

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](http://www.trafikdage.dk/artikelarkiv)

# Modeller til beregning af eksterne effekter med data fra LTM

*Anders Tønning ([atc@vd.dk](mailto:atc@vd.dk)), Vejdirektoratet  
Jan Nielsen ([jn@moe.dk](mailto:jn@moe.dk)), MOE | Tetraplan*

---

## Abstrakt

Som en del af de samfundsøkonomiske beregninger af vejprojekter indgår behovet for at opgøre eksterne effekter i form af uheld, emissioner, luftforurening og støjbelastning. Vejdirektoratet har i forbindelse med en række planlægningsopgaver, herunder for- og VVM-undersøgelser, et behov for at opgøre de eksterne effekter på en ensartet måde. I samarbejde med MOE | Tetraplan, er der derfor udviklet en model, der på baggrund af resultater fra trafikale beregninger med Landstrafikmodellen (LTM), beregner de eksterne effekter for vejtrafikken som følge af et vejinfrastrukturprojekt.

Modellen, der er blevet navngivet LTMEnvi, tager udgangspunkt i eksisterende beregningsmetoder til fastlæggelse af trafikens eksterne effekter, og kobler metoderne med data fra LTM i form af trafikale beregningsresultater og andre grunddata samt en række øvrige eksterne kilder, hvoraf flere er i GIS-format.

Resultaterne fra modellen kan udtrækkes både i form af tabeller og geografiske kort, og som en samlet opgørelse af nøgletal fra beregningerne til brug for samfundsøkonomiske beregninger med Teresa-modellen.

Der er foretaget en kvalitetssikring og validering af de overordnede nøgletal, der er sammenholdt med eksisterende kilder, som overordnet giver god overensstemmelse mellem resultaterne fra LTMEnvi beregningerne og de eksterne kilder.

---

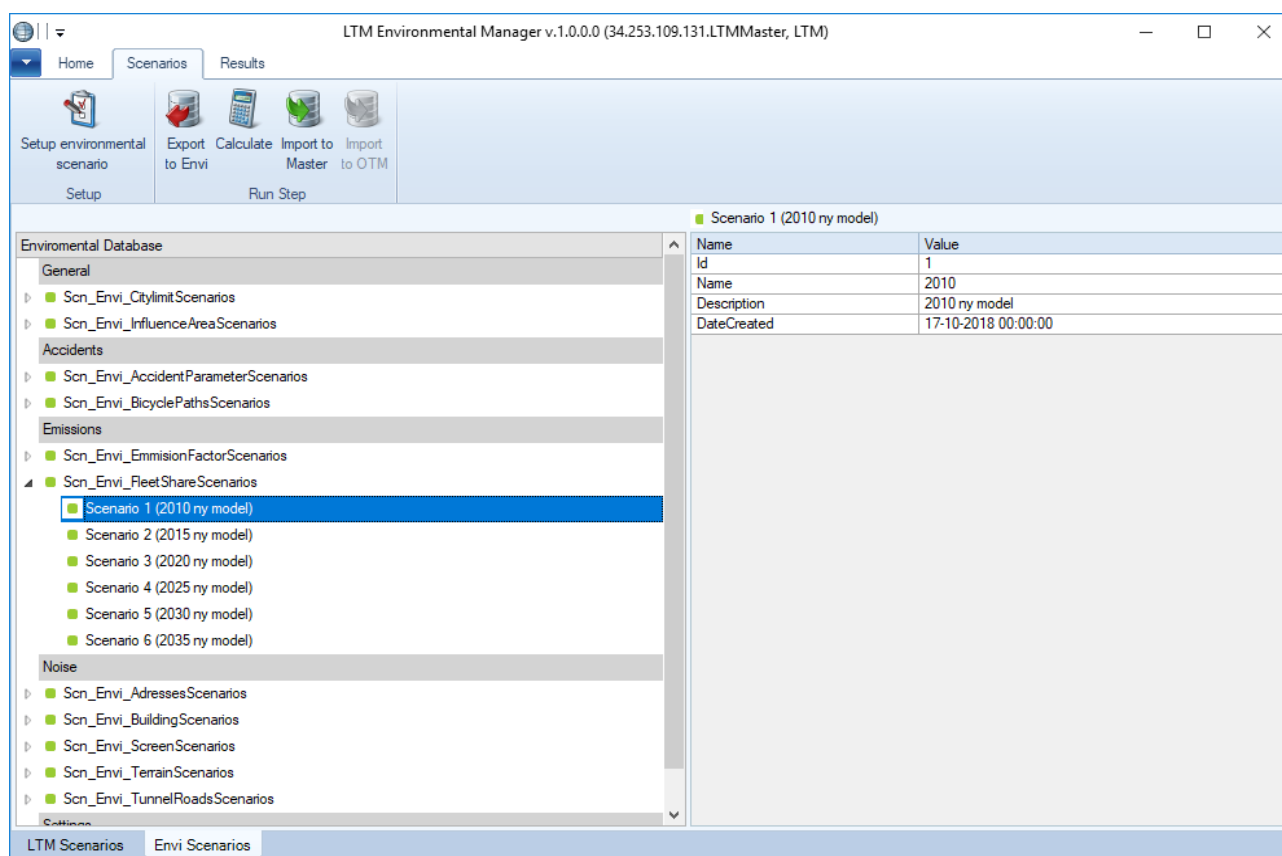
## Baggrund og formål

I forbindelse med en række planlægningsopgaver, herunder for- og VVM-undersøgelser, har Vejdirektoratet behov for at kunne beregne konsekvenser af eksterne effekter med udgangspunkt i trafikberegninger fra Landstrafikmodellen (LTM). Vejdirektoratet her derfor med assistance fra Moe | Tetraplan fået udviklet en model til beregning af følgende eksterne effekter af vejtrafik:

- Uheld
- Emissioner
- Støjbelastning

De forskellige effektmodeller er samlet i programmet LTMEnvi, der gør det muligt, på en ensartet måde på tværs af projekter, at opgøre de eksterne effekter for vejprojekter beregnet med LTM.

Det har fra starten af været et krav til effektmodellen at brugerinterface skulle ligne det interface der er udviklet til LTM, således at brugere kan sikres en høj grad af genkendelighed, og at der på sigt kan ske en sammenlægning af de to modeller.



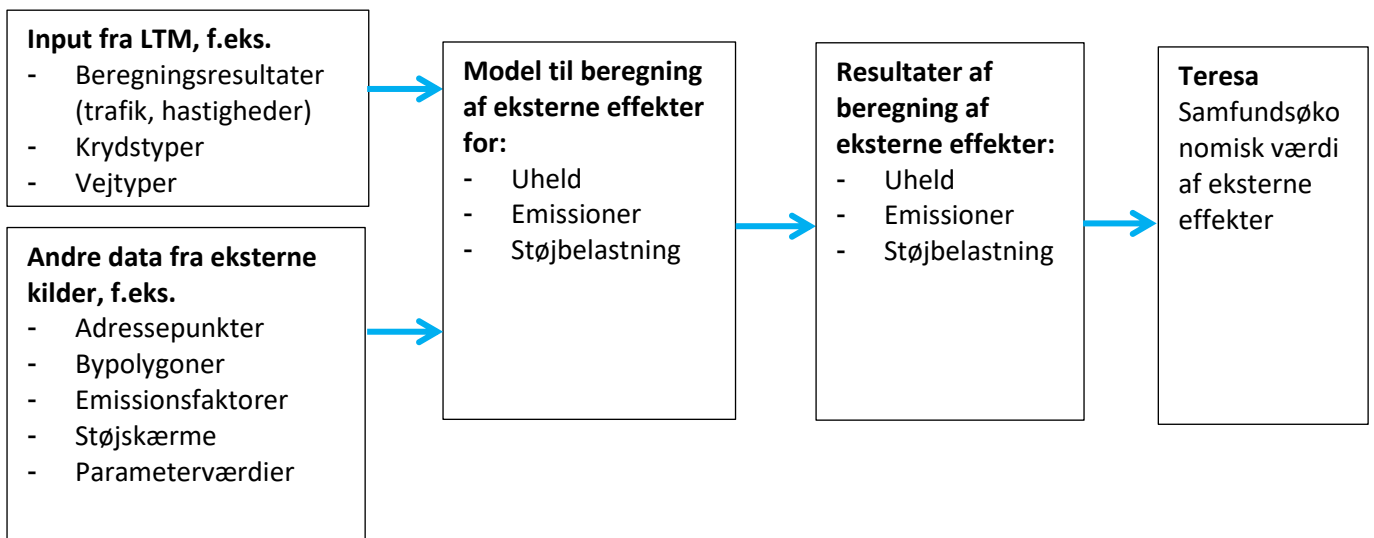
Figur 1 Screenshot af brugergrænsefladen i LTMEnvi

## Modelstruktur

Data til modellerne kommer dels fra LTM i form af trafikale beregningsresultater og andre grunddata, der er indeholdt i LTM. Herudover er der en række data og modelparametre, der bruges i forbindelse med modelberegningerne, som kommer fra forskellige eksterne kilder, typisk som GIS-filer.

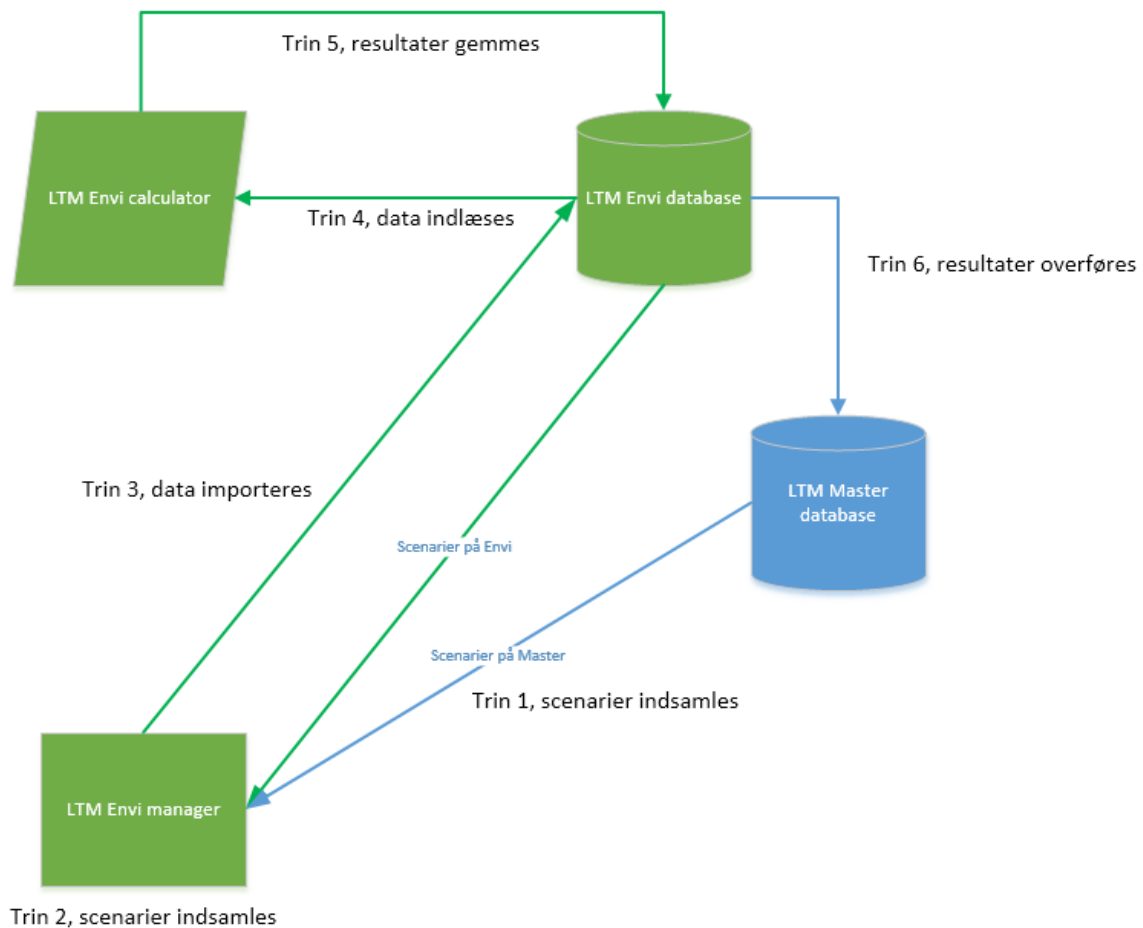
I modsætning til LTM, er LTMEnvi ikke en integreret del af ArcGIS. I stedet anvendes de spatielle funktioner i MSSQL direkte til beregninger, og derved kan både forudsætningsdata og detaljerede beregningsresultater i databasen kobles direkte til GIS, til bl.a. visualisering af resultater.

I nedenstående figur er angivet strukturen for modellen.



### Opbygning af modelsystem

Modelsyste­met er opbygget med afsæt i LTM's datastruktur, men helt åbent og uden særlige krav til software ud over at data skal gemmes i en MSSQL-database. En principskitse for beregningsflowet er illustreret i nedenstående figur, hvor den blå boks markerer LTM's centrale database (Masterdatabasen), hvor beregningsforudsætninger og –resultater er gemt, mens de grønne bokse knyttes til effektmodellen.



Figur 2 Dataflow i LTMEnvi

De databaser der anvendes i LTMEnvi er dels den eksisterende LTM Master-database, samt en tilsvarende database med navnet LTMEnvi. Programmet overfører de relevante data mellem de to databaser efter behov, helt svarende til det der kendes fra LTM. Dette er illustreret ovenfor.

## Model til beregning af uheld

Uheldsmodellen beregner uheldstætheden af forventede politiregistrerede personskadeuheld og forventede politiregistrerede person- og materielskadeuheld opdelt på hhv. strækninger og kryds ved følgende formler:

$$UHT_{stræk} = a \cdot N^p$$

$$UHT_{kryds} = a \cdot N_{pri}^{p1} \cdot N_{sek}^{p2}$$

Hvor:

UHT er uheldstætheden  
 N er trafikmængden (primær og sekundær retning)  
 a, p er konstanter

Uheldstæthederne opgøres opdelt på stræk- og krydsuheld, hvor beregnet trafik fra LTM kombineres med oplysninger om kryds- og strækningstyper udtrykt ved a og p værdier.

For strækninger afhænger a og p værdierne af vejtype, randbebyggelse, cykelstiforhold og antal kørespor. For kryds afhænger a og p værdierne af randbebyggelse, krydstype og kanalisering. A og p-værdier estimeres regelmæssigt af Vejdirektoratet og i modellen er indlæst værdier for 2012 og 2017.

## Beregningsmetode

For at fastlægge den korrekte ap-type til modelstrækninger og til kryds foretages indledningsvis en tolkning af de foreliggende stræknings- og krydsoplysninger i LTM-nettet.

### Fastlæggelse af ap-type

Overordnet skelnes mellem strækninger og kryds henholdsvis med og uden randbebyggelse.

I identifikationen af om der er randbebyggelse eller ej følges samme princip, som indgår i Vejdirektoratets estimering af ap-værdierne. Her er randbebyggelse baseret på den generelle hastighedsgrænse oplysning i vejman.dk. Det betyder, at randbebyggelse dækker de strækninger, som i LTM har en generel hastighedsgrænse på 50 km/t, altså inden for de hvide byzonetavler. Strækninger med generel hastighedsgrænse over 50 km/t regnes som uden randbebyggelse.

For strækninger er vejtype og antal kørespor udledt direkte fra LTM nettets attributter. Oplysningen om, hvor der er cykelsti er udtrukket fra Open Street Maps. Strækninger i landområder, hvor der ikke er cykelsti er klassificeret som strækning med kantbane.

Kun kryds, hvor der er optegnet en krydspolygon i LTM samt flettestrækninger indgår i krydsuheldsberegningen. I modelvejnettet findes krydsenes ap-type ud fra overordnet knude geometri, hvor antal ben i en knude skal være større end 2 for at det regnes som kryds. Er der mindst en strækning til et kryds, som er med randbebyggelse, regnes krydset som værende med randbebyggelse.

Yderligere oplysninger om krydstype i form af signalreguleret, prioriteret eller rundkørsel udledes automatisk fra krydspolygonerne i LTM-nettet.

Flettestrækninger identificeres automatisk af beregningen som et 3-benet kryds med en kombination af en ensrettet rampe mod krydset (sekundærvejen) og 2 motorvejsstrækninger ensrettet mod og fra krydset (primærvejen). Her er motorvejstrafikken ind i krydset primærtrafikken.

Rampekryds identificeres ligeledes automatisk ud fra linktype og ensretning og behandles enten som to 3-benede kryds, hvoraf det ene ikke har krydsuheld, da den indkørende sekundærtrafik er 0, eller som et 4-benet kryds, hvor to af benene er ensrettede ramper. Sekundærtrafikken skal være rampens trafik ind i krydset og primærretningen skal være trafik ind i krydset for begge retninger på primærvejen.

## Validering af resultater

Som kvalitetssikring af uheldsberegningerne er der foretaget en række test af de fortolkede ap-typer, som er input til selve uheldsberegningen.

De forskellige ap-typer er optegnet på kort og holdt op imod luftfotos for at vurdere kvaliteten af fortolkningen. Der er fundet god overensstemmelse mellem tolkningen og luftfotos mv.

De beregnede uheldstal er valideret ved at udtrække beregnet uheldstal på kommuner/regioner og sammenligne med resultater fra Vejdirektoratets uheldsdatabase.

En overordnet sammenligning med uheldsstatistikken viser, at der i 2016 var 2.882 politiregistrerede trafikulykker med personskade i Danmark. LTM-beregningen baseret på 2015 trafiktal og 2017 ap-parametre viser et samlet årligt antal ulykker med personskade på 1.985. Forskellen er først og fremmest at uheldsmodellerne kun dækker ulykker med motorkøretøjer og vil typisk ikke omfatte en stor del af ulykker

med de lette trafikanter. Hertil kommer at LTM-vejnettet ikke dækker alle vejklasser. Uheld på boligveje, stamveje i boligområder og mindre bygader vil typisk ikke blive indregnet i uheldstallet.

En validering af uheldsberegningen er derfor særlig relevant for de overordnede vejklasser. En sådan fremgår af Tabel 1. Tabellen viser en god overensstemmelse særligt for motorveje. Betragtes motorveje, motortrafikveje og ramper til disse under ét, giver LTM-beregningen et resultat på 235 personskadeuheld mod uheldsstatistikens 222 personskadeuheld.

**Tabel 1 Sammenligning af beregnede uheldstal 2015 med uheldsstatistik 2016**

Strækningstype, LTM	Personskadeuheld, LTM 2015	Personskadeuheld, Uheldsstatistik 2016
Motortrafikvej	51	25
Motorvej	169	162
National Hovedvej + Regional vej + 2+1-vej	689	964
Rampe, motorvej og motortrafikvej	15	35

En opgørelse af beregnede uheld fordelt på regioner fremgår af Tabel 2. De største forskelle ses for regioner med de største bysamfund, særligt Region Hovedstaden. Dette afspejler at ap-typerne, som ligger til grund for uheldsberegningen, ikke beskriver uheldsbilledet på bygader med blandet trafik og mange lette trafikanter. Derimod er der god overensstemmelse med eksempelvis Region Sjælland, som er kendetegnet med mange landeveje og få større byer.

**Tabel 2 Sammenligning af beregnede uheldstal 2015 med uheldsstatistik 2017 opdelt på regioner**

Region	Personskadeuheld, LTM 2015	Personskadeuheld, Uheldsstatistik 2017
Region Hovedstaden	393	688
Region Midtjylland	525	729
Region Nordjylland	248	467
Region Sjælland	313	341
Region Syddanmark	506	564
I alt	1.985	2.789

## Model til beregning af emissioner

Emissionerne beregnes strækning for strækning på baggrund af hastighedsafhængige emissionsfaktorer for de forskellige køretøjskategorier sammenholdt med resultaterne fra trafikberegningen.

Emissionsfaktorer (g/km) er opstillet med udgangspunkt i principperne i den seneste revision (2016) af COPERT IV-modellen, som er EUs officielle model for emissioner fra vejtrafikken. I COPERT-modellen skelnes der mellem et stort antal af køretøjstyper baseret på brændstoftype (benzin/diesel/hybrid), motorstørrelse og emissionsnorm.

I den seneste opdatering af COPERT i 2016 (EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2016) er formelværktøjet til beregning af de hastighedsafhængige emissionsfaktorer (varmemissioner) justeret og der er opstillet et generelt formeludtryk, som gælder på tværs af emissionstyper, brændstof, euronorm og motorstørrelser. Konstanterne i formeludtrykket fremgår ved opslag af tabelværdier.

Der anvendes et generiske formeludtryk til at beregne hastighedsafhængige (V) emissionsfaktorer (EF) for alle køretøjsskategorier og forureningskomponenter

$$EF = \frac{(\alpha V^2 + \beta V + \gamma V + \frac{\delta}{V})}{(\varepsilon V^2 + \zeta V + \eta)} \cdot (1 + RF)$$

Hvor:

EF er emissionsfaktoren

V er hastighed på strækningen

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta, \eta$  og RF er modelkonstanter

Outputtet fra emissionsberegningen er de samlede emissioner for LTM-nettet for en række luftforureningskomponenter i tons pr år. Følgende komponenter beregnes: CO (kulilte), NO<sub>x</sub> (kvælstofilter), HC (kulbrinter), partikler PM<sub>2,5</sub> (svarende til partikelstørrelse 2,5 $\mu$ ) og SO<sub>2</sub> (Svovldioxid). Derudover beregnes også trafikens energiforbrug og det tilknyttede CO<sub>2</sub>-udslip.

Da der er markant forskel på hastighederne hen over døgnet, beregnes emissionerne opdelt på LTM's døgnerperioder og resultaterne summeres efterfølgende til samlede emissioner per døgn.

Da resultaterne fra effektmodellen typisk skal bruges som input til Teresa-beregninger, hvor enhedspriserne varierer med den geografiske placering i by og land, er de samlede emissioner opgjort på henholdsvis by- og landområder.

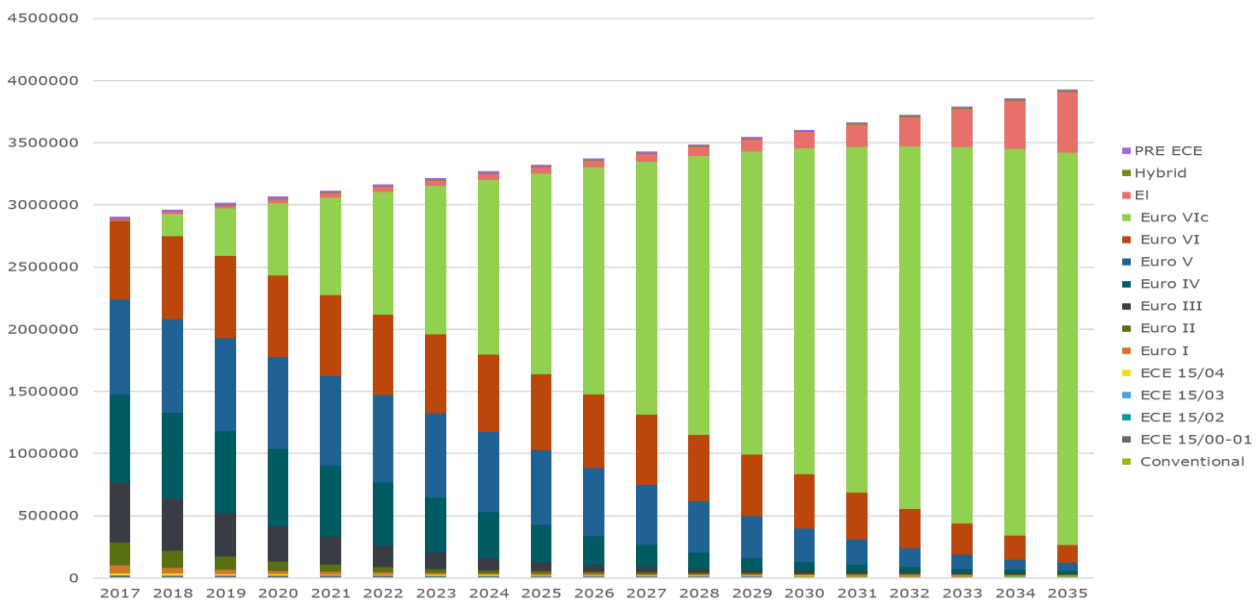
Selve beregningen af emissionsbidrag er integreret i selve modellen og princippet i beregningsgangen er at vognparkfordelinger for forskellige scenarieår kobles med emissionsnormer og den aktuelle trafikbelastning på vejstrækningerne (personbiler, varebiler, lastbiler og busser) og køretøjernes faktiske hastighed i de enkelte tidsbånd. Der ses bort fra motorcykler og knallerter da disse ikke indgår i LTM.

## Vognparkfordelinger

Der er dannet en fordeling af den danske vognpark i en række scenarieår frem mod 2035 på baggrund af data udarbejdet af DTU Transport. Vognparken er opdelt på COPERTs køretøjskategorier og emissionsnormer. Dette er baseret på de opgørelser DTU Transport leverer til DCE på Aarhus Universitet, som årligt dokumenterer de danske emissionsopgørelser for vejtransport og andre mobile kilder.

Til brug for effektmodellen er vognparkmodellen opdelt i emissionsklasser med det samlede kørselsomfang for hver kategori (antal biler multipliceret med gennemsnitligt kørselsomfang for kategorien). Dette er omsat til fordelingstal således at strækningsvise trafiktal opdelt på køretøjstyper fra LTM kan opsplittes i de enkelte COPERT emissionsnormer for den pågældende køretøjstype.

På Figur 3 er prognosen for bestanden af lette køretøjer vist for perioden 2017 til 2035. Der er mulighed for at ændre denne fremskrivning herunder mulighed for forlængelse. Som det fremgår af figuren, udgør fossilfri køretøjer en forsvindende del af vognparken frem til 2030. Selv i 2035 spiller elbilerne en beskedent rolle med 13 % af personbilparken. Det har den konsekvens, at der ikke kan forventes nogen mærkbar effekt på energiforbrug og CO<sub>2</sub>-udslip når denne prognose lægges til grund for emissionsberegner med LTM.



Figur 3 Udvikling i bilbestanden, lette køretøjer fra 2017 til 2035

## Validering af resultater

Der er foretaget en kvalitetssikring af emissionsmodellen ved at gennemføre følgende valideringer:

- De samlede emissioner for LTM-nettet er sammenholdt med de nationale emissioner for vejtrafik, som er udarbejdet af DCE.
- For en basisberegning 2015 med LTM er de gennemsnitlige emissionsfaktorer for luftforureningskomponenterne opdelt på køretøjstyper udtrykket. Dette er sammenlignet med udtræk fra TEMA modellen, som er Transportministeriets model til beregning af emissioner. Der er benyttet den seneste version af TEMA modellen som er fra 2015.

## Samlede emissioner

DCE dokumenterer de årlige danske emissionsopgørelser for vej- transport og andre mobile kilder. Metodemæssigt benyttes samme modelprincip som i COPERT. Input data for køretøjsbestand og årskørsler oplyses som tidligere nævnt af DTU Transport og køretøjerne grupperes iht. gennemsnitligt brændstofforbrug og emissioner. Emissionerne beregnes som produktet af antal køretøjer, årskørsler og emissionsaktorer.

Det samlede energiforbrug og SO<sub>2</sub>-emissionerne for vejtrafik, ifølge DCE, forbliver på samme niveau i perioden 2015-2030. Personbiler vil have den største andel af energiforbruget efterfulgt af tunge køretøjer, varebil. SO<sub>2</sub>-udledningen er afhængig af brændstofforbruget og indholdet af svovl i brændstoffet.

Med hensyn til partikler forventes den samlede emission at falde med 81% fra 2015 frem mod 2030, især på grund af introduktionen af dieselpartikelfiltre til Euro 5-biler/varevogne og Euro VI lastbiler/busser.

Med LTM effektmodellen er de samlede emissioner opgjort for 2010, 2015 og 2020 og sammenlignet med DCE opgørelserne. Dette er vist i Tabel 3.



Tabel 3 Beregnede samlede årlige emissioner for LTM-vejnettet i 2010, 2015 og 2020, sammenholdt med DCE' opgørelse

Tons pr. år				LTM ift. nationale opgørelser		
	2010	2015	2020	2010	2015	2020
<b>Energi forbrug (PJ)</b>	123,9	135,3	147,9	75 %	84 %	91 %
<b>SO<sub>2</sub></b>	296	323	353	389 %	462 %	498 %
<b>NO<sub>x</sub></b>	30.812	24.425	16.478	61 %	71 %	79 %
<b>NMVOC</b>	3.239	1.161	1.002	178 %	129 %	82 %
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	801	592	338	51 %	70 %	79 %

Når der ses bort fra SO<sub>2</sub>-emissionen ligger de beregnede samlede emissioner typisk på mellem 70 og 80 % af DCE's opgørelser. Her kan det spille ind at DCEs beregninger er mere detaljerede, idet der indregnes koldstart, slitage, årskilometer mv, nedsat katalysatoreffekt med køretøjets alder mv. Derfor vil LTM-effektmodellen, som alene beregner varmemissioner alt andet lige beregne et lavere niveau end DCEs nationale opgørelse.

Den store afvigelse i de beregnede samlede SO<sub>2</sub>-emissioner skyldes formentlig at der i den benyttede emissionsfaktor i LTM ikke er taget tilstrækkelig højde for at svovlindholdet i brændstof er reduceret. Det bemærkes dog, at de gennemsnitlige SO<sub>2</sub>-emissionsfaktorer i LTM er i rimelig overensstemmelse med nedslag i TEMA2015 modellen for forskellige køretøjstyper. Se næste afsnit.

Det beregnede samlede energiforbrug fra vejtrafik i LTM, ligger på henholdsvis 84% og 91% af DCEs tilsvarende opgørelse for 2015 og 2020. Når udviklingen i de samlede årlige emissioner fra vejtrafik i Danmark ifølge DCE gøres op er der generelt betydelige reduktioner fra 2010 til henholdsvis 2015 og 2020

Tabel 4 Udvikling i de samlede årlige emissioner for vejtrafik, hhv. DCE og LTM

	Udvikling DCE			Udvikling LTM		
	2010-2015	2015-2020	2010-2020	2010-2015	2015-2020	2010-2020
<b>Energi forbrug (PJ)</b>	-2 %	1 %	-1 %	9 %	9 %	19 %
<b>SO<sub>2</sub></b>	-8 %	1 %	-7 %	9 %	9 %	20 %
<b>NO<sub>x</sub></b>	-32 %	-39 %	-59 %	-21 %	-33%	-47 %
<b>NMVOC</b>	-28 %	-7 %	-33 %	-48 %	-41 %	-69 %
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	-46 %	-49 %	-72 %	-26 %	-43 %	-58 %

Når udviklingen i de samlede emissioner sammenlignes mellem LTM-effektmodel og de samlede nationale tal, er den mest markante forskel energiforbruget, hvor LTM-beregningen i høj grad afspejler udviklingen i trafikarbejdet. Med andre ord beregnes ikke en større effekt af bedre energieffektivitet i vognparken.

For NO<sub>x</sub> og partikler er der en god overensstemmelse i forhold til, hvordan udviklingen forventes at forløbe frem mod 2020. For VOC er der større forskelle.

LTM beregner en markant trafikvækst i perioden fra 2010 til 2020, hvilket har en direkte effekt på den beregnede stigning i energiforbrug og dermed også emissioner i perioden.

### Emissionsfaktorer

For en basisberegning 2015 med LTM er de gennemsnitlige emissionsfaktorer for luftforureningskomponenterne udtrykket. Dette er sammenlignet med udtræk fra TEMA-2015 modellen, hvor der for en række repræsentative person-, vare- og lastbiler fra vognparken er udtrykket emissionsfaktorer. Som kørselsmønstre er der benyttet en standard tur fra TEMA2015, hvor der indgår et mix af by-, landevej og motorvejskørsel.

Der er en generel tendens til at LTM's gennemsnitlige emissionsfaktorer er lavere end, hvad der kan udledes fra TEMA2015 for et mix af typiske køretøjer, hvilket kan skyldes at TEMA indregner koldstartstillæg og mere præcise data om køretøjets alder mv.

Der er en rimelig overensstemmelse mellem de gennemsnitlige emissionsfaktorer som beregnes med LTM og de niveauer, som kan beregnes med TEMA2015 for typiske personbiler. For vare- og lastbiler er der også en rimelig overensstemmelse mellem de gennemsnitlige emissionsfaktorer som beregnes med LTM og de niveauer, som kan beregnes med TEMA2015.

## Model til beregning af støjbelastning

Effektmodellen for støjbelastning opgør antallet af støjbelastede boliger opdelt på forskellige dB(A)-intervaller samt støjens genevirkning i form af støjbelastningstallet (SBT). SBT beregnes ud fra antallet af støjbelastede boliger og en genefaktor, der beskriver genen ved den pågældende støjbelastning.

Resultaterne af støjberegningerne er herudover en opgørelse af antallet af støjbelastede boliger og ændringer heri opdelt på forskellige støjniveauer.

Antallet af støjbelastede boliger opdelt på forskellige intervaller for støjniveauer (dB(A)) beregnes med udgangspunkt i kortlag med adressepunkter, støjskærme og overfladekarakteristika, hvor der beregnes hvor mange boligadresser, der ligger inden for et givent støjniveau.

I støjberegningen indgår trafikmængde, andel tung trafik og hastighed opdelt på døgnperioder.

## Beregningsmetode

Selve støjberegningsmetoden er den tidligere nordiske beregningsmodel (NBV96), som er velegnet til at opgøre de overordnede støjmæssige konsekvenser for et større influensvejnet, hvor der kun foreligger sporadisk viden om omgivelserne. Den officielle beregningsmetode til støjkortlægninger i Danmark, Nord2000, er beregningstung og kræver meget nuancerede data om omgivelserne, mv.

Som støjindikator benyttes  $L_{den}$ , som sammenvejer støjen i dag-, aften- og natperioderne og indregner et genetillæg på 5 dB(A) for støj om aften og 10 dB(A) om natten. Beregningen af  $L_{den}$  foretages efter følgende formel:

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left( T_d \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + T_e \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + T_n \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right)$$

Hvor:

$T_d, T_e$  og  $T_n$  er længden af den givne tidsperiode

For hver vejstrækning er kildestøjen beregnet på baggrund af følgende resultater fra modelberegningerne:

- Antal køretøjer
- Andelen af tung trafik
- Den kørte hastighed

Inden beregningen aggregeres trafiktallene fra de 10 døgnperioder i LTM, så det afspejler de 3 døgnperioder, som indgår i beregningen af støjindikatoren  $L_{den}$ :

- dag: kl. 07 – 19, varighed 12 timer
- aften: kl. 19 – 22, varighed 3 timer
- nat: kl. 22 – 07, varighed 9 timer

Når kildestøjen er beregnet, beregnes dæmpningen mellem støjkilden(vejen) og modtageren. Korrektionen består af 3 led: Afstandskorrektion, korrektion for støjskærme (skærm/ikke skærm) korrektion for terrænforhold (hårdt/blødt) i beregningen med NBV96.

Outputtet fra beregningen er støjpolygoner omkring alle vejstrækninger. Der beregnes afstande fra vejmidte til et antal ønskede støjniveauer. Som default beregnes afstandene til 53 dB, 58 dB, 63dB, 68 dB, 73 dB, 78 dB og 83 dB.

På statsvejnettet er der løbende arbejdet med støjbekæmpelse gennem opsætning af støjskærme. Dette gælder særligt langs de bynære motorveje. For at give et så troværdigt estimat for støjbelastningen som muligt indlæses Vejdirektoratets GIS-lag med støjskærme, som på linje med andre data vil kunne redigeres via ArcGIS. Dette lag indeholder også støjskærmenes højde, men benyttes ikke i modellen.

Ud over de egentlige støjskærme er der også indregnet effekten af bygningskærme, hvor der er sammenhængende randbebyggelse langs vejen.

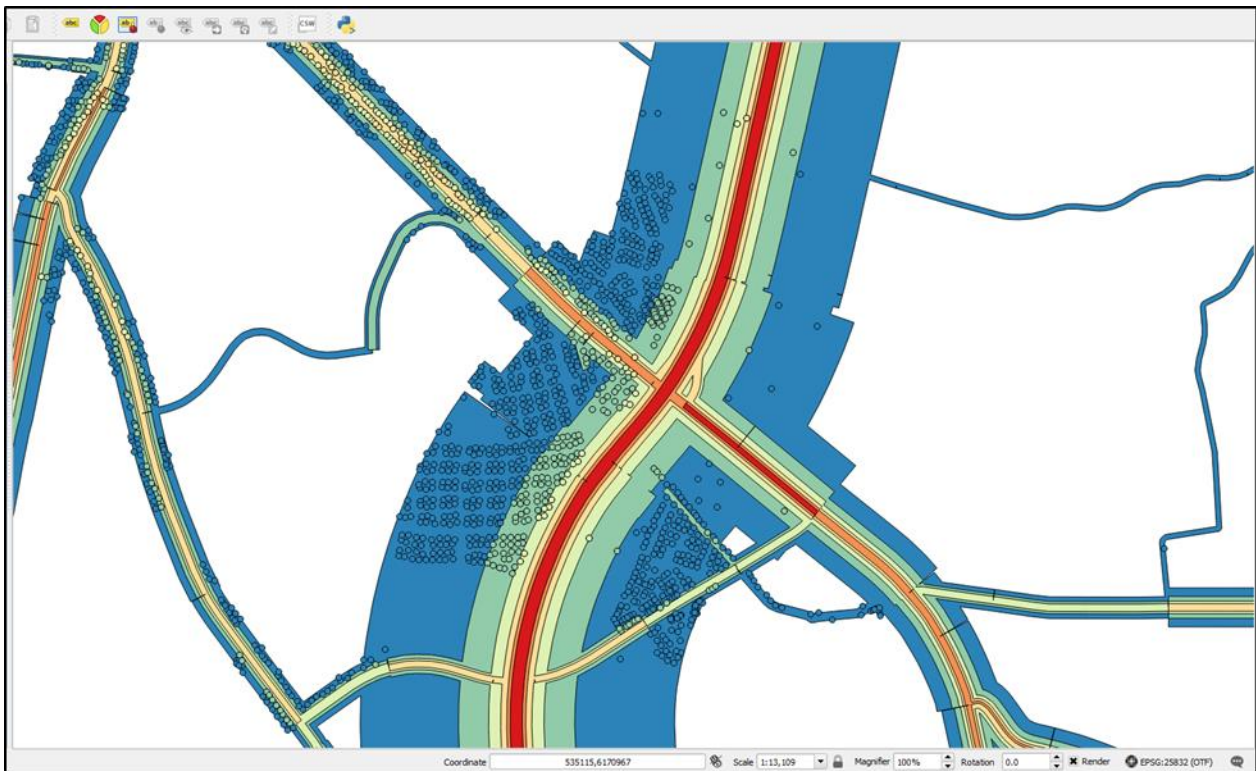
Terrænforhold (hårdt/blødt) er bestemt med udgangspunkt i et GIS-lag med overflade karakteristika. Her er følgende overfladekarakteristika regnet som hårdt og dermed reflekterende terræn: søer, erhvervsområde og bycenter. Øvrige overflader er regnet som bløde og dermed absorberende.

For strækninger som i LTM er kodet som to adskilte vejmidter (dobbeltdigitaliserede), herunder motorveje, er der implementeret en funktion i beregningsmetoden, som med høj sandsynlighed kan finde den modsatte strækning for dobbeltdigitaliserede veje, således at den korrekte samlede trafikmængde afspejles i støjberegningen.

## Resultater

Resultaterne af støjubredelsen kan optegnes som støjpolygoner i spring på 5 dB startende ved 53 dB langs LTM-modelvejnettet. Det bemærkes at en given støjpolygon altid overlapper polygoner med lavere dB-klasser, da polygonerne optegnes fra vejmidte til støjgrænsen.

Når støjpolygonerne er beregnet, kan antallet af støjbelastede boliger langs LTM-nettet optælles ved at tilknytte et GIS-lag med adressepunkter, hvor der for hvert adressepunkt er oplysning om antallet af boligheder på adressen. Dette fremgår af Figur 4.



Figur 4 Eksempel på beregnede støjpolygoner, matchet med boliger

Antallet af boliger optælles i hvert af de definerede støjbånd og resultaterne opgøres på LTM zone og kommune.

Hertil kommer beregningen af støjbelastningstallet, SBT, for det samlede scenarie: Antallet af boliger i hvert dB-interval vægtes med en faktor (genefaktor), der afhænger af støjniveaue, sådan at stærkt støjbelastede boliger tildeles en større vægt end mindre støjbelastede. Til sidst summeres det vægtede antal boliger, og man får støjbelastningstallet, SBT, for det pågældende scenarie.

Støjbelastningstallet, SBT, er et samlet tal for trafikens støjgene. SBT sammenevejer støjbelastning i dB(A) med det antal boliger, som er udsat for støjbelastningen. Med afsæt i de 5-dB intervaller, som boligallet er opgjort for beregnes SBT for et scenarie således:

$$SBT = 0,11 \cdot B_a + 0,22 \cdot B_b + 0,45 \cdot B_c + 0,93 \cdot B_d + 1,92 \cdot B_e$$

Hvor:

$B_a$  = Antal boliger 58-63 dB

$B_b$  = Antal boliger 63-68 dB

$B_c$  = Antal boliger 68-73 dB

$B_d$  = Antal boliger 73-78 dB

$B_e$  = Antal boliger > 78 dB

I SBT-beregningen er det kun boliger med støjniveau over 58 dB, som medregnes.

## Validering af resultater

### Støjpolygoner sammenlignet med statsvejnettet

De udarbejdede støjpolygoner tegner et billede af støjdbredelsen langs vejnettet. Støjpolygonerne er beregnet og tegnet som buffere langs kanterne i modelvejnettet. Hver strækning betragtes isoleret, hvilket

betyder at støjbelastningen i områder som belastes af støj fra flere veje vil være undervurderet. Dette er eksempelvis tilfældet tæt på kryds.

En visuel sammenligning mellem de beregnede støjpolygoner og Vejdirektoratets detaljerede støjkortlægning for statsvejnettet viser en rimelig overensstemmelse. Den detaljerede støjkortlægning for statsvejene med Nord2000 metoden tager hensyn til de detaljerede terræn- og skærmningsforhold og meteorologiske forhold. Sidstnævnte betyder bl.a. at støjdbredelsen typisk er større øst for en vejstrækning, da vestenvind er den dominerende vindretning.

På Figur 5 er de beregnede støjpolygoner langs LTM-vejnettet vist sammen med et lag med støjdbredelse (>58 dB(A)) langs et udsnit af statsvejnettet. Det viser en rimelig overensstemmelse i støjdbredelsen bestemt ved de to forskellige metoder. Der ses dog en tydelig forskel omkring kryds, hvor støjdbredelsen for de krydsende veje ikke adderes i den LTM-baserede beregning.



Figur 5 Støjpolygoner sammenholdt med støjdbredelsen langs statsvejnettet

### Støjbelastede boliger

Beregningen af støjbelastede boliger for det samlede modelvejnet for basisscenariet 2015 er vist i Tabel 5 opdelt på 5-dB intervaller.

Tabel 5 Antal boliger opdelt på støjniveauer, basis 2015

	Støjniveau $L_{den}$ , dB(A)							I alt
	48-53	53-58	58-63	63-68	68-73	73-78	>78	
<b>Antal boliger</b>	420.520	499.346	432.609	218.516	53.743	3.694	19	1.624.447

Antallet af boliger over 58 dB(A), som er den vejledende støjgrænse for boliger er 708.581, og antal stærkt belastede boliger med et støjniveau over 68 dB(A) er 57.456. Sat i forhold til den seneste nationale opgørelse af støjbelastede boliger (Miljøstyrelsen 2013), som har beregnet at der ca. er 723.000 boliger udsat for støj over grænseværdien på 58 dB, heraf 141.000, som er stærkt støjbelastet (over 68 dB) er der

god overensstemmelse mellem LTM-beregningen af boliger belastet med mere end 58 dB, svarende til den vejledende grænseværdi for boliger. Forskellen kan forklares med at LTM-vejnettet ikke dækker alle vejklasser og der vil givet være boligområder, som vil være belastet af trafikstøj fra veje, som ikke indgår i LTM. Dette vil formentlig særligt kunne forekomme i byer.

Derimod er der en markant underberegning af de stærkt støjbelastede boliger over 68 dB, hvor der kun beregnes 41 % af det antal, som fremgår af den nationale støjkortlægning. Her er en del af forklaringen at adressepunkterne, som ligger til grund for opgørelsen af støjbelastede boliger som hovedregel ligger inde i bygningspolygonerne knyttet til en given adresse. Det betyder igen at facaden ligger tættere på vejen og at det beregnede støjniveau dermed bliver lavere end den faktiske facadestøjberegning. Dette kan have særlig betydning i de højere støjniveauer, hvor støjpolygonerne er smalle.

En anden medvirkende forklaring er, at der i støjberegningen ikke beregnes refleksionsbidrag fra bygninger. I tilfælde, hvor der er sluttet randbebyggelse på begge sider af en vejstrækning, vil støjniveauet på facaderne blive undervurderet, når der ikke indregnes refleksion. Dette forekommer i sagens natur typisk på strækninger i tættere byområder.