

Transportministeriet

## **TEMA2010**

Et værktøj til beregning af transporters  
energiforbrug og emissioner i Danmark

Oktober 2010

COWI

Transportministeriet

## **TEMA2010**

Et værktøj til beregning af transporters  
energiforbrug og emissioner i Danmark

Oktober 2010

Dokumentnr. 1  
Version 3  
Udgivelsesdato 13. oktober 2010

Udarbejdet hwjo, jjd  
Kontrolleret jjd  
Godkendt jjd

## Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Opbygning af modellen</b>	<b>8</b>
2.1	Generelt	8
2.2	Afstande og vejtyper	10
2.3	Rejsehastighed	12
2.4	Belægning	12
<b>3</b>	<b>Personbiler</b>	<b>16</b>
3.1	Oversigt	16
3.2	Analyse	24
3.3	Beregningsgang	35
3.4	Kilder	36
<b>4</b>	<b>Busser</b>	<b>38</b>
4.1	Oversigt	38
4.2	Analyse	42
4.3	Beregningsgang	44
4.4	Kilder	45
<b>5</b>	<b>Persontog</b>	<b>47</b>
5.1	Oversigt	47
5.2	Analyse	53
5.3	Beregningsgang	60
5.4	Kilder	61
<b>6</b>	<b>Færger til passagertransport</b>	<b>63</b>
6.1	Oversigt	63
6.2	Analyse	65
6.3	Beregningsgang	70
6.4	Kilder	70

<b>7</b>	<b>Fly</b>	<b>72</b>
7.1	Oversigt	72
7.2	Analyse	75
7.3	Beregningsgang	79
7.4	Kilder	79
<b>8</b>	<b>Varebiler</b>	<b>81</b>
8.1	Oversigt	81
8.2	Analyse	86
8.3	Beregningsgang	93
8.4	Kilder	94
<b>9</b>	<b>Lastbiler</b>	<b>96</b>
9.1	Oversigt	96
9.2	Analyse	101
9.3	Beregningsgang	105
9.4	Kilder	107
<b>10</b>	<b>Godstog</b>	<b>108</b>
10.1	Oversigt og brugerparametre	108
10.2	Analyse	109
10.3	Beregningsgang	112
10.4	Litteratur	113
<b>11</b>	<b>Færger til godstransport</b>	<b>114</b>
11.1	Oversigt og brugervariabler	114
11.2	Analyse	115
11.3	Kilder	116
<b>12</b>	<b>Fragtskibe</b>	<b>117</b>
12.1	Introduktion	117
12.2	Brugervariabler	118
12.3	Analyse	119
12.4	Beregningsformler	121
12.5	Litteratur	121
<b>13</b>	<b>Øvrige data</b>	<b>122</b>
13.1	Beregning af hurtigste rute	122
13.2	Emissioner fra elproduktion	125
13.3	Litteratur	129

<b>14</b>	<b>Appendiks 1: Sammenvejning af miljøeffekter.</b>	<b>130</b>
14.1	Skadesvirkninger af emissioner	131

## Variabel konvention

Følgende viser hvilke symboler og bogstaver, der er anvendt i rapporten.

Variabel	Forklaring	Enhed
$E$	Emission	[g]
$E^P$	Emission pr. person	[g/p]
$E^G$	Emission pr. ton	[g/ton]
$E^E$	Emission pr. el energiforbrug	[g/kWh]
$e^P$	Emission pr. personkm	[g/pkm]
$e^K$	Emission pr. pladskm	[g/plkm]
$e^G$	Emission pr. tonkm	[g/tonkm]
$e$	Emission pr. km	[g/km]
$q$	Energiforbrug pr. km	[MJ/km] / [kWh/km]
$q^P$	Energiforbrug pr. personkm	[MJ/pkm] / [kWh/pkm]
$q^G$	Energiforbrug pr. tonkm	[MJ/tonkm] / [kWh/tonkm]
$q^K$	Energiforbrug pr. pladskm	[MJ/plkm] / [kWh/plkm]
$C$	Personbilækvivalent	[]
$B$	Belægningsprocent	[%]
$K^P$	Kapacitet i transportmidlet	[antal sæder el. bilpladser]
$K^G$	Transportmidlets lasteevne	[ton]
$H$	Kørehastighed (i øjeblikket)	[km/h]
$V$	Rejsehastighed (i gennemsnit)	[km/h]
$T$	Temperatur	[°C]
$S$	Slitage	[km]
$D$	Distance	[km]
$F$	Emissions-korrektionsfaktor	[]
$G$	By, land eller motorvejsandel	[%]

<b>Index som fodtegn</b>	<b>Forklaring</b>	<b>Værdier</b>
<i>l</i>	Luftforurening (Emissionstype)	CO <sub>2</sub> , CO, HC, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , Partikler
<i>i</i>	Fra	Byer, havne, stationer, luft-havne
<i>J</i>	Til	Byer, havne, stationer, luft-havne
<i>T</i>	Transportmiddeltype	EURO type, produkt-litra, mm.
<i>G</i>	Geografi	Land, by
<i>S</i>	Segment eller strækning	1..42 el. strækningsnavn

## Forord

TEMA modellen er transportministeriets beregningsværktøj til energiforbrug og emissioner for transport i Danmark. Modellen har opnået en bred brugerflade og anvendes af ministerier, styrelser, uddannelses og forskningsinstitutioner, kommuner og virksomheder til grønne regnskaber.

De seneste par år er der sket en markant udvikling i energieffektiviteten og ikke mindst har nye transportmuligheder og – teknologier meldt sig på banen. Derfor har det været nødvendigt med en opdatering af modellen, hvilket er baggrunden for den seneste udgave, TEMA2010. Projektet er udført af COWI for Transportministeriet, og arbejdet blev igangsat i 2008.

Det er nu muligt med TEMA 2010 at regne på eksempelvis anvendelse af Københavns metro, elbiler, hybridbiler og modulvogntog samt biobrændstoffer. Modellen giver derfor mulighed for at diskutere transportpolitiske udfordringer på et fælles grundlag, og den kan bruges i mange transportpolitiske sammenhænge med det sigte, at forbedre planlægning og beslutningsgrundlag i forbindelse med person- og godstransportens påvirkning af omgivelserne.

Opdateringen af modellen har været organisatorisk forankret ved Transportministeriet som formand og styregruppens øvrige medlemmer Trafikstyrelsen, Færdselsstyrelsen, Vejdirektoratet og Energistyrelsen. Alle medlemmer af styregruppen har bidraget økonomisk til opdateringen.

Arbejdet har været fulgt af en følgegruppe bredt sammensat af interesseorganisationer og relevante aktører med henblik på input og skabe fælles forståelse for udregningerne. Med TEMA2010 er der taget højde for udviklingen, og de nye trends er indarbejdet. Forbedringerne er tilvejebragt i tæt samspil med en følgegruppe bestående af erhvervsorganisationer, trafikoperatører og myndigheder, som har fulgt arbejdet med et stort og aktivt engagement.



## 1 Indledning

Formålet med denne rapport er at dokumentere de data og emissionsberegninger, der ligger til grund for PC-modellen TEMA2010 (TEMA = Transporters Emissioner under Alternative forudsætninger).

Modellen kan anvendes til at beregne energiforbrug og luftemissioner for såvel person som godstransporter. Brugeren skal som minimum angive, hvilket transportmiddel der ønskes anvendt, og hvor mange personer/tons gods der ønskes transporteret, i så fald regnes der på en typisk situation. Derudover giver TEMA2010 brugeren mulighed for at specificere en lang række parametre som f.eks. afstand, belægning, brændstof, hastighed, køremønster osv. På denne måde kan modellen også bruges til at regne på konkrete transportere, der afviger fra det typiske.

I rapporten skelnes der mellem transportformer og typer. Transportformer bruges om den mere overordnede opdeling (personbil, bus, tog osv.), mens typerne af transportmidler er en finere opdeling inden for hver transportform.

Rapporten er opdelt i kapitler efter transportform. Der er tilstræbt samme struktur i alle de kapitler, der vedrører transportformerne: Indledningsvis begrundes de valg af data og metode, der gælder for den pågældende transportform. I afsnit 1 gives en oversigt over de faktorer, der er inddraget for den pågældende transportform. I afsnit 2 præsenteres analyser af de forskellige faktoreres indvirkning på energiforbrug og emissioner. I afsnit 3 vises beregningsformlerne. I afsnit 4 vises den litteratur, der er anvendt ved den pågældende transportform.

Hovedvægten i rapporten er lagt på en dokumentation af de anvendte forudsætninger og beregningstekniske procedurer.

## 2 Opbygning af modellen

### 2.1 Generelt

Modellen er opdelt i to dele for henholdsvis persontransport og godstransport. Der er tale om to separate modeller, der trods den fælles overordnede struktur er helt uafhængige. Det er således ikke muligt at foretage sammenligninger af energiforbrug og emissioner på tværs mellem person- og godstransport inden for modellens rammer.

Persontransporter foregår typisk fra dør til dør og sammensættes ofte af forskellige transportmidler til en kæde. F.eks. køres der i taxi eller tog til lufthavnen, fly fra lufthavnen til anden lufthavn og taxi igen til den endelige destination. Eller bus eller S-tog til en hovedstation, Intercity til en ny station og så bus til den endelige destination.

Tilsvarende for godstransport, som også i mange tilfælde udføres som sammensat transport, f.eks. med lastbil eller varebil fra afsenderen til en godsterminal og videre til en anden godsterminal med lastbil, tog eller skib og derfra videre igen med en distributionsbil til modtageren.

Outputtet fra modelberegningerne er energiforbrug (målt i MJ) samt emissioner (målt i gram) af

- CO<sub>2</sub>
- CO
- NO<sub>x</sub>
- HC
- SO<sub>2</sub>
- Partikler

Resultaterne (energiforbrug og emissioner) opgøres totalt pr. transportmiddel, pr. transportmiddelkilometer og pr. personkilometer eller tonkilometer, og præsenteres i tabelform samt ved grafiske illustrationer. Derudover er der mulighed for at eksportere resultaterne til andre applikationer, således at resultaterne kan viderebearbejdes efter brugerens ønsker.

Der er generelt stor usikkerhed ved beregning af emissionsfaktorer, hvilket betyder, at emissionsresultaterne fra TEMA må tages med et vist forbehold. I de tabeller, brugeren præsenteres for, er det alligevel valgt at vise resultaterne med

to decimaler. Antallet af decimaler skal ikke tages som et udtryk for stor præcision i beregningerne, men er alene medtaget for at give en ensartet præsentation samt for at undgå for store fejl på grund af afrunding.

EDB-implementeringen af modellen er foretaget i Delphi v. 10, hvilket gør, at TEMA er blevet en selvstændig applikation.

#### Tur-begrebet

For en given tur kan brugeren enten specificere, hvor turen starter og ender, eller selv specificere turlængden. Der er i TEMA indlagt information om afstande mellem udvalgte destinationer i Danmark. Således kan brugeren vælge mellem 687 destinationer, der udgør byer med flere end 1.000 indbyggere, DSB's stationer på hoved-, regional- og lokalbaner, S-togsnettet, metrostationer, lufthavne og større havne. TEMA kender vej- og baneafstanden mellem destinationerne, og kan beregne, hvor stor en del af emissionerne, der finder sted i byområder for en given transport.

Herudover skal brugeren vælge transportform og type. De transportmidler, som modellen vælger "default", er det typiske transportmiddel for den pågældende transportform på den valgte rute. Brugeren har mulighed for at ændre på modellens standardopsætninger af transportmidlerne, f.eks. køremønster og slitage, samt ændre på de standardbelægningsgrader, som modellen foreslår.

I Tabel 2-1 ses de transportformer, der er medtaget i modellen.

Tabel 2-1 *Transportformer og transportmiddeltyper*

Persontransport	Godstransport
<b>Personbil</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Benzin</li> <li>• Ethanol</li> <li>• Diesel</li> <li>• Biodiesel</li> <li>• Hybrid</li> <li>• El</li> </ul> <b>Bus</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bybus</li> <li>• Turistbus</li> </ul> <b>Persontog</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regionaltog</li> <li>• Intercitytog</li> <li>• Lyntog</li> <li>• S-tog</li> <li>• Metro</li> </ul> <b>Færge</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hurtigfærge</li> <li>• Konventionel færge</li> <li>• Mindre færge</li> </ul> <b>Fly</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jet</li> <li>• Turboprop</li> </ul>	<b>Varebil &lt; 3,5t</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Benzin</li> <li>• Diesel</li> </ul> <b>Lastbil</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diesel, solo</li> <li>• Diesel, med anhænger</li> <li>• El, solo</li> </ul> <b>Godstog</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diesel</li> <li>• El</li> </ul> <b>Færge</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konventionel færge</li> <li>• Mindre færge</li> </ul> <b>Fragtskib</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bulk carrier (massegodsskib)</li> <li>• Containerskib</li> </ul>

## 2.2 Afstande og vejtyper

I TEMA2010 kan der rejses mellem 687 destinationer. Disse omfatter

- Byer med mere end 1.000 indbyggere
- Togstationer på hoved-, regional- og lokalbaner
- S-togsstationer
- Metrostationer
- Lufthavne, der betjener de væsentligste indenrigsrute-fly
- Færgehavne, der betjener de væsentligste færgeruter
- Malmö og Ystad

### Vejafstande

Der benyttes det samme vejnet med tilhørende afstandstabel for alle personbiler, varebiler, lastbiler samt busser, dog er vejnettet udbygget således, at det også indeholder metrostationer og de S-tog stationer, der er kommet til siden 2000. Turlængden kan i TEMA2010 enten specificeres direkte eller ved at angive rejsens udgangspunkt og destination. Vælges sidstnævnte mulighed, beregner TEMA2010 selv afstanden mellem de to lokaliteter på baggrund af en tabel over vejafstande mellem 687 lokaliteter.

Vejafstandene mellem byerne i TEMA er beregnet og lagt ind i en afstandsmatrix, og det er ved afstandsberegningen antaget, at der vælges den hurtigste rute. De hastigheder, der er anvendt til beregning af ruten, er personbilhastigheder. For busser og lastbiler er hastigheden på motorvej lavere end for personbiler, men det vurderes imidlertid, at de beregnede ruter i rimeligt omfang vil afspejle de faktiske ruter for lastbiler. For busser vil den hurtigste rute derimod ofte undervurdere køreafstanden fra et punkt til et andet, da busruter planlægges efter andre kriterier end tiden.

Standardværdierne for afstanden mellem to lokaliteter skal derfor ses som et groft skøn for busserne, da busser ikke kører den korteste vej, men efter en rute, der er fastlagt af andre hensyn. I PETRA (1997) er det beregnet, at en bus typisk kører 13 procent længere end en bil, der kører den hurtigste vej. Dertil kommer yderligere en strækning, idet der kan være en afstand fra såvel udgangspunkt som destination til de nærmeste stoppesteder. Beregningen er alligevel inkluderet for at give brugeren en indikation af den korteste vejafstand mellem de valgte lokaliteter, og det er herefter op til brugeren at vurdere den konkrete afstand for bussens faktiske rute.

#### Skinneafstande

Alle person- og godstog - med undtagelse af S-tog og metro - kører på HRL-nettet. HRL-nettet er inddelt i 42 segmenter, og inddelingen er foretaget således, at nettet er opdelt i sammenhængende strækninger, som ikke forgrener sig eller skifter status fra f.eks. hoved- til regionalbane. Til hvert segment er knyttet en by- og landprocent, som er andelen af segmentet, der ligger i henholdsvis by- og landzone. Dette er med henblik på at kunne fordele dieselemissionerne på udledninger i by eller på landet.

Til beregning af længden af en rejse med S-tog benyttes en afstandstabel, der angiver den korteste skinne-afstand mellem ethvert muligt par af S-togsstationer. Tilsvarende benyttes en afstandstabel for metroen over skinneafstanden mellem metrostationerne.

#### Afstand med fly

I TEMA2010 er der medtaget danske indenrigsruter anno 2009. Afstandene mellem lufthavnene stammer fra Københavns Lufthavns hjemmeside, hvor flyveafstanden mellem lufthavnene er estimeret. Det bemærkes, at de afstande, der benyttes i TEMA2010, dermed repræsenterer de faktiske flyvedistancer, hvilke som følge af flyets op- og nedstigninger er længere end fugleflugtsafstande mellem de tilsvarende lufthavne.

#### Vejtyper

I TEMA2010 er afstandene, som i TEMA2000, opdelt på fire forskellige vejtyper:

- Veje i byområder (undtaget motorveje)

- Veje i landområder (undtaget motorveje)
- Motorveje i byområder
- Motorveje i landområder

By defineres som mindst 200 indbyggere i en sammenhængende bebyggelse med mindre end 200 m mellem husene, hvilket er den samme definition, som anvendes af Danmarks Statistik.

Opdelingen af emissionerne fra vejtransport på by og land er foretaget ved at opdele vejene i veje i og uden for byområder. Denne opdeling er foretaget ved hjælp af et GIS kort, der viser, hvilke områder der ligger i byområder, og hvilke der ligger udenfor. "By" betyder således, at vejen ligger i et område, hvor der er mindre end 200 meter mellem to huse. En væsentlig del af motorvejene omkring København ligger derfor i "By" ud fra denne definition. De fleste andre motorveje ligger uden for "By".

## 2.3 Rejsehastighed

Køremønstre for biler og busser

Til hver af de fire vejtyper hører for såvel personbiler, varebiler, lastbiler og busser et køremønster repræsenteret ved en gennemsnitlig rejsehastighed. I TEMA2010 er der indarbejdet et standardvalg, men brugeren har mulighed for at ændre den gennemsnitlige rejsehastighed med henblik på at afspejle en konkret situation. Default-værdierne er fastsat på baggrund af undersøgelser/målinger af gennemsnitshastigheder samt eksperter skøn. I de efterfølgende kapitler vedrørende de enkelte køretøjer uddybes TEMA2010's standardkøremønstre.

Et transportmiddels køremønster er karakteriseret ved en gennemsnitshastighed, der er resultatet af den variable kørehastighed og mængden af stop undervejs. Køremønstre med lav hastighed er derfor ensbetydende med mange stop og dermed større energiforbrug og emissioner end "jævne" køremønstre med middelhøje gennemsnitshastigheder.

Køremønstre for persontog

Opdelingen i regionaltoget, intercitytoget og lyntog med tilhørende standsemønstre svarer til køremønstre for biler, således at et øget antal stationer på en given togrute øger antallet af accelerationer og dermed energiforbruget og emissionerne. Regionaltoget har f.eks. kortest distance mellem stationerne og standser derfor oftest, mens Intercity standser færre gange og lyntog kun standser i de største byer og dermed har længst mellem stationerne.

## 2.4 Belægning

Definition af begrebet "belægning"

Ved belægning forstås antallet af personer eller mængden af gods, der transporteres på turen. I TEMA2010 indgår foruddefinerede belægningsgrader, der er et udtryk for gennemsnitlige værdier, og det er ikke umiddelbart nødvendigt at ændre disse, medmindre brugeren ønsker at afspejle en konkret tur, der ikke kan forventes at være gennemsnitlig. Det kunne f.eks. være en tur i myldretiden. En sådan beregning vil kræve kendskab til belægningsgraden i myldretiden fra andre kilder end TEMA.

Det er ikke muligt at vælge en belægningsgrad over 100 pct. for person-, last- og varebiler. I busserne repræsenterer 100 pct. alene siddepladserne. Belægningsgraden i busser kan sættes til over 100 pct. for at afspejle fuld udnyttelse af sidde- og ståpladser. For persontog kan der vælges en belægningsgrad op til 100 procent.

**Belægning i personbiler** For personbiler har belægningsgraden ikke indflydelse på den enkelte bils emissioner og energiforbrug, da det antages, at en bil har samme energiforbrug uanset antallet af personer<sup>1</sup>. Derimod har belægningen betydning for de passagerspecifikke forbrugs- og emissionstal, idet en bil med to passagerer alt andet lige har halvt så stort energiforbrug pr. personkm i forhold til en bil med en enkelt passager.

**Belægning i busser** For busser derimod medregnes belægning ved selve emissionsberegningen. Passagererne i bussen gør bussen tungere, hvorved bussen bruger mere energi og udsender flere emissioner. Default-belægning i busserne varierer alt efter, hvilken bustype der er tale om.

Endvidere kan det argumenteres, at en bus med færre passagerer vil stoppe færre gange undervejs på turen, end en bus med relativt flere passagerer. Denne effekt af belægningsgraden kan afspejles af brugeren ved at vælge en hurtigere eller langsommere gennemsnitshastighed, og dermed simulere en rejse med færre eller flere standsninger undervejs.

**Belægning i persontog** For transporter med persontog inkluderes passagerbelægning ikke ved selve emissionsberegningen, da der estimeres emissioner på baggrund af en gennemsnitlig belægningsgrad, og det antages, at energiforbruget ikke afhænger af antallet af passagerer. Belægningen har derimod betydning for de passagerspecifikke forbrugs- og emissionsestimater, og brugeren har mulighed for selv at ændre belægningsgraden, såfremt rejsen tænkes foretaget i perioder med større eller mindre belægning.

Det bemærkes, at det faktiske passagertal i særligt belastede perioder kan være højere end den oplyste kapacitet, idet kapaciteten for alle andre tog end metro antages at svare til antallet af siddepladser, mens kapaciteten for metroen svarer til det af Metroselskabet oplyste maksimale passagertal.

**Belægning på færger** Færgernes emissioner påvirkes ikke af hvor mange passagerer, der er med færgen. Derimod deles emissionerne fra færgen mellem de typer af transporter som færgen sejler med:

- Landgangspassagerer
- Personbiler
- Busser
- Lastbiler

<sup>1</sup> I det datamateriale der ligger til grund for TEMA findes ikke belastningsafhængige emissionsfunktioner for personbiler.

Hvor stor en del af færgets emissioner, en enkelt personbil tillægges, afhænger således af, hvor mange personbiler, landgangspassagerer, busser og lastbiler færgeren ellers medbringer.

Som default antages det, at færgeren medbringer biler, busser og lastbiler svarende til opgørelserne fra Danmarks statistik. Brugeren kan selv ændre dette for at afspejle en konkret situation i det omfang, der foreligger oplysninger om færgerens øvrige belægning.

#### Belægning i fly

For transporter med fly inkluderes belægningen ikke i selve emissionsberegningen, da det antages, at emissionsudledningen er upåvirket af belægningsgraden. Derimod har belægningen betydning for de personspecifikke emissioner. TEMA benytter default de gennemsnitlige belægningsgrader på de enkelte indenrigsruter, men brugeren har mulighed for at ændre dette for at afspejle en konkret situation.

#### Belægning i varebiler

For varebiler har belægningen ikke indflydelse på de beregnede, samlede energiforbrug og emissioner, men kun på de belægningsspecifikke forbrugs- og emissionstal. Varebilerne i TEMA2010 har en default lasteevne på 1 ton og en default belægningsgrad på 48 procent, hvilket brugeren kan ændre for at afspejle en konkret, ikke-gennemsnitlig tur. Der kan ikke ændres på antallet af personer, der transporteres med varebilen.

#### Belægning i lastbiler

For lastbiler indgår belægningen i modsætning til varebiler i både beregningen af lastbilens emissioner samt ved beregning af resultater pr. tonkilometer. Årsagen er, at godset gør lastbilen tungere, hvorved den bruger mere energi og udsender flere emissioner. Det samme er tilfældet for varebiler, men i noget mindre grad da lasten udgør en noget mindre andel af den samlede vægt i varebiler sammenlignet med lastbiler. Når denne sammenhæng ikke regnes med for varebiler skyldes det, at der ikke foreligger datamateriale til en lignende beregning for varebiler. Der anvendes en default belægningsgrad på 48 procent (Statistiske Efterretninger), men brugeren har mulighed for at ændre dette.

#### Belægning i godstog

I TEMA inkluderes ingen belægningsgrad for godstog, dvs. den procentvise udnyttelse af kapaciteten, idet den øvre grænse for kapacitet afhænger af en lang række faktorer, bl.a. strækningen, tilladt akseltryk, lokomotivets trækraft, terrænforhold samt togvogne. Belægningen angives derfor alene som godsets vægt. Belægningen på godstog indgår i beregningen af emissioner, da lokomotivet bruger mere energi, jo større vægt, det skal trække.

#### Belægning på gods-færger

Belægning vedrørende godstransport på færger er helt parallelt med beregning af emissioner for passagererne. Færgernes emissioner påvirkes ikke af, hvor mange passagerer og gods der er med færgeren. Derimod deles emissionerne fra færgeren mellem de typer af transporter, som færgeren sejler med:

- Landgangspassagerer
- Personbiler
- Busser
- Lastbiler



Hvor stor en del af færgets emissioner, en enkelt lastbil tillægges, afhænger således af, hvor mange landgangspassagerer, personbiler, busser og lastbiler færgen ellers medbringer.

Som default antages det, at færgen medbringer biler, busser og lastbiler svarende til opgørelserne fra Danmarks Statistik. Brugeren kan selv ændre dette for at afspejle en konkret situation i det omfang, der foreligger oplysninger om færgets øvrige belægning.

### 3 Personbiler

Emissioner og energiforbrug for en rejse med personbil beregnes med udgangspunkt i den kørte distance multipliceret med gennemsnitlige emissionsfaktorer og energiforbrug pr. kilometer. I beregningen af de gennemsnitlige faktorer tages der hensyn til rejsens køremønster, og endvidere er følgende determinerende faktorer inddraget i modellen:

- Biltype (herunder godkendelsesnorm samt motortype og -størrelse)
- Kørselsfordeling på by, landevej og motorvej
- Den gennemsnitlige rejsehastighed inden for hver af disse kategorier
- Slitage
- Koldstart
- Belægning, dvs. antal personer i bilen

Sidstnævnte indgår kun i beregningen af resultaterne pr. personkilometer, og altså ikke i beregningerne af de samlede emissioner for turen.

#### 3.1 Oversigt

TEMA2010 beregner energiforbrug og emissioner for personbiler mellem 687 destinationer i Danmark. Hvis der vælges udgangspunkt og destination, beregner programmet selv rejsens længde samt kørselsfordeling på by, land og motorvej på baggrund af standardindstillinger for en række forudsætninger. Derudover kan brugeren selv specificere afstande, fordeling på forskellige vejtyper, rejsehastigheder, belægning, omgivende temperatur samt kilometerstand.

Emissioner og energiforbrug for en rejse med personbil beregnes med udgangspunkt i den kørte distance multipliceret med gennemsnitlige emissionsfaktorer og energiforbrug pr. km. I beregningen af de gennemsnitlige faktorer tages der hensyn til følgende:

- Godkendelsesnorm
- Drivmiddel
- Motorstørrelse
- Afstand (udgangspunkt og destination)
- Belægning
- Rejsehastighed
- Koldstart
- Udetemperatur
- Slitage

I Tabel 3-1 kan ses en oversigt over de inkluderede personbiltyper fordelt på drivmiddel og motorstørrelse

*Tabel 3-1 Personbiltyper fordelt på drivmiddel og motorstørrelse*

Drivmiddel	Motorstørrelse
Benzin	< 1,4 liter
	1,4-2,0 liter
	> 2,0 liter
Diesel	< 2,0 liter
	> 2,0 liter
Hybrid (benzin + el)	< 1,6 liter
El	74 kW

Benzin og diesel kan yderligere specificeres efter indhold af biobrændstoffer. De angivne brændstoffer svarer til de brændstoffer der er anvendt i Energistyrelsens drivmiddelrapport.

#### Benzin

- Benzin uden biobrændstoffer
- Benzin med 5% ethanol
- Benzin med 85% ethanol

#### Diesel

- Diesel uden biobrændstoffer
- Biodiesel

### 3.1.1 Emissionsgrænser

Personbilerne i Danmark skal overholde emissionsgrænser (normer), der afhænger af bilens alder. Da bilerne konstrueres, så de overholder disse emissionsgrænser med en vis margin, betyder det, at forskellige biler under samme norm har næsten samme emission.

Normerne til benzin- og dieslbilerne er fastsat af EU og er løbende blevet skærpet, hvilket bevirker, at nyere biler generelt har lavere emissionsfaktorer end ældre biler.

Normer er relateret til typegodkendelsen, hvor bilernes emissioner måles under gennemførelse af et standardiseret køremønster i en forsøgsopstilling. Der foretages tests under anvendelse af flere forskellige kørecykler:

*UDC* : *Urban Driving Cycle*, som er 4,05 km simuleret bykørsel med en maksimalhastighed på 50 km/t og en gennemsnitshastighed på 18,6 km/t. UDC udføres med start med varm eller kold motor og kaldes henholdsvis UDC-hot eller UDC-cold.

*EUDC* : *Extra Urban Driving Cycle*, som er 6,95 km simuleret landevejs- og motorvejskørsel med varm motor. Maksimalhastigheden er 120 km/t, og gennemsnitshastigheden er 62,5 km/t.

*Eurotest* : en kombineret kørecyklus sammensat af en UDC-cold efterfulgt af en EUDC (i alt 11,00 km med gennemsnitligt 33,6 km/t).

Før EURO 1 anvendtes UDC, som repræsenterede køremønsteret i bytrafik. For EURO 1 og EURO 2 anvendes UDC+EUDC. Opsamling af de forurenende stoffer starter dog først efter en stabiliseringsperiode på 40 sekunder. I forbindelse med indførelsen af EURO 3 justeres testcyklussen, således at opsamlingen starter umiddelbart efter start af motor, dvs. at man fjerner den førnævnte stabiliseringsperiode på 40 sekunder.

De følgende tabeller viser de fastsatte normer for benzin- og dieslbilers emissioner. Det bemærkes, at de hybridbiler, der er inkluderet i TEMA, skal overholde normerne for benzinbiler.

Tabel 3-2 Typegodkendelsesnormer for benzinbilers emissioner

Benzin	I kraft	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Partikler
Pre-EURO <sup>1)</sup>	10.1986	15-27 <sup>4)</sup>	4,6-6,8 <sup>4)</sup>		-
EURO 1	10.1990 <sup>3)</sup>	2,7	0,97		-
EURO 2 (korrigeret) <sup>2)</sup>	01.1997	2,2 (2,7)	0,5 (0,34) (0,25)		-
EURO 3	01.2001	2,3	0,20	0,15	-
EURO 4	01.2006	1,0	0,1	0,08	-
EURO 5	01.2011	1,0	0,1	0,06	0,005 <sup>5)</sup>
EURO 6	09.2015	1,0	0,1	0,06	0,005 <sup>5)</sup>

1) R15-04, før da R15-03 fra 1.10.84.

2) Omregnet til den testcyklus, der anvendes for EURO 3 og 4.

3) EURO 1 trådte først i kraft i EU fra 1.1.94, men i Danmark indførtes krav (A-12), der i store træk svarer hertil allerede fra 1990.

4) Afhængigt af vægklassen.

5) Gælder alene for biler med "direct injection engines".

Kilde: EU-direktiver, [www.dieselsnet.com](http://www.dieselsnet.com).

Tabel 3-3 Typegodkendelsesnormer for dieslbilens emissioner

Diesel	I kraft	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Partikler
Pre EURO	10.1986	15-27	4,6-6,8		-
EURO 1	10.1990 <sup>1)</sup>	2,7	0,97		0,14
EURO 2	01.1997	1	0,7		0,08
EURO 3	01.2001	0,64	0,56 (0,50) <sup>2)</sup>		0,05
EURO 4	01.2006	0,5	0,3 (0,25) <sup>2)</sup>		0,025
EURO 5	01.2011	0,5	0,23 (0,18) <sup>2)</sup>		0,005
EURO 6	09.2015	0,5	0,17 (0,08) <sup>2)</sup>		0,005

1) EURO 1 trådte først i kraft i EU fra 1.1.94, men i Danmark indførtes krav (A-12), der i store træk svarer hertil allerede fra 1990.

2) For NO<sub>x</sub> alene.

Kilde: EU-direktiver, [www.dieselsnet.com](http://www.dieselsnet.com).

Ikrafttrædelsesdatoen angiver, at alle nye biler, der sælges efter denne dato, skal overholde grænseværdierne.

I modellen er alle benzinbiler uden katalysator slået sammen i en gruppe (pre-EURO). De normer, der var gældende før 1986, var lidt svagere end i perioden 1986-1990, men det vurderes ikke at give nogen nævneværdig yderligere usikkerhed at betragte alle biler fra før 1990 som samme klasse.

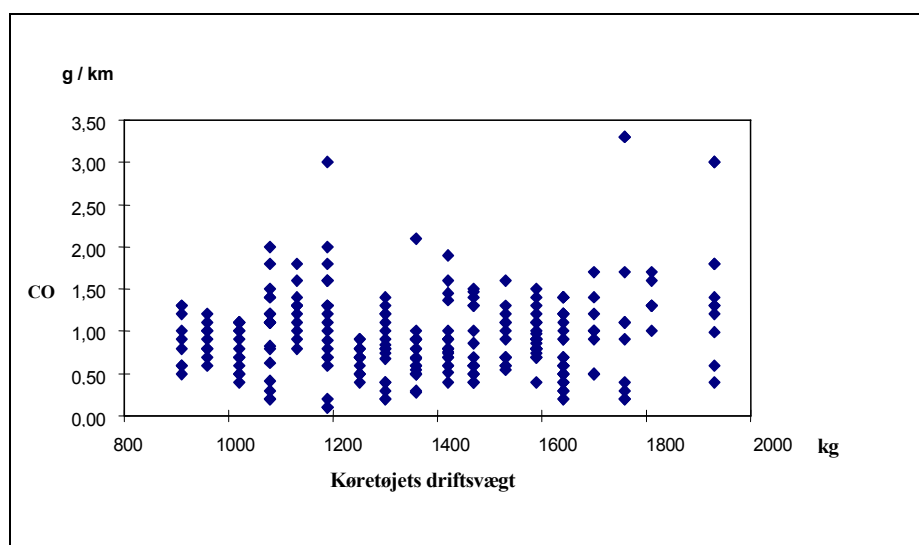
Ud over godkendelsesnorm er der for benzinbiler mulighed for at vælge mellem tre motorstørrelser, < 1,4 liter, 1,4-2 liter samt > 2 liter, mens der for hybridbiler alene kan vælges en motorstørrelse under 1,6 liter, og der for dieselmotorer er mulighed for at vælge mellem to motorstørrelser, henholdsvis under og over 2 liter.

For benzinbiler med katalysator påvirker valg af motorstørrelse alene energiforbruget (og dermed også CO<sub>2</sub>), mens de øvrige emissioner er ens, uafhængig af motorstørrelsen.

Lovkravene vedrørende begrænsning af emissionerne gør, at forskellene mellem bilerne udlignes. Dette gør sig særligt gældende for katalysatorbilerne. Store biler med kraftige motorer vil alt andet lige have større emissioner end små, men for at opfylde lovkravene, der er ens for alle personbiler, må fabrikkerne bekoste mere effektivt emissionsbegrænsende udstyr på disse biler. For biler, der er godkendt efter samme normer, er der således principielt ingen grund til at forvente lavere emissioner fra de mere energieffektive biler.

Som illustration af, at denne problemstilling faktisk også gør sig gældende i praksis, er CO-emissionen i gram pr. kilometer afbildet som funktion af køretøjsvægten i nedenstående figur, der er baseret på FTP-hot-tallene for katalysatorbilerne fra den svenske database.

Figur 3.1 Sammenhæng mellem CO-emissionsfaktor og køretøjsvægt



Kilde: TEMA version 2, Dokumentationsrapport

Ud fra figuren kan der ikke spores nogen sammenhæng mellem emissionernes størrelse og bilernes vægt. Endvidere er der selv for biler med omtrent samme vægt typisk en faktor 5 - 10 til forskel mellem den lavest og højeste emissionsmåling. Selvom der er stor spredning i de viste emissioner, er det dog værd at bemærke, at disse værdier alle ligger væsentligt under værdierne for biler uden katalysator.

Der er foretaget statistiske analyser af de 229 katalysatorbiler i den svenske database. Betydningen af motorstørrelse, motoreffekt og bilernes vægt har været analyseret, uden at der har kunnet konstateres signifikante indflydelser på hverken CO, NO<sub>x</sub> eller partikler. For HC kan der ses en signifikant, men ganske svag positiv indflydelse fra vægten af bilerne. Effekten er dog ubetydelig i forhold til den samlede variation i emissionsfaktorerne.

### 3.1.2 Forudsætninger

#### Afstand

Rejseafstanden kan specificeres direkte eller ved at angive, hvor man ønsker at komme fra og til. Hvis man specificerer udgangspunkt og destination, beregner TEMA2010 selv afstanden mellem de to lokaliteter. Det sker på baggrund af en tabel over vejafstande mellem de 687 lokaliteter, der er valgt at medtage i TEMA. For en nærmere beskrivelse af vejafstande se særskilt kapitel.

Afstanden er opdelt på følgende vejtyper:

- Veje i byområder (undtaget motorveje)
- Veje i landområder (undtaget motorveje)
- Motorveje i byområder
- Motorveje i landområder

#### Køremønstre

Til hver vejtype hører et køremønster repræsenteret ved en gennemsnitlig rejsehastighed. I Tabel 3-4 ses modellens default-værdi, dvs. det standardvalg, der ligger i modellen. Disse værdier er fastsat på baggrund af undersøgelser/målinger af gennemsnitshastigheder samt eksperter skøn.

*Tabel 3-4 Default rejsehastigheder for personbiler*

	By	Land
Motorvej	110	120
Øvrige veje	30	70

Køremønsteret er karakteriseret ved en gennemsnitshastighed, der er resultatet af den variable kørehastighed og antal stop. Køremønstre med lav hastighed er derfor ensbetydende med mange stop og dermed større energiforbrug og emissioner end "jævne" køremønstre med middelhøje gennemsnitshastigheder.

#### Belægning

I TEMA vælger brugeren selv en passagerbelægning. Denne belægning har ikke indflydelse på den enkelte bils emissioner og energiforbrug, da det antages,

at en bil har samme energiforbrug uanset antallet af personer i den. Derimod har belægningen betydning for de passagerspecifikke forbrugs- og emissionstal, idet en bil med to passagerer vil have halvt så stort energiforbrug pr. personkm i forhold til en bil med en enkelt passager.

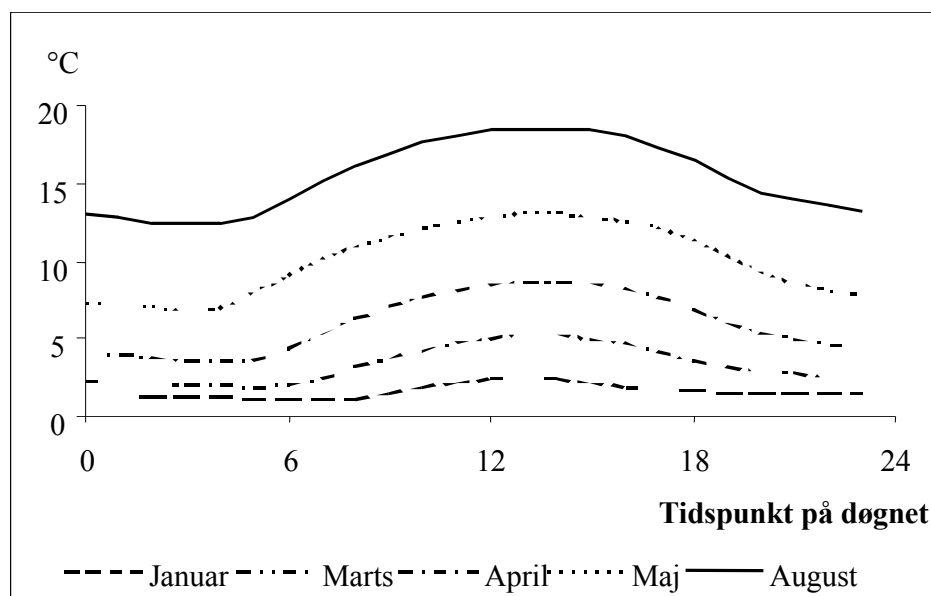
#### Koldstart

I TEMA2010 tillægges hver tur som standard en koldstart. Brugeren kan selv ændre dette f.eks. i situationer, hvor der foretages flere ture med korte mellemrum, og hvor bilens motor derfor ikke når at blive kold inden næste start.

#### Temperatur

Den omgivende temperatur har betydning for, hvor stor effekt koldstarten har. Derimod indgår temperaturen ikke i beregningen af emissionerne fra varm motor.

Figur 3.2 Temperaturvariation over døgnet



Som det fremgår af Figur 3.2, varierer udetemperaturen over døgnet, hvor der især er kraftige udsving om sommeren. Den relevante temperatur i relation til TEMA2010 er temperaturen på de tidspunkter, hvor størstedelen af transporten finder sted. Det sker fra kl. 7 til 9 om morgenen og fra kl. 16 - 18 om eftermiddagen. I morgenperioden ligger udetemperaturen ret tæt på den gennemsnitlige døgntemperatur, mens den om eftermiddagen ligger væsentligt over gennemsnitstemperaturen.

Ved at vægte temperaturen på forskellige tidspunkter af døgnet med antallet af bilture på de forskellige tidspunkter, er der beregnet en vægtet gennemsnitstemperatur på 8,5°C. Dette tal er anvendt som standardtemperatur, men kan ændres til en vægtet gennemsnitstemperatur for en given måned, eller specificeres direkte af brugeren.

#### Slitage

Slitage af bilen skyldes en forringet effekt af katalysatoren i takt med, at bilen ældes (kilometerstand). Da slitage således antages alene at påvirke katalysato-



ren og ikke selve bilens motor, korrigeres der ikke for kilometerstand for dieslbiler uden katalysator, men kun for benzin- og hybridbiler.

TEMA2010 beregner en default-slitage, der svarer til den forventede kilometerstand for de forskellige normer per 1/7-2010. Personbilers årskørsel blev i forbindelse med TEMA2010 beregnet på baggrund af opgørelser af årskørsel fra Danmarks Statistik. Personbilernes årskørsel er gengivet i Tabel 3-5.

*Tabel 3-5 Personbilers årskørsel*

Alder	Årgang	Norm	Kilometerstand	
			Benzin	Diesel
		EURO		
0	2010	4	0	0
1	2009	4	16.575	28.265
2	2008	4	33.150	56.530
3	2007	4	49.725	84.795
4	2006	4	66.300	113.060
5	2005	3	82.875	141.325
6	2004	3	99.450	160.000
7	2003	3	116.025	160.000
8	2002	3	132.600	160.000
9	2001	3	149.175	160.000
10	2000	2	120.000	120.000
11	1999	2	120.000	120.000
12	1998	2	120.000	120.000
13	1997	2	120.000	120.000
14	1996	1	120.000	120.000
15	1995	1	120.000	120.000
16	1994	1	120.000	120.000
17	1993	1	120.000	120.000
18	1992	1	120.000	120.000
19	1991	1	120.000	120.000
20	1990	Pre EURO	120.000	120.000

På baggrund af årskørslen fordelt på diesel og benzin er der beregnet følgende forventede kilometerstand for de forskellige EURO normer.

*Tabel 3-6 Forventet kilometerstand fordelt på godkendelsesnorm, benzinbiler*

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
EURO 6	0	0	0	0	0	0
EURO 5	0	0	8.288	16.575	24.863	33.150
EURO 4	33.150	49.725	66.300	82.875	99.450	116.025
EURO 3	116.025	132.600	149.175	160.000	160.000	160.000
EURO 2	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
EURO 1	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
PreEURO	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000

Note: Der er fire årgange EURO 4 biler i 2010. Derfor er EURO 4 tillagt den gennemsnitlige årskørsel:  $(0 + 16.575 + 33.150 + 49.725 + 66.300)/5 = 33.150$  km som årskørsel. Resten af cellerne er beregnet på lignende måde. Den højeste slitageeffekt er 160.000 for EURO 3-6 og 120.000 for PreEURO samt EURO 1-2. Derfor er tallene trunckeret ved disse tal.

*Tabel 3-7 Forventet kilometerstand fordelt på godkendelsesnorm, dieslbiler*

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
EURO 6	0	0	0	0	0	0
EURO 5	0	0	14.133	28.265	42.398	56.530
EURO 4	56.530	84.795	113.060	141.325	160.000	160.000
EURO 3	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000
EURO 2	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
EURO 1	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
PreEURO	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000

Note: Der er fire årgange EURO 4 biler i 2010. Derfor er EURO 4 tillagt den gennemsnitlige årskørsel:  $(0 + 28.265 + 56.530 + 84.795 + 113.060)/5 = 56.530$  km som årskørsel. Resten af cellerne er beregnet på lignende måde. Den højeste slitageeffekt er 160.000 for EURO 3-6 og 120.000 for PreEURO samt EURO 1-2. Derfor er tallene trunckeret ved disse tal.

## 3.2 Analyse

I TEMA2010 er det lagt til grund, at der skal grupperes efter godkendelsesnormer. TEMA2000 var baseret på en tysk/schweizisk undersøgelse af emissioner fra vejtransport (Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs), og det er

valgt fortsat at basere den nye version af TEMA på eksisterende emissionsberegningsmodeller.

To kilder har været overvejet:

- Handbuch<sup>2</sup>
- COPERT 4<sup>3</sup>

#### Handbuch

"Handbuch" refererer til en tysk/schweizisk undersøgelse af emissioner fra vejtransport. Denne undersøgelse bygger på en omfattende køremønsterundersøgelse kombineret med emissionsmålinger på biler, der hentes ind fra gaden.

Den tyske håndbog indeholder emissionsdata for køretøjer grupperet efter godkendelsesnorm og rejsehastighed. Derudover indeholder databasen en række landespecifikke data, der kan anvendes til at vægte emissionerne sammen til f.eks. at gælde for et specifikt år.

Den seneste version af håndbogen (version 2.1) dækker godkendelsesnormer til og med EURO 4.

#### COPERT

COPERT 4 er et softwareprogram til estimering af luftforurening fra vejtransport, og er finansieret af the European Environment Agency. COPERT er bl.a. baseret på MEET-projektet, COST 319, PARTICULATES-projektet samt ARTEMIS-projektet, og datagrundlaget udgøres således af en lang række emissionsmålinger.

COPERT omfatter godkendelsesnormer til og med EURO 6.

3 vigtige argumenter for valget af COPERT er følgende

- 1 Konsistens med nationale opgørelser af emissioner, der er baseret på Copert
- 2 Bedre modellering af tunge køretøjer, specielt EURO 2 og EURO 3 i Copert end i Handbuch.
- 3 Forventet lettere adgang til opdatering da Copert er en officiel EU model

I TEMA2010 benyttes de formler for benzin-, hybrid- og dieslbiler, der er udledt i COPERT 4. Herudover inkluderer TEMA2010 estimater for emissioner fra elbiler, hvilket ikke er medtaget i COPERT. Datagrundlaget for elbilers emissioner stammer fra Energistyrelsens drivmiddelrapport.

### 3.2.1 Varme emissioner

De varme emissionsfaktorer pr. km for emissionstype  $l$  beregnes som:

$$E_{HOT}^l = e_{HOT}^l(V) \times MC$$

<sup>2</sup> For yderligere oplysninger se [www.hbefa.net](http://www.hbefa.net)

<sup>3</sup> For yderligere oplysninger se [lat.eng.auth.gr/copert](http://lat.eng.auth.gr/copert)

hvor  $E_{HOT}^l$  er den samlede emissionsfaktor per km,

$e_{HOT}^l(V)$  er emissionsfaktoren beregnet ud fra rejsehastigheden, og

$MC$  er en korrektionsfaktor for slitage.

## Hastighed

Næst efter godkendelsesnormerne er rejsehastigheden den mest betydende faktor til beregning af emissionerne.

Jf. dokumentationen til COPERT 4 er den generelle formel til beregning af emissionerne CO, HC og NO<sub>x</sub> samt til beregning af brændstofforbrug

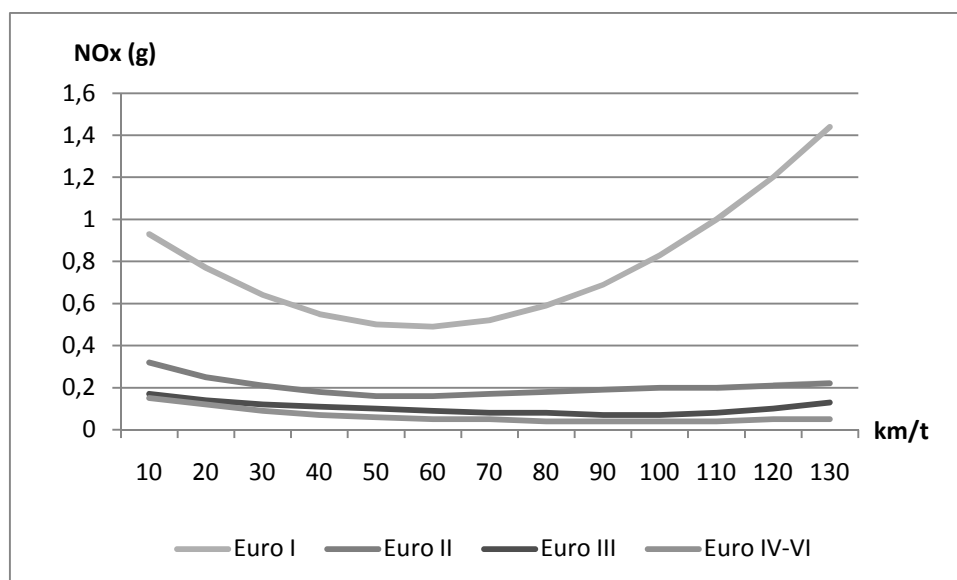
$$e_{HOT}^l(V) = \frac{a + cV + eV^2}{1 + bV + dV^2}$$

Samme formel benyttes til beregning af partikeludledning fra dieslbiler, mens partikeludledning fra benzinbiler antages konstant inden for et bestemt køremønster i hhv. by, land og på motorvej.

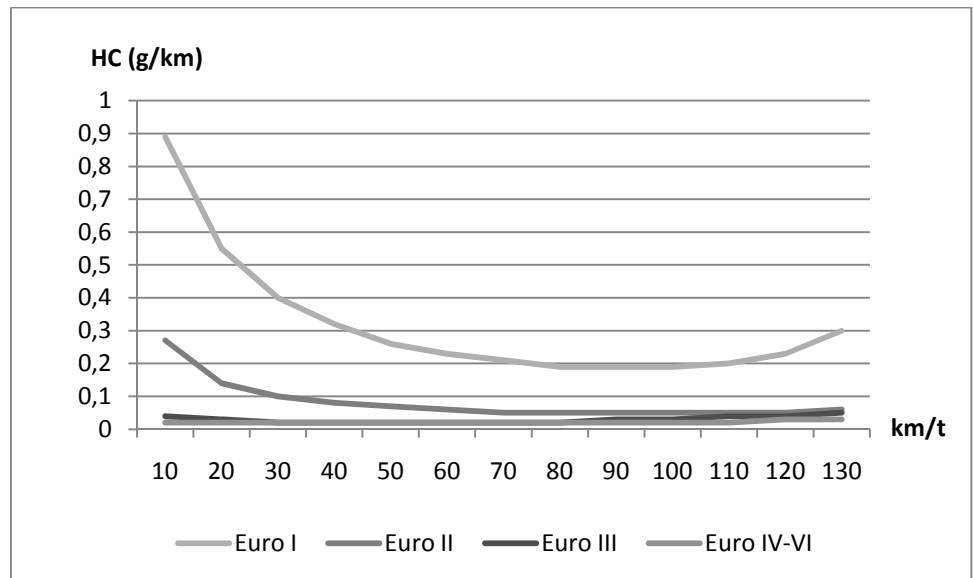
Udledning af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> beregnes på baggrund af det estimerede brændstofforbrug.

I Figur 3.3 - Figur 3.9 ses emissionfunktioner for udvalgte benzin- og dieslbiler for de forskellige EURO-normer.

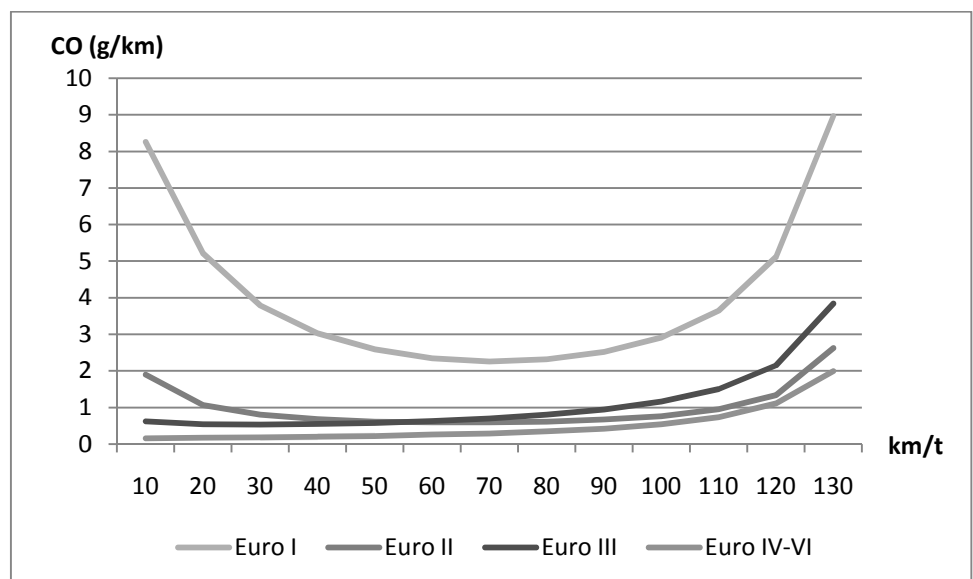
Figur 3.3 Emissionsfunktioner for NO<sub>x</sub> for benzindrevne personbiler (str. 1,4-2,0 l)



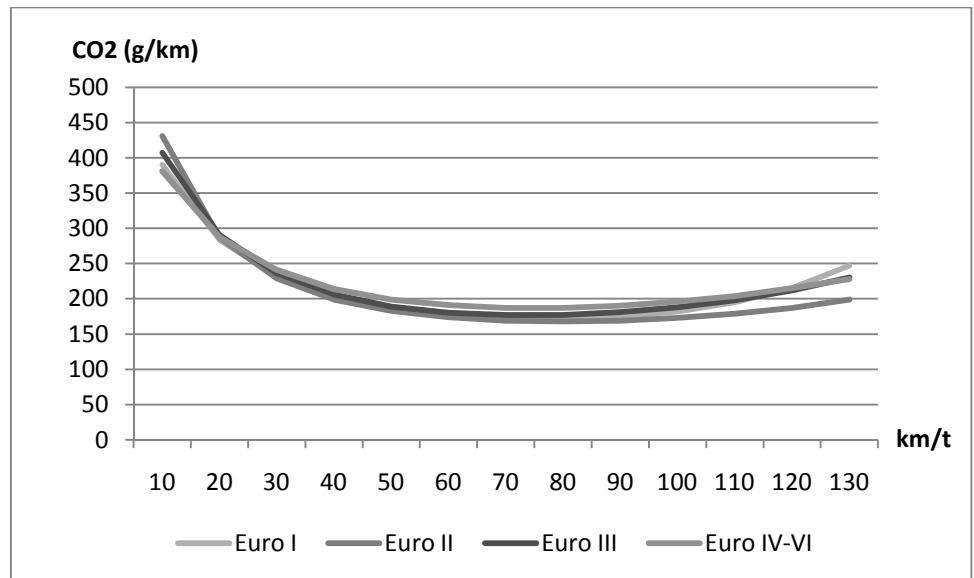
Figur 3.4 Emissionsfunksjoner for HC for benzindrevne personbiler (str. 1,4-2,0 l)



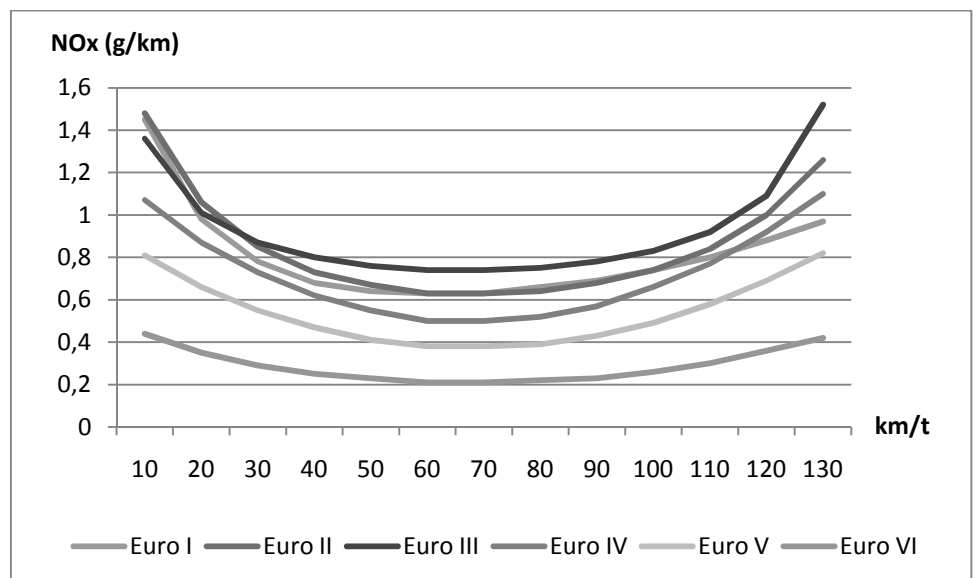
Figur 3.5 Emissionsfunksjoner for CO for benzindrevne personbiler (str. 1,4-2,0 l)



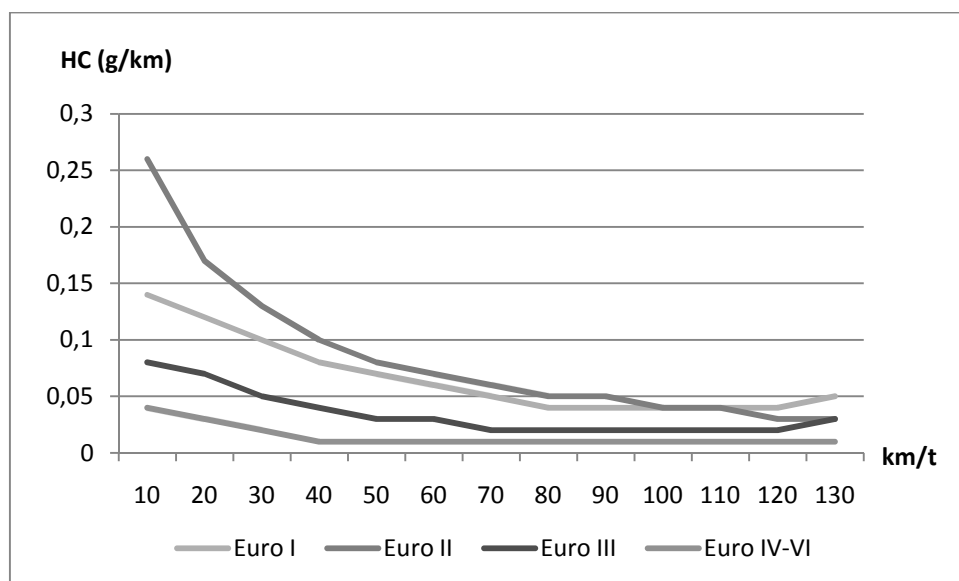
Figur 3.6 Emissionsfunktioner for  $CO_2$  for benzindrevne personbiler (str. 1,4-2,0 l)



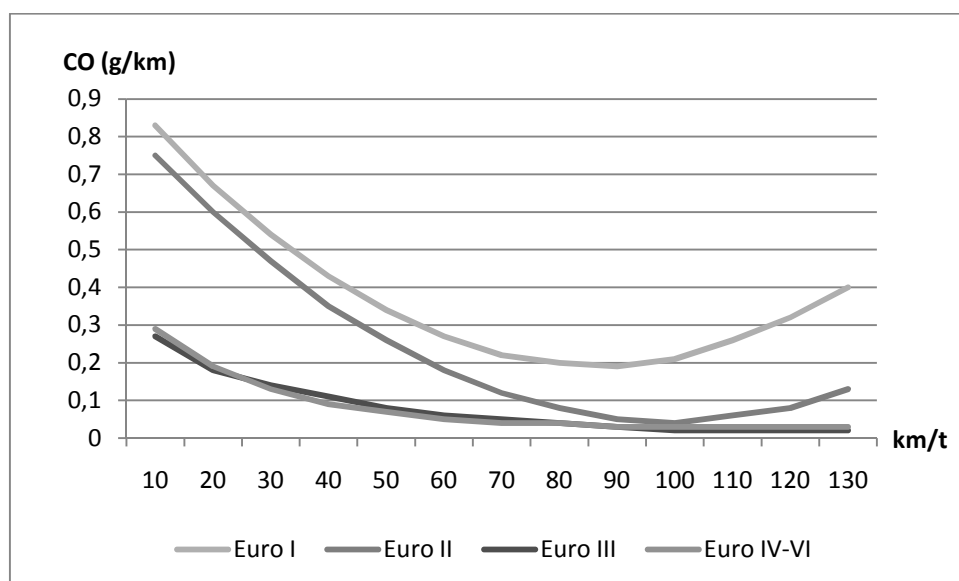
Figur 3.7 Emissionsfunktioner for  $NO_x$  for dieseldrevne personbiler (str. > 2,0 l)



Figur 3.8 Emissionsfunktioner for HC for dieseldrevne personbiler (str. &gt; 2,0 l)



Figur 3.9 Emissionsfunktioner for CO for dieseldrevne personbiler (str. &gt; 2,0 l)



### 3.2.2 Slitage

Den væsentligste årsag til, at slitage forøger emissionerne, er, at katalysatoren nedbrydes. Det antages, at slitage ikke påvirker selve motoren, hvorfor der ikke korrigeres for slitage på dieslbiler, men alene for slitage på benzin- og hybridbiler.

Det er i TEMA2010 ligesom i COPERT antaget, at der ikke sker yderligere slitage af bilen efter 120.000 km for biler tidligere end godkendelsesnorm EURO 3, mens der fra og med EURO 3 ikke antages at ske yderligere slitage efter 160.000 km.

Korrektionsfaktoren afhænger både af bilens kilometerstand og den korte hastighed. Det antages, at for hastigheder lavere end den gennemsnitlige hastighed for bykørsel i COPERT (19 km/t) eller højere end den gennemsnitlige hastighed for landkørsel i COPERT (63 km/t) er nedskrivningen uafhængig af hastighed. Dette er dog ikke ensbetydende med, at korrektionsfaktoren for slitage er identisk uden for disse grænser, idet katalysatoren belastes væsentligt mere ved lave gennemsnitshastigheder med mange start og stop end ved højere (og dermed mere jævne) gennemsnitshastigheder, hvorfor der benyttes forskellige parametre afhængig af, om hastigheden er hhv. under 19 km/t eller over 63 km/t.

Emissionsnedskrivningen i intervallet mellem 19 km/t og 63 km/t beregnes ved hjælp af lineær interpolation, jf. Tabel 3-8, der angiver formlerne til beregning af korrektion for slitage.

Tabel 3-8 Korrektionsfaktor for benzin- og hybridbiler

Hastighed (km/t)	Korrektionsfaktor (MC)
$V \leq 19$	$MC_{URBAN} = A_{URBAN} \times M_{AGE} + B_{URBAN}$
$V \geq 63$	$MC_{ROAD} = A_{ROAD} \times M_{AGE} + B_{ROAD}$
$19 < V < 63$	$MC = MC_{URBAN} + \frac{(V - 19) \times (MC_{ROAD} - MC_{URBAN})}{44}$

hvor  $M_{AGE}$  er bilens kilometerstand og  $A$  og  $B$  er beregningsparametre.

### 3.2.3 Koldstart

Bilers motorer er konstrueret til en driftstemperatur på ca. 90°C. Når en bil starter efter en tids stilstand, vil motoren (og eventuelt katalysatoren) have samme temperatur som omgivelserne, dvs. den er "kold", og der vil gå en vis tid, inden den er driftsvarm. I den periode vil energiforbrug og emissioner være forhøjede. Det skyldes, at motoren endnu ikke forbrænder brændstofblandingen optimalt, at den eventuelle katalysator først opnår fuld effekt, når dens indvendige temperatur er nået op på flere hundrede grader, og endelig at motoren pga. forhøjet indre friktion giver større energi- og dermed brændstofforbrug.

Da opvarmningstiden til arbejdstemperatur for motor og katalysator er længere, jo lavere omgivelsernes temperatur er, er der en omvendt sammenhæng mellem koldstartstillæggenes størrelse og udetemperaturen.

Endvidere afhænger koldstartstillægget af den gennemsnitlige hastighed i opvarmningsfasen. Ved belastende køremønstre med mange stop og acceleratio-



ner (og deraf følgende lave gennemsnitlige rejsehastigheder) er koldstartstillægget større end ved køremønstre med mere jævn kørsel.

Parametrene samt formlerne til beregning af koldstartstillægget i TEMA2010 er identiske med COPERT, og formlen for koldstartstillæg er

$$E_{COLD}^l = bc \times \beta \times E_{HOT}^l \times (A \times V + B \times t + C - 1)$$

hvor  $bc$  angiver en reduktionsfaktor i forhold til Euro 1  
 $\beta$  angiver antallet af km, der påvirkes af koldstart  
 $E_{HOT}^l$  er den varme emission af emissionstype  $l$   
 $V$  er hastigheden i opvarmningsperioden  
 $t$  er den omgivende temperatur

Størrelsen af koldstartsemissionerne kan sammenlignes med de varme emissioner, og i Tabel 3-9 er det beregnet, hvor mange kilometer med varm motor koldstartstillægget omtrentligt svarer til ved en gennemsnitlig kørehastighed på 35 km/t og en udetemperatur på 8,5 grader svarende til standardtemperaturen i TEMA2010.

Tabel 3-9 Koldstartstillæg svarende til km med varm motor, benzinbiler, 1,4-2,0 liter

Kilometer	FC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	HC	CO <sub>2</sub>
PreEURO	1,3	0,3	1,3	6,6	4,4	1,3
EURO 1	1,3	4,1	1,3	22,1	34,6	1,3
EURO 2	1,3	2,9	1,3	15,9	19,4	1,3
EURO 3	1,3	1,3	1,3	13,7	11,1	1,3
EURO 4-6	1,3	0,7	1,3	4,0	6,2	1,3

Tabel 3-10 Koldstartstillæg svarende til km med varm motor, dieslbiler, <2,0 liter

Kilometer	FC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	HC	CO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>
PreEURO	0,9	0,6	0,9	2,2	4,6	0,9	4,3
EURO 1-4	0,9	0,6	0,9	2,2	4,6	0,9	0,9
EURO 5	0,9	0,2	0,9	2,2	4,6	0,9	0,9
EURO 6	0,9	0,4	0,9	2,2	4,6	0,9	0,9

Det bemærkes, at årsagen til, at koldstartstillægget for benzindrevne preEURO biler er relativt lavt målt som antallet af kørte km med varm motor, er, at der

med indførelsen af EURO 1-normen blev pålagt meget skærpede krav til de varme emissioner. Dermed skal det lave kilometertal ikke ses som et udtryk for, at benzindrevne preEURO biler kun tillægges et lille emissionstillæg ved kold start, men som et udtryk for, at disse biler har langt højere emissioner med varm motor end de efterfølgende biler under godkendelsesnorm EURO 1-6.

### 3.2.4 Fordampningsemissioner

Der medregnes fordampningsemissioner for benzinbiler. Da diesel har meget lavere flygtighed end benzin, regnes fordampningen fra diesel for ubetydelig og er derfor ikke inkluderet i de eksisterende undersøgelser.

Fordampning af benzin fra bilens tank under såvel kørsel som parkering indebærer en øget udledning af HC, og der er fire kilder til fordampningsemissioner:

- Fordampning fra tank til luft som følge af omgivelsernes varierende temperatur.
- Fordampning til luft ved tankning
- Fordampning fra karburator efter kørsel (Hot Soak)
- Fordampning under kørsel (Running Loss)

Fordampning som følge af omgivelsernes temperatur

Fordampning ved ændring i brændstoffets temperatur skyldes, at brændstof fylder mere ved højere temperaturer i forhold til lave temperaturer, og denne er dermed et resultat af, at den omgivende temperatur varierer over døgnet. Nyere biler er forsynet med aggregat til reduktion af fordampning fra tank ved temperaturændringer.

I COPERT er der beregnet den daglige fordampning som følge af omgivelsernes temperatursvingninger, men da denne type fordampning ikke varierer med kørselsomfanget, inddrages den ikke i TEMA2010.

Fordampning ved tankning

Fordampning ved tankning, dvs. den mængde benzin, der spildes eller fordampes i forbindelse med tankning, er heller ikke indregnet i TEMA2010. Selvom denne type fordampning er afhængig af frekvensen af tankning og dermed af kørselsomfanget, antages det som i COPERT, at fordampning ved tankning kan betragtes som spild i forbindelse med tankstationernes brændstofleverance.

Hot Soak

"Hot Soak" er den fordampning, der sker fra motor, og indsprøjtningssystem fra motoren standses til den er afkølet. Hot Soak afhænger af motortemperaturen, idet der fordampes væsentligt mere HC ved høje temperaturer i forhold til lave temperaturer. Motortemperaturen afhænger af, hvor langt bilen har kørt, inden motoren slukkes.

På grund af krav om fordampningsbegrænsende udstyr er der en kraftig reduktion af Hot Soak-emissioner fra og med EURO 1.

I COPERT er Hot Soak estimeret på baggrund af en gennemsnitlig turlængde og emissionerne angives for henholdsvis typiske sommer- og vintertemperaturer.

rer. Det er i TEMA2010 valgt at benytte disse typiske emissioner og tillægge hver tur uanset længde den samme gennemsnitlige Hot Soak-emission. Emissionerne er opdelt efter motorstørrelse, samt hvorvidt bilen er udstyret med kanister, og i så fald hvilken størrelse kanister, der er tale om. Af Tabel 3-11 fremgår Hot Soak-emissioner pr. tur.

Tabel 3-11 Udledning af Hot Soak (gram HC pr. tur)

Temperatur (°C)	Sommer		Vinter	
	23-35	10-22	0-13	-5-12
Pre EURO, tillæg ved kold motor				
< 1,4 l	8,48	5,09	3,75	2,63
1,4-2,0 l	10,01	6,01	4,42	3,10
> 2,0 l	12,29	7,38	5,43	3,80
Pre EURO, varm motor				
< 1,4 l	11,93	7,16	5,27	3,69
1,4-2,0 l	14,08	8,45	6,22	4,36
> 2,0 l	17,31	10,39	7,65	5,35
EURO 1-6				
< 1,4 l	0,10	0,07	0,04	0,04
1,4-2,0 l	0,10	0,07	0,04	0,04
> 2,0 l	0,10	0,07	0,04	0,04

Kilde: Dokumentationen til COPERT (Gasoline Evaporation From Vehicles, table 4-1)

## Running Loss

"Running Loss" er den fordampning fra motor og indsprøjtningssystem, der finder sted under kørslen. For ældre biler udstyret med karburator og/eller "fuel return systems", øges temperaturen i brændstoftanken og/eller karburatoren betydeligt, hvilket kan generere en stor mængde damp i tanken. For benzinbiler med brændstofindsprøjtning og "returnless fuel systems" påvirkes brændstoff-temperaturen i tanken ikke af brug af motoren, og running loss er derfor meget begrænset for disse biler.

I COPERT er Running Loss ligesom Hot Soak estimeret på baggrund af en gennemsnitlig turlængde samt gennemsnitlige sommer- og vintertemperaturer,

og det er valgt at tillægge hver tur i TEMA2010 den gennemsnitlige emission som følge af Running Loss. Disse emissioner fremgår af Tabel 3-12.

Tabel 3-12 Udledning af Running Loss (gram HC pr. tur)

Temperatur (°C)	Sommer		Vinter	
	23-35	10-22	0-13	-5-12
Pre EURO, tillæg ved kold motor				
< 1,4 l	1,84	1,11	0,81	0,53
1,4-2,0 l	2,15	1,30	0,95	0,67
> 2,0 l	2,62	1,58	1,15	0,81
Pre EURO, varm motor				
< 1,4 l	10,05	6,03	4,44	3,11
1,4-2,0 l	11,85	7,12	5,24	3,67
> 2,0 l	14,56	8,74	6,43	4,50
EURO 1-6				
< 1,4 l	0,13	0,08	0,06	0,04
1,4-2,0 l	0,13	0,08	0,06	0,04
> 2,0 l	0,13	0,08	0,06	0,04

Kilde: Dokumentationen til COPERT (Gasoline Evaporation From Vehicles, table 4-1)

### 3.2.5 Elbiler

Elbilen i TEMA2010 stammer, som tidligere nævnt, fra rapporten om alternative drivmidler. Den bil, der generelt er lagt til grund, er en "mindre mellemklassebil". Der er ikke tale om en konkret bil, men om en modelbil, der er konstrueret/defineret til formålet.

Der er tale om en bil, der svarer til en VW Golf-lignende bil. Den vejer 1175 kg, og i en standard benzinudgave kører den 14,7 km/l. Denne modelbil er så udformet i en række varianter (diesel, ethanol, brændselscelle, naturgas, bioolie og elbil) med de ændringer af grundvarianten, dette indebærer mht. drivlinje (motor og transmission), energilager/batteri, vægt, virkningsgrader og omkostninger.

### 3.3 Beregningsgang

Nedenfor præsenteres et overblik over de formler, der benyttes til estimering af emissionerne i TEMA2010. Samtlige parameterværdier fremgår af dokumentationen til COPERT og kan eksporteres fra selve programmet<sup>4</sup>

#### 3.3.1 Totale emissioner

De totale emissioner fra personbiler beregnes efter formlen

$$E^l = E_{HOT}^l + E_{COLD}^l + E_{EVAPORATION}^l \quad (1)$$

hvor  $E_{HOT}^l$  er emissioner fra kørsel med varm motor,

$E_{COLD}^l$  er yderligere emissioner fra kørsel med kold motor, og

$E_{EVAPORATION}^l$  er emissioner som følge af fordampning fra bilens tank.

#### 3.3.2 Emissioner fra varm motor

Emissionerne fra varm motor beregnes generelt som

$$E_{HOT}^l = e_{HOT}^l(V) \times MC \quad (2)$$

hvor  $V$  er hastigheden og  $MC$  er korrektionsfaktoren for slitage.

Den hastighedsafhængige del beregnes som

$$e_{HOT}^l(V) = (a + cV + eV^2)/(1 + bV + dV^2) \quad (3)$$

mens korrektionsfaktoren for slitage af benzin- og hybridbiler beregnes som

$$MC_{URBAN} = A_{URBAN} \times M_{AGE} + B_{URBAN} \quad (\text{for } V \leq 19) \quad (4a)$$

$$MC_{ROAD} = A_{ROAD} \times M_{AGE} + B_{ROAD} \quad (\text{for } V \geq 63) \quad (4b)$$

$$MC = MC_{URBAN} + \frac{(V-19) \times (MC_{ROAD} - MC_{URBAN})}{44} \quad (19 < V < 63) \quad (4c)$$

hvor  $M_{AGE}$  er kilometerstanden. For kilometerstande over 120.000 km for Euro 2 og tidligere og over 160.000 km fra og med Euro 3 antages der ikke at ske yderligere forringelser af katalysatoren.

#### 3.3.3 Koldstartstillæg

Koldstartstillæget beregnes som efter følgende formel:

$$E_{COLD}^l = bc \times \beta \times E_{HOT}^l \times (A \times V + B \times t + C - 1) \quad (5)$$

<sup>4</sup> For yderligere information om COPERT, se [lat.eng.auth.gr/copert](http://lat.eng.auth.gr/copert)

hvor  $bc$  angiver en reduktionsfaktor i forhold til Euro 1,  $\beta$  angiver andelen af turen, der påvirkes af koldstart,  $e_{HOT}$  er den varme emission,  $V$  er hastigheden i opvarmningsperioden, og  $t$  er den omgivende temperatur.

$\beta$  beregnes ved hjælp af formlen

$$\beta = 0,6474 - 0,02545 \times M_{trip} - (0,00974 - 0,000385 \times M_{trip}) \times t \quad (6)$$

hvor  $M_{trip}$  er antallet af kilometer, inden motoren er opvarmet, og  $t$  er den omgivende temperatur.

### 3.3.4 Fordampningstab

Fordampningstabet pr. tur beregnes som

$$E_{EVAPORATION} = e_{HS} + e_{RL} \quad (7)$$

hvor  $e_{HS}$  er Hot Soak-emission og  $e_{RL}$  er Running Loss-emission.

Såvel  $e_{HS}$  som  $e_{RL}$  afhænger af den omgivende temperatur, bilens motorstørrelse og hvorvidt bilen er udstyret med kanister og i givet fald i hvilken størrelse. I Tabel 3-11 og Tabel 3-12 er gengivet en oversigt over de anvendte værdier af Hot Soak og Running Loss.

### 3.3.5 Partikelemissioner fra benzinbiler

I COPERT opgøres partikelemissioner fra benzinbiler for tre typer af kørsel:

- Bykørsel
- Kørsel på landevej
- Motorvejskørsel

Til brug for TEMA2010 er der på baggrund af disse tal estimeret en køremønsterafhængig kurve, således at partikelemissionerne for benzinbiler kan beregnes ud fra køremønsterhastigheden på samme måde som de øvrige emissioner.

## 3.4 Kilder

### 3.4.1 Litteratur

P. Ahlvik (MTC), S. Eggleston (AEA Technology), N. Gorißen (UBA), D. Hassel (TÜV Rheinland), A.-J. Hickman (TRL), R. Joumard (INRETS), L. Ntziachristos (LAT/AUTH), R. Rijkeboer (TNO), Z. Samaras (LAT/AUTH) and K.-H. Zierock (UBA) (1997): *COPERT II - Methodology and Emission Factors - Final Draft Report*, 2<sup>nd</sup> Edition - EEA November 1997.

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (1998): *Handbuch der Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs in Österreich*.

INFRAS (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Version 2.1.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (1995): Luftschadstoff Emissionen des Strassenverkehrs, 1950 - 2010,

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

European Environment Agency (2007a): Methodology for the calculation of exhaust emissions – SNAPs 070100-070500, NFRs 1A3bi-iv

European Environment Agency (2007b): Methodology for the calculation of fuel evaporation – SNAP 070600, NFR 1A3bv

European Environment Agency (2007c): COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport - Users Manual

### **3.4.2 Internet**

COPERT: [lat.eng.auth.gr/copert](http://lat.eng.auth.gr/copert)

Danmarks Statistik: [www.statistikbanken.dk](http://www.statistikbanken.dk)

Dieselnet: [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com)

HBEFA: [www.hbefa.net](http://www.hbefa.net)

## 4 Busser

Emissioner og energiforbrug for en rejse med bus beregnes med udgangspunkt i den kørte distance multipliceret med gennemsnitlige emissionsfaktorer og energiforbrug pr. km.

### 4.1 Oversigt

I beregningen af de gennemsnitlige faktorer tages der hensyn til rejsens køremønster. Endvidere er følgende determinerende faktorer inddraget i modellen

- Bustype (bybus eller turistbus)
- Godkendelsesnorm
- Brændstoftype
- Afstand (udgangspunkt og destination)
- Kørselens fordeling på by, landevej og motorvej
- Den gennemsnitlige rejsehastighed inden for hver af disse kategorier
- Belægning, dvs. antal personer i bussen.

Belægningen indgår både i beregningen af bussens samlede emissioner, samt ved beregning af resultater pr. personkilometer.

#### Bustyper

I TEMA2010 er der alene inkluderet dieseldrevne busser. Busserne er grupperet efter EURO godkendelsesnormer samt efter bustype og egenvægt, jf. Tabel 4-1.

*Tabel 4-1 Bustyper fordelt på egenvægt*

Bustype	Egenvægt
Bybus	< 15 ton
	15-18 ton
	> 18 ton
Turistbus	< 18 ton
	> 18 ton



**Afstand** TEMA2010 bruger samme vejnet som for personbiler til beregning af afstanden mellem to lokaliteter samt til fordelingen på kørsel land/by og vejtype. Disse standardværdier skal ses som et groft skøn, da busser ikke kører den korteste vej, men efter en rute, der er fastlagt af andre hensyn. I PETRA (1997) er det beregnet, at en bus typisk kører 13 procent længere end en bil, der kører den hurtigste vej. Dertil kommer yderligere en strækning, idet der kan være en afstand fra såvel udgangspunkt som destination til de nærmeste stoppesteder.

Beregningen er alligevel taget med for at give brugeren en indikation af den korteste vejafstand mellem de valgte lokaliteter, men det er op til brugeren at vurdere den konkrete afstand for bussens faktiske rute.

**Vejtyper** Den kørte distance er som for den øvrige vejtrafik fordelt på de fire vejtyper

- Veje i byområder (undtaget motorveje)
- Veje i landområder (undtaget motorveje)
- Motorveje i byområder
- Motorveje i landområder

**Køremønster** Bussens køremønster repræsenteres som for biler ved en gennemsnitlig rejsehastighed, dvs. den gennemsnitlige hastighed inkl. standsninger ved stoppesteder. På grund af de hyppige stop ved stoppesteder, særligt i byområder, er den gennemsnitlige hastighed relativt lav. I Tabel 4-2 angives denne gennemsnitlige hastighed for hver af vejtyperne i TEMA2010.

*Tabel 4-2 Default rejsehastigheder for busser, km/t*

	By	Land
Motorvej	80	80
Øvrige veje	20	50

Brugeren kan finjustere køremønstrene for hver af disse vejtyper ved direkte at specificere andre rejsehastigheder end TEMAs defaultværdier.

**Belægning** I modsætning til personbiler medregnes belægning ved selve emissionsberegningen. Passagererne i bussen gør bussen tungere, hvorved bussen bruger mere energi og udsender flere emissioner.

I Tabel 4-3 og Tabel 4-4 ses den årlige persontransport samt det årlige trafikarbejde med busser i Danmark

Tabel 4-3 Persontransport fordelt efter bustype, mio. personkilometer

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Rutebusser i alt	2.853	2.863	2.916	2.873	2.978	3.069	3.042	3.141
Turistbusser mv.	4.479	4.432	4.356	4.428	4.361	4.380	4.375	4.270

Kilde: Vejdirektoratet og Danmarks Statistik, PKM1

Tabel 4-4 Trafikarbejde med busser, mio. køretøjskilometer

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Busser i alt	595	596	600	601	612	624	620	629
Rutebusser i alt	347	348	355	349	362	373	370	382

Kilde: Vejdirektoratet

På baggrund af den årlige persontransport samt trafikarbejdet, kan den årlige belægning i busserne estimeres, jf. TABEL.

Tabel 4-5 Årlig belægningsgrad i busser, antal personer pr. bus

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Rutebusser	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Turistbusser	18,1	17,9	17,8	17,6	17,4	17,5	17,5	17,3

#### Default belægning

På baggrund af ovenstående er default belægningen i busserne i TEMA2010 sat til 8,2 personer i rutebusser og 17,3 personer i turistbusser.

Tabel 4-6 Vægt og kapacitet for busser

	Totalvægt (ton)	Maksimale antal passagerer
Bybus	16	45
Turistbus	24	54

Kilde: Trafikministeriet (1995), Bustrafik 1994.

Den maksimale belægning varierer meget i forskellige busser, og i bybusser er antallet af siddepladser ofte reduceret for at give plads til et større antal ståpladser, som kan udnyttes i myldretiden. Det betyder, at en bus, der er helt fyldt med passagerer, i de fleste tilfælde vil have flere passagerer end de 45, der her er nævnt som maksimum.

Hvor EU-standarder for personbiler og varevogne udtrykker emissionsforholdene i gram pr. kørt kilometer, bruges der for dieseldrevne busmotorer i stedet specifikke mål; dvs. emissioner i forhold til det mekaniske arbejde, som motoren leverer. Enheden er normalt gram pr. kilowatt-time (g/kWh).

Testcykel for EURO I og II	Som nøgleemissionstal for busmotorerne benyttes for EURO I og EURO II testcyklen ECE R-49, der er en standardvægtning af 13 <i>modes</i> . Denne vægtning bruges til at sammenligne motorer indbyrdes og til at vurdere den enkelte motortype i forhold til gældende grænseværdier. Det skal bemærkes, at de 13 <i>modes</i> alle er konstante belastningssituationer.
Testcykler for EURO III, IV, V og VI	Fra og med EURO III testes motorerne i stedet efter testcyklerne ESC, ELR samt ETC.
ESC	ESC (European Stationary Cycle) består af 13 <i>modes</i> , samt en vægtning, og som i ECE R-49-cyklen er de forskellige <i>modes</i> konstante belastninger. Det bemærkes, at de 13 <i>modes</i> samt tilhørende vægte i ESC ikke er identiske med ECE R-49.
ELR	ELR (European Load Response) består af fire cykler med forskellige kombinationer af hastighed og udnyttelse af lastekapacitet, og testen benyttes til at måle udstødningsrøgens uigennemsligtighed.
ETC	ETC (European Transient Cycle) består af tre dele, der repræsenterer et typisk køremønster henholdsvis i by, på landeveje og på motorveje. Køremønstrene er baseret på studier og målinger af faktisk kørsel.
Godkendelsesnormer	I Tabel 4-7 og Tabel 4-8 ses godkendelsesnormerne for busser.

Tabel 4-7 Godkendelsesnormer for busser, g/kWh

Godkendelsesnorm	I kraft	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	Røg
EURO I <sup>1)</sup>	10.1993	4,5	1,1	8,0	0,36 <sup>3)</sup>	
EURO II <sup>1)</sup>	10.1996	4,0	1,1	7,0	0,25	
	10.1998	4,0	1,1	7,0	0,15	
EURO III <sup>2)</sup>	10.2001	2,1	0,66	5,0	0,10	0,8 <sup>4)</sup>
EURO IV <sup>2)</sup>	10.2006	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5 <sup>4)</sup>
EURO V <sup>2)</sup>	10.2009	1,5	0,46	2,0	0,02	0,5 <sup>4)</sup>
EURO VI <sup>2)</sup>	01.2014	1,5	0,13	0,4	0,01	

1) Testet med ECE R-49

2) Testet med ESC samt ELR.

3) Restriktionen på PM er 0,612 for < 85kW.

4) Estimering af udstødningsrøg indgår ikke i TEMA2010

Kilde: EU-direktiver, [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com), [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org).

*Table 4-8 Godkendelsesnormer for busser, ECT-test, g/kWh*

Godkendelsesnorm	I kraft	CO	NMHC	NO <sub>x</sub>	PM
EURO III	10.2001	5,45	1,6	5,0	0,16
EURO IV	10.2006	4,0	0,55	3,5	0,03
EURO V	10.2009	4,0	0,55	2,0	0,03
EURO VI	01.2014	4,0	0,16	0,4	0,01

Kilde: EU-direktiver, [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com), [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org).

EURO VI, der træder i kraft pr. 1. januar 2014, er ikke medtaget i TEMA2010 på grund af manglende datagrundlag fra COPERT.

## 4.2 Analyse

I TEMA2010 er det lagt til grund, at der skal grupperes efter godkendelsesnormer. I den tidligere version af TEMA dannede SEEK grundlag for estimering af emissioner fra busser. I TEMA2010 er det valgt at benytte COPERT 4 som kilde til beregningerne.

COPERT 4 er et softwareprogram til estimering af luftforurening fra vejtransport, og er finansieret af the European Environment Agency. COPERT er bl.a. baseret på MEET-projektet, COST 319, PARTICULATES-projektet samt ARTEMIS-projektet, og datagrundlaget udgøres således af en lang række emissionsmålinger.

COPERT omfatter godkendelsesnormer for dieseldrevne busser til og med EURO V, og det er valgt at benytte de samme emissionsformler i TEMA2010, som angivet i COPERT.

Det bemærkes, at de totale emissioner for busser alene udgøres af varme emissioner, dvs. at der ikke beregnes koldstartstillæg. Endvidere beregnes der ikke påvirkning af slitage, da det antages, at antallet af kørte kilometre ikke påvirker busmotorens effektivitet, idet bussen i højere grad end personbiler holdes løbende ved lige.

### 4.2.1 Varme emissioner

De varme emissioner beregnes for dieseldrevne busser som

$$E^l = e_{HOT}^l(V)$$

hvor  $e_{HOT}^l(V)$  er emissionsfaktoren beregnet ud fra hastigheden.

Formlen for  $e_{HOT}^l(V)$  er forskellig afhængigt af bustype, godkendelsesnorm samt belægningsgrad, men de benyttede formler er følgende<sup>5</sup>:

$$e_{HOT}^l(V) = a + bV + \frac{(c - b) \times (1 - \exp((-1) \times dV))}{d}$$

$$e_{HOT}^l(V) = e + a \times \exp((-1) \times bV) + c \times \exp((-1) \times dV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{cV^2 + bV + a}$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{a + bV^c}$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{a + bV}$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^3 + bV^2 + cV + d$$

$$e_{HOT}^l(V) = ab^V \times V^c$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^b + cV^d$$

$$e_{HOT}^l(V) = (a + bV)^{-\frac{1}{c}}$$

$$e_{HOT}^l(V) = a - b \times \exp((-1) \times cV^d)$$

$$e_{HOT}^l(V) = a + \frac{b}{1 + \exp((-1) \times c + d \times \ln(V) + eV)}$$

$$e_{HOT}^l(V) = c + a \times \exp((-1) \times bV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = c + a \times \exp(bV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = \exp\left(a + \frac{b}{V} + c \times \ln(V)\right)$$

Udledningen af SO<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub> beregnes på baggrund af det estimerede brændstof-forbrug.

<sup>5</sup> Formlerne fremgår af excel-filer, der udgør en del af dokumentationen for COPERT:  
[http://reports.eea.europa.eu/EMEP/PCORINAIR5/en/HDV\\_functions\\_Excel\\_files.zip](http://reports.eea.europa.eu/EMEP/PCORINAIR5/en/HDV_functions_Excel_files.zip)

### 4.2.2 Koldstart og fordampningsemissioner

Der beregnes ikke koldstartstillæg for busser, da busser normalt kun koldstartes én gang om dagen, og et eventuelt koldstartstillæg derfor ville betyde meget lidt for de samlede emissioner.

Endvidere beregnes der ikke fordampningsemissioner, da ingen af de inkluderede busser er benzindrevne.

### 4.2.3 Passagertal

Bussernes passagertal influerer på energiforbrug og emissioner på to måder. For det første vil busser med få passagerer forventes at skulle stoppe ved færre stoppesteder end busser som er halvt eller helt fyldte, hvilket skulle give et jævner køremønster med mindre energiforbrug. For det andet betyder flere passagerer en vægtforøgelse og deraf følgende effektbehov ved acceleration, og dermed større energiforbrug og emissioner.

Den første af de to virkninger er ikke undersøgt, men er delvist inddraget i TEMA via den gennemsnitlige hastighed for hvert køremønster. Brugeren har mulighed for at vælge en hurtigere eller langsommere gennemsnitshastighed, og kan derved simulere en rejse med færre eller flere standsninger undervejs.

Den anden virkning - vægtforøgelsens direkte indflydelse - indgår i COPERT, og er derfor medtaget som en brugerparameter i TEMA2010.

Belægningsgraden er i TEMA2010 default sat til 18 procent for bybusser og 32 procent for turistbusser, men brugeren har mulighed for at justere dette. Det er valgt at give mulighed for at angive en belægningsgrad over 100 procent for at afspejle fuld udnyttelse af kapaciteten inkl. ståpladser.

Til beregning af energiforbrug og emissioner ved en bestemt belægningsgrad beregnes værdierne for en belægningsgrad på henholdsvis 0 procent, 50 procent og 100 procent af bussens kapacitet, hvorefter den aktuelle værdi findes ved lineær interpolation mellem talsættene. Det forudsættes med andre ord, at der er tale om en lineær sammenhæng mellem vægt og energiforbrug/emissioner.

## 4.3 Beregningsgang

Emissionerne for dieseldrevne busser beregnes ved hjælp af lineær interpolation mellem belægningsgraderne 0 procent, 50 procent og 100 procent

Emissionerne afhænger af hastigheden samt af bustype, godkendelsesnorm samt belægningsgrad og beregnes ved brug af formlerne<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Formlerne fremgår af excel-filer, der udgør en del af dokumentationen for COPERT: [http://reports.eea.europa.eu/EMEP/CORINAIR5/en/HDV\\_functions\\_Excel\\_files.zip](http://reports.eea.europa.eu/EMEP/CORINAIR5/en/HDV_functions_Excel_files.zip)

$$e_{HOT}^l(V) = a + bV + \frac{(c - b) \times (1 - \exp((-1) \times dV))}{d}$$

$$e_{HOT}^l(V) = e + a \times \exp((-1) \times bV) + c \times \exp((-1) \times dV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{cV^2 + bV + a}$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{a + bV^c}$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{a + bV}$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^3 + bV^2 + cV + d$$

$$e_{HOT}^l(V) = ab^V \times V^c$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^b + cV^d$$

$$e_{HOT}^l(V) = (a + bV)^{-\frac{1}{c}}$$

$$e_{HOT}^l(V) = a - b \times \exp((-1) \times cV^d)$$

$$e_{HOT}^l(V) = a + \frac{b}{1 + \exp((-1) \times c + d \times \ln(V) + eV)}$$

$$e_{HOT}^l(V) = c + a \times \exp((-1) \times bV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = c + a \times \exp(bV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = \exp\left(a + \frac{b}{V} + c \times \ln(V)\right)$$

Udledningen af SO<sub>2</sub> samt CO<sub>2</sub> beregnes på baggrund af det estimerede brændstofforbrug.

## 4.4 Kilder

### 4.4.1 Litteratur

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

European Environment Agency (2007a): Methodology for the calculation of exhaust emissions – SNAPs 070100-070500, NFRs 1A3bi-iv

European Environment Agency (2007b): Methodology for the calculation of fuel evaporation – SNAP 070600, NFR 1A3bv

European Environment Agency (2007c): COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport - Users Manual

#### **4.4.2 Internet**

COPERT: [lat.eng.auth.gr/copert](http://lat.eng.auth.gr/copert)

Danmarks Statistik: [www.statistikbanken.dk](http://www.statistikbanken.dk)

Dieselnet: [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com)

Wikipedia: [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)



## 5 Persontog

Energiforbrug og emissioner for persontog beregnes i TEMA2010 for en række forskellige togtyper. De samme fysiske faktorer, som påvirker emissionerne for TEMAs andre transportformer, har også indflydelse på tog, f.eks. køre-/standsemønstre, transporteret vægt, motorteknologi mv.

### 5.1 Oversigt

Togtyper

Persontogene i TEMA2010 opdeles i regionaltog, intercitytog, lyntog, S-tog og metro, og underopdeles endvidere i de togtyper, der fremgår af Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Togtyper i TEMA2010.

Togtype (litra)	Fremdrift	Metro	S-tog	Regional	Intercity	Lyntog	I drift	Type
EA	elektrisk			*			1984	lokomotiv
ER (IR4)	elektrisk			*	*		1995	togsæt
IC3	diesel			*	*	*	1989	togsæt
IC4	diesel				*	*	2008	togsæt
ME	dieselektrisk			*			1981	lokomotiv
MR	diesel			*			1978	togsæt
MQ	diesel			*			2002	togsæt
ET (Øresundstog)	elektrisk			*			2000	togsæt
X10/11 (Pågatåg) <sup>1)</sup>	elektrisk			*			n.a.	n.a.
SA-D (S-tog 8 vogns)	elektrisk		*				1996	togsæt
Metro	elektrisk	*					2002	togsæt

1) Mellem Malmö og Ystad af hensyn til Bornholmstrafikken efter åbning af Øresundsforbindelsen.

Regionaltog har kortest distance mellem stationerne og standser derfor oftest, mens Intercity standser færre gange. Lyntog standser kun i de største byer og har dermed længst mellem stationerne. Et øget antal stationer på en given togrute øger antallet af accelerationer og dermed energiforbruget og emissionerne. Til gengæld kører lyntog med højere hastighed, hvilket resulterer i øget energiforbrug. Opdelingen i regional, intercity og lyntog med tilhørende standsemønstre svarer dermed til køremønstre for biler.

For S-tog kan der vælges mellem tog med mange stop og gennemkørende tog, mens metroen alene har et enkelt køremønster. Det kunne tænkes, at metroen har forskellige gennemsnitlige rejsehastigheder afhængigt af, om den kører over eller under jorden, men dette er fravalgt, da der ikke har været mulighed for at differentiere metroens emissioner afhængigt af køremønstre.

## Stationer

Der kan køres mellem 213 stationer på DSB's hovedbaner, regionalbaner og lokalbaner (herefter kaldet HRL-nettet), jvf. Figur 5.1. Endvidere er Malmø og Ystad inkluderet for at kunne sammenligne en rute til Bornholm gennem Sverige med de nuværende Bornholmsfærger. De 213+2 stationer udgør samtidig en del af de mulige fra- og til-byer for andre transportmidler, så brugeren kan sammenstykke en tur bestående af f.eks. en bildeltur til en station og en togtur herfra.

I TEMA er indlagt information om, hvilke togtyper der betjener hver station. Brugeren vælger togtype, og TEMA giver de mulige stationer. Omvendt kan brugeren også vælge fra- og til-station, hvorefter TEMA angiver de mulige togtyper her imellem.

Det er nødvendigt at definere en deltur for hver togtype, brugeren vælger. Hvis brugeren f.eks. vil fra Helsingør til Sønderborg, helst med lyntog, skal denne tur opdeles i en deltur med regionaltog til København, en deltur med lyntog til Lunderskov, og en sidste deltur med regionaltog til Sønderborg.

Bemærk, at TEMA giver mulighed for at tage et regionaltog hele vejen fra Helsingør til Sønderborg i en deltur, selvom turen i praksis foretages med en række togsift undervejs.

Figur 5.1 HRL-nettet opdelt i segmenter.



Note: Segmentender er vist med sort prik

### Banestrækninger og segmenter

HRL-nettet er inddelt i 42 segmenter, som angivet i Tabel 5-9 og vist i Figur 5.1, hvor de sorte prikker angiver segmentender, og såvel sorte som hvide prikker er stationer i TEMA. Inddelingen er foretaget således, at nettet er opdelt i sammenhængende strækninger, som ikke forgrener sig eller skifter status fra f.eks. hoved- til regionalbane. Til hvert segment er knyttet en by- og landprocent, som er andelen af segmentet, som ligger i hhv. by- og landzone med henblik på at kunne fordele dieselemmissionerne mellem by og land.

De elektriske togtyper (EA, ER, ET) kører naturligvis kun, hvor der er opsat kørestrømsledninger, hvilket gælder strækningerne København H / Helsingør, København H / Sønderborg, samt København H / Kastrup.

Til beregning af længden af en rejse med S-tog benyttes en afstandstabel, der angiver den korteste skinneafstand mellem ethvert muligt par af S-togs stationer. Tilsvarende benyttes en afstandstabel for metroen over skinneafstanden mellem metrostationerne.

I Figur 5.2 ses S-togsnettet.

Figur 5.2 S-togsnettet



I Tabel 5-2 ses de S-togstationer, der kan rejses imellem.

Tabel 5-2 S-tog stationer i TEMA2010

Albertslund	Friheden	KB-Hallen	Solrød Strand
Allerød	Fuglebakken	Kildebakke	Sorgenfri
Avedøre	Gentofte	Klampenborg	Stengården
Bagsværd	Glostrup	København H	Stenløse
Ballerup	Greve	Køge	Svanemøllen
Bernstorffsvej	Grøndal	Langgade	Sydhavn
Birkerød	Hareskov	Lindevang	Tåstrup
Bispebjerg	Hellerup	Lyngby	Valby
Brøndby Strand	Herlev	Malmparken	Vallensbæk
Brøndbyøster	Hillerød	Måløv	Vangede
Buddinge	Holte	Nordhavn	Vanløse
Charlottenlund	Hundige	Nørrebro	Veksø
Danshøj	Husum	Nørreport	Vesterport
Dybbølsbro	Hvidovre	Ordrup	Vigerslev Allé
Dyssegård	Høje Tåstrup	Peter Bangsvej	Virum
Ellebjerg	Ishøj	Ryparken	Værløse
Emdrup	Islev	Rødovre	Ølby
Enghave	Jersie	Sjælør	Ølstykke
Farum	Jyllingevej	Skovbrynet	Østerport
Flintholm	Jægersborg	Skovlunde	Ålholm
Frederikssund	Karlsunde	Solbjerg	Åmarken

Der kan rejses mellem de 22 METRO stationer på linie M1 og M2 som angivet i Tabel 5-3.

Tabel 5-3 Metrostationer i TEMA2010

Amager Strand	Femøren	Kongens Nytorv	Vanløse
Amagerbro	Flintholm	Lergravsparken	Vestamager
Bella Center	Forum	Lindevang	Ørestad
Christianshavn	Frederiksberg	Lufthavnen	Øresund
DR Byen	Islands Brygge	Nørreport	
Fasanvej	Kastrup	Sundby	

TEMA2010 sammenstykker automatisk den korteste segmentrækkefølge fra startstation til slutstation. Dette har særligt betydning, hvor der er flere alternative ruter mellem start- og slutstationen. Hvis brugeren ønsker en anden rute-lægning, må det vælges manuelt ved at opdele turen i delture.

Hvis start-station ikke er en segmentende, har TEMA indlagt afstanden fra fra-station til første segmentende på ruten og beregner automatisk den forholds-mæssige del af det første segment, der skal medtages. Tilsvarende for endesta-tionen.

#### Belægningsgrader

TEMA's belægningsgrader er opgjort for

- lyntog fordelt på segmenter
- regional- og intercity fordelt på segmenter
- S-tog (samlet)
- metro (samlet)

For lyntog, regionaltog, intercitytog samt S-tog angiver belægningsgraderne, hvor mange procent af togets sæder, der i døgn gennemsnit er optagede. For me-troen angiver belægningsgraden, hvor stor en andel af metroens oplyste passa-gerkapacitet, dvs. både stå- og siddepladser, der i døgn gennemsnit er optagede.

#### Brugervalg

Brugeren har mulighed for at specificere:

- Togtype: Regional, intercity, lyntog, S-tog eller metro.
- Til- og fra-station
- Togtype (litra)
- Afstand
- Fremtidige teknologier for IC3, IC4, MQ, ICE TD, ME og MR
- Belægningsgrader

TEMA2010 sammensætter ruten, således at den primært foregår med brugerens foretrukne togtypevalg, f.eks. Intercity, og de steder, hvor der ikke kører Inter-citytog, køres der i stedet med regionaltog.

## 5.2 Analyse

### Energi

Der benyttes en konvention om, at bruttoenergiforbrug angives i MJ. Dette er for dieseltogenes vedkommende brændværdien af det dieselbrændstof, der forbruges. Energiforbrug for elektriske tog måles på toget eller på en omformerstation. For at omregne fra målt energiforbrug til bruttoenergiforbrug på kraftværket anvendes en omregningsfaktor, som kan ses i kapitel 13.1.

### Målinger

I Tabel 5-4 ses nøgletal for diesel- og eltogs energiforbrug og emissioner. Disse er målt flere forskellige steder i landet, men der haves ikke måledata for alle strækninger. I stedet for at prøve at tilrette måledata for en strækning, så de gælder for en anden, har DSB valgt at lave et gennemsnit af nøgletallene, som er gældende for alle strækninger (for hver togtype).

Tabel 5-4 Energi- og emissionsnøgletal for diesel- og eltog.

Togtype	Elforbrug kWh <sub>M</sub> /plkm	Energi MJ/plkm	CO <sub>2</sub> g/plkm	CO g/plkm	HC g/plkm	NO <sub>x</sub> g/plkm	SO <sub>2</sub> g/plkm	Partikler g/plkm
MR / Reg		0,241	17,813	0,071	0,037	0,274	0,0001127	0,01466
MQ / Reg		0,228	16,871	0,047	0,018	0,135	0,0001068	0,00249
IC3 / Reg		0,219	16,213	0,012	0,006	0,091	0,0001026	0,00080
IC4 / Reg		0,252	18,645	0,014	0,006	0,105	0,0001180	0,00092
ER / Reg	0,024							
ET / Reg	0,025							
ME / Reg		0,286	21,133	0,065	0,017	0,421	0,0001338	0,01378
EA / Reg	0,020							
IC3 / IC		0,184	13,618	0,009	0,004	0,077	0,0000862	0,001
IC4 / IC		0,212	15,661	0,010	0,005	0,089	0,0000991	0,001
ER / IC	0,019							
IC3 / Lyn		0,220	16,243	0,010	0,004	0,095	0,0001028	0,001
IC4 / Lyn		0,252	18,680	0,011	0,005	0,110	0,0001	0,00083

Kilde: DSB.

Note: For eltog opgøres emissioner som konstant faktor pr. kWh gange el-emissioner. plkm=pladskm.

### Emissioner, diesel

Energiforbrug og emissioner for DSB's diesellokomotiver er blevet målt af Motorteknik- afdelingen ved DTI Energi i 1994, med supplerende målinger for MZIV og ME i maj-juni 1998. Målingerne er udført efter ISO 8178 standarden for forbrændingsmotorer, som ikke anvendes i vejtrafikken. Ved målingerne

blev anvendt DSB's standardbrændstof, Statoil miljødiesel med et maksimalt svovlindhold på 0,05 procent.

Resultatet af DTI's energimålinger blev en række grundtal for energiforbrug og emissioner af NO<sub>x</sub>, HC, CO og partikler (TSP) fordelt på togtyper og køretrin. Køretrin svarer til driftspunkter for dieselmotorerne. Disse grundtal har DSB kombineret med data fra togenes havarilog, som registrerer en tidsserie af køretrin for de sidste 3-6 dage toget har kørt.

Siden emissionsmålingerne er DSB gået over til at anvende diesel med et svovlindhold på 10 ppm i stedet for 500 ppm, og emissionstallene fra målingerne er i forbindelse med opdateringen af TEMA blevet reguleret af DSB, således at de er i overensstemmelse med brug af den nye dieseltpe.

For IC3 og IC4's vedkommende overholder togenes motorer EURO III-normen for lastbiler. Emissionstallene for IC3-tog stammer fra en kombination af motorproducentens målinger af emissioner og en antagelse om motorens belastning. Det bemærkes, at motorens belastningsfordeling antages identisk med belastningen af IC3-togens tidligere motorer, idet der ikke foreligger data vedrørende den faktiske belastningscyklus for de nuværende motorer.

Grundtal for emissioner fra IC4 er beregnet på baggrund af IC3-togens målinger, men er af DSB opskaleret i forhold til vægtforskellen mellem togene.

Tog af typen MQ, der primært kører på Svendborgbanen, er udstyret med en motor, der overholder EURO II-normen for lastbiler. Emissioner fra MQ er estimeret af DSB på baggrund af norm, energiforbrug samt en antaget virkningsgrad.

Nye teknologier og brændstof

DSB planlægger at foretage en række tiltag, der vil reducere emissioner fra fremtidens tog. Bl.a. undersøges løbende muligheden for at udstyre togene med filtre eller katalysatorer, der kan mindske emissionerne.

For at kunne tage højde for de fremtidige teknologier er der i Tabel 5-5 angivet en række af DSB's estimater for, hvor meget disse tiltag vil reducere de forskellige emissionstyper.



Tabel 5-5 Procentvise reduktioner for de 6 emissionstyper afhængigt af togtype og reduktionstiltag

Litra	Reduktionstype	CO <sub>2</sub> *	CO	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	Partikler
IC3	filter + oxidations katalysator	-	80-95 %	80-95 %			80-95 %
IC3	Filter + SCR (UREA)	0-10 %	80-95 %	80-95 %	70-90 %		80-95 %
IC4	filter + oxidations katalysator	-	80-95 %	80-95 %			80-95 %
IC4	Filter + SCR (UREA)	0-10 %	80-95 %	80-95 %	70-90 %		80-95 %
MQ	filter + oxidations katalysator	-	80-95 %	80-95 %			80-95 %
MQ	Filter + SCR (UREA)	0-10 %	80-95 %	80-95 %	70-90 %		80-95 %
ME	oxiderende katalysator	-	80-95 %	80-95 %			60 %
ME	filter + oxidations katalysator	-	80-95 %	80-95 %			80-95 %
MR	oxiderende katalysator	-	80-95 %	80-95 %			30-40 %
MR	filter + oxidations katalysator	-	80-95 %	80-95 %			80-95 %
MR	Filter + SCR (UREA)	0-10 %	80-95 %	80-95 %	70-90 %		80-95 %

Den gennemsnitlige togstørrelse, som vist i Tabel 5-6, er beregnet af DSB på basis af DSB's realiserede kørsel i 2007.

Tabel 5-6 Pladser (kapacitet) i tog.

Togtype	Antal vogne/ togsæt pr. tog	Pladser pr. tog
MR	1	132
MQ	1	114
IC3	1	151
IC4	1	205
ER	1	227
ET	2	506
ME	5	360
EA	9	680

IC3 Intercity	2	302
IC4 intercity	4	203
ER intercity	2	466
IC3 lyntog	2	302
IC4 lyntog	4	203

Kilde: DSB.

**Belægningsgrader** HRL-togenes belægningsgrader er baseret på udtræk for 2008 foretaget af DSB.

*Tabel 5-7 Belægning i HRL-tog.*

Togtype	Belægningsgrad
Regionaltog	32,9%
Intercitytog	54,1%
Lyntog	64%
Øresundstog	39,8%

Kilde: DSB.

**Emissioner, elektriske tog**

Nøgletal for energiforbrug for alle elektriske togtyper angives som nettoenergiforbrug ( $kWh_M$ ) leveret til kørestrømsnettet. I de tilfælde, hvor målingerne er foretaget i selve toget, er der tillagt et kørestrømsstab på 5 procent.

Energiforbruget inkluderer el til opvarmning og belysning, men ikke el til f.eks. drift af stationer og skakte. For de togtyper, som er i stand til at regenerere energi (IR4, ET, S-tog og metro) i forbindelse med bremsning, er denne energimængde fratrukket forbruget.

Energiforbruget for el-drevne tog er i TEMA identisk på alle strækninger med samme togtype og køremønster under antagelse af, at energiforbruget er upåvirket af f.eks. med- og modvind, der antages at opveje hinanden. Dette gælder også metroen, der tilskrives samme energiforbrug, uanset om den kører over eller under jorden.

I Tabel 5-8 ses elforbrug samt passagerdata for S-tog og metro.

Tabel 5-8 Elforbrug og passagerdata for S-tog og metro

Togtype	kWh/togkm	belægning	Kapacitet, siddepladser
Stog	7,97	21,1%	336
Metro	3,75	44,2%	96

Kilde: DSB samt Metroselskabet.

Note: Værdierne er inkl. et forventet kørestrømstab på 5%. De 7,97 kWh per togkm for S-tog angiver det samlede elforbrug for S-tog divideret med det samlede antal tog km og er beregnet ud fra DSB's Miljørapport og Årsrapport 2008. DSB oplyser, at dette elforbrug inkluderer et elforbrug (tab ved stilstand). Når der ses bort fra dette tab er forbruget per togkm 6,5 kWh per km. Trafikstyrelsen oplyser at den faktiske belægningsgrad i et konkret S-tog i praksis er ca. 10% højere på grund af nedformering af tog og andre omstændigheder.

## Belægningsgrader

Belægningsgraderne for S-tog er opgjort på et overordnet plan, hvor der beregnes en årlig gennemsnitlig belægningsgrad for hele S-togstrafikken ud fra DSB's årsrapport. Denne belægningsgrad var 21,1% i 2008. Denne belægningsgrad kan korrigeres for at tage hensyn til nedformering mv. Når belægningsgraden korrigeres for dette stiger belægningsgraden til 22,9%. Default belægningsgrad er sat til 21,1%.

Belægningsgraderne for METRO opgøres kun på et overordnet plan, hvor der beregnes en årlig gennemsnitlig belægningsgrad for hele S-togstrafikken. Det samlede antal passagerkilometre oplyses af Danmarks Statistik, det samlede antal pladskilometre opgøres i regnearket til CO<sub>2</sub> modellen.

Passagerbelægning inkluderes ikke ved selve emissionsberegningen, da der estimeres emissioner på baggrund af togenes energiforbrug med en gennemsnitlig belægningsgrad, og det i øvrigt antages, at energiforbruget ikke afhænger af antallet af passagerer. Belægningen har derimod betydning for de passagerspecifikke forbrugs- og emissionsestimater.

Brugeren har mulighed for selv at ændre belægningsgraden, såfremt rejsen tænkes foretaget i perioder med større eller mindre belægning.

Det bemærkes, at det faktiske passagertal i særligt belastede perioder kan være højere end den oplyste kapacitet, idet kapaciteten for alle andre tog end metro antages at svare til antallet af siddepladser, mens kapaciteten for metroen svarer til det af Metroselskabet oplyste maksimale passagertal. Det er i TEMA ikke muligt at definere en belægningsgrad for persontog, der overstiger 100 procent.

Til brug for TEMA's sammensætning af segmenter til en togrute, er de typiske togtyper for hvert segment og hver produkttype blevet opgjort i Tabel 5-9. Med typisk forstås den togtype, der har den højeste afgangsfrekvens på segmentet.

Lyntog betjenes af IC3 og IC4, mens Intercitytog betjenes af IC3, IC4 og ER. Det er valgt at give brugeren mulighed for at vælge mellem ER, IC3 og IC4 på de ture, hvor hele Intercity-segmentfølgen er elektrificeret.

Regionaltog er på samme måde blevet opgjort med afgangsfrekvens på segmentet som kriterium for typisk tog. Det er kun muligt at køre fra en togstation til en anden togstation med regionaltog, hvis turen kan gøres uden at skifte regionaltogstype undervejs. Hvis der er flere valgmuligheder præsenteres disse for brugeren. Det typiske regionaltog på fra-segmentet vælges som typisk for hele ruten.

Tabel 5-9 Strækningslængder og by/land fordeling for HRL-nettet.

Segment	Segment-Ende1	Segment-Ende2	Længde (Km)	By (%)	Land (%)	Typisk Regionaltog	Typisk Intercitytog	Typisk Lyntog
1	Ålborg	Frederikshavn	84,9	23	77	MR		IC3
2	Ålborg	Langå	94,1	31	69	MR	IC3	IC3
3	Århus H	Grenå	68,9	34	66	MR		
4	Århus H	Langå	45,8	33	66	MR	IC3	IC3
5	Struer	Langå	102,4	24	76	Arriva	IC3	
6	Struer	Thisted	73,6	16	84	Arriva	IC3	
7	Struer	Holstebro	15,5	24	76	MR	IC3	IC3
8	Holstebro	Herning	41,2	28	72	MR	IC3	IC3
9	Herning	Skjern	40,7	30	70	Arriva		
10	Holstebro	Skjern	71	11	89	Arriva		
11	Skjern	Esbjerg	59,9	30	70	Arriva		
12	Esbjerg	Bramming	16,4	42	58	MR	IC3	IC3
13	Bramming	Lunderskov	39,3	22	78	MR	IC3	IC3
14	Bramming	Tønder	64	17	83	Arriva		
15	Lunderskov	Tinglev	62,5	20	80	MR	IR4	IR4

16	Lunderskov	Fredericia	32,8	35	65	MR	IR4	IR4
17	Fredericia	Vejle	25,7	23	77	MR	IC3	IC3
18	Herning	Vejle	73	19	81	MR	IC3	IC3
19	Herning	Skanderborg	71,2	23	77	Arriva		
20	Skanderborg	Vejle	60	33	67	MR	IC3	IC3
21	Skanderborg	Århus H	22,8	43	57	MR	IC3	IC3
22	Fredericia	Odense	60,3	30	70	MQ	IC3	IC3
23	Odense	Svendborg	48,2	31	69	MQ		
24	Odense	Nyborg	28,7	27	73	IR4	IC3	IC3
25	Nyborg	Korsør	23	0	100	IR4	IC3	
26	Korsør	Ringsted	44,4	23	77	IR4	IC3	
27	Ringsted	Roskilde	32,6	24	76	IR4	IC3	
28	Ringsted	Næstved	26,8	16	84	IC3		
29	Næstved	Nykøbing F	56,2	23	77	IC3		
30	Nykøbing F	Rødby	36,3	6	94	IC3		
31	Nykøbing F	Gedser	23	17	83	IC3		
32	Næstved	Køge	39	29	71	MR		
33	Køge	Roskilde	22,4	40	60	MR		
34	Roskilde	København H	31,3	79	21	IC3	IC3	
35	København H	Helsingør	46,2	67	33	ETS		
36	København H	Malmø	25	75	25	ETS	ETS	
37	Malmø	Ystad	80	10	90		ETS	
38	Hillerød	Helsingør	24,4	45	55	Lokalbane		
39	Tinglev	Sønderborg	41,2	24	76	IR4	IR4	IR4
40	Kalundborg	Holbæk	43,5	24	76	ME		

41	Holbæk	Roskilde	35,8	30	70	ME		
42	Padborg	Tinglev	14,4	22	78	MR		
43	Kastrup	København H	11,6			ETS	IC3	
44	Kastrup	Roskilde	42,9			IR4	IC3	

Kilde: DSB

Note: Arriva betjener sine segmenter med MQ litra, Hillerød-Helsingør betjenes med litra ML

### 5.3 Beregningsgang

Beregningsgangen i TEMA2010 for emissioner for en passagertur er givet ved nedenstående formler. Brugeren vælger fra- og til-station samt togtype, hvorefter TEMA beregner emissionerne opdelt på land/by.

Tabel 5-10 Variable og index

Variabel	Forklaring	Enhed
$E^P$	Emission pr. person	[g/p]
$E^E$	Emission pr. el energiforbrug	[g/kWh]
$e^K$	Emission pr. pladskm	[g/plkm]
$q$	Energiforbrug pr. km	[kWh/km]
$K^P$	Kapacitet i transportmidlet	[antal sæder]
$B$	Belægningsprocent	[%]
$D$	Distance	[km]
$G$	By, land eller motorvejsandel	[%]
$l$	Emissionstype	CO <sub>2</sub> , CO, HC, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> ,
$i$	Fra	Stationer
$j$	Til	Stationer
$t$	Transportmiddeltype	Togtyper
$g$	Geografi	Land, by
$s$	Segment eller strækning	{1,...,42}

## Formler

Princippet i beregningerne er, at enhver deltur ses som en samlet transport, dvs. at det samlede persontransportarbejde og emissioner summeres over en række af segmenter og danner baggrund for beregning af emissioner pr. personkm.

Denne fremgangsmåde giver et gennemsnitligt antal personer på en given tur vægtet med strækningslængder og togkapacitet, men vær opmærksom på, at emissioner pr. person ikke er additivt over en segmenttrækkefølge.

$$e_{g,l}^P(i,j) = \frac{\sum_s e_{t(s),l}^K K_{t(s)} D_s G_{s,g}}{\sum_s B_{s,t(s)} K_{t(s)} D_s}$$

hvor  $s \in$  korteste vej  $i \rightarrow j$  og  $t \in$  diesel togtype

$$e_{g,l}^P(i,j) = \frac{\sum_s E_l q_{t(s)}^K K_{t(s)} D_s G_{s,g}}{\sum_s B_{s,t(s)} K_{t(s)} D_s}$$

hvor  $s \in$  korteste vej  $i \rightarrow j$  og  $t \in$  elektrisk togtype

Togtypen  $t(s)$  afhænger af segmentet og angiver den typiske togtype for hvert segment.

I avancerede indstillinger benytter TEMA ikke den geografiske fordeling af belægningsgraderne

For S-tog og metro benyttes formlen

$$e_l^P(i,j,t) = \frac{E_l^E q_t}{K_t^P B_t}, t \in \{S - \text{tog}, \text{metro}\}$$

Bemærk, at eltog pr. definition forurener i landzone, jf. kapitel 13.1.

Når  $i$  og  $j$  ligger midt på segmenter, beregner TEMA den forholdsmæssige del af start- og slutsegmenterne på ruten, dvs.  $D_s$  ganges med den procentdel af segmentet, som strækningen fra segmentende til  $i$  eller  $j$  udgør.

## 5.4 Kilder

### 5.4.1 Litteratur

DSB (2008): Miljørapport og Årsrapport

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

Evert Andersson (1997): Energy Consumption and Air Pollution of Electric Rail Traffic, The Swedish Case, Trita-FKT.

Jørgensen, Morten W., and Spencer Sorenson (1997): *Estimating Emissions from Railway Traffic. Report for the MEET project, Deliverable 17*, Department of Energy Engineering, Technical University of Denmark.

Metroselskabet (2009): *Miljørapport 2008/2009*.

#### **5.4.2 Internet**

Metro: [www.m.dk](http://www.m.dk)



## 6 Færger til passagertransport

### 6.1 Oversigt

Færgetransporten er i konstant udvikling. Det betyder, at færger flyttes rundt mellem forskellige ruter. På Sjællands Odde-Ebeltoft sejler i dag to hurtige kataranfærger, Mie og Maj Mols, som blev indsat i sommeren 1996. De konventionelle færger, Mette og Maren Mols, er fra januar 2000 overflyttet fra Odde – Ebeltoft til ruten Kalundborg-Århus. Derudover er der kommet en ny rute Rønne – Køge.

Der er endvidere medtaget en række færgeruter til og fra de små øer. Dette udgør ca. halvdelen af de små færgeruter i Danmark. Det er skønnet, at de ruter, der er inkluderet i modellen, giver et geografisk dækkende billede, samtidig med at de repræsenterer et bredt udvalg af rutelængder og mindre færgerstørrelser i Danmark. De færgeruter og færgeruterne til og fra de små øer er illustreret i de følgende tabeller.

*Tabel 6-1 Færger og ruter i TEMA2010 og deres årlige transport i 2008*

Færgetype	Passagerkm per år (1000)	Andel
Hurtig	85.842	42,8%
Konventionel	45.788	22,8%
Små færger	69.036	34,4%

Navn	Passagerkm per år (1000)	Andel
<b>Hurtig</b>		
Sjællands Odde-Ebeltoft	33.417	16,7%
Sjællands Odde-Århus	52.425	26,1%
<b>Konventionel</b>		
Kalundborg-Århus	29.173	14,5%
Køge-Rønne	16.615	8,3%

1) Kilde: Danmarks Statistik

Ud over de færgeruter, der er vist ovenfor, kan det nævnes, at også ruten Rønne - Ystad er medtaget i TEMA2010. Her transporteres årligt 91.556.000 personkm fordelt på hurtigfærger Villum Clausen og de tre konventionelle færger: M/F Povl Anker, M/F Dueodde og M/F Hammerodde.

Tabel 6-2 Færge ruter i TEMA2010

Færge type	Navn	Rutenavn
Hurtig	H/F Villum Clausen	Rønne - Ystad
Hurtig	Maj Mols	Ebeltoft - Sjællands Odde
Hurtig	Max Mols	Århus - Sjællands Odde
Hurtig	Mie Mols	Ebeltoft - Sjællands Odde
Konventionel	M/F Dueodde	Rønne - Ystad
Konventionel	M/F Hammerodde	Rønne - Køge
Konventionel	M/F Hammerodde	Rønne - Ystad
Konventionel	M/F Povl Anker	Rønne - Ystad
Konventionel	Maren Mols	Århus - Kalundborg
Konventionel	Mette Mols	Århus - Kalundborg
Lille	Agersø Færgeren	Stignæs - Agersø
Lille	Anholt	Grenå - Anholt
Lille	Askø	Askø - Bandholm
Lille	Bukken-Bruse	Kragensnæs - Fejø
Lille	Baagøfærgeren	Assens - Baagø
Lille	Femø Sund	Kragensnæs - Femø
Lille	Fåborg II	Faaborg-Avernakø - Lyø
Lille	Hals-Egense	Hals - Egense
Lille	Hannæs	Feggesund -
Lille	Jacob Hardeshøj	Hardeshøj - Ballebro
Lille	Læsø	Vesterø Havn / Læsø - Frederikshavn
Lille	Marstal	Marstal - Rudkøbing
Lille	Mary	Havlpsund - Sundsøre
Lille	Menja	Esbjerg - Fanø
Lille	MF Endelave	Horsens - Endelave
Lille	MF Frigg	Tårs - Spodsbjerg
Lille	MF IDA	Stubbekøbing - Bogø
Lille	MF Kanalen	Thyborøn - Agger
Lille	MF Kanhave	Kalundborg - Samsø
Lille	MF Tunøfærgeren	Hov - Tunø
Lille	Nakkehage	Hundested - Rørvig
Lille	Næssund	Næssund -
Lille	Omø	Stignæs - Omø
Lille	Ourø	Holbæk - Orø
Lille	Runden	Havnsø Nekselø - Sejerø

Lille	Sleipner-Fur	Branden - Fur
Lille	Strynboen	Strynø - Rudkøbing Færefart
Lille	Søbyfærgen	Søby - Fåborg
Lille	Thor Sydfyen	Bøjden - Fynshav
Lille	Ulvsund	Søby - Mommark
Lille	Venøsund II	Kleppen - Venø
Lille	Vestborg	Hov - Samsø
Lille	Ærøsund	Ærøskøbing - Svendborg

Brugerparametrene for de definerede færger er ikke ændret væsentligt i forhold til den tidligere version af TEMA. Dog er det valgt at inddrage omfanget af godstransport for derved at muliggøre en fordeling af emissionerne på person- og godstransport. De brugerspecificerede parametre for disse færger vil således være:

- Færgen/ruten
- Ombordstigningsform, dvs. bil, bus eller landgangspassager
- Evt. færgens belægning i antal biler, busser og landgangspassagerer
- Evt. belægningen i bil eller bus
- Omfang af godstransport målt som personbilækvivalenter (pbe)

For de færger, som brugeren selv definerer, skal der desuden specificeres følgende parametre:

- Færgetypen; dvs. konventionel færge, hurtig katamaranfærge eller hurtig enkeltskrogsfærge fremdrevet med dieselmotorer eller gasturbiner
- Turlængde
- Personbilkapacitet
- Evt. sejlhastighed i knob

## 6.2 Analyse

I dette afsnit præsenteres først de forudsætninger som danner baggrund for de fordefinerede færger. I afsnit 6.2.4 beskrives forudsætningerne for de brugerdefinerede færger.

### 6.2.1 Energiforbrug

Energiforbruget beregnes efter samme metode som er anvendt i NERI (2009)<sup>7</sup>. Tabellen nedenfor viser baggrundsdata på de tilgængelige færgeruter i TEMA2010. Her beregnes færgernes brændstofforbrug beregnes som:

$$\text{Brændstofforbrug} = \text{kW} * \text{Minutter}/60 * \text{Belastning} * \text{Brændstof per kWh.}$$

<sup>7</sup> Annual danish informative inventory report to unece, NERI 2009

Baggrundsdata til denne beregning af energiforbruget er vist i den følgende tabel.

Tabel 6-3 Beregning af energiforbrug på tilgængelige færgeruter i TEMA2010

Færgenavn	Havn A	Havn B	Årgang	Motor effekt (kW)	Belastning (%)	Overfart tid (min)	Brændstof per kWh
Askø	Askø	Bandholm	1993	550	80	23	240
Baagøfærgen	Assens	Baagø	1976	412	80	29	240
Sleipner-Fur	Branden	Fur	1996	458	80	5	265
Thor Sydfyen	Bøjden	Fynshav	1978	1176	80	50	264.5
Mie Mols	Ebeltoft	Sjællands	1996	24800	80	45	264
Mai Mols	Ebeltoft	Sjællands	1996	24800	80	45	263.5
Menja	Esbjerg	Fanø	1997	750	80	12	263
Sallingsund	Feggesund		1958	154	80	6	262.4
Fåborg II	Faaborg	Lyø	1965	570	80	40	261.3
Anholt	Grenå	Anholt	2001	1289	80	165	260.7
Hals-Egense	Hals	Egense	1961	462	80	4	259.5
Bitten Clausen	Hardeshøj	Ballebro	2001	728	80	8	258.9
Mary	Havpsund	Sundsøre	2006	588	80	10	258.2
Runden	Havnsø	Sejerø	1960	588	80	55	257.6
Ourø	Holbæk	Orø	2003	746	80	29	256.1
MF Endelave	Horsens	Endelave	1996	1275	80	55	255.4
MF Tunøfærgen	Hov	Tunø	1993	588	80	55	254.6
Vesborg	Hov	Samsø	1995	1770	80	50	253.8
Nakkehage	Hundested	Rørvig	1955	442	80	25	253
MF Kanhave	Kalundborg	Samsø	2008	4680	80	110	251.2
Venøund II	Kleppen	Venø	1956	350	80	2	248.3
Christine	Kragenæs	Fejø	2002	740	80	15	247.3
Femøund	Kragenæs	Femø	1996	618	80	50	246.2
MF Hammerodde	Rønne	Køge	2005	8640	80	360	245
MF Dueodde	Rønne	Køge	2005	8640	80	360	243.8
Poul Anker	Rønne	Køge	1979	12950	80	360	242.6
Marstal	Marstal	Rudkøbing	1999	2040	80	60	241.3
Næssund	Næssund		1964	154	80	6	239.9
MF Hammerodde	Rønne	Ystad	2005	8640	80	150	235.5
MF Dueodde	Rønne	Ystad	2005	8640	80	150	233.9
MF Poul Anker	Rønne	Ystad	1979	12950	80	150	232.2
H/F Villum Clausen	Rønne	Ystad	2000	36000	80	75	230.5
Omø	Stignæs	Omø	2003	736	80	40	218.3
Agersø Færgen	Stignæs	Agersø	1993	465	80	15	216
Strynboen	Strynø	Rudkøbing	1966	205	80	29	213.6
MF IDA	Stubbekøbing	Bogø	1957	154	80	12	211
Højestene	Svendborg	Drejø	1997	750	80	55	205.7
Søbyfærgen	Søby	Fåborg	1966	408	80	60	202.9
Skjoldnæs	Søby	Fynshav	1978	735	80	70	199.9
MF Kanalen	Thyborøn	Agger	1975	602	80	10	199.9
MF Frigg	Tårs	Spodsbjerg	1984	1370	80	45	199.9
Margrete Læsø	Læsø	Frederikshavn	1996	2940	80	90	199.9
Ærøskøbing	Ærøskøbing	Svendborg	1998	2040	80	75	199.9
Mette Mols	Århus	Kalundborg	1996	11600	85	155	199.9
Maren Mols	Århus	Kalundborg	1996	11600	85	155	199.9
Max Mols	Århus	Sjællands	1998	28320	65	65	199.9
Aarø	Årøund	Årø	1998	500	80	8	255.5

## 6.2.2 Emissioner

Emissionerne beregnes herefter på baggrund af energiforbrug, motortype og årgang efter de emissionsfunktioner der er anvendt i rapporten fra NERI 2009.

Inden for hurtigfærgerne er der forskel på emissionerne, alt efter hvilken motortype færgen er udstyret med. Der er først og fremmest væsentlig forskel på NO<sub>x</sub>-, CO- og HC-emissionerne fra gasturbiner og dieselmotorer. Mols-Liniens hurtigfærger, Max og Mie Mols samt Bornholms Trafikkens nye hurtigfærge er udstyret med gasturbiner, mens Max Mols (den tidligere Cat-Link færge) har dieselmotorer.

Tabel 6-4 Anvendte emissionsfaktorer

Subtype	Færgenavn	CO2 (g/Kwh)	CO (g/Kwh)	Nox (g/Kwh)	HC (g/Kwh)	SO2 (g/Kwh)	Partikler (g/Kwh)
Hurtig	Max Mols	650.0	1.6	11.8	0.5	0.4	0.2
Hurtig	Mie Mols	758.4	0.1	4.0	0.3	0.5	0.2
Hurtig	Mai Mols	758.4	0.1	4.0	0.3	0.5	0.2
Hurtig	H/F Villum Clausen	758.4	0.1	4.0	0.3	0.5	0.2
Konventionel	Maren Mols	567.5	1.6	19.1	0.5	4.3	1.6
Konventionel	Mette Mols	567.5	1.6	19.1	0.5	4.3	1.6
Konventionel	M/F Hammerodde	595.5	1.6	12.0	0.5	4.6	1.7
Konventionel	M/F Dueodde	595.5	1.6	12.0	0.5	4.6	1.7
Konventionel	Poul Anker	729.3	1.6	10.4	0.5	5.6	2.1
Lille	Askø	653.1	1.6	12.1	0.5	5.0	1.9
Lille	Runden	719.6	1.6	15.0	0.5	5.5	2.1
Lille	Mary	595.5	1.6	12.0	0.5	4.6	1.7
Lille	Aarø	613.6	1.6	12.9	0.5	4.7	1.8
Lille	Bitten Clausen	595.5	1.6	12.0	0.5	4.6	1.7
Lille	Højestene	622.1	1.6	12.7	0.5	4.8	1.8
Lille	Sallingsund	723.4	1.6	14.8	0.5	5.5	2.1
Lille	Anholt	595.5	1.6	12.0	0.5	4.6	1.7
Lille	Menja	622.1	1.6	12.7	0.5	4.8	1.8
Lille	Baagøfærgen	740.6	1.6	10.1	0.5	5.7	2.1
Lille	Sleipner-Fur	630.3	1.6	12.6	0.5	4.8	1.8
Lille	Fåborg II	709.0	1.6	15.4	0.5	5.4	2.1
Lille	Ourø	595.5	1.6	12.0	0.5	4.6	1.7
Lille	Thor Sydfyen	733.1	1.6	10.3	0.5	5.6	2.1
Lille	Venøsund II	727.1	1.6	14.6	0.5	5.6	2.1
Lille	Hals-Egense	717.7	1.6	15.1	0.5	5.5	2.1
Lille	Omø	595.5	1.6	12.0	0.5	4.6	1.7
Lille	Ærøskøbing	613.6	1.6	12.9	0.5	4.7	1.8
Lille	Magrete Læsø	630.3	1.6	12.6	0.5	4.8	1.8
Lille	MF Frigg	707.1	1.6	10.9	0.5	5.4	2.1
Lille	MF Kanalen	744.1	1.6	10.0	0.5	5.7	2.2
Lille	Skjoldnæs	733.1	1.6	10.3	0.5	5.6	2.1
Lille	Søbyfærgen	706.8	1.6	15.5	0.5	5.4	2.1
Lille	MF IDA	725.3	1.6	14.7	0.5	5.6	2.1
Lille	Nakkehage	728.7	1.6	14.5	0.5	5.6	2.1
Lille	Agersø Færgen	653.1	1.6	12.1	0.5	5.0	1.9
Lille	MF Endelave	630.3	1.6	12.6	0.5	4.8	1.8
Lille	Næssund	711.5	1.6	15.3	0.5	5.4	2.1
Lille	Marstal	604.9	1.6	13.0	0.5	4.6	1.8
Lille	Femøsund	630.3	1.6	12.6	0.5	4.8	1.8
Lille	Christine	532.7	1.4	16.0	0.4	4.1	1.5
Lille	MF Kanhave	595.5	1.6	12.0	0.5	4.6	1.7
Lille	Vesborg	638.4	1.6	12.4	0.5	4.9	1.9
Lille	MF Tunøfærgen	653.1	1.6	12.1	0.5	5.0	1.9
Lille	Strynboen	706.8	1.6	15.5	0.5	5.4	2.1

Det fremgår, at den dieseldrevne hurtigfærge (Max Mols) har emissionsfaktorer nogenlunde på niveau med de konventionelle færger, da begge skibstyper normalt fremdrives af hhv. "high speed" og "medium speed" motorer. Til gengæld har de gasturbinedrevne hurtigfærger væsentligt lavere emissioner af CO-, HC- og NO<sub>x</sub>-emissionerne. Det skal understreges, at de motorspecifikke emissioner fra gasturbinedrevne hurtigfærger kan variere meget. Specielt vil NO<sub>x</sub>-emissionerne kunne være væsentligt lavere end de angivne værdier, og der er fra flere forskellige fabrikanter rapporteret om NO<sub>x</sub>-emissioner helt ned på 0,1 g/MJ.

Typisk sejler hurtigfærgerne på svovlfattigt brændstof, som dog varierer fra rederi til rederi. Det er i modellen antaget, at hurtigfærgerne sejler på et brændstof med et svovlindhold på 0,1%, mens de konventionelle færger og de små færger sejler på fuel olie med et svovlindhold på 1,2% (DMU 2009).

I Tabel 6-5 ses de brændstofafhængige emissionskoefficienter fra TEMA2010.

*Tabel 6-5 Emissionskoefficienter (g/Kg brændstof) fra forskellige brændstoffer og motortyper i TEMA2010*

Emission	Fuel olie	Diesel
S (%)	1,2	0,1
SO <sub>2</sub> (g/kg brændstof)	24	2
Partikler (g/kg brændstof)	2,1	0,9

Kilde: Annual danish informative inventory report to unece, Emission inventories from the base year of the protocols to year 2007, NERI 2009

De anvendte emissionsfaktorer gælder for stationære forhold under normal sejlads. Ved bl.a. manøvrering og acceleration arbejder motorerne under varierende belastning, hvor der kan forekomme store variationer i emissionsfaktorerne i forhold til de viste. Emissionerne pr. MJ vil generelt være højere ved manøvrering end ved almindelig sejlads, således at emissionsfaktorerne teoretisk set burde være højere ved en kort sejlads end ved en lang. Der er imidlertid set bort fra denne forskel i TEMA2010.

### 6.2.3 Belægningsgrader og personbilækvivalenter

Belægningsgraderne er blevet opdateret med data fra Danmarks Statistik. For de små færger er der anvendt gennemsnitlige belægningsgrader. Der er forholdsvis ensartede belægningsgrader på de små færger, så dette er en rimelig antagelse.

Belægningsgraderne danner baggrund for fordeling af emissioner og energiforbrug på transportmidler, passagerer og gods. Der er forskel på de belægningsgrader, der fås ved at betragte vogndækskapaciteten og passagerkapaciteten. For på en konsistent måde at fordele energiforbruget og emissionerne er det valgt at tage udgangspunkt i vogndæksbelægningsgrader og herefter dele forbruget ud på forskellige transportmidler og på passagerer via personbilækvivalenter. Det betyder, at man får et energiforbrug pr. passager, som ikke nødvendigvis stemmer overens med det energiforbrug pr. passager, man ville få, hvis man betragtede den rene passagerbelægning i forhold til passagerkapaciteten. I Tabel 6-6 nedenfor viser de anvendte ækvivalenter.

Tabel 6-6 Personbilækvivalenter for færgernes kapacitet

	Konventionelle færger	Hurtigfærger
Gående <sup>1)</sup>	1/10	1/10
Personbil	1	1
Varebil	2	2
Bus	2,5	2,5
Lastvogne med anhænger	3,75	3,75
Lastvogne uden anhænger	2,4	2,4
Modulvogntog med forvogn (2009 - )	5,05	5,05
Modulvogntog uden forvogn (2009 - )	4,47	4,47
Sættevogne med forvogn	3,3	3,3
Sættevogne uden forvogn	2,72	2,72

1) Ækvivalenten for gående er baseret på en kapacitet på 25 passagerer i busser, som antages at være det mest realistiske alternativ til at være gående ombord. Ækvivalenter for gods er beregnet på baggrund af lastbilernes længde.

#### 6.2.4 Brugerdefinerede færger

Udover de færger, der i dag sejler på de ruter, der er med i TEMA2010, er der indlagt en delmodel, hvor brugeren selv kan definere sin egen færge. Denne model bygger på modelberegninger for de forskellige skibstyper (se Kristensen (2000)), der er omfattet af TEMA2010 og dokumenteret i bilagsrapport.

Her skal blot nævnes, at delmodellen bygger på en statistisk analyse af færger, på hvilken baggrund der er opstillet sammenhænge mellem kapacitet, størrelse, fart og energiforbrug.

Delmodellen er integreret således, at de færger, brugeren selv definerer, kan indgå på lige fod med de færger, der allerede er i TEMA2010.

Se bilagsrapporten Kristensen (2000) for yderligere information om brugerdefinerede færger.

### 6.3 Beregningsgang

Beregningsgangen for energiforbruget knyttet til de forskellige transportmidler på den enkelte færge kan beskrives ved følgende formel:

$$q_t = q_{FÆRGE} \times \frac{N_t C_t}{\sum_t N_t C_t}$$

hvor  $q_t$  er energiforbruget pr. km for transportmiddel  $t$ ,  $N_t$  er belægningen på færgen for transportmiddel  $t$  og  $C_t$  personbilækvivalenten for transportmiddel  $t$ .

Tilsvarende vil emissionen pr km være givet ved nedenstående formel:

$$e_t = I \times q_t$$

hvor  $I$  er den specifikke emissionsfaktor i g/MJ.

Beregningen af brugerspecificerede færgers energiforbrug fremgår af bilagsrapporten: Beskrivelse af TEMA2000 modellens skibstekniske beregningsgrundlag.

### 6.4 Kilder

#### 6.4.1 Litteratur

Kristensen H. O. (2000): Beskrivelse af TEMA2000 modellens skibstekniske beregningsgrundlag. Bilagsrapport.

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

NERI (2009): Annual danish informative inventory report to unece, Emission inventories from the base year of the protocols to year 2007, DMU, Teknisk Rapport nr. 716, 2009

#### 6.4.2 Internet

Danmarks Statistik: [www.statistikbanken.dk](http://www.statistikbanken.dk)

Hjemmesider fra rederier og færgeselskaber.

Hjemmeside med færge data: [ferrysite.dk](http://ferrysite.dk)



Register over danske skibe: <http://skibsregister.dma.dk>

Færgeruteafstande: [Maps.google.dk](http://Maps.google.dk)

## 7 Fly

Beregning af energiforbrug og emissioner fra fly mere kompliceret end for de andre transportformer, blandt andet fordi emissioner ikke blot afhænger af afstanden, men også hvor højt man flyver. På den anden side er der kun et begrænset antal aktuelle ture og et begrænset antal flytyper.

### 7.1 Oversigt

TEMA2010 beregner energiforbrug og emissioner for indenrigsflyvninger mellem København (Kastrup) og provinslufthavnene.

Brugeren kan vælge følgende:

- Destination
- Flytype
- Passagerbelægning.

I Tabel 7-1 ses destinationerne og deres afstand fra Kastrup Lufthavn.

*Tabel 7-1. Afstande på danske indenrigsruter.*

Destination	Afstand til Kastrup (km)
Aalborg	227
Århus	150
Billund	209
Esbjerg	264
Karup	222
Rønne	158
Sønderborg	188

Kilder: SLV's hjemmeside, november 2009 samt [www.cph.dk](http://www.cph.dk).

Alle provinslufthavne med ruteflyvning til og fra København er medtaget. Rute-flyvning til Anholt og Læsø, som betjenes med små fly med plads til 5-19 passagerer, og hvis samlede trafikarbejde er meget lille, medtages ikke.

Der er ikke mulighed for at vælge ruter på tværs - med andre ord er der kun medtaget ruter, der enten begynder eller slutter i København/Kastrup, herunder ruter med mellemlanding i Billund eller Århus. Dette er i overensstemmelse med de faktiske forhold.

Det er i TEMA2010 valgt at inkludere flytyper, der beflyver mindst 10 procent af en af de danske indenrigsruter, hvilke er følgende:

- ATR 42-500
- ATR 72-200
- Boeing 737-700
- CRJ-200
- MD-80, der er en fællesbetegnelse for typerne MD-81, -82 og -83
- Saab 340

Tabel 7-2 viser, hvilke af flytyperne der beflyver de forskellige indenrigsruter.

*Tabel 7-2 Flytyper på danske indenrigsruter.*

Destination	Flytyper					
	ATR 42-500	ATR 72-200	Boeing 737-700	CRJ-200	MD-80	Saab 340
Aalborg	X	x	X	x	x	-
Århus	X	x	-	x	x	-
Billund	X	x	-	x	-	-
Esbjerg	-	-	-	-	-	x
Karup	X	x	-	x	-	-
Rønne	X	x	-	x	-	x
Sønderborg	X	x	-	x	-	-

Kilde: SLV's hjemmeside

Af Tabel 7-3 fremgår de inkluderede flytyper samt antallet af sæder i flyet, og hvilken operatør der primært benytter flytypen. I Tabel 7-4 ses den gennemsnitlige belægningsgrad på ruterne i 2008. Belægningsgraden er beregnet på baggrund af planlagte rute-fly, og vedrører alene passagerer på de flytyper, der er med i TEMA2010.

Tabel 7-3 Flytyper, antal sæder og primær operatør på danske indenrigsruter

Flytype	Antal sæder	Primær operatør
ATR 42-500	50	Cimber Air
ATR 72-200	68	Cimber Air / SAS
Boeing 737-700	148	Sterling
CRJ-200	50	Cimber Air / SAS
MD-80	150	SAS
Saab 340	33	Danair

Kilder: SLV's hjemmeside, SAS' hjemmeside, Cimber Air's hjemmeside, Vataware's hjemmeside.

Tabel 7-4 Gennemsnitlig belægningsgrad på danske indenrigsruter, 2008

Rute	Gennemsnitlig belægningsgrad
Kastrup-Aalborg	61,2%
Kastrup-Århus	60,5%
Kastrup-Karup	59,0%
Kastrup-Billund	56,6%
Esbjerg-Billund	23,3%
Kastrup-Sønderborg	49,6%
Kastrup-Rønne	63,2%

Kilder: SLV's hjemmeside samt egne beregninger.

Den gennemsnitlige belægningsgrad benyttes i TEMA2010 som standardindstilling for alle flytyper på en rute, uanset om de i praksis er indsat på den pågældende rute. Brugeren har i TEMA2010 mulighed for at ændre antallet af passagerer ombord på flyet op til en belægningsgrad på 100 procent.

Belægningsgraden indgår ikke som en parameter i selve emissionsberegningen, da estimering af energiforbrug og emissioner sker for en gennemsnitlig belægningsgrad, og antallet af passagerer ikke antages at påvirke flyets udledning af emissioner. Belægningsgraden indgår derimod i beregningen af personspecifikke emissioner.

## 7.2 Analyse

Flymotorer skal overholde "engine certification standards", der er emissionsnormer fastsat af ICAO. Normerne vedrører udledning af NO<sub>x</sub>, CO, HC, brændstofforbrug (og dermed CO<sub>2</sub>) samt røg, og beskrives detaljeret i ICAO's "Annex 16 - Environmental Protection, Volume II - Aircraft Engine Emissions". Standarderne er som udgangspunkt baseret på flyenes såkaldte LTO-cykluser (Lift-Take-Off).

En godkendt jetmotor skal være udstyret med et certifikationsark, hvor målebetingelserne og måleresultaterne er anført. Emissionstyperne NO<sub>x</sub>, HC og CO er målt på de pågældende motorer i en prøvestand ved motorydelser svarende til tomgang/kørsel, start (fuld gas), stigning, marchflyvning og nedgang. Disse data er samlet i ICAO's Engine Exhaust Emissions Data Bank.

Af praktiske årsager findes der ikke målinger fra motorer i aktuel drift i stor højde, men der er opbygget en vis konsensus om, hvordan højden påvirker emissionsforholdene.

### 7.2.1 Forureningskilder og -segmenter

I forbindelse med flyvninger kan energiforbrug og emissioner opdeles på følgende kilder:

- APU (Auxiliary Power Unit)
- Tankning og andet fordampningstab
- Flymotorer

APU er oftest en mindre turbine, der yder strøm til motorstart samt diverse funktioner (f.eks. elektricitet, hydraulik, air condition), mens flyet er på jorden med slukkede motorer. APU bruges, når der ikke er andre mulige strømkilder, hvilket f.eks. kan være tilfældet, hvis flyet parkeres væk fra terminalbygningen. Dermed kan brugen af APU variere fra lufthavn til lufthavn.

Emissioner af kulbrinter ved tankning og fordampning i øvrigt medregnes ikke i TEMA2010, da mængden skønnes at være ubetydelig i relation til turens samlede emissioner.

Forbrug og emissioner fra motorerne er i den anvendte model inddelt i følgende segmenter:

- Motorstart (start-up)
- Kørsel til startposition (taxi out). Der forudsættes 8 minutters kørsel inkl. stop undervejs. Motorindstillingen svarer næsten til tomgang
- Startløbet (take-off). Dette varer regningsmæssigt 45 sekunder
- Stigning (climb) opdeles i yderligere segmenter:
  - stigning med omtrent fuld motorydelse af sikkerhedshensyn;
  - evt. stigning med lav motorydelse af støjhensyn;

- stigning med 450 km/t stigende til 550 km/t i 3000 m højde (10.000 fod) (jetfly)
  - stigning med 600-700 km/t jævnt stigende til 700-800 km/t i omkring 8000 m højde (27.000 fod) (jetfly)
  - og stigning med omkring M0,70 (0,7 x lydets hastighed, eller ca. 800 km/t) op til march-højden (jetfly); dette segment er ikke relevant for dansk indenrigsflyvning, fordi flyene ikke når at komme så højt op
  - stigning med 170-200 knobs fart op til march-højden (propelfly)
- Marchflyvning (cruise). Farten er her normalt 800 til 900 km/t for jetfly, og 450 til 550 km/t for propelfly
  - Nedgang (descent). Hastighedsprofilen er omtrent den samme som under stigning, bortset fra at turbopropflyene ofte går lidt hurtigere ned end op.
  - Landing (landing). Værdierne forudsætter brug af motorbremsning (thrust reverser). I Kastrup er motorbremsning begrænset til tomgangsreversering af støjhensyn
  - Kørsel til parkering (taxi in). Der forudsættes 8 minutters kørsel inkl. stop undervejs. Motorindstilling svarer næsten til tomgang

Ved indenrigsflyvning med jetfly foregår flyvningen primært som op- og nedstigning, med kun et meget kort stykke vandret flyvning. Dette giver både den korteste rejsetid og det laveste brændstofforbrug.

### 7.2.2 Forudsætninger for beregning af brændstofforbrug og emissioner

Foruden brugervariabler, flytype og destination, er der en række faktorer, som har indflydelse på brændstofforbruget og emissionerne.

De forudsatte flyveprofiler, herunder flyvehøjde og marchfart, er bestemt ud fra oplysninger fra luftfartsselskaberne samt ud fra flyenes operationelle data og eventuelle luftrumsbegrænsninger. Energiforbrug og emissionsforhold er afhængige af flyvehøjden. For jetfly er den optimale flyvehøjde 9-11.000 meter, for turbopropfly 6-8.000 meter. Disse flyvehøjder opnås ikke ved indenrigsture i Danmark, og derfor består flyveprofilerne i høj grad af op- og nedstigning, og kun et kort stykke vandret flyvning.

Flyets startvægt har en vis betydning under stigning, lille betydning under marchflyvning og næsten ingen betydning under nedstigning.

Vindforhold, temperaturprofil og fugtighed har indflydelse på energiforbruget og emissionerne ved en konkret flyvning. I TEMA er der forudsat den internationale standardatmosfære (ISA), og ingen vind. Temperaturen i Danmark er generelt koldere end ISA, hvilket giver flyene bedre præstationer og lidt lavere brændstofforbrug. Til gengæld medfører vinden reelt en lille stigning i brændstofforbrug og emissioner. Der er ikke gjort forsøg på at korrigere for disse forhold.

Turbulens, nedbør, overisning og tilhørende modforanstaltninger øger energiforbruget. Vejrforholdene har også betydning for den fløjne distance, dels ved forekomst af tordenområder, der må flyves udenom, og fordi anflyvningsruterne ofte kan gøres mere direkte og dermed kortere i klart vejr end i usigtbart og skyet vejr. Der er ikke korrigeret for dette, og det skønnes, at disse forhold ikke har væsentlig indflydelse.

Forekomst af anden flytrafik i det efterspurgte luftrum kan medføre omveje og/eller restriktioner i flyvehøjde, og forskellige strategier fra piloternes og fra flyveledernes side kan også medføre betydelige forskelle. Til beregningerne er der taget udgangspunkt i skønnede typiske forhold.

### 7.2.3 Metodebeskrivelse

Flyenes emissioner er i TEMA2010 baseret på data fra Emission Inventory Guidebook, der er udviklet af EMEP/CORINAIR, og udgør en guide til state-of-the-art med hensyn til metoder til estimering af atmosfæriske emissioner. Emission Inventory Guidebook bygger på data fra ICAO's Engine Exhaust Emissions Data Bank, samt data fra bl.a. MEET-projektet.

De to nyere flytyper: CRJ-200 og B737 700 er ikke med i Inventory Guidebook.

- CRJ-200 som er en mindre jet. Emissionerne for dette fly er beregnet af ICAO (Kilde: ICAO Carbon Emissions Calculator Version 2 May 2009, "Appendix C Modified CORINAIR fuel consumption table (regional jets added)).
- B737-700 er en forbedret udgave af B737-400. Baseret på en artikel i Wikipedia skønnes det, at B737-700 bruger 7 procent mindre energi og udleder 7% mindre emissioner sammenlignet med B737-400.

Emissions- og energiforbrugstallene fra Emission Inventory Guidebook drejer sig alene om emissioner fra flyenes motorer, og medtager derfor ikke emissioner, der udledes ved brug af APU. På baggrund af artikel fra "IPCC Special Reports on Climate Change" på internettet er det skønnet, at APU udgør ca. 2 procent af det forbrug, der bruges til fremdrift.

### 7.2.4 Fordeling af emissioner på land og by

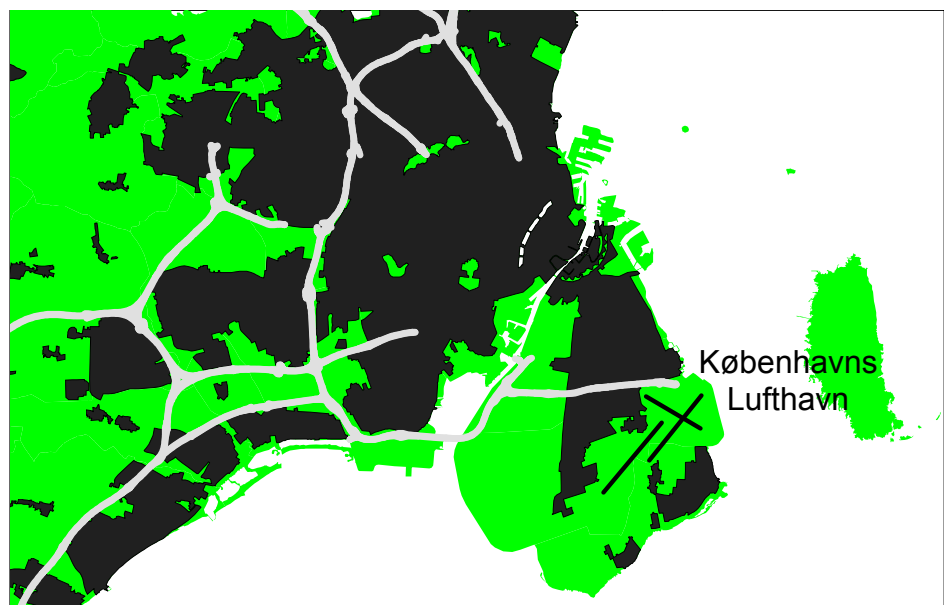
For flyvninger er det ikke umiddelbart indlysende, hvordan opdeling af emissioner på land og by bedst foretages, men en nærmere analyse viser, at det er mest rimeligt at betragte alle emissioner som forekommende i landzone.

Følgende betragtninger indgår i vurderingen:

- Den luftbårne del af flyvningen foregår så godt som udelukkende med en afstand til enhver bebyggelse, som er stor i forhold til landzonebebyggelses afstand til vejene

- På-jorden-emissionerne forekommer i lufthavnene, som alle ligger uden for byzoner. Målinger af luftkvaliteten i boligområderne nær Kastrup Lufthavn har ikke vist væsentlige bidrag, der kan føres tilbage til flyenes emissioner. Da Kastrup både er den største danske lufthavn og desuden er omgivet af byzonemæssig bebyggelse i større grad end de andre lufthavne, må emissionsforholdene omkring de øvrige lufthavne antages at være mindre alvorlige.

Herunder ses Københavns Lufthavn, Kastrup, og dens placering i forhold til bymæssig bebyggelse (vist med sort). Brug af tværbanen, der peger mod nord-vest ind over byen, er underlagt restriktioner.



Herunder ses Aalborg Lufthavn og dens placering i forhold til bymæssig bebyggelse (vist med sort).





Flyveveje til og fra lufthavne er af støjhensyn reguleret sådan, at de ikke passerer tæt bebyggelse i lav højde. Én af Kastrups seks baner medfører ved landing mod østsydøst og ved start mod vestnordvest at flyene passerer tæt bebyggelse i lav højde. Disse operationer er underlagt skrappe restriktioner og bruges kun under særlige vindforhold samt i nødsituationer.

### 7.3 Beregningsgang

Brændstofforbruget udtrykkes som en funktion af den øjeblikkelige hastighed (March-tallet ( $M$ )), flyvehøjde ( $h$ ) og motorbelastning ( $ps$ ).

De samlede emissioner af hver forureningstype beregnes ved brug af følgende formel:

$$E_i = N \times \int bf(M_t, h_t, ps_t) \times e_i(ps_t) dt$$

hvor

$N$  = antal motorer

$bf$  = det aktuelle brændstofforbrug pr. sekund pr. motor

$e_i$  = emissionsfaktoren for hhv. HC, CO, NO<sub>x</sub>

$M$  = den aktuelle hastighed, angivet som March-tallet

$h$  = den aktuelle flyvehøjde

$ps$  = motorbelastningen i % i forhold til fuld belastning

Indekset  $i$  er hhv. HC, CO og NO<sub>x</sub>, mens  $t$  er tiden, der løber fra start til slut af flyveturen, inkl. taxitid i afgang- og ankomstlufthavn.

### 7.4 Kilder

#### 7.4.1 Litteratur

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

EMP/CORINAIR (2006): Emission Inventory Guidebook - 2006. Technical report No 11/2006.

International Civil Aviation Organization: Annex 16, Volume 2, "Aircraft Engine Emission Certification"

### **7.4.2 Internet**

Cimber Air: [www.cimber.dk](http://www.cimber.dk)

International Civil Aviation Organization (ICAO): [www.icao.int](http://www.icao.int)

ICAO Carbon Emissions Calculator Version 2 May 2009, "Appendix C Modified CORINAIR fuel consumption table (regional jets added))

IPCC Special Reports on Climate Change - Complete online versions, Ground-Based Aircraft Emissions

Københavns Lufthavne: [www.cph.dk](http://www.cph.dk)

SAS: [www.sas.dk](http://www.sas.dk)

Statens Lufthavsvæsen (SLV): [www.slv.dk](http://www.slv.dk)

Vataware: [www.vataware.com](http://www.vataware.com)

## 8 Varebiler

Kategorien varebiler indeholder kassevogne, minibusser og autocampere, der alle vejer under 3,5 ton.

Emissioner og energiforbrug for en transport med varebil beregnes med udgangspunkt i den kørte distance multipliceret med gennemsnitlige emissionsfaktorer og energiforbrug pr. km. I beregningen af de gennemsnitlige faktorer tages der hensyn til rejsens køremønster. I alt er følgende determinerende faktorer inddraget i modellen:

- Godkendelsesnorm
- Kørselens fordeling på by, landevej og motorvej
- Den gennemsnitlige rejsehastighed inden for hver af disse kategorier
- Motorslitage (kilometerstand)
- Koldstarter
- Udetemperatur
- Belægning, dvs. bilens last

Sidstnævnte indgår kun i beregningen af resultaterne pr. tonkilometer, og altså ikke i beregningerne af de samlede emissioner for turen.

### 8.1 Oversigt

Ligesom for personbiler beregner TEMA2010 energiforbrug og emissioner for varebiler mellem 687 destinationer i Danmark. Hvis der vælges udgangspunkt og destination, beregner programmet selv afstanden og kørselsfordeling på by, land og motorvej på baggrund af standardindstillinger for en række forudsætninger<sup>8</sup>. Derudover kan brugeren selv specificere afstande, fordeling på forskellige vejtyper, rejsehastigheder, belægning, temperatur samt kilometerstand.

#### Godkendelsesnorm

Normer for varebilers emissioner er relateret til typegodkendelsen, og er løbende blevet skærpet, hvilket bevirker, at nyere biler generelt har lavere emissionsfaktorer end gamle.

For både benzin- og dieselvarebiler kan der vælges mellem følgende godkendelsesnormer:

---

<sup>8</sup> Der henvises til særskilt afsnit om vejafstande i kapitlet "Opbygning af modellen" samt til kapitlet om personbiler for en mere udførlig beskrivelse.

- Pre EURO
- EURO 1
- EURO 2
- EURO 3
- EURO 4
- EURO 5
- EURO 6

Tabel 8-1 og Tabel 8-2 viser de fastsatte normer for benzin- og dieselvarebilers emissioner.

*Tabel 8-1 Normer for benzindrevne varebilers emissioner, g/km*

	I kraft	CO	HC	NOx	Partikler
<b>≤ 1.305 kg</b>					
EURO 1	10.1995	2,72		0,97 <sup>1</sup>	-
EURO 2	01.1999	2,2		0,50 <sup>1</sup>	-
EURO 3	01.2001	2,3	0,20	0,15	-
EURO 4	01.2006	1,0	0,1	0,08	-
EURO 5	01.2011	1,0	0,10	0,06	0,005
EURO 6	09.2015	1,0	0,10	0,06	0,005
<b>1.305-1.760 kg</b>					
EURO 1	10.1995	5,17		1,40	-
EURO 2	01.1999	4,0		0,65	-
EURO 3	01.2002	4,17	0,25	0,18	-
EURO 4	01.2007	1,81	0,13	0,10	-
EURO 5	01.2012	1,8	0,13	0,075	0,005
EURO 6	09.2016	1,8	0,13	0,075	0,005
<b>1.760-3.500 kg</b>					
EURO 1	10.1995	6,90		1,70	-
EURO 2	01.1999	5,0		0,80	-
EURO 3	01.2002	5,22	0,29	0,21	-
EURO 4	01.2007	2,27	0,16	0,11	-
EURO 5	01.2012	2,27	0,16	0,082	0,005
EURO 6	09.2016	2,27	0,16	0,082	0,005

1) Emissionsgrænserne gælder for HC+NO<sub>x</sub>.

Kilde: EU-direktiver, [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com)

Tabel 8-2 Normer for dieseldrevne varebilers emissioner, g/km

	I kraft	CO	HC+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler
EURO 1	10.1995	2,72	0,97	-	0,14
EURO 2	01.1999	1,0	0,70	-	0,08
EURO 3	01.2001	0,64	0,56	0,50	0,05
EURO 4	01.2006	0,50	0,30	0,25	0,025
EURO 5	01.2011	0,50	0,23	0,18	0,005
EURO 6	09.2015	0,50	0,17	0,08	0,005
1.305-1.760 kg					
EURO 1	10.1995	5,17	1,40	-	0,19
EURO 2	01.1999	1,25	1,0	-	0,12
EURO 3	01.2002	0,80	0,72	0,65	0,07
EURO 4	01.2007	0,63	0,39	0,33	0,04
EURO 5	01.2012	0,63	0,295	0,235	0,005
EURO 6	09.2016	0,63	0,195	0,105	0,005
over 1700 kg					
EURO 1	10.1995	6,90	1,70	-	0,25
EURO 2	01.1999	1,5	1,20	-	0,17
EURO 3	01.2002	0,95	0,86	0,78	0,10
EURO 4	01.2007	0,74	0,46	0,39	0,06
EURO 5	01.2012	0,74	0,350	0,280	0,005
EURO 6	09.2016	0,74	0,215	0,125	0,005

Kilde: EU-direktiver, [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com)

Ikrafttrædelsesdatoen angiver, at alle nye varebiler, der sælges efter denne dato, skal overholde grænseværdierne.

Afstanden kan specificeres direkte eller ved at angive, hvor man ønsker at komme fra og til. Hvis man specificerer udgangspunkt og destination, beregner TEMA2010 selv afstanden mellem de to lokaliteter. For en nærmere beskrivelse af vejafstande, se særskilt kapitel.

Afstanden er opdelt på vejtyperne

- Veje i byområder (undtaget motorveje)
- Veje i landområder (undtaget motorveje)
- Motorveje i byområder
- Motorveje i landområder

## Køremønstre

Til hver vejtype hører en rejsehastighed. I Tabel 8-3 ses modellens default-værdier, dvs. det standardvalg, der ligger i modellen. Disse værdier er fastsat på baggrund af undersøgelser/målinger af hastigheder samt eksperterkøn.

Tabel 8-3 Default rejsehastigheder for varebiler

	By	Land
Motorvej	110	120
Øvrige veje	30	70

Køremønsteret er karakteriseret ved en gennemsnitshastighed, der er resultatet af den variable kørehastighed og antal stop. Køremønstre med lav hastighed er derfor ensbetydende med mange stop og dermed større energiforbrug og emissioner end "jævne" køremønstre med middelhøje gennemsnitshastigheder.

#### Belægning

I TEMA kan brugeren selv angive en belægning (last). Belægningen har ikke indflydelse på de beregnede samlede energiforbrug og emissioner, kun på de belægnings-specifikke forbrugs- og emissionstal. De specificerede varebiler har en default lastevne på 2 ton og en default belægningsgrad på 50 procent.

Man vil normalt ikke anvende varebiler til decideret varetransport. Derfor er det valgt at fastsætte default last til samme vægt som default mængde tons transporteret. Derved opnås, at brugeren ved at anvende default værdier får beregnet emissionerne fra én varebil.

#### Koldstart

Som default tillægges ingen koldstart, idet det antages, at varebiler kører mange ture hver dag, hvorfor det mest almindelige er, at motoren er varm, når der startes på en tur. Brugeren kan selv ændre dette, f.eks. for den første tur på en given dag.

#### Temperatur

Den omgivende temperatur har betydning for, hvor stor effekt koldstarten har. Derimod indgår temperaturen ikke i beregningen af emissionerne fra varm motor.

Udetemperaturen er default sat til 8,5 °C, hvilket er den gennemsnitlige temperatur i Danmark, vægtes med antallet af ture på forskellige tider af døgnet<sup>9</sup>. Dette kan ændres til en temperatur for en specificeret måned, eller specificeres direkte af brugeren.

#### Slitage

Ligesom for personbiler medregnes alene slitage for varebiler med katalysator.

Effekten af slitage skyldes en forringet effekt af katalysator og/eller den automatiske regulering i takt med, at bilen ældes (kilometerstand). TEMA2010 be-

<sup>9</sup> Se kapitel om øvrige data for en nærmere beskrivelse af beregningen og temperaturforhold på forskellige tider af døgn og år.

regner en default slitage, der svarer til den forventede kilometerstand for en bil af den pågældende alder. Varebilers årskørsel blev i forbindelse med TEMA2010 beregnet på baggrund af opgørelser af årskørsel fra Danmarks Statistik. Personbilernes årskørsel er gengivet i Tabel 3-5.

*Tabel 8-4 Varebilers årskørsel*

Alder	Årgang	Norm	Kilometerstand	
			Benzin	Diesel
		EURO		
0	2010	4	0	0
1	2009	4	16.028	21.830
2	2008	4	32.056	43.660
3	2007	4	48.084	65.490
4	2006	3	64.112	87.320
5	2005	3	80.140	109.150
6	2004	3	96.168	130.980
7	2003	3	112.196	152.810
8	2002	3	128.224	160.000
9	2001	2	120.000	120.000
10	2000	2	120.000	120.000
11	1999	2	120.000	120.000
12	1998	1	120.000	120.000
13	1997	1	120.000	120.000
14	1996	1	120.000	120.000
15	1995	1	120.000	120.000
16	1994	Pre EURO	120.000	120.000
17	1993	Pre EURO	120.000	120.000
18	1992	Pre EURO	120.000	120.000
19	1991	Pre EURO	120.000	120.000
20	1990	Pre EURO	120.000	120.000

På baggrund af årskørslen fordelt på diesel og benzin, er der beregnet følgende forventede kilometerstand for de forskellige EURO normer.

Tabel 8-5 Forventet kilometerstand fordelt på godkendelsesnorm, varebiler

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
EURO 6	0	0	0	0	0	0
EURO 5	0	0	0	8.014	16.028	24.042
EURO 4	24.042	32.056	48.084	64.112	80.140	96.168
EURO 3	96.168	112.196	128.224	144.252	160.000	160.000
EURO 2	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
EURO 1	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
PreEURO	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000

Note: Tabellen gælder for varebiler > 1300 kg totalvægt. Den typiske EURO 4 bil er beregnet som gennemsnittet af de fire årgange der er EURO 4 i 2010 =  $(0 + 16028 + 32056 + 48084)/4 = 24.042$ . Den højeste slitage effekt er 160.000 for EURO 3-6 og 120.000 for PreEURO samt EURO 1-2. Derfor er tallene trunckeret ved disse tal.

Tabel 8-6 Forventet kilometerstand fordelt på godkendelsesnorm, dieslbiler

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
EURO 6	0	0	0	0	0	0
EURO 5	0	0	0	10.915	21.830	32.745
EURO 4	32.745	43.660	65.490	87.320	109.150	130.980
EURO 3	128.052	149.882	160.000	160.000	160.000	160.000
EURO 2	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
EURO 1	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
PreEURO	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000	120.000

Note: Tabellen gælder for varebiler > 1300 kg totalvægt. Den typiske EURO 4 bil er beregnet som gennemsnittet af de fire årgange der er EURO 4 i 2010 =  $(0 + 21830 + 43660 + 65490)/4 = 32.745$ . Den højeste slitage effekt er 160.000 for EURO 3-6 og 120.000 for PreEURO samt EURO 1-2. Derfor er tallene trunckeret ved disse tal.

## 8.2 Analyse

TEMA2000 var baseret på en tysk/schweizisk undersøgelse af emissioner fra vejtransport (Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs), og det er



valgt fortsat at basere den nye version af TEMA på eksisterende emissionsberegningsmodeller.

To kilder har været overvejet:

- Handbuch<sup>10</sup>
- COPERT 4<sup>11</sup>

I TEMA2010 er det valgt at benytte identiske formler for benzin- og dieseldrevne varebiler som i COPERT 4.

3 vigtige argumenter for valget af COPERT er

- 1 Konsistens med nationale opgørelser af emissioner, der er baseret på Copert
- 2 Bedre modellering af tunge køretøjer, specielt EURO 2 og EURO 3 i COPERT end i Handbuch.
- 3 Forventet lettere adgang til opdatering da COPERT er en officiel EU model

Emissionerne deles op i:

- varme emissioner
- koldstarttillæg
- fordampningstab

### 8.2.1 Varme emissioner

De varme emissionsfaktorer beregnes som:

$$E_{HOT}^l = e_{HOT}^l(V) \times MC$$

hvor  $E_{HOT}^l$  er den samlede emissionsfaktor per km,

$e_{HOT}^l(V)$  er emissionsfaktoren beregnet ud fra rejsehastigheden, og

$MC$  er en korrektionsfaktor for slitage.

Hastighed

Næst efter godkendelsesnormerne er rejsehastigheden den mest betydende faktor til beregning af emissionerne. De anvendte køremønstre for varebiler er de samme som for personbiler.

Jf. dokumentationen til COPERT 4 er den generelle formel til beregning af emissionerne CO, HC og NO<sub>x</sub> samt til beregning af brændstofforbrug

<sup>10</sup> Kilde: <http://www.hbefa.net/>

<sup>11</sup> Kilde: <http://lat.eng.auth.gr/copert/>

$$e_{HOT}^l(V) = (aV^2 + bV + c) \times (1 - RF)$$

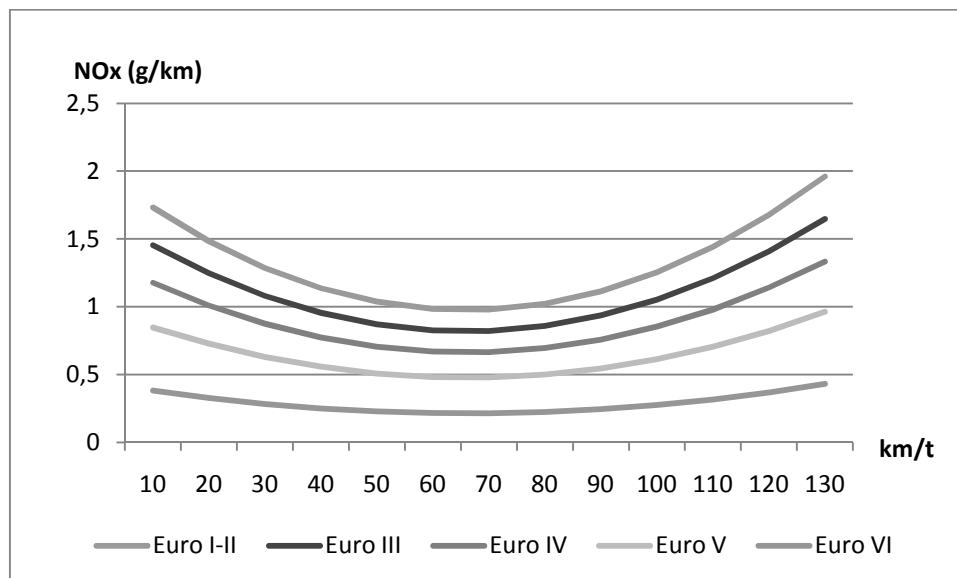
hvor RF er en reduktionsfaktor i forhold til Euro 1-standarden.

Den samme formel benyttes til beregning af partikeludledning fra dieslbiler, mens partikeludledning fra benzindrevne varebiler som for benzindrevne personbiler antages konstant inden for et bestemt køremønster i hhv. by, land og på motorvej.

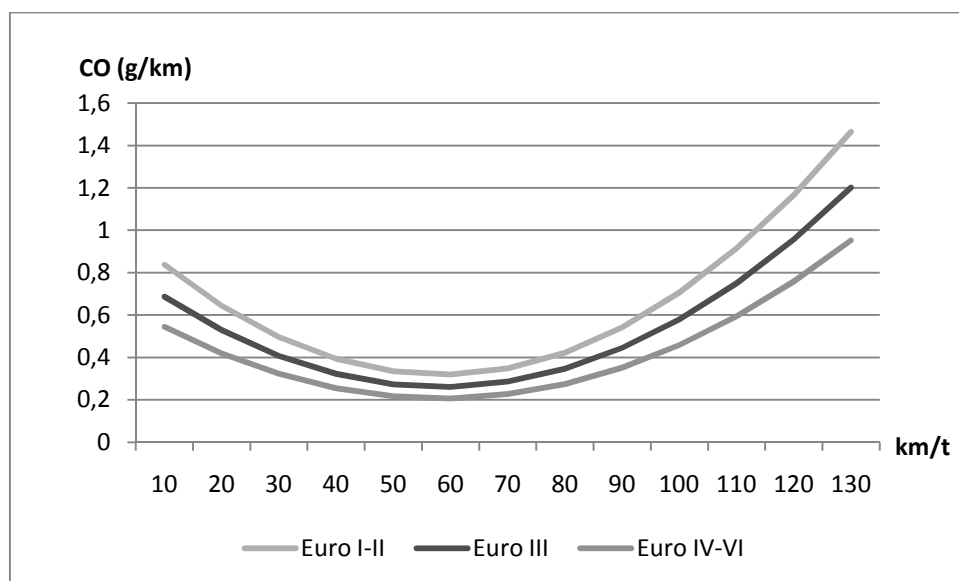
SO<sub>2</sub>- og CO<sub>2</sub>-emissioner beregnes på baggrund af det estimerede brændstofforbrug.

I Figur 8.1-Figur 8.3 ses modellens funktioner for varebilers emissioner af NO<sub>x</sub>, CO og partikler pr. km fordelt på EURO-normer.

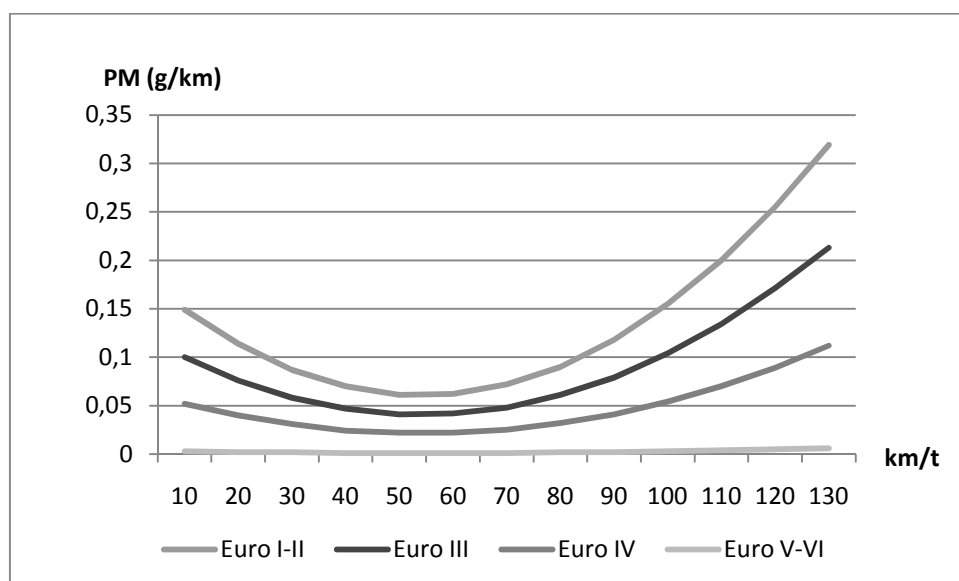
Figur 8.1 Emissionsfunktioner for NO<sub>x</sub> for dieseldrevne varebiler



Figur 8.2 Emissionsfunktioner for CO for dieseldrevne varebiler



Figur 8.3 Emissionsfunktioner for partikler for dieseldrevne varebiler



### 8.2.2 Slitage

Den væsentligste årsag til, at slitage forøger emissionerne, er, at katalysatoren nedbrydes. Det antages, at slitage ikke påvirker selve motoren, hvorfor der ikke korrigeres for slitage på dieslbiler, men alene på benznbiler.

Ligesom for personbiler antages det, at der ikke sker yderligere slitage af bilen efter 120.000 km for biler tidligere end godkendelsesnorm EURO 3, mens der fra og med EURO 3 ikke antages at ske yderligere slitage efter 160.000 km.

Korrektionsfaktoren afhænger både af bilens kilometerstand og den kørte hastighed. Det antages, at for hastigheder lavere end den gennemsnitlige hastig-

hed for bykørsel i COPERT (19 km/t) eller højere end den gennemsnitlige hastighed for landkørsel i COPERT (63 km/t), er nedskrivningen uafhængig af hastighed. Dette er dog ikke ensbetydende med, at korrektionsfaktoren for slitage er identisk uden for disse grænser, idet katalysatoren belastes væsentligt mere ved lave gennemsnitshastigheder med mange start og stop end ved højere (og dermed mere jævne) gennemsnitshastigheder, hvorfor der benyttes forskellige parametre afhængig af, om hastigheden er hhv. under 19 km/t eller over 63 km/t.

Emissionsnedskrivningen i intervallet mellem 19 km/t og 63 km/t beregnes ved hjælp af lineær interpolation, jf. Tabel 8-7, som angiver formlerne til beregning af korrektion for slitage.

Tabel 8-7 Korrektionsfaktor for benzin- og hybridbiler

Hastighed (km/t)	Korrektionsfaktor (MC)
$V \leq 19$	$MC_{URBAN} = A_{URBAN} \times kilometerstand + B_{URBAN}$
$V \geq 63$	$MC_{ROAD} = A_{ROAD} \times kilometerstand + B_{ROAD}$
$19 < V < 63$	$MC = MC_{URBAN} + \frac{(V - 19) \times (MC_{ROAD} - MC_{URBAN})}{44}$

### 8.2.3 Koldstart

Koldstartstillægget afhænger af den gennemsnitlige hastighed i opvarmningsfasen. Ved belastende køremønstre med mange stop og accelerationer (og deraf følgende lave gennemsnitlige rejsehastigheder) er koldstartstillægget større end ved køremønstre med mere jævn kørsel.

Parametrene samt formlerne til beregning af koldstartstillægget i TEMA2010 er identiske med COPERT, og formlen for estimering af koldstartstillæg er

$$E_{COLD}^l = bc \times \beta \times E_{HOT}^l \times (A \times V + B \times t + C - 1)$$

hvor  $bc$  angiver en reduktionsfaktor i forhold til Euro 1  
 $\beta$  angiver antallet af km, der påvirkes af koldstart  
 $E_{HOT}^l$  er den varme emission  
 $V$  er hastigheden i opvarmningsperioden  
 $t$  er den omgivende temperatur

Koldstartstillæg beregnes ikke default, men kan tilvælges af brugeren.

### 8.2.4 Fordampningsemissioner

Der medregnes de samme fordampningsemissioner som for benzindrevne personbiler med motorstørrelserne 1,4-2,0 liter og > 2,0 liter. Emissioner som følge af fordampning af benzin fra bilens tank under såvel kørsel som parkering indebærer alene øget HC-udledning, og influerer dermed ikke de øvrige emissionstyper.

Som for personbiler medtaget i TEMA2010 Hot Soak samt Running Loss, men ikke fordampning som følge af omgivelsernes temperatur eller fordampning i forbindelse med tankning.

#### Hot Soak

"Hot Soak" er den fordampning, der sker fra motor og indsprøjtningssystem i tidsrummet fra motoren standses til den er afkølet. Hot Soak afhænger af motortemperaturen, idet der fordamper væsentligt mere HC ved høje temperaturer i forhold til lave temperaturer. Motortemperaturen afhænger af, hvor langt bilen har kørt inden motoren slukkes.

I COPERT er Hot Soak estimeret på baggrund af en gennemsnitlig turlængde og emissionerne angives for henholdsvis typiske sommer- og vintertemperaturer. Det er i TEMA2010 valgt at benytte disse typiske emissioner, og tillægge hver tur uanset længde den samme gennemsnitlige Hot Soak-emission. Emissionerne er opdelt efter motorstørrelse, samt hvorvidt bilen er udstyret med kanister og i så fald, hvilken størrelse kanister, der er tale om. Af Tabel 8-8 fremgår Hot Soak-emissioner pr. kørt km.

Tabel 8-8 Udledning af Hot Soak (gram HC pr. tur)

	Sommer		Vinter	
Temperatur (°C)	23-35	10-22	0-13	-5-12
Pre EURO, tillæg ved kold motor				
< 2,0 l	10,01	6,01	4,42	3,10
> 2,0 l	12,29	7,38	5,43	3,80
Pre EURO, varm motor				
< 2,0 l	14,08	8,45	6,22	4,36
> 2,0 l	17,31	10,39	7,65	5,35

	Sommer		Vinter	
Temperatur (°C)	23-35	10-22	0-13	-5-12
EURO 1-6				
< 2,0 l	0,10	0,07	0,04	0,04
> 2,0 l	0,10	0,07	0,04	0,04

Kilde: Dokumentationen til COPERT (Gasoline Evaporation From Vehicles, table 4-1)

### Running Loss

"Running Loss" er den fordampning fra motor og indsprøjtningssystem, der finder sted under kørslen. For ældre biler udstyret med karburator og/eller "fuel return systems", øges temperaturen i brændstoftanken og/eller karburatoren betydeligt, hvilket kan generere en stor mængde damp i tanken. For benzinbiler med brændstofindsprøjtning og "returnless fuel systems" påvirkes brændstoff-temperaturen i tanken ikke af brug af motoren, og running loss er derfor meget begrænset for disse biler.

Running Loss er ligesom Hot Soak estimeret på baggrund af en gennemsnitlig turlængde og for typiske sommer- og vintertemperaturer, og det er valgt at til-lægge hver tur den gennemsnitlige emission som følge af Running Loss. Af Tabel 8-9 fremgår Running Loss-emissioner pr. tur.

Tabel 8-9 Udledning af Running Loss (gram HC pr. tur)

	Sommer		Vinter	
Temperatur (°C)	23-35	10-22	0-13	-5-12
Pre EURO, tillæg ved kold motor				
< 2,0 l	2,15	1,30	0,95	0,67
> 2,0 l	2,62	1,58	1,15	0,81
Pre EURO, varm motor				
< 2,0 l	11,85	7,12	5,24	3,67
> 2,0 l	14,56	8,74	6,43	4,50
EURO 1-6				
< 2,0 l	0,13	0,08	0,06	0,04
> 2,0 l	0,13	0,08	0,06	0,04

Kilde: Dokumentationen til COPERT (Gasoline Evaporation From Vehicles, table 4-1)

### 8.3 Beregningsgang

Der er anvendt samme metode som for personbiler. Det betyder, at formlerne i det efterfølgende afsnit er de samme som for personbiler. I dokumentationen til COPERT samt i selve programmet kan de enkelte parameterverdier findes<sup>12</sup>.

#### 8.3.1 Totale emissioner

De totale emissioner fra varebiler beregnes efter formlen

$$E^l = E_{HOT}^l + E_{COLD}^l + E_{EVAPORATION}^l \quad (1)$$

hvor  $E_{HOT}^l$  er emissioner fra kørsel med varm motor,

$E_{COLD}^l$  er yderligere emissioner fra kørsel med kold motor, og

$E_{EVAPORATION}^l$  er emissioner som følge af fordampning fra bilens tank.

#### 8.3.2 Emissioner fra varm motor

Emissionerne fra varm motor beregnes generelt som

$$E_{HOT}^l = e_{HOT}^l(V) \times MC \quad (2)$$

hvor  $V$  er hastigheden og  $MC$  er korrektionsfaktoren for slitage.

Den hastighedsafhængige del beregnes som

$$e_{HOT}^l(V) = (aV^2 + bV + c) \times (1 - RF) \quad (3)$$

hvor  $RF$  er en reduktionsfaktor i forhold til Euro 1-biler.

Korrektionsfaktoren for slitage af benzinbiler beregnes som

$$MC_{URBAN} = A_{URBAN} \times M_{AGE} + B_{URBAN} \quad (\text{for } V \leq 19) \quad (4a)$$

$$MC_{ROAD} = A_{ROAD} \times M_{AGE} + B_{ROAD} \quad (\text{for } V \geq 63) \quad (4b)$$

$$MC = MC_{URBAN} + \frac{(V-19) \times (MC_{ROAD} - MC_{URBAN})}{44} \quad (19 < V < 63) \quad (4c)$$

hvor  $M_{AGE}$  er kilometerstanden. For kilometerstande over 120.000 km for Euro 2 og tidligere, og over 160.000 km fra og med Euro 3 antages der ikke at ske yderligere forringelser af katalysatoren.

#### 8.3.3 Koldstartstillæg

Koldstartstillæget beregnes som efter følgende formel:

<sup>12</sup> For yderligere oplysninger om COPERT, se [lat.eng.auth.gr/copert](http://lat.eng.auth.gr/copert)

$$E_{COLD}^l = bc \times \beta \times E_{HOT}^l \times (A \times V + B \times t + C - 1) \quad (5)$$

hvor  $bc$  angiver en reduktionsfaktor i forhold til Euro 1,  $\beta$  angiver andelen af turen, der påvirkes af koldstart,  $e_{HOT}$  er den varme emission,  $V$  er hastigheden i opvarmningsperioden, og  $t$  er den omgivende temperatur.

$\beta$  beregnes ved hjælp af formlen

$$\beta = 0,6474 - 0,02545 \times M_{trip} - (0,00974 - 0,000385 \times M_{trip}) \times t \quad (6)$$

hvor  $M_{trip}$  er antallet af kilometer inden motoren er opvarmet, og  $t$  er den omgivende temperatur.

### 8.3.4 Fordampningstab

Fordampningstabet beregnes som

$$E_{EVAPORATION} = e_{HS} + e_{RL} \quad (7)$$

hvor  $e_{HS}$  er Hot Soak-emission og  $e_{RL}$  er Running Loss-emission.

Såvel  $e_{HS}$  som  $e_{RL}$  afhænger af den omgivende temperatur, bilens motorstørrelse, og hvorvidt bilen er udstyret med kanister, og i givet fald i hvilken størrelse. I Tabel 8-8 og Tabel 8-9 er gengivet en oversigt over de anvendte værdier af Hot Soak og Running Loss.

## 8.4 Kilder

### 8.4.1 Litteratur

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

European Environment Agency (2007a): Methodology for the calculation of exhaust emissions – SNAPs 070100-070500, NFRs 1A3bi-iv

European Environment Agency (2007b): Methodology for the calculation of fuel evaporation – SNAP 070600, NFR 1A3bv

European Environment Agency (2007c): COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport - Users Manual

INFRAS (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Version 2.1.

### 8.4.2 Internet

COPERT: [lat.eng.auth.gr/copert](http://lat.eng.auth.gr/copert)



Dieselnet: [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com)

Danmarks Statistik, Statistikbanken

## 9 Lastbiler

Ved beregning af emissioner og energiforbrug for lastbiler benyttes data, metoder og brugerflade, som i høj grad ligner de tilsvarende for dieseldrevne busser. I begge tilfælde er der tale om tunge køretøjer med store dieselmotorer godkendt efter samme normer.

### 9.1 Oversigt

I beregningen af de gennemsnitlige faktorer tages der hensyn til rejsens køremønster. Endvidere er følgende determinerende faktorer inddraget i modellen:

- Lastbiltype (størrelse)
- Godkendelsesnorm
- Brændstoftype
- Afstand (udgangspunkt og destination)
- Kørselens fordeling på by, landevej og motorvej
- Den gennemsnitlige rejsehastighed indenfor hver af disse kategorier
- Belægning, dvs. lasten angivet i ton

Belægningen indgår både i beregningen af lastbilens emissioner samt ved beregning af resultater pr. tonkilometer.

Lastbilerne i TEMA2010 er inddelt i henholdsvis sololastbiler og vogntog, og er derudover kategoriseret efter egenvægt, jf. Tabel 9-1

Tabel 9-1 Lastbiltyper i TEMA2010

Lastbiltype	Vægtklasse	Egenvægt	Lasteevne	Totalvægt (kg)
Solo lastbil	<=7,5t	4.000	3.500	7.500
Solo lastbil	7,5t - 12t	6.300	5.700	12.000
Solo lastbil	12-14t	7.400	6.600	14.000
Solo lastbil	14t - 20t	8.000	10.000	18.000
Solo lastbil	20t - 26t	10.000	14.000	24.000
Solo lastbil	26t - 28t	10.000	16.000	26.000
Solo lastbil	28t - 32t	14.000	18.000	32.000
Vogntog	14t - 20t	8.000	12.000	20.000
Vogntog	20t - 28t	12.000	16.000	28.000
Vogntog	28t - 34t	13.000	20.000	33.000
Vogntog	34t - 40t	14.000	26.000	40.000
Vogntog	40t - 48t	16.000	32.000	48.000
Vogntog	50t - 60t	20.000	40.000	60.000

## Volumengods

Vægten af lasten har stor betydning for en lastbils brændstofforbrug, og TEMA 2010 regner netop på baggrund af lastens vægt målt i ton. Ved volumengods er den begrænsende faktor imidlertid ikke lastbilens lasteevne målt i ton, men derimod længden af ladet, arealet af ladet eller rumfanget af lastrummet. I disse tilfælde bør brugeren nøje overveje hvilke af de til rådighed værende køretøjer de skal vælge og hvor meget lasten vejer.

Det er vigtigt at forholde sig til volumengods af to grunde.

For det første fylder volumengods mere end andet gods og derfor vil en lastbil med volumengods have mindre last end "almindelige" lastbiler og dermed også lavere emissioner og brændstofforbrug. For at tage hensyn til dette skal brugeren rette lastbilens last til under avancerede indstillinger så de passer med den konkrete last. Default indstillingerne antager "almindelig" last og vil antagelig overvurdere lastens vægt når der er tale om volumengods.

For det andet kan der være tilfælde hvor volumengods transporteres på lastbiler der er lettere, dvs. har lavere egenvægt, end lastbiler med almindeligt gods. Det er derfor vigtigt, at brugeren sikrer sig, at egenvægten på den valgte lastbil i TEMA2010 svarer til den konkrete lastbil, der skal anvendes til godstransporten.

Det bemærkes, at de vægtklasser, der benyttes i COPERT, ikke helt svarer overens med de vægtklasser, man almindeligvis inddeler lastbiler og vogntog efter i Danmark. Det er i TEMA2010 valgt at inddele lastbilerne efter den danske vægtklassificering og benytte de emissionsfunktioner fra COPERT, der omtrent svarer til samme vægtklasser. I Tabel 9-2 ses en oversigt over de danske vægtklasser samt hvilke vægtklasser, emissionsfunktionerne svarer til i COPERT.

*Tabel 9-2 Vægtklasser i TEMA2010 og COPERT*

Lastbiltype	Vægtklasse i TEMA2010 (kg)	Tilsvarende vægtklasse i COPERT (kg)
Solo lastbil	≤ 7.500	< 7.500
Solo lastbil	7.500 - 12.000	7.500 - 12.000
Solo lastbil	12.000 - 14.000	12.000 - 14.000
Solo lastbil	14.000 - 18.000	14.000 - 20.000
Solo lastbil	18.000 - 24.000	20.000 - 26.000
Solo lastbil	24.000 - 26.000	26.000 - 28.000
Solo lastbil	26.000 - 32.000	28.000 - 32.000
Vogntog	< 28.000	20.000 - 28.000
Vogntog	28.000 - 38.000	28.000 - 34.000
Vogntog	38.000 - 40.000	34.000 - 40.000
Vogntog	42.000 - 48.000	40.000 - 50.000
Vogntog	54.000 - 60.000	50.000 - 60.000

Til beregning af afstanden mellem to lokaliteter bruger TEMA2010 samme vejnet samt by/land-fordeling og vejtype for lastbilerne som for personbiler.

## Vejtyper

Den kørte distance er som for den øvrige vejtrafik fordelt på de fire vejtyper

- Veje i byområder (undtaget motorveje)
- Veje i landområder (undtaget motorveje)
- Motorveje i byområder
- Motorveje i landområder

Til hver vejtype hører en rejsehastighed. Som default er den gennemsnitlige hastighed for lastbiler på vejtyperne fastsat som angivet i Tabel 9-3.

*Tabel 9-3 Default rejsehastigheder for lastbiler*

	By	Land
Motorvej	70	70
Øvrige veje	25	70

Brugeren kan justere køremønstrene for hver af disse vejtyper ved direkte at specificere andre rejsehastigheder end TEMA's defaultværdier.

## Belægning

I modsætning til varebiler medregnes belægning ved selve emissionsberegningen. Lasten gør lastbilen tungere, hvorved den bruger mere energi og udsender flere emissioner. Det samme er tilfældet for varebiler, men i noget mindre grad da lasten udgør en noget mindre andel af den samlede vægt i varebiler sammenlignet med lastbiler. Når denne sammenhæng ikke regnes med for varebiler skyldes det, at der ikke foreligger datamateriale til en lignende beregning for varebiler.

Der anvendes en default belægningsgrad på 43,7 procent (Danmarks Statistik). Når tomkørsel medregnes, fås en forøgelse af emissionerne på 24,5 procent. Brugeren har mulighed for at ændre disse valg, fx. ved at vælge, om tomkørsel skal regnes med eller ej. På lange ture kan kapacitetsudnyttelsen være noget højere op til ca. 70 procent.

## Godkendelsesnorm

Endvidere skal brugeren angive lastbilens EU-standard. Der er mulighed for at vælge mellem godkendelsesnormerne

- Pre EURO
- EURO I
- EURO II
- EURO III
- EURO IV
- EURO V
- EURO VI

Hvor EU-standarder for personbiler og varevogne udtrykker emissionsforholdene i gram pr. kørt kilometer, bruges der for lastbilmotorer som for busmotorer i stedet specifikke mål; dvs. emissioner i forhold til det mekaniske arbejde, som motoren leverer. Enheden er normalt gram pr. kilowatt-time (g/kWh).

Lastbilmotorer testes ved brug af samme testcykler som beskrevet i kapitel 4 vedrørende busser.

I Tabel 9-4 og Tabel 9-5 ses godkendelsesnormerne med tilhørende grænseværdier for lastbiler.

*Tabel 9-4 Godkendelsesnormer for lastbiler, g/kWh*

Godkendelsesnorm	I kraft	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	Røg
EURO I <sup>1)</sup>	10.1993	4,5	1,1	8,0	0,36 <sup>3)</sup>	
EURO II <sup>1)</sup>	10.1996	4,0	1,1	7,0	0,25	
	10.1998	4,0	1,1	7,0	0,15	
EURO III <sup>2)</sup>	10.2001	2,1	0,66	5,0	0,10	0,8 <sup>4)</sup>
EURO IV <sup>2)</sup>	10.2006	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5 <sup>4)</sup>
EURO V <sup>2)</sup>	10.2009	1,5	0,46	2,0	0,02	0,5 <sup>4)</sup>
EURO VI <sup>2)</sup>	01.2014	1,5	0,13	0,4	0,01	

1) Testet med ECE R-49

2) Testet med ESC samt ELR.

3) Restriktionen på PM er 0,612 for < 85kW.

4) Estimering af udstødningsrøg indgår ikke i TEMA2010

Kilde: EU-direktiver, [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com), [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org).

*Tabel 9-5 Godkendelsesnormer for lastbiler, ECT-test, g/kWh*

Godkendelsesnorm	I kraft	CO	NMHC	NO <sub>x</sub>	PM
EURO III	10.2001	5,45	1,6	5,0	0,16
EURO IV	10.2006	4,0	0,55	3,5	0,03
EURO V	10.2009	4,0	0,55	2,0	0,03
EURO VI	01.2014	4,0	0,16	0,4	0,01

Kilde: EU-direktiver, [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com), [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org).

## 9.2 Analyse

Ligesom for busser er det valgt at anvende COPERT 4 som kilde til beregningerne. Derudover er det valgt at anvende Energistyrelsens drivmiddelrapport som kilde til ellastbilen.

COPERT omfatter godkendelsesnormer for dieseldrevne lastbiler til og med EURO V, og det er valgt at benytte de samme emissionsformler i TEMA2010, som angivet i COPERT.

I TEMA2010 er det muligt at vælge dieseldrevne lastbiler, der overholder EURO VI-normen. Emissioner fra disse lastbiler beregnes på baggrund af emissioner fra EURO V-biler ved at justere emissionerne med en faktor svarende til den procentvise reduktion af emissionsgrænserne, jf. Tabel 9-4 og Tabel 9-5

Det bemærkes, at de totale emissioner for lastbiler alene udgøres af varme emissioner, dvs. at der ikke beregnes koldstartstillæg. Endvidere beregnes der ikke påvirkning af slitage, da det antages, at antallet af kørte kilometre ikke påvirker motorens effektivitet.

I øvrigt henvises til kapitel 4 vedrørende busser.

### 9.2.1 Varme emissioner

De varme emissioner beregnes for dieseldrevne lastbiler som

$$E^l = e_{HOT}^l(V)$$

hvor  $e_{HOT}^l(V)$  er emissionsfaktoren beregnet ud fra hastigheden.

Formlen for  $e_{HOT}^l(V)$  er forskellig afhængigt af lastbiltype, godkendelsesnorm samt belægningsgrad, men de benyttede formler er følgende<sup>13</sup>:

$$e_{HOT}^l(V) = a + bV + \frac{(c - b) \times (1 - \exp((-1) \times dV))}{d}$$

$$e_{HOT}^l(V) = e + a \times \exp((-1) \times bV) + c \times \exp((-1) \times dV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{cV^2 + bV + a}$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{a + bV^c}$$

<sup>13</sup> Formlerne fremgår af excel-filer, der udgør en del af dokumentationen for COPERT: [http://reports.eea.europa.eu/EMEP/CORINAIR5/en/HDV\\_functions\\_Excel\\_files.zip](http://reports.eea.europa.eu/EMEP/CORINAIR5/en/HDV_functions_Excel_files.zip)

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{a + bV}$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^3 + bV^2 + cV + d$$

$$e_{HOT}^l(V) = ab^V \times V^c$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^b + cV^d$$

$$e_{HOT}^l(V) = (a + bV)^{-\frac{1}{c}}$$

$$e_{HOT}^l(V) = a + \frac{b}{1 + \exp((-1) \times c + d \times \ln(V) + eV)}$$

$$e_{HOT}^l(V) = c + a \times \exp((-1) \times bV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = c + a \times \exp(bV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = \exp\left(a + \frac{b}{V} + c \times \ln(V)\right)$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^2 + bV + c$$

Udledningen af SO<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub> beregnes på baggrund af det estimerede brændstofforbrug.

### 9.2.2 Koldstart og fordampningsemissioner

Der beregnes ikke koldstartstillæg for lastbiler, da lastbiler normalt kun koldstartes én gang om dagen samt kører lange ture, og et eventuelt koldstartstillæg derfor ville betyde meget lidt for de samlede emissioner.

Endvidere beregnes der ikke fordampningsemissioner, da ingen af de inkluderede lastbiler er benzindrevne.

### 9.2.3 Belægning

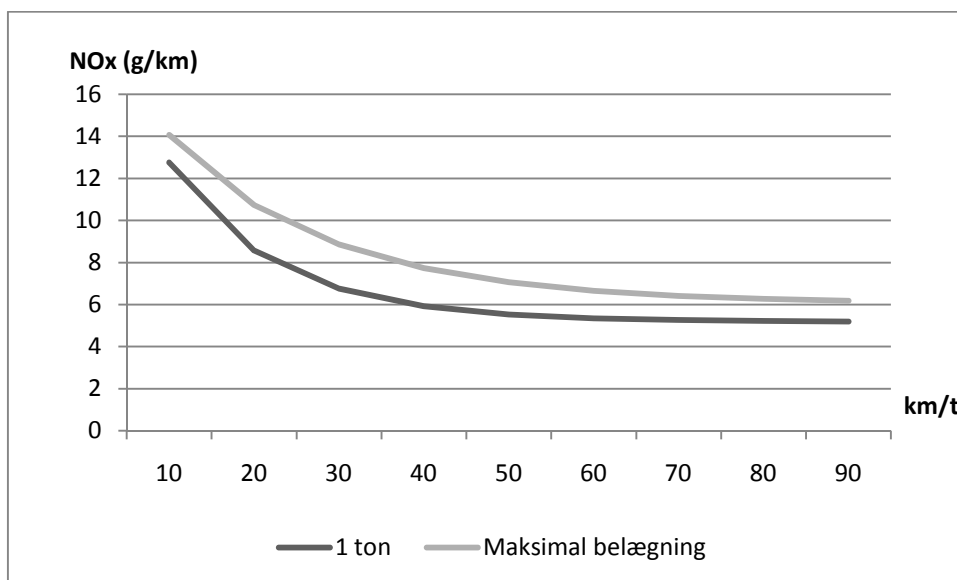
Lastbilernes last influerer på energiforbrug og emissioner. Årsagen, er at vægtforøgelsen kræver øget effektbehov ved acceleration, og dermed større energiforbrug og emissioner.

Til beregning af energiforbrug og emissioner ved en bestemt belægningsgrad beregnes værdierne for en belægningsgrad på henholdsvis 0 procent, 50 procent og 100 procent af bussens kapacitet, hvorefter den aktuelle værdi findes ved lineær interpolation mellem talsættene. Det forudsættes med andre ord, at der er tale om en lineær sammenhæng mellem vægt og energiforbrug/emissioner.

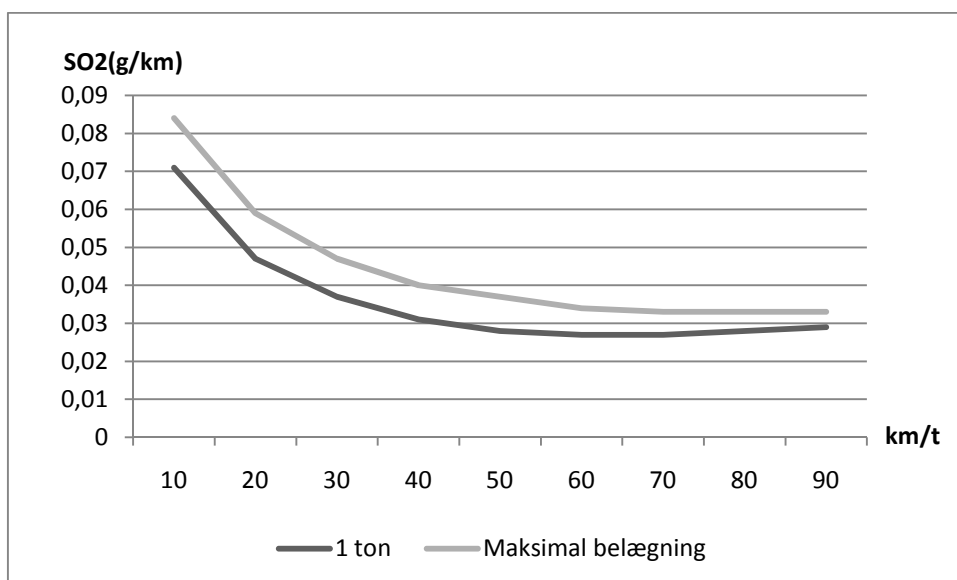


Vægtafhængigheden er illustreret i Figur 9.1 - Figur 9.6, der viser emissionsfunktionerne for  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  samt  $\text{CO}_2$ , når køretøjer er lastet med hhv. 1 ton (mindste belægning i TEMA2010) og med fuld udnyttet kapacitet.

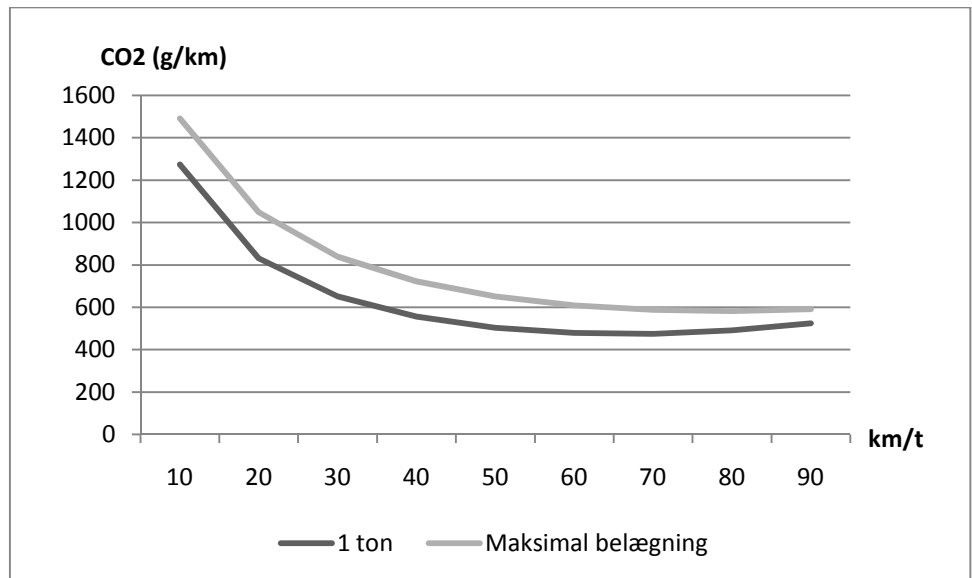
Figur 9.1 Emissionsfunktioner for udledning af  $\text{NO}_x$  for Euro IV sololastbil (14-18 ton)



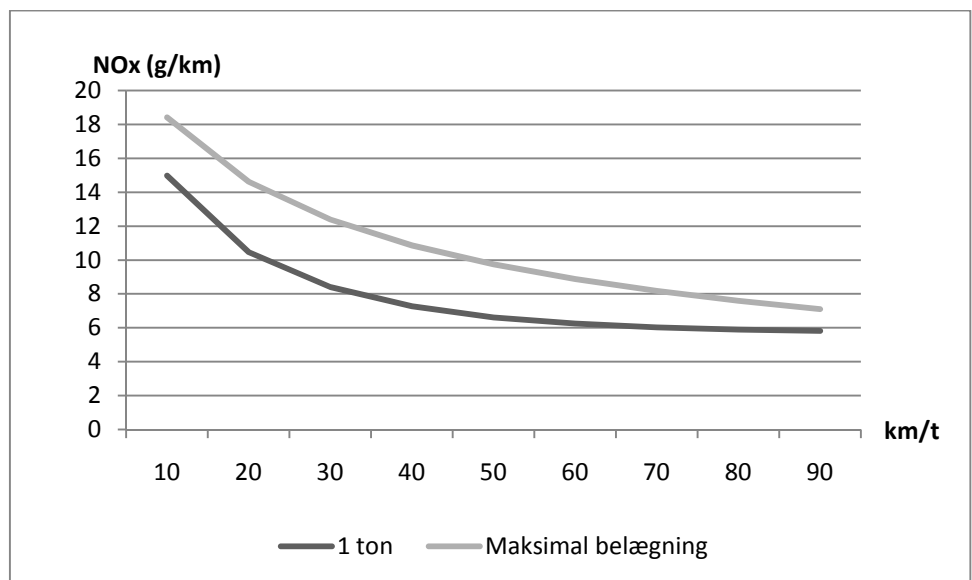
Figur 9.2 Emissionsfunktioner for udledning af  $\text{SO}_2$  for Euro IV sololastbil (14-18 ton)



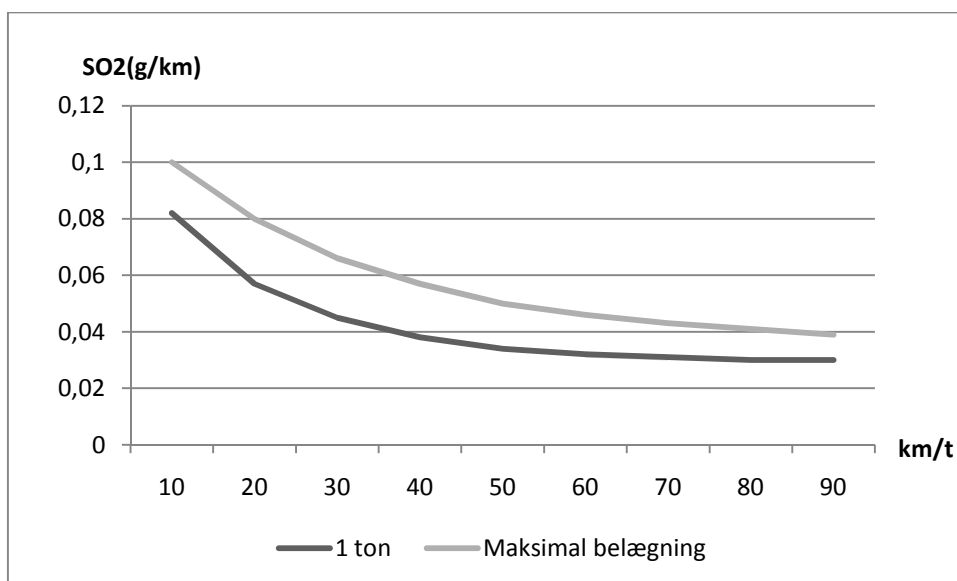
Figur 9.3 Emissionsfunktioner for udledning af CO<sub>2</sub> for Euro IV sololastbil (14-18 ton)



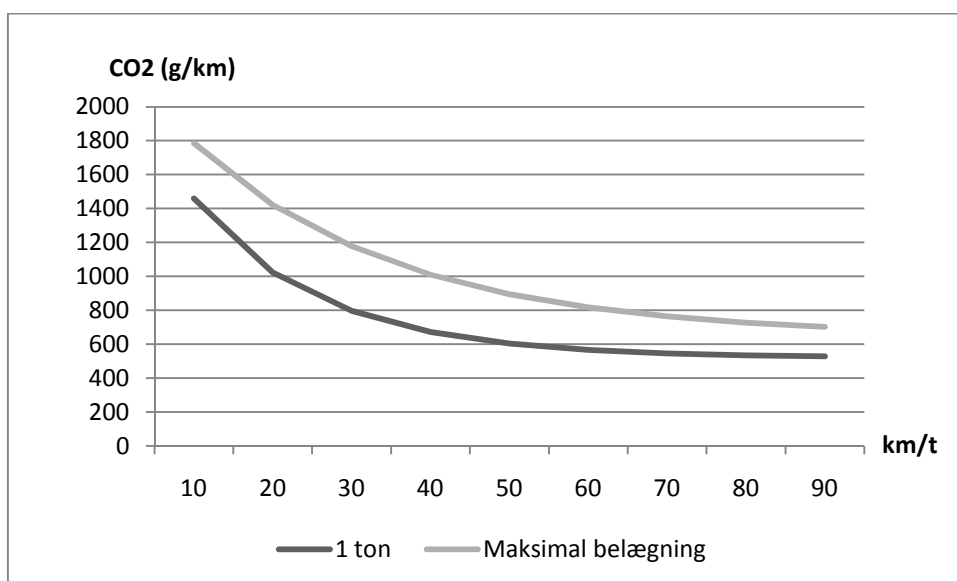
Figur 9.4 Emissionsfunktioner for udledning af NO<sub>x</sub> for Euro IV vogntog (38-40 ton)



Figur 9.5 Emissionsfunktioner for udledning af  $SO_2$  for Euro IV vogntog (38-40 ton)



Figur 9.6 Emissionsfunktioner for udledning af  $CO_2$  for Euro IV vogntog (38-40 ton)



### 9.3 Beregningsgang

Emissionerne for lastbiler beregnes ved lineær interpolation mellem belægningsgraderne 0 procent, 50 procent og 100 procent

Den hastighedsafhængige del afhænger af lastbiltype, godkendelsesnorm samt belægningsgrad, og beregnes ved brug af formlerne<sup>14</sup>

$$e_{HOT}^l(V) = a + bV + \frac{(c - b) \times (1 - \exp((-1) \times dV))}{d}$$

$$e_{HOT}^l(V) = e + a \times \exp((-1) \times bV) + c \times \exp((-1) \times dV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{cV^2 + bV + a}$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{a + bV^c}$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{a + bV}$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^3 + bV^2 + cV + d$$

$$e_{HOT}^l(V) = ab^V \times V^c$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^b + cV^d$$

$$e_{HOT}^l(V) = (a + bV)^{-\frac{1}{c}}$$

$$e_{HOT}^l(V) = a + \frac{b}{1 + \exp((-1) \times c + d \times \ln(V) + eV)}$$

$$e_{HOT}^l(V) = c + a \times \exp((-1) \times bV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = c + a \times \exp(bV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = \exp\left(a + \frac{b}{V} + c \times \ln(V)\right)$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^2 + bV + c$$

Udledningen af SO<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub> beregnes på baggrund af det estimerede brændstofforbrug.

<sup>14</sup> Formlerne fremgår af excel-filer, der udgør en del af dokumentationen for COPERT:  
[http://reports.eea.europa.eu/EMEP/PCORINAIR5/en/HDV\\_functions\\_Excel\\_files.zip](http://reports.eea.europa.eu/EMEP/PCORINAIR5/en/HDV_functions_Excel_files.zip)

## 9.4 Kilder

### 9.4.1 Litteratur

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

European Environment Agency (2007a): Methodology for the calculation of exhaust emissions – SNAPs 070100-070500, NFRs 1A3bi-iv

European Environment Agency (2007b): Methodology for the calculation of fuel evaporation – SNAP 070600, NFR 1A3bv

European Environment Agency (2007c): COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport - Users Manual

Danmarks Statistik, Statistiske Efterretninger.

### 9.4.2 Internet

COPERT: [lat.eng.auth.gr/copert](http://lat.eng.auth.gr/copert)

Dieselnet: [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com)

Wikipedia: [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)

## 10 Godstog

Energiforbrug og emissioner for godstog beregnes med udgangspunkt i den kørte distance samt den vægt, lokomotivet trækker ("vægt på krogen"), multipliceret med gennemsnitlige emissionsfaktorer og energiforbrug pr. km.

### 10.1 Oversigt og brugerparametre

#### Togtyper

Der indgår to godstogstyper i TEMA:

- Eltog
- Dieselelektriske tog

#### Stationer

Der kan transporteres mellem godsstationer<sup>15</sup> på HRL nettet. HRL nettet er segmentopdelt på samme måde som for persontog.

I avanceret indstilling specificerer brugeren selv en vilkårlig afstand, og det er ikke nødvendigt at angive stationer.

#### Rutelægning

TEMA sammenstykker automatisk den korteste segmenttrækkefølge fra startstation til slutstation. Dette har særligt betydning, hvor der er flere alternative ruter mellem start og slutstationen. Hvis brugeren ønsker en anden rutelægning, må det vælges manuelt ved at opdele turen i delture.

Hvis frastation ikke er en segmentende, har TEMA indlagt afstanden fra frastation til første segmentende på ruten, og beregner automatisk den forholdsmæssige del af det første segment, der skal medtages. Tilsvarende for tilstationen.

#### Brugervalg

Brugeren har mulighed for at specificere:

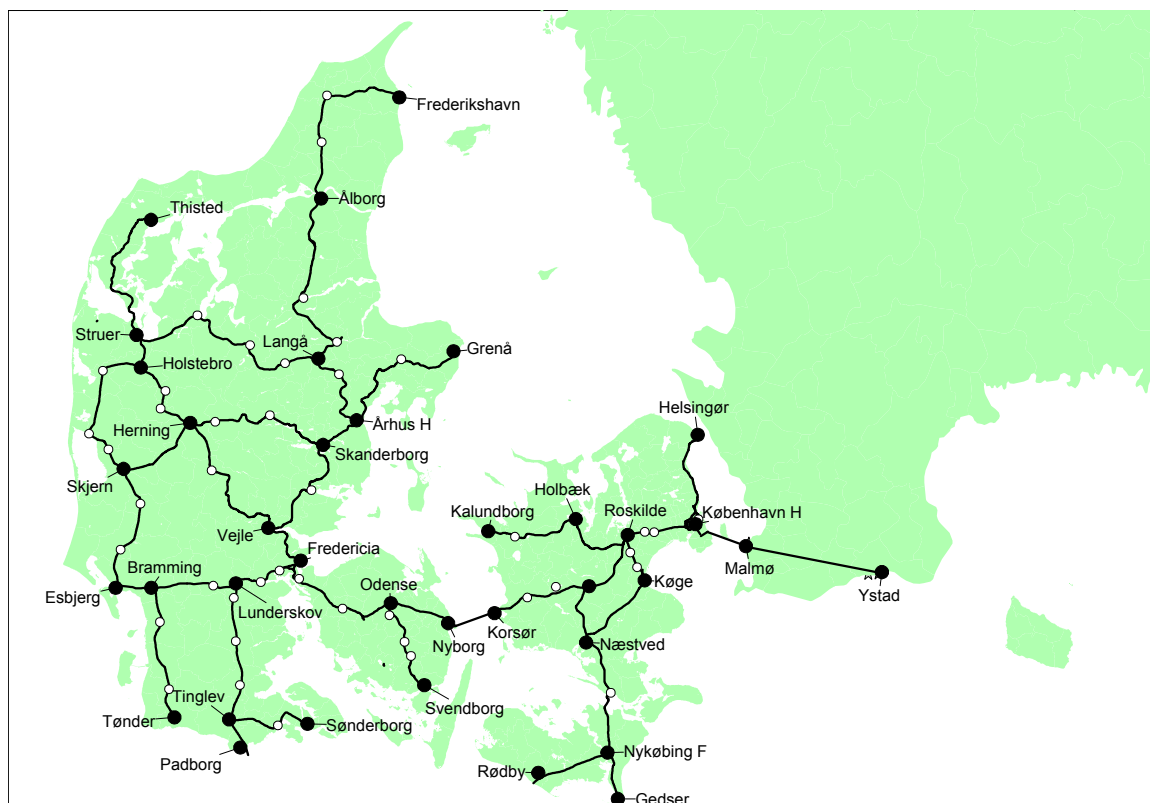
- Fra- og til-station

---

<sup>15</sup> Bemærk, at DSB benytter et mere detaljeret stationsnet end TEMA gør. F.eks. skelner DSB mellem København H, Københavns Godsbanegård, København Frihavn og København Grænse. TEMA benytter i stedet 664 punkter fordelt i Danmark, hvoraf en del er passagerstationer. Derfor optræder København H som fællesbetegnelse for passager- og godstransportstation. Derudover indgår Grindsted, Løgstør, Korinth og Assens på DSB's net ikke.

- Brugerlast
- Togtype: Diesel / El
- Afstand
- Samlet vægt af vogne og last for hele ruten
- Samlet vægt af last for hele ruten

Figur 10.1 HRL nettet for godstog



Note: Prikkerne angiver godsstationer. Sorte prikker er også segmenttender.

## 10.2 Analyse

### 10.2.1 Anvendt metode

I den forrige version af TEMA var metoden til beregning af emissioner for godstog udarbejdet af DSB/Banestyrelsen. I TEMA2010 er det valgt at basere estimeringen af emissioner fra godstog på data og formler fra EcoTransIT (Ecological Transport Information Tool). EcoTransIT er et software til beregning af emissioner fra godstransport og er baseret på et datagrundlag indsamlet i en lang række europæiske lande<sup>16</sup>.

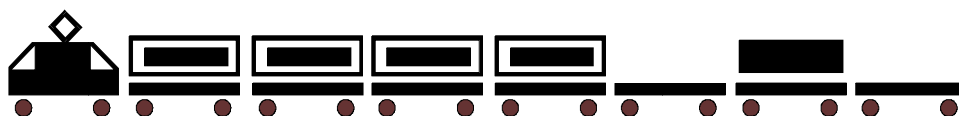
<sup>16</sup> I forbindelse med udviklingen af EcoTransIT er involveret partnere fra Tyskland, Sverige, Schweiz, Frankrig, Belgien, Italien, Spanien samt Storbritannien. Ud over emissions- og aktivitetsdata fra disse lande, indgår endvidere data fra Danmark og Ungarn, samt data opgjort på europæisk plan, herunder ARTEMIS-projektet, COPERT 4 samt opgørelser foretaget i fællesskab af europæiske togoperatører.

Siden 2008 kører stort set al transport med godstog overtaget af udenlandske operatører. Derfor er det valgt at anvende en international model, EcoTransIT til beregning af emissioner fra godstransport med tog i Danmark. EcoTransIT er et samarbejde mellem Svenske og Tyske operatører og på den måde dækker EcoTransIT rimeligt godt de godstransporter, der sker i Danmark.

I EcoTransIT fremgår formler for beregning af energiforbrug for henholdsvis elektriske og dieseldrevne godstog. Formlerne afhænger af lastens vægt inklusiv lastbærere, og der er udledt formler for energiforbruget i fladt, bakket og bjergterræn. Det er i TEMA2010 valgt at benytte formlerne for fladt terræn for at afspejle det danske landskab.

I Figur 10.2 er skitseret et godstog bestående af lokomotiv, togvogne, lastbærere og last.

Figur 10.2 Skitse af godstog bestående af lokomotiv, togvogne, lastbærere og last (ikke al last er i lastbærere).



Det er togets samlede vægt, der er afgørende for energiforbruget, men begrebet *Vægt på krogen*<sup>17</sup>,  $M^{vpk}$ , er nødvendigt, idet emissionerne i EcoTransIT er opgjort som funktion heraf. Vægt på krogen omfatter togvogne, lastbærere og last, der er koblet på lokomotivet. Vægt på krogen betegnes som bruttoton, mens last regnes i nettoton, blot angivet som ton.

Ovenstående beskrivelse giver nedenstående matematiske sammenhæng:

$$M^{tog} = M^{lokomotiv} + M^{togvogne} + M^{last} + M^{lastbærer}$$

$$M^{vpk} = M^{togvogne} + M^{last} + M^{lastbærer}$$

Ingen belægningsgrader

Der regnes ikke med belægningsgrader for godstog i TEMA. Dette skyldes, at den øvre grænse for kapacitet er afhængig af en lang række faktorer, bl.a. strækningen, tilladt akseltryk, lokomotivets trækraft, terrænforhold, togvogne m.v. Endvidere bliver togene op- og nedformeret afhængigt af efterspørgslen.

Default belægning, målt som last/Vægt på krog er angivet til 50% for gennemsnitligt gods i henhold til EcoTransIT.

I tabellen nedenfor er angivet typisk belægning for forskellige typer af gods

Typiske belægningsgrader.

<sup>17</sup> Krogen er lokomotivets sammenkobling med togvognene.



Den typiske load faktor for gennemsnitligt gods er angivet til 0,72 for bulk og 0,44 for let gods. I TEMA2010 anvendes gennemsnittet mellem de to svarende til 0,58 uden tomkørsel. Tomkørsel beregnes på baggrund af ECOTransIT til 37 procent.

Gennemsnitlig togstørrelse til international transport er angivet til 1000 tons vægt på krog. Kort tog 500 tons vægt på krog og langt tog 1500 tons vægt på krog. Til default for TEMA2010 anvendes 750 tons vægt på krog, hvilket svarer til gennemsnittet i Danmark.

**Rollende Landstraße** "Rollende Landstraße" er en transportform, hvor lastvognen inkl. forvogn køres op på eller sættes på flade togvogne. Chaufførerne kører også med toget i modsætning til løstrailertransport. Ifølge DSB Gods kræver Rollende Landstraße specielle togvogne, som er dyre i indkøb og vedligehold. Derfor har DSB Gods pt. ingen planer om at tilbyde denne transportform.

Hvis brugeren ønsker at beregne emissioner for Rollende Landstraße kan dette gøres ved at sammensætte en tur med et godstog med et givet antal lastbiler. Dette gøres konkret ved, at lastbilernes samlede vægt (egenvægt + last) angives som last for godstoget, og denne samlede last + vægt af togvogne angives som vægt på krogen. Det må forventes, at forholdet mellem samlet last og vægt på krogen øges i forhold til de gennemsnitlige værdier, som anvendes i TEMA. Dermed kan togets samlede emissioner beregnes. Tilsvarende laves en tur med det samme antal lastbiler, som kører den samme distance på vej. Emissionerne for disse to ture kan dernæst sammenlignes.

Det bemærkes, at det ikke umiddelbart er muligt at sammenligne emissioner pr. tonkm, da lastbilernes egenvægt anses for last i ovenstående beregninger, men egenvægten reelt er en lastbærer.

### 10.2.2 Emissioner og energiforbrug

**Emissioner fra elektriske tog** Emissioner fra elektriske godstog sker via kraftværkernes udledninger. Dette er uddybet i kapitel 13.2. Bemærk at som konvention foregår alle emissioner fra kraftværker udelukkende i landzone.

**Emissioner fra dieseltog** Emissioner fra dieseltog sker derimod i forbindelse med selve kørslen og brug af motoren. Disse emissionsfaktorer angives i TEMA2010, ligesom i EcoTransIT, som brændstofafhængige værdier, hvilket vil sige at de udelukkende afhænger af togets brændstofforbrug pr. km. Dermed afhænger emissionerne ikke af f.eks. togets hastighed, men alene af lastens vægt inkl. lastbærer samt den kørte strækning. I Tabel 10-1 ses de emissionsfaktorer, der indgår i EcoTransIT, samt hvilken operatør, der har oplyst estimaterne. I TEMA2010 er det valgt at benytte default-værdierne.

Tabel 10-1 Emissionsfaktorer for dieseldrevne godstog

	Gram pr. kg brændstof				
	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	NMHC	PM
Operatør					
Green Cargo	3.170	70	0,01	2,8 (HC)	1,8
DB	3.175	55,0	0,02	5,7	1,74
DSB	3.170	56,7	0,07	1,8	2,0
TI	3.100	60	0,1	4,9	5,0
SNCF	3.150	39,6	0,1	4,7	1,5
Default	3.170	55	0,1	4,9	1,5

Kilde: EcoTransIT

### 10.3 Beregningsgang

Beregningsgangen i TEMA2010 for emissioner for godstransport med tog er givet ved nedenstående formler, der svarer til de udledte formler for fladt terræn i EcoTransIT.

Brugeren vælger fra- og til-station samt togtype og godsmængde, hvorefter TEMA beregner emissionerne.

Formler for eldrevne tog

For eldrevne godstog beregnes energiforbruget i Wh pr. tonkm ved hjælp af formlen

$$q_t = 540 \times (M^{vpk})^{-0,5}$$

hvor  $M^{vpk}$  er togets vægt på krogen.

Herefter beregnes togets emissioner fra station  $i$  til station  $j$  som

$$e_i^P(i, j, t) = E_l^E q_t$$

hvor  $E_l^E$  er emission pr. el energiforbrug for emissionstype  $l$ , og

$q_t$  er energiforbruget pr. km

Formler for dieseltog

For dieseltog beregnes energiforbruget i gram pr. tonkm ved brug af formlen

$$q_t = 122,46 \times (M^{vpk})^{-0,5}$$

hvor  $M^{vpk}$  er togets vægt på krogen.

Herefter beregnes togets emissioner fra station  $i$  til station  $j$  som

$$e_l^P(i, j, t) = E_l q_t$$

hvor  $E_l$  er udledning af emissionstype  $l$ , og

$q_t$  er energiforbruget pr. km

#### **10.4 Litteratur**

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

IFEU (2008): *EcoTransIT: Ecological Transport Information Tool. Environmental Methodology and Data. Update 2008.*

## 11 Færger til godstransport

### 11.1 Oversigt og brugervariabler

Godstransport med færge mellem danske havne udgjorde i 2008 21,5 mio. tons eller ca. 25 procent af den samlede godstransport med skib i dansk farvand. (Danmarks Statistik 2008).

Godstransport med færge i Danmark sker som regel med almindelige passagerførende bilfærger, der som regel kan transportere lastbiler i større eller mindre omfang. Herudover transporteres rullende last, dvs. lastbiler og løstrailere, med såkaldte Ro-Ro lastskibe, der som regel ikke medfører passagerer, men som kan transportere væsentligt mere rullende last end almindelige passagerførende bilfærger.

De almindelige passagerførende bilfærger, der kan transportere lastbiler eller løstrailere, ligger i TEMA2010 som forud definerede færger. Herudover kan brugeren selv definere en passagerfærge, hvor den i beregningsmæssig forstand betragtes som en godsfærge. på lignende vis kan brugeren også definere en Ro-Ro lastfærge (dvs. uden passagerer). De to sidstnævnte typer færger kaldes de brugerdefinerede færger.

En mere udførlig beskrivelse af de to færgetyper, deres transportkapacitet, størrelse og typiske fart findes i en særskilt bilagsrapport<sup>18</sup>.

Brugerdefinerede færger kan anvendes på samme måde som de foruddefinerede færger. Delmodellen til brugerdefinerede færger kan således anvendes til at supplere de foruddefinerede færger i TEMA2010.

Ændringerne i forhold til den forrige version af TEMA er ækvivalente med ændringerne for personfærger.

De brugerspecificerede variable for godstransport med færger er:

---

<sup>18</sup> Bilagsrapporten: Beskrivelse af TEMA2000 modellens skibstekniske beregningsgrundlag er udarbejdet af Hans Otto Kristensen, der også har stået for udviklingen af den model, der udgør det beregningsmæssige grundlag for brugerdefinerede færger.

- Færgen/ruten,
- Evt. turlængde,
- Forbindende transportform, dvs. varebil, lastbil eller løstrailer,
- Evt. færgens belægning for den valgte transportform og
- Antal tons i den valgte transportform
- Belægning med passagerer

For de brugerdefinerede godsfærger skal tillige specificeres:

- Færgens kapacitet målt i antal lanemeter (længde af lastbil vognbaner)
- lastbilens længde, egenvægt, lasteevne og last
- evt. sejlhastigheden, og
- evt. færgens alder.

## 11.2 Analyse

De fleste af færgerne i TEMA2010 kan ud over personbiler og busser også transportere lastbiler eller varebiler, og er derfor medtaget i godsdelen af modellen. Det drejer sig om færgerne angivet i Tabel 11-1. For metode og data henvises derfor til afsnit om personfærger.

Fordelingen af energiforbrug og emissioner på lastbilerne baseres på ækvivalenterne angivet i Tabel 6-6 i samme kapitel. Default belægningsgraderne vil være de samme som for personbilerne, idet disse er baseret på vogndæksbelægning.

For de små færger skal brugeren være opmærksom på det meget begrænsede antal lastbiler, som kan medtages. For hurtigfærgerne er der visse begrænsninger for, hvilke varebiler der kan medtages, men generelt er det muligt at medtage varebiler på under 3.500 kg, som ligger inden for givne ydre mål. Hurtigfærgerne er ikke taget med som fragtfærger, da det ikke anses for almindeligt at fragte gods med hurtigfærge.

*Tabel 11-1 Færge ruter i TEMA2010*

Færge type	Navn	Rutenavn
Konventionel	M/F Dueodde	Rønne - Ystad
Konventionel	M/F Hammerodde	Rønne - Køge
Konventionel	M/F Hammerodde	Rønne - Ystad
Konventionel	M/F Povl Anker	Rønne - Ystad
Konventionel	Maren Mols	Århus - Kalundborg
Konventionel	Mette Mols	Århus - Kalundborg
Lille	Agersø Færger	Stignæs - Agersø
Lille	Anholt	Grenå - Anholt
Lille	Askø	Askø - Bandholm
Lille	Bukken-Bruse	Kragensnæs - Fejø
Lille	Baagøfærger	Assens - Baagø

Lille	Femø Sund	Kragssnæs - Femø
Lille	Fåborg II	Faaborg-Avernakø - Lyø
Lille	Hals-Egense	Hals - Egense
Lille	Hannæs	Feggesund -
Lille	Jacob Hardeshøj	Hardeshøj - Ballebro
Lille	Læsø	Vesterø Havn / Læsø - Frederikshavn
Lille	Marstal	Marstal - Rudkøbing
Lille	Mary	Havlsund - Sundsøre
Lille	Menja	Esbjerg - Fanø
Lille	MF Endelave	Horsens - Endelave
Lille	MF Frigg	Tårs - Spodsbjerg
Lille	MF IDA	Stubbekøbing - Bogø
Lille	MF Kanalen	Thyborøn - Agger
Lille	MF Kanhave	Kalundborg - Samsø
Lille	MF Tunøfærgeren	Hov - Tunø
Lille	Nakkehage	Hundested - Rørvig
Lille	Næssund	Næssund -
Lille	Omø	Stignæs - Omø
Lille	Ourø	Holbæk - Orø
Lille	Runden	Havnsø Nekselø - Sejerø
Lille	Sleipner-Fur	Branden - Fur
Lille	Strynboen	Strynø - Rudkøbing Færgefart
Lille	Søbyfærgeren	Søby - Fåborg
Lille	Thor Sydfyen	Bøjden - Fynshav
Lille	Ulvsund	Søby - Mommark
Lille	Venø Sund II	Kleppen - Venø
Lille	Vestborg	Hov - Samsø
Lille	Ærø Sund	Ærøskøbing - Svendborg

### 11.3 Kilder

Danmarks Statistik. Statistik banken.

Kristensen, H. O. (2000): Beskrivelse af TEMA2000 modellens skibstekniske beregningsgrundlag. Bilagsrapport.

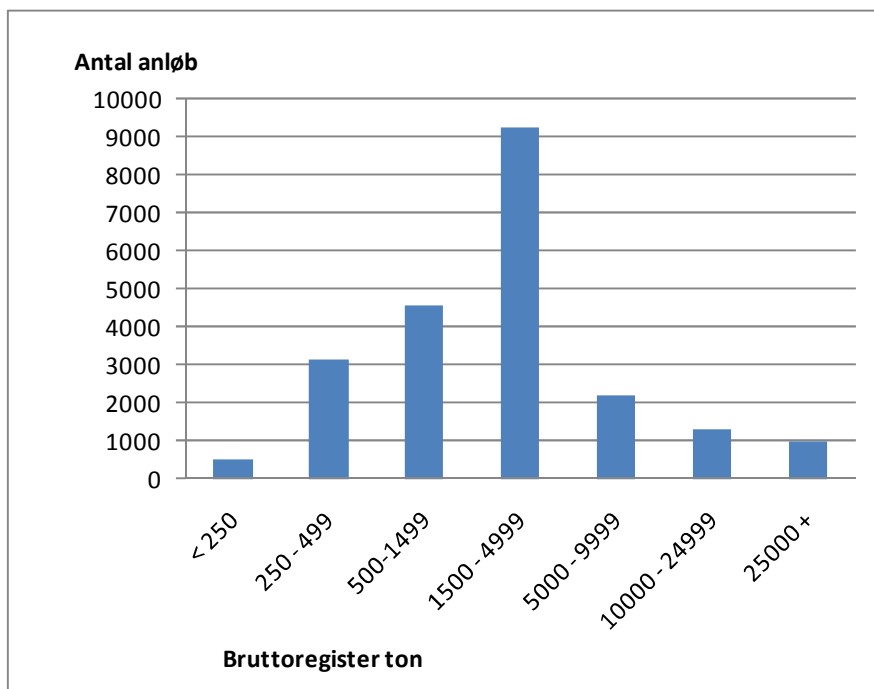
## 12 Fragtskibe

### 12.1 Introduktion

Det er vurderet, at den måde fragtskibe indgik i TEMA2000 ikke er ændret væsentligt. Den eneste ændring, der er foretaget fra TEMA2000 til TEMA2010, er således en reduktion i emissionsfaktorerne for NO<sub>x</sub> på 20 procent for at afspejle de skærpede krav til skibsfartens emissioner fra IMO Tier II.

Figur 12.1 nedenfor viser, hvordan skibsanløbene i danske havne fordeler sig på skibsstørrelser. Det fremgår, at langt den overvejende del af anløbene udføres med skibe på under 5.000 bruttoton.

Figur 12.1 Antal skibsanløb på danske havne fordelt efter BRT, 2009



Kilde: Danmarks Statistik

Note: Bruttotonnage er et rumbegreb for hvor meget skibet kan laste.

TEMA2010 bygger på en omfattende model<sup>19</sup>, med hvilken det er muligt at foretage systematiske beregninger for forskellige skibstyper. Denne model er benyttet som grundlag for TEMA2010's fragtskibe, som er containerskibe og bulk carriers (massegodsskibe). Til TEMA2010 er der foruddefineret to fragtskibe:

- Bulkcarrier med 2000 tons lasteevne
- Containerskib med kapacitet på 350 TEU

Disse skibe vurderes at være de typiske for indenlandske transporter i Danmark. Ud over disse skibe kan brugeren selv definere andre bulk- og containerskibe, idet der gælder følgende kapacitetsgrænser:

- Containerskibe: 100-7.000 TEU
- Bulk carriers: 2.000-150.000 tons last.

## 12.2 Brugervariabler

I hovedmenuen har brugeren mulighed for at specificere følgende parametre:

- Skibstype
- sejldistancen i km og
- skibets belægning i ton

I det særlige modul til definition af brugerdefinerede fragtskibe har brugeren mulighed for at specificere følgende parametre:

- Skibstype (bulk og container)
- evt. skibets maksimale lasteevne i TEU<sup>20</sup> eller ton (TEU for containerskibe og ton for bulk carriers)
- evt. belægningsgraden i TEU eller tin
- evt. skibets servicefart i knob samt
- evt. skibets alder

Servicefarten på skibet har stor betydning for energiforbruget. Brugeren har mulighed for at øge eller sænke hastigheden med 10 procent i forhold til gennemsnitsfarten for den pågældende skibstype og -størrelse.

En 2000 tons bulk carrier med en udnyttelsesgrad på 65 procent bruger 0,204 MJ pr. tonkm ved 10,4 knob, mens det samme skib bruger 0,285 MJ per. tonkm, hvis farten øges 10 procent til 11,4 knob, altså en forøgelse på 40 procent på energiforbruget.

Datagrundlaget for det særlige modul til definition af brugerdefinerede fragtskibe er nye skibe med et specifikt brændolieforbrug svarende til 1999 gennemsnitsstandard. Resultaterne fra disse skibe er herefter korrigeret (til højere energiforbrug), således at de svarer til gennemsnitsalderen af den danske flåde.

---

<sup>19</sup> Se Kristensen (2000)

<sup>20</sup> TEU står for 20 fods ækvivalent, dvs. eksempelvis en standard 20 fods container.



TEMA2010 regner således som default på et gennemsnitligt skib, men der er også mulighed for at regne på et nyt skib

*Tabel 12-1 Gennemsnitsalderen og korrektionsfaktor for bulkcarrier og containerskibe*

Skibstype	Gennemsnitsalder	Korrektionsfaktor
Bulkcarrier	11,7	1,13
Containerskib	6,2	1,07

Note: Korrektionsfaktorerne er beregnet på basis af udviklingen i specifikt brændolieforbrug gennem de seneste 20-25 år. Se i øvrigt bilagsrapport.

Kilde: Danmarks Rederiforening 1999

Fastsættelsen af skibets aktuelle last i forhold til lasteevnen (maksimal last) er bestemmende for skibets energiforbrug per tons.

Da data for energiforbruget på fragtskibene er for en minimumskapacitet på 25 procent, er der i modellen indlagt en nedre grænse på 25 procent kapacitetsudnyttelse.

## 12.3 Analyse

### 12.3.1 Motortyper<sup>21</sup>

Slow speed motorer benyttes ofte til fremdrivning af containerskibe over 500 - 1000 TEU, idet der bygges slow speed motorer med et effektbehov svarende til, hvad der kræves for containerskibe med 400 – 500 TEU (Bilagsrapport, bilag A).

I modelberegningerne er det antaget, at alle containerskibene fremdrives af slow speed motorer, hvilket som nævnt er en rimelig antagelse ned til en skibsstørrelse på ca. 500 TEU, som er den næstlaveste skibsstørrelse, der indgår i modelberegningerne. Den laveste containerskibsstørrelse i beregningerne er udført for et 100 TEU containerskib, hvor det korrekte valg burde have været et medium speed fremdrivningsanlæg. Derfor er det beregnede energiforbrug for denne skibsstørrelse godt 10 procent for lav. Dette opvejes dog af det forhold, at for et så lille skib vil nyttelasten sandsynligvis udgøre op til ca. 90 procent af dødvægten, hvor der i beregningsmodellen er brugt 75 procent som en fælles procentsats op til containerskibe på 4000 TEU.

Også for bulk carriers er det i modelberegningerne antaget, at skibene fremdrives af slow speed motorer (Kristensen, H. O. (2000)). Her gælder lignende betragtninger (som for containerskibene) i den nedre ende af kapacitetsskalaen dvs. for skibe med henholdsvis 2000-5000 tons lasteevne, der er de mindste skibsstørrelser, der indgår i modelberegningerne, at disse realistisk set vil blive fremdrevet af medium speed motorer.

<sup>21</sup> Fra Hans Otto Kristensens notat af 12. november 1999.

Slow speed motorer antages at forbrænde fuelolie, og det er antaget at motorernes forbrug er 170 g/kW time, hvilket er en passende værdi for dagens standard. (MAN B&W, 1999a)

### 12.3.2 Energiforbrug

Energiforbruget per ton gods transporteret med fragtskibe afhænger meget af belægningsgraden. Tabel 12-2 viser energiforbruget per ton-kilometer ved forskellige kapacitetsudnyttelser.

Tabel 12-2 *Energiforbrug for fragtskibe (MJ/ton-km)*

Kapacitets-udnyttelse	Bulkcarrier med 2000 tons lasteevne	Container-skib 350 TEU
25%	0,579	0,825
50%	0,293	0,428
75%	0,204	0,300
100%	0,161	0,237

### 12.3.3 Emissions-koefficienter

Det er vurderet at emissionsfaktorerne fra den tidligere version, TEMA2000, stadig er gældende for fragtskibe. Dog skønnes det, at NO<sub>x</sub> emissionerne er reduceret med 20% som følge af Tier II. De nævnte skibe sejler på fuelolie og det gennemsnitlige svovlindhold er 1,2 procent, NERI (2009).

Der er regnet med følgende emissionsfaktorer, som gælder for slow speed motorer.

Tabel 12-3 *Emissioner (g/MJ) for fragtskibe*

Emissionstype	Emission (g/MJ)
CO <sub>2</sub>	78,000
NO <sub>x</sub>	2,0
CO	0,230
HC	0,073
Partikel	0,200
SO <sub>2</sub>	0,587

Kilde: Kristensen (2000), Lloyds Register of Shipping (1995), MAN B&W (1999) og NERI (2009). Det er skønnet at IMO Tier II giver 20% NO<sub>x</sub> reduktion i forhold til TEMA2000.

## 12.4 Beregningsformler

Beregningsgangen for energiforbruget knyttet til det enkelte fragtskib kan beskrives ved følgende formel:

$$q^G = \frac{q}{KB}$$

hvor  $K$  er skibets lasteevne,  $B$  er skibets udnyttelsesgrad,  $q^G$  er energiforbrug pr. tonkm og  $q$  er skibets energiforbrug pr. km.

Tilsvarende vil emissionerne pr. ton være givet ved nedenstående formel:

$$e^G = I \times q^G$$

hvor  $I$  er den specifikke emissionsfaktor i g/MJ.

Beregningen af brugerspecificerede færgers energiforbrug fremgår af bilagsrapporten Kristensen (2000).

## 12.5 Litteratur

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

Kristensen, H. O. (2000): Beskrivelse af TEMA2000 modellens skibstekniske beregningsgrundlag. Bilagsrapport.

Lloyds Register of Shipping (1995): Marine Exhaust Emission Research Programme.

MAN B&W (1999a): Marine Propulsion Engines, Propulsion Systems, Marine Gensets. Brochure fra MAN B&W, 1998-1999. Samlet oversigt over MAN B&W's samlede motorprogram.

MAN B&W (1999b): Datablade for NO<sub>x</sub> for slow speed og medium speed motorer fra MAN B&W diesel. Præsenteret på Skibsteknisk Selskabs konference 27. oktober 1999.

NERI (2009): Annual danish informative inventory report to unece, Emission inventories from the base year of the protocols to year 2007, DMU, Teknisk Rapport nr. 716, 2009

Sowman, Colin (1997): *Do you know what's in your bunker?* The Motor Ship, December 1997.

## 13 Øvrige data

### 13.1 Beregning af hurtigste rute

I TEMA kan der rejses imellem 687 lokaliteter / destinationer. Disse omfatter:

- Byer med mere end 1000 indbyggere
- DSB's stationer på hoved-, regional- og lokalbaner
- DSB's S-togs stationer
- Metrostationer
- Lufthavne, der betjener de væsentligste indenrigs-rutefly
- Færgehavne, der betjener de væsentligste færgeruter
- Malmö og Ystad

Vejafstandene mellem byerne i TEMA er beregnet og lagt ind i en afstands-matrix. Ved afstandsberegningen er det antaget, at der vælges den hurtigste rute. De antagne hastigheder er angivet i Tabel 13-1. De hastigheder, der er anvendt til beregning af ruten, er personbilshastigheder. For busser og lastbiler er hastigheden på motorvej lavere end for personbiler. Det vurderes imidlertid, at de beregnede ruter i rimeligt omfang vil afspejle de faktiske ruter for lastbiler. For busser vil den hurtigste rute derimod ofte undervurdere kørefastheden fra et punkt til et andet, da busruter planlægges efter andre kriterier end tiden.

Vejafstanden mellem hvert par af byer er yderligere opdelt på 6 vejtyper samt på land og by, i alt 12 vejtyper.

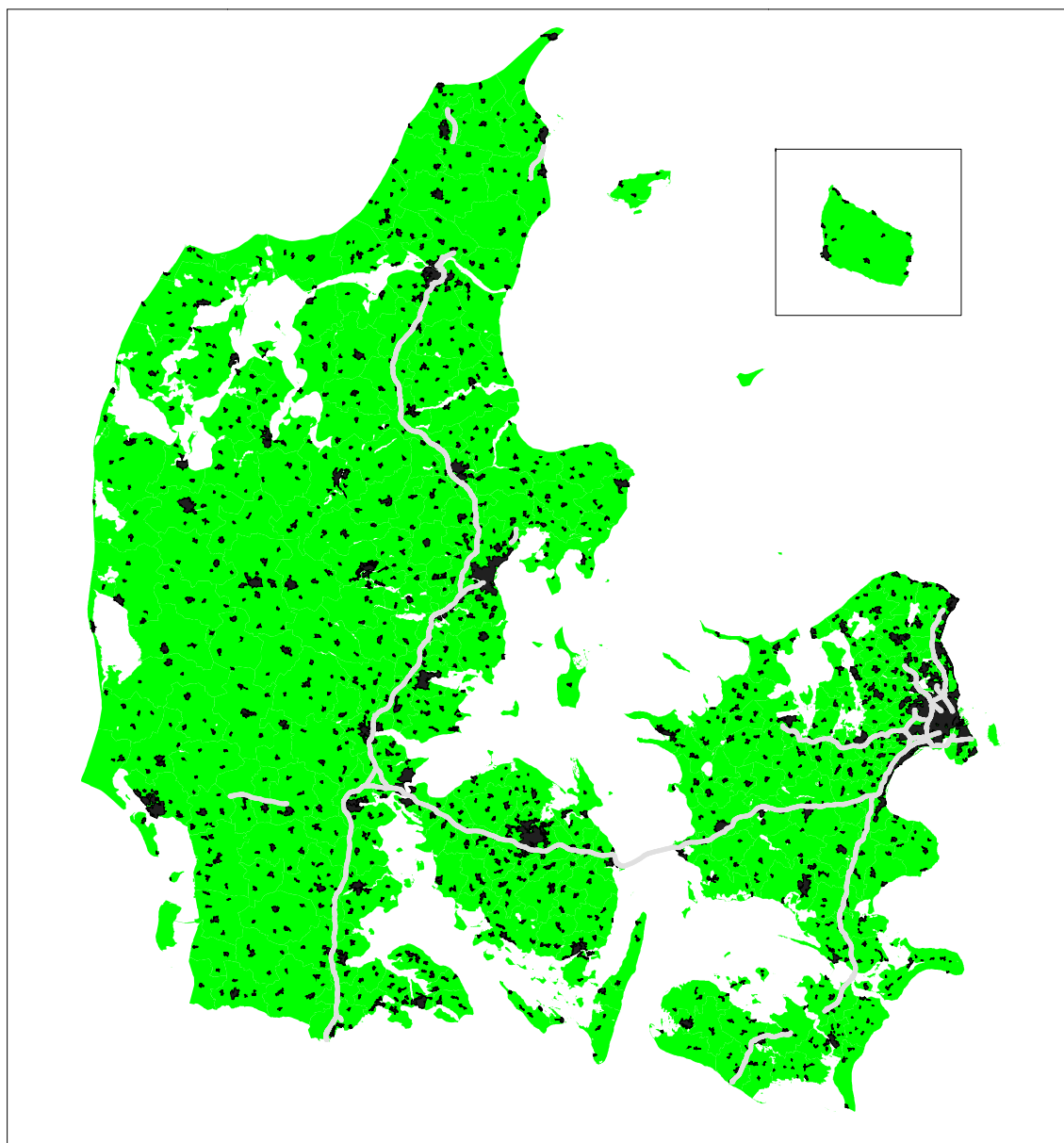
Beregningerne er baseret på Dansk Adresse & Vejdatabase (DAV) samt en vektor version af Danmarks Digitale Ortofoto (DDO) begge fra Kampsax Geoplan. DAV er et landsdækkende vejkort med adresseintervaller. DDO er et landsdækkende ortofoto, hvor arealanvendelsen er blevet opgjort i form af by- og landzonepolygoner. Databaserne er kombineret i et GIS-system, sådan at vejstrækningerne er blevet opdelt mellem by og land. Se eksempel i Figur 13.1

I DDO-vektor gælder flg. byzonedefinition: Alle bebyggede områder større end 0,3 km<sup>2</sup>, samt industriområder under 1,5 km<sup>2</sup> er byzone. En ejendom er indenfor byzonen, hvis afstanden mellem to tilstødende bygninger er under 100 m, eller mere, hvis denne længere afstand skyldes kirkegårde, sports-, parkeringspladser, parker, jernbanearealer eller bebyggelsesområder under opbygning. Hvis to tilstødende byzoner ligger tættere på hinanden end 500 m og deres totale areal overstiger 0,3 km<sup>2</sup>, er begge arealer registreret.

Tabel 13-1 Benyttede hastigheder ved beregning af hurtigste rute.

Benævnelse	Hastighed land (km/t)	Hastighed by (km/t)
Motorvej	110	110
Motortrafikvej	90	70
Primære ruter > 6m	80	50
Sekundære ruter > 6 m	70	40
Veje 3 m < bredde < 6m	60	40
Andre veje	50	40

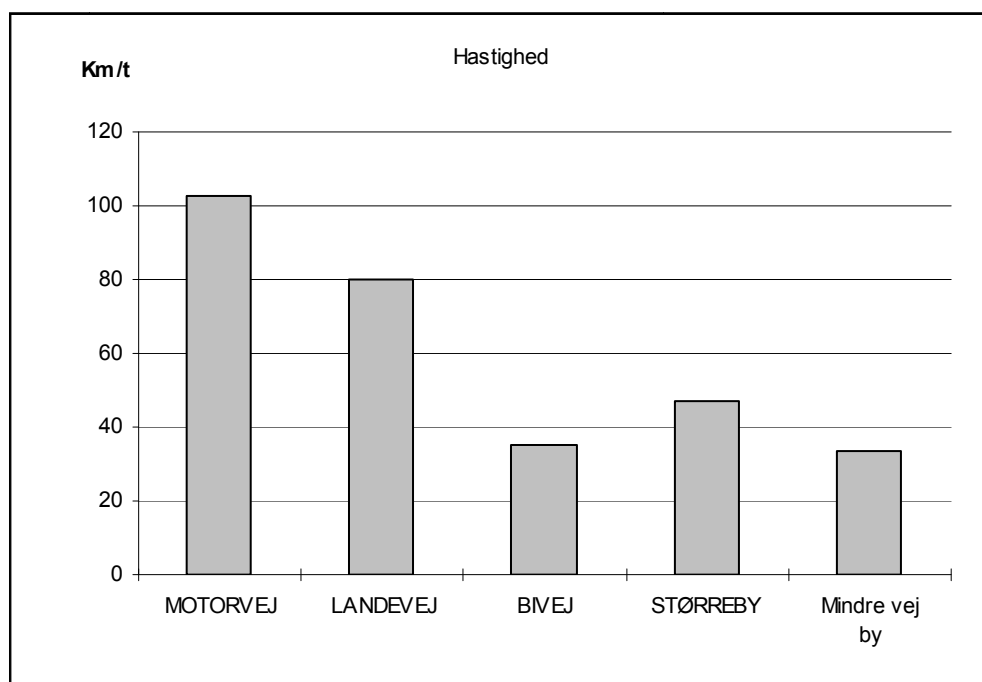
Figur 13.1 TEMAs byzoner fra DDO, samt motorvejsstrækninger fra DAV.



For at vurdere de gennemsnitlige rejsehastigheder på hhv. 30 km/t, 70 km/t og 110 km/t for by, land og motorvej, er der foretaget en delanalyse af rejsehastigheder i TU.

Ved at kombinere TU-data fra 1995, hvor respondenterne har rapporteret rejsetid og rejselængde, er det med afstandsmatricen muligt at beregne, hvor hurtigt den gennemsnitlige rejsehastighed på de enkelte vejtyper skulle være for at passe med det, respondenterne opgiver.

Figuren nedenfor viser de således beregnede rejsehastigheder.



## 13.2 Emissioner fra elproduktion

### 13.2.1 Elforsyning - kort overblik

I Danmark opgør Energistyrelsen kraftværkernes samlede input af brændsel til produktion af el og varme. Via emissionsfaktorer for brændslet beregnes tal for de samlede emissioner. Eftersom der er tale om en samproduktion af el og varme, opstår de væsentligste metodespørgsmål, når emissionerne skal opgøres for elproduktionen alene. Der er ikke nogen entydig måde at opgøre dette på. Det er nødvendigt at gøre en række antagelser på forskellige områder, hvor de væsentligste er:

- Fordeling af brændslet mellem el og varme
- El-import og eksport
- Gennemsnitsbetragtning kontra marginalbetragtning

Disse forklares nedenfor, men først beskrives el-produktionsprocessen overordnet.

#### Brændselsforbrug

Først bliver brændslerne udvundet fra undergrunden og transporteret til elværkerne. Der forekommer et tab i forbindelse hermed, dette tab betegnes opstrømsenergi. Det samlede brændselsforbrug er summen af det indfyrede brændsels brændværdi. Denne energimængde angives som konvention altid i MJ. Alle energital i MJ i TEMA referer således til brændværdien af det indfyrede brændsel, også for benzin- og dieselkøretøjer.

El-produktion	Dernæst producerer kraftværkerne el og varme. Dette foregår på store centrale anlæg og på mindre decentrale anlæg, samt hos private producenter. Derudover produceres der el fra vindmøller og vandkraftanlæg. TEMA rapporten bruger betegnelsen $kWh_{EL}$ for nettoelproduktion, F.eks. i forbindelse med emissioner pr. produceret energienhed. Andre steder benyttes betegnelsen $kWh$ ab værk.
Konverteringstab	I forbindelse med konverteringen på kraftværkerne fra brændsel til el og varme forekommer der et tab, som udgør forskellen mellem brændselsforbruget og produktionen. Forholdet mellem output (produktion) og input (brændselsforbrug) betegnes virkningsgrad og er afhængig af metoden til brændselsfordeling.
Distribution	Til sidst distribueres strømmen fra elværkerne til forbrugerne. Her forekommer et tab, som er forskellen mellem den målte indenlandske forsyning (= nettoelproduktion - nettoeksport) og det målte endelige forbrug (inkl. forbrug ved anden energiproduktion). Distributionstabet var i 2008 på 5 procent <sup>22</sup> .
Forbrug	DSB har målt deres forbrug på en omformerstation i nærheden af banenettet. Disse målinger betegnes $kWh_M$ . Når strømmen distribueres fra denne omformer til toget, forekommer der et køreledningstab. Dette er ifølge foreløbige opgørelser fra DSB på 5 procent.  Endelig konverteres den elektriske energi i toget til motorarbejde (PO = Power Output), hvor der også forekommer et tab i processen. Dette tab regnes automatisk med i TEMA, da det indgår i det energiforbrug, der måles.

### 13.2.2 Metodeovervejelser

Gennemsnitsmetode	Når emissioner udregnes som gennemsnitsbetragtninger, tages det samlede årlige udslip fra alle produktionssteder, som divideres med det årlige elforbrug.
Marginalmetode	I en situation, hvor der skal tages beslutninger om kortvarige ændringer i anvendelse af el, kan det være relevant at se på emissionerne ved marginal elproduktion.  Når emissioner udregnes på baggrund af den marginale elproduktion tages der udgangspunkt i de værker der sættes ind ved større efterspørgsel eller tages ud ved faldende efterspørgsel.  Marginalmetoden kompliceres af, at sammensætningen af den marginale elproduktion henover et døgn varierer mellem forskellige værker og produktionsmetoder. I perioder om natten er det varmeefterspørgslen, der styrer produktionen, i perioder om dagen er det el-efterspørgslen, der styrer produktionen. Hvor og hvordan produktionen foregår, kaldes en lastfordeling.  Det kan let blive upræcist, hvis man forsøger at håndtere begrebet marginal elproduktion. Det vil være mere gennemskueligt at tale om produktionsteknologier og beregne emissionsfaktorer for disse.

<sup>22</sup> Kilde: Energinet.dk, datamateriale til miljørapport 2009, figur 41.



## Brændselsfordeling

Der er principielt to metoder at fordele brændslet og dermed emissionerne mellem el- og varmeproduktion på:

*Energiindholdsmetoden* skelner ikke mellem de to produkter (el og varme), men måler blot energiindholdet. Hvis der i samproduktion produceres 1 kWh el og 1 kWh varme, deles miljøpåvirkningerne ligeligt mellem el og varme, 50 procent til hver. Med denne model får el-siden hele fordelingen ved samproduktion af el og fjernvarme.

*Energikvalitetsmetoden* måler energikvaliteten i de to produkter (el & varme), og deler miljøpåvirkningerne således, at el-delen (højeste energikvalitet) får den største andel af miljøpåvirkningerne. Hvis der samproduceres 1 kWh el og 1 kWh varme, ser man på, hvor meget ekstra elproduktion man kunne have fået ud af den samme indfyrede energi, hvis man ikke havde skullet producere fjernvarme. Typisk vil man kunne få 0,15 kWh el mere ud for hver kWh varme. Når man med denne model skal dele miljøbelastningen mellem el og kraftvarme, får el-siden 87 procent af miljøpåvirkningerne, og varmesiden får 13 procent. Med denne model får varmen hele fordelingen ved samproduktion.

Alt i alt giver energikvalitetsmetoden højere el-emissioner end energiindholdsmetoden.

## Import / Eksport

En del af nettoelproduktionen udveksles med udlandet, sådan at der i nogle år er nettoeksport, i andre år nettoimport. Import - eksport kan variere henover døgnet, men for at forenkle beregningerne regner Energistyrelsen med nettoimport / eksport over et år.

Når der eksportkorrigeres, fratrækkes emissionerne ved denne eksportproduktion de samlede emissioner, fordi der ønskes en opgørelse af, hvad dansk forbrug leder til af emissioner. Energistyrelsen anser nettoeksport for at være produceret på de marginale værker, dvs. kulfyrede kondensværker.

Omvendt, hvis der skal korrigeres i et år med nettoimport, vil man regne med, hvordan strømmen er produceret i udlandet. Typisk vil der være tale om vandkraft.

## Virkningsgrader

Virkningsgrader opgøres efter flg. formler

$$\eta_{\text{samlet}} = \frac{Q_{\text{produktion}}}{Q_{\text{primær}}}$$

$$\eta_{\text{el}} = \frac{Q_{\text{el}}^{\text{produktion}}}{Q_{\text{primær}}}$$

$$\eta_{\text{varme}} = \frac{Q_{\text{varme}}^{\text{produktion}}}{Q_{\text{primær}}}$$

hvor det ses, at virkningsgraderne er uafhængige af brændselsfordelingen.

Den mængde primærenergi, der går til produktionen af 1 kWh<sub>M</sub> hos forbrugeren, beregnes efter flg. formel

$$\frac{Q_{\text{primær}}}{Q_{\text{forbrug}}} = \frac{1}{1 - l_d} \times \frac{Q_{\text{el}}^{\text{primær}}}{Q_{\text{el}}^{\text{produktion}}} \times 3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}_M} \right]$$

hvor  $l_d$  er distributionstabet i procent. Distributionstabet opgøres som distributionstab i forhold til den indenlandske forsyning. Begge begreber er fra Energi-statistikken. Dvs.:

$$l_d = \frac{Q_{\text{distributionstab}}}{Q_{\text{indenlandsk forsyning}}}$$

TEMA's emissionsfaktorer opgøres (principielt) for hver emissionstype,  $l$ , således:

$$E_l^E = \frac{\sum_k E_{\text{primær}}^{E,k,l} \times M_{\text{primær}}^k}{Q_{\text{endeligt forbrug}}^{\text{el}}} \left[ \frac{\text{g}}{\text{kWh}_M} \right]$$

hvor  $M_{\text{primær}}^k$  er brændselsforbruget på det  $k$ 'te kraftværk og  $E_{\text{primær}}^{E,k,l}$  er værk- og brændselspecifikke emissionsfaktorer.

Det er kun den del af brændselsforbruget, der tilskrives elproduktionen, som medregnes, hvilket som nævnt ovenfor er metodeafhængigt. Derudover er brændselsforbrug til eksport fratrukket.

### 13.2.3 Anvendt metode og emissionsfaktorer

#### Metode

TEMA2010 regner med gennemsnitsstrøm som default. Brugeren har dog mulighed for at vælge marginal elproduktion eller definere en helt tredje elproduktion.

Emissionsfaktorerne er beregnet på baggrund af Energistyrelsens Drivmiddelrapport.

#### Anvendte faktorer

Samlet set giver dette flg. el-emissionsfaktorer, som er anvendt i TEMA:

Tabel 13-2 Data for marginal og gennemsnitlig dansk elproduktion og anvendte el-emissionskoefficienter 2008.

Produktions-Metode	CO <sub>2</sub> (g)/kWh	CO <sub>2</sub> (mg)/kWh	CO <sub>2</sub> (mg)/kWh	CO <sub>2</sub> (mg)/kWh	CO <sub>2</sub> (mg)/kWh	CO <sub>2</sub> (mg)/kWh
Marginal	600	275	24	602	1220	23
Gennemsnit	547	372	33	192	427	31
Brugervalgt						

Kilde: Beregning foretaget af Energistyrelsen for COWI.

### **13.3 Litteratur**

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

Energistyrelsen (2007): Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren

## 14 Appendiks 1: Sammenvejning af miljøeffekter.

Det er valgt at lade emissioner fra elproduktion indgå i beregningerne på samme måde som emissioner fra de enkelte transportmidler. Dette er samme praksis, som der anvendes i MEET. Det rejser imidlertid to spørgsmål:

- Er der tale om de samme emissioner?
- Har emissioner fra transportmidler samme miljøeffekt som emissioner fra kraftværker?

Partiklerne i emissioner fra biler er meget små, primært mindre end  $PM_{2,5}$ . Partikelemissioner fra kraftværker måles traditionelt som støv, der medregner alle størrelser af partikler. Da de danske kraftværker i dag er forsynet med partikelfiltre og afsvovlningsanlæg, der sorterer de store partikler fra, vil hovedparten af partikelemissionerne fra elproduktion også være  $PM_{2,5}$ .

Det andet spørgsmål hænger sammen med, at emissionernes miljøeffekt afhænger af, hvor mange mennesker, der udsættes for emissionen. Man ved, at emissioner, der sker i byområder, har større miljøeffekt end emissioner, der sker uden på landet. Men det skyldes, at der er flere mennesker, der udsættes for emissionerne i byområder end uden for byområder. Derfor skelner TEMA også mellem emissioner i byområder og emissioner uden for byområder. Der foreligger ikke tal for, om de emissioner, der udsendes fra en kraftværksskorsten, er mere eller mindre skadelige end de tilsvarende emissioner, som udsendes fra et udstødningsrør på en bil.

Set i lyset af ovenstående og de usikkerheder, der ellers er ved opgørelse af miljøeffekter af emissioner, vurderes det ikke, at en opdeling af emissionerne - afhængigt af om de udsendes fra en skorsten på et kraftværk eller fra udstødningsrøret på en bil - vil øge informationsværdien af de resultater, der beregnes i TEMA.

## 14.1 Skadesvirkninger af emissioner

I det følgende gives en kort oversigt over de væsentligste skadevirkninger fra transportsektorens emissioner.

Emission-skade	Partikler (PM <sub>10</sub> )	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	HC	CO	HC CO <sub>2</sub>	Carcinogener <sup>a)</sup>
Dødelighed	+		(+)	+			(+)
Sygelighed	+	+	(+)	+	(+)		
Landbrug		(+)		(+)			
Skovdød		+	+				
Bygnings skader	+	+	+				
Klima-effekt						+	

+ : Væsentlig effekt      (+): Mindre væsentlig effekt

a) Kræftfremkaldende stoffer, specielt: Benzen (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), 1,3 Butadiene, PAH (på dieselpartikler), formaldehyd, ethen og ethylenoxid.

Kilde: Værdisætning af trafikens eksterne omkostninger - Luftforurening. Udkast COWI for Trafikministeriet, februar 1999.

### Partikler

En af de væsentligste skadeseffekter af partikelemissioner er øget dødelighed bl.a. som følge af blodpropper.

Ved opgørelse af partikelemissioner medtages traditionelt den samlede masse af partikler uanset størrelsen. I relation til helbredsskader er det de inhalérbare partikler, PM<sub>10</sub>, med en diameter på under 10 µm, der er relevante, og opmærksomheden retter sig i stigende grad mod de mindre partikler, PM<sub>2,5</sub>, og de endnu mindre ultrafne partikler, PM<sub>0,1</sub>.

### NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub> er en samlebetegnelse for NO og NO<sub>2</sub>. Hovedparten af trafikens NO<sub>x</sub>-emissioner finder sted som NO, der ikke giver anledning til sundhedsmæssige effekter. I atmosfæren omdannes NO dog hurtigt til det mere sundhedsskadelige NO<sub>2</sub> ved reaktion med O<sub>3</sub> og frie radikaler.

NO bidrager via sur deposition til skader på skov samt korrosion af bygninger og materialer. Endvidere indgår NO<sub>x</sub> sammen med HC i de kemiske reaktioner i atmosfæren, som fører til dannelse af jordnær ozon (O<sub>3</sub>), der bl.a. påvirker landbrugsudbytte og giver sundhedsskader.

**SO<sub>2</sub>**

Emissionerne af svovldioxid (SO<sub>2</sub>) giver anledning til skader ad to veje. For det første direkte, idet SO<sub>2</sub> bidrager til skader på skov og korrosion af bygninger og materialer.

For det andet sker der i atmosfæren en omdannelse af SO<sub>2</sub> til sulfater (SO<sub>4</sub>) på dråbeform, aerosoler, med meget lille diameter (< 1 µm). Disse aerosoler giver ved indånding anledning til samme skadesvirkninger som partiklerne, idet de deponeres i de yderste lungeforgreninger. Nyeste forskning tyder på, at aerosolerne på grund af syreindholdet kan have endnu højere skadelighed end det primære partikeludslip.

**HC**

HC dækker over en lang række stoffer. VOC er den bredeste betegnelse. Den dækker alle reaktive organiske stoffer herunder HC, som principielt kun omfatter stoffer sammensat af kul og brint, dvs. med den kemiske formel C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>. I samlede emissionsmålinger fra trafikken ignoreres skelnen mellem VOC og HC som regel, idet de kvantitative forskelle er små sammenlignet med måleusikkerheden. I praksis er emissionskrav og -målinger opstillet som HC-værdier.

Der er stor forskel på skadeligheden af de forskellige stoffer, og nogle af de alvorlige, kræftfremkaldende stoffer udgør kun små andele af emissionerne.

Methan (CH<sub>4</sub>), der er den simpleste kulbrinte, er ikke særlig reaktiv. Derfor opgør man også emissionerne uden methan under betegnelsen NMVOC eller NMHC<sup>23</sup>. Den væsentligste skadelige effekt af CH<sub>4</sub> er som klimagas, hvor den normalt opgøres til 21 CO<sub>2</sub>-ækvivalenter.

Ud over at bidrage til dannelsen af O<sub>3</sub> giver emissionen af de øvrige kulbrinter, der har fællesbetegnelsen NMVOC, også anledning til direkte skadeseffekter. Den væsentligste skadeseffekt har carcinogenerne, som kun forekommer i ganske små mængder, men som har betydning på grund af skadernes alvorlighed.

**CO**

Hovedparten af CO-indholdet i luften stammer fra trafikken, specielt benzindrevne køretøjer. CO vil efterhånden omdannes til CO<sub>2</sub> i atmosfæren, og bidrager således indirekte til klimaeffekten.

De helbredsskadelige effekter opstår ved, at CO bindes til blodets hæmoglobin og forhindrer iltoptagelsen. Det vurderes ikke sandsynligt, at de CO-koncentrationer, der forekommer i gademiljøet i Danmark, giver anledning til helbredsmæssige effekter.

**CO<sub>2</sub>**

CO<sub>2</sub>-udslippene fra forbrænding af fossile energikilder er den væsentligste bidragsyder til den menneskeskabte klimaeffekt. Da klimaeffekten skyldes en global stigning af CO<sub>2</sub>-koncentrationen i atmosfæren på langt sigt, er det uden

---

<sup>23</sup> NMVOC = Non Methane Volatile Organic Compounds. NMHC = Non-Methane Hydro-Carbons

betydning, hvor emissionen finder sted. Atmosfærens CO<sub>2</sub>-indhold har også direkte indflydelse på planternes vækst, men effekten er ubetydelig i forhold til de klimaændringer, som menneskeskabte CO<sub>2</sub>-bidrag giver anledning til.

CO<sub>2</sub> er kun én af flere drivhusgasser, men med de energikilder, der anvendes i disse år, er det langt den vigtigste. En opgørelse fra DMU viser, at CO<sub>2</sub> udgør fra 96 - 99 procent af CO<sub>2</sub> ækvivalenterne på de mest almindelige transportformer.

Transportmidler	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	N <sub>2</sub> O (%)
Personbiler	0,2	99,0	0,9
Varebiler	0,1	99,1	0,8
Lastbiler	0,2	98,5	1,3
Busser	0,2	98,6	1,2
Knallerter	3,7	95,7	0,5
Motorcykler	3,6	95,8	0,6
I alt	0,2	98,9	0,9