has relatively high concentrations farther away from the road.

3.4.2 OML-Highway and Køge Bugt 2003 measurement campaign

The OML-Highway underestimates NO₂ concentrations close to the motorway, while all other points farther away are overestimated.

Comparison between OML-Highway calculations conducted with, respectively, WRF modelled meteorological data and measured Sonic data showed minor differences in concentrations, which is an indication that the modelled meteorological data from the WRF are not very different from measured meteorological data for longer time averaging periods.

The decline in concentrations with distance from the road was evaluated for different distances up to 10 km from the highway. Calculated concentrations decline quickly the first 1000 m, but the background level is not reached until around 8 km. If measurements of the Svogerslev campaign are used as guidance, this seems to be way too far, since the background level at Svogerslev was almost reached at a distance of about 400 m. This indicates that OML-Highway calculates too high concentrations farther away from the road.

3.4.3 OML-Highway and Taastrup 2008 measuring campaign

There has not previously been carried out validation studies for the measurement campaign at Taastrup, since the measuring campaign was not designed for this. Its objective was to assess vehicle emissions, especially particles for high speed conditions. The conditions at the measurement site are not suited for a validation study, since they are very complex as there is an embankment and trees along the highway.

Sonic meteorological measurements were carried out during the campaign. These are used to compare the meteorological model calculations with WRF and Sonic measurements of hourly values for the two important parameters wind speed (as Ustar, u^*) and wind direction. Ustar is a dispersion model

parameter, which is used to describe the wind-induced turbulence. Ustar is proportional to the wind speed – that is, the higher the wind speed, the higher the Ustar. The analysis showed good agreement between the model and measurements for these two important parameters.

3.4.4 Future work

There is room for improvement to the OML-Highway model, since the model overestimates concentrations, especially at some distance away from the highway. In April 2017 DCE funded a project to address this issue. The project is expected to be completed at the end of 2017.

4 Validering af kortlægningsmetoden

4.1 OML-Highway luftkvalitetsmodellen

OML-Highway er en gaussisk spredningsmodel på lokal skala 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 af industrikilder. I OML-Highway er OML-modellen blev ændret, 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 er detaljeret beskrevet og evalueret i forhold til målinger langs med Køge Bugt Motorvejen (Jensen et al. 2004; 2005a). Validering af OML-Highway blev foretaget i forbindelse med udvikling af modellen. Validering i form af sammenligning mellem målinger i forskelle afstande af en motorvej og modelresultater blev foretaget i 2003 med en målekampagne ved Køge Bugt Motorvejen.

Der er endvidere foretaget en evaluering af OML-Highway 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 en højere korrelation med målingerne end de andre modeller, som indgik i evalueringen.

Der har endvidere været gennemført en målekampagne på Holbækmotorvejen ved Taastrup i 2008 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).

Modellen har tidligere været anvendt til kortlægning af koncentrationsniveauer langs hele motorvejsnettet i det tidligere Roskilde Amt (Jensen et al. 2005a,b).

I perioden 2009-2010 blev der udviklet en brugerflade baseret på Geografiske Informationssystemer (GIS) til OML-Highway (Jensen et al., 2010a,b). OML-Highway blev 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 er programmeret som en sådan udvidelse.

Vejdirektoratet har anvendt versionen integreret i SELMA^{GIS} i forbindelse med flere VVM-vurderinger (Jensen et al., 2011a,b,c).

Vejdirektoratet har endvidere udgivet en vejledning i luftkvalitetsvurdering langs motorvej (Jensen et al., 2013), og støttet udarbejdelse af en brugermanual til OML-Highway (Olesen et al., 2015).

En rapport om kortlægning af luftkvalitet langs hele statsvejnettet blev udgivet i slutningen af 2015 (Jensen et al., 2015). Modelberegnete luftkvalitetsdata for NO₂, PM₁₀ og PM_{2.5} for 2012 kan ses på Vejdirektoratets hjemmeside som et WebGIS kort (<http://webkort.vd.dk/spatialmap>).

4.2 Kortlægningsmetoden

I forbindelse med den nationale kortlægning af luftkvalitet langs statsvejene blev der foretaget en række forenklinger af beregningsforudsætningerne i forhold til den normale brug af OML-Highway. Det drejer sig om hvor detaljeret veje og trafik beskrives, hvordan baggrundskoncentrationer og meteorologi håndteres, samt hvordan NO₂ beregnes. Disse forenklinger er nærmere beskrevet i det følgende.

Vejnet og trafik

Det digitaliserede vejnet er baseret på vejman.dk, som omfatter alle statsveje. Dette vejnet er enkelt digitaliseret, dvs. at fx en motorvej repræsenteres ved en centerlinje, som ligger i midterrabatten. Vejens bredde er defineret ved vejbredden omkring denne centerlinje. Oplysninger om vejbredden stammer fra vejman.dk.

OML-Highway muliggør at begge retninger samt også de enkelte vejbaner håndteres separat, hvilket giver en mere nøjagtig beskrivelse af placering af emissionen i forhold til beregningspunkter. Dette har størst betydning for beregningspunkter tæt på vejen, da koncentrationerne aftager hurtigt tæt på vejen. Det var ikke resourcemæssigt muligt i kortlægningen langs hele statsvejnettet at have denne detaljeringsgrad, hvilket er baggrunden for forenklingen af beskrivelsen af vejnettet.

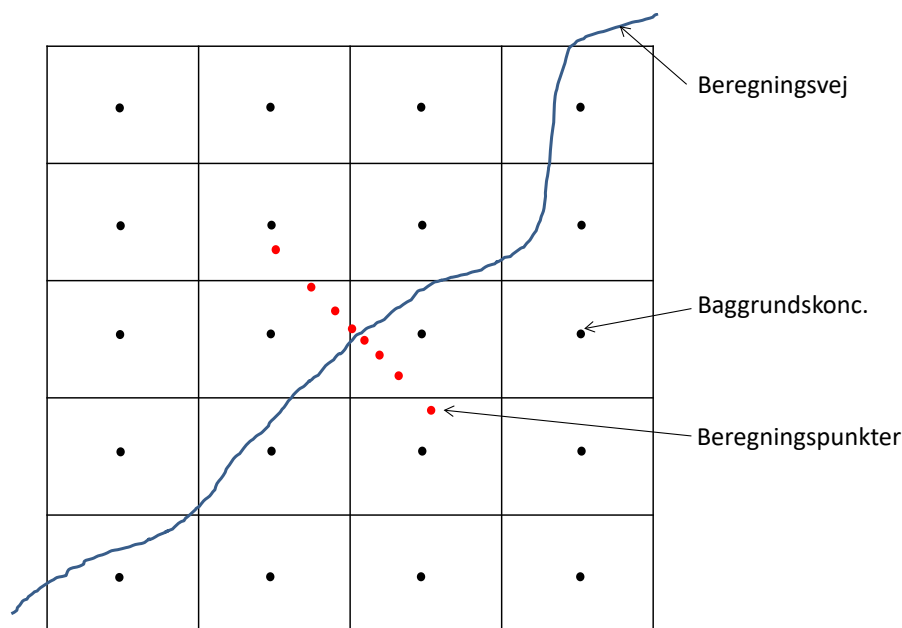
Digitaliseringen af centerlinjen er generelt af meget høj kvalitet, da den er digitaliseret ud fra digitale luftfoto. En stor forskydning af centerlinjen med fx 1 m i forhold til virkeligheden vil have en betydning for de beregnede koncentrationer meget tæt på vejen fx 20 m fra centerlinjen, men vil være ubetydelige længere væk for vejen. Denne forenkling er derfor ikke forsøgt kvantificeret, da den vurderes at være ubetydelig for kortlægningsresultaterne.

Baggrundskoncentrationerne

Baggrundskoncentrationerne er beregnet på basis af en kombination af 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 statsvejnettet. Et datasæt med årsmiddelværdier for 2012 blev lagt til grund.

Den regionale luftforurening beregnes med Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM) (Christensen, 1997; Brandt et al. 2012) som input til UBM, der beregner baggrundsforureningen. Baggrundsforureningen 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). For Danmark benyttes SPREAD-emissionsmodellen (Plejdstrup & Gyldenkerne 2011), som anvender forskellige geografiske fordelingsmetoder til at fordele de nationale emissionsopgørelse på 1x1 km² gitterceller, som dækker hele Danmark. Dette datasæt indeholder alle kilder som trafik, energi, industri, boligopvarmning, landbrug mv.

Beregningstilgangen er skitseret i Figur 4.1.



Figur 4.1. Baggrundskoncentrationer fra DEHM-UBM på 1x1 km² gitternet (sorte prikker) og beregningspunkter (røde prikker) langs beregningsvej.

Vejemissioner indgår i SPREAD, dvs. emissioner fra både statsvejnettet og kommunevejnettet. For at undgå dobbelttælling af emissioner fra vejtrafik er vejtrafikemissioner ekskluderet fra SPREAD-emissionerne i beregningerne af baggrundskoncentrationerne. Dette gælder kun for 1x1 km² gitterceller, som er inden for 1 km af statsvejnettet. Dette ekskluderer emissioner fra både statsvejnettet og kommunevejnettet, og da bidraget efterfølgende kun lægges til for statsvejnettet 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 statsvejnettet vil under-estimeringen være størst.

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

Forenklingen består således i at et beregningspunkt tilknyttes nærmeste punkt for baggrundskoncentrationerne, hvilket kun skulle introducere en marginal forskel i forhold til at beregne baggrundskoncentrationer for hvert beregningspunkt inden for en gittercelle. Endvidere består forenklingen i at emissioner fra kommunale veje, som ligger i samme 1x1 km² gitterceller som statsveje, ikke medtages. Dette vil give underestimering langs motorvejsstrækninger, hvor der tæt på motorvejen er kommunale veje med meget trafik, men underestimeringer er vurderet til at være lille.

I forbindelse med validering i forhold til de tre målekampagner har vi beregnet time for time med en tidsserie fra DEHM/UBM fra samme 1x1 km² gitterceller, som målepunkterne ligger i. Denne tidsserie ligger til grund for beregningerne med OML-Highway.

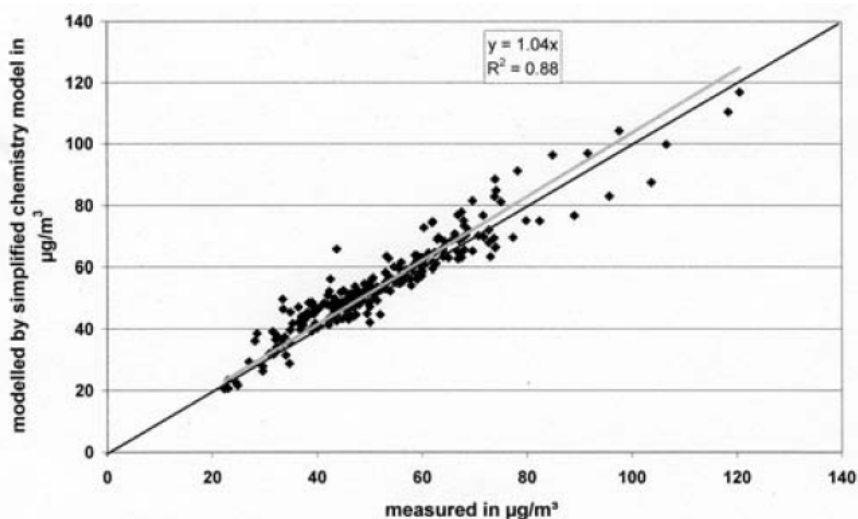
I kortlægningsmetoden indgår årsmiddelværdien for baggrundskoncentrationen for NO_x , NO_2 og O_3 i en forenklet metode for beregning af NO_2 , og testes derfor i sammenhæng med den forenkledte kemimodel, se næste afsnit.

Korrektion af NO_2

OML-Highway inkluderer en simpel fotokemisk model for reaktionerne mellem NO , NO_2 og O_3 i beregningerne af NO_2 koncentrationerne. Øvrige stoffer, som ikke indgår heri, spredes blot.

For ikke-reaktive stoffer som NO_x (sum af NO og NO_2), $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10} kan ovenstående beregninger gennemføres uden at tage højde for kemiske omdannelser. Koncentrationerne ved beregningspunkterne fås derfor ved at lægge bidraget fra DEHM/UBM sammen med det direkte bidrag fra statsvejen beregnet med OML-Highway.

NO_x består af NO og NO_2 . Da NO_2 indgår i fotokemiske reaktioner i atmosfæren er der ikke en lineær sammenhæng mellem NO_x og NO_2 . Da kortlægningsmetoden er baseret på årsmiddelværdier for baggrundskoncentrationer, blev der anvendt en forenklet metode til beregning af NO_2 . NO_2 ved beregningspunkterne er 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 beregningsstedet og baggrundskoncentrationsstedet, NO_2 og O_3 for baggrundskoncentrationsstedet samt oplysninger om andelen af direkte NO_2 -emissioner af NO_x -emissioner fra trafikken. I **Figur 4.2** er vist sammenhængen mellem tyske målinger og beregnede årsmiddelkoncentrationer af NO_2 med den simplificerede kemimodel. Der er en god sammenhæng mellem kemimodellen og målinger, hvilket ligger til grund for, at denne kemimodel blev anvendt i kortlægningen.



Figur 4.2. Sammenhængen mellem målinger og beregnede årsmiddelkoncentrationer af NO_2 med simplificeret kemimodel. Målingerne er fra 30 målesteder langs motorveje og bygader mellem 1997 og 2006. Kopi af Figur 10 fra Düring et al. (2011) med tilladelse fra forlaget Schweizerbart science publishers (www.schweizerbart.de/journals/metz).

I forbindelse med validering i forhold til de tre målekampagner har vi beregnet time for time med den fotokemi, som er indbygget i OML-Highway, da beregningerne skal sammenlignes med langt kortere perioder end et år.

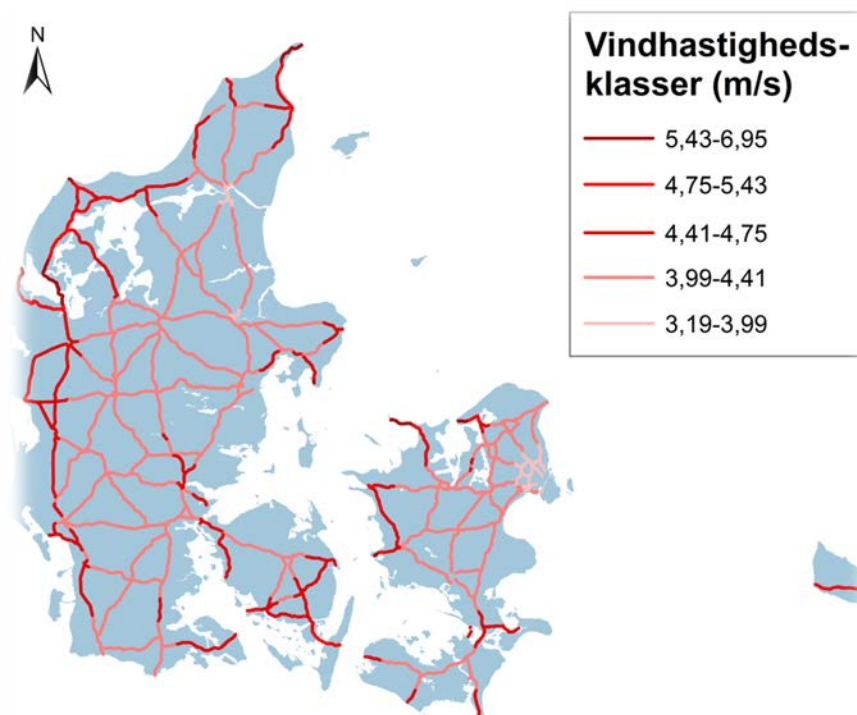
For at vurdere betydningen af den forenklede metode for beregning af NO₂ baseret på årsmiddelværdier har vi beregnet NO₂ i forskellige afstande fra vejene for et helt år med OML-Highways indbyggede fotokemi og sammenlignet med kortlægningsmetodens forenklede beregning af NO₂. Dette er gjort for Svogerslev 2016.

Meteorologi

Meteorologiske input er nødvendige for beregninger med OML-Highway. Det omfatter vindhastighed, vindretning, global stråling, temperatur, grænse-lagshøjde mv.

For at forenkle beregningerne i kortlægningsmetoden, således at der ikke skulle dannes en meteorologisk fil for hver 1 km x 1 km i hele landet, blev Danmark inddelt i 5 forskellige meteorologiske klasser baseret på den gennemsnitlige vindhastighed.

Vindhastigheden har afgørende indflydelse på årsmiddelkoncentrationen, og vindhastigheden har derfor styret inddeling af alle 1x1 km² gitterceller langs statsvejnettet i de 5 vindhastighedsklasser, se **Figur 4.3**. Der er herefter valgt én meteorologisk fil fra hver vindhastighedsklasse til at repræsentere den pågældende klasse, hvor vindhastigheden ligger omtrent i midten af vindklassen.



Figur 4.3. 5 meteorologiske klasser baseret på vindhastighed, som danner baggrund for beregninger af bidrag fra beregningsvejene til beregningspunkter langs statsvejnettet.

I forbindelse med validering i forhold til de tre målekampagner har vi også brugt modelleret meteorologi fra WRF (Weather Research and Forecasting), da vi har data 37 år tilbage i tiden og dermed også for de årstal som målekampagnerne berører. Meteorologiske data for den pågældende gittercelle, hvormålingerne ligger i, er anvendt. I kortlægningen blev der anvendt modelleret meteorologi fra MM5, som DCE tidligere anvendte, og som også blev anvendt i kortlægningen. I overgangen fra MM5 til WRF gennemførte DCE en række

sammenligninger mellem MM5 og WRF, som ikke viste de store forskelle, men at WRF er lidt bedre end MM5. Det ville have været ressourcekrævende at gennemføre validering for de tre målekampaner med anvendelse af MMS, hvorfor WRF er anvendt.

I forbindelse med valideringen for Taastrup 2008 er der gennemført en sammenligning af meteorologiske data fra WRF og målinger med Sonic for vindretning og vindhastighed, som viste god korrelation. Der er flere detaljer herom i afsnit 7.2.

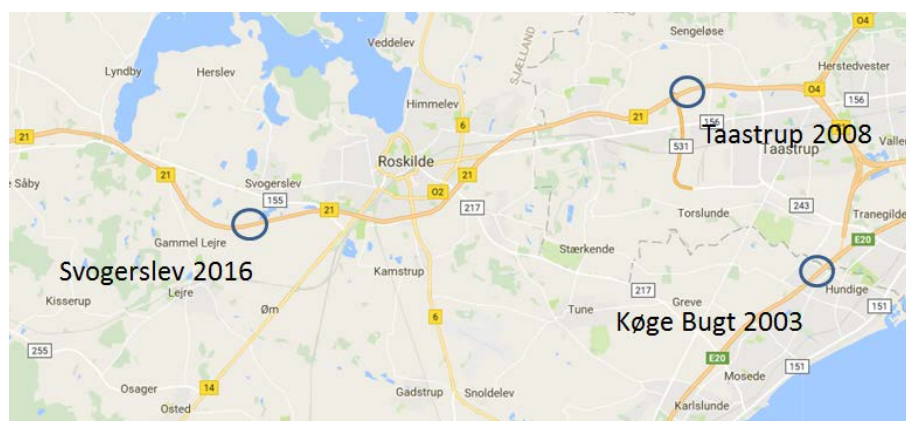
For at vurdere betydningen for koncentrationerne af at anvende vindhastighedsklasser i kortlægningsmetoden, er der for Svogerslev 2016 gennemført en følsomhedsanalyse. Her er gennemført beregninger med meteorologiske data repræsentativ for den nedre og øvre grænse i den pågældende vindhastighedsklasse for at illustrere det spænd i koncentrationer, som spændet i vindhastighedsklassen kunne give anledning til.

4.3 Modificeret version af OML-Highway

Der er anvendt en modificeret version af OML-Highway i forhold til den udgave, som blev anvendt i kortlægningen. I den modificerede version medtages ikke bidrag fra emissionskilder fra statsvejnettet længere væk end 20 km, da det vurderes at bidragene herfra bør være minimale, mens de i den tidligere version fik for stor vægt. Endvidere har grænselagshøjden i det meteorologiske input-data en minimumshøjde på 150 m, da den meteorologiske model WRF beregnede urealistisk lave værdier i nogle tilfælde. Begge disse forhold bidrager til lavere koncentrationer især længere væk fra vejen set i forhold til beregningerne foretaget i forbindelse med den nationale kortlægning. For Svogerslev reducerede dette koncentrationerne med omkring 3-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Den tidligere anvendte version af OML-Highway i kortlægningen har derfor overestimeret koncentrationerne især længere væk fra vejen uafhængig af de forenklinger, som er foretaget for at kunne gennemføre kortlægningen. Det er den modificerede version, som er anvendt til sammenligning med målingerne i alle tre kampaner (Svogerslev 2016, Køge Bugt 2003 og Taastrup 2008).

4.4 De tre målekampaner

De tre målekampaner er alle foretaget på Sjælland, og placeringen er vist i Figur 4.4. Det er alle motorveje med betydelig trafik. De tre kampaner er beskrevet yderligere i tabel 4.1.



Figur 4.4. Placering af tre målekampaner. Køge Bugt 2003, Taastrup 2008 og Svogerslev 2016 (Baggrundskort: Google Maps).

Tabel 4.1. Beskrivelse af de tre kampagner

	Køge Bugt 2003	Taastrup 2008	Svogerslev 2016
Måleperiode	15. sept. til 18. dec.	23. marts til 21. april	10. maj til 21. juni
Målelængde	13 uger	4 uger	6 uger
Luftforureninger	NO _x , NO, NO ₂	NO _x , NO, NO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , partikelantal (PN)	NO ₂
Målemetode	Monitorer	Monitorer	Passive opsamlere
Tidsopløsning	½ time	½ time, 3 min.(PN)	uge
Antal målepunkter	4	2	10
Afstande fra vej	1 og 200 m (fra vejkant)	1-200 m (fra vejkant)	20-417 m (fra centerlinje)
Meteorologimålinger	Sonic	Sonic	Ingen
Gns. trafikmængde	95.000	55.600	47.700
Formål	Beskrive hvordan luftforurening aftager med afstand vej, og udvikling af OML-Highway	Vurdering af emissionsfaktorer for især partikler for trafik ved høj hastighed	Test af metode anvendt til national kortlægning af luftkvalitet langs statsveje, samt hvordan luftforurening aftager med afstand fra vej

4.5 Fælles input-data for modelberegninger

Vejnet, trafikdata og emissioner

Det digitaliserede vejnet er baseret på vejman.dk, som omfatter alle statsveje. Vejdirektoratet er vejmyndighed for disse veje. I forbindelse med den nationale kortlægning blev GPS baseret rejsehastighedsdata fra SpeedMap fra Vejdirektoratet (<http://speedmap.dk/portal>) tilknyttet til vejnettet. Dette vejnet er enkelt digitaliseret, dvs. en motorvej repræsenteres ved en centerlinje, som ligger i midterrabatten. Vejens bredde er defineret ved vejbredden omkring denne centerlinje (ekskl. nødspejls) dvs. den del af vej, hvor køretøjernes emission er fordelt på.

Det er samme vejnet, som anvendes i forbindelse med validering for de tre målekampagner. Da alle tre målekampagner ligger på Sjælland indgår kun veje fra Region Sjælland og Region Hovedstaden.

For vejstykket ud for målingerne for hver af de tre kampagner er der udpeget en vejstrækning på omkring 5 km på hver side. For denne vejstrækning er årsdøgntrafik (ÅDT), køretøjsfordeling og rejsehastighed taget fra informationerne for de pågældende målekampagner og lagt ind på vejstrækningen. Trafikken for denne vejstrækning er altså den aktuelle trafik for den pågældende tidsperiode for målekampagnerne.

For alle øvrige veje i vejnettet for vejman repræsenterer årsdøgntrafikken for året 2013. Da de tre målekampagner er i hhv. 2003, 2008 og 2016 har det derfor været nødvendigt at ned- og opskalere trafikken på vejnettet. Dette er gjort på baggrund af national trafikstatistik fra Vejdirektoratet.

I Tabel 4.2. er vist de skaleringsfaktorer, som er anvendt til at skalere trafikmængderne fra 2013 til de pågældende år for målekampagnerne.

Tabel 4.2. Skaleringsfaktorer anvendt til at skalere trafik fra 2013 til år for målekampagnerne

	2003 (Køge Bugt)	2008 (Taastrup)	2016 (Svigerslev)
Region Sjælland			
Motorvej	0,93	1,01	1,13
Motortrafikvej	0,73	0,79	1,36
Øvrige veje	1,07	1,16	1,08
Region Hovedstaden			
Motorvej	0,86	0,93	1,12
Motortrafikvej	0,89	0,97	1,23
Øvrige veje	0,96	1,05	0,99

Der blev også lavet en analyse af udviklingen i køretøjsfordelingen, men denne har kun ændret sig lidt i perioden 2003 til 2016, og den er derfor antaget at være uændret.

I forbindelse med håndtering af trafikdata i OML-Highway skal brugeren definere en række mulige såkaldte trafik kategorier bestående af tungandel (andel af tunge køretøjer) i procent, rejsehastighed og OSPM-Type. Der må maksimalt være 200 kombinationer heraf (tungandel * hastighed * OSPM-Type). Følgende værdier er valgt: tungandel (%) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, rejsehastighed (km/t): 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, og OSPM-Type som motorveje (Type_B.trf). OSPM-Type beskriver døgnfordelingen og standard køretøjsfordelingen.

Emission fra trafikken er beskrevet ved køretøjs- og brændstofsletter i OSPM's emissionsmodul, som er baseret på COPERT emissionsmodellen (EEA, 2007). For Køge Bugt anvendes emissionen som i 2003, for Taastrup som i 2008 og for Svigerslev som i 2015, da 2016 endnu ikke er implementeret i OSPM.

Beregningspunkter

For hver målekampagne er beregningspunkter importeret i OML-Highway for sammenligning af målinger og beregninger.

Der er endvidere dannet en række beregningspunkter vinkelret på vejstrækningerne ved målekampagnerne helt op til 900 m fra vejene, se Tabel 4.3. Disse beregningspunkter bruges til at lave beregninger for et helt år, og for sammenligning mellem OML-Highways kemimodul og kortlægningsmetodens forenkede beregning af NO₂, som baserer sig på årsmiddelværdier. Endvidere belyser det, hvordan luftforureningen aftager med afstanden fra motorvejen ifølge OML-Highway.

Tabel 4.3. Afstande fra motorvej til beregningspunkter

Afstand (m)	Repræsentativ for buffer (m)
15	0-25
37,5	25-50
75	50-100
150	100-200
250	200-300
500	400-600
700	600-800
900	800-1.000

Baggrundskoncentrationer og meteorologi

Som beskrevet ovenfor er tidsserier for baggrundskoncentrationer fra DEHM/UBM-beregninger for 1 km x1 km gittercelle ved hver af målekampagnerne anvendt. Disse er baseret på meteorologi fra WRF, og WRF er derfor også anvendt som meteorologiske data til OML-Highway beregningerne for målekampagnerne.

5 Validering for Svogerslev 2016

5.1 Målekampagne

Der er gennemført en målekampagne med passive NO₂-opsamlere ved Holbækmotorvejen ved Svogerslev vest for Roskilde. Måleperioden var 6 uger fra 10.05.2016 kl. 14 til 21.06.2016 kl. 11, dvs. uge 20 til uge 25. Opsamlingsintervallet er en uge. Der er udført 5 målinger på hver side af motorvejen i forskellige afstande, dvs. i alt 10 samtidige målinger (**Tabel 5.1**). Der er valgt afstande længere væk fra motorvejen end i tidligere målekampaner for at teste OML-Highway for disse afstande. Der er gennemført dobbeltbestemmelse, dvs. 2 samtidige målinger for hvert målepunkt for at øge sikkerheden i målingerne - i alt 20 enkeltmålinger per opsamlingsinterval (én uge). Kampagnen på 6 uger giver således 120 enkeltmålinger, og $6 \times 10 = 60$ ugemåleværdier efter at dobbeltbestemmelserne er midlet.

Endvidere er der i overlappende perioder gennemført sammenligning af de passive målinger med referencemålinger gennemført under det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet i København og ved Risø (Ellermann et al., 2016). Placeringen af målepunkterne er vist i Figur 5.1.

Tabel 5.1. Målepunkters afstande fra motorvejens centerlinje. Vejens bredde ekskl. nødspejler er 15 m det pågældende sted.

Målepunkt	Afstand (m)	I forhold til vej
5	-361.3	Nord
4	-218.7	Nord
3	-120.2	Nord
2	-66.9	Nord
1	-24.3	Nord
6	20.0	Syd
7	60.1	Syd
8	113.3	Syd
9	212.5	Syd
10	416.6	Syd



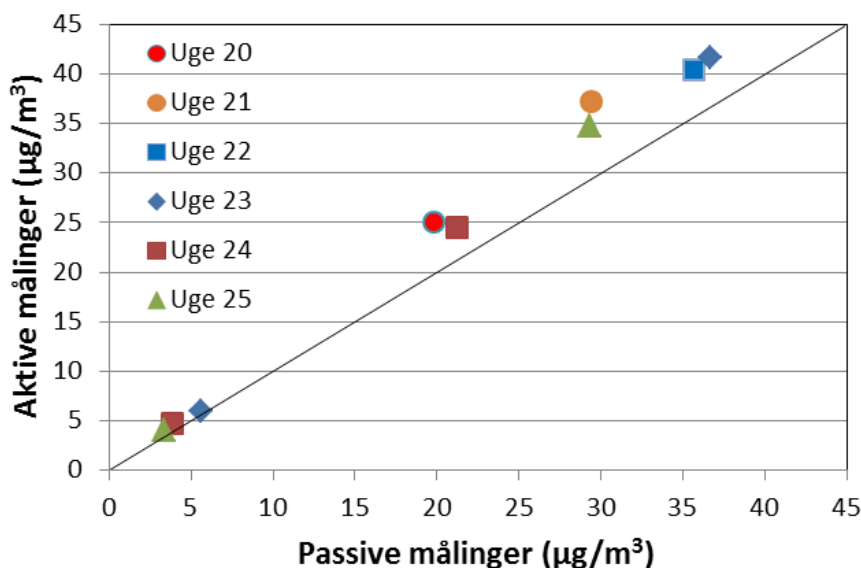
Figur 5.1. Placering af målesteder i forskellige afstande af motorvejen. 5 målesteder nord for motorvejen og 5 steder syd for.

Til målekampagnen blev der anvendt det japansk producerede Advantec filter badge til passiv opsamling af NO_2 . Passiv opsamling udnytter diffusion af en gas gennem et filter for derefter at absorbere gassen til en coated overflade. Advantec badges er med deres flade størrelse designet til at opnå en hurtig diffusionshastighed og en kort måleperiode. Dette gør dem nemme at håndtere i en målekampagne som denne. Hver badge består af tre komponenter; et diffusionsfilter med porer i størrelsesordenen $5\text{ }\mu\text{m}$, et absorptionsark coatede med TEA (triethanolamin) samt et plast hylster med diffusion fra den ene side. En lille klemme gør det nemt at montere dem i vindafskærmningskasse, se Figur 5.2. Efter endt opsamling ekstraheres badget og analyseres for indholdet af NO_2 i DCE's laboratorier.



Figur 5.2. Advantec NO_2 -opsamlere (hvid badge med klemme) placeres beskyttet af afskåret plastikspand (øvrigt anordninger kan bruges til andre typer af måleudstyr). Måle-højden er 1,5 m.

For at teste nøjagtigheden af de passive NO₂-opsamlere er der gennemført samtidige målinger med de passive opsamlere ved de permanente målestationer på Jagtvej i København (gadestation) og ved Risø (landstation) under det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet (**Figur 5.3**). Det ses, at der er en høj korrelation mellem de to måle typer, men de passive målinger ligger lidt lavere end de aktive. Forholdet mellem målingerne er anvendt til at kalibrere værdierne fra de passive NO₂-opsamlere.



Figur 5.3. Samtidige målinger med de passive NO₂-opsamlere ved de permanente målestationer på Jagtvej i København (gadestation med høje koncentrationer > 10 µg/m³) og ved Risø (landstation med lave koncentrationer < 10 µg/m³). Linjen angiver 1:1-linjen.

5.2 Modelberegninger

Vejnet og trafikdata

Det digitale vejnet er baseret på vejman fra Vejdirektoratet, og er det samme vejnet, som blev brugt til kortlægning af luftkvaliteten langs alle statsveje, hvor trafikdata repræsenterer 2013. Rejsehastighedsdata er fra SpeedMap. Dette vejnet er enkelt digitaliseret, dvs. motorvejen ved Svogerslev repræsenteres ved en centerlinje, som ligger i midterrabatten. Vejens bredde er defineret ved vejbredden omkring denne centerlinje. ÅDT er opskaleret fra 2013 til 2016, som beskrevet i afsnit 4.5.

For en vejstrækning på omkring 5 km på hver side af målestederne er tilknyttet trafikdata fra maskinelle og manuelle trafiktællinger udført af Vejdirektoratet, som beskrevet i det følgende. I beregningerne med OML-Highway er det nødvendigt at specificere årsdøgntrafikken, rejsehastighed for let trafik, samt OSPM-Type. OSPM-Type er en fil, som beskriver trafikens relative døgnfordeling underopdelt i mandag-torsdag, fredag, lørdag, og søndag samt i juli og øvrige måneder. Da det pågældende vejstykke er Type_B.trf er samme type valgt. Denne fil specificerer også køretøjsfordelingen, som skal være opdelt i: Personbiler, varebiler, lastbiler < 32t, lastbiler > 32t, busser.

Placering af maskinelle og manuelle trafiktællinger

De maskinelle tællinger dækker et år, og er fra perioden 30.06.2015 til 30.06.2016 ved kilometrer 36,1650 på Holbækmotorvejen. De manuelle tællinger er foretaget ved kilometrer 47,0106 hhv. den 17.03.2015 og 27.08.2015. Placering af de maskinelle og manuelle tællinger fremgår af Figur 5.4.



Figur 5.4. Placering af maskinelle trafiktællinger (km 36,1650) og manuelle tælling (km 47,0106) i forhold til målested for luftkvalitet.

Den maskinelle trafiktælling giver kun information om det samlede antal køretøjer ved kilometrer 36,1650. Da der ingen frakørsler er på strækningen mellem målested og den maskinelle tælling, repræsenterer de maskinelle tællinger også målestedet.

De manuelle tællinger giver køretøjsfordelingen. De manuelle tællinger er ved km 47,0106, og der er et fra- og tilkørselsanlæg mellem disse tællinger og målestedet. Der kan derfor være forskel i køretøjssammensætningen ved luftkvalitetsmålestedet og den manuelle tælling. Det er antaget at køretøjsfordelingen ved luftkvalitetsmålestedet er som de manuelle tællinger ved km 47,0106, mens det samlede antal er baseret på de maskinelle tællinger ved km 36,1650.

Maskinelle tælling

De maskinelle tællinger er underopdelt på spor, dvs. 2 spor i hver retning. Alle 4 spor er summeret.

Årsgennemsnitstrafikken for hele året 30.06.2015 til 30.06.2016 er 44.608.

Gennemsnitstrafikken for kampagneperioden fra 10.05.2016 til 21.06.2016 er 47.713. Det er forventet, at kampagneperioden har lidt højere gennemsnitstrafik end årsgennemsnitstrafikken pga. sæsonvariation med lidt mere trafik i foråret og efteråret, og kampagnen var i foråret.

Manuelle tællinger

De manuelle tællinger har følgende inddeling i køretøjstyper: Person- og varebiler < 2 t, vare- og lastbiler > 2 t og < 3.5 t, sololastbiler, lastbil med påhæng, lastbil m. sættevogn, busser, samt motorcykler. Dette er oversat til de kategorier, som optræder i emissionsmodulet til OML-Highway. Dvs. person- og varebiler samt motorcykler er personbiler, vare- og lastbiler < 2 t er varebiler, sololastbiler er lastbiler < 32 t, og lastbil med påhæng og lastbil m. sættevogn

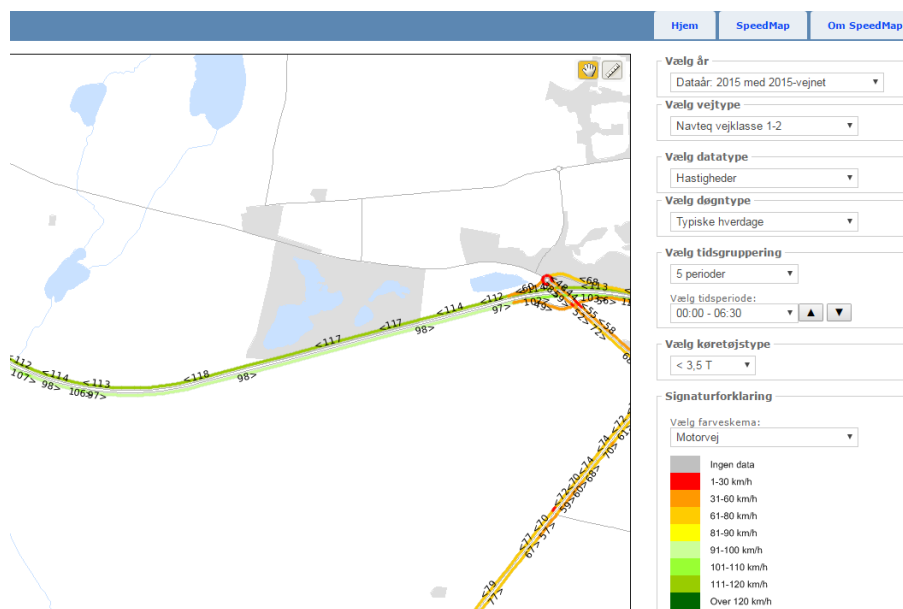
er lastbiler > 32t, og busser er busser. Den gennemsnitlige køretøjsfordeling fra de manuelle tællinger er lagt til grund i beregningerne, se Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Køretøjsfordeling baseret på 2 manuelle trafiktællinger ved km 47,0106.

Dato	Retning	Personbil	Varebil	Lastbil<32t	Lastbil>32t	Bus	Total
Tirsdag 17.03.2015	Mod Roskilde	11.990	1.836	258	538	21	14.643
Tirsdag 17.03.2015	Mod Holbæk	12.452	2.278	289	558	15	15.592
Tirsdag 17.03.2015	Total	24.442	4.114	547	1.096	36	30.235
Køretøjsfordeling (fraktion)		0,8084	0,1361	0,0181	0,0362	0,0012	1,0000
Torsdag 27.08.2015	Mod Roskilde	12.724	1.943	261	505	34	15.467
Torsdag 27.08.2015	Mod Holbæk	13.630	2.520	296	543	22	17.011
Torsdag 27.08.2015	Total	26.354	4.463	557	1.048	56	32.478
Køretøjsfordeling (fraktion)		0,8114	0,1374	0,0172	0,0323	0,0017	1,0000
Begge dage		25.398	4.289	552	1.072	46	31.357
Anvendte køretøjsfordeling (fraktion)		0,8099	0,1368	0,0176	0,0342	0,0015	1,0000

Rejsehastighed for lette køretøjer

Rejsehastigheden for let trafik ved målestedet er aflæst fra SpeedMap fra Vej-direktoratet, se Figur 5.5.



Figur 5.5. Rejsehastigheder på vejstrækning ved målested er aflæst fra SpeedMap.

Tabel 5.3. Rejsehastighed ved målested ud fra SpeedMap

Tidsperiode:	Mod Holbæk (km/t)	Mod Kbh. (km/t)	Begge retninger (km/t)	Timer i tidsperiode (brugt i vægtet gns.)
00.00-06.30	118	98	108	6,5
06.30-09.00	111	85	98	2,5
09.00-15.30	105	106	106	6,5
15.30-18.00	96	107	102	2,5
18.00-00.00	108	109	109	6,0
Vægtet gns.	109	103	106	24,0

Anvendte forudsætninger for årsdøgntrafik, køretøjsfordeling, rejsehastighed og OSPMType er opsummeret i nedenstående tabel.

Tabel 5.4. Anvendte trafikale forudsætninger for vejstrækning ud for målested ved Svogerslev 2016.

Beregning	Periode	Personbil	Varebil	Lastbil <32 t	Lastbil >32 t	Bus	ÅDT	Rejsehastighed for let trafik (km/t)	OSPMTType
Kampagne	10.05.2016 til 21.06.2016	0,8099	0,1368	0,0176	0,0342	0,0015	47.713	106	Type_B.trf
Et år	30.06.2015 til 30.06.2016	0,8099	0,1368	0,0176	0,0342	0,0015	44.608	106	Type_B.trf

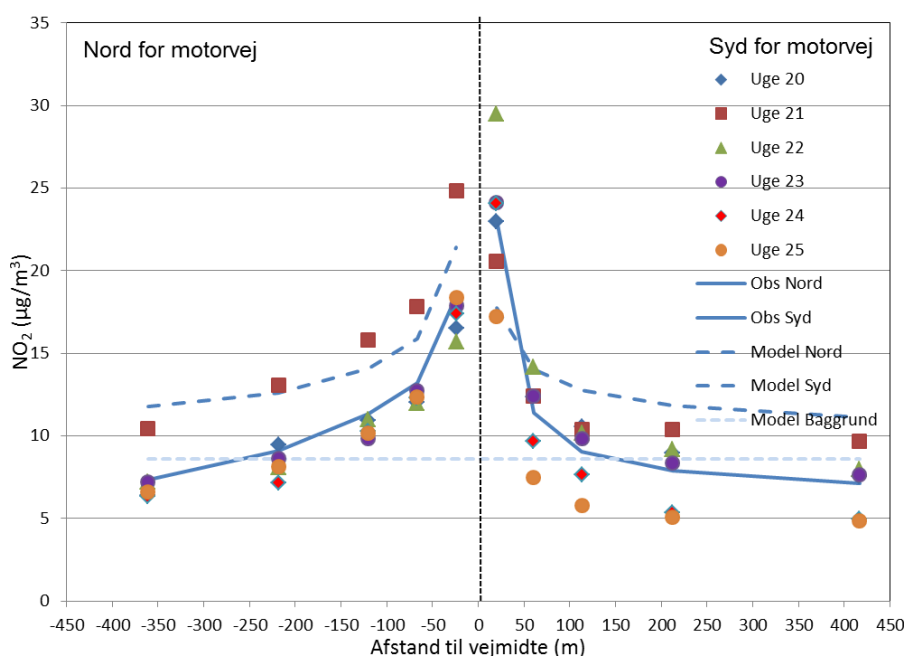
5.3 Sammenligning mellem målinger og beregninger

Sammenligning mellem NO₂-målinger og OML-Highway-beregninger er vist i **Figur 5.6**. De målte værdier er markeret som punkter for hver uge, og der er indtegnet kurver (fuldt optrukket) med det målte gennemsnit over 6 uger. Endvidere er der indtegnet kurver (stiplede) med det beregnede gennemsnit over den 6 ugers periode.

Målingerne viser som forventet højst koncentrationer tæt på motorvejen og hurtig aftagen med afstand til motorvejen. I en afstand af omkring 400 m har målingerne næsten nået baggrundsniveauet for den sydlige del, hvor der ikke længere sker yderligere aftagen med afstanden, mens det ikke ser helt ud til at baggrundsniveauet er nået på den nordlige del.

Uge 21 har væsentlig højere koncentrationer end de andre uger, hvilket hænger sammen med lavere vindhastigheder i denne uge og dermed langsommere spredning og fortynding.

I de fleste tilfælde er koncentrationerne også højst på den nordlige side af motorvejen, da den dominerende vindretning er fra sydvest og syd. Da motorvejen løber nogenlunde øst-vest (Figur 5.4), vil vindretninger med sydlig vind blæse udledningerne fra trafikken mod nord, hvor de største koncentrationer derfor vil ses.

**Figur 5.6.** NO₂-målinger og OML-Highway beregninger for Svogerslev-kampagnen i uge 20-25 i 2016.

OML-Highway beregningerne viser generelt noget højere koncentrationer end målingerne dog undtaget målepunktet tættest på vejen syd for motorvejen. Overestimeringen er relativt større længere væk fra motorvejen.

De beregnede koncentrationer aftager som forventet med større afstand fra motorvejen men ikke så hurtigt som målingerne, hvilket betyder, at modellen overestimerer koncentrationsniveauet længere væk fra motorvejen.

Den anvendte beregnede baggrundskoncentration med DEHM/UBM er også vist, og de er lidt højere (ca. 20%) end de målte koncentrationer i en afstand af omkring 400 m fra vejen. Man ville forvente, at de beregnede baggrundskoncentrationer skulle ligge lidt lavere end målingerne, da bidraget fra trafik på kommunale veje ikke er indeholdt. Dette tyder på, at baggrundskoncentrationerne er lidt overestimeret for det pågældende sted, og det forklarer delvist, hvorfor de beregnede OML-Highway koncentrationer generelt er for høje, men ikke hvorfor beregnede koncentrationer er for høje længere væk fra motorvejen, og ikke aftager så hurtigt som forventet. I forbindelse med modelberegninger i det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet er der også set overestimering i forhold til baggrundsmålestationer fx ved Risø (Ellermann et al. 2016).

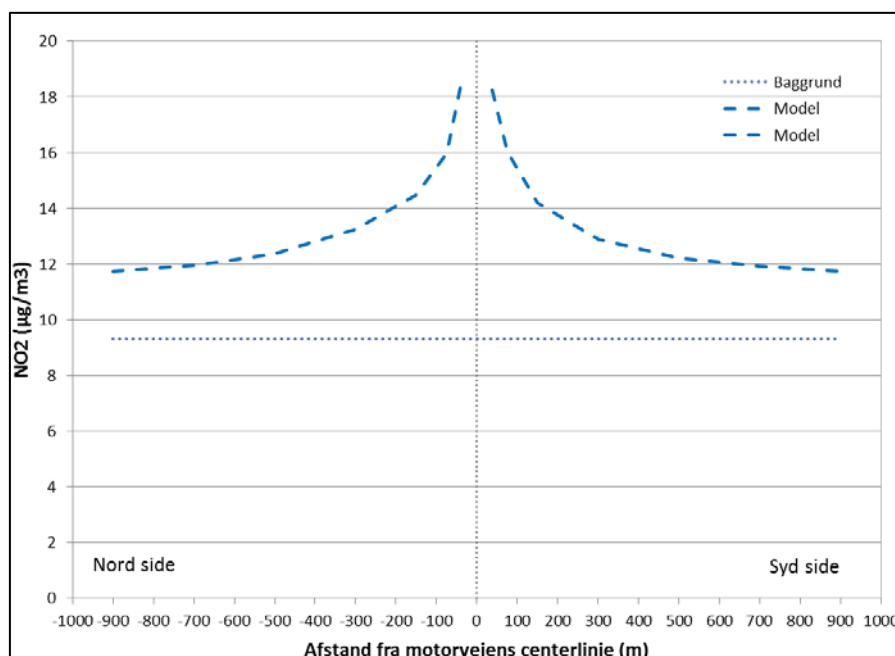
Beregninger for tværprofil ud til 1000 m

For at illustrere hvordan luftforureningen aftager med afstanden fra motorvejen, er der gennemført beregninger for beregningspunkterne ud til 1000 m for et helt år. Tværprofilet af beregningspunkter fremgår af Figur 5.7.



Figur 5.7. Tværprofil af beregningspunkter (røde prikker) genereret i forskellige afstande fra motorvejens centerlinje samme sted som målekampagnen. Beregningspunkternes interne nummerering er også vist.

I Figur 5.8 er de beregnede NO₂-koncentrationer langs tværprofilen vist. Det ses som forventet, at koncentrationerne aftager relativt hurtigt med afstanden. Men koncentrationerne i omkring 1000 meters afstand fra motorvejen burde i det mindste omtrent være nede på niveau med baggrundskoncentrationen (eller det burde ske endnu tidligere, som målingerne antyder). Det er ikke tilfældet. Det vurderes derfor, at modellen overestimerer koncentrationerne i afstande længere væk end få hundrede meter fra motorvejen.



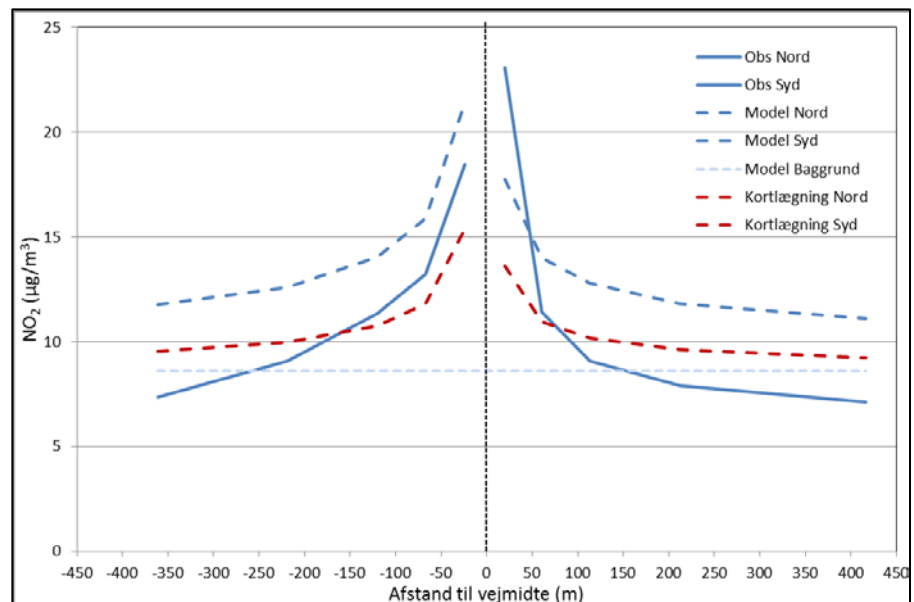
Figur 5.8. Beregnede NO₂-årsmiddeldkoncentrationer i forskellige afstande af motorvejen ved Svogerslev fra 1.7.2015 til 30.6.2016.

5.4 Vurdering af metode for NO₂ korrektion

Betydningen af at anvende den forenklede metode til beregning af NO₂ i kortlægningsmetoden er undersøgt for målepunkterne under målekampagnen og for en række beregningspunkterne genereret i forskellige afstande ud til 1000 m fra motorvejen og beregnet for et helt år. Dette er samtidig en test af anvendelse af årsmiddeldkoncentrationer for baggrundsforureningen, da dette er en del af den anvendte forenklede metode for beregning af NO₂.

Sammenligning for målekampagnen

I Figur 5.9 er beregninger sammenlignet mellem (1) OML-Highway-beregninger time for time med fotokemimodulet i OML-Highway og (2) den anvendte forenklede metode i kortlægningen. Kortlægningsmetoden er opstillet for årsmiddeldkoncentrationer, men her anvendes den på ugebasis for de uger, der er målt, og gennemsnittet heraf er vist i figuren. Dette er gjort for også at kunne sammenligne med målingerne.



Figur 5.9. Beregnede NO_2 -koncentrationer på målepunkterne i målekampagnen ved Svo-gerslev i uge 20-25 i 2016 vist for kortlægningsmetoden (Kortlægning Nord/Syd) og OML-Highway baseret på timeberegninger (Model Nord/Syd). Målingerne er også vist (Obs Nord/syd). Nordside fra -450 til 0, og Sydside fra 0 til 450.

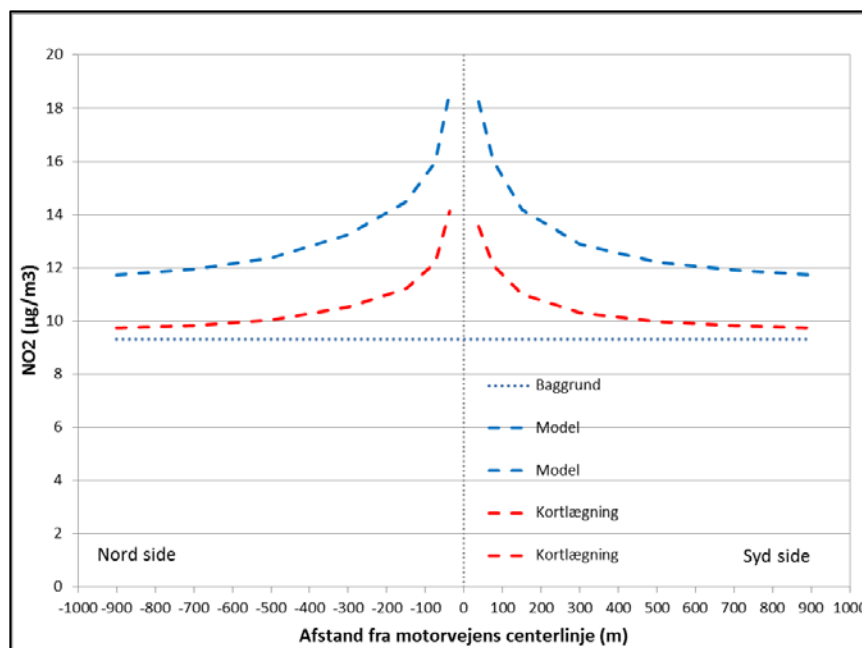
Det ses, at når man sammenligner den forenklede NO_2 estimering i kortlægningsmetoden (røde stiplede kurver) med de timebaserede modelberegninger (blå stiplede kurver) fører forenklingen til at der beregnes lavere koncentrationer – især hvad angår de højeste koncentrationer tæt på motorvejen. Men der er også mindre forskel på de højeste koncentrationer (tæt på vejen) og de laveste koncentrationer (langt fra vejen) i kortlægningsmetoden i forhold til de timebaserede beregninger. Dette er en væsentlig årsag til, at der i kortlægningen af luftkvaliteten langs hele statsvejnettet ses et langsommere fald i koncentrationerne med afstanden til vejen end forventet ud fra målingerne. I forhold til målingerne (fuldt optrukne blå kurver) undervurderer den forenklede NO_2 estimering i kortlægningsmetoden de højeste koncentrationer tæt på motorvejen og overvurderer længere væk fra vejen.

Sammenligning for et helt år og for afstande ud til 1000 m

Den forenklede metode for beregning af NO_2 i kortlægningsmetoden er også testet for forskellige beregningspunkter ud til 1000 m for et helt års data.

I Figur 5.10 er beregninger sammenlignet mellem (1) OML-Highway beregnet time for time med fotokemimodul i OML-Highway og (2) den anvendte forenklede metode i kortlægningen, som anvender årsmiddelkoncentrationer.

Som for målekampagnen ses det, at kortlægningsmetoden i forhold til de timebaserede modelberegninger generelt resulterer i lavere koncentrationer, især hvad angår de højeste koncentrationer tæt på motorvejen.



Figur 5.10. Beregnede NO₂-årsmiddelkoncentrationer i forskellige afstande af motorvejen ved Svogerslev for 1.7.2015 til 30.6.2016 for kortlægningsmetoden (Kortlægning Nord/Syd) og OML-Highway baseret på timeberegninger (Model Nord/Syd).

5.5 Vurdering af meteorologiklasser

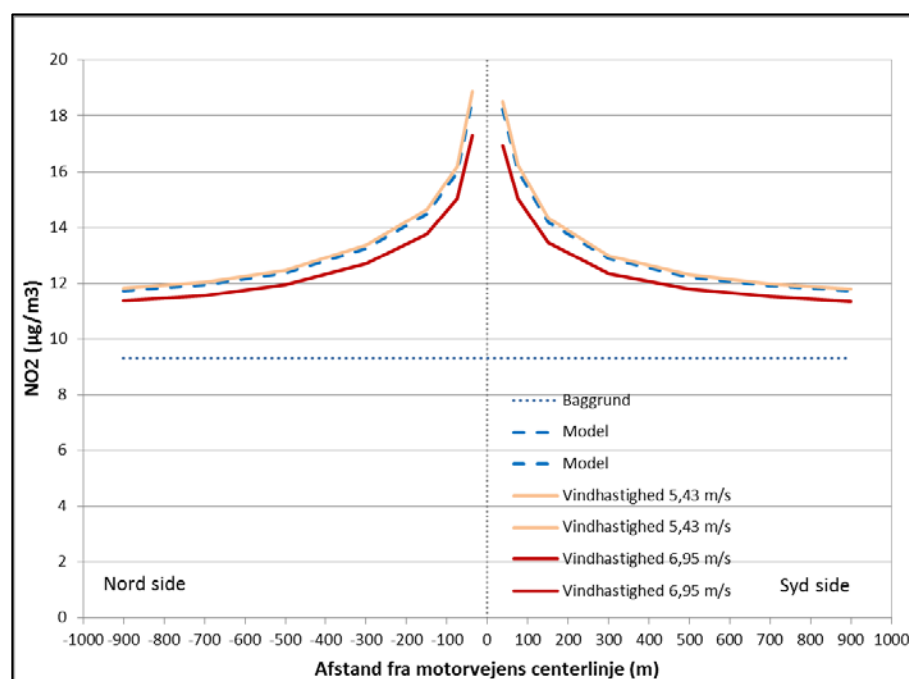
For at vurdere betydningen af at anvende vindhastighedsklasser i kortlægningsmetoden, er der for målekampagnen ved Svogerslev gennemført en følsomhedsanalyse med forskellige forudsætninger for meteorologiske data for et år dækkende 1.7.2015 til 30.6.2016. Her er gennemført beregninger med meteorologidata som er repræsentative for henholdsvis den nedre og den øvre grænse i den pågældende vindhastighedsklasse for at illustrere det spænd i koncentrationer, som spændet i vindhastighedsklassen kunne give anledning til. Analysen tager udgangspunkt i et helt års data for de 10 beregningspunkter i tværprofilet.

Den gennemsnitlige vindhastighed for den anvendte meteorologiske fil til beregning af koncentrationerne er 5,67 m/s. Dette placerer stedet i vindklassen fra 5,43 m/s til 6,95 m/s.

Meteorologifilen for OML-Highway indeholder ikke vindhastigheden direkte. Vindhastigheden er derfor beregnet med en funktion, hvor vindhastigheden beregnes i en bestemt højde (her 10 m) som funktion af højde, Ustar (vindskab turbulens) og stabilitetsforhold i atmosfæren mv. Ud fra den meteorologiske fil fra Svogerslev 2016 er der således konstrueret en meteorologisk fil med en middelvindhastighed på 5,43 m/s og en på 6,95 m/s.

I Figur 5.11 er vist betydningen for beregnede NO₂-koncentrationer af at anvende forskellige forudsætninger for vindhastigheden. Da den gennemsnitlige vindhastighed for stedet ved Svogerslev er 5,67 m/s, og dette er tæt på den nedre grænse på 5,43 m/s i vindhastighedsklassen er forskellen lille og under 2%. For den øvre grænse for vindhastighedsklassen på 6,95 m/s er forskellen større og op til 8%. Forskellen på at anvende den nedre og øvre grænse for vindhastigheden i vindhastighedsklassen er således maksimalt op til 10%,

og bidraget fra motorvejen påvirkes procentvis stort set lige meget i forskellige afstande af motorvejen, da fortyndingen afhænger af vindhastigheden.



Figur 5.11. Sammenligning af beregnede NO₂-koncentrationer under forskellige forudsætninger for vindhastigheden ved Svogerslev i perioden 1.7.2015 til 30.6.2016.

5.6 Det videre arbejde

Et af formålene med den nye målekampagne ved Svogerslev i 2016 var, at undersøge, hvordan luftforureningen aftager længere væk fra motorvejen. Dette skyldes, at resultaterne fra kortlægningen af luftkvaliteten langs hele statsvejnettet indikerede, at de beregnede koncentrationer formodes at være for høje længere væk fra motorvejen. Derfor er der i den nye målekampagne ved Svogerslev et målepunkt i en afstand af 400 m fra motorvejen.

De nye målinger ved Svogerslev i 2016 viser ligesom tidligere målinger ved Køge Bugt Motorvejen i 2003, at koncentrationerne aftager hurtigt med afstanden. Endvidere viser de nye målinger, at baggrundsniveauet tilnærmelsesvis nås i omkring 400 m fra motorvejen på den sydlige del, da koncentrationsforskellen mellem afstanden omkring 200 m og 400 m er nogle få mikrogram. For den nordlige del ser det ud til, at baggrundsniveauet nås noget længere væk fra motorvejen.

De første beregninger med OML-Highway viste højere koncentrationer end det forventede væk fra motorvejen (100-400 m) i forhold til de nye målinger i Svogerslev. Derfor blev der lavet en modificeret udgave af OML-Highway, hvor emissionskilder fra statsvejnettet længere væk end 20 km ikke længere bidrager i beregninger. Dette har reduceret overvurderingen af koncentrationerne længere væk fra motorvejen betydeligt. For motorvejen ved Svogerslev reducerede dette koncentrationerne med omkring 3-5 µg/m³. Endvidere har vi sikret os, at grænselagshøjden i de meteorologiske input-data har en minimumshøjde på 150 m, da den meteorologiske model WRF ofte beregnede betydelige lavere værdier, hvilket ikke er realistisk. Dette bidrager også til at de beregnede langtransporterede koncentrationer bliver mindre. Det er denne

version af OML-Highway, som er benyttet i beregningerne og i sammenligning med målinger i kampagnerne ved Køge Bugt Motorvejen, Taastrup, og Svogerslev. Den version af OML-Highway, som blev anvendt til kortlægningen, overvurderede således koncentrationerne, især længere væk fra motorvejen. Men som det også fremgår af ovenstående, bidrager den forenkledte metode for beregning af NO₂ til at kompensere for overvurderingen, da kortlægningsmetoden gav lavere NO₂-koncentrationer i forhold til timeberegninger med kemimodulet i OML-Highway.

Der er behov for fortsat at videreudvikle OML-Highway, da modellen stadigvæk overestimerer koncentrationer, især ved større afstand til motorvejen. En del af dette skyldes at baggrundskoncentrationerne også er overestimeret. På baggrund af de udførte analyser drejer det sig om op til omkring 5 µg/m³.

Den turbulente spredning i OML-Highway blev udviklet med henblik på at beskrive forholdene tæt på en åben motorvej, og der blev anvendt målinger meget tæt på motorvejen (ca. 1 m, 50 m, 100 m) og en baggrundsstation i en afstand af 259 fra Køge Bugt motorvejen. Der blev ikke fokuseret på bidrag fra fjernere veje, men på bidraget fra en omkring 1500 m strækning ud for målestedet. Modellen kan dog beregne bidrag fra fjernere veje, hvilket er gjort i kortlægningen, men denne del af modellen fungerer ikke på optimal vis. Modellen tager ikke hensyn til, at den såkaldte fortyndingsvindhastighed for lave kilder som trafik, ændrer sig i takt med transportafstanden. Modellen anvender for vejklider en vindhastighed beregnet 1 m over jorden svarende til udslipshøjden/udstødningen. Men da den vertikale udstrækning af røgfanen med forureningen vokser med afstanden fra vejen, bør fortyndingshastigheden beregnes som et vægtet gennemsnit af vindhastigheden over fanens vertikale udstrækning. Da vindhastigheden stiger med højden, indebærer dette, at en mere korrekt fortyndingshastighed i store afstande vil blive større end den nu beregnede, og dermed vil bidraget fra fjerne kilder blive mindre end nu - muligvis omkring en faktor 2 mindre. Det betyder tilsvarende at bidraget fra motorvejen vil blive mindre længere væk fra denne, men det ikke vil påvirke bidraget tæt på motorvejen. Beskrivelse af dette i modellen er dog en større opgave, som ikke kan løses inden for nærværende projekt. DCE har i april 2017 bevilget midler til et projekt, som skal adressere dette problem. Projektet forventes afsluttet ultimo 2017.

6 Validering for Køge Bugt 2003

I dette kapitel beskrives målekampagnen meget kort. For yderligere detaljer om målekampagnen henvises til tidligere rapport om målekampagnen (Jensen et al., 2004).

Herefter sammenlignes målingerne med modelberegninger med OML-Highway, og resultaterne diskuteres. De tidligere valideringsresultater er beskrevet i Jensen et al. (2005a).

6.1 Målekampagne

Ét målepunkt (Station 1) er placeret nordvest for motorvejen, og tre målepunkter sydøst for motorvejen. De tre målepunkter øst for motorvejen er placeret i en afstand, som vist i Figur 6.1 og Tabel 6.1. Station 1 fungerer som en "baggrundsstation", der under vestlige vindretninger måler koncentrationen af NO_x uden bidraget fra trafikken på motorvejen. Den er placeret ca. 260 meter NV for motorvejen. Måleperioden var fra den 17. september til og med 18. december 2003 med aktive målinger af NO_x , NO og NO_2 .



Figur 6.1. Målesteder langs Køge Bugt motorvejen. Målepunkt 1 er en baggrundsstation. Målepunkterne 2, 3 og 4 ligger midt mellem afkørsel 27 og 28.

Tabel 6.1. Afstande mellem stationer og motorvej (fra vejkant)

Station:	Afstand fra motorvej (m)	Placering i forhold til motorvej
Station 1 (145)	260	Nordvest
Station 2 (146)	1,0	Sydøst
Station 3 (147)	48,5	Sydøst
Station 4 (148)	100,5	Sydøst

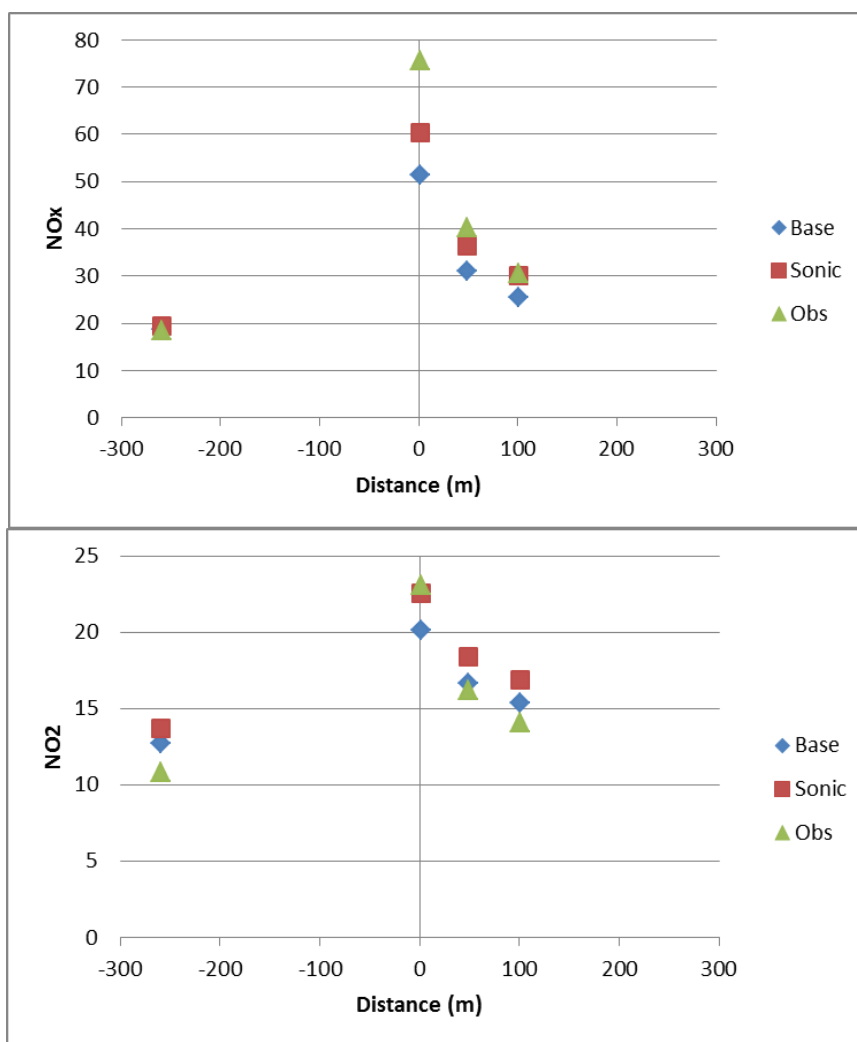
6.2 Modelberegninger

Inputdata

Input-data omkring trafik for målestedet er beskrevet i en tidligere rapport (Jensen et al. (2005a)). Forudsætninger omkring vejnettet og trafik, baggrundskoncentrationer og meteorologi samt beregningspunkter er beskrevet i afsnit 4.5.

Sammenligning med målinger

Sammenligning mellem NO_x - og NO_2 -målinger og OML-Highway-beregninger er vist i Figur 6.2.



Figur 6.2. Sammenligning mellem NO_x - og NO_2 -målinger (Obs) og to OML-Highway-beregninger for kampagnen i 2003 ved Køge Bugt motorvejen. Base: OML-Highway med WRF met.data og DEHM/UBM baggrundskonc., Sonic: OML-Highway med Sonic met.data og DEHM/UBM baggrundskonc. NO_x er øverst og NO_2 nederst. Enheden er ppb. 1 ppb er 1,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (for NO_x er alt NO_x regnet som NO_2).

I Figur 6.2 angiver "Base" modelberegninger med meteorologiske data fra WRF og baggrundskoncentrationer fra DEHM/UBM. "Sonic" er modelberegninger med meteorologiske data målt med Sonic og baggrundskoncentrationer fra DEHM/UBM.

Med forudsætningerne som i "Base" underestimerer modelberegningerne NO_x-koncentrationerne undtagen i målepunktet længst væk fra vejen. For NO₂ undervurderes tæt på motorvejen, mens NO₂ for alle øvrige punkter længere væk er overestimeret.

Med forudsætningerne som i "Sonic" underestimerer modellen knap så meget tæt på motorvejen, og for de øvrige punkter ligger de næsten oven i målepunkterne for NO_x. For NO₂ har model og målinger samme niveau tæt på motorvejen, mens modellen for de øvrige målepunkter overestimerer. Det ses, at modellen generelt giver lidt bedre overensstemmelse med luftkvalitetsmålinger når der anvendes målte meteorologiske data end når WRF-data benyttes, hvilket også er forventeligt. Dog er forskellene ikke så store, så det er også en indikation af, at de modellerede meteorologiske data fra WRF ikke er meget forskellige fra de målte meteorologiske data.

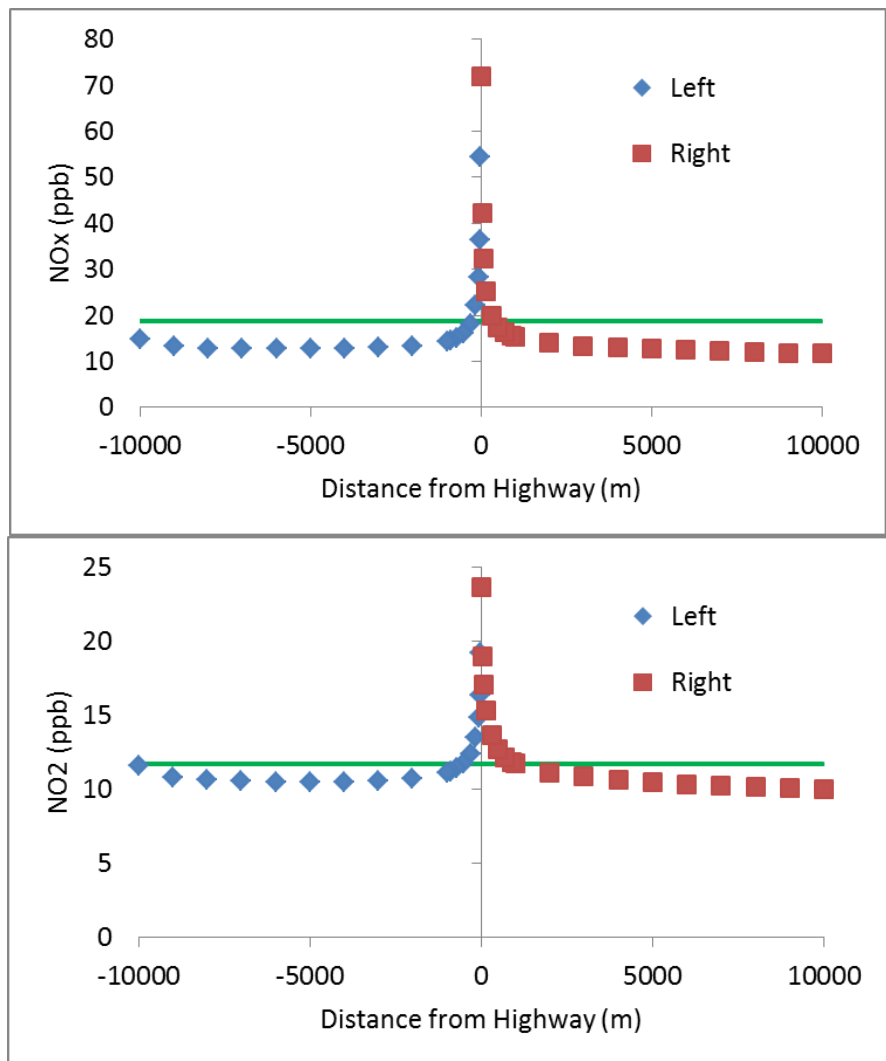
Modelberegninger med meteorologiske data fra WRF og de originale baggrundskoncentrationer fra 2003 (målinger fra Lille Valby ved Roskilde) er også blevet gennemført. Med disse forudsætninger fås for NO_x de samme resultater ved at bruge baggrundskoncentrationer fra DEHM/UBM som ved at bruge de originale baggrundskoncentrationer. For NO₂ følger resultaterne samme mønster, men med lidt lavere niveauer, og mindre afvigelse til målingerne. Det er derfor ikke DEHM/UBM-baggrundskoncentrationer, som giver anledning til de forholdsvis stor forskelle på model og målinger. Resultater er ikke vist i figuren.

Aftagende koncentration afhængig af afstand fra motorvej

I det følgende er det undersøgt, hvor hurtigt luftforureningen aftager med afstanden ved at generere en række beregningspunkter vinkelret på motorvejen ved Køge Bugt i forskellige afstande op til 10 km fra motorvejen, se Figur 6.3. OML-Highway-beregningerne er med meteorologiske data fra WRF, baggrundskoncentrationerne fra DEHM/UBM, og hele vejnettet på Sjælland er inddraget i forbindelse med beregning af koncentrationerne.

Venstre side i figuren er den side, hvor baggrundsstationen er placeret (nord-vestnordvest), og højre side er, hvor de tre øvrige målestationer er placeret. På nordsiden ligger Høje Taastrup og Holbæk motorvejen i en afstand af omkring 7 km. Det er grunden til, at der er stigende koncentrationer fra omkring 5 km i venstre side af figuren pga. bidraget fra Holbækmotorvejen. I sydlig-østlig retning er der knap 3 km til havet.

Koncentrationer falder hurtigt de første 1.000 m, men baggrundsniveauet nås først efter omkring 8 km. I henhold til målingerne ved Svogerslev 2016 ser det ud til, at baggrundsniveauet nås langt tidligere (omkring 400 m for sydsiden og længere ude for nordsiden).



Figur 6.3. Luftkvaliteten i forskellige afstande fra Køge Bugt motorvejen helt op til 10 km fra vejen. Øverst NO_x og nederst NO₂. Til sammenligning er den grønne linje er målt koncentrationer på baggrundsstationen i en afstand af omkring 260 m. Enheden er ppb. 1 ppb er 1,88 µg/m³.

7 Validering for Taastrup 2008

I dette kapitel beskrives målekampagnen meget kort. For yderligere detaljer om målekampagnen henvises til tidligere rapport og artikel herom (Ellermann et al., 2009; Wang et al. 2010).

Herefter sammenlignes målingerne med modelberegninger med OML-Highway, og resultaterne diskuteres.

Der har ikke tidligere været foretaget valideringsstudier for denne målekampagne, da målekampagnen ikke var designet til dette, men til at vurdere emissionen fra trafikken, især partikler for trafik ved høj hastighed. Forholdene er derfor ikke særligt velegnede til et valideringsstudie, da de er meget komplekse. Forholdene kan derfor ikke til fulde beskrives med OML-Highway, bl.a. fordi motorvejen er nedgravet det pågældende sted, og der er træer langs motorvejen, se Figur 7.1. Sådanne situationer forekommer også på motorvejsnettet.



Figur 7.1. Forholdene i forbindelse med målekampagne Taastrup 2008 er komplekse for et valideringsstudie. Placering af de to målestationer er markeret med røde cirkler.

7.1 Målekampagne

Ét målepunkt er placeret nord for motorvejen 1 m fra vejkant og et andet som baggrundsstation omkring 200 m syd for motorvejen, se Figur 7.2 og Tabel 7.1.



Figur 7.2. Målesteder langs Holbækmotorvejen ved Taastrup 2008. Station 1 er placeret ved vejkant. Station 2 er en baggrundsstation, og blå prik markerer placering af meteorologisk mast med Sonic-instrument.

Tabel 7.1. Afstande mellem stationer og motorvej (fra vejkant)

Station:	Afstand fra motorvej (m)	Placering i forhold til motorvej
Station 1	1	Nord
Station 2	200	Syd

7.2 Modelberegninger

Inputdata

Inputdata omkring trafik ud fra målestedet er beskrevet tidligere (Ellermann et al., 2009; Wang et al. 2010).

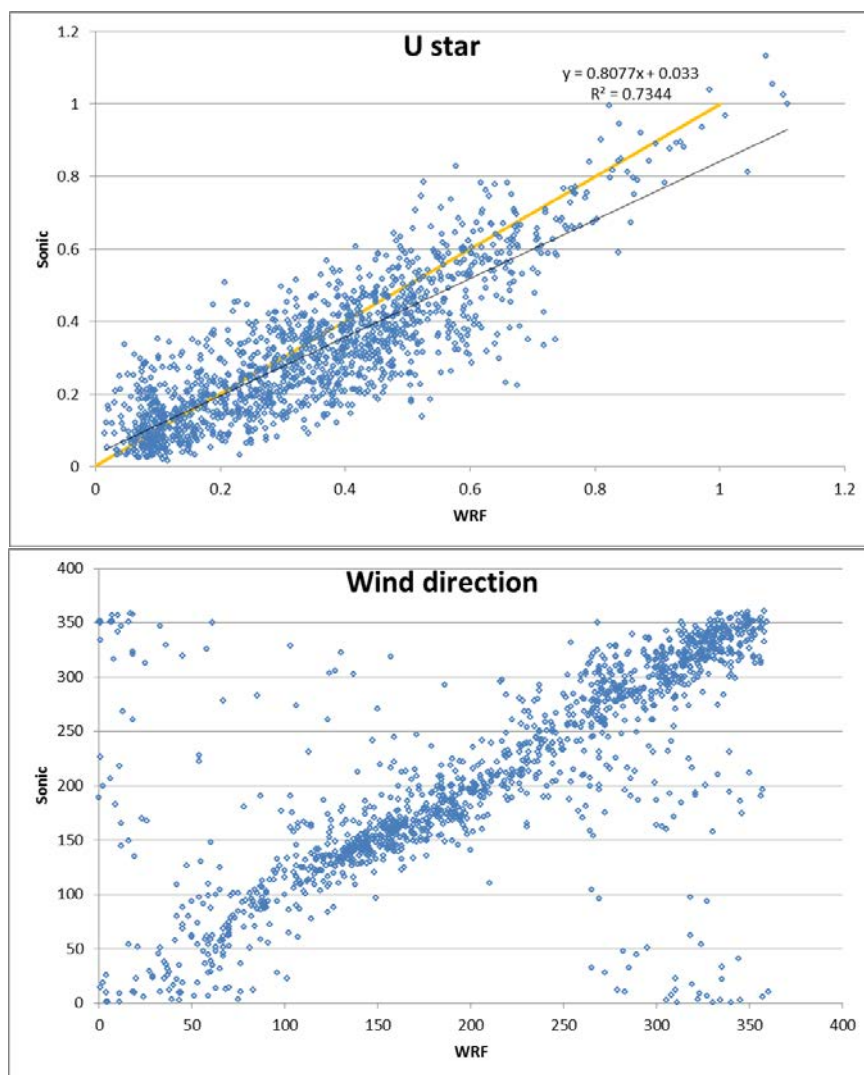
Forudsætninger omkring vejnettet og trafik, baggrundskoncentrationer og meteorologi samt beregningspunkter er beskrevet i afsnit 4.5.

Validering af WRF-meteorologisk model for Taastrup kampagne 2008

Under kampagnen i 2008 nær Taastrup målte DCE meteorologi med et Sonic-måleinstrument (Ellermann et al., 2009). Disse målte meteorologiske data er her brugt til at validere den meteorologiske model WRF, som nu ligger til grund for luftkvalitetsberegninger i det nationale luftkvalitetsovervågningsprogram. WRF blev brugt til at beregne meteorologiske data som input for OML-Highway for samme placering og tidsinterval som Sonic målingerne.

I Figur 7.3 vises en sammenligning mellem meteorologiske modelberegninger med WRF og Sonic-målinger som timeværdier for de to vigtige parametre for vindhastighed (som Ustar, u^*) og vindretning. Ustar er en spredningsmodel-parameter, som bruges til at beskrive den vindskabte turbulens, og den er bl.a. proportional med vindhastigheden, dvs. jo højere vindhastighed jo højere Ustar.

Det kan konkluderes, at der er god overensstemmelse mellem model og målinger for disse to vigtige parametre, u^* og vindretning.



Figur 7.3. Sammenligning mellem resultater fra WRF- og Sonic-målinger for vindhastighed som Ustar (øverst) og vindretninger (Wind direction) (nederst).

Der er endvidere lavet en sammenligning mellem beregningerne med de to meteorologiske modeller WRF og MM5 for 2008, som viste god sammenhæng, således at det ikke skulle have den store betydning, om WRF eller MM5 bruges. Dette er også på linje med tidligere undersøgelser, som dog generelt viser, at WRF er lidt bedre end MM5.

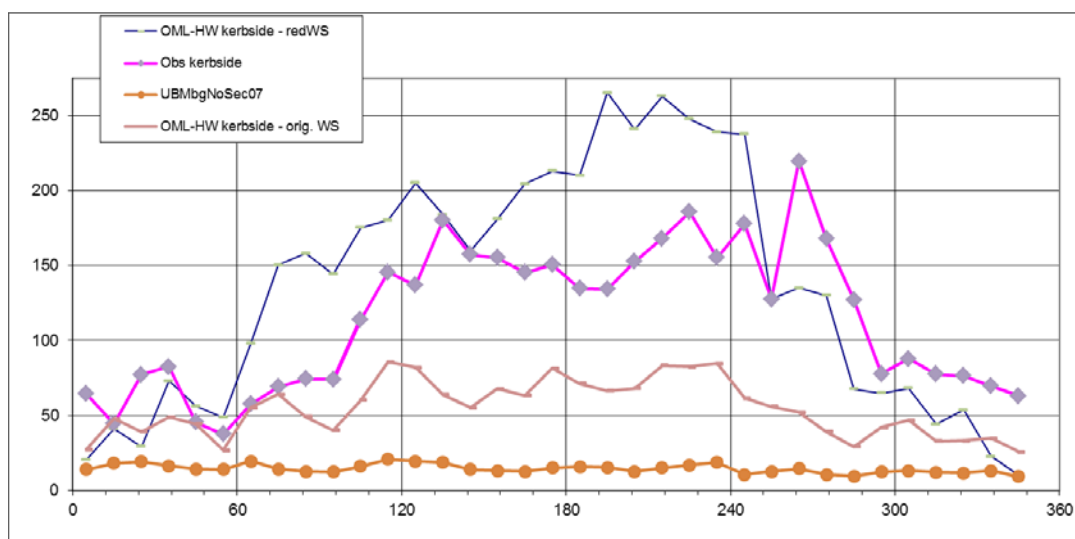
Validering af OML-Highway for målte koncentrationer i Taastrup kampagne 2008

Målepunktet nord for motorvejen var placeret direkte ved siden af motorvejen ved nødsporet. Det primære formål med målingerne var bestemmelse af emissionsfaktorer for trafikken (Ellermann et al., 2009; Wang et al. 2010) og ikke validering af spredningsdelen af OML-Highway. Målepunktet ligger på et sted, ud for hvilket motorvejen er nedgravet. Endvidere er der træer langs motorvejen. Begge disse forhold reducerer vindhastigheden over vejbanen og øger turbulensen, hvor den reducerende effekt for vindhastigheden regnes for at være dominerende og vil medføre væsentlig højere koncentrationer ved

målepunktet end uden disse forhold. Det vurderes, at de komplekse forhold også kan påvirke målingerne med Sonic for bestemte vindretninger selvom Sonic'en er placeret mere end 200 m fra træerne og motorvejen.

Figur 7.4 viser målte koncentrationer for det nordlige målepunkt som funktion af vindretning. Med originale inputparametre bliver koncentrationen på målepunktet underestimeret. Kun hvis vindhastigheden i modelberegningen bliver reduceret med ca. en faktor 2 (for at tage hensyn til de ovennævnte reducerende forhold) bliver målte koncentrationer reproduceret af modellen til en vis udstrækning.

For vind fra nordlige vindretninger (intervallerne 0–60 og 310–360 i Figur 7.4) modellerer OML-Highway koncentrationer på målepunktet, som er tæt på baggrundsniveau, da punktet ligger opvinds i forhold til motorvejen. Målingerne viser i modsætning til modelberegningerne stadigvæk et betydelig koncentrationsbidrag fra motorvejen. Det skyldes, at målepunktet ligger så tæt på vejen, at den trafikskabte turbulens samt turbulens skabt af træerne og vejens beliggenhed i en fordybning bevirker, at trafikudstødningen kan registreres på målestationen, selvom den ligger opvinds i forhold til motorvejen.

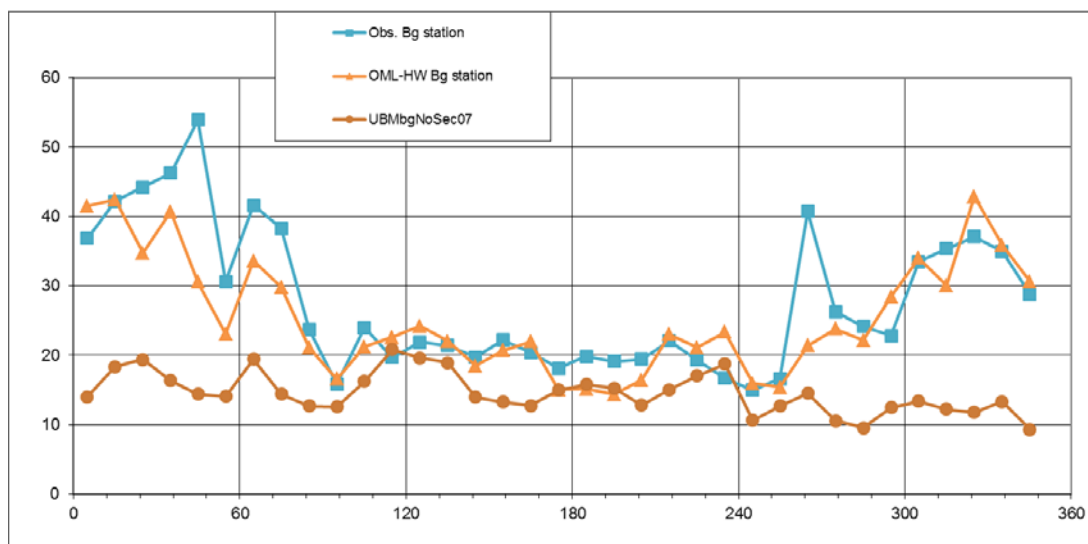


Figur 7.4. Gennemsnitlige NO_x -koncentration (i $\mu\text{g}/\text{m}^3$) for målte periode som funktion af vindretning (i grader). Vist er målte koncentrationer (Obs), baggrundskoncentration (UBMbgNoSec07) samt to beregninger med OML-Highway hhv. med originale vindhastigheder (orig. WS) og en reduceret vindhastighed (redWS).

Målte og modellerede koncentrationer på den sydlige målestation (som er tænkt som baggrundsstation for emissionsfaktorbestemmelse) i omkring 200 m afstand fra motorvejen er meget mindre.

Som vist i Figur 7.5 er koncentrationsbidraget fra motorvejen til det sydlige målepunkt minimalt for sydlige vindretninger (100-250 grader). For disse vindretninger ligger både de målte og modellerede koncentrationer meget tæt på de modellerede baggrundsniveau fra DEHM/UBM.

For de nordvestlige, nordlige samt nordøstlige vindretninger viser Figur 7.5 et bidrag fra motorvejen til koncentrationer ved målepunktet. Også for disse vindretninger findes der en god overensstemmelse mellem målinger og beregningerne med OML-Highway.



Figur 7.5. Gennemsnitlig NO_x-koncentration (i µg/m³) for målte periode som funktion af vindretning (i grader). Vist er målte koncentrationer på baggrundsstation (Obs. Bg station) samt beregning med OML-Highway med de originale vind hastigheder (OML-HW Bg station) samt modellerede baggrundsconcentrationer med DEHM/UBM (UBMbgNoSec07).

Referencer

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.

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., Jensen, S.S., Ketzel, M., Løfstrøm, P. & Massling, A. 2009: Measurements of air pollution from a Danish highway. National Environmental Research Institute, Aarhus University. 43pp. - Research Note from NERI 254. <http://www.dmu.dk/Pub/AR254.pdf>.

Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling, A. & Jensen, S.S. (2016): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2015. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 65 pp. Scientific Report from

DCE - Danish Centre for Environment and Energy No. 201.
<http://dce2.au.dk/pub/SR201.pdf>

Jensen, S.S., Løfstrøm, P., Berkowicz, R., Olesen, H.R., Frydendal, J., Fuglsang, K., Hummelshøj, P. (2004): Luftkvalitet langs motorveje - Målekampagne og modelberegninger. Danmarks Miljøundersøgelser, 67 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 522. http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_Publikationer/3_Fagrapporter/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., Ketznel, M., Løfstrøm, P., Olesen, H.R., Lorentz, H. (2010a): 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., Ketznel, M., Becker, T., Løfstrøm, P., Olesen, H.R., Lorentz, H., Michelsen, L.N., Fryd, J. (2010b): 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., Ketznel, 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., Ketznel, M., Becker, T., Hertel, O., Løfstrøm, P., Olesen, H.R. (2011b): Luftkvalitetsvurdering for 3. Limfjordsforbindelse. VVM redegørelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. <http://www.dmu.dk/-Pub/FR824.pdf>.

Jensen, S.S., Ketznel, 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., Ketznel, 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.

Jensen, S.S., Lm, 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, 41 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 154. <http://dce2.au.dk/pub/SR154.pdf>

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. & 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>

Wang, F., Ketzel, M., Ellermann, T., Wåhlin, 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.

VALIDERING AF LUFTKVALITETSMODELLEN OML-HIGHWAY

Vejdirektoratet fik i 2015 gennemført en kortlægning af luftkvaliteten langs alle statsvejene i Danmark med OML-Highway-modellen. Kortlægningen blev udført af DCE og repræsenterede luftkvaliteten i 2012. For at kunne gennemføre den nationale kortlægning af luftkvalitet blev der foretaget en række forenklinger. Det drejer sig om, hvor detaljeret veje og trafik beskrives, hvordan baggrunds-koncentrationer og meteorologi håndteres, og hvordan kvælstofdioxid (NO_2) beregnes. Formålet med denne rapport er at foretage en vurdering af, hvad disse forenklinger betyder for kvaliteten af den nationale kortlægning. Et delformål er at undersøge, hvorfor der blev beregnet relativt høje koncentrationer længere væk fra vejene, idet de modelberegnedte koncentrationer ikke aftog så hurtigt med afstanden fra vejen som umiddelbart forventet på basis af viden fra tidligere målekampaner. For at understøtte analysen er der gennemført en ny målekampagne ved Holbækmotorvejen ved Svogerslev i 2016, som bl.a. belyser, hvordan luftforureningen aftager i relativ stor afstand fra motorvejen med målinger i op til 400 meters afstand, hvilket er omkring dobbelt så langt fra motorvejen som i tidligere målekampaner. Endvidere er der gennemført sammenligninger af OML-Highway beregninger med den nye målekampagne ved Svogerslev i 2016, og det er forsøgt at estimere betydningen af de forenklinger, som blev foretaget i kortlægningen. Endelig er nye OML-Highway beregninger gennemført og sammenlignet med tidligere gennemførte målekampaner for Køge Bugt i 2003 og Tastrup i 2008.