



KORTLÆGNING AF LUFTKVALITET LANGS STATSVEJENE I DANMARK

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 537

2023



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

KORTLÆGNING AF LUFTKVALITET LANGS STATSVEJENE I DANMARK

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 537

2023

Steen Solvang Jensen
Matthias Ketzel
Jibran Khan

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. 537
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Kortlægning af luftkvalitet langs statsvejene i Danmark
Forfattere:	Steen Solvang Jensen, Matthias Ketzel, Jibran Khan
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Marts 2023
Redaktion afsluttet:	Februar 2023
Faglig kommentering:	Anne Sofie Lansø
Kvalitetssikring, DCE:	Hanne Bach
Ekstern kommentering:	Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/SR537_komm.pdf
Finansiel støtte:	Vejdirektoratet
Bedes citeret:	Jensen, S.S., Ketzel, M., Khan, J. (2023). Kortlægning af luftkvalitet langs statsvejene i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 51 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 537 http://dce2.au.dk/pub/SR537.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Denne rapport beskriver resultaterne af en kortlægning af luftkvaliteten i 2019 langs statsvejene i hele Danmark. Kortlægningen er gennemført med OML-Highway modellen, og anvendte metoder og datagrundlag er beskrevet. Antallet af berørte boliger og mennesker langs vejnettet er også belyst. Luftkvaliteten er sammenlignet med nuværende og foreslåede EU grænseværdier samt WHO's retningslinjer for luftkvalitet.
Emneord:	OML-Highway, luftkvalitet, kortlægning, motorvej, landevej, berørte boliger og mennesker, grænseværdi, WHO's retningslinjer.
Layout:	Majbritt Ulrich
Foto forside:	Colourbox
ISBN:	978-87-7156-754-0
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	51
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR537.pdf

Indhold

1	Indledning	5
2	Sammenfatning	6
3	Summary in English	12
4	Metode og datagrundlag	16
4.1	OML-Highway modellen	16
4.2	Beregningspunkter	18
4.3	Vej- og trafikgrundlag	19
4.4	Emission	24
4.5	Baggrundskoncentrationer	24
4.6	Beregningstilgang	28
5	Evaluering af modelresultater	30
5.1	Validering af baggrundskoncentrationer i luftkvalitetskortlægningen i 2019	30
5.2	Tidligere valideringer af OML-Highway modellen mod målinger	31
6	Luftkvalitet langs statsvejnettet	34
6.1	Geografisk beskrivelse for NO ₂	34
6.2	Geografisk beskrivelse for PM _{2,5} og PM ₁₀	36
6.3	Statistisk beskrivelse	39
6.4	Sammenligning med grænseværdier og WHO- retningslinjer	39
6.5	Sammenligning med tidligere kortlægning fra 2012	40
7	Berørte boliger og mennesker	43
7.1	Berørte boliger	43
7.2	Berørte mennesker	44
7.3	Befolkningseksposering for luftforurening	44
	Litteraturliste	48

1 Indledning

DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet har tidligere for Vejdirektoratet foretaget en kortlægning af luftkvaliteten i 2012 langs statslige motor- og landeveje i hele Danmark (Jensen et al., 2015).

Formålet med nærværende projekt er at opdatere kortlægningen af luftkvalitet til 2019 langs statsvejene med anvendelse af en forbedret OML-Highway model. Luftkvalitetskortlægning langs statsvejnettet vil kunne bruges af vejmyndigheder som et screeningsværktøj i forbindelse med kommende MKV (Miljøkonsekvensvurderinger) af vejprojekter sammen med den tidligere udarbejdede vejledningsrapport om MKV for luftkvalitet (Jensen et al., 2013).

Luftkvalitetsdata vil endvidere kunne bruges som en miljøindikator i forbindelse med Vejdirektoratets årlige redegørelser for vejnettet og miljøforhold.

Borgere efterspørger informationer om luftkvalitet, og Vejdirektorat vil lægge luftkvalitetsdata på Vejdirektoratets hjemmeside, således at alle kan tilgå luftkvalitetskortet (vejkort.vd.dk).

I forhold til den tidligere kortlægning fra 2012 indeholder den opdaterede kortlægning for 2019 også en kortlægning af boliger og mennesker, som berøres. DCE har udviklet OML-Highway modellen bl.a. med finansiel støtte fra Vejdirektoratet.

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

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

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

Kapitel 5 opsummerer kort tidligere modelevurderinger, hvor modelresultater er sammenlignet med målinger.

Kapitel 6 beskriver resultater af kortlægningen langs statsvejnettet i en afstand op til 1.000 m fra vejen både geografisk gennem en række figurer og gennem beskrivende statistik. Resultaterne sammenlignes endvidere med nuværende og EU's foreslåede reviderede grænseværdier for luftkvalitet samt WHO's retningslinjer for luftkvalitet.

Kapitel 7 beskriver antallet og typen af berørte boliger ud fra data fra Bygnings- og Boligregisteret (BBR) samt antal mennesker ud fra det Centrale Personregister (CPR), og dette sættes i forhold til luftforureningen.

2 Sammenfatning

Baggrund og formål

DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet har tidligere for Vejdirektoratet foretaget en kortlægning af luftkvaliteten i 2012 langs statsvejnettet i hele Danmark (Jensen et al., 2015). I nærværende rapport er denne kortlægning opdateret med data for 2019 og med en forbedret version af OML-Highway modellen.

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

Luftkvalitetskortlægning langs statsvejnettet vil kunne bruges af vejmyndigheder som et screeningsværktøj i forbindelse med kommende MKV (Miljøkonsekvensvurdering) af vejprojekter, være en miljøindikator i forbindelse med Vejdirektoratets årlige redegørelser for vejnettet og miljøforhold, og en kilde til information om luftkvalitet for borgere, da Vejdirektoratet vil lægge luftkvalitetsdata på Vejdirektoratets hjemmeside, således at alle kan tilgå luftkvalitetskortet.

Luftkvalitetskortet viser udvalgte luftforurenende stoffer relateret til sundhedseffekter. Det er beregnede årsmiddelkoncentrationer i 2019 af NO₂ (kvælstofdioxid) og af luftbårne partikler angivet ved PM₁₀ og PM_{2,5}, som er henholdsvis den samlede masse af partikler med en diameter under 10 og 2,5 mikrometer. PM_{2,5} udgør den største helbredsbelastning i Danmark efterfulgt af NO₂ ifølge DCE's helbredsregninger for luftforureningen i Danmark (Ellermann et al., 2021). Beregningerne er gennemført for beregningspunkter i forskellige afstande fra vejen ud til 1.000 m, hvorefter bidraget fra vejen er marginalt.

Undersøgelsen

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

Vejnettet er baseret på vejman.dk, som omfatter alle statsveje. Som noget nyt er der anvendt GPS-baserede rejsehastighedsdata fra INRIX, som er erhvervet gennem Vejdirektoratet, hvor der tidligere blev anvendt SpeedMap data fra Vejdirektoratet.

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

Nødvendige meteorologiske data er genereret med den meteorologiske model WRF (Weather Research and Forecasting Model).

OML-Highway har et værktøj til generering af beregningspunkter langs vejnettet, samt dannelse af sammenhængende bufferzoner for visualisering af resultater.

Der ses bort fra indflydelse fra støjskærme, støjvolde, og dæmninger og broer, da det er vanskeligt at knytte disse data til vejnettet på en måde, så effekten kan beregnes med OML-Highway, og fordi indflydelsen på luftkvaliteten er begrænset (Jensen et al., 2013).

OML-Highway beregner emissioner fra statsvejene. SPREAD indeholder ligeledes vejemissioner fra både stats- og kommune-vejnettet, hvilket fører til dobbelttælling af emissioner fra statsvejene, og dette skal der derfor tages højde for. Dette er gjort ved at gennemføre en separat beregning med OML-Highway, hvor emissioner fra hele statsvejnettet bliver lagt ud på 1x1 km² gitterceller og betragtet som "baggrundskoncentrationer". Det endelige resultat bestemmes af koncentrationer fra den "fulde beregning" (for hver enkelt receptor) minus "ekstra beregning" (for nærmeste 1x1 km² gittercelle) for at undgå dobbelttælling.

For ikke-reaktive stoffer som PM_{2.5} og PM₁₀ kan ovenstående beregninger gennemføres uden justeringer. NO_x består af NO og NO₂. Da NO₂ indgår i fotokemi, er der ikke en lineær sammenhæng mellem NO_x og NO₂, og NO₂-bidraget fra statsvejene er derfor beregnet ud fra en simplificeret kemimodel ("Düringmetode"), som er baseret på årsmiddelt af NO_x-, NO₂- og ozonkoncentrationer samt oplysninger om direkte NO₂-emissioner fra trafikken.

For at kunne håndtere de mange separate OML-Highway beregninger samt korrektion for dobbelttælling blev hele data-flow i dette projekt gennemført med hjælp af nyudviklede programmerings-scripts baseret på programmeringssproget R (R Core Team, 2022). Disse R-scripts omfatter både generering og reformatering af inputdata, igangsættelse af OML-Highway beregningerne samt efterbehandling af resultaterne.

Den beregnede luftkvalitet i 2019 er sammenlignet med gældende grænseværdier, EU's nye forslag til reviderede grænseværdier, og WHO's vejledende retningslinjer for luftkvalitet fra 2005 samt nye anbefalinger fra 2021.

Antallet og typen af berørte boliger inden for 1.000 m af statsvejnettet er beregnet ud fra data fra Bygnings- og Boligregisteret (BBR) samt antal mennesker ud fra det Centrale Personregister (CPR), og dette er sat i forhold til luftforureningen for at belyse befolkningseksposeringen.

Hovedkonklusioner

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

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

Det er Miljøstyrelsen, som har det overordnede ansvar for at grænseværdierne for luftkvalitet overholdes i Danmark. Den officielle udmelding om overskridelser af EU's grænseværdier foretages i forbindelse med den årlige rapportering fra Delprogram for Luft under NOVANA (Ellermann et al. 2022b). Vurderingen af overskridelserne baseres dels på målingerne fra de danske målestationer, og dels på basis af modelberegninger på udvalgte gader i København og Aalborg, hvor der foretages beregninger, og hvor det er muligt at få inputdata af høj kvalitet fra kommunerne baseret på talt trafik. Overvågningsprogrammet har ikke målestationer langs motorveje, da trafikstationer i de større byer er prioriteret.

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

NO₂

Den geografiske variation af NO₂ i 2019 har de højeste koncentrationer langs de mest trafikerede motorvejsstrækninger i Hovedstadsområdet og langs dele af E20 over Fyn og E45 gennem Jylland. Den allerhøjeste modellerede NO₂ koncentration (34,5 µg/m³) forekommer tæt på Limfjordstunnelen, hvilket skyldes en meget høj modelleret baggrundskoncentration grundet bidrag fra Aalborg Portland, som sandsynligvis er overestimeret. Ellers er nogle af de højeste koncentrationer langs Køge Bugt Motorvejen. Den maksimale beregnede koncentration af NO₂ overholder de nuværende EU grænseværdier (40 µg/m³), men overskrider den foreslåede grænseværdi for NO₂ (20 µg/m³). Den overskrider også WHO's retningslinjer fra 2021 (10 µg/m³).

PM_{2.5}

Den geografiske variation af PM_{2.5} i 2019 er meget forskellig fra NO₂, idet baggrundsforureningen betyder meget, og bidraget fra statsvejnettet betyder mindre. Der ses derfor en tydelig gradient fra syd mod nord med højere koncentrationer i syd og lavere i nord, som er bestemt af baggrundsforureningen, hvor emissionskilder i Centraleuropa bidrager til baggrundsforureningen i Danmark.

Den højeste beregnede værdi er 12 µg/m³ og overholder den nuværende EU grænseværdi (25 µg/m³), men overskrider den foreslåede grænseværdi for PM_{2.5} (10 µg/m³). Den overskrider også WHO's retningslinjer fra 2021 (5 µg/m³), og selv den mindst beregnede værdi overskrider WHO's retningslinjer fra 2021.

PM₁₀

Den geografiske variation af PM₁₀ i 2019 minder om variationen for PM_{2.5}, men afviger også, da PM₁₀ er væsentligt influeret af havsalt, som bevirker højere koncentrationer langs vest- og sydvendte kyster pga. den dominerende sydvestlige vindretning.

Den højeste beregnede værdi er 23 µg/m³ og overholder grænseværdien for PM₁₀ (40 µg/m³), men overskrider den foreslåede grænseværdi for PM₁₀ (20 µg/m³). Den overskrider også WHO's retningslinjer fra 2021 (15 µg/m³).

Befolkningseksponering

Der indgår 496.978 adresser fordelt på 727.320 boligenheder langs med statsvejnettet inden for 1.000 m, og der bor 1.493.386 personer.

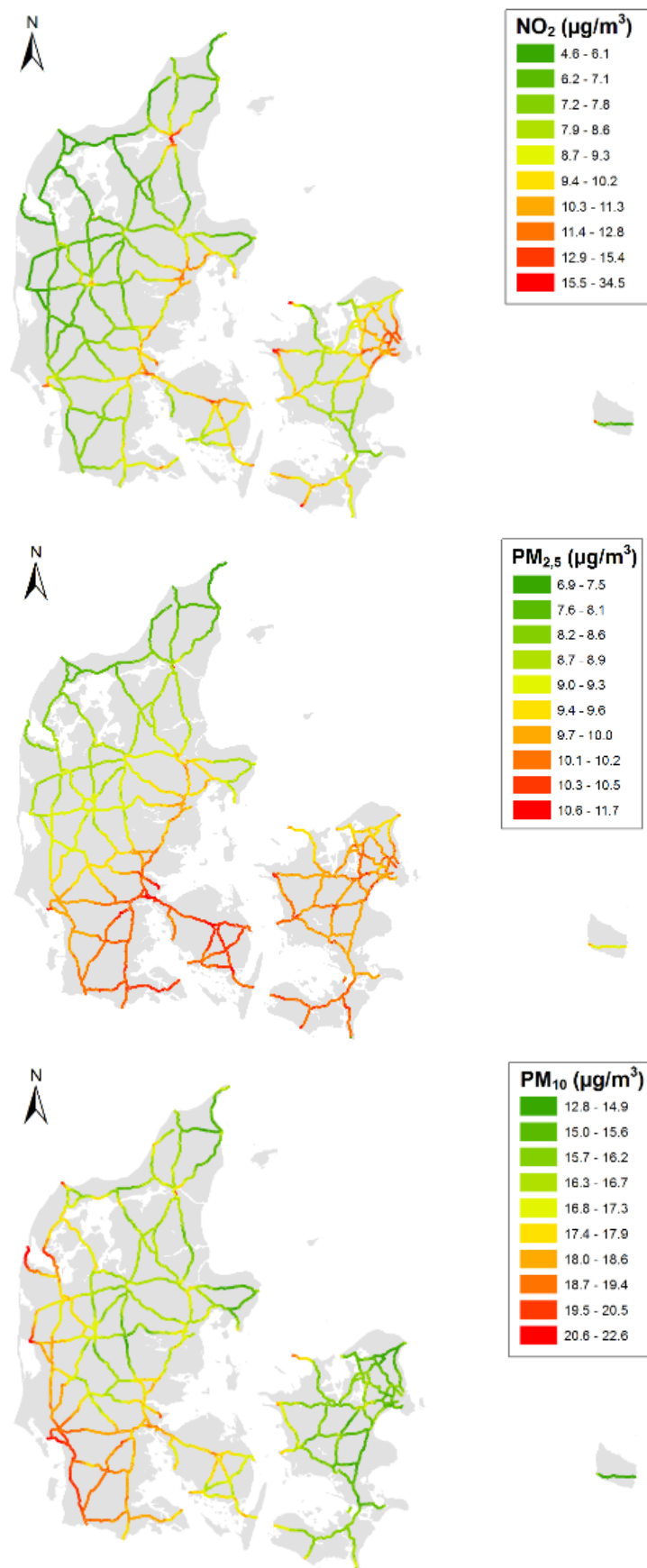
Vedr. befolkningseksponering for NO₂ bor alle mennesker langs statsvejnettet på adresser, hvor koncentrationsniveauet er under den nuværende grænseværdi. Kun godt 500 personer (0,04%) bor på adresser, hvor den foreslåede grænseværdi overskrides. Til gengæld bor omkring 49% på adresser, som overskrider WHO-retningslinjer fra 2021.

Alle mennesker bor på adresser langs statsvejnettet, som er under grænseværdien for PM_{2,5}. Til gengæld bor omkring 49% på adresser med PM_{2,5}-koncentrationer, som overskrider den foreslåede grænseværdi, og alle adresser overskrider WHO-retningslinjer fra 2021.

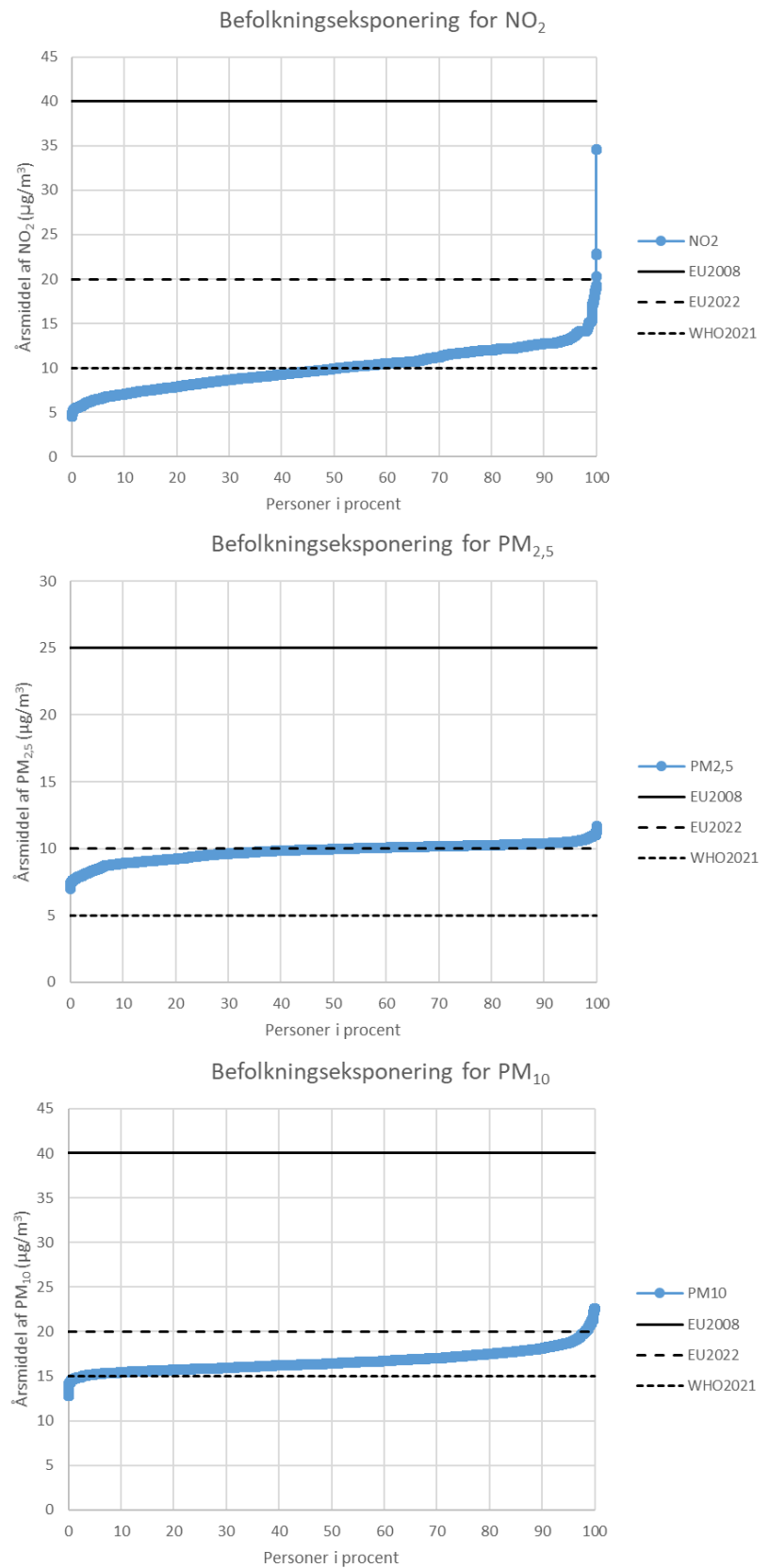
Befolkningseksponeringen for PM₁₀ viser at alle mennesker bor på adresser langs statsvejnettet, som er under grænseværdien for PM₁₀, men omkring 2% bor på adresser med PM₁₀-koncentrationer, som overskrider den foreslåede grænseværdi, og omkring 97% bor på adresser, som overskrider WHO-retningslinjer fra 2021.

Projektræsultater

Den geografiske variation af hhv. NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ i 2019 er vist i Figur 2.1 og befolkningseksponeringen i forhold til grænseværdier og WHO-retningslinjer i Figur 2.2.



Figur 2.1. Geografisk variation af beregnede årsmiddelværdier for hhv. NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀ i 2019.



Figur 2.2. Befolkningseksposering for NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$ og PM_{10} i 2019 sammenlignet med grænseværdier og WHO-retningslinjer.

3 Summary in English

Background and aim

DCE – Danish Centre for Environment and Energy, Aarhus University, has previously mapped air quality in 2012 along the state road network in Denmark for the Danish Road Directorate (Jensen et al., 2015). In the present report, this mapping has been updated with data for 2019 in addition to an improved version of the OML-Highway model.

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

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

The air quality maps show selected air pollutants related to health effects: Annual mean concentrations in 2019 of NO₂ (nitrogen dioxide), and the mass of particulate matter of PM₁₀ and PM_{2.5}, that are the total mass of particles with a diameter less than 10 and 2.5 microns. PM_{2.5} represents the largest health burden in Denmark, followed by NO₂ according to DCE's health impact calculations for air pollution in Denmark (Ellermann et al., 2021).

The calculations are carried out for calculation points up to 1,000 m from the state road network, where the contribution from the road is less important.

The investigation

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

The road network is based on vejman.dk, which includes all state roads. As a new development, GPS-based travel speed data from INRIX has been used and obtained from the Danish Road Directorate. Previously, SpeedMap data from the Danish Road Directorate was used.

Background concentrations are calculated using the regional Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM) (5.6 km x 5.6 km for Denmark) and the Urban Background Model (UBM) with associated emission and meteorology data for Denmark in a 1x1 km² grid. For Denmark, emissions are based on the emission model SPREAD, which has emissions for Denmark from all sources at a 1 km x 1 km resolution. Models and data are developed by AU/DCE.

Applied meteorological data is generated with the meteorological model WRF (Weather Research and Forecasting Model).

OML-Highway has a tool for generating calculation points along the road network, as well as forming contiguous buffer zones for visualizing of results.

In the calculations, the influence of noise barriers, dams and bridges are not taken into account, as it is difficult to link this data to the road network in such

a way that the effect can be calculated with the OML-Highway, and also because the impact on air quality is limited (Jensen et al., 2013).

Road emissions are included in the SPREAD, i.e. emissions from state and municipal road networks. To avoid double counting of emissions from state roads, an extra separate calculation with OML-Highway, where emissions from the entire state road network are laid out on 1 km x 1 km grid cells, was carried out and considered "background concentrations". The final result is determined by concentrations from the "full calculation" (for each individual receptor) minus the "extra calculation" (for the nearest 1 km x 1 km grid cell) to avoid double counting.

For non-reactive substances such as PM_{2.5} and PM₁₀, the above calculation procedure can be carried out without adjustments. NO_x includes NO and NO₂. Since NO₂ is part of photochemistry, there is not a linear relationship between NO_x and NO₂, and the NO₂ contribution from the state roads is therefore calculated using a simplified chemistry model, which is based on the annual mean of NO_x, NO₂ and ozone concentrations as well as information about the directly emitted NO₂ emissions from traffic.

To handle the many separate OML-Highway calculations as well as the correction for double counting, the data flow in this project was controlled by newly developed programming scripts based on the R programming language (R Core Team, 2022). These R-scripts generate and reformat the creation and reformatting of input data, initiation of the OML-Highway calculations and post-processing of the results.

The calculated air quality in 2019 has been compared with current limit values; the proposed revised EU limit values from 2022; the WHO's guidelines for air quality from 2005; as well as the new WHO recommendations from 2021.

The number and type of affected homes within 1,000 m of the state road network has been calculated based on data from the Building and Housing Registry (BBR) as well as the number of people living in these homes based on the Central Civil Registration System (CPR), allowing for an estimation of air pollution population exposure.

Main Conclusions

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

The aim is *not* to try to calculate the number of exceedances of the limit value along with state road network in Denmark for NO₂. Model calculations should be seen as a complementary tool for preliminary assessment of ambient air quality and assessment of potential exceedances in locations where there are no measurements.

It is the Danish EPA which has the overall responsibility for compliance with the limit values for air quality in Denmark. The official announcement of exceedances of the limit values is done within the annual reporting from the Sub-program on air quality under the NOVANA program (Ellermann et al. 2022b). The assessment of exceedances is based on measurements from the Danish monitoring stations, and partly based on model calculations for

selected urban streets in Copenhagen and Aalborg, for which calculations are made, and where it is possible to get quality assured input data from the municipalities about traffic.

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

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

NO₂

The geographical variation of NO₂ in 2019 is as expected, with the highest concentrations along the busiest motorway sections in the Greater Copenhagen area and along parts of the E20 across Funen and E45 through Jutland. The highest modelled NO₂ concentration (34.5 µg/m³) occurs close to the Limfjord's tunnel, which is caused by a very high modelled background concentration due to contributions from Aalborg Portland, which are probably overestimated. Otherwise, some of the highest concentrations are found along the Køge Bugt Motorway. The maximum calculated concentration of NO₂ complies with the current EU limit values (40 µg/m³) but exceeds the proposed limit value for NO₂ (20 µg/m³). It also exceeds the WHO guideline from 2021 (10 µg/m³).

PM_{2.5}

The geographical variation of PM_{2.5} in 2019 is very different from NO₂, as the background pollution is dominant, and hence the contribution from the state road network is less influential. There is a clear gradient from south to north with higher concentrations in the south and lower to the north, caused by emission sources in Central Europe that contribute to the background pollution in Denmark. The highest calculated value is 12 µg/m³ and complies with the current EU limit value (25 µg/m³) but exceeds the proposed limit value for PM_{2.5} (10 µg/m³). It also exceeds the WHO guideline from 2021 (5 µg/m³), and even the lowest calculated PM_{2.5} concentration exceeds the WHO guideline from 2021.

PM₁₀

The geographical variation of PM₁₀ in 2019 is similar to that of PM_{2.5}, but it also differs as PM₁₀ is significantly influenced by sea salt, which causes higher concentrations along the west and south-facing coasts due to the dominant south-westerly wind direction in Denmark. The highest calculated concentration is 23 µg/m³ and it complies with the limit value for PM₁₀ (40 µg/m³) but exceeds the proposed limit value for PM₁₀ (20 µg/m³). It also exceeds the WHO guideline 2021 (15 µg/m³).

Population exposure

There are 496,978 addresses, including 727,320 housing units within 1,000 m of the state road network, with a population of 1,493,386. Regarding population exposure to NO₂, for all the people living within 1,000 m of the state road network the concentration level is below the limit value. Only about 500 people (0.04%) live at addresses where the proposed limit value is exceeded. On the other hand, about 49% live at addresses that exceed the WHO guidelines from 2021.

For all people living at addresses within 1,000 m of the state road network the concentrations of PM_{2.5} below the current limit value. On the other hand, about 49% live at addresses with PM_{2.5} concentrations that exceed the proposed limit value, and all addresses exceed the WHO guidelines from 2021.

The population exposure to PM₁₀ shows that all people living at addresses within 1,000 m of the state road network live at addresses that are below the limit value for PM₁₀, but about 2% live at addresses with PM₁₀ concentrations that exceed the proposed limit value, and about 97% live at addresses that exceed the WHO guidelines from 2021.

Project Results

The geographical variations of NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ in 2019 are shown in Figure 3.1 and population exposure in relation to limits values and WHO guidelines are shown in Figure 3.2.

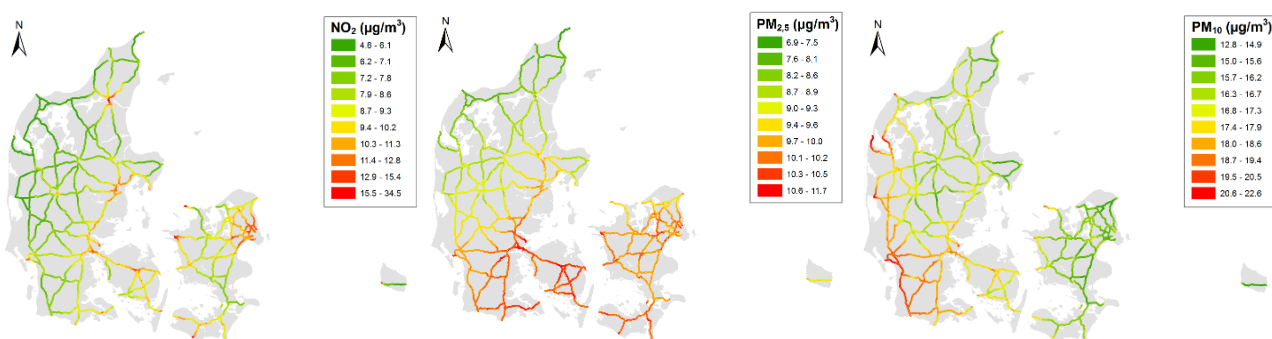


Figure 3.1. Geographical variation of calculated 2019 annual means of NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀.

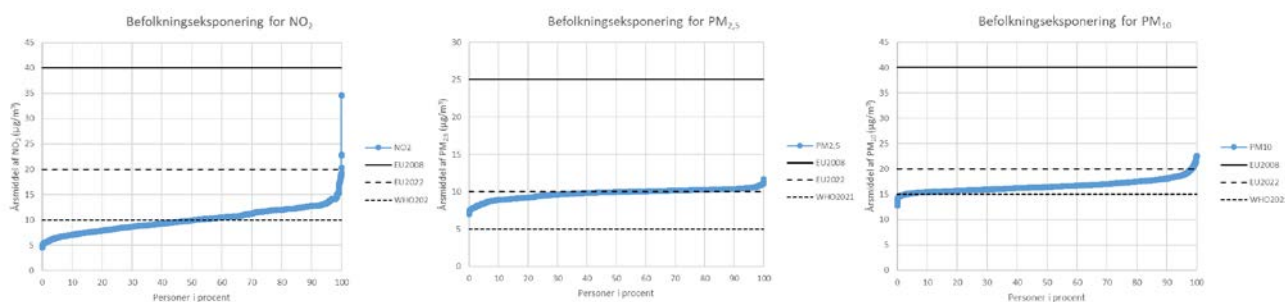


Figure 3.2. Population exposure to NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ in 2019 in relation to limit values and the WHO guidelines for air quality.

4 Metode og datagrundlag

I dette kapitel beskrives metode og datagrundlag for beregningerne af luftkvaliteten langs med statsvejnettet. Der gives først en kort beskrivelse af OML-Highway modellen, som kræver information om vejnettet med trafikdata, baggrundskoncentrationer, meteorologi samt beregningspunkter. Vejdirektoratet har støttet udvikling og anvendelse af OML-Highway, som er et GIS baseret værktøj til beregning af luftkvalitet langs veje i åbent terræn.

4.1 OML-Highway modellen

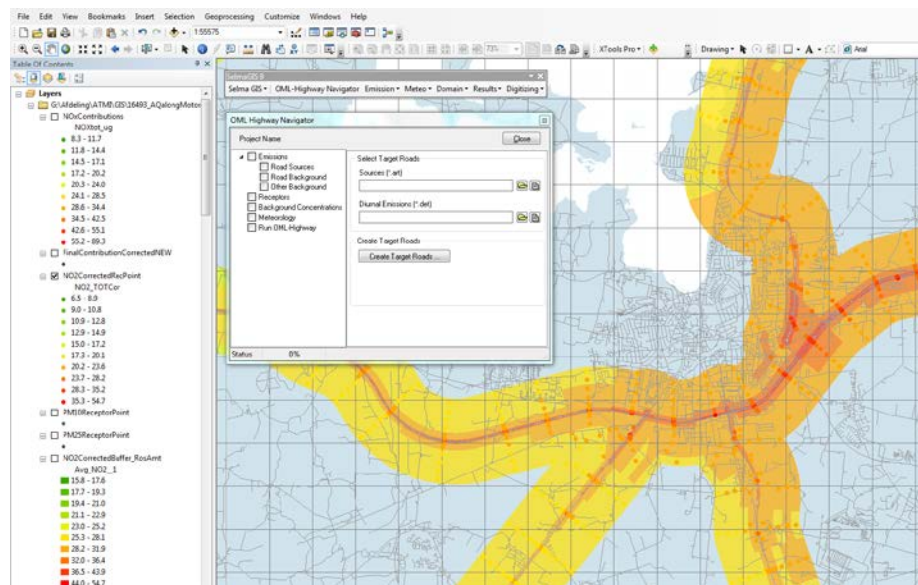
OML-Highway er en gaussisk lokalskala spredningsmodel specielt udviklet til at beskrive spredning af luftforurening langs med veje i åbnet terræn (Jensen et al., 2010; www.au.dk/OML-Highway). OML-Highway er baseret på OML modellen (Olesen et al. 1992; 2007), som bl.a. benyttes til vurdering af luftkvalitet fra punktkilder i forbindelse med miljøgodkendelser. OML modellen blev modificeret således, at den tager hensyn til forholdene for veje i åbent terræn ved at integrere og videreudvikle en beskrivelse af effekten af trafikskabt turbulens på spredningen af luftkoncentrationer. Den matematiske beskrivelse af trafikskabt turbulens stammer fra gadeluftkvalitetsmodellen Operational Street Pollution Model (OSPM) (Berkowicz 2000a; Kakosimos et al. 2011).

Validering af OML-Highway modellen er blevet foretaget i forbindelse med udvikling og opdatering af modellen og er nærmere beskrevet i afsnit 5.2.

OML-Highway modellen har tidligere været anvendt til kortlægning af koncentrationsniveauer langs hele motorvejsnettet i det tidligere Roskilde Amt (Jensen et al. 2005a, b) og kortlægning af luftkvalitet langs statsvejene i hele Danmark med 2012 data (Jensen et al., 2015).

OML-Highway har været anvendt i forbindelse med miljøkonsekvensvurderinger i 2010-2011 i forbindelse med udvidelse af motorvej omkring Odense, 3. Limfjordsforbindelse ved Aalborg, samt udbygning af rute 26 Aarhus-Viborg (Jensen et al., 2011a,b,c). I slutningen af 2013 udgav Vejdirektoratet en vejledning i luftkvalitetsvurdering langs motorvej, som bygger på de erfaringer, der er gjort med OML-Highway i miljøkonsekvensvurderinger (Jensen et al., 2013) samt støttede udarbejdelse af en brugermanual på engelsk til OML-Highway (Olesen et al., 2015).

Brugerflade til OML-Highway er baseret på Geografiske Informationssystemer (GIS), se Figur 4.1. OML-Highway er blevet integreret i SELMA^{GIS}, som er udviklet af det tyske firma Lohmeyer. SELMA^{GIS} er baseret på ESRI's ArcGISTM, som er et standard GIS program. ArcGISTM muliggør programmering af såkaldte extensions, således at man kan tilføje sin egen brugerflade til ArcGISTM. SELMA^{GIS} med OML-Highway modellen er programmeret som en sådan udvidelse.



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

Egenskaber

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

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

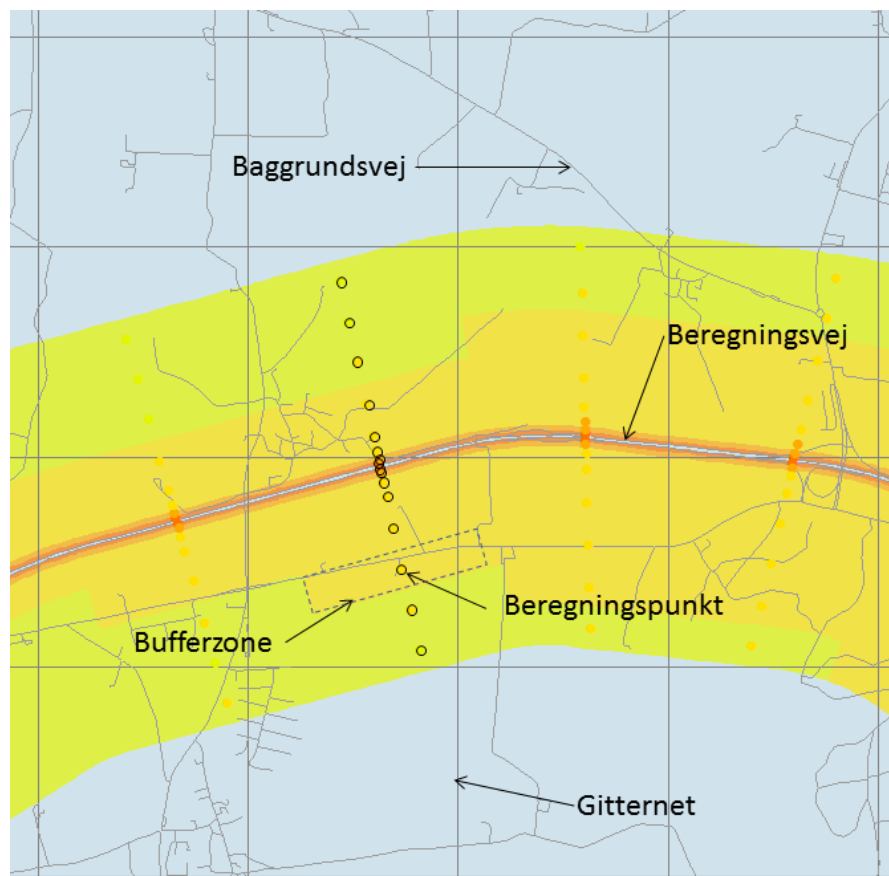
OML-Highway indeholder også rutiner, som kan generere emissionsdata fra trafikken.

Beregningsveje og baggrundsveje

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

Beregningsveje er strækninger, hvor trafikemissionen bliver beregnet og placeret geografisk for hver delstrækning, og det er muligt at generere beregningspunkter langs disse strækninger med værktøjer indbygget i OML-Highway. I forbindelse med kortlægningen af luftkvalitet udgør hele statsvejnettet beregningsvejene.

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



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

4.2 Beregningspunkter

Beregningspunkter, også kaldet receptorpunkter, er punkter, hvor koncentrationen af forskellige luftforureninger beregnes. OML-Highway kan generere beregningspunkter på en række forskellige måder.

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

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

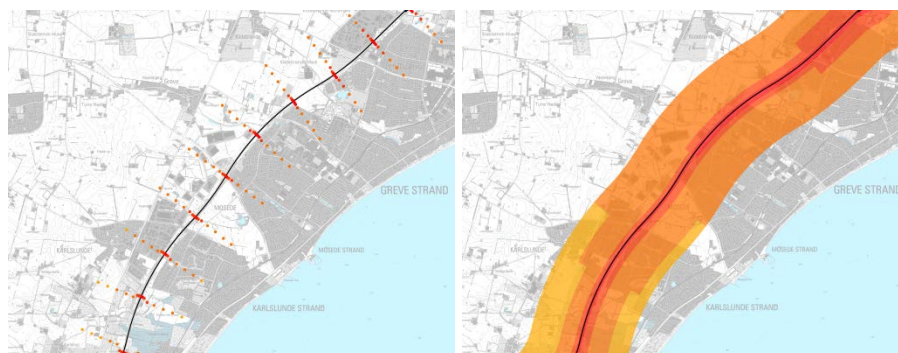
Tabel 4.1. Afstande fra statsvej til beregningspunkter og buffere

Afstande fra vejmidte (m)	Bufferbredde (m)	Start buffer (m)	Slut buffer (m)
25	27,5	10	37,5
50	25	37,5	62,5
75	25	62,5	87,5
100	25	87,5	112,5
137,5	50	112,5	162,5
212,5	100	162,5	262,5
431,25	337,5	262,5	600
800	400	600	1000

Værktøj til visualisering af bufferzoner

OML-Highway har et værktøj til generering af beregningspunkter langs vejnettet, hvor brugeren kan definere afstande mellem beregningspunkter vinkelret på vejstrækningen, og med hvilken afstand beregningspunkter skal dannes langs vejstrækningen. For at forbedre visualiseringen af resultaterne i forbindelse med luftkvalitetskortlægningen er der endvidere et værktøj, som kan visualisere resultaterne som sammenhængende bufferzoner.

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



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

4.3 Vej- og trafikgrundlag

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

Vejnet

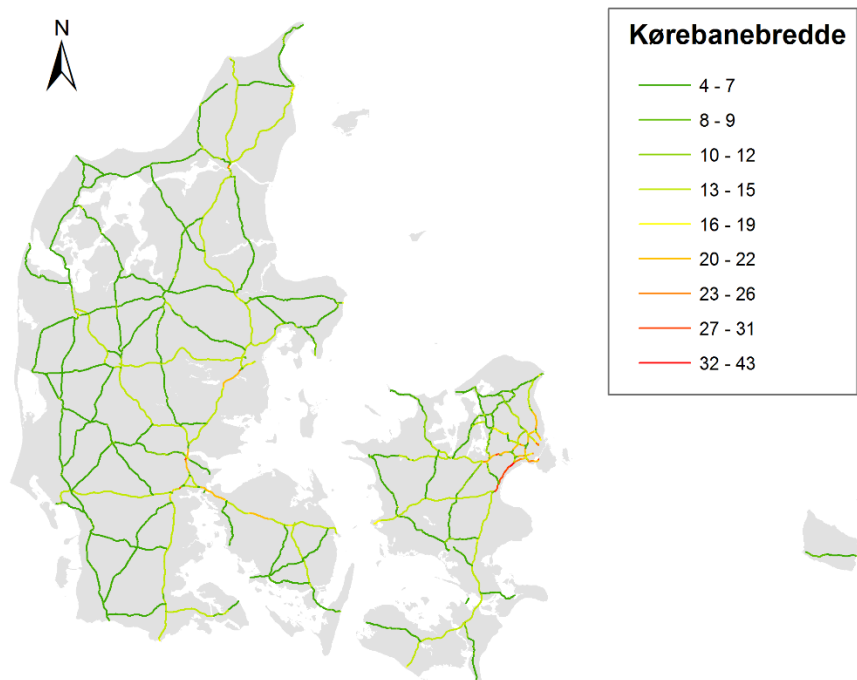
Vejnettet er baseret på vejman.dk, som omfatter alle statsveje. Vejdirektoratet er vejmyndighed for disse veje, og har leveret et udtræk fra 17.12.2021.

Vejnettet er enkelt digitaliseret, dvs. at motorveje er repræsenteret som en enkelt vejlinje. Vejnettet repræsenterer situationen i 2021 og med trafik fra samme år. Datasættet indeholder 16.783 vejsegmenter (rekords).

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

Kørebanebredde

Kørebanebredden på vejnettet er vist i Figur 4.4.



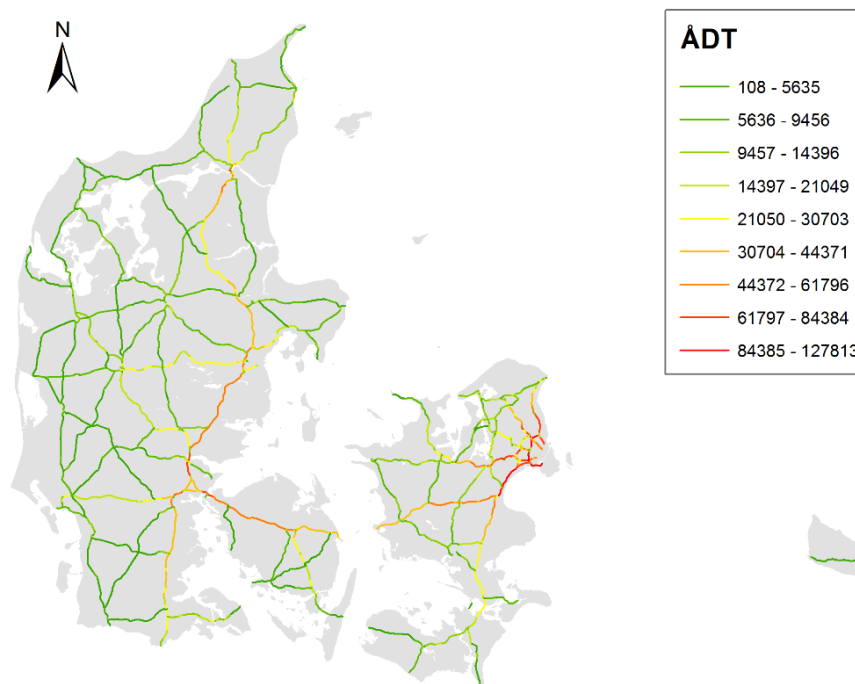
Figur 4.4. Kørebanebredden i meter på statsvejnettet i 2021. Enhed er meter.

Som beskrevet tidligere dannes beregningspunkter i en fast afstand fra vejmidten defineret af brugeren, hvor mindste afstanden i dette studie er sat til 25 m. Den bredeste vej er 43 m, og i dette tilfælde vil beregningspunktet også ligge uden for kørebanen.

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

Årsdøgntrafik

Årsdøgntrafikken (ÅDT) dvs. den gennemsnitlige døgntrafik over et år, er vist i Figur 4.5. ÅDT repræsenterer 2021. Luftkvalitetsberegningerne gennemføres for 2019 med trafikemissioner fra 2019, samt baggrundskoncentrationer og meteorologi fra 2019. ÅDT i 2021 vil være lidt højere end i 2019, men forskellen er beskednen.



Figur 4.5. Årsdøgntrafikken i 2021 på statsvejnettet. Enhed er antal køretøjer per dag.

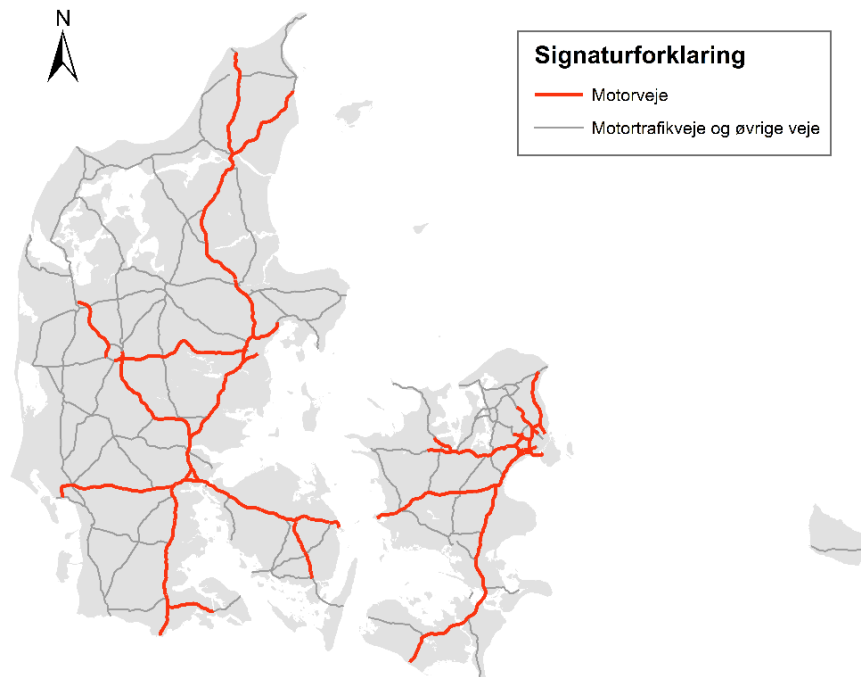
Årsdøgntrafik forekommer mellem omkring 100 og 128.000, hvor den højeste trafik er på Køge Bugt Motorvejen.

Døgnfordeling

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

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

På statsvejnettet er der kun motorveje, motortrafikveje og øvrige veje (antaget at svare til veje over 6 meter). Alle vejtyper antages at have døgnfordeling som type F. Vejtyperne er vist i Figur 4.6.



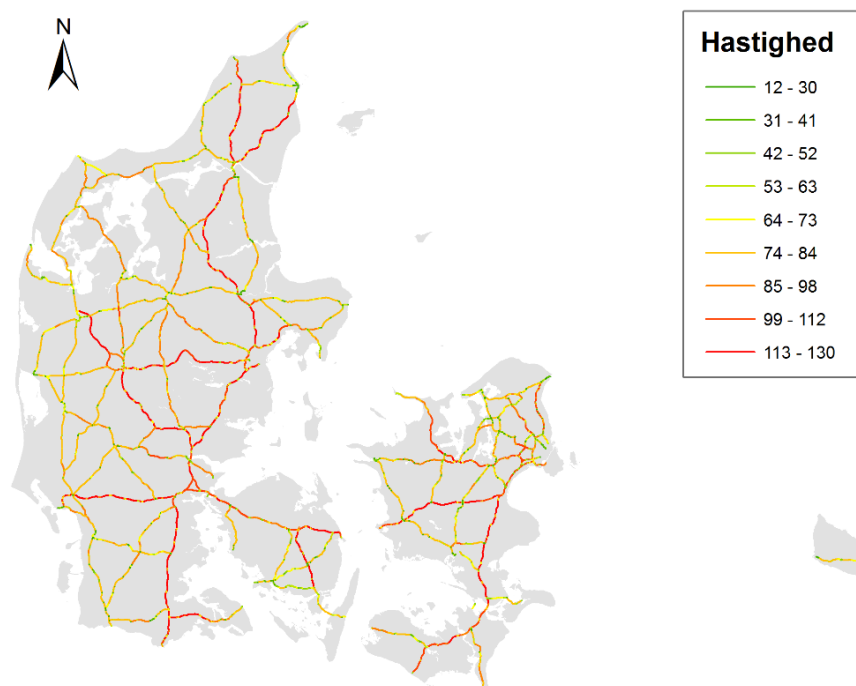
Figur 4.6. Vejtyper på statsvejnettet i 2021.

Rejsehastighed

Rejsehastigheden er gennemsnitshastigheden over en strækning. Rejsehastigheder stammer fra GPS-baserede rejsehastighedsdata fra INRIX leveret via Vejdirektoratet. Rejsehastighedsdata repræsenterer 2019. Disse rejsehastigheder er ikke på vejmans vejnet, men på et vejnet for Landstrafikmodellen, som Vejdirektoratet også administrerer. DCE har overført rejsehastigheder fra Landstrafikkens vejnet til vejmans vejnet ved hjælp af bufferteknik i GIS. Dette er ikke trivielt, da de to vejnet er væsen forskellige. Vejnettet i vejman er mindre detaljeret beskrevet end vejnettet i Landstrafikmodellen fx optræder motorveje i vejman som enkeltstrækninger, mens det er dobbeltstrækninger i Landstrafikmodellen. Endvidere er de to vejnet ikke altid 100% geografisk korrekte, hvilket også gør at overførsel af data fra det ene vejnet til det andet vanskeliggøres og fører til fejloverførsler. Overførsel er sket separat for motorveje og øvrige veje for at mindske kompleksiteten. Da denne type af map matching aldrig foregår helt tilfredsstillende har det været nødvendigt med en del manuelle tilretninger efterfølgende.

Rejsehastigheden fra INRIX afspejler hverdage for den lette trafik af person- og varebiler, hvilket også er input til OML-Highway. Antagelser om niveauet og døgnfordelingen af rejsehastigheder for den tunge trafik er indbygget i standarddøgnfordelingerne, hvor den tunge trafiks hastighed er afhængig af rejsehastigheden for den lette trafik.

Rejsehastigheder forekommer mellem 12 km/t og 130 km/t.



Figur 4.7. Rejsehastigheder på statsvejnettet i 2019. Enhed er km/t.

Køretøjsfordeling

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

Mulige tungandele er fastsat til 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 12 14 16 18 20 25 30 40 50 60 70. Der er her valgt en stor variation i tungandel, da dette har væsentlig indflydelse på emissionen.

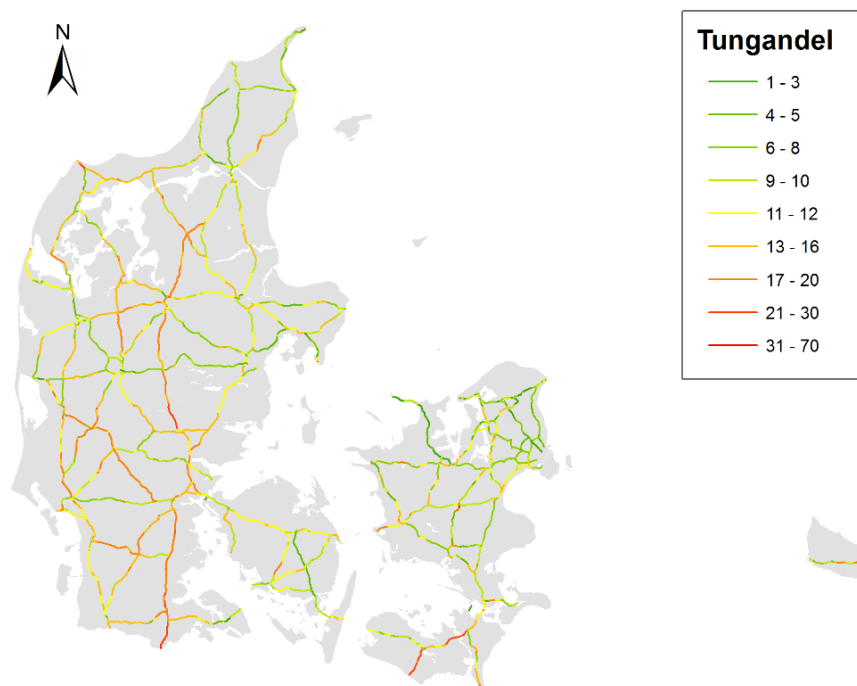
Mulige rejsehastigheder er fastsat til 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 km/t. Der er valgt en stor variation i rejsehastighed, da dette har væsentlig indflydelse på emissionen.

Som tidligere beskrevet er døgnfordelingstypen fastsat til type F for alle veje.

Dette giver et antal kombinationer af døgnfordelingstype, tungandel og rejsehastighed på $1 \times 21 \times 12 = 252$. OML-Highway har en begrænsning på 200 kombinationer, men da alle mulige kombinationer ikke reelt forekommer i data overholdes den tilladelige grænse på 200.

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

Med hensyn til emissionsberegningerne skal tungandelen yderligere opsplittes i lastbiler < 32t, lastbiler ≥ 32 ton og busser. Denne information findes i døgnfordelingensfilen, fx type F.



Figur 4.8. Tungandele på statsvejnettet i 2021. Enhed er procent.

4.4 Emission

Emissioner fra statsvejnettet (beregningsvejene) er baseret på den officielle EU-emissionsmodel COPERT V (EMEP/EEA 2019), som anbefales af EU til nationale emissionsopgørelser, og som er integreret i OML-Highway. Det er det samme emissionsmodul, som er integreret i OSPM. Dette muliggør fuld udnyttelse og konsistens med emissionsmodulet i OSPM, som løbende opdateres.

COPERT V-emissionsmodellen beskriver emissionen fra vejtrafik ud fra køretøjskategori, emissionsklasse, køretøjsvægt/motorstørrelse og brændstoftype. Emissionen er endvidere afhængig af rejsehastigheden, andelen af koldstartede biler (forhøjet emission ved kold motor), og forværrelsesfaktorer (fx falder effektiviteten af katalysatorer med alderen). Emissionsmodulet implementeret i OML-Highway inkluderer: NO_x , CO, benzen, PM_{10} , og $\text{PM}_{2.5}$. Direkte NO_2 andele (andel af NO_x -emission, som udsendes som NO_2) er også implementeret i emissionsmodulet, og giver NO_2 andele for de forskellige køretøjskategorier og emissionsklasser.

Emissionsforholdene repræsenterer 2019.

4.5 Baggrundskoncentrationer

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

I forbindelse med kortlægning af luftkvaliteten langs hele statsvejnettet er der valgt en anden tilgang. Baggrundskoncentrationer varierer over Danmark. Det vil derfor indebære en betydelig usikkerhed, hvis der blot blev antaget én

baggrundskoncentration til at repræsentere hele Danmark eller flere til at repræsentere forskellige regioner. Det er derfor valgt at basere baggrundskoncentrationer beregnet på et 1x1 km² gitternet for Danmark, hvor beregningspunktet er i midten af en gittercelle ved brug af luftkvalitetsmodellerne DEHM og UBM, som er samme modelsetup, der benyttes i luftovervågningsprogrammet NOVANA (Ellermann et al. 2021). Baggrundskoncentrationer repræsenterer 2019. For beregningspunkter i OML-Highway inden for en given 1x1 km² gittercelle er den tilhørende baggrundskoncentration anvendt.

DEHM-UBM

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

Den regionale luftforurening beregnes med Danish Eulerian Hemispheric Model (DEHM). Denne model dækker hele den nordlige halvkugle og anvendes til beskrivelse af luftforureningen på stor geografisk skala. Modelberegningerne inkluderer beskrivelse af udledningerne, den atmosfæriske transport, de kemiske og fysiske processer i atmosfæren samt afsætning af luftforureningen på land- og vandoverflader. Modellen beregner luftforureningen i fire domæner med stigende geografisk opløsning. For den nordlige halvkugle anvendes en geografisk opløsning med gitterceller på 150 km x 150 km (domæne 1), mens der for selve Danmark anvendes den højeste geografisk opløsning med gitterceller på 5,6 km x 5,6 km (domæne 4). Det er resultater for niveau 4, som anvendes i forbindelse med modelberegningerne præsenteret i denne rapport. Modellen dækker de nederste ca. 15 km af atmosfæren som repræsenteres i modellen med 29 lag af variable højde. Modellen indeholder et omfattende kemisk modul til beregning af de relevante kemiske reaktioner og er dokumenteret i Christensen (1997), Brandt et al. (2012) og på <http://au.dk/DEHM>.

Bybaggrundsforureningen repræsenterer den generelle forurening i byerne eller på landet og bidraget fra lokale emissionskilder, som er beregnet med Urban Background Model (UBM). DEHM- og UBM-beregningerne foregår i en koblet proces, således at UBM-modellen får input om beregnede opstrøms regionale koncentrationer time for time fra DEHM. Modellen inkluderer simpel fotokemi (NO_x, NO₂, O₃) og øvrige stoffer, som ikke indgår i disse reaktioner, spredes blot. For Danmark benyttes SPREAD-emissionsmodellen (Plejdstrup et al., 2021), som anvender forskellige geografiske fordelingsmetoder til at fordele den nationale emissionsopgørelse på 1 km x 1 km opløsning for hele Danmark. Dette datasæt indeholder alle kilder som trafik, energi, industri, boligopvarmning, landbrug mv. UBM er i de senere år blevet væsentlig forbedret i forhold til beskrivelse af de fysiske processer og håndtering af udledningerne (areal- og punktkilder), således at modellen i dag giver væsentligt mere realistiske resultater i sammenligning med målinger. Modellen er dokumenteret i en række artikler (Brandt et al., 2003) og på <http://au.dk/UBM>.

Justering for manglende masse i regional model

Regionale modeller som DEHM, der beskriver baggrundsluftforureningen, har en tendens til at underestimere koncentrationen af PM_{2,5}, når man sammenligner modellernes resultater med målinger. PM₁₀ bliver dermed også underestimeret, da PM_{2,5} er en del af PM₁₀. I international litteratur benævnes dette som "the mass closure problem" eller "missing mass problem". I takt

med, at forskningen udvikler sig og modellerne bliver bedre, reduceres dette massegab langsomt. Sandsynligvis består en del af den "manglende masse" af vand i partiklerne, men også processer, som ikke til fulde er beskrevet i den regionale model, som fx dannelsen af sekundære organiske partikler (SOA), men også usikkerheder i emissionsbestemmelse af fx mekanisk dannede partikler. Der er gennem de seneste år gjort forskellige forsøg på at korrigere for den manglende masse i Det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet, da det har betydning for estimering af helbredseffekter og eksterne omkostninger. Resultat af analyse mellem målinger og modelresultater for PM_{2,5} viser, at modellerne skal opjusteres med 33% for at matche målingerne (Ellermann et al., 2021). Det betyder, at PM_{2,5}-koncentrationerne er underestimeret med omkring 33%. I 2019 er baggrundskoncentrationerne af PM_{2,5} og PM₁₀ ganget med en faktor på 1,33 for at tage højde for dette, og det er de korrigerede baggrundskoncentrationer, som er anvendt og vises i det følgende. Forudsætningerne for denne kalibrering er nærmere beskrevet i Ellermann et al. (2021).

Meteorologi

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

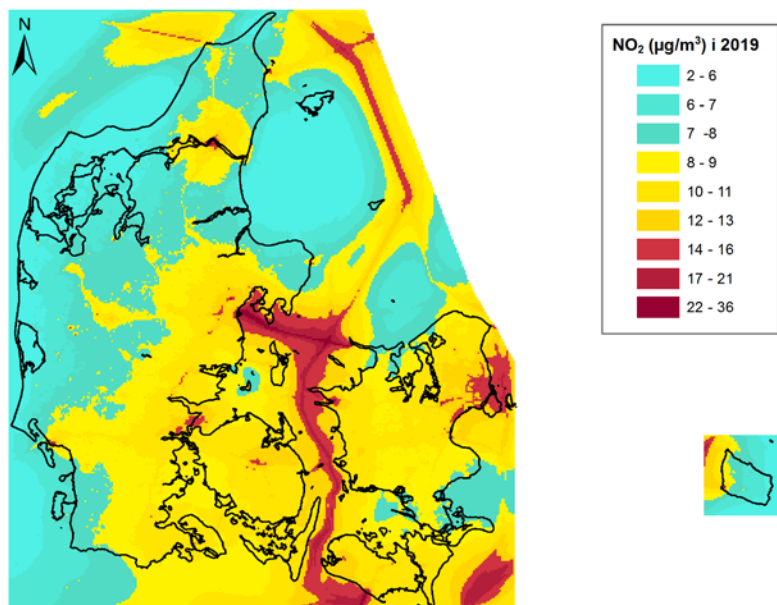
Disse datasæt bliver genereret med den meteorologiske model WRF (Weather Research and Forecasting Model) opsat for de samme domæner som DEHM-modellen. WRF er udviklet af National Center for Atmospheric Research, USA (NCAR) (Se Skamarock et al. (2008) for detaljer). Anvendte meteorologiske data dækker år 2019, og er trukket ud for lokaliteter, som giver en god geografisk repræsentation af hele landet, se Figur 4.9. I luftkvalitetsberegningerne for et givent beregningspunkt anvendes meteorologisk data fra nærmeste lokalitet med meteorologisk data.



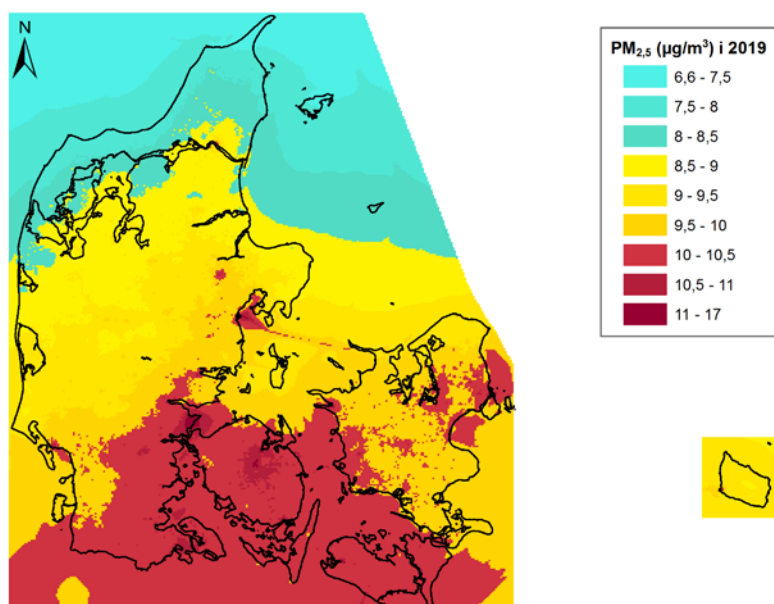
Figur 4.9. Lokaliteter med meteorologisk data fra WRF.

Geografisk fordeling af baggrundskoncentrationer

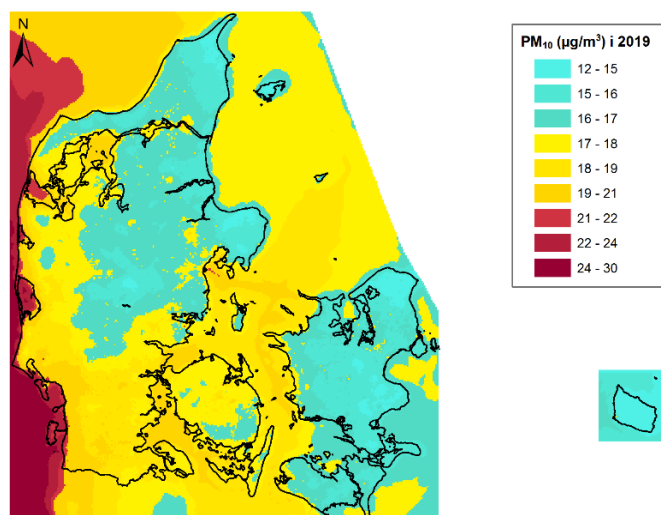
Nedenstående Figur 4.10 til Figur 4.12 viser den geografiske fordeling af baggrundskoncentrationer beregnet med DEHM/UBM, som inkl. alle danske og udenlandske emissioner. Bemærk at koncentrationer også er visualiseret over vandområder.



Figur 4.10. Årsmiddel for baggrundskoncentrationer af NO₂ i 2019.



Figur 4.11. Årsmiddel for baggrundskoncentrationer PM_{2,5} i 2019.

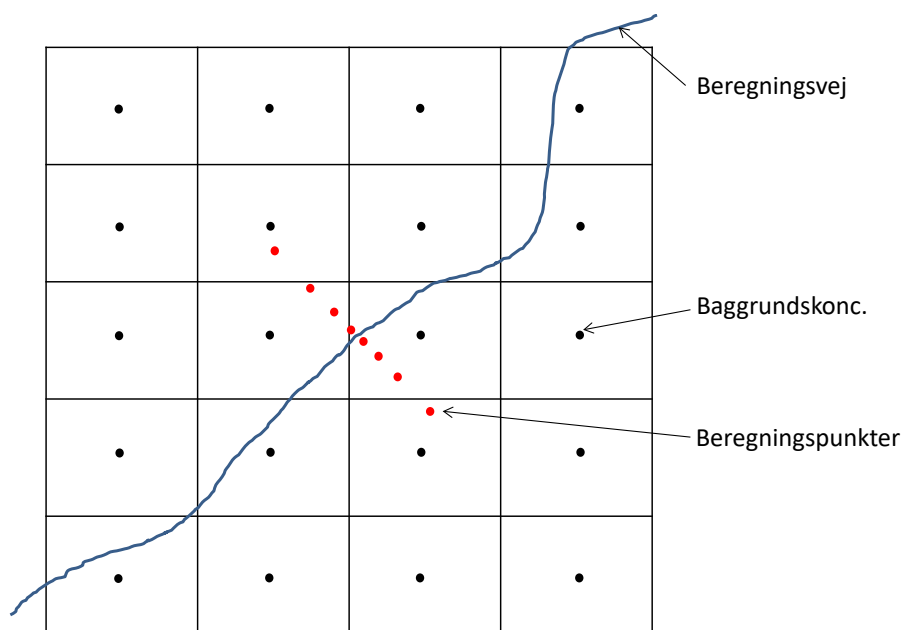


Figur 4.12. Årsmiddel for baggrundskoncentrationer PM₁₀ i 2019.

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

4.6 Beregningstilgang

Beregningstilgangen er skitseret i Figur 4.13.



Figur 4.13. Baggrundskoncentrationer fra DEHM-UBM på 1x1 km² gitternet (sorte prikker) og beregningspunkter (røde prikker) langs beregningsvej.

Metode til at undgå dobbelttælling

Vejemissioner indgår i SPREAD, dvs. emissioner fra både stats- og kommunevejnettet. For at undgå dobbelttælling af vejemissioner bør emissioner fra statsvejnettet først trækkes ud af SPREAD, før bidraget fra statsvejnettet til beregningspunkter langs statsvejnettet beregnes. Dette gælder kun for 1x1 km² gitterceller, som er inden for 1 km af statsvejnettet. Dette blev forsøgt i et tidligere projekt men førte til for tilfældige resultater, hvor emissionerne kunne blive negative i en gittercelle. Det skyldes, at SPREAD er baseret på en top-down tilgang, hvor den nationale emissionsopgørelse fordeles geografisk, mens emissioner beregnet med OML-Highway er en bottom-up tilgang.

Det er derfor valgt at undgå dobbelttælling af emissioner fra vejtrafik ved at gennemføre en separat beregning med OML-Highway, hvor emissioner fra hele statsvejnettet bliver lagt ud på 1x1 km² gitterceller og betragtet som "baggrundskoncentrationer". Disse "ekstra beregninger" blev foretaget for hvert centerpunkt af en 1x1 km² gittercelle, som indeholder OML-Highway beregningspunkter, dvs. inden for 1 km afstand fra statsvejnettet. Dette bidrag fra denne ekstraberegning svarer derfor til den del af koncentrationerne, som er modelleret 2 gange (én gang med UBM baseret på SPREAD emissioner og én gang med OML-Highway baseret på emissioner fra statsvejnettet) og skal derfor fratrækkes fra den "fulde beregning".

Den "fulde beregning" inkluderer bidraget fra hele statsvejnettet til alle beregningspunkter langs vejstrækningen beregnet med OML-Highway, og som baggrundskoncentration antages DEHM/UBM koncentration (som 1-times tidsserie) for den nærmest 1x1 km² gittercelle. Som meteorologi for hver beregning antages modellerede tidserier fra den nærmeste af de 23 udvalgte lokaliteter for meteorologi, se tidligere Figur 4.9. Da OML-Highway som standard kun kan antage en enkelt baggrundsfil for en beregning blev beregningerne gennemført separat for hver 1x1 km² gittercelle med beregningspunkter samtidig med at statsvejnettet blev opdelt i 5 regioner (Nordjylland, Midtjylland, Syddanmark, Sjælland inkl. Hovedstadsområde, Bornholm). Antallet af OML-Highway beregningerne varierede mellem 66 for Bornholm og 2.700 for Midtjylland.

Det endelige resultat bestemmes af koncentrationer fra den "fulde beregning" (for hver enkelt receptor) minus "ekstra beregning" (for nærmeste 1x1 km² gittercelle) for at undgå dobbelttælling.

Nyudviklet R-script

For at kunne håndtere de mange separate OML-Highway beregninger samt korrektion for dobbelttælling blev hele data-flow i dette projekt gennemført med hjælp af nyudviklede programmerings-scripts baseret på programmeringssproget R (R Core Team, 2022). Disse R-scripts omfatter både generering og reformatering af inputdata, igangsættelse af OML-Highway beregningerne samt efterbehandling af resultaterne.

Korrektion af NO₂

For ikke-reaktive stoffer som PM_{2.5} og PM₁₀ kan ovenstående beregninger gennemføres uden justeringer. NO_x består af NO og NO₂. Da NO₂ indgår i fotokemi er der ikke en lineær sammenhæng mellem NO_x og NO₂, og NO₂ ved beregningspunkterne er derfor beregnet ud fra en metode opstillet af Dürring et al. (2011). Det er en simplificeret kemimodel, som er baseret på årsmiddelen af NO_x for beregningspunkt og baggrundskoncentrationspunkt, NO₂ og ozon for baggrundskoncentrationspunkt samt oplysninger om andelen af direkte NO₂ emissioner af NO_x emissioner fra trafikken. Som baggrundskoncentration bruges her koncentrationer fra nærmeste 1x1 km² gittercelle.

5 Evaluering af modelresultater

I dette afsnit evalueres modelresultaterne ved at sammenligne og relatere til tidligere gennemførte luftkvalitetsmålinger og modelberegninger. Først sammenlignes beregningerne af baggrundsbidraget i 2019 modelleret med DEHM/UBM med tilgængelige målinger for 2019 fra 4 bybaggrundsmålestationer i de større byer og med 2 regionale baggrundsstationer. Der eksisterer ikke målinger langs motorveje for 2019, som kan bruges til validering af modelresultaterne. Derfor opsummeres kort tidligere valideringer af OML-Highway modellen, hvor modelresultater og målinger er sammenlignet for at vurdere usikkerheden på modellen.

5.1 Validering af baggrundskoncentrationer i luftkvalitetskortlægningen i 2019

I det følgende er beregninger for baggrundskoncentrationer sammenlignet med luftkvalitetsmålinger for de permanente baggrundsstationer under luftovervågningsprogrammet NOVANA (Ellermann et al 2021).

Sammenligning af modelresultater og målinger for NO₂

I Tabel 5.1 er modelresultater og målinger for NO₂ sammenlignet.

Tabel 5.1. Sammenligning mellem beregnede NO₂-baggrundskoncentrationer og NO₂-målinger på målestationerne i Danmark i 2019 (årsmiddelværdi).

Enhed: µg/m ³	Målinger	Model resultater	Difference	Modeller
<i>Bybaggrund:</i>				
København/1259	12	15	23%	DEHM/UBM
Aarhus/6160	11	14	20%	DEHM/UBM
Odense/9159	10	12	21%	DEHM/UBM
Aalborg/8159	10	11	9%	DEHM/UBM
Hvidovre/2650	12	13	8%	DEHM/UBM
<i>Landbaggrund:</i>				
Risø/2090	7	10	56%	DEHM/UBM
Føllesbjerg/9055	7	10	42%	DEHM/UBM
Ulborg / 7060	4	6	44%	DEHM/UBM
Anholt/6001	4	7	63%	DEHM/UBM

NO₂-baggrundskoncentrationer overestimerer generelt med 8% til 23% i forhold til målinger for bybaggrundsstationerne. For de regionale stationer er overestimeringen større. Det er modelresultaterne i baggrundskoncentrationer, som ligger til grund for de efterfølgende OML-Highway beregninger.

Sammenligning af modelresultater og målinger for PM_{2.5} og PM₁₀

Modelresultater og målt PM_{2.5} på målestationerne i Danmark i 2019 ses i Tabel 5.2. Det ses, at modellen generelt rammer niveauet af målinger inden for -9% til 7% for bybaggrundsstationerne, og for landbaggrundsstationen med -1%. Den gode sammenhæng skyldes også den føromtalt korrektion for manglende masse ("missing mass problem").

Tabel 5.2. Sammenligning mellem beregnede PM_{2,5}-baggrundskoncentrationer og PM_{2,5}-målinger på målestationerne i Danmark i 2019 (årsmiddelværdi)

Enhed: µg/m ³	Målinger	Model resultater	Difference	Modeller
<i>Bybaggrund:</i>				
København /1259	11	11	-6%	DEHM/UBM
Aarhus/6160	10	10	5%	DEHM/UBM
Aalborg/8159	10	9	-9%	DEHM/UBM
Hvidovre/2650	10	11	7%	DEHM/UBM
<i>Landbaggrund:</i>				
Risø/2090	11	11	-1%	DEHM/UBM

Modelresultater for PM₁₀ er sammenlignet med målt PM₁₀ på målestationerne i Danmark i 2019, se Tabel 5.3. Det ses, at modellen rammer målte værdier inden for få procent, hvilket også skyldes forømtalte korrektion for manglende masse ("missing mass problem").

Tabel 5.3. Sammenligning mellem beregnede PM₁₀-baggrundskoncentrationer og PM₁₀-målinger på målestationerne i Danmark i 2019 (årsmiddelværdi)

Enhed: µg/m ³	Målinger	Model resultater	Difference	Modeller anvendt
<i>Bybaggrund:</i>				
Copenhagen/1259	17	17	-2%	DEHM/UBM
<i>Landbaggrund:</i>				
Føllesbjerg/9055	19	19	0,5%	DEHM/UBM
Risø/2090	16	17	2%	DEHM/UBM

5.2 Tidligere valideringer af OML-Highway modellen mod målinger

Validering af OML-Highway modellen er blevet foretaget i forbindelse med udvikling og opdatering af modellen, og har omfattet NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀.

OML-Highway modellen er detaljeret evalueret i forhold til målinger langs med Køge Bugt Motorvejen (Jensen et al. 2004). Der er endvidere foretaget en evaluering af OML-Highway modellen baseret på danske målinger (Køge Bugt Motorvejen) og norske målinger samt en sammenligning med andre spredningsmodeller, som anvendes i de nordiske lande for motorveje (Berger et al. 2010). I denne evaluering havde OML-Highway modellen en højere korrelation med målingerne end de andre modeller, som indgik i evalueringen. Der har endvidere været gennemført en målekampagne på Holbækmotorvejen med det formål at bestemme og evaluere emissionsfaktorer for partikel-emission (PM₁₀ og PM_{2,5} - partikler under hhv. 10 og 2,5 mikrometer) (Ellermann et al. 2009). Den samme målekampagne fra Holbækmotorvejen har også været brugt til at sammenligne målinger af gasser og partikelforurening med en trafikeret bygade i København - H.C. Andersens Boulevard (Wang et al. 2010). En kortlægning af luftkvalitet langs statsvejene repræsenterende 2012 data (Jensen et al., 2015) viste tendens til overestimering af koncentrationerne længere væk fra vejen, og derfor blev en ny sammenligning mellem model og målinger i 2016 gennemført med en målekampagne ved Svogerslev (Jensen et al., 2017).

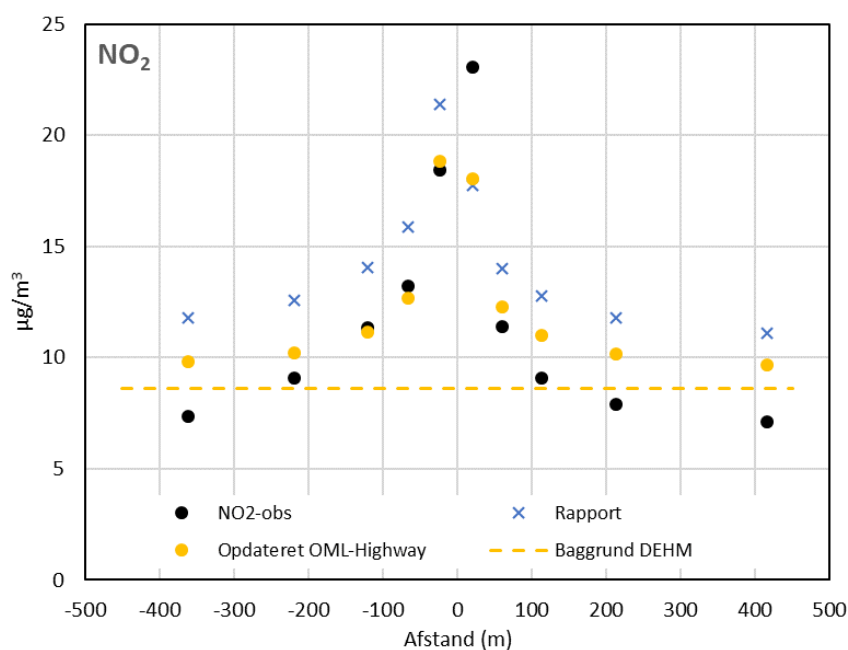
Forbedring af OML-Highway

På baggrund af datasættet fra Svogerslev (Jensen et al., 2017) indeholdende NO₂ målinger har Aarhus Universitet forbedret den fysiske beskrivelse i OML-Highway, således at der opnås endnu bedre resultater mellem model-

resultater og målinger, hvilket også har resulteret i bedre sammenhæng længere væk fra vejen (Løfstrøm, 2020). Det er med udgangspunkt i den forbedrede version af OML-Highway, at nærværende opdaterede kortlægning af luftkvaliteten langs statsvejene er foretaget. I forbindelse med forbedringen er der sket en række optimeringer af modelkoden, som beskrives i det følgende.

Den trafikskabte turbulens har i OML-Highway hidtil kun påvirket den vertikale spredning. Nu er effekten også indbygget i den horisontale spredning, hvilket har betydning, når vindretningen er nær parallel med vejen. Det areal en personbil påvirker den trafikskabte turbulens med er ændret fra 4 m² til 2 m², og er nu i overensstemmelse med Operational Street Pollution Model (OSPM), som bl.a. benyttes til luftkvalitetsberegninger i gaderum. Ligeledes er den initiale startspredning ændret fra 4 m til 2 m. Dette har størst betydning tættest på motorvejen med lidt højere koncentrationer og aftager til ringe betydning i ca. 100 meters afstand fra motorvejen. I spredningen fra motorveje indgår den såkaldte fortyndingsfaktor, som er knyttet til vindhastigheden beregnet for en udslipshøjde på 1 m. Men med stigende afstand øges røgfanens vertikale udstrækning. Herved bliver fortyndingsfaktoren også påvirket af de større vindhastigheder i højden. Dette forhold er nu inkluderet i modellen. Med stigende afstand vil koncentrationerne reduceres mere og mere i forhold til tidligere.

Disse justeringer har medført en tydelig forbedring af modellen med bedre overensstemmelse mellem model og målinger for NO₂ også længere væk fra vejen, se Figur 5.1. I beregningerne er anvendt baggrundskoncentrationer fra DEHM, som ser ud til at være overestimeret, da beregnede baggrundskoncentrationer ligger over målingerne længere væk fra vejen. Dermed bliver OML-Highway beregningerne også højere længere væk fra vejen end de burde være, og der ville være endnu bedre overensstemmelse med målingerne, hvis de beregnede baggrundskoncentrationer havde været lavere det pågældende sted.

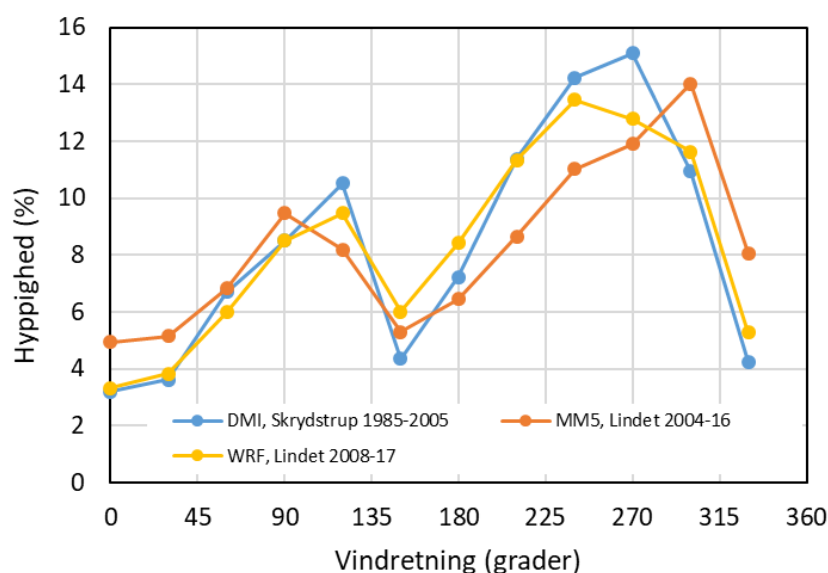


Figur 5.1. Målte og beregnede NO₂-koncentrationer (6 uger) i 2016 i forskellige afstande nord og syd for motorvej ved Svogerslev. Positive afstande er mod syd. "NO₂-obs" henviser til målingerne, og "Rapport" til beregninger i (Jensen et al., 2017).

Forbedringer af meteorologiske data og forventede effekter heraf

I den sidste kortlægning af luftforureningen langs statsvejnettet med 2012 data blev der anvendt modelleret meteorologi fra den meteorologiske model MM5, men DCE er efterfølgende overgået til at anvende en anden meteorologisk model, WRF (Weather Research and Forecasting Model). WRF anvendes nu i det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet mod tidligere MM5, idet WRF vurderes til at have en bedre kvalitet. WRF data indgik også i sammenligning mellem modelberegninger og målinger i alle tre kampagner (Svovlerslev 2016, Køge Bugt 2003 og Taastrup 2008) i valideringsrapporten (Jensen et al., 2017). WRF data er også anvendt i OML-Highway beregningerne i Figur 5.1.

Sammenligning mellem MM5 og WRF viser ikke de store forskelle, men at WRF er lidt bedre end MM5. Det er i anden sammenhæng konstateret, at vindretningerne fra WRF er en del mere præcise, som det fremgår af Figur 5.2. Ligeledes er den aerodynamiske ruhed lidt mindre og vindhastighederne lidt højere i WRF, hvilket kan have indflydelse på beregningerne.

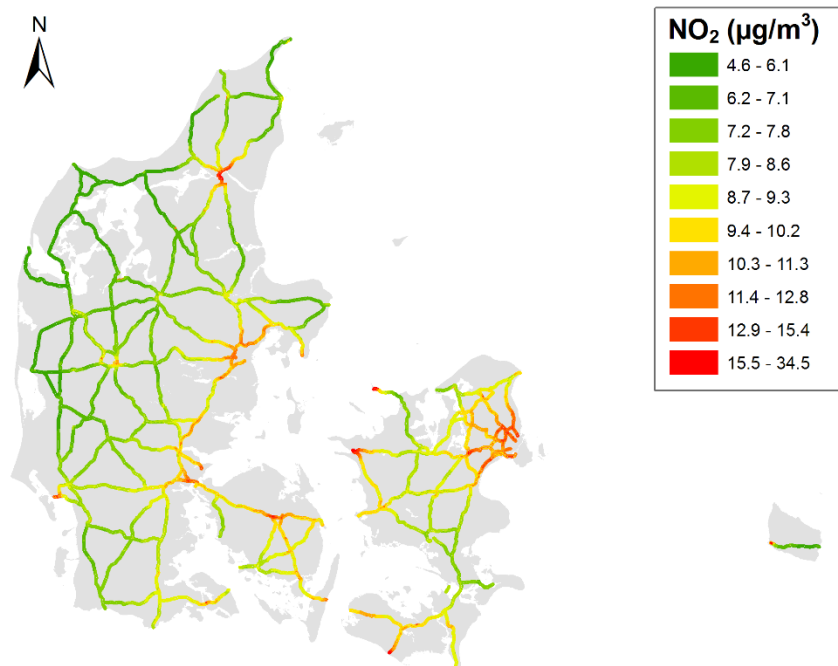


Figur 5.2. Hyppighed af vindretninger i Sønderjylland for målinger fra DMI samt de to meteorologiske modeller MM5 og WRF. Bemærk, at perioderne ikke er ens, men er tilstrækkelig lange til en sammenligning.

6 Luftkvalitet langs statsvejnettet

6.1 Geografisk beskrivelse for NO₂

Den geografiske variation af NO₂ i 2019 er vist i Figur 6.1. Som forventet er koncentrationerne højest på de mest trafikerede motorvejsstrækninger i Hovedstadsområdet og langs dele af E20 over Fyn og E45 gennem Jylland.



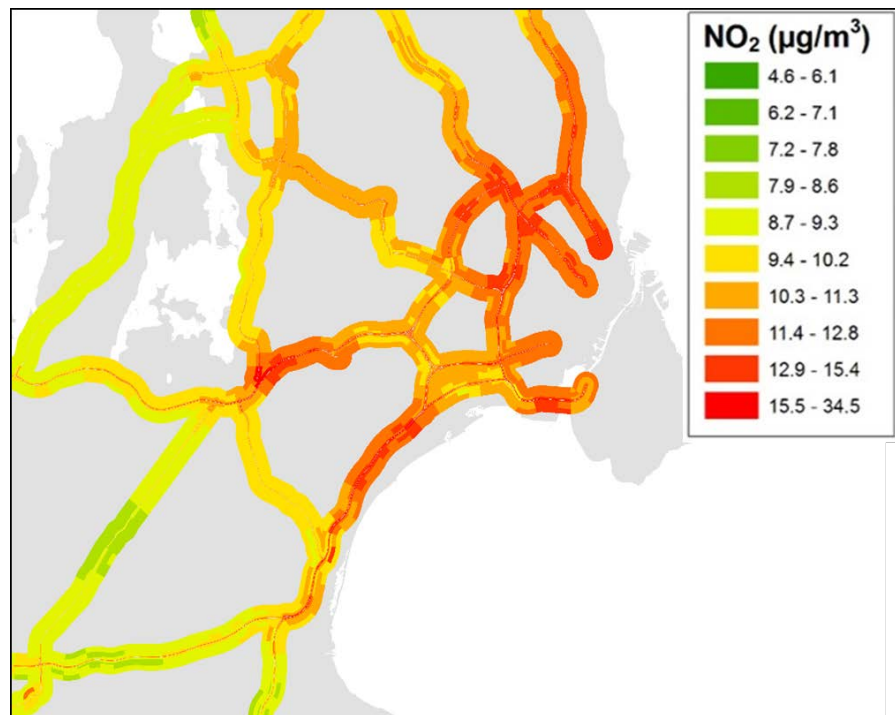
Figur 6.1. Geografiske variation af NO₂ som årsmiddelværdi i 2019 for statsvejnettet.

Den allerhøjeste modellerede NO₂ koncentration (34,5 µg/m³) forekommer tæt på Limfjordstunnelen, men det skyldes en meget høj modelleret baggrundskoncentration grundet bidrag fra Aalborg Portland, som sandsynligvis er overestimeret.

Illustration af bufferzoner

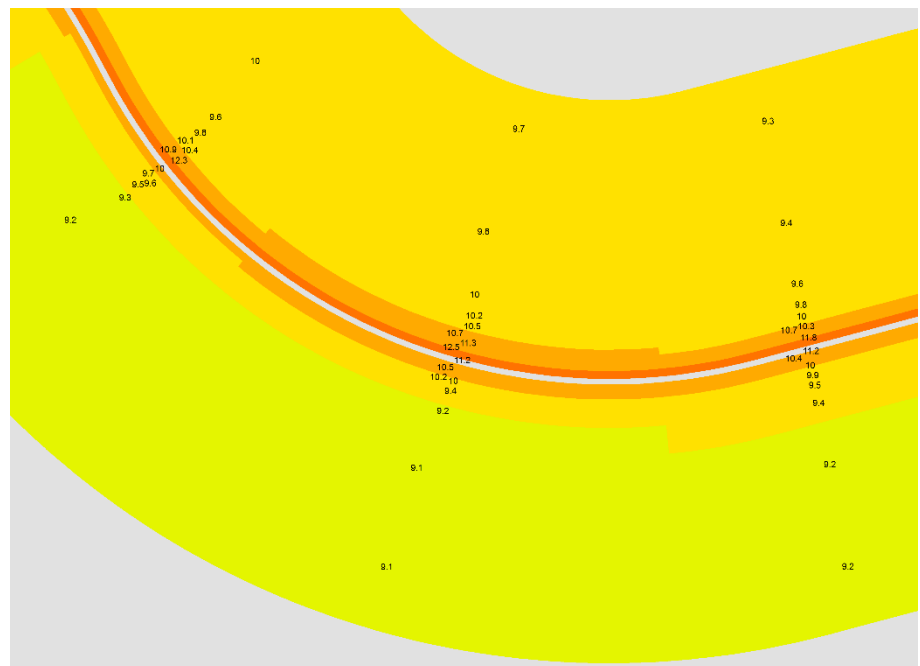
I Figur 6.2 er vist bufferzoner i Storkøbenhavn for NO₂ i 2019.

Forskelle i beregnede koncentrationer skyldes, at den beregnede koncentration afhænger af trafikken (ÅDT, tungandel, rejsehastighed) og baggrundskoncentration og meteorologi.



Figur 6.2. Eksempel for visning af bufferzoner for NO₂ i 2019 for Storkøbenhavn.

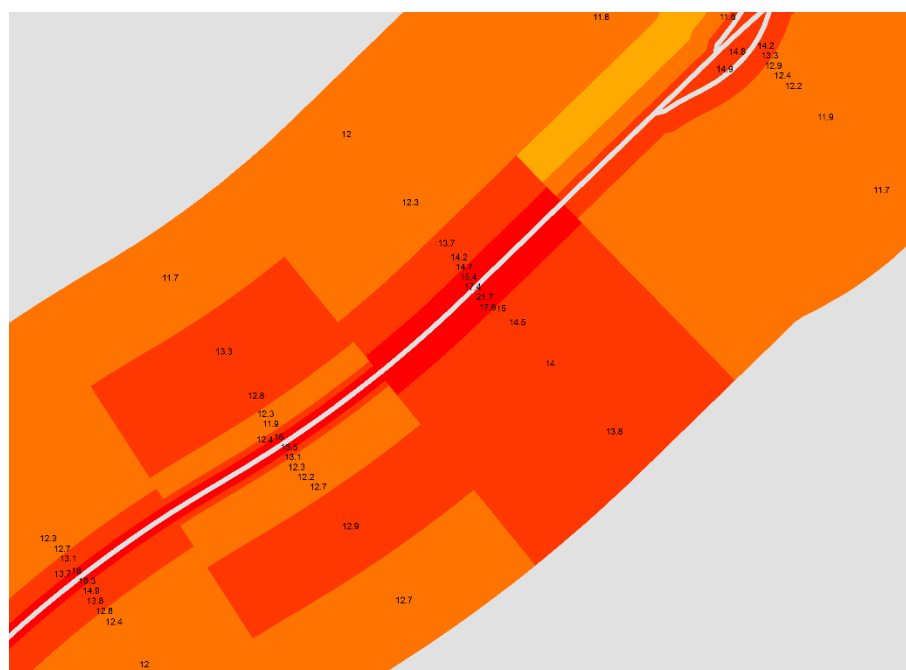
I Figur 6.3 er vist et udsnit af bufferzoner på Holbækmotorvejen vest for Roskilde, hvor den tidligere målekampagne ved Svogerslev blev foretaget. Det ses, at koncentrationerne er højest tættest på vejen og herefter aftager med afstanden fra vejen. Endvidere ses højere koncentrationer på den nordlige side af motorvejen, da den dominerende vindretning er fra sydvest. For den midterste transekt er den højeste koncentration 12,5 µg/m³ og den laveste 9,1 µg/m³. dvs. at motorvejen bidrager med op til 3,4 µg/m³.



Figur 6.3. Beregnede årsmiddel af NO₂ i 2019 ved Holbækmotorvejen vest for Roskilde omtrent samme sted, som tidligere målekampagne fandt sted i 2016.

I Figur 6.4 er vist årsmiddelkoncentrationer af NO₂ på en strækning på Køge Bugt Motorvejen, hvor de højeste koncentrationer forekommer. For transekt

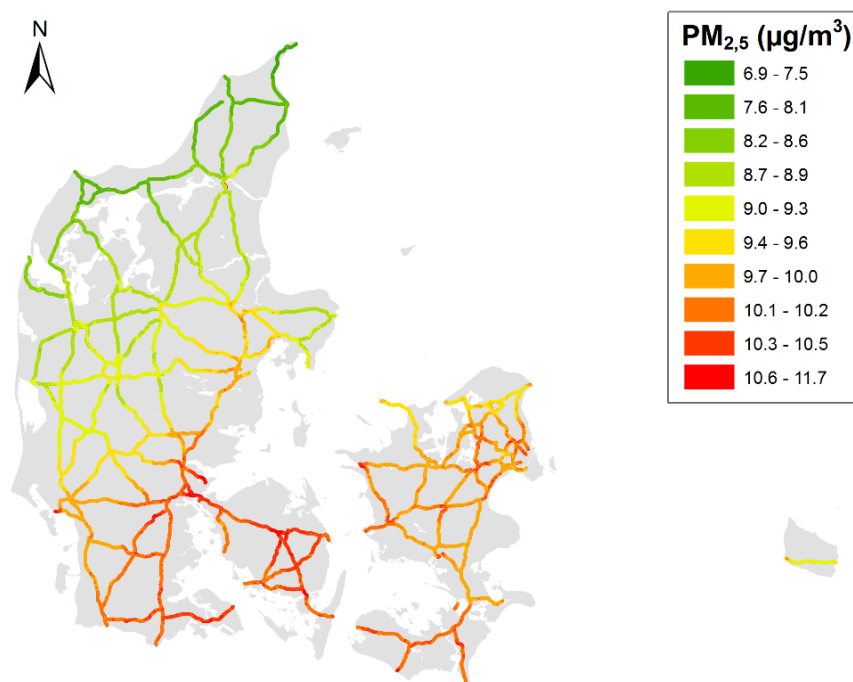
med de højeste koncentrationer er den højeste koncentration $21,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og den laveste $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. dvs. at motorvejen bidrager med op til $9,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Det antages her, at den laveste værdi er meget tæt på baggrundskoncentrationen, hvilket også bekræftes af, at der er meget lille forskel på de beregnede værdier for de to beregningspunkter, som ligger længst væk fra vejen.



Figur 6.4. Beregnede årsmiddelværdier af NO_2 i 2019 på strækning på Køge Bugt motorvejen.

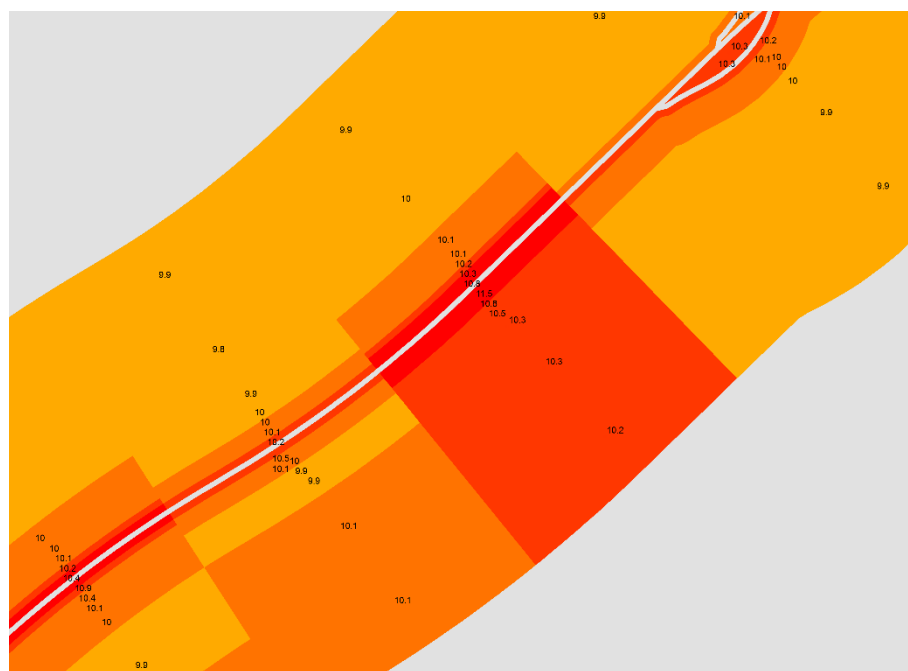
6.2 Geografisk beskrivelse for $\text{PM}_{2.5}$ og PM_{10}

Den geografiske variation af $\text{PM}_{2.5}$ i 2019 er vist i Figur 6.5. Den geografiske variation er meget forskellig fra NO_2 , idet baggrundsforureningen betyder meget og bidraget fra statsvejnettet betyder mindre. Der ses derfor en tydelig gradient fra syd mod nord, som er bestemt af baggrundsforureningen, se Figur 4.11.



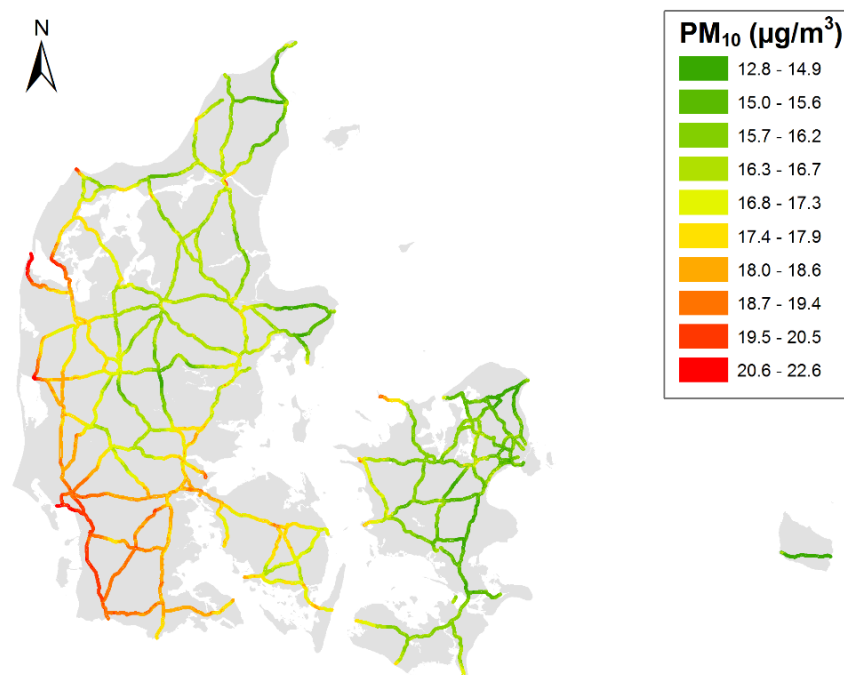
Figur 6.5. Geografisk variation af PM_{2.5} som årsmiddelværdi i 2019 langs statsvejnettet.

I Figur 6.6 er vist årsmiddelkoncentrationer af PM_{2.5} på strækning på Køge Bugt Motorvejen. Den højeste koncentrationer er 11,5 µg/m³ og den laveste 9,9 µg/m³ dvs. at motorvejen bidrager med op til 1,6 µg/m³.



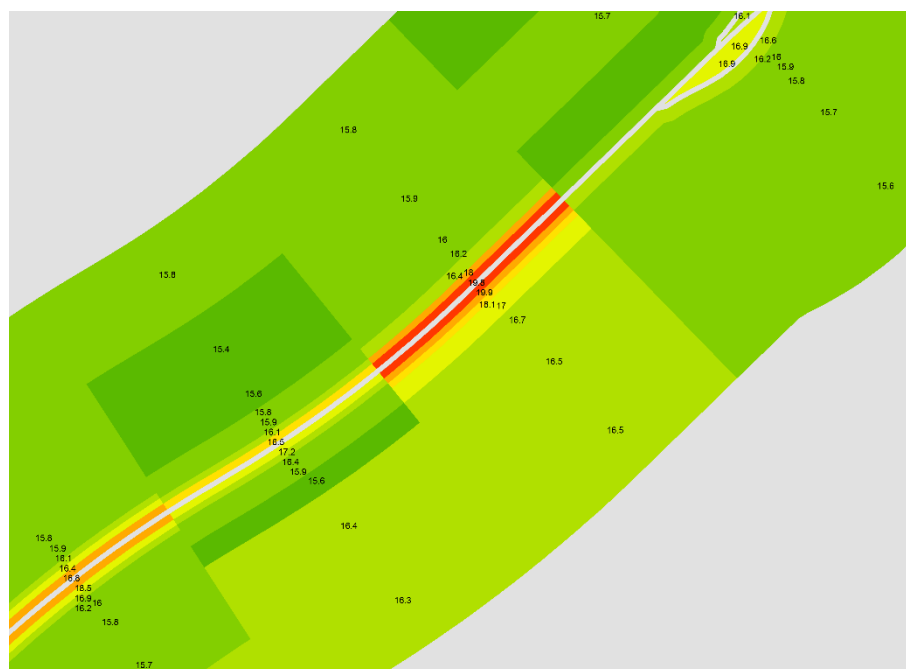
Figur 6.6. Beregnede årsmiddel af PM_{2.5} i 2019 på strækning på Køge Bugt motorvejen.

Den geografiske variation af PM₁₀ i 2019 er vist i Figur 6.7. Den geografiske variation minder om variationen for PM_{2.5}, men afviger, da PM₁₀ også er væsentligt influeret af havsalt, som det også fremgår af Figur 4.12.



Figur 6.7. Geografisk variation af PM₁₀ som årsmiddelværdi i 2019 langs statsvejnettet.

I Figur 6.8 er vist årsmiddelkoncentrationer af PM₁₀ på strækning på Køge Bugt Motorvejen. For transekt i midten er den højeste koncentrationer 19,9 µg/m³ og den laveste 15,4 µg/m³ dvs. at motorvejen bidrager med op til 4,5 µg/m³.



Figur 6.8. Beregnede årsmiddel af PM₁₀ i 2019 på strækning på Køge Bugt motorvejen.

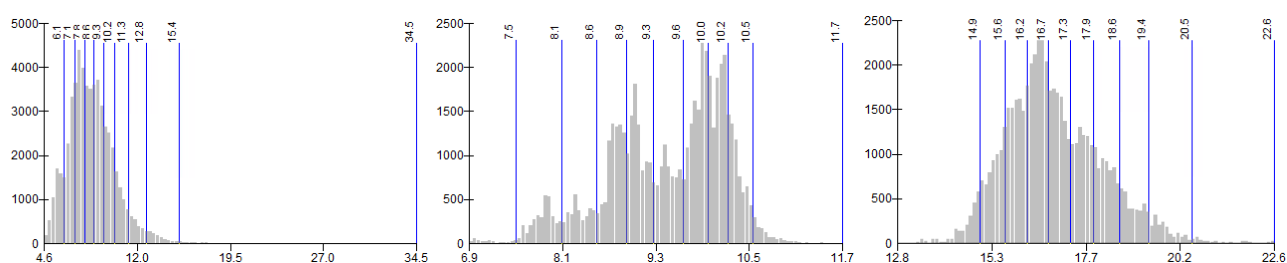
6.3 Statistisk beskrivelse

Enkelte beskrivende statistiske parametre er vist i Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Statistiske parametre for årsmiddelkoncentrationer i 2019 for NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀ langs statsvejnettet

	NO ₂ µg/m ³	PM _{2.5} µg/m ³	PM ₁₀ µg/m ³
Minimum	5,0	6,9	12,8
Maksimum	34,5	11,7	22,7
Gennemsnit	9,1	9,4	16,9

Den statistiske fordeling af årsmiddelkoncentrationer langs statsvejnettet er vist i Figur 6.9. Der er forskelle mellem fordelingerne afhængig af stofferne. NO₂ fordelingen er domineret af bidraget fra trafikken, mens PM₁₀ og især PM_{2.5} er domineret af bidraget fra den regionale luftforurening.



Figur 6.9. Statistisk fordeling af årsmiddelkoncentrationer i 2019 for NO₂ (venstre), PM_{2.5} (midte) og PM₁₀ (højre) langs statsvejnettet. Y-aksen er antallet af observationer og x-aksen er koncentrationsniveauet i µg/m³. Blå linjer er baseret på "natural breaks".

6.4 Sammenligning med grænseværdier og WHO-retningslinjer

I dette afsnit foretages en sammenligning mellem luftkvalitetsberegningerne langs statsvejene i 2019 og EU's nuværende og foreslåede grænseværdier samt WHO's retningslinjer for luftkvalitet.

EU-grænseværdier og WHO-retningslinjer

Gældende grænseværdier er baseret på EU-luftkvalitetsdirektivet (EU, 2008), som er implementeret i danske bekendtgørelser. Såfremt grænseværdierne overskrides, er Miljøministeriet forpligtiget til at fremsætte handleplaner, som skal sikre overholdelse inden for rimelig tid. Luftkvalitetsdirektivet stammer fra 2008, og er under revision med et udkast fra oktober 2022 (EU-Kommissionen, 2022), hvor hensigten er at skærpe grænseværdierne under hensyntagen til de nye retningslinjer fra WHO fra 2021 (WHO, 2021), som erstattede de tidligere fra 2005 (WHO, 2005).

I september 2021 udgav WHO opdaterede retningslinjer for luftkvalitet. Dette er anbefalinger for luftkvalitet og er ikke juridisk bindende på samme måde som EU's grænseværdier.

EU's luftkvalitetsdirektiv stiller krav om, at grænseværdierne skal overholdes senest i bestemte årstal. WHO's retningslinjer opererer ikke med noget tilsvarende, da det er anbefalinger, så der er ingen anbefalinger om at retningslinjerne bør overholdes i bestemte årstal.

I Tabel 6.2 er opsummeret WHO's retningslinjer fra 2005 og 2021 samt EU's grænseværdier fra 2008 og de foreslåede EU grænseværdier fra 2022. Værdier er kun givet for NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀, som er beregnet langs statsvejnettet i nærværende studie.

Tabel 6.2. Oversigt over WHO-retningslinjer og EU grænseværdier for luftkvalitet for årsmiddelværdier af NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ sammenlignet med beregnede koncentrationer langs statsvejnettet i 2019. Enhed µg/m³.

Stof	Midlingstid	WHO 2005	WHO 2021	EU 2008	EU forslag	Statsveje	Statsveje	Statsveje
					2022	Min.	Maks.	Gns.
NO ₂	År	20	10	40	20	5	35	8
PM _{2,5}	År	10	5	25	10	7	12	10
PM ₁₀	År	20	15	40	20	13	23	17

Som det fremgår af Tabel 6.2, er EU's grænseværdier væsentlig højere end WHO's retningslinjer i både 2005 og 2021. Det ses også, at WHO har skærpet deres anbefalinger markant fra 2005 til 2021, som skyldes ny viden og bedre dokumentation af luftforureningens helbredsskadelige virkninger. Forslag om reviderede grænseværdier fra 2022 er væsentligt skærpede i forhold til EU 2008, men stadigvæk væsentligt over WHO 2021.

Forslag til reviderede grænseværdier gælder for 2030, men opererer med et såkaldt reduktionskrav. Det nye forslag til reduktion af eksponeringskoncentrationen for PM_{2,5} angiver, at eksponeringskoncentrationen skal falde med 25% over en tiårig periode. Reduktionskravet skal gælde fra 2030 og hvert år fremover. Til eksempel betyder det, at eksponeringskoncentrationen i 2030 (gennemsnit af 2028-2030) skal være 25% lavere end målt i 2020 (gennemsnit af 2018-2020). Reduktionskravet er gældende, indtil den gennemsnitlige eksponeringskoncentration kommer i overensstemmelse med den foreslåede målsætning for eksponeringskoncentrationen, som for PM_{2,5} er fastlagt til 5 µg/m³ dvs. det samme som WHO 2021. Ligesom for PM_{2,5}, er der foreslået et krav om at eksponeringskoncentrationen for NO₂ skal falde med 25% over en tiårig periode. Reduktionskravet skal også gælde fra 2030 og hvert år fremover ind til den foreslåede målsætning for eksponeringskoncentration er nået, som 10 µg/m³ svarende til WHO 2021. Der er ikke opstillet reduktionskrav for PM₁₀.

De maksimale beregnede koncentrationer langs med statsvejnettet af de tre stoffer overholder de nuværende EU grænseværdier, men overskrider den foreslåede grænseværdi for NO₂.

De mindste beregnede koncentrationer overskrider WHO 2021 anbefalingerne for PM_{2,5}, de maksimale koncentrationer overskrider WHO 2021 for alle tre stoffer, og den gennemsnitlige beregnede værdi for PM₁₀ overskrider også WHO 2021.

DCE har foretaget en redegørelse for Miljøministeriet om luftkvaliteten i Danmark i forhold til de nye forslag til grænseværdier baseret på målt luftkvalitet på målestationer i Danmark, herunder en vurdering i forhold til fremtidig luftkvalitet i 2030 baseret på modelberegninger (Ellermann, 2022a).

6.5 Sammenligning med tidligere kortlægning fra 2012

I det følgende foretages en sammenligning med den tidligere udførte kortlægning af luftkvaliteten i 2012 langs med statsvejene (Jensen et al., 2015). Sammenligningen er således mellem beregnet luftkvalitet i 2012 og 2019.

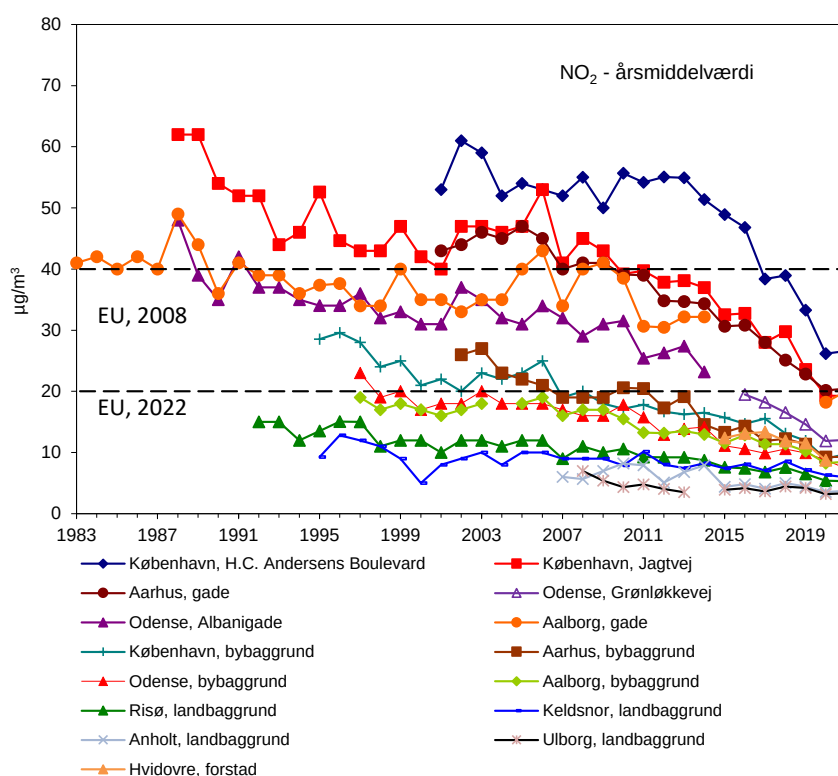
Som forventet har den geografiske fordeling af NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ meget store ligheder.

I Tabel 6.3 er sammenlignet statistiske parametre for NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ for hhv. 2012 og 2019.

Tabel 6.3. Statistiske parametre for årsmiddelkoncentrationer i 2012 og 2019 for NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ langs statsvejnettet. Værdier i fed indeholder ikke manglende masse.

	NO ₂ µg/m ³	PM _{2,5} µg/m ³	PM ₁₀ µg/m ³
	2012	2012	2012
Minimum	7	7	11
Maksimum	55	13	20
Gennemsnit	14	9	14
	2019	2019	2019
Minimum	5	7	13
Maksimum	35	12	23
Gennemsnit	8	9	17

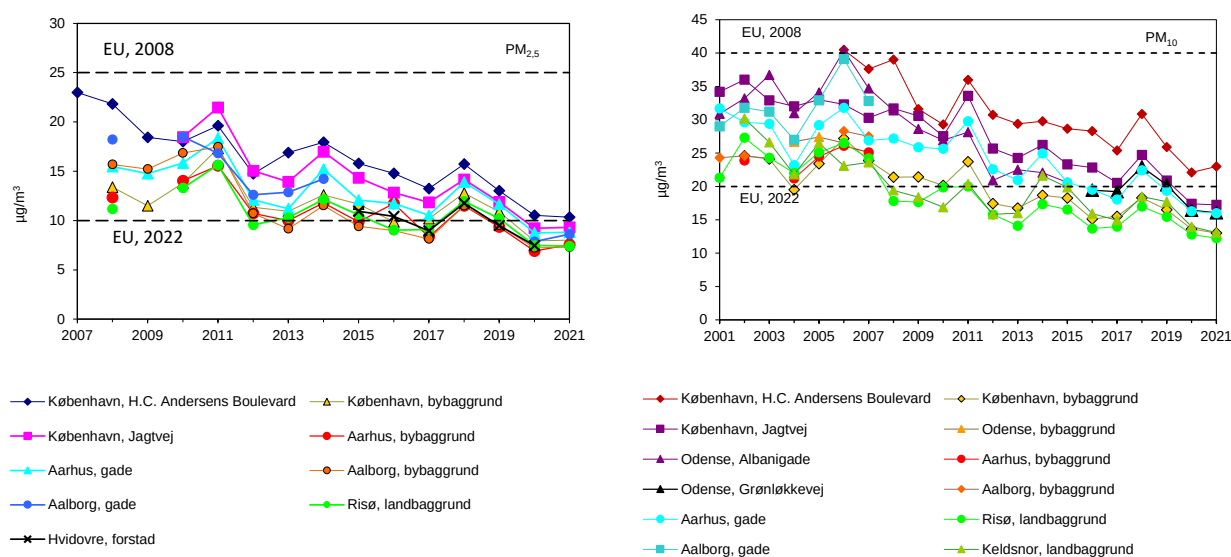
Det ses, at de beregnede koncentrationer af NO₂ i gennemsnit er faldet med omkring 40% fra 2012 til 2019. Dette er i tråd med udviklingen i målte koncentrationer på gademålestationer i Danmark under Det nationale overvågningsprogram for luftkvalitet, se Figur 6.10.



Figur 6.10. Udviklingstendens for årsmiddelværdier af nitrogendioxid (Ellermann et al., 2022b). Den øverste stiplede linje angiver EU's grænseværdi (EU, 2008) mens den nederste stiplede linje angiver det nye forslag til grænseværdi (EU-Kommission, 2022).

For PM_{2,5} og til dels PM₁₀ er niveauerne næsten ens i både 2012 og 2019. Beregningerne i 2012 indeholdt ikke en korrektion for manglende masse, mens dette er tilfældet for beregningerne for 2019, hvilket betyder at niveauerne i 2012 burde have været omtrent 33% lavere end vist i Tabel 6.3, hvis der havde været korrigeret for manglende masse i 2012.

Som det ses af Figur 6.11 har der været et fald i både $PM_{2,5}$ og PM_{10} på målestationerne fra 2012 til 2019.



Figur 6.11. Udviklingstendens for årsmiddelværdier af $PM_{2,5}$ (venstre) og PM_{10} (højre) (Ellermann et al., 2022b). Den øverste stiplede linje angiver EU's grænseværdi (EU, 2008) mens den nederste stiplede linje angiver det nye forslag til grænseværdi (EU-Kommission, 2022).

7 Berørte boliger og mennesker

I dette kapitel beskrives antallet og typen af berørte boliger ud fra data fra Bygnings- og Boligregisteret (BBR) samt antal mennesker ud fra det Centrale Personregister (CPR), og dette sættes i forhold til luftforureningen inden for 1.000 m af statsvejene.

7.1 Berørte boliger

Alle boliger, og øvrige bygninger med boliglignende ophold, indgår i antallet af støjbelastede boliger, og indgår derfor også i opgørelsen af boliger udsat for luftforurening. På samme måde som for støj indgår alle boliger beliggende inden for en afstand af omkring 1.000 m fra statsvejene. Boligoplysninger er baseret på et udtræk fra Bygnings- og Boligregisteret (BBR), og leveret af Vejdirektoratet i oktober 2021, og er samme datasæt, som indgik i Vejdirektoratets landsdækkende EU-støjkortlægning. I Tabel 7.1 er vist de boligtyper som indgår. Bemærk at 130 og 520 er blevet underopdelt og med tiden udfases. De er medtaget her, da de stadigvæk indgår i datasættet.

Tabel 7.1. Boligtyper som indgår i antal støj- og luftforureningsbelastede boliger

Anvendelses kode i BBR	Boligtype	Indgår i antal støj- og luftforureningsbelastede boliger	Indgår ikke
110	Stuehus	X	
120	Parcelhus	X	
121	Sammenbygget enfamiliehus	X	
122	Fritliggende enfamiliehus i tæt-lav bebyggelse	X	
130	Række-, kæde-, eller dobbelthus (udfases)	X	
131	Række-, kæde-, og klyngehuse	X	
132	Dobelthus	X	
140	Etagebolig	X	
150	Kollegium	X	
160	Døgninstitution	X	
190	And. helårsbolig	X	
510	Sommerhus	X	
520	Enhed i feriekoloni, vandrehjem o.l. (udfases)		X
521	Feriecenter, center til campingplads mv.		X
522	Ferielejlighed til erhvervsmæssig udlejning		X
523	Ferielejlighed til eget brug		X
529	Anden enhed til ferieformål		X
540	Kolonihavehus		X
590	Anden fritidsbygning		X

Da der for en given adresse kan være flere boligenheder (fx ved etageboliger) tælles antal boliger som antal boligenheder. En adresse er her kommunkode-vejkode-husnr. dvs. uden etage- og sidedørsoplysninger, da vi beregner luftforureningen på adressen i jordniveau.

I BBR datasættet fra Vejdirektoratet var der omkring 3,5% af adresserne, som lå mere end 1.000 m fra vejnettet. Disse blev slettet. Endvidere var det ikke alle adresser i BBR, som fik tilknyttet befolkningsdata fx fordi det var sommerhuse eller lignende. Det resulterede i 496.978 adresser, som havde i alt 727.320 boligenheder.

7.2 Berørte mennesker

Med udgangspunkt i CPR data beregnes antallet af mennesker på adresser inden for 1.000 m af statsvejene.

DCE har fået godkendt benyttelse af CPR data til nærværende projekt, og det er anmeldt. Da CPR data er følsomme oplysninger vises ikke antal mennesker, køn eller alder på fx enkelte adresser, således det potentielt kunne være muligt at identificere enkeltpersoner. CPR data er leveret den 23.3.2022 af Forskerservice under Sundhedsdatastyrelsen. Oplysninger vises kun statistisk, som antal personer, og køn og alder analyseres ikke.

CPR data er geokodet dvs. koordinater for adressen er tilknyttet via nøglen kommunekode-vejkode-husnr. fra adresseregisteret.

Herefter er det geokodede CPR data knyttet til BBR via nøglen kommune-kode-vejkode-husnr.

Derefter er beregnede koncentrationer på bufferzoner knyttet til BBR, således at der opnås et datasæt, som både indeholder oplysninger om BBR, CPR og luftkvalitet.

Ovenstående er gennemført ved brug af R og GIS.

Der indgår således 496.978 adresser fordelt på 727.320 boligenheder med tilknyttede befolkningsdata i alt 1.493.386.

I Tabel 7.2 er opsummeret antal adresser, boligenheder, personer samt det gennemsnitlige antal personer per boligenhed.

Tabel 7.2. Antal adresser, boliger og mennesker inden for 1.000 m af statsvejnettet

Anvendelses kode i BBR	Boligtype	Adresser	Bolig- enheder	Personer i alt	Personer per bolig
110	Stuehus	17.079	17.368	45.433	2,6
120	Parcelhus	287.375	288.146	734.214	2,5
121	Sammenbygget enfamiliehus	94	96	240	2,5
122	Fritliggende enfamiliehus i tæt-lav bebyggelse	7	7	13	1,9
130	Række-, kæde-, eller dobbelthus (udfases)	96.426	101.465	184.034	1,8
131	Række-, kæde-, og klyngehuse	22.068	23.465	47.370	2,0
132	Dobbelthus	6.177	6.212	13.227	2,1
140	Etagebolig	62.521	274.031	448.400	1,6
150	Kollegium	1.848	10.493	11.274	1,1
160	Døgninstitution	375	2.176	3.006	1,4
190	And. helårsbolig	832	1.656	2.581	1,6
510	Sommerhus	2.176	2.205	3.594	1,6
		496.978	727.320	1.493.386	2,1

7.3 Befolkningseksponering for luftforurening

I dette afsnit beskrives sammenhængen mellem boligtyper og befolkningens eksponering, og sammenhængen mellem befolkningens eksponering i forhold til grænseværdier og WHO-retningslinjer for luftkvalitet.

Befolkningseksponering og boligtyper

I Tabel 7.3 er vist den gennemsnitlige årsmiddelkoncentration af NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ i 2019 på adresser med forskellige boligtyper.

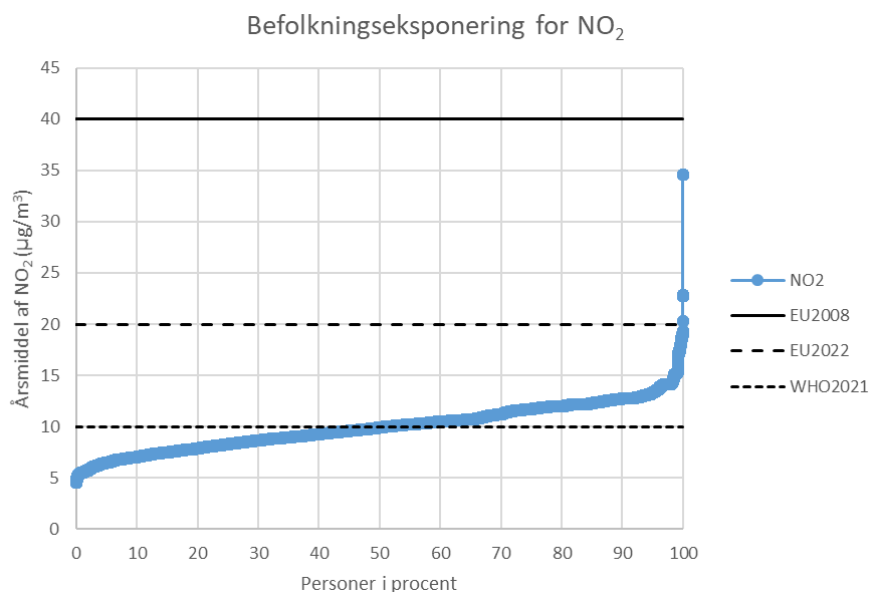
Tabel 7.3. Gennemsnitlige årsmiddelkoncentration af NO₂, PM_{2,5} og PM₁₀ i 2019 på adresser med forskellige boligtyper inden for 1.000 m af statsvejnettet.

Anvendelses-kode i BBR	Boligtype	NO ₂ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
110	Stuehus	8,1	9,4	16,8
120	Parcelhus	9,2	9,7	16,9
121	Sammenbygget enfamiliehus	8,7	9,6	16,9
122	Fritliggende enfamiliehus i tæt-lav bebyggelse	7,9	9,6	18,0
130	Række-, kæde-, eller dobbelthus (udfases)	9,8	9,8	16,7
131	Række-, kæde-, og klyngehuse	10,3	9,8	16,5
132	Doppelthus	9,7	9,9	16,6
140	Etagebolig	10,3	9,8	16,6
150	Kollegium	11,2	9,9	16,7
160	Døgninstitution	9,3	9,7	16,9
190	And. helårsbolig	8,6	9,5	16,8
510	Sommerhus	8,4	9,5	16,2

Som det ses af Tabel 7.3 er der i gennemsnit lidt højere koncentrationer for fx etageboliger, kollegier, tæt-lav boliger i forhold til fx stuehuse og parcelhuse, som kan skyldes deres placering i byområder, hvor disse typer af boliger ligger i tættere beboet områder med større baggrundskoncentration og måske også tættere på en trafikeret statsvej.

Befolkningseksponering i forhold til grænseværdier og WHO-retningslinjer

I Figur 7.1 er vist andelen af personer i procent, som bor på adresser i op til 1.000 m fra statsvejnettet, og tilhørende koncentrationsniveauer for NO₂ i 2019 på adresserne.

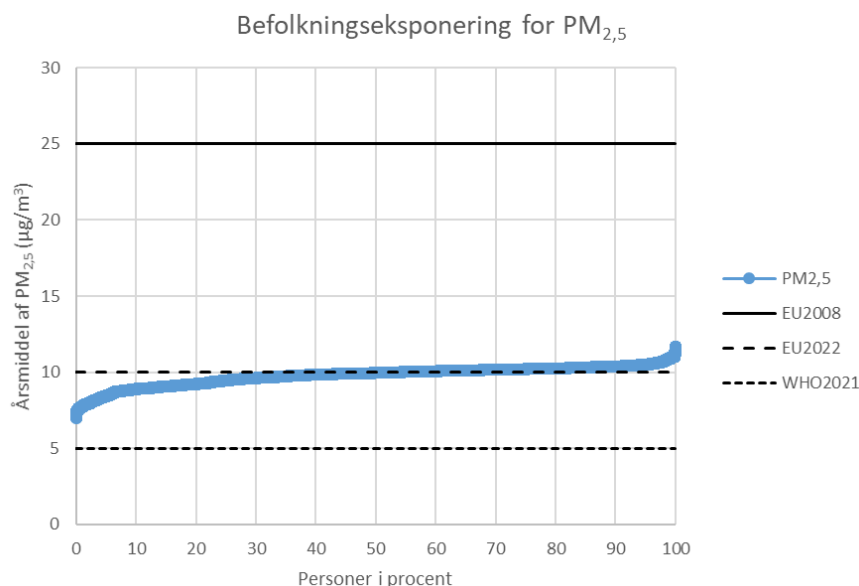


Figur 7.1. Befolkningseksponering for NO₂ i 2019 sammenlignet med grænseværdier og WHO-retningslinjer.

Som det fremgår af Figur 7.1 bor alle mennesker langs statsvejnettet på adresser, som er under grænseværdien for NO₂. Kun godt 500 personer (0,04%) bor

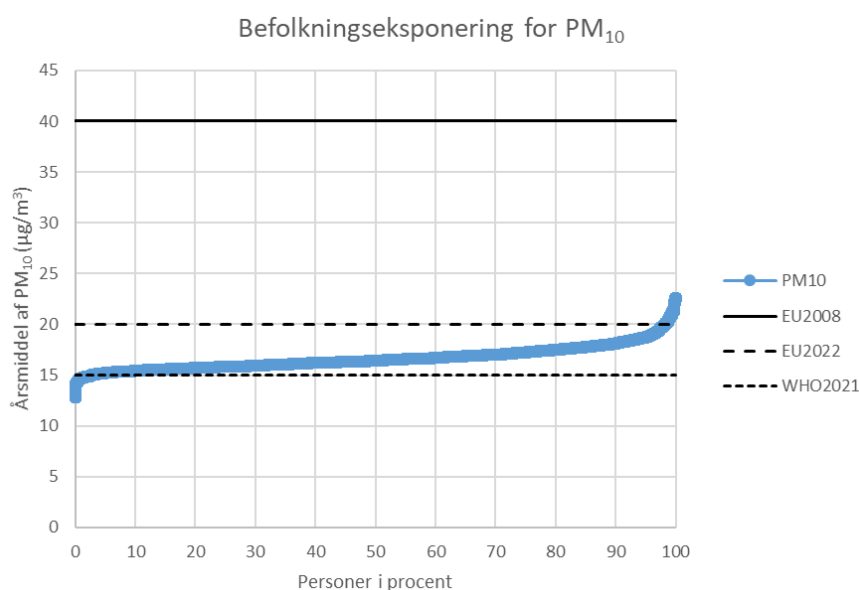
på adresser, hvor den foreslåede EU grænseværdi overskrides. Til gengæld bor omkring 49% på adresser, som overskrider WHO-retningslinjer fra 2021.

I Figur 7.2 er vist befolkningseksposeringen for $PM_{2,5}$. Som det fremgår bor alle mennesker på adresser langs statsvejnettet, som er under grænseværdien for $PM_{2,5}$. Til gengæld bor omkring 49% på adresser med $PM_{2,5}$ -koncentrationer, som overskrider den foreslåede EU grænseværdi, og alle adresser overskrider WHO-retningslinjer fra 2021.



Figur 7.2. Befolkningseksposering for $PM_{2,5}$ i 2019 sammenlignet med grænseværdier og WHO-retningslinjer.

I Figur 7.3 er vist befolkningseksposeringen for PM_{10} . Som det fremgår bor alle mennesker på adresser langs statsvejnettet, som er under grænseværdien for PM_{10} , men omkring 2% bor på adresser med PM_{10} -koncentrationer, som overskrider den foreslåede EU grænseværdi, og omkring 97% bor på adresser, som overskrider WHO-retningslinjer fra 2021.



Figur 7.3. Befolkningseksposering for PM_{10} i 2019 sammenlignet med grænseværdier og WHO-retningslinjer.

Kortlægning af helbredseffekter og helbredsomkostninger af luftforurening fra statsveje

En fremtidig metodisk mulighed ville være at supplere beregning af luftkvalitet og befolkningseksponering med beregning af helbredseffekter og helbredsomkostninger (samfundsøkonomisk tab) ved luftforureningen fra statsvejnettet. Dette kan beregnes vha. EVA-systemet (Economic Valuation of Air Pollution) udviklet af DCE (Brandt et al. 2013). I dette modelsystem beregnes helbredseffekter og helbredsomkostninger af en emissionskilde som fx statsvejene på en geografisk opløsning på 1x1 km² ved at koble bybaggrundskoncentrationer (DEHM/UBM), befolkningsdata (CPR) for estimering af befolkningseksponering, eksponerings-respons sammenhænge for at bestemme helbredseffekter, og prissætning af helbredseffekter.

Litteraturliste

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

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

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

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

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

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

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

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

EMEP/EEA, 2019: Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, prepared by the UNECE/EMEP Task Force on Emissions Inventories and Projections (TFEIP). Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>.

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. Research Notes from NERI Nr. 254. <http://www.dmu.dk/Pub/AR254.pdf>

Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M., Massling, A., Bossi, R., Frohn, L.M., Geels, C., Jensen, S.S., Nielsen, O.-K., Winther, M., Poulsen, M.B., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., 2021. Luftkvalitet 2019. Status for den nationale luftkvalitetsovervågning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 128 s. - Videnskabelig rapport nr. 410. <http://dce2.au.dk/pub/SR410.pdf>

Ellermann, T., 2022a. Vurdering af luftkvalitet i Danmark sammenholdt med målsætninger i EU's forslag til nyt luftkvalitetsdirektiv. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 24 s. – Fagligt notat nr. 2022|76 https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_76.pdf

Ellermann, T., Nordstrøm, C., Massling, A., Sørensen, M.B. 2022b. Status for måling af luftkvalitet i 2021. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 25 s. - Teknisk rapport nr. 245. <http://dce2.au.dk/pub/TR245.pdf>

EU, 2008. EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2008/50/EF af 21. maj 2008 om luftkvaliteten og renere luft i Europa.

EU-Kommission, 2022. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe. Brussels, 26.10.2022. COM(2022) 542 final.

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

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

Jensen, S.S., Ketzel, M., Becker, T., Løfstrøm, P., Olesen, H.R. (2011a): Luftkvalitetsvurdering af udvidelse af motorvej syd om Odense. VVM redegørelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.

<http://www.dmu.dk/Pub/FR825.pdf>.

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

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

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

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

Jensen, S.S., Im, U., Ketzel, M., Løfstrøm, P. & Brandt, J. 2015. Kortlægning af luftkvalitet langs motor- og landeveje i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 41 s. - Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 154.
<http://dce2.au.dk/pub/SR154.pdf>

Jensen, S.S., Ketzel, M., Im, U., Løfstrøm, P., Poulsen, M.B., Monies, C., Ellermann, T. (2017): 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>

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

Løfstrøm, P. Forbedring af OML-Highway. Marts 2020. Intern notat udarbejdet af Aarhus Universitet.

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 Modelling 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>

Plejdstrup, M.S., Nielsen, O.-K., Gyldenkerne, S. & Bruun, H.G. 2021. Spatial high-resolution distribution of emissions to air – SPREAD 3.0. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 208 pp. Technical Report No. 215. <http://dce2.au.dk/pub/TR215.pdf>

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D., Duda, M. G., Powers, J. G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3 (No. NCAR/TN-475+STR). University Corporation for Atmospheric Research. doi:10.5065/D68S4MVH

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

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.

WHO, 2005. Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.

WHO (2021): WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.

KORTLÆGNING AF LUFTKVALITET LANGS STATSVEJENE I DANMARK

Denne rapport beskriver resultaterne af en kortlægning af luftkvaliteten i 2019 langs statsvejene i hele Danmark. Kortlægningen er gennemført med OML-Highway modellen, og anvendte metoder og datagrundlag er beskrevet. Antallet af berørte boliger og mennesker langs vejnettet er også belyst. Luftkvaliteten er sammenlignet med nuværende og foreslåede EU grænseværdier samt WHO's retningslinjer for luftkvalitet.