

Dette resumé 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



Fremskrivning af emissioner fra vejtrafik og emissionseffekter af ny infrastruktur

Uffe Ærboe Christiansen, uc@vd.dk, Vejdirektoratet

Abstrakt

I forbindelse med udarbejdelse af samfundsøkonomiske analyser er der behov for at kende emissionerne fra trafikken. Dette fordrer en ny metode, hvor vi har et bud på emissionerne på længere sigt, da vi bl.a. kan forvente en stigende andel af elbiler og dermed lavere gennemsnitlige emissioner per køretøjskilometer end vi ser i dag. Derfor har vi udarbejdet nye estimater for emissionerne for bilparken i perioden frem til 2080.

Modellen fremskriver indfasning af teknologier i bilparken samt emissioner pr. kørt km. Modellen gør det muligt at anvende resultaterne til beregninger af de totale emissioner fra vejtransport.

Indfasning. Vejdirektoratet har lavet en fremskrivning af bilparken fordelt på teknologier baseret på Energistyrelsens basisscenarie frem til 2035 og herfra en international fremskrivning (Bloomberg) frem til 2080. Fremskrivningen viser at vi i 2030 kan forvente at 43,3% af personbil nybilsalget udgøres af el- og hybridbiler og de vil udgøre ca. 5% af bilparken. Elandelen forventes at være 100% af nybilsalget i ca. 2045 og 100% af bilparken 20 år efter.

For tunge køretøjer forventes en parallel udvikling for udviklingen for personbiler, men med en forsinkelse. Det skyldes, at det kræver mere udvikling af batterier, før de kan anvendes i tunge køretøjer. Vi forventer således, at: små landsbiler har fem års forsinkelse, busser og mellemstore lastbiler 10 års forsinkelse og store lastbiler 15 års forsinkelse.

Emissioner. I modellen udregnes de gennemsnitlige emissioner fra bilparken for hvert år baseret på fordelingen på drivmidler, samt bilernes emissioner givet ved bl.a. EURO norm og køremønster (energiforbruget afhænger af fx hastighed og stop-and-go kørsel). Modellen tager højde for en generel forbedring i energieffektiviteten for konventionelle drivmidler mht. CO₂ udslip svarende til en årlig reduktion i CO₂ emissionerne på 1% frem til 2040 og 0,5% i perioden 2040-2080. Emissioner fra elbiler udregnes ved emissioner i elproduktionen og det forventes at vi over de næste 20 år kommer til at se CO₂ emissionerne falde fra 165 kg/MWh i 2018 til 9 kg/MWh i 2040. Gennemsnitligt falder emissionerne for personbiler fra 148,2 g/km i 2018 til 1,3 g/km i 2080. Samme trend gælder for de tunge køretøjer, dog med højere absolutte værdier.

Indledning

Vejdirektoratet har løbende behov for at beregne klima- og miljøpåvirkning af infrastrukturprojekter. Til det formål er der udarbejdet en ny model til at beregne gennemsnitlige emissionsfaktorer pr kørt km i perioden fra og med et åbningssår i 2030 og til år 2080. Resultatet kan benyttes sammen med beregninger af trafikarbejde, som beregnes med Landstrafikmodellen, og udregne bilparkens samlede emissioner.

I dette notat præsenteres modellen. Modellen er desuden benyttet i forbindelse med beregninger af emissioner fra en eventuel vejforbindelse over Kattegat som en del af den samlede "Nærmere undersøgelse af en ren vejforbindelse over Kattegat".

Metode

Modellen er opbygget som en regnearksmodel, hvor det er muligt at ændre centrale forudsætninger for beregningerne (f.eks. prognoser for, hvor hurtigt elbiler kan forventes indfaset) og dermed give baggrund for justerede beregninger – eller følsomhedsvurderinger af fremtidige emissioner. Regnearksmodellen omfatter kun vejtransport.

I modellen kombineres følgende inputdata:

1. Prognose for sammensætningen af køretøjer (bilparken) baseret på nysalg og udfasning af biler
2. Prognose for energieffektivitet og emissionsfaktorer for køretøjer på konventionelle drivmidler
3. Prognose for emissioner fra elproduktion (til brug for emissionsfaktorer for elbiler).

De gennemsnitlige emissionsfaktorer er beregnet for personbiler, varebiler, by- og turistbusser, samt lastbiler.

Sammensætningen af køretøjer (bilparken)

Til modellen er der lavet en fremskrivning af bilparkens sammensætning år for år, der muliggør beregning af gennemsnitlige emissionsfaktorer. Emissionsfaktorerne er baseret på bilens alder og kørselsmønster.

Nysalg fordelt på drivmiddeltyper. Nye teknologier som hybrid, el, plugin hybrid og gas er i modellen indfaset ved hjælp af S-kurver for alle køretøjer. Formen af S-kurven er fastlagt ud fra den eksisterende prognose fra Energistyrelsens Basisfremskrivning 2018, kombineret med viden indsamlet fra litteraturundersøgelser og interview med relevante eksperter, herunder Energistyrelsen.

Udfasning af biler i bilparken. Som udgangspunkt forventes, at der hvert år skrottes en andel af de ældre biler, der erstattes af nye biler i takt med indfasning af ny teknologi.

Bilpark fordelt på drivmiddeltyper

I dette afsnit beskrives hvordan fremskrivningen af nybilsalget og bilparken opdeles på køretøjstyper.

Personbiler og varebiler

Energistyrelsens basisfremskrivning 2018 fremskriver nysalget af elbiler og plugin hybridbiler frem til 2030. Tabellen nedenfor viser elandelen i nybilsalget 2017 – 2030 ifølge basisfremskrivningen.

Tabel 1 Elandel af nybilsalg i basis fremskrivning.

	Andel Elbiler	Heraf Plug-in hybrid
2018	1.2%	45%
2019	1.4%	34%
2020	1.3%	26%
2021	3.0%	25%
2022	3.5%	33%
2023	5.2%	35%
2024	5.9%	39%
2025	7.9%	41%
2026	9.7%	40%
2027	12.5%	39%
2028	15.2%	39%
2029	18.5%	39%
2030	22.2%	39%

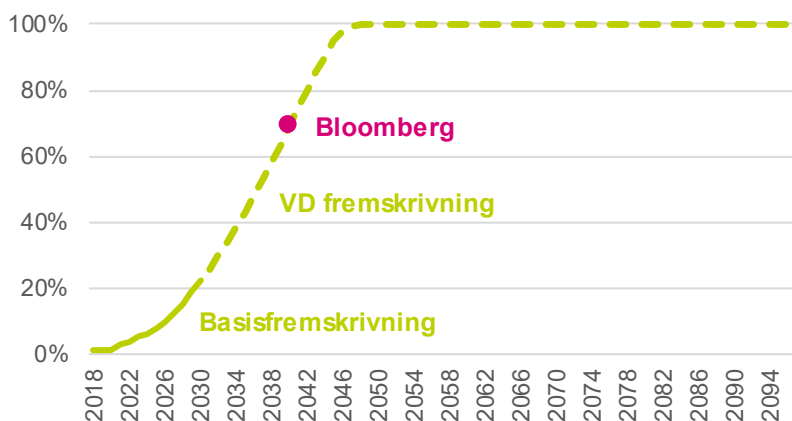
Kilde: Energistyrelsens basisfremskrivning 2018: <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/basisshyfremskrivninger>. COWIs egne beregninger af procentdele

Energistyrelsens model for bilvalg beskriver en tilnærmelsesvist eksponentiel udvikling i nysalg af el-biler efter 2030, der stopper ved 100% på et ikke nærmere fastlagt tidspunkt i fremtiden. Andelen af plug-in hybridbiler i nybilsalget antages at blive udfaset gradvist fra 2030 og vil være helt udfaset i 2050.

Bloomberg har lavet en fremskrivning i 2017, der forventer, at elbilsalget vil have en andel på 68% af nybilsalget i EU i 2040. Dette baseres bl.a. på en antagelse om, at elbilerne samlet set bliver billigere end biler med de traditionelle teknologier mellem 2025 og 2030.

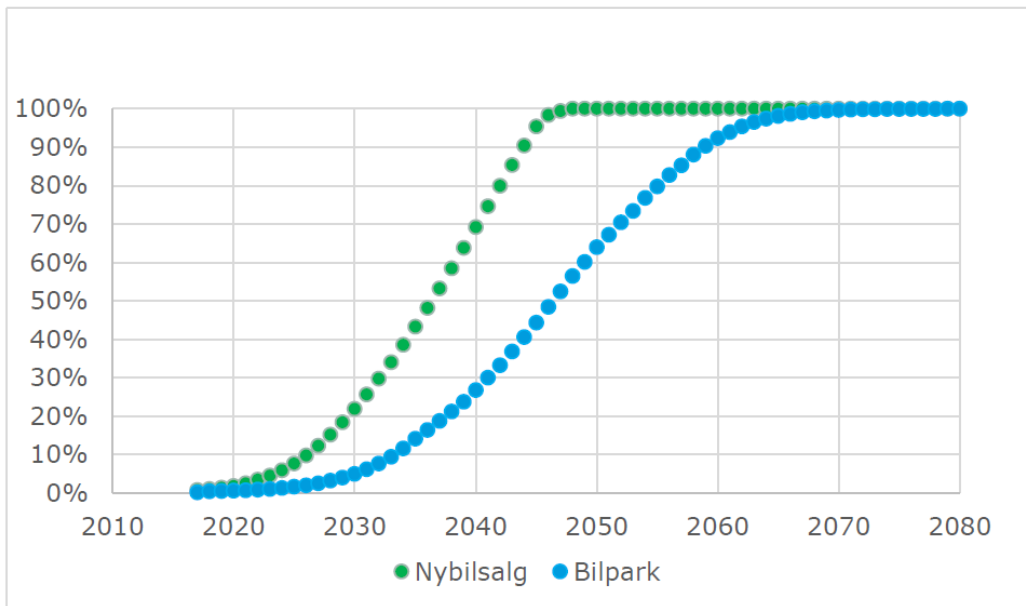
Det vurderes at markedssituationen for elbiler, når man kommer på den anden side af 2030, er mindst lige så gunstig i Danmark som i andre lande i EU, trods forskelle i afgiftssystemer. Derfor anvendes Bloombergs estimat for elbilandelen i nybilsalget i 2040. Den samlede prognose fremkommer ved at kombinere Energistyrelsens basisfremskrivning med Bloombergs estimat.

Figur 1 Elbilers andel af nybilsalget



Det antages, at elbilandelen når 100 %, selv om der sandsynligvis vil være en lille andel veteranbiler og andre køretøjer, som fortsat kører på fossile brændstoffer. Det er forudsat, at el bliver den fremherskende teknologi, så andelen af køretøjer med biobrændstoffer og andre VE brændstoffer udgør en ubetydelig andel i de samlede resultater. Med den viste andel af nybilsalget og den forventede skrotning, vil el-andelen af bilparken udvikle sig som vist i figuren nedenfor.

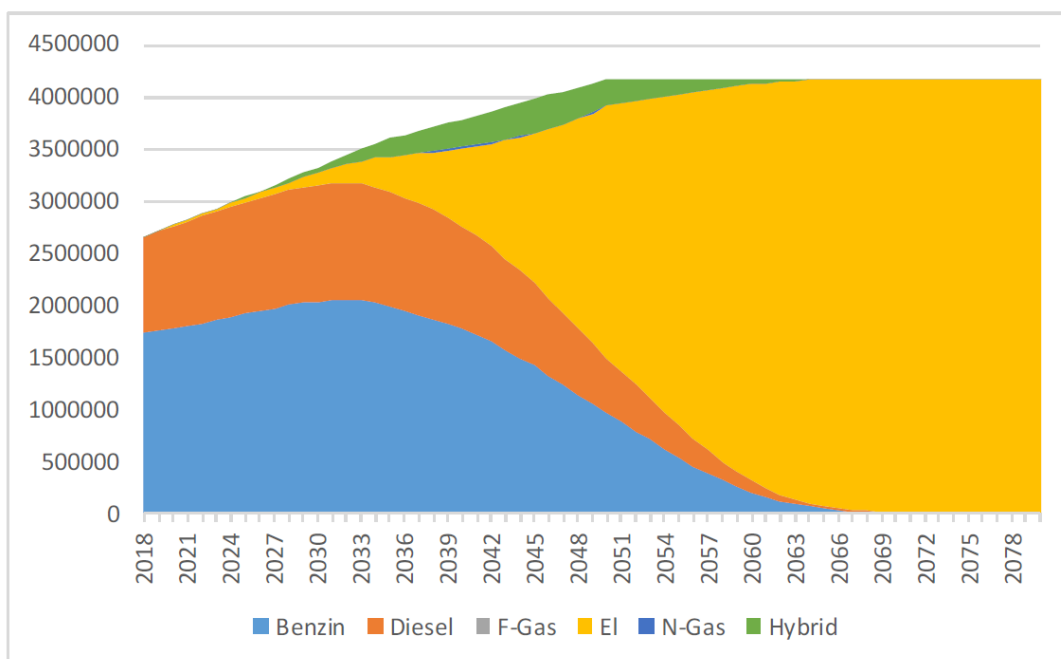
Figur 2 Elbilers andel af nybilsalg og andel af samlet bilpark



Kilde: Energistyrelsens basisfremskrivning 2018: <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/basisshyfremskrivninger> og egne beregninger

Bilparken fordelt på drivmidler ser ud som herunder og det antages, at bilparken vokser frem til 2050, hvorefter den lægges flad. Vi har 1 mio. elbiler i ca. 2045.

Figur 3 Fordeling på teknologier, antal personbiler i bilparken



Tunge køretøjer: varebiler, busser og lastbiler

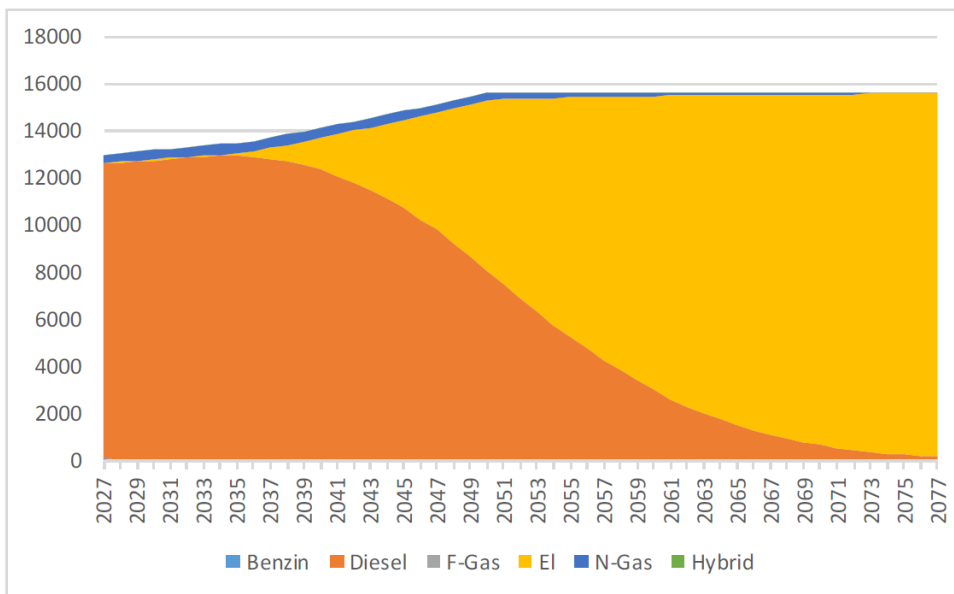
For tunge køretøjer (over 3,5 tons) er det antaget, at der kan anvendes en udvikling, der er parallel med udviklingen for personbiler, blot nogle år forsinket. Det skyldes, at det kræver mere udvikling af batterier, før de kan anvendes i tunge køretøjer, som dels bruger mere energi og dels kører længere ture.

I prognosen anvendes resultater fra en analyse gennemført af Mckinsey¹. I den analyse beregnes, at for lastbiler vil den relative omkostning for tunge køretøjer (lastbiler over 15 t) tippe 10 år senere end for små lastbiler (3,5 – 6 t) og 5 år senere end for mellemstore lastbiler. Da det yderligere antages, at de små lastbiler vil være 5 år forsinket i forhold til personbiler, fås den samlede forsinkelse på tunge køretøjer i forhold til personbiler som følger:

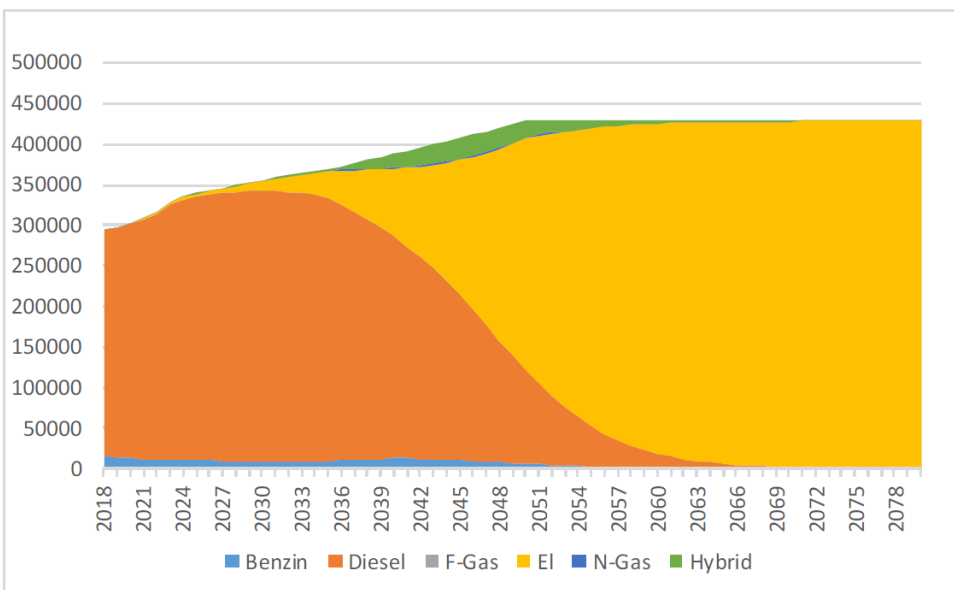
- Små lastbiler 5 års forsinkelse
- Buser og mellemstore lastbiler 10 års forsinkelse
- Store lastbiler 15 års forsinkelse.

Indfasningen på teknologier ser således ud som vist i figurerne herunder.

Figur 4 Fordeling på teknologier, antal busser

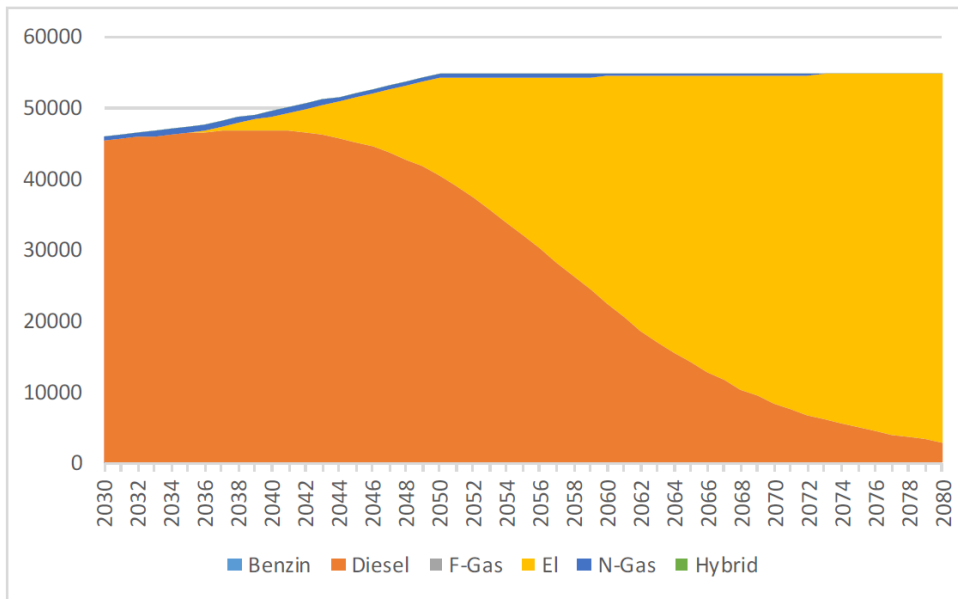


Figur 5 Fordeling på teknologier, antal varebiler



¹ <https://www.mckinseyenergyinsights.com/insights/new-reality-electric-trucksand-their-implications-on-energy-demand>, juni 2018

Figur 6 Fordeling på teknologier, antal lastbiler



Energieffektivitet og emissionsfaktorer: konventionelle drivmidler

Til beregning af emissionerne fra de enkelte køretøjer er der taget udgangspunkt i Transport-, Bygnings- og Boligministeriets beregningsværktøj TEMA2015 til energiforbrug og emissioner (luftforurening) for transporter i Danmark.

TEMA2015 kan beregne energiforbrug og emissioner for både person- og godstransport for følgende transportmidler: Personbiler, busser, tog, fly, færger, varebiler, lastbiler, godstog, godsfærger og fragtskibe.

TEMA2015 beregner et statisk billede af det enkelte køretøjs emissioner i 2015 baseret på:

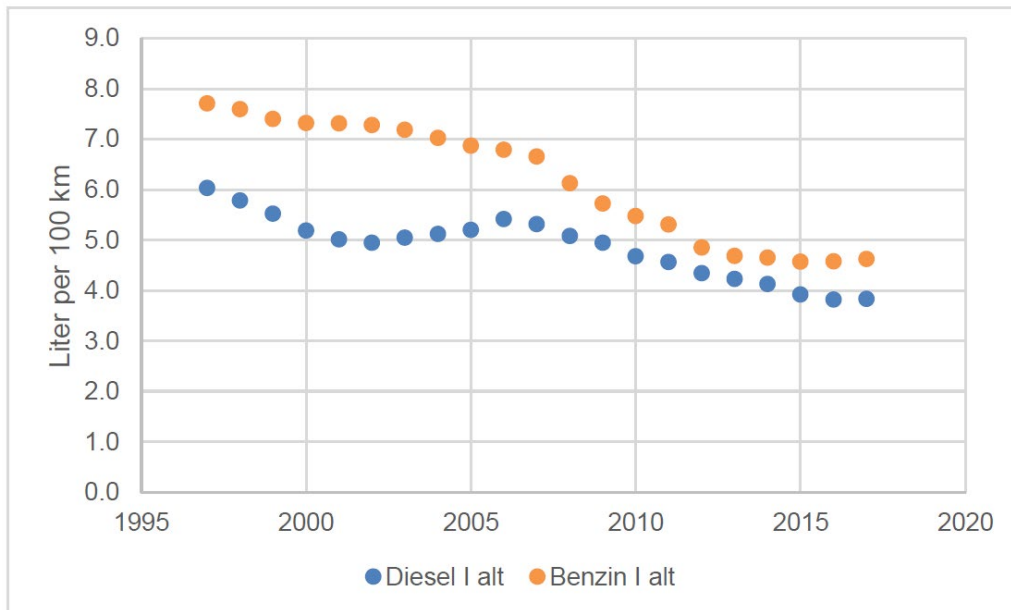
- EURO norm
- Korrektionsfaktor
- Fordeling på vejtyper.

Personbilers emissioner: EURO normer og korrektionsfaktor

Brændstofforbrug og emissioner pr kørt km afhænger af bilernes emissioner pr km, defineret ved hvad bilen udleder og hvordan kørslen foregår, dvs. kørselsmønstret.

Med hensyn til CO₂ udslip, så er bilernes effektivitet generelt forbedret historisk. Figuren nedenfor viser energieffektiviteten i nybilsalget i perioden 1997 til 2017.

Figur 7 Energieffektivitet i nybilsalget 1997 - 2017



En stor del af forbedringen skyldes imidlertid bilproducenternes metoder til at måle energiforbruget. Ifølge en rapport fra T&E (Mind the Gap, 2016) bruger bilerne i dag ca. 40% mere brændstof, end det fremgår af ECE normen. Når der korrigeres for denne forskel har der i perioden været en forbedring på ca. 18% for dieselmotorerne og ca. 23% for benzindiselmotorerne. Det svarer til ca. 1% reduktion om året.

Vi antager, at udviklingen fortsætter med 1% forbedring årligt frem til 2040 og 0.5% fra 2040 til 2080. Det antages, at denne forbedring også vil gælde for elbiler, busser og lastbiler.

Køremønstre

Emissioner fra køretøjerne i bilparken afhænger i høj grad af køremønstret. Ved bykørsel er emissionerne betydeligt højere end tilfældet er ved kørsel på landevej.

I byområder med mange stop og efterfølgende accelerationer er der relativt høje emissioner. På landevej ved 70 - 90 kilometer i timen ved nogenlunde konstant kørsel er der lave emissioner, fordi kørslen foregår jævnt, og fordi luftmodstanden ved disse hastigheder kun spiller en mindre rolle. Ved høje hastigheder vil energiforbruget og emissionerne stige, fordi luftmodstanden medfører øget energiforbrug for at bringe køretøjet fremad. Emissionerne på køremønstre er taget fra TEMA2015

I modellen anvendes standardværdier for fordeling på køremønstre, som også er standardværdien i TEMA 2015, som vist i tabellen herunder.

Tabel 2 Standardværdier for fordeling på køremønstre.

	Andel trafik
By	32%
Land	44%
Motorvej 110 kmt	12%
Motorvej 130 kmt	12%

Kilde: TEMA2015

Brugeren kan ændre standardværdierne, således at de passer med de faktiske forhold i de analyser, som man skal bruge resultaterne til.

Tunge køretøjer

Beregning af elforbruget til tunge køretøjer er beregnet ud fra lastbilernes energiforbrug omregnet til elforbrug ud fra virkningsgraderne i Energistyrelsens Model for alternative drivmidler, den såkaldte AD-Model, version 3.08. Ifølge AD Modellen har konventionelle dieseldrevne lastbiler en virkningsgrad på 23%, mens eldrevne lastbiler har en virkningsgrad på 65,4% inklusive ladetab. Det betyder, at elforbruget for en eldrevet lastbil kan beregnes som 35% af energiforbruget til en tilsvarende dieseldrevet lastbil.

Emissioner fra elproduktion

I forbindelse med udregning af emissioner fra elbiler benyttes emissionerne for elproduktion. Disse baseres på Energistyrelsens samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger, version 2018. Der tages således udgangspunkt i den officielle fremskrivning af de forventede emissioner fra elproduktion, som Energistyrelsen anbefaler at anvende i samfundsøkonomiske vurderinger.

Emissionerne knyttet til el er baseret på den af Energistyrelsen forventede gennemsnitlige danske elproduktion. Emissioner fra elbiler udregnes ved at tage højde for emissioner i elproduktionen og det forventes, at vi over de næste 20 år kommer til at se CO₂ emissionerne falde fra 165 kg/MWh i 2018 til 9 kg/MWh i 2040.

Table 3 Emissioner fra elproduktion baseret på Energistyrelsens beregningsforudsætninger.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	NO _x	PM _{2,5}
	kg/MWh	g/MWh	g/MWh	g/MWh	g/MWh	g/MWh
2018	165	118	3,4	125	253	1,5
2019	154	120	3,5	91	241	1,4
2020	144	115	4,0	82	224	1,3
2021	133	99	3,6	74	206	1,2
2022	126	93	3,5	72	201	1,1
2023	109	87	3,4	66	198	1,1
2024	106	82	3,4	66	194	1,1
2025	97	75	3,2	63	184	1,1
2026	91	67	3,0	60	170	1,0
2027	84	61	2,8	56	159	1,0
2028	78	55	2,7	53	149	0,9
2029	70	50	2,5	49	138	0,9
2030	22	47	2,1	36	118	0,8
2031	20	42	1,9	34	111	0,7
2032	19	39	1,9	33	105	0,7
2033	18	36	1,8	31	101	0,7
2034	17	33	1,7	30	95	0,6
2035	15	32	1,7	29	94	0,7
2036	13	32	1,5	28	81	0,4
2037	10	30	1,3	26	69	0,3
2038	9	29	1,3	25	66	0,3
2039	9	27	1,2	24	64	0,3
2040	9	27	1,2	24	63	0,3

Centrale resultater

I det følgende vises tabeller med oversigt over emissionsfaktorerne for hver af køretøjstyperne i udvalgte år 2018 – 2080. Emissionsfaktorerne er fremkommet ved at vægte de forskellige dele af biler pr drivmiddeltype, emissionsfaktorer (EURO norm, korrektionsfaktor) og andelen af trafikken fordelt på vejtyper.

Gennemsnitligt falder emissionerne for personbiler fra 148,2 g/km i 2018 til 1,3 g/km i 2080. Samme trend gælder for de tunge køretøjer, dog med højere absolutte værdier.

Tabel 4 Emissionsfaktorer

Tabel 6-1 Emissionsfaktorer for personbiler, g/km

	2018	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
CO₂	148,2	142,8	115,2	79,7	38,6	8,9	1,7	1,3
NO_x	0,2854	0,2501	0,1335	0,0801	0,0464	0,0198	0,0130	0,0126
PM	0,00438	0,00348	0,00130	0,00085	0,00045	0,00014	0,00006	0,00006

Tabel 6-2 Emissionsfaktorer for varebiler, g/km

	2018	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
CO₂	247,4	244,0	211,0	147,3	56,7	10,3	2,9	2,1
NO_x	0,6698	0,5780	0,3143	0,2112	0,0940	0,0320	0,0217	0,0207
PM	0,02776	0,02029	0,00495	0,00227	0,00082	0,00020	0,00010	0,00009

Tabel 6-3 Emissionsfaktorer for busser, g/km

	2018	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
CO₂	699,0	695,5	633,5	517,8	293,9	107,2	26,7	7,9
NO_x	4,0871	3,2104	0,9357	0,5484	0,3238	0,1508	0,0736	0,0548
PM	0,08349	0,06042	0,01119	0,00448	0,00235	0,00099	0,00040	0,00026

Tabel 6-4 Emissionsfaktorer for lastbiler, g/km

	2018	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
CO₂	713,1	705,4	638,7	559,7	434,0	244,8	103,2	49,6
NO_x	2,4369	1,7940	0,6573	0,5038	0,4229	0,3367	0,2741	0,2499
PM	0,04392	0,03107	0,00857	0,00501	0,00356	0,00238	0,00156	0,00124