

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift

Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet

(Proceedings from the Annual Transport Conference
at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

www.trafikdage.dk/artikelarkiv



Luftkvalitetsvurdering af alternativerne for en ny 3. Limfjordsforbindelse

*Steen Solvang Jensen¹, Matthias Ketzel¹, Thomas Becker¹, Ole Hertel¹, Per Løfstrøm¹,
Helge Rørdam Olesen¹, Jakob Fryd², Lene Nøhr Michelsen²*

¹Institute for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet, ssj@dmu.dk, mke@dmu.dk, thob@dmu.dk,
oh@dmu.dk, pl@dmu.dk, hro@dmu.dk

²Vejdirektoratet, jaf@vd.dk, lmi@vd.dk

Abstrakt

Artiklen beskriver en luftkvalitetsvurdering udført med OML-Highway modellen i forbindelse med Vejdirektoratets VVM-redegørelse for de tre alternativer for en ny 3. Limfjordsforbindelse ved Aalborg. De tre alternativer er: Parallelforbindelsen langs med den eksisterende tunnel, en Egholm- samt en Lindholmforbindelse. Luftkvaliteten langs med motorvejene, og berørte boliger i en afstand af 1.000 m er undersøgt i 2009 og 2020, og sammenlignet med grænseværdier for luftkvalitet. Endvidere er luftkvaliteten ved tunneludmundinger belyst, hvor der optræder forhøjede koncentrationer. Konsekvenserne for luftkvaliteten for 32 udvalgte bygader i Aalborg og Nørresundby er vurderet med gadeluftkvalitetsmodellen OSPM. Fokus er på partikler og kvælstofoxider, som er sundhedsskadelige stoffer, hvor der er defineret en grænseværdi for luftkvaliteten. Endvidere er trafikdens kvælstofbelastning af naturfølsomme områder langs motorvejsnettet vurderet.

1. Baggrund

I forbindelse med anlæggelse af nye motorveje skal der gennemføres en VVM-redegørelse. For øvrige nye større veje eller udbygning af eksisterende større veje kan en VVM-screening også føre til at anlægget skal gennemgå en VVM-redegørelse, hvis stat eller kommune vurderer at anlægget kan få væsentlig indflydelse på miljøet. VVM står for vurdering af virkningen for miljøet. I VVM-processen indgår også en høringsproces, hvor borgere og andre interessenter har mulighed for at påvirke den endelige udformning af anlægget.

Formålet med VVM-processen er, at beskrive forskellige alternativers påvirkning på miljøet, og hvordan afværgeforanstaltninger kan reducere miljøpåvirkningen (www.vvm.dk).

I de hidtidige VVM-redegørelser er vejes påvirkning af luften helt overvejende vurderet ud fra ændring i emissioner fra trafikken. Hvor sundhedsrelaterede stoffer har omfattet (CO, NO_x, PM₁₀, VOC og SO₂) og klimarelaterede stoffer (CO₂). I enkelte tilfælde er der foretaget luftkvalitetsvurdering af udvalgte veje i byområder, hvis vejudbygningen væsentligt har påvirket trafikken i byområdet, se fx Vejdirektoratet (2010).

Til sammenligning gennemføres der detaljeret vurdering af trafikstøj i VVM-redegørelser, hvor støjniveauet og støjens udbredelse beregnes, antal støjbelastede boliger opgøres og sammenlignes med vejledende støjgrænser, og der gennemføres og vurderes afværgeforanstaltninger i form af støjdæmpende vejbelægning, støjskærme og –volde, samt evt. vindues- og facadestøjisolering.

For at forbedre informationsgrundlaget i luftvurderinger i VVM-redegørelser har Vejdirektoratet støttet udvikling af OML-Highway modellen, som er en brugervenlig GIS-baseret model til vurdering af luftkvalitet langs motorveje og andre veje i åbent terræn (Jensen et al. 2010b). Institut for Miljøvidenskab under Aarhus Universitet (tidligere DMU) har stået for udvikling af OML-Highway modellen. Ud over at beskrive emissionsforhold forbedrer OML-Highway modellen informationsgrundlaget om luftkvalitet i forbindelse med VVM-vurderinger, hvor luftkvaliteten i forskellige afstande af vejen kan beregnes. OML-Highway modellen kan bruges til at vurdere nuværende og fremtidige luftkvalitetsniveauer langs med motorveje og hovedlandeveje i forhold til grænseværdier for luftkvalitet, hvor særligt NO₂ og PM₁₀ har relevans. Herved opnås information, som i langt højere grad er relateret til sundhedsrisikoen, hvilket har berørte borgeres interesse.

I denne artikel beskrives en luftkvalitetsvurdering udført med OML-Highway modellen i forbindelse med Vejdirektoratets VVM-redegørelse for de tre alternativer for en ny 3. Limfjordsforbindelse ved Aalborg. De tre alternativer er: Parallelforbindingen langs med den eksisterende tunnel, samt en Egholm- og en Lindholmforbindelse. Luftkvaliteten langs med motorvejene, og berørte boliger i en afstand af 1.000 m er undersøgt i 2009 og 2020, og sammenlignet med grænseværdier for luftkvalitet. Endvidere er luftkvaliteten ved tunneludmundinger belyst, hvor der optræder forhøjede koncentrationer. Konsekvenserne for luftkvaliteten for 32 udvalgte bygader i Aalborg og Nørresundby er vurderet med gadeluftkvalitetsmodellen OSPM. Fokus er på partikler og kvælstofoxider, som er sundhedsskadelige stoffer, hvor der er defineret en grænseværdi for luftkvaliteten. Endvidere er trafikens kvælstofbelastning af naturfølsomme områder langs motorvejsnettet vurderet. Artiklen er baseret på en detaljeret teknisk rapport, som er en del af VVM-redegørelse for 3. Limfjordsforbindelse (Jensen et al. 2011a).

2. Luftforurening langs motorveje og sundhedseffekter heraf

Luftforureningen på og langs med en motorvej er bestemt af tre bidrag: regionalt bidrag, bybaggrundsbidrag og vejbidrag. Det regionale bidrag skyldes europæiske og danske forureningskilder og bidrager til koncentrationsniveauet i den regionale baggrund. Bybaggrundsbidraget er bestemt af forureningskilder i byen. I større byer er kilderne næsten udelukkende vejtrafik, og bidraget herfra er bestemt af byens udstrækning og trafiktætheden. Trafikken i Aalborg by bidrager således til koncentrationen på og langs motorvejen. Endelig er der selve vejbidraget som kommer fra trafikken på motorvejen. Vejbidraget afhænger af udviklingen i emissionsforhold, trafikmængde, køretøjssammensætning og hastighed.

PM_{2.5} er massen af partikler under 2,5 mikrometer. Fra trafikken bidrager især sodpartikler, men også bremsestøv til PM_{2.5}. En væsentlig del af PM_{2.5} er langtransporterede, såkaldte sekundære partikler. Sekundære partikler er dannet i atmosfæren ved omdannelse af gasarter (bl.a. NO_x, SO₂ og ammoniak), og består bl.a. af ammoniumsulfat og ammoniumnitrat.

PM₁₀ er massen af partikler under 10 mikrometer, og bidraget til PM₁₀ er domineret af de sekundære partikler og de grove partikler. De grove partikler er mekanisk dannede fra fx dæk-, bremse- og vejslid samt fra naturlige kilder som fx jordstøv, havsalt og pollen.

Fra trafikken er der således et bidrag fra udstødningen, og et "ikke-udstødning" bidrag som består af dæk-, bremse- og vejslid samt ophvirvling heraf. Vejbidraget afhænger af udviklingen i emissionsforhold, trafikmængde, køretøjs sammensætning og hastighed.

Det regionale bidrag for partikler (PM_{2,5}, PM₁₀) er det største bidrag i koncentrationen tæt på motorvejen, efterfulgt af vejbidraget, mens bybaggrundsbidraget er beskedent.

NO_x (NO+NO₂) dannes i forbindelse med forbrændingsprocesser, hvor høj temperatur sammen med ilt oxiderer luftens frie kvælstof (N₂) til NO og NO₂. Den del som emitteres som NO₂ betegnes direkte emitteret NO₂. NO kan i atmosfæren hurtigt omdannes til NO₂ i reaktioner med ozon. NO₂ er således både en direkte emitteret og en sekundær dannet luftforurening.

Bidragene til den regionale NO₂ koncentration er bestemt af nationale og internationale emissioner af NO_x. Danske og udenlandske NO_x kilder bidrager hver med omkring halvdelen til den regionale baggrundskoncentration af NO₂.

Bybaggrundsbidraget er bestemt af NO_x kilder i byen. I større byer som Aalborg er vejtrafik en væsentlig kilde, og bidraget herfra er bestemt af byens udstrækning og trafiktætheden.

Vejbidraget afhænger af udviklingen i emissionsforhold, trafikmængde, køretøjs sammensætning og hastighed.

For NO₂ er det regionale bidrag relativt lavt, bybaggrundsbidraget betydeligt, og vejbidraget typisk størst.

2.1 Spredning og kemisk omdannelse

Trafikken på motorveje og øvrige veje i det åbne land kan være betydelig, men luftforureningsniveauerne er forholdsvis lave, fordi der typisk er gode spredningsforhold. Ved vejstrækninger i det åbne land er forureningen lavere ved samme trafikmængder end i lukkede gaderum i byerne. Dels er der mere blæst, da der ikke er læ fra bygninger mv., og dels bliver den forurenede luft hurtigt transporteret væk fra vejen og ikke recirkuleret som i lukkede gaderum i byerne. Luftforureningen aftager derfor hurtigt med afstanden fra vejen.

Hvis man betragter et konsekvensområde på nogle få hundrede meter langs en motorvej vil det kun være kemiske reaktioner mellem NO, ozon og NO₂, som kan foregå inden for den tid, det tager en luftpakke at blive transporteret over disse afstande. Denne simple fotokemi indgår i beregningerne af koncentrationen af NO₂.

2.2 Grænseværdier og sundhedseffekter

Luftforurening kan udgøre en sundhedsbelastning og påvirke naturen negativt. Derfor er der opstillet en række grænseværdier for beskyttelse af mennesker og natur.

Da kvælstofdioxid (NO₂) ligger over grænseværdien i trafikerede gader i de største byer, og partikler (PM₁₀ og PM_{2,5}) anses for at udgøre den største sundhedsbelastning, er det disse stoffer som luftkvalitetsvurderingen af 3. Limfjordsforbindelse fokuserer på. For både NO₂ og partikler fokuserer luftkvalitetsvurdering på de grænseværdier som vedrører gennemsnitsværdier, da disse kommer tættest på overskridelse (se Tabel 1).

Tabel 1. Oversigt over grænseværdier, målværdier og tærskelværdier

Stof	Grænseværdi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Midlingstid	Statistik	Beskyttelse af	Skæringsdato
Kvælstofdioxid (NO_2)	200	1 time	18 gange pr. år	Mennesker	2010
	40	-	Gennemsnit, år	Mennesker	2010
Partikler under 2,5 mikrometer ($\text{PM}_{2,5}$)	25 ¹	-	Gennemsnit, år	Mennesker	2010
	25	-	Gennemsnit, år	Mennesker	2015
	20 ^a	-	Gennemsnit, år	Mennesker	(2020)
Partikler under 10 mikrometer (PM_{10})	50	24 timer	35 gange pr. år	Mennesker	2005
	40	-	Gennemsnit, år	Mennesker	2005

Fodnoter: 1) Målværdi a) Revideres 2013 på basis ny viden vedrørende sundhedsvirkning og teknisk gennemførlighed.

Overholdelse af grænseværdierne sikrer ikke, at der ikke kan forekomme sundhedseffekter ved koncentrationer under grænseværdien. For partikler er der således tale om en risikovurdering, da der ikke formodes at være en nedre grænse for, hvornår udsættelse for partikler ikke fører til sundhedskonsekvenser.

Trafikkens udslip af CO_2 (kuldioxid) er ikke direkte sundhedsskadeligt at indånde, men bidrager til drivhuseffekten og dermed til klimaforandringer, som har en lang række negative konsekvenser for samfundet. CO_2 emissionen er derfor også vurderet for 3. Limfjordsforbindelse.

3. Eksisterende forhold og forslag til 3. Limfjordsforbindelse

Den eksisterende tunnelforbindelse er beskrevet i 2009 og trafikken er fremskrevet til 2020 ud fra en trafikmodel.

Der er 3 forskellige linjeføringer for den nye forbindelse: Paralleltunnel i 2020, Lindholmmlinjen i 2020 og Egholmlinjen i 2020, se Figur 1.

Paralleltunnel i 2020 er en østforbindelse omfattende en udbygning af E45 til 6 kørespor fra Mariendals Mølle Indføringen i syd til Bouet i nord samt en ny tunnelforbindelse parallelt med og øst for den eksisterende Limfjordstunnel.

Lindholmmlinjen i 2020 er en vestforbindelse omfattende en ny motorvej vest om Aalborg tilsluttet E45 ved Dall Kirke i syd og E39 ved Vestbjerg i nord. Fjordkrydsningen sker via en tunnel under Limfjorden mellem Vestbyen syd for fjorden og Lindholm nord for fjorden. Geometrisk er Lindholmmlinjen tilpasset efter det eksisterende byområde, som vejen er ledt gennem. I dette alternativ indgår den eksisterende motorvej også, da det kun er en del af trafikken, som vil vælge Lindholmmlinjen.

Egholmlinjen i 2020 er en vestforbindelse omfattende en ny motorvej vest om Aalborg tilsluttet E45 ved Dall Kirke i syd og E39 ved Vestbjerg i nord. Fjordkrydsningen sker via en tunnel fra Nørholm under Limfjordens sydlige løb til Egholm og via en broforbindelse fra Egholm til Nørresundby. I dette alternativ indgår den eksisterende motorvej også, da det kun er en del af trafikken, som vil vælge Egholmlinjen.

Motorvejstrækningerne og det øvrige trafikmodelvejnet i Aalborg og Nørresundby er leveret af COWI som digitale vejnet med strækkningsnøgler, som gør det muligt at koble vejnettet til trafikdata for eksisterende forhold i 2009 og til trafikmodel data for 2020 for hhv. basis og alternativerne. Trafikmodelvejnettet består af de større veje i Aalborg og Nørresundby. Motorvejstrækningerne og trafikmodelvejnettet danner til sammen influensvejnettet.

Det resterende vejnet og trafikken herpå stammer fra DMU's vej- og trafikdatabase (Jensen et al. 2009). Trafikken på dette vejnet er fra 2005 og forudsat ens i alle scenarierne.

Beregningsveje er i OML-Highway terminologi de vejstrækninger, som man ønsker at beregne luftkvaliteten langs med i forskellige afstande. Øvrige veje bidrager også til luftforureningen langs motorvejen, og disse veje kaldes baggrundsvejnettet.



Figur 1. Beregningsveje (sorte) og baggrundsveje (grå). Venstre: Basis 2009 og 2020 samt parallellinjen. Midtfor: Egholmlinjen. Højre: Lindholmlinjen.

4. Metode og forudsætninger

Nedenfor gives en kort beskrivelse af OML-Highway modellen, som anvendes til beregning af luftkvaliteten langs med motorvejen samt de forudsætninger omkring input data, som er langt til grund for beregningerne af luftkvaliteten langs motorvejene ved Aalborg.

4.1 OML-Highway modellen

OML-Highway er en ny GIS-baseret brugervenlig luftkvalitetsmodel for motorveje og andre veje i åbent terræn (Jensen et al., 2010a, b). Modellen er udviklet for Vejdirektoratet af DMU (nu Institut for Miljøvidenskab under Aarhus Universitet) i samarbejde med det tyske firma Lohmeyer. Modellen er i stand til at beregne luftkvaliteten langs motorveje, landeveje og øvrige veje i åbent terræn. Modellen kan bl.a. bruges til at give et bedre informationsgrundlag om emissionsforhold og luftkvalitet i forbindelse med VVM-vurderinger. OML-Highway modellen kan endvidere modellere effekten for luftkvaliteten af støjskærme/volde.

OML-Highway modellen er blevet valideret med god overensstemmelse mellem målinger og beregningsresultater langs Køge Bugt Motorvejen i Danmark (Jensen et al. 2004) og data fra en norsk motorvej (Berger et al., 2010), og er anvendt til at bestemme emissionsfaktorer fra trafikken for partikler på Holbækmotorvejen (Ellermann et al., 2009; Wang et al. 2010).

OML-Highway er en spredningsmodel specielt udviklet til at beskrive spredning af luftforurening langs med veje i det åbne terræn. OML-Highway er baseret på OML modellen, som bl.a. benyttes til vurdering af luftkvalitet fra punktkilder i forbindelse med miljøgodkendelser (Olesen et al. 2007). OML-Highway er en modificeret version af OML modellen, hvor den tager hensyn til forholdene for veje i åbent terræn ved at integrere og videreudvikle en beskrivelse af trafikskabt turbulens, som stammer fra

gadeluftkvalitetsmodellen, Operational Street Pollution Model (OSPM) (Berkowicz, 2000). OML og OSPM modellerne er ligeledes udviklet af DMU (nu Institut for Miljøvidenskab under Aarhus Universitet).

Brugergrænsefladen i GIS er opbygget således, at der kun behøves få input data for at kunne køre en kompleks model som OML-Highway. Modellen tager sig af mange mellemliggende beregninger og omformateringer af data input.

Koblingen af OML-Highway med GIS er en kombination, der gør det muligt at bruge GIS til at udvælge, visualisere og analysere input og output data. Med brug af GIS er det også nemt at oprette beregningspunkter langs veje, og koble input og output data med øvrige data som fx luftfotos, bygningsomrids, befolkningsdata mv. GIS giver også en stor 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 gør det nemt at generere emissionsdata fra trafikken.

Modellen kan beregne koncentrationer af følgende stoffer: NO_x, NO₂, O₃, antal partikler, PM_{2.5} og PM₁₀ samt CO. Ud over de sundhedsrelaterede luftforureninger beregnes CO₂ emission ud fra brændstofsforbrug. OML-Highway inkluderer simpel fotokemi, og kan beregne koncentrationen af kvælstofdioxid (NO₂), hvor der indgår kemisk omdannelse mellem NO, NO₂ og O₃.

4.2 Input

Modellen kræver et digitalt vejnet med trafikdata, hvorefter modellen kan generere emissionsdata ud fra det indbyggede emissionsmodul (COPERT IV), som er det samme som i OSPM.

Det digitale vejnet skal opdeles i beregningsveje og baggrundsveje. Beregningsveje er veje, som i modellen underopdeles i små arealkilder, som repræsenterer emissionen på vejen. Beregningsvejene er typisk de veje, hvor man ønsker at beregne koncentrationer i forskellige afstande fra vejen. Baggrundsveje er alle øvrige veje. Baggrundsvejene bidrager til bybaggrundsbidraget. For at estimere emissionen på baggrundsvejene dannes et gitternet (fx 1km x 1km) over et så stort område at det væsentligste emissionsbidrag fra baggrundsvejene kommer med. I beregningen af koncentrationen på et givent sted indgår såvel beregnings- som baggrundsveje.

OML-Highway forudsætter input af meteorologiske data i et bestemt format og input af regionale baggrunds-koncentrationer. De regionale koncentrationer er baseret på måledata fra Keldsnor i 2008 på Langeland og meteorologisk data er modelleret med den meteorologiske model MM5 med et punkt repræsentativt for Aalborg. De regionale baggrunds-koncentrationer er forudsat uændret fra 2008 til 2020, selvom der kan forventes en lille reduktion i de regionale niveauer pga. emissionsreduktion i Danmark og Europa.

Modellen indeholder beregningsformler, der gør det muligt at modellere effekten af støjskærme/volde på spredningen af luftforureningen. Højden og placering af støjskærme/volde skal kendes.

Man skal specificere beregningspunkter dvs. de punkter, hvor man ønsker at foretage luftkvalitetsberegninger. Der er en række værktøjer implementeret i brugerfladen, som gør det let at generere disse fx langs beregningsvejen i forskellige afstande.

Emissioner af følgende stoffer kan beregnes med OML-Highway: NO_x, NO₂, PM udstødning, PM_{2.5}, PM₁₀, CO og benzen. Emissionerne for SO₂ (svovldioxid) og VOC (kulbrinter) indgår ikke i emissionsmodulet til OML-Highway, og er derfor beregnet på følgende forenklet måde. Ud fra emissionsfaktorer fra den nationale emissionsopgørelse for køretøjskategorierne og køretøjssammensætning på den eksisterende motorvejsstrækning over Limfjorden er den gennemsnitlige emissionsfaktor beregnet for NO_x, SO₂ og VOC i 2010 (anvendt for 2009) og 2020. I 2010 udgør SO₂ 0,12 % af NO_x og VOC 6,5 % af NO_x. I 2020 udgør SO₂ 0,31 % af NO_x og VOC 4,7 % af NO_x. Disse forholdstal er anvendt til at beregne total emission af SO₂ og VOC ud fra den beregnede NO_x emission.

4.3 Beregning af CO₂ emission

OML-Highway beregner CO₂ emissionen ud fra brændstofsforbruget. Brændstofsforbruget er en del af emissionsmodellen COPERT IV, som er integreret i OML-Highway. COPERT IV har brændstofsforbruget

knyttet til de forskellige emissionsklasser (Euro-normer), men problemet er at de nyere emissionsklasser stort set ikke har lavere brændstofsforbrug end ældre emissionsnormer. Det betyder, at der er meget lidt udvikling i energieffektivitet i COPERT frem mod 2020, hvilket ikke er sandsynligt.

Beregning af udviklingen i CO₂ emissionen er derfor baseret på Energistyrelsens fremskrivning af energiforbruget for vejtransport (Energistyrelsen 2010). I Energistyrelsens forudsigelse af udviklingen i køretøjernes energieffektivitet er det antaget, at den vedtagne EU-forordning om personbilers CO₂-udledninger slår fuldt igennem på det danske nybilsalg, således at de nyregistrerede personbiler i Danmark i gennemsnit vil leve op til målsætningen om max. 130 gram CO₂ udledt pr. kørt km i 2015 (EU 2009). Efter 2015 antages udviklingen i den gennemsnitlige energieffektivitet i nybilsalget at være mere afdæmpet med gennemsnitlig 0,4 pct. årligt. For varebiler antages forbedring af energieffektiviteten at ske med den halve takt i forhold til personbiler. Det skyldes, at der endnu ikke er vedtaget en forordning for energieffektiviteten i varebiler.

Betydningen af implementering af forordningens målsætning på det danske nybilsalg har Energistyrelsen estimeret i en simpel model for udviklingen i den danske bilpark. Dette fører til årlige effektivitetsforbedringer på gennemsnitlig 1,55 pct. i perioden 2009-2020, som topper i 2015, hvor den gennemsnitlige effektivitet forøges med 1,78 pct. Til sammenligning har personbilers energieffektivitet været nogenlunde uændret historisk set over en længere årrække, blandt andet fordi den teknologiske udvikling er blevet modsvaret af en tendens til køb af større biler. Siden 2000 er energieffektiviteten imidlertid forbedret med ca. 1 pct. årligt.

I Energistyrelsens vurdering af energieffektiviteten antages ikke en nævneværdig indfasning af elbiler i basisscenariet, og andelen af biobrændstoffer forudsættes at stige gradvist til 5,75 pct. i 2012 i overensstemmelse med den politiske aftale på området.

I beregningerne for CO₂ emission antages derfor en årlig gns. forbedring af energieffektiviteten på 1,55 % for perioden 2009-2020. Med disse forudsætninger reduceres energiforbruget og dermed CO₂ emissionen pr. gns. køretøj med 16 % fra 2009 til 2020. I de forskellige scenarier beregnes CO₂ emissionen ud fra trafikarbejdet og energieffektiviteten.

4.4 Luftkvalitetsvurdering i bygader

Luftkvalitetsberegninger for 32 bygader i Aalborg og Nørresundby er gennemført med Operational Street Pollution Model (OSPM), som er en gadeluftkvalitetsmodel, som er særligt udviklet til at beskrive forholdene i lukkede gaderum (Berkowicz, 2000). AirGIS systemet er anvendt til automatisk at generere input data til OSPM modellen vedr. trafikdata og gadegeometri ud fra et digitalt vejnet med trafikdata og et bygningstema med bygningshøjder (<http://airgis.dmu.dk>). De 32 gader er de samme gader, der hvert år gennemføres luftkvalitetsberegninger for under overvågningsprogrammet for luftforurening i Danmark under Det nationale overvågningsprogram for natur og vandmiljø (NOVANA) (Ellermann et al. 2011).

I beregningerne er det antaget at det regionale koncentrationsniveau er som for 2008 i alle årene. Bybaggrunds niveauet er i de forskellige scenarier antaget at være ens for alle veje, idet der er taget udgangspunkt i modellerede koncentrationer ved bybaggrundsstationen i Aalborg. Effekten af den indførte miljøzone for Aalborg er ikke inkluderet i beregningerne i 2020, da forudsætninger herfor ikke forelå på tidspunktet for gennemførelse af luftkvalitetsvurdering for 3. Limfjordsforbindelse. Effekten af miljøzonen i Aalborg er beskrevet i Jensen et al. (2011b).

4.4 Kvælstofafsætning til natur

Der er foretaget en worst case vurdering af det bidrag til kvælstoftilførsel til følsom natur i nærområdet, som en 3. Limfjordsforbindelse kan give anledning til. En del af NO_x forureningen fra trafikken afsættes (deponeres) til land- og vådområder, hvor det kan påvirke biodiversiteten negativt. Baggrundsbelastningen med kvælstofafsætning er baseret på DAMOS (Danish Ammonia Modelling System) systemet (Hertel et al. 2006) inden for NOVANA overvågningsprogrammet. DAMOS er udviklet af DMU (nu Institut for Miljøvidenskab under Aarhus Universitet).

Generelt er den mest værdifulde og artrige natur samtidig den mest følsomme i forhold til blandt andet store næringsstoftilførsler. Man taler om, at disse natursystemer har en såkaldt tålegrænse. Overstiger næringsstoftilførslen tålegrænsen, så ændres natursystemet og biodiversiteten falder – man går imod mindre artsrig natur.

Natura2000 områder i Nordjylland er følsomme naturområder, som potentielt kan påvirkes af en kommende 3. Limfjordsforbindelse.

Det terrestriske naturområde, som ligger tættest på de foreslåede linjeføringer for en 3.

Limfjordsforbindelse, er et primært akvatiske naturområde i Limfjorden. Området omfatter Nibe Bredning, Halkær Ådal og Sønderup Ådal og går ind over Egholm i Limfjorden. Vi har derfor gennemført en vurdering af kvælstofafsætningen til dette område med udgangspunkt i strandengene på Egholm.

5. Resultater

5.1 Emission i basis 2009, basis 2020 og forslagene i 2020

Emissionsforhold i basis 2009, basis 2020 samt for Parallel-, Egholm og Lindholmforbindelserne i 2020 er opsummeret i Tabel 2. Emissionsforholdene er både givet for beregnings- og baggrundsvejene samlet og hver for sig.

Emissionen af NO_x, NO₂ og PM udstødning falder kraftig fra basis 2009 til basis 2020 grundet skærpede emissionsnormer og på trods af stigende trafik fra 2009 til 2020. NO₂ emissionen falder mindre end NO_x emissionen, da den direkte emitterede NO₂ andel er større i 2020 end i 2009 pga. flere dieselmotorer og flere partikelfiltre. Emissionen af PM_{2,5}, som indeholder både udstødning og ikke-udstødning reduceres ikke så meget som fx NO_x, da ikke-udstødningsdelen stiger fra 2009 til 2020 grundet mere trafik. PM₁₀ emissionen reduceres mindre end PM_{2,5}, da ikke-udstødningsdelen her udgør en større andel end for PM_{2,5}. CO og VOC reduceres også kraftigt, mens SO₂ kun reduceres i mindre grad.

CO₂ emissionen er den samme i basis 2009 og basis 2020 for beregningsvejene, idet stigningen i trafikarbejdet på 16% netop modsvarer af reduktionen i CO₂ effektiviteten på 16%.

Parallelforbindingen er den eksisterende motorvej, som er udvidet med et ekstra spor i hver retning.

Trafikarbejdet er kun omkring 1% større end i basis 2020 og alle emissionerne er derfor også kun op til 1% større end i basis 2020. Baggrundsvejene i dette alternativ er ens med basis 2020. I forhold til basis 2020 er det samlede trafikarbejde ved Parallelforbindingen og baggrundsvejene stort set ens med basis 2020 og dermed med trafikarbejde og emissioner, som kun er 0-1% større end basis 2020.

Egholm- og Lindholmforbindelserne introducerer nye krydsninger af Limfjorden og øger dermed motorvejsnettet. Egholmforbindelsen inkl. den eksisterende motorvej er samlet 78 km, mens Lindholmforbindelsen inkl. den eksisterende motorvej er 87 km. Dette er omtrentlige vejlængder inkl. tilslutningsramper mv., og der er ikke taget hensyn til om ramper mv. er taget med i samme omfang i de to alternativer. Den eksisterende motorvej er 48 km inden for det som er defineret som beregningsvejen. I alle alternativerne gælder det at noget af motorvejen er digitaliseret som en enkelt strækning mens øvrige dele af motorvejen er digitaliseret som to separate strækninger (nord- og sydgående retning). Vejlængderne vil derfor ikke helt svare til det som opfattes som længden af disse strækninger. I tilfælde af dobbelt digitalisering er trafikken underopdelt på de to separate strækninger, og trafikarbejdet (trafik gange vejlængde) beregnes derfor korrekt.

Det samlede trafikarbejde på beregningsvejene stiger med hhv. 24% og 23% for Egholm- og Lindholmforbindelserne, og emissionerne stiger tilsvarende i forhold til basis 2020. Til gengæld falder trafikarbejdet for baggrundsvejene med hhv. 3% og 2% for Egholm- og Lindholmforbindelserne, hvilket er begrundet i at noget af trafikken i Aalborg og Nørresundby flyttes over på disse nye forbindelse. Det er kun trafikmodelvejnettet, hvor trafikændringer modelleres, så det er alene trafikændringer i dette lille vejnet ud af et stort baggrundsvejnet, som giver anledning til disse ændringer i trafikarbejdet. Betragtes beregningsvejnettet og baggrundsvejnettet under ét stiger trafikarbejdet for Egholm- og Lindholmforbindelserne med hhv. 4% og 2%, og emissionerne stiger stort set tilsvarende.

Table 2. Emissionsforhold i basis 2009, basis 2020 og for alternative 3. Limfjordsforbindelser i 2020 (Basis 2020=100 som indeks)

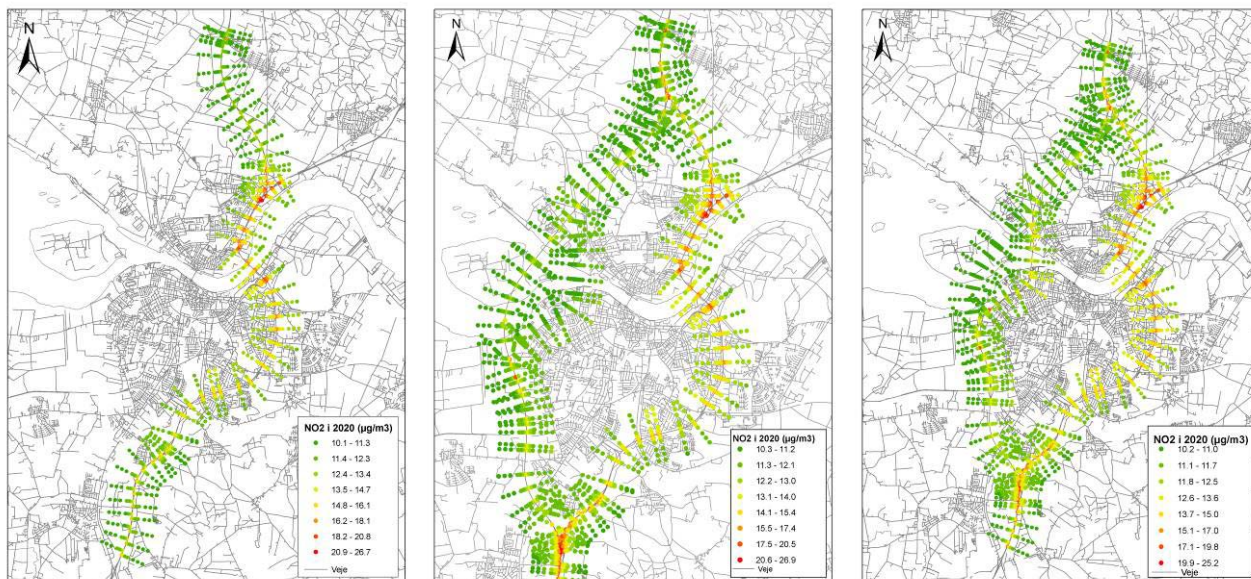
Beregningsveje:											
	NO _x (kg/år)	NO ₂ (kg/år)	PM udstødning (kg/år)	PM _{2,5} (kg/år)	PM ₁₀ (kg/år)	CO (kg/år)	VOC (kg/år)	SO ₂ (kg/år)	CO ₂ (indeks)	Trafikarbejde (mio. vognkm/år)	Vejlængde (km)
Basis 2009	548731	95533	16594	22588	40484	1029340	35815	689	100	429	48
Basis 2020	201726	41916	4842	12190	33774	386656	9490	623	100	513	48
Parallel 2020	203669	42418	4904	12204	33876	389882	9582	629	101	518	48
Egholm 2020	248569	51565	5981	14970	41654	466158	11694	768	124	638	78
Lindholm 2020	245142	50824	5895	14775	41096	459154	11533	757	123	629	87
	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)
Basis 2009	272	228	343	185	120	266	377	111	100	84	100
Basis 2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Parallel 2020	101	101	101	100	100	101	101	101	101	101	100
Egholm 2020	123	123	124	123	123	121	123	123	124	124	161
Lindholm 2020	122	121	122	121	122	119	122	122	123	123	180

Baggrundsveje:											
	NO _x (kg/år)	NO ₂ (kg/år)	PM udstødning (kg/år)	PM _{2,5} (kg/år)	PM ₁₀ (kg/år)	CO (kg/år)	VOC (kg/år)	SO ₂ (kg/år)	CO ₂ (indeks)	Trafikarbejde (mio. vognkm/år)	Vejlængde (km)
Basis 2009	1524586	255479	43015	70103	140667	2761310	99508	1915	113	1672	4113
Basis 2020	557222	130996	13731	42583	117558	809263	26215	1722	100	1768	4113
Parallel 2020	556597	130851	13717	42535	117428	808527	26185	1720	100	1766	4113
Egholm 2020	543675	127888	13419	41500	114602	793220	25577	1680	98	1728	4113
Lindholm 2020	536453	126227	13252	40933	113046	784507	25238	1658	97	1707	4113
	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)
Basis 2009	274	195	313	165	120	341	380	111	113	95	100
Basis 2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Parallel 2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Egholm 2020	98	98	98	97	97	98	98	98	98	98	100
Lindholm 2020	96	96	97	96	96	97	96	96	97	97	100

Beregnings- og baggrundsveje:											
	NO _x (kg/år)	NO ₂ (kg/år)	PM udstødning (kg/år)	PM _{2,5} (kg/år)	PM ₁₀ (kg/år)	CO (kg/år)	VOC (kg/år)	SO ₂ (kg/år)	CO ₂ (indeks)	Trafikarbejde (mio. vognkm/år)	Vejlængde (km)
Basis 2009	2073318	351012	59608	92692	181151	3790649	135323	2604	110	2102	4162
Basis 2020	758948	172912	18574	54774	151333	1195919	35705	2345	100	2280	4162
Parallel 2020	760266	173269	18621	54739	151304	1198408	35767	2349	100	2285	4162
Egholm 2020	792244	179452	19401	56470	156256	1259378	37271	2448	104	2366	4191
Lindholm 2020	781595	177051	19147	55708	154142	1243660	36770	2415	102	2336	4200
	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)	(indeks)
Basis 2009	273	203	321	169	120	317	379	111	110	92	100
Basis 2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Parallel 2020	100	101	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Egholm 2020	104	104	104	103	103	105	104	104	104	104	101
Lindholm 2020	103	102	103	102	102	104	103	103	102	102	101

5.2 Sammenligning af koncentration

Koncentrationsberegninger er gennemført for beregningspunkter langs med beregningsvejnettet, og en given bolig har fået knyttet koncentrationsniveauet fra det beregningspunkt, som ligger tættest på. Beregningspunkterne er illustreret i Figur 2.



Figur 2. Beregningspunkter dannet langs med beregningsvejnettet. NO₂ koncentrationsniveauet er illustreret. Venstre: Basis 2020 (samme beregningsnet for basis 2009 og Parallelforbindelsen). Midtfor: Egholm 2020. Højre: Lindholm 2020. (Samme beregningsnet er anvendt for Egholm og Lindholm).

I Tabel 3 er opsummeret minimum, maksimum og gennemsnitlige koncentrationer for basis 2009, basis 2020 og de alternative forbindelser over Limfjorden i 2020 for alle boliger inden for 1.000 m af beregningsvejnettet.

Koncentrationerne falder fra 2009 til 2020, mens de er stort ens i basis 2020 og i de forskellige alternativer i 2020.

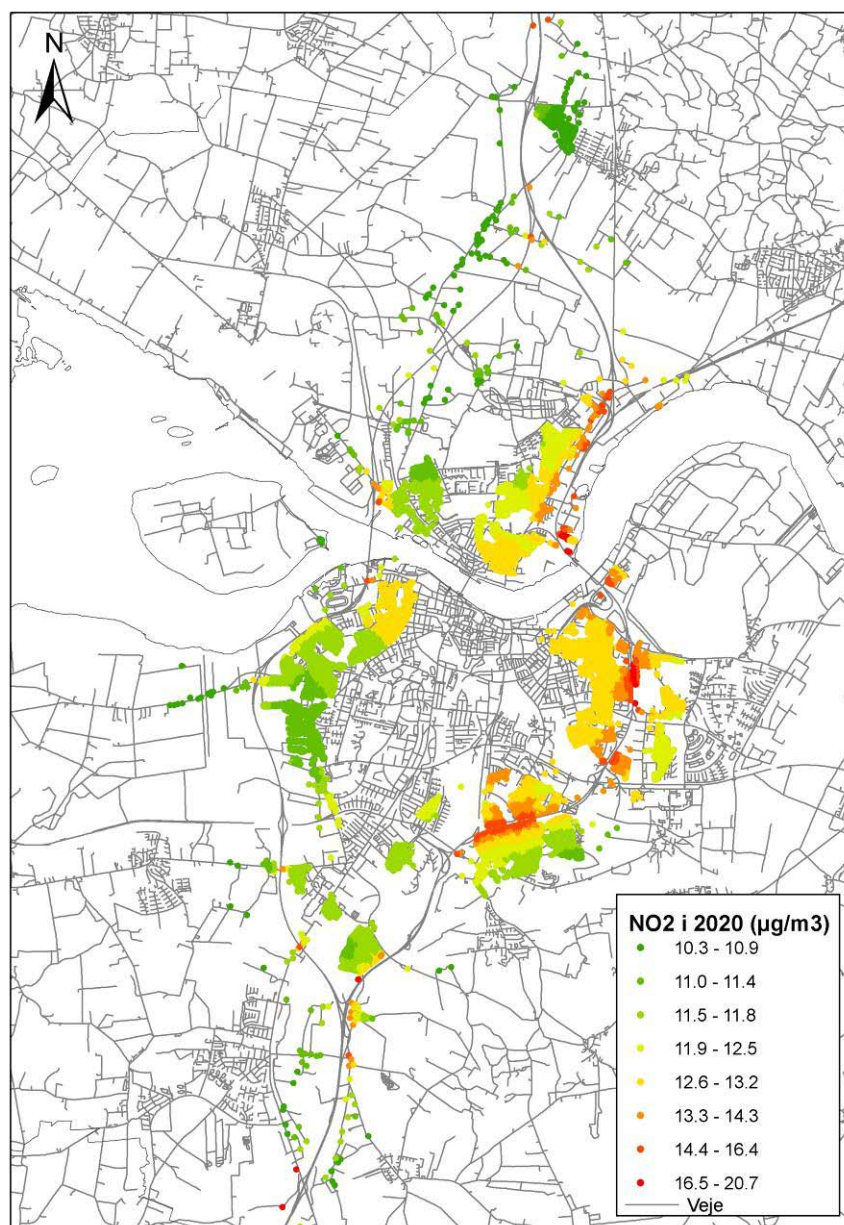
Tabel 3. Sammenligning af koncentrationer for basis 2009, basis 2020 og alternativer for 3. Limfjordsforbindelse i 2020

	NO ₂ (µg/m ₃)	PM _{2.5} (µg/m ₃)	PM ₁₀ (µg/m ₃)	PM udstødningsbidrag (µg/m ₃)
Basis 2009				
Min	12.6	11.2	19.4	0.12
Maks	35.8	13.1	22.9	1.49
Gns	18.5	11.5	20.1	0.34
Basis 2020				
Min	10.3	11.1	19.3	0.04
Maks	22.1	12.3	22.5	0.48
Gns	12.9	11.3	19.9	0.11
Parallel 2020				
Min	10.3	11.1	19.3	0.04
Maks	24.0	12.5	23.1	0.57
Gns	12.9	11.3	20.0	0.11
Egholm 2020				
Min	10.4	11.1	19.3	0.04
Maks	20.0	12.0	21.8	0.38
Gns	12.5	11.3	19.8	0.10
Lindholm 2020				
Min	10.3	11.1	19.3	0.04
Maks	20.7	12.1	22.0	0.41
Gns	12.4	11.3	19.8	0.09
Grænseværdi (gns.)	40	25	40	n.a.

5.3 Sammenligning af antal boliger berørt af luftforurening

Koncentrationsniveauet for NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀ er beregnet for alle boliger inden for 1.000 m af beregningsvejnettet i de forskellige alternativer.

Den geografiske fordeling er stort set ens for de tre stoffer inden for hvert alternativ, men niveauerne er forskellige afhængig af hvilket årstal der betragtes. Den geografiske fordeling mellem alternativer er stort set ens for basis 2009, basis 2020 og Parallel 2020, da beregningsvejnettet er ens, mens det er anderledes for Egholm- og Lindholmforbindelserne. Som et eksempel er i Figur 3 vist den geografiske fordeling af NO₂ for Lindholmforbindelsen i 2020.



Figur 3. Årsmiddelkoncentrationen af NO₂ i 2020 med Lindholmforbindelsen på alle boligadresser i en afstand af 1.000 m fra motorvejen.

I Tabel 4 er opsummeret det samlede antal af helårsboliger for basis 2009, basis 2020 og alternativerne i 2020.

Koncentrationerne falder fra 2009 til 2020 i basis, og antallet af boliger berørt af luftforurening forskydes mod lavere forureningsklasser.

Egholm- og Lindholmforbindelserne har flere berørte boliger end parallelforbindelsen, idet beregningsvejnettet udvides i disse alternativer.

Egholmforbindelsen har færre berørte boliger end Lindholmforbindelsen.

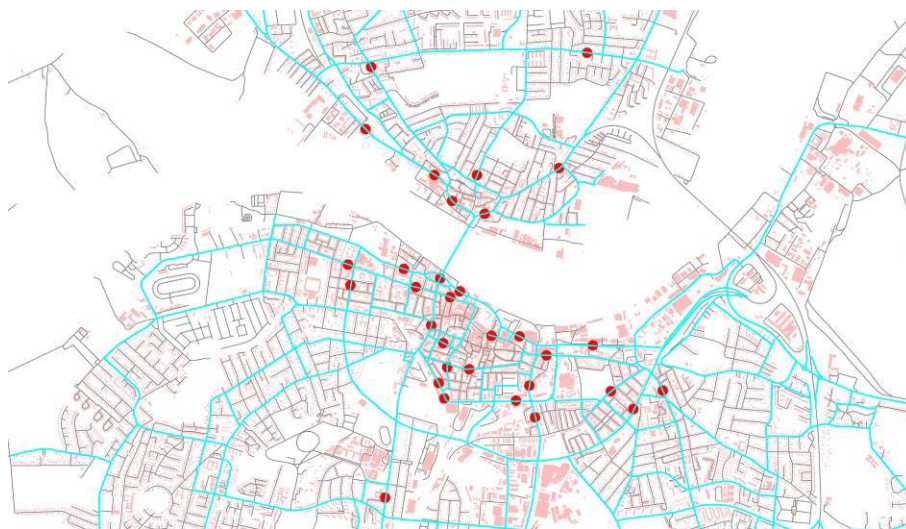
Antallet af ferieboliger er også beregnet i forskellige forureningsklasser. Der er kun meget få berørte ferieboliger. 12 ferieboliger i alle alternativer undtagen Lindholm, hvor der er 30.

Tabel 4. Antal helårsboliger udsæt for luftforurening i afstand af 1.000 m fra motorvej

Antal helårsboliger udsæt for luftforurening i afstand af 1.000 m fra motorvej								
NO ₂	10,-15,0 (µg/m ³)	15,0-20,0 (µg/m ³)	20,0-25,0 (µg/m ³)	25,0-30,0 (µg/m ³)	30,0-35,0 (µg/m ³)	35,0-40,0 (µg/m ³)	Total	
Basis 2009	651	7800	2656	143	24	4	11278	
NO ₂	10,-12,0 (µg/m ³)	12,0-14,0 (µg/m ³)	14,0-16,0 (µg/m ³)	16,0-18,0 (µg/m ³)	18,0-20,0 (µg/m ³)	20,0-22,0 (µg/m ³)	22,0-22,1 (µg/m ³)	Total
Basis 2020	2363	7680	1075	120	17	19	4	11278
Parallel 2020	2363	7651	1095	128	18	19	4	11278
Egholm 2020	4730	7675	789	32	19	4	0	13249
Lindholm 2020	6186	9050	828	69	19	4	0	16156
PM _{2.5}	11,00-11,25 (µg/m ³)	11,25-11,50 (µg/m ³)	11,50-11,75 (µg/m ³)	11,75-12,00 (µg/m ³)	12,00-12,25 (µg/m ³)	12,25-12,50 (µg/m ³)	12,5-13,1 (µg/m ³)	Total
Basis 2009	235	4029	5667	1165	108	30	44	11278
Basis 2020	2305	8066	862	19	22	4	0	11278
Parallel 2020	2304	8055	862	31	3	23	0	11278
Egholm 2020	4174	8764	282	25	4	0	0	13249
Lindholm 2020	5808	9971	346	27	4	0	0	16156
PM ₁₀	19,00-19,5 (µg/m ³)	19,5-20,0 (µg/m ³)	20,0-20,5 (µg/m ³)	20,5-21,0 (µg/m ³)	21,0-21,5 (µg/m ³)	21,5-22,0 (µg/m ³)	22,0-23,0 (µg/m ³)	Total
Basis 2009	278	4163	5529	1184	63	38	23	11278
Basis 2020	661	5533	4373	619	66	26	0	11278
Parallel 2020	661	5406	4394	712	79	3	23	11278
Egholm 2020	587	8977	3545	111	6	23	0	13249
Lindholm 2020	603	11874	3541	95	20	19	4	16156

5.4 Luftkvalitet på 32 bygader i Aalborg og Nørresundby

Luftkvalitetsberegninger for 32 bygader i Aalborg og Nørresundby er gennemført med Operational Street Pollution Model (OSPM) for de forskellige scenarier, se Figur 4. De 32 gader er de samme gader, som der hvert år gennemføres luftkvalitetsberegninger for under overvågningsprogrammet for luftforurening i Danmark under Det nationale overvågningsprogram for natur og vandmiljø (NOVANA) (Ellermann et al. 2010).



Figur 4. Placering af 32 bygader (røde prikker) i Aalborg og Nørresundby hvor der foretages luftkvalitetsvurderinger. Trafikmodelvejnettet er også vist (blå veje)

Basis 2009 (som er beregnet med forudsætninger som i 2008) viser enkelte overskridelser af NO₂ grænseværdien plus tolerancemargin i 2008 (44 µg/m³), hvilket også observeres i de beregninger, som gennemføres som del af overvågningsprogrammet NOVANA. Koncentrationerne af PM_{2,5} og PM₁₀ er begge under grænseværdierne.

Der ses et markant fald i NO₂ fra 2009 til 2020 i basis, og et mindre fald i PM_{2,5} og PM₁₀, som er meget domineret af det regionale baggrundsniveau.

For en række gader sker der ændringer i koncentrationen i 2020 i mellem de forskellige alternativer afhængig af de konsekvenser de forskellige krydsforbindelser har for trafikafviklingen. Alle gader er i 2020 under grænseværdierne.

5.5 Luftkvalitet omkring tunnelmundinger

I forbindelse med tunnelerne i alle tre alternativer vil der ved tunnelmundingerne opstå en koncentreret emission, som følge af at emissionen fra trafikken i tunnelrøret ledes ud ved tunnelmundingen.

Der er valgt et worst case scenarie, hvor koncentrationerne i omgivelserne ved tunnelmundingen er modelleret med OML-Highway for at vurdere betydningen heraf for luftkvaliteten i de nære omgivelser. Da Paralleltunnelen er det alternativ som har den største trafik og samtidigt har flest boliger tættest på tunnelmundingerne er dette alternativ valgt.

Der er kun lille forskel mellem situationerne, hvor emissionen er koncentreret ved tunnelmundingerne, og hvor der ikke er taget hensyn til dette. Den maksimale koncentration af NO₂ er uden hensyntagen til tunnelmundingerne 17,2 µg/m³ mens den er 17,3 µg/m³, når der tages hensyn til tunnelmundingerne. Den lille forskel skyldes at den tætteste beliggende bolig er relativt langt væk (130 m).

5.6 Estimeret kvælstofafsætning til Limfjord og Egholm

Afsætningen af kvælstof (N) i baggrundsområder i Nordjylland ligger i 2009 på knapt 15 kg N/ha/år, hvoraf tøraftsætningen udgør godt 5 kg N/ha/år (Ellermann et al., 2010). Usikkerheden i disse beregninger er estimeret til +/- 30 % for de akvatiske områder og +/-50 % for terrestriske områder. Ud af disse knapt 15 kg N/ha/år stammer godt 40 % fra kvælstofoxider udsendt fra alle former for forbrændingsprocesser, som også omfatter trafikens bidrag (Ellermann et al., 2010).

Afsætning af kvælstofoxider til vandoverflader er helt ubetydelig, og derfor kan der i forhold til det akvatiske økosystem ses bort fra bidrag relateret til en fremtidig Limfjordsforbindelse.

Hvis vi fokuserer på strandengene på Egholm og ser på den atmosfæriske kvælstofafsætning til den terrestriske natur på øen, så kan vi bestemme en ekstra afsætning relateret til en ny Limfjordsforbindelse. Hvis man ser på de 3 scenarier for linjeføringen i 2020, så vil de føre til en kvælstofdioxid koncentration på 9,87 til 10,04 µg/m³, som kan sammenholdes med basis scenariet med en koncentration på 9,87 µg/m³. Vi fokuserer her på den ekstra afsætning fra Limfjordsforbindelsen. Koncentrationen af kvælstofdioxid i luften, som kan relateres til Limfjordsforbindelsen, vil igen ifølge beregningerne komme til at ligge på niveauer fra under 0,01 og op til 0,17 µg/m³. Laver vi et konservativt overslag, så kan vi sætte afsætningshastigheden for kvælstofdioxid til 0,4 cm/s. Det er en høj afsætningshastighed for eng, som kan være rimelig for sommersituationen, men i virkeligheden er væsentligt mindre i vinterhalvåret, da afsætningen til beplantningen blandt andet sker gennem bladenes stomata. Med disse forudsætninger når vi frem til en afsætning på 64 g N/ha/år. Dette kan sammenholdes med den tidligere nævnte baggrundsafsætning i 2009 på knapt 15 kg N/ha/år, og udgør således kun 0,4%. Selv om vi må regne med at baggrundsafsætningen i 2020 vil være reduceret med op til 25 % (DMU 2010), så udgør de ekstra 64 g N/ha/år som kan relateres til Limfjordsforbindelsen fortsat et meget lille bidrag.

Man kunne have gennemført et overslag for afsætningen til Hammer Bakker nord for Aalborg. Afsætningshastigheden til skov er stor, men til gengæld ligger området længere væk fra Limfjordsforbindelsen og derfor vil der igen være tale om et lille ekstra bidrag til kvælstofafsætningen til naturområdet. Vi har derfor valgt ikke at foretage tilsvarende overslag for dette naturområde.

5. Konklusion

Der er foretaget en luftkvalitetsvurdering udført med OML-Highway modellen i forbindelse med Vejdirektoratets VVM-redegørelse for de tre alternativer for en ny 3. Limfjordsforbindelse ved Aalborg. De tre alternativer er: Parallelforbindelsen langs med den eksisterende tunnel, en Egholm- samt en Lindholmforbindelse. Luftkvaliteten langs med motorvejene, og berørte boliger i en afstand af 1.000 m er undersøgt i 2009 og 2020, og sammenlignet med grænseværdier for luftkvalitet.

Koncentrationerne af NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀ falder fra 2009 til 2020, mens de er stort ens i basis 2020 og i de forskellige alternativer i 2020. Da koncentrationerne falder fra 2009 til 2020 forskydes antallet af boliger berørt af luftforurening mod lavere forureningsklasser. Egholm- og Lindholmforbindelserne har flere berørte boliger end parallelforbindelsen, idet beregningsvejnettet udvides i disse alternativer, og Egholmforbindelsen har færre berørte boliger end Lindholmforbindelsen. Grænseværdierne overskrides ikke i 2020.

Endvidere er luftkvaliteten ved tunneludmundinger belyst, hvor der optræder forhøjede koncentrationer. Der er kun lille forskel mellem situationerne, hvor emissionen er koncentreret ved tunneludmundingerne, og hvor der ikke er taget hensyn til dette, når man betragter koncentrationerne ved de tætteste beliggende boliger.

Konsekvenserne for luftkvaliteten for 32 udvalgte bygader i Aalborg og Nørresundby er vurderet med gadeluftkvalitetsmodellen OSPM. Der ses et markant fald i NO₂ fra 2009 til 2020 i basis, og et mindre fald i PM_{2.5} og PM₁₀, som er meget domineret af det regionale baggrundsniveau. For en række gader sker der ændringer i koncentrationen i 2020 i mellem de forskellige alternativer afhængig af de konsekvenser de forskellige krydsforbindelser har for trafikafviklingen. Alle gader er i 2020 under grænseværdierne.

Endvidere er trafikens kvælstofbelastning af naturfølsomme områder langs motorvejsnettet vurderet. Hvis vi fokuserer på strandengene på Egholm og ser på den atmosfæriske kvælstofafsætning til den terrestriske natur på øen, så kan vi bestemme den ekstra afsætning relateret til en ny Limfjordsforbindelse. Den ekstra afsætning af kvælstof er skønnet til kun at udgøre omkring 0,4% af baggrundsafsætningen af kvælstof i 2009, og er derfor helt ubetydelig.

Referencer

Berger J., Walker S-E., Denby B., Berkowicz R., Løfstrøm P., Ketzelt 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. (2000): OSPM – a Parameterised Street Pollution Model. Environmental Monitoring and Assessment 65: 323-331, 2000.

DMU (2010): Status for miljøeffekten af husdyrregulering og anden arealregulering. Notat 10. november 2010.

Ellermann, T., Jensen, S.S., Ketzelt, M., Løfstrøm, P., Massling, A. (2009): Measurements of air pollution from a Danish highway. National Environmental Research Institute, Aarhus University. 45 p.- Research Notes from NERI No. 254. <http://www2.dmu.dk/Pub/AR254.pdf>

Ellermann, Kemp, K., T., Brandt, J., Christensen, J., Ketzelt, M. & Jensen, S.S. (2010): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2008. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 54 pp. -NERI Technical Report No. 752. The report is available in electronic format (pdf) at NERI's website <http://www.dmu.dk/Pub/FR752.pdf>.

- Ellermann, T., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketzel, M. & Jensen, S.S. (2011): The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2010. National Environmental Research Institute, Aarhus University. 55 pp. -NERI Technical Report No. 836. <http://www.dmu.dk/Pub/FR836.pdf>.
- Energistyrelsen (2010): Baggrundsnotat E: Fremskrivning af transportsektorens energiforbrug.
- EU (2009): EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS FORORDNING (EF) Nr. 443/2009 af 23. april 2009 om fastsættelse af præstationsnormer for nye personbilers emissioner inden for Fællesskabets integrerede tilgang til at nedbringe CO₂-emissionerne fra personbiler og lette erhvervskøretøjer.
- Hertel, O., Skjøth, C. A., Løfstrøm, P., Geels, C., Frohn, L. M., Ellermann, T., and Madsen, P. V., (2006): Modelling Nitrogen Deposition on a Local Scale - A Review of the Current State of the Art: Environ. Chem., 3, 317-337.
- 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://fagligerapporter.dmu.dk>.
- Jensen, S.S., Hvidberg, M., Petersen, J., Storm, L., Stausgaard, L., Becker, T., Hertel, O. (2009): GIS-baseret national vej- og trafikdatabase 1960-2005 (GIS-based National Road and Traffic Database 1960-2005). Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, Roskilde. 73 s. Faglig rapport nr. 678, 2009. <http://www2.dmu.dk/Pub/FR678.pdf>
- Jensen, S.S., Becker, T., Ketzel, M., Løfstrøm, P., Rørdam, H.O., Lorentz, H. (2010a): OML-Highway within the framework of SELMAGIS. 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. (2010b): OML-Highway – en ny brugervenlig GIS-baseret luftkvalitetsmodel for motorveje, landeveje og andre veje i åbent terræn. Trafikdage på Aalborg Universitet, 23.-24. august 2010. www.trafikdage.dk.
- Jensen, S.S., Ketzel, M., Becker, T., Hertel, O., Løfstrøm, P., Olesen, H.R. (2011a): Luftkvalitetsvurdering for 3. Limfjordsforbindelse. VVM redegørelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. Maj 2011. <http://www.dmu.dk/Pub/FR824.pdf>.
- Jensen, S.S., Ketzel, M., Nøjgaard, J. K. & Becker, T. (2011b): Hvad er effekten af miljøzoner for luftkvaliteten? - Vurdering for København, Frederiksberg, Aarhus, Odense, og Aalborg. Slutrapport. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet 110 s. –Faglig rapport nr. 830. Juni 2011. <http://www.dmu.dk/Pub/FR830.pdf>.
- 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>.
- 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, 2010.
- Vejdirektoratet (2010): Ny Fjordforbindelse ved Frederikssund. VVM-redegørelse. Sammenfattende rapport. Rapport 351-2010. 213 s. ISBN: 978-87-7060-208-2.

Taksigelse

Projektet er udført for og finansieret af Vejdirektoratet. Vejnets- og trafikdata for de forskellige alternativer for den 3. Limfjordsforbindelse og trafikmodelveje, samt boligadresser langs vejene stammer fra COWI, som står som hovedrådgiver for VVM-redegørelsen.