

Trafikministeriet

TEMA2000

- Et værktøj til at beregne transporters
energiforbrug og emissioner i Danmark

Teknisk rapport

Maj 2000

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
2	Opbygning af modellen	3
2.1	Generelt	3
2.2	Tur-begrebet	5
2.3	Brændstoffer	7
3	Personbiler	9
3.1	Oversigt	9
3.2	Analyse	17
3.3	Beregningsgang for energiforbrug og emissioner	32
3.4	Litteratur	34
4	Busser	35
4.1	Oversigt og brugervariable	35
4.2	Analyse	39
4.3	Beregningsgang	47
4.4	Litteratur	48
5	Persontog	49
5.1	Oversigt og brugervariable	49
5.2	Analyse	52
5.3	Beregningsgang	57
5.4	Litteratur	58
6	Færger til passagertransport	59
6.1	Oversigt og brugervariable	59
6.2	Analyse	63
6.3	Beregningsformler	67
6.4	Litteratur	68

7	Fly	69
7.1	Oversigt og brugervariable	69
7.2	Analyse	72
7.3	Metodebeskrivelse	77
7.4	Beregningsformler	80
8	Varebiler	81
8.1	Oversigt og brugervariable	81
8.2	Analyse	85
8.3	Beregningsgang	91
8.4	Litteratur	93
9	Lastbiler	95
9.1	Oversigt og brugervariable	95
9.2	Analyse	96
9.3	Beregningsgang	101
9.4	Litteratur	101
10	Godstog	103
10.1	Oversigt og brugerparametre	103
10.2	Analyse	105
10.3	Beregningsgang	113
10.4	Litteratur	117
11	Færger til godstransport	119
11.1	Oversigt og brugervariable	119
11.2	Analyse	120
11.3	Litteratur	121
12	Fragtskibe	123
12.1	Introduktion	123
12.2	Brugervariable	124
12.3	Analyse	125
12.4	Beregningsformler	127
12.5	Litteratur	127
13	Øvrige data	129
13.1	Rejsehastigheder, vejafstande og byzoner	129
13.2	Emissioner fra elproduktion	133

Bilagsfortegnelse

Appendiks 1: Appendiks til søtransport

Appendiks 2: Sammenvejning af miljøeffekter

Variabel konvention

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

Variabel	Forklaring	Enhed
E	Samlet 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. kapacitetskm	[g/plkm]
e^G	Emission pr. tonkm	[g/tonkm]
e	Emission pr. km	[g/km]
Q	Samlet energiforbrug	[MJ] / [kWh] ¹
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]
M	Vægt	[ton]
C	Personbilækvivalent	[]
B	Belægningsprocent	[%]
K^P	Kapacitet i transportmidlet	[antal sæder el. bilpladser]
K^G	Transportmidlets lastevne	[ton]
H	Kørehastighed (i øjeblikket)	[km/h]
V	Rejsehastighed (i gennemsnit)	[km/h]
T	Udetemperatur	[°C]
S	Slitage	[km]

¹ MJ anvendes som enhed for primærenergi. kWh anvendes som enhed for strømforbrug.

<i>D</i>	Distance	[km]
<i>F</i>	Emissionskorrektionsfaktor	[]
<i>G</i>	By, land eller motorvejsandel	[%]

Index som fodtegn	Forklaring	Værdier
<i>l</i>	Luftforurening (Emissionstype)	CO ₂ , CO, HC, NO _x , SO ₂ , Partikler
<i>i</i>	Fra lokalitet	Byer, havne, stationer, luft-havne
<i>j</i>	Til lokalitet	Byer, havne, stationer, luft-havne
<i>t</i>	Transportmiddeltype	EURO type, produktlitra, mm.
<i>g</i>	Geografi / vejtype	Land, by motorvej, øvrige veje
<i>s</i>	Segment eller strækning	1..42 el. strækningsnavn

1 Indledning

Formålet med denne rapport er at dokumentere de data og emissionsberegninger, der ligger til grund for PC-modellen TEMA2000 (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 TEMA2000 brugeren mulighed for 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 faktorer 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. Sammenligninger med andre undersøgelser og tidligere versioner er beskrevet i rapporten: "TEMA2000 - Sammenligning med tidligere version og andre opgørelser".

Projektet omfatter en videreudvikling og opdatering af den tidligere version af TEMA2. Projektet er udført af COWI for Trafikministeriet, og arbejdet blev igangsat i september 1998.

I forbindelse med opdateringen af TEMA-modellen har der været nedsat en følgegruppe med følgende medlemmer:

Per Antvorskov, FDM
Jesper Arkild, Banestyrelsen
Bo Ekman, Vejdirektoratet
Ken Friis Hansen, Teknologisk Institut
Ove Holm, Dansk Transport og Logistik
Erik Iversen, Miljøstyrelsen
Niels A. Kilde, Forskningscenter Risø
Hans Otto Kristensen, Danmarks Rederiforening
Henrik Larsen, HT
Nic Michelsen, Statens Luftfartsvæsen
Rikke Næraa, DSB
Leif Hald Pedersen, Færdselsstyrelsen
Spencer Sorenson, Danmarks Tekniske Universitet
Morten Winther, Danmarks Miljøundersøgelser

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.

Transporter foregår typisk fra dør til dør og sammensættes ofte af forskellige transportmidler til en kæde. F.eks. køres i taxi eller tog til lufthavnen, fly fra lufthavnen til en 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

- CO₂
- CO
- NO_x
- HC
- SO₂
- Partikler

HC er en samle betegnelse der dækker over en lang række stoffer. Partikler fra forbrændingsmotorer er små, hovedparten har en diameter på under 10 µm (PM₁₀). Partikelemissioner fra elproduktion (støv) måles ikke på samme måde som partikelemissioner fra forbrændingsmotorer. Da kraftværkernes partikelfiltre og afsvovlingsanlæg filtrerer de større partikler fra, er hovedparten af partikelemissionerne fra elproduktion dog også PM₁₀. Se i øvrigt oversigt over miljøeffekter af de enkelte komponenter i Appendix 2.

Resultaterne (energiforbrug og emissioner) opgøres for de vedrørte personer (tons gods), både samlet og per km. Derudover kan resultaterne opgøres pr. transportmiddel, pr. transportmiddelkilometer og pr. personkilometer, og præsenteres i tabelform samt ved grafiske illustrationer. Endelig er der mulighed for at eksportere resultaterne til andre applikationer, således at resultaterne kan bearbejdes videre efter brugerens ønsker.

Der er generelt stor usikkerhed på 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. 4, hvilket gør, at TEMA er blevet en selvstændig applikation.

For en given tur kan brugeren enten specificere hvor turen starter og ender eller selv specificere afstanden. TEMA har indlagt information om afstande mellem udvalgte destinationer i Danmark. Således kan brugeren vælge mellem 666 destinationer, som der kan transporteres til og fra. Disse destinationer udgør byer med flere end 1000 indbyggere, DSB's stationer på hoved-, regional- og lokalbaner, S-togs nettet, 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.

Derudover 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 default opsætninger af transportmidlerne, f.eks. køremønster, slitage og brændstof, samt ændre på de default belægningsgrader, som modellen foreslår.

I nedenstående tabel vises hvilke transportformer, der er medtaget i modellen.

Tabel 2.1 Transportformer og transportmiddeltyper

Persontransport	Godstransport
<p>Personbil</p> <ul style="list-style-type: none"> • Benzin • Diesel • El <p>Bus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bybus • Regionalbus • Fjernbus <p>Persontog</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regionaltog • IC-tog • Lyntog • S-tog <p>Færge</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hurtigfærge • Konv. færge • Mindre færge <p>Fly</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jet • Turboprop 	<p>Varebil < 3,5t</p> <ul style="list-style-type: none"> • Benzin • Diesel <p>Lastbil</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solo • m. anhænger <p>Godstog</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diesel • El <p>Færge</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konventionel færge • Ro-Ro lastskib • Mindre færge <p>Fragtskib</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bulk carrier (massegodsskib) • Containerskib

2.2 Tur-begrebet

2.2.1 Belægning

De foruddefinerede belægningsgrader er udtryk for gennemsnitlige værdier, og det er ikke umiddelbart nødvendigt at ændre disse, med mindre brugeren har et ønske om at regne på en tur, der ikke er gennemsnitlig. En ikke-gennemsnitlig tur kunne f.eks. være en tur i myldretiden. Denne beregning ville så kræve kendskab til belægningsgrader i myldretiden fra andre kilder. Belægningsgraderne for busser kan godt sættes til mere end 100 % for at afspejle fuld udnyttelse af både siddepladser og ståpladser fx i myldretiden.

Den grundlæggende enhed i TEMA er en transport af et antal personer eller en mængde gods fra A til B med et af brugeren specificeret transportmiddel – dette kaldes en "Tur". TEMA's beregning af energiforbrug og emissioner vedrører som udgangspunkt de personer eller den mængde gods, der specificeres af brugeren til at blive transporteret med det pågældende transportmiddel, men det er

også muligt at beregne emissioner og energiforbrug for det enkelte transportmiddel og per person- og tonkm.

Det væsentlige er, at brugeren skelner mellem hvor mange personer (tons gods) turen vedrører og hvor stor belægning, der er på transportmidlet. Disse to tal er i princippet uafhængige og ikke nødvendigvis ens. Det antal personer (eller den mængde gods) som transporteres med det enkelte transportmiddel, kaldes belægning, men ofte udgør de personer (eller tons gods) der ønskes transporteres kun en del af transportmidlets belægning.

For at illustrere TEMA's principper for hvor stor en andel af et transportmiddels emissioner, der tillægges den konkrete tur, er der nedenfor givet to eksempler, et for persontransport og et for godstransport.

Eksempel 1: Tur med bus der har sæder til 40 personer og med en belægningsgrad på 50%, dvs. der er en belægning på 20 personer med bussen. Hvis det angives, at turen vedrører 4 personer (fx 4 personer der rejser sammen), betyder det, at turen tillægges $4/20$ (= 20%) af bussens samlede emissioner. Hvis det angives, at turen vedrører 20 personer betyder det, at turen tillægges $(20/20=100\%)$ af bussens samlede emissioner.

Hvis antallet af personer på turen er større end belægningen, svarer det til, at der sendes flere busser (ikke nødvendigvis et heltal) af sted. Brugeren skal således være opmærksom på, at hvis der ønskes regnet på en konkret tur med f.eks. 30 personer i en bus, hvor det transporterede antal personer afspejles i belægningen, så skal bussens belægning ændres fra den typiske værdi, som TEMA giver automatisk, til den konkrete værdi, der ønsket regnet på. Ellers vil TEMA regne som om der sendes flere busser af sted.

Eksempel 2: TEMA benytter samme princip for godstransporter, hvor 'Brugerlast' svarer til 'Antal personer'. Dvs. at emissionerne for en tur med f.eks. en lastbil med 5 tons brugerlast og 10 tons belægning kun udgør $5/10=50\%$, dvs. halvdelen, af lastbilens samlede emissioner. Hvis brugerlasten er større end belægningen svarer det til, at der sendes flere lastbiler af sted.

Det således vigtigt for brugeren at vide:

- at TEMA tager udgangspunkt i en *tur* dvs. en transport fra A til B med et givent antal personer eller en given mængde gods, og ikke nødvendigvis i transportmidlets samlede emissioner.
- at jo flere personer / mere brugerlast der er på en tur, desto større en andel af transportmidlernes samlede emissioner tillægges turen.
- at jo større belægning der er på transportmidlerne, desto mindre en andel af transportmidlernes samlede emissioner tillægges transporten. Bemærk dog, at for nogle transportmidler giver øget belægning øget energiforbrug pga. af ekstra vægt.

Derudover vil det være en fordel at have adgang til information fra www.rejseplanen.dk hvor forslag til sammensætning af rejser i Danmark med kollektive transportmidler kan fås. Rejseplanen giver dog ikke tekniske oplysninger om transportmidlerne (EURO norm, dieseltyp, mv.) og heller ikke om belægningsgrader. TEMA giver i de fleste tilfælde de typiske værdier, men derudover har f.eks. HT's og DSB's grønne regnskaber en del oplysninger, som kan hjælpe brugeren med yderligere oplysninger om kollektive transportmidler.

2.2.2 Godsvægt

I TEMA regnes med nettovægt af godset, dvs. at godsvægt er excl. vægt af evt. lastbærer. En lastbærer er en enhed som i væsentlig grad bidrager til vægten af det transporterede gods. Det kan være en container, en løstrailer mm, men ikke paller, papkasser og andet letvægtsbeskyttelse, som vil benyttes uanset valg af transportmiddel.

Vægten af lastbæreren har betydning, hvis der skal sammenlignes på tværs af transportmidler. Det er nødvendigt at opgørelsesmetoderne for de transportmidler, der skal sammenlignes, er ens. F.eks. hvis der skal vælges mellem at sende gods med typiske container transportmidler, det kunne være et container-skib og sende gods med lastbiler uden container. Containeren er nødvendig på skibet, for at beskytte godset, men udgør ikke den egentlige last, som er indholdet af containeren. Containeren bidrager blot til turens samlede emissioner. Lastbilen udgør lastbæreren selv, og emissionerne for denne vægt er selvfølgelig med i lastbilens emissioner. Opgørelsesmetoderne bliver derfor ens, hvis der regnes med nettolast, her forstået som indholdet af containerne.

Når der i TEMA beregnes emissioner pr. ton eller pr. tonkm, er det pr. netto-ton(km), mens transportmidlernes samlede emissioner naturligvis beregnes på baggrund af den samlede transporterede vægt incl. lastbærer, evt. opgivet af brugeren.

2.3 Brændstoffer

De mest almindelige brændstoffer i transportsektoren er benzin og diesel.

Følgende brændstoffer anvendes i TEMA:

- Benzin
- Diesel
- Fuel olie
- LPG (Liquid Petroleum Gas)
- CNG (Compressed Natural Gas)

I Danmark er benzin det mest anvendte brændstof til personbiler. Benzin fremstilles hovedsagelig på to raffinaderier i Danmark. Svovlindholdet i benzin fra de to raffinaderier varierer fra næsten ingenting til 100 ppm. På den baggrund er

det valgt at sætte svovlindholdet i benzin til 50 ppm. hvilket er det samme som i lavsvovl diesel.

Det mest almindelige brændstof til busser, dieseltog, varebiler og lastbiler er diesel. Der findes flere typer diesel. Til vejtransport og tog anvendes stort set udelukkende lavsvovl diesel i dag.

Tabel 2.2 Dieseltyper

Dieseltipe	Markedsført	Svovl-indhold
Almindelig diesel		0,20%
Let diesel	1993	0,05%
Ultralet diesel	1993	0,05%
Lavsvovl diesel	1999	0,005%

Kilde: Miljøstyrelsen.

De mindre færger anvender i stor udstrækning lavsvovl diesel, mens de større færger anvender diesel med større indhold af svovl. DSB er pr. 1.1.2000 gået over til at bruge lavsvovl diesel til togene.

Fuelolie er tungere olie end diesel og anvendes primært til fragtskibe. Fuelolie har et højere svovlindhold end diesel. Svovlindholdet i fuelolie kan være op til 3-4%.

LPG og CNG anvendes primært til gasbusser. LPG (flaskegas) er et restprodukt fra raffinering af råolie. Lagring af LPG sker ved opbevaring i lavtryk beholdere (ca. 5 bar).

CNG er komprimeret naturgas. CNG opbevares ved højt tryk (200 - 250 bar).

Ud over de nævnte brændstoffer er der også de brændstoffer der anvendes til elproduktion, når det drejer sig om elbiler og eltog. (se særskilt afsnit om elproduktion i kapitlet om øvrige data).

Emissioner og energiforbrug i forbindelse med udvinding og transport af brændstoffer er ikke medregnet. For diesel og benzin regnes energiforbruget fra brændstoffet fyldes på tanken. For el-produktion regnes energiforbrug og emissioner fra det punkt hvor kul eller olie er klar til at fyre ind i kraftværket, her regnes ledningstabet således med som energiforbrug hos de eldrevne transportmidler.

3 Personbiler

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 rejsens køremønster, hvis sammenhæng med den gennemsnitlige rejsehastighed er undersøgt i et tidligere projekt (4). Endvidere er følgende determinerende faktorer inddraget i modellen:

- Bilmodel (herunder godkendelsesnorm og motorstørrelse);
- Kørselsfordeling på by, landevej og motorvej;
- Den gennemsnitlige rejsehastighed inden for hver af disse kategorier;
- Motorslitage;
- 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

TEMA2000 beregner energiforbrug og emissioner for personbiler mellem 666 destinationer i Danmark. Hvis der vælges udgangspunkt (fra) og destination (til) beregner programmet selv afstanden og kørselsfordeling på by, land og motorvej. Derudover kan brugeren selv specificere afstande, fordeling på forskellige vejtyper og rejsehastigheder.

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:

- Biltype
- Afstand (udgangspunkt og destination)
- Belægning
- Rejsehastighed
- Koldstart
- Udetemperatur
- Slitage
- Brændstoftype

Personbilerne i Danmark (og EU) skal overholde nærmere fastsatte emissionsgrænser (norm), 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 der fastsat på europæisk plan og er løbende blevet skærpet, hvilket bevirker, at nyere biler generelt har lavere emissionsfaktorer end ældre biler.

Normerne 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 (ialt 11,00 km med gennemsnitligt 33,6 km/t).

Til sammenligning kan nævnes, at man i USA anvender andre testcykler:

FTP : *Federal Test Procedure* er simuleret bykørsel, der anvendes til godkendelse i USA. Strækningen er 11,9 km lang, gennemsnitshastigheden er 31,4 km/t. Proceduren består af 3 faser, kaldet henholdsvis *cold transient*, *stable* og *hot transient*. Cold og hot transient er identiske med hensyn til køremønstre, men starter med henholdsvis kold eller varm motor.

HWFET: HighWay Fuel Efficiency Test er en amerikansk testcyklus til højere hastigheder (gennemsnit = 77,5 km/t) på 16,5 km.

Før EURO I anvendtes UDC, som repræsenterede køremønstret i bytrafik. For EURO I og -II indgår også EUDC (*Extra Urban Driving Cycle*), der har højere gennemsnitshastighed og repræsenterer kørsel på landevej og motorvej.

Ved EURO I og EURO II anvendes UDC+EUDC. Opsamling af de forurenende stoffer starter dog først efter en stabiliseringsperiode på 40 sekunder. I forbindelse med indførelsen af EURO III justeres testcyklussen, således at opsamlingen starter umiddelbart efter start af motor, d.v.s. at man fjerner den førnævnte stabiliseringsperiode på 40 sekunder.

De følgende tabeller viser de fastsatte normer for benzin- og dieslbilens emissioner.

Tabel 3.1 Typegodkendelsesnormer for benzinbilens emissioner

Benzin	I kraft	CO	HC	NO _x
Pre-EURO ¹⁾	1.10.86	15-27 ⁴⁾	4,6-6,8 ⁴⁾	
EURO I	1.10.90 ³⁾	2,7	0,97	
EURO II	1.01.97	2,2	0,5	
(korrigeret) ²⁾		(2,7)	(0,34)	(0,25)
EURO III	1.01.01	2,3	0,20	0,15
EURO IV	1.01.06	1	0,1	0,08

Tabel 3.2 Typegodkendelsesnormer for dieslbilens emissioner

Diesel	I kraft	CO	HC	NO _x	Partikler
Pre EURO	1.10.86	15-27	4,6-6,8		-
EURO-I	1.10.90 ³⁾	2,7	0,97		0,14
EURO-II	1.01.97	1	0,7		0,08
EURO-III	1.01.01	0,64	0,56	(0,50) ⁵⁾	0,05
EURO-VI	1.01.06	0,5	0,3	(0,25) ⁵⁾	0,025

1) R15-04, før da R15-03 fra 1.10.84.

2) Omregnet til den testcyklus, der anvendes for EURO-III og -IV.

3) EURO-I trådte først i kraft i EU fra 1.1.93, men i Danmark indførtes krav (A-12), der i store træk svarer hertil allerede fra 1990.

4) Afhængigt af vægtklassen.

5) For NO_x alene.

Kilde: EU-direktiver, Miljøstyrelsen og Trafikredegørelse 1997.

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

Brugeren kan vælge mellem følgende benzin- og diesbiltyper med en underopdeling på motorstørrelse.

Tabel 3.3 Typegodkendelsesnormer for benzin- og dieslbilers emissioner

Benzin	Diesel	Markedsført fra
pre-EURO (u. kat.)	pre-EURO	1.10.86
EURO I	EURO I	1.10.90
EURO II	EURO II	1.01.97
EURO III	EURO III	1.01.01
EURO IV	EURO IV	1.01.06

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

Derudover kan der vælges to elbiler:

- Mindre elbil (f.eks. Citroen Saxo)
- Større elbil (f.eks. Citroen Berlingo)

For benzinbiler er der, udover godkendelsesnorm, mulighed for at vælge mellem tre motorstørrelser:

- < 1,4l
- 1,4l - 2l
- > 2l

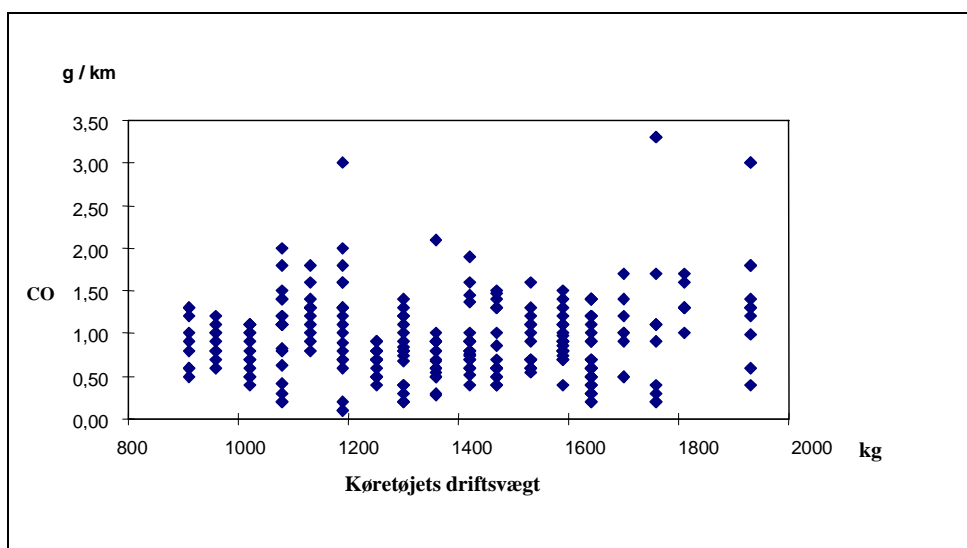
For dieslbiler er der, udover godkendelsesnorm, mulighed for at vælge mellem to motorstørrelser, henholdsvis under og over 2 liter.

For benzinbiler med katalysator påvirker valg af motorstørrelse alene energiforbruget (og dermed også CO₂ SO₂), mens de øvrige emissioner er ens, uafhængig af motorstørrelsen.

Lovkravene vedrørende begrænsning af emissionerne gør, at forskellene mellem biler med forskellig motorstørrelse 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 under samme norm, må fabrikkerne bekoste mere effektivt emissionsbegrænsende udstyr på de større 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. km afbildet som funktion af køretøjs vægten i nedenstående figur, der er baseret på FTP-hot-tallene (FTP er beskrevet på side 13) for katalysatorbilerne fra den svenske database.

Figur 3.1 Sammenhæng mellem CO-emissionfaktor 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, så 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_x 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.

Afstand

Afstanden kan specificeres direkte eller ved at angive hvor man ønsker at komme fra og til. Hvis man specificerer udgangspunkt og destination beregner TEMA selv afstanden mellem de to lokaliteter. Det sker på baggrund af en tabel over vejafstande mellem de 666 lokaliteter, det er valgt at tage med i TEMA. For en nærmere beskrivelse af vejafstande se særskilt kapitel.

Køremønstre

Afstanden er opdelt på vejtyperne;

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

Til hver vejtype hører et køremønster repræsenteret ved en gennemsnitlig rejsehastighed. Som default, dvs. det standardvalg som ligger i modellen, er den gennemsnitlige hastighed for de tre vejtyper sat til:

Tabel 3.4 Default rejsehastigheder for personbiler

	Benzin- og dieselbil		Elbil	
	By	Land	By	Land
Motorvej	110	110	30	80
Øvrige veje	30	70	30	80

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

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

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 udenfor "By".

Belægning

En af brugeren valgt passagerbelægning har ikke indflydelse på den enkelte bils emissioner og energiforbrug, dvs. det er antaget at en bil har samme energiforbrug uanset om der er en eller to 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 per personkm i forhold til en bil med en passager. Default belægningen er sat til 1,5 passager.

Koldstart

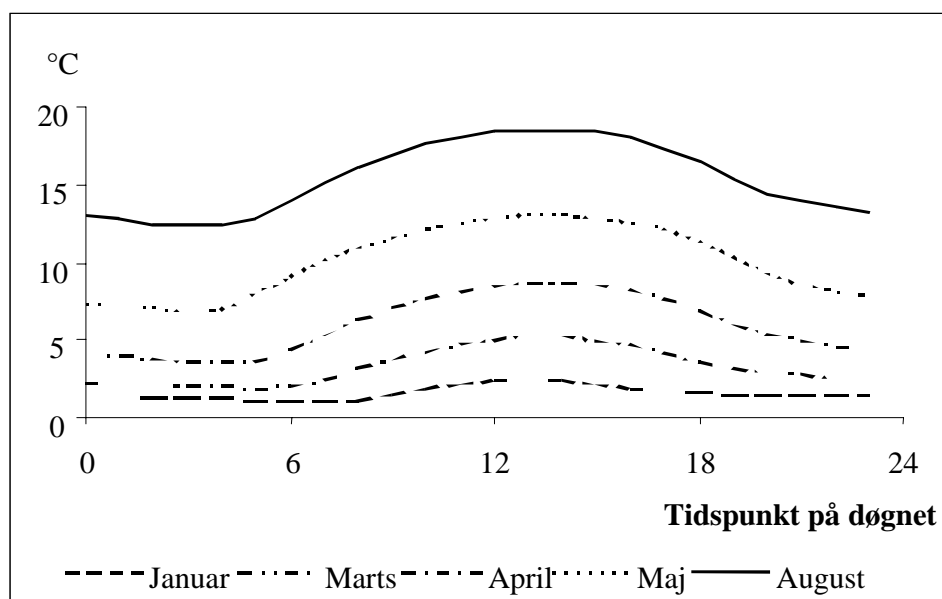
Som default tillægges hver tur en koldstart. Brugeren kan selv ændre dette, f.eks. i situationer, hvor der foretages flere ture med korte mellemrum, og hvor bilens motor derfor ikke når at blive kold inden næste start.

Temperatur

Udetemperaturen har betydning for hvor stor effekt koldstarten har. Derimod indgår temperaturen ikke i beregningen af emissionerne fra varm motor.

Udetemperaturen varierer over døgnet, hvor der især er kraftige udsving om sommeren.

Figur 3.2 Temperaturvariation over døgnet



Den relevante temperatur er temperaturen på de tidspunkter, hvor den meste transport finder sted. Det sker fra 7 til 9 om morgenen og fra 16 - 18 om eftermiddagen. I perioden fra 7 til 9 om morgenen ligger udetemperaturen ret tæt på den gennemsnitlige døgntemperatur. I perioden fra 16 - 18 om eftermiddagen ligger udetemperaturen 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 defaulttemperatur. Brugeren kan ændre dette tal efter behov, hvis det ønskes at regne på en konkret situation.

Slitage

Effekten af slitage skyldes en forringet effekt af katalysator og/eller den automatiske regulering i takt med at bilen ældes (kilometerstand). TEMA2000 beregner en default slitage der svarer til den forventede kilometerstand for de forskellige normer per 1/1-2000. Personbilers årskørsel, som er beregnet på baggrund af opgørelser af årskørsel fra Danmarks Statistik (Statistiske Efterretninger 1998:47), er gengivet i følgende tabel.

Tabel 3.5 Personbilers årskørsel efter bilens alder

Bilens alder	Km per år	Km stand
0-1 år	28,398	14,199
1 - 2 år	27,444	41,643
2 - 3 år	25,723	67,366
3 - 4 år	25,290	92,656
4 - 5 år	22,622	115,278
5 - 6 år	22,109	137,387
6 - 7 år	21,594	158,981
7 - 8 år	19,856	178,837
8 - 9 år	19,087	197,924
9 - 10 år	18,400	216,324

Kilometerstanden for biler der er mellem 0 og 1 år gamle beregnes til halvdelen af årskørslen. Det skyldes, at gennemsnitsalderen for 0 til 1 årige biler antages at være $\frac{1}{2}$ år.

Der er opstillet en simpel skrotnings model til beregning af antallet af biler efter alder. De grundlæggende forudsætninger bag modellen er et konstant antal nyregistreringer på 150.630 biler per år samt følgende skrotrater.

Tabel 3.6 Anvendte skrotrater

Bilens alder	Andel af biler der skrottes
0-7 år	0.30%
7-8 år	1,5%
8-9 år	5%
9-10 år	10%
10-11 år	15%
11-12 år	20%
12-13 år	25%
13-14 år	30%
over 14 år	40%

Skrotningsraterne er beregnet således, at personbilparkens størrelse på langt sigt er uændret på 1.819.068 biler.

På baggrund af denne model og årskørslen fordelt på aldersgrupper (vist i Tabel 3.5) er der beregnet følgende forventede kilometerstand.

Tabel 3.7 Forventet kilometerstand fordelt på godkendelsesnorm

Norm	Årstal						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
EURO IV			14,199	27,900	41,016	53,868	66,076
EURO III			79,143	103,084	125,992	147,447	167,733
EURO II	41,016	53,868	79,143	103,084	125,992	147,447	167,733
EURO I	138,268	158,336	177,026	194,306	210,206	225,329	239,603
PreEURO	277,846	286,432	295,693	305,564	316,629	329,104	341,405

Note: Tallene gælder primo året. Dvs. kolonnen "2000" angiver den forventede kilometerstand per 1/1 2000.

Diesel type

Endvidere kan brugeren specificere hvilken type diesel der anvendes. (se evt. afsnit 2.3)

Default i TEMA er sat til "lavsvovl" diesel, som indførtes per 1.7.99, men da der stadig er både let og ultralet diesel på markedet er der også mulighed for at vælge disse to typer.

3.2 Analyse

I TEMA2000 er det lagt til grund, at der skal grupperes efter godkendelsesnormer. Den tidligere version af TEMA byggede på konkrete biler. Hvis der skulle bygges videre på den tidligere version, ville der være behov for en reestimation af emissionsfunktionerne med et mere bredt udsnit af bilerne grupperet efter godkendelsesnormer. Da der ikke umiddelbart er tilgængelige data for sådanne estimationer, er det i stedet valgt at basere den nye version af TEMA på eksisterende emissionsberegningsmodeller.

To kilder har været overvejet:

- MEET²
- Handbuch³ (den tyske håndbog)

MEET (Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport) er et forskningsprojekt under EU's 4. rammeprogram. Projektet blev igangsat 1. april 1996 og er afsluttet i efteråret 1999.

Hovedformålet med MEET har været at udvikle modeller til beregning af luftforurening fra transportaktiviteter. Resultatet fra MEET er en række modeller (formler), der beskriver emissioner fra køretøjer under forskellige forhold. Resultaterne fra MEET vil blive anvendt ved den planlagte opdatering af Copert II.

² Kilde: Hickman A. J. (ed): Emission Calculation Methodology. Final report from the MEET project, Transport Research Laboratory, march 1999.

³ Kilde: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (1995): Luftschadstoff Emissionen des Strassenverkehrs, 1950 - 2010,

"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. Målingerne til den tyske undersøgelse fandt sted i perioden 1990 - 1994. Senere er der foretaget yderligere målinger.

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 tyske håndbog foreligger i tre versioner:

- Version 1.1 fra 1995 (oprindelig version dækkende Tyskland og Schweiz)
- Version 1.1a fra 1997 (revideret version, Østrig)
- Version 1.2 fra 1999 (revideret version dækkende Tyskland og Schweiz)

Version 1.1 og 1.1a dækker godkendelsesnormer til og med EURO III. I version 1.1a er der rettet fejl og ændret på reduktionerne fra EURO I til EURO II og EURO III.

I version 1.2 er der foretaget yderligere målinger og disse målinger er inkluderet i databasens emissionsdata. Derudover indeholder version 1.2 EURO IV godkendelsesnormen.

Analyserne i forbindelse med TEMA2000 tyder på at datagrundlaget i MEET ikke er udnyttet i tilstrækkelig grad til at den er i stand til at give en tilfredsstillende beskrivelse af emissionerne. Derfor er det valgt at basere estimationen af emissionsfunktionerne på den tyske Handbuch (version 1.1a).

I version 1.2 af den tyske håndbog forekommer der en stærk diskontinuitet i emissionsdata omkring 80 km/t. F.eks. er der ved 78 km/t en CO₂ emission på ca. 170 g/km, mens emissionen for samme godkendelsesnorm er ca. 100 g/km ved 80 km/t (mellemstor EURO I benzinbil).

Der findes ikke en lignende diskontinuitet i version 1.1a. Her ligger CO₂ emissionen for samme godkendelsesnorm på 155 g/km.

Det er valgt at anvende version 1.1a som grunddata til estimationen af emissionsfunktionerne TEMA2000. Dog anvendes reduktionsfaktorerne til de fremtidige godkendelsesnormer fra version 1.2., ligesom der også anvendes version 1.2 ved beregning af fordampningstab. De to sidstnævnte berøres ikke af køremønstret.

Beregningerne for EURO I biler og biler uden katalysatorer er baseret på faktiske emissionsmålinger. Emissioner fra EURO II - IV biler er baseret på skøn over reduktion fra EURO I norm til den relevante godkendelsesnorm.

Emissionsberegningerne deles op i:

- varme emissioner
- koldstarttillæg
- Fordampningstab

3.2.1 Varme emissioner

De varme emissionsfaktorer beregnes som:

$$e = e(V) * S(D) * F(\text{Dieseltype})$$

hvor e er den samlede emissionsfaktor per km,

$e(V)$ er emissionsfaktoren beregnet ud fra rejsehastigheden,

$S(D)$ er en korrektionsfaktor for slitage og

$F(\text{Dieseltype})$ er en korrektionsfaktor for dieseltypen. Denne korrektionsfaktor korrigerer i hovedsagen SO_2 emissionerne og partikler.

Hastighed

Rejsehastigheden er næst efter godkendelsesnormerne den mest betydende faktor til beregning af emissionerne.

I den tyske undersøgelse er der opstillet (målt) et antal faktiske trafiksituationer. Disse er efterfølgende grupperet således, at de hver især beskriver typiske kørselssituationer.

Emissionerne på trafiksituationerne er beregnet ved at overføre målingerne fra de standardiserede køremønstre til de faktiske trafiksituationer. Dette er samme princip som der blev anvendt i den tidligere version af TEMA.

De anvendte køremønstre dækker følgende rejsehastigheder:

- Bykørsel: 13 køremønstre, hastighed: 5 - 53 km/t
- Landevejskørsel: 11 køremønstre, hastighed 44: - 77 km/t
- Motorvej: 22 køremønstre, hastighed: 75⁴ - 145 km/t

I den tyske database er der beregnet emissionsfaktorer for hvert af disse køremønstre. På baggrund af disse data er der estimeret emissionsfunktioner til brug i TEMA2000, hvor emissionsfaktoren er en funktion af den gennemsnitlige hastighed for det enkelte køremønster. Disse formler har den generelle form:

⁴ På motorvej er der også et køremønster med en gennemsnitlig hastighed på 9,5 km/t der afspejler køkørsel på motorvej.

$$e(V) = \beta_0 + \beta_1 \cdot V + \beta_2 \cdot V^2 + \beta_3 \cdot V^3 + \beta_4 / V$$

Der er valgt en funktionsform, der tillader, at emissionsfunktionerne er asymmetriske, og som giver mulighed for systematiske forskelle ved høje og lave hastigheder. Ved høje hastigheder stiger emissionerne, idet motorbelastningen øges for at overvinde luft modstanden. Ved køremønstre med lave hastigheder stiger emissionerne (per km), både på grund af motorbelastning ved acceleration, og fordi bilen holder stille i perioder (uden at standse motoren). Det fjerde led er netop medtaget for at afspejle den sidstnævnte sammenhæng.

Der er estimeret emissionsfunktioner for hver af emissionerne, CO₂, CO, HC, NO_x og partikler. SO₂ og energiforbrug beregnes ud fra CO₂ emissionerne. Med hensyn til partikler er der kun estimeret emissionsfunktion for dieslbiler.

Benzinbilers partikelemissioner indgår ikke i den tyske Handbuch. Dette hænger blandt andet sammen med, at partikelemissionerne fra benzinbiler er så små, at de er vanskelige at måle. I den amerikanske Miljøstyrelse (EPA) refereres der til en undersøgelse, hvor partikelemissionen beregnes til 1,1% af HC emissionen. Det svarer til en emission på ca. 0,001 g PM₁₀ per km. Til sammenligning er PM₁₀ emissionen fra en EURO I diesel bil ca. 0,1 g PM₁₀ per km.

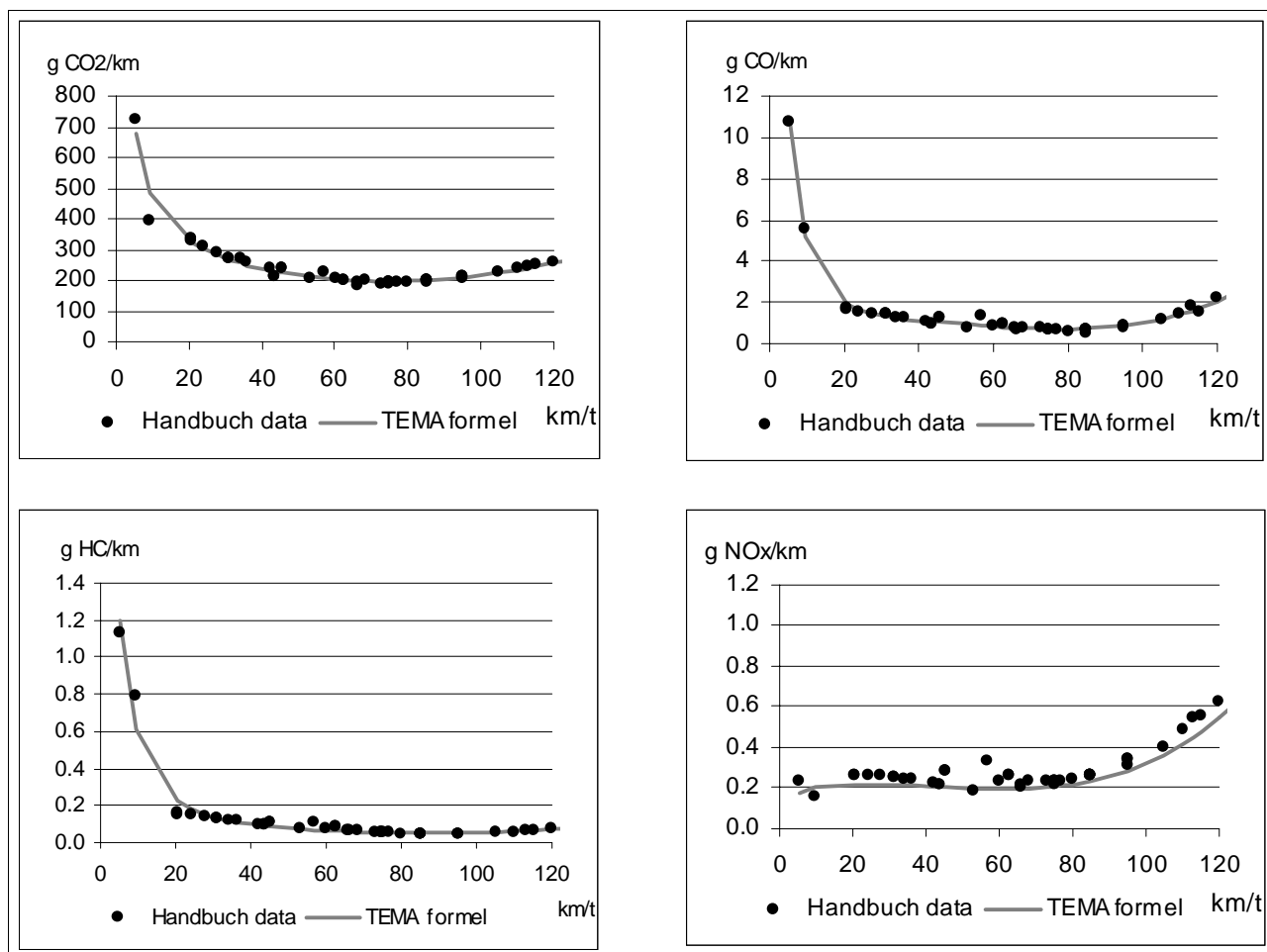
For benzinbiler er partikelemissionerne generelt så små, at det hidtil har været anset for et mindre problem. Der foreligger kun få målinger for partikler. Med udgangspunkt i data fra Køremønsterundersøgelsen (4), er der i modellen benyttet en generel emissionsfaktor på 0,01 hhv. 0,02 g/km for benzinbiler henholdsvis med og uden katalysator - uafhængigt af hastighed, slitage, koldstart m.v. Det må dog understreges, at der er tale om en meget grov tilnærmelse, der er begrundet i det relativt meget lave udslip fra denne motortype.

Der er beregnet funktioner for benzinbiler uden katalysator og for katalysatorbiler svarende til EURO I⁵, samt for dieslbiler for pre EURO og EURO I.

Data og emissionsfunktioner er illustreret for mellemstore (1,4l - 2l) EURO I biler i de følgende figurer. Bortset fra CO₂, er emissionerne uafhængige af motorstørrelsen. Derfor dækker de følgende figurer også CO, HC, NO_x og partikler for små og store personbiler.

⁵ I den Tyske håndbog opereres med flere forskellige varianter af katalysatorbiler inden EURO II. Gkat vor 87, Gkat vor 91 og Vor EURO II. Der regnes på den variant der hedder vor EURO II, da de normer, der var gældende for denne bil, svarer til EURO I.

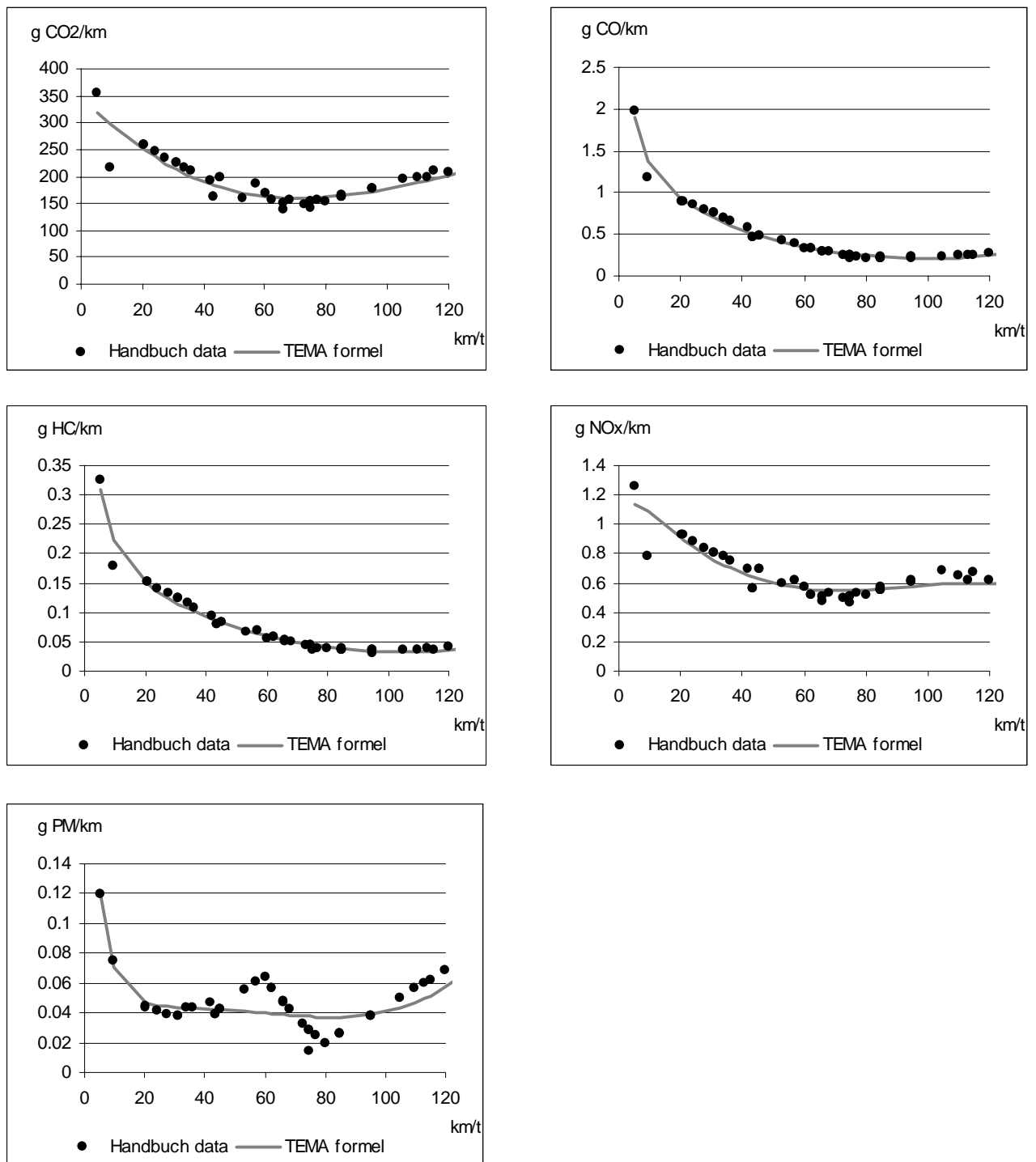
Figur 3.3 Emissionsdata og -funktioner for EURO I benzinbiler (motorstr > 2l)



Note: De ovenstående figurer er beregnet for biler med en kilometerstand på 60.000 km.

Kilde: Den tyske Handbuch

Figur 3.4 Emissionsdata og -funktioner for EURO I dieslbiler (motorstr > 2l)



Kilde: Den tyske Handbuch

Der er beregnet funktioner for benzin- og dieslbiler svarende til pre-EURO og EURO I. For EURO II - IV er der anvendt procentvise forbedringer svarende til ændringen i normerne.

Normerne angiver ikke reduktioner fordelt på koldstart og varme emissioner, men visse af kravene medfører, at det i praksis bliver nødvendigt for bilproducenterne at reducere både de varme emissioner og koldstartsemissionerne (afkorting af koldstartperioden). De reduktionsrater, der anvendes her, er baseret på MEET's vurderinger af, hvordan normerne vil påvirke de fremtidige emissioner.

Derudover er reduktionsraterne korrigeret for det spring, der sker ved at indføre lavsvovl diesel tidligere end antaget i EURO-normerne.

Korrigeret for reduktionen i svovlindholdet er reduktionsraterne følgende:

Tabel 3.8 Reduktionsrater for emissioner fra varm motor

	CO ₂	CO	HC	NO _x	PM ₁₀
Benzin					
EURO II/EURO I	100%	95%	60%	45%	100%
EURO III/EURO I	100%	76%	39%	27%	100%
EURO IV/EURO I	85%	38%	21%	13%	100%
Diesel					
EURO II/EURO I	100%	100%	70%	72%	77%
EURO III/EURO I	100%	55%	49%	52%	70%
EURO IV/EURO I	85%	44%	24%	29%	67%

Kilde: MEET og egne beregninger

Tabel 3.9 Reduktionsrater for ekstra emissioner ved koldstart

	CO ₂	CO	HC	NO _x	PM ₁₀
Benzin					
EURO II/EURO I	100%	70%	60%	45%	100%
EURO III/EURO I	100%	49%	33%	27%	100%
EURO IV/EURO I	100%	20%	16%	12%	100%
Diesel					
EURO II/EURO I	100%	100%	70%	62%	87%
EURO III/EURO I	100%	65%	49%	45%	83%
EURO IV/EURO I	100%	45%	24%	26%	75%

Kilde: MEET og egne beregninger

3.2.2 Slitage

Den væsentligste årsag til, at slitage forøger emissionerne er, at katalysatoren nedbrydes, eller at det automatiske reguleringssystem er defekt.

Periodisk slitage som f.eks. slitage af tændrør på en benzinbil genoprettes ved jævnlige serviceeftersyn. En undersøgelse som den tyske, der er baseret på tilfældige biler i drift, vil derfor afspejle en gennemsnitlig periodisk slitage.

Motorens udstødningsanlæg kontrolleres sjældnere. Hvis der sker en slitage/defekt i rensningsanlægget, opdages dette først ved en kontrol af bilens emissioner som f.eks. ved et bilsyn.

Der findes ikke datagrundlag til beregning af slitageeffekter for biler, der har kørt mange kilometer. Da der ikke er datagrundlag til beregning af slitageeffekter ved høje kilometertal og da det er usikkert om slitageeffekter ved lave kilometertal kan overføres til høje kilometertal, er det valgt kun at medregne slitage op til en kilometerstand på 107.000 km. Over 107.000 km antages det således, at der ikke sker yderligere forringelse af bilens aggregat til rensning udstødningsrøgen.

107.000 km er valgt på baggrund af, at biler der er over fire år gamle skal til syn, hvor udstødning, rensningsanlæg og motorindstillinger kontrolleres. Fire år gamle biler har en gennemsnitlig kilometerstand på ca. 107.000 km.

Det er valgt at anvende samme slitageeffekter som der er anvendt i den tyske håndbog. I det datamateriale, der ligger til grund for estimationen af formlerne til TEMA2000, er emissionerne fra katalysatorbilerne korrigeret, så de svarer til en kilometerstand på 60.000 km. Slitagekorrektionen sker ved at korrigere de varme emissioner i forhold til de 60.000 ud fra følgende procentvise ændringer.

Tabel 3.10 Forværrelsesfaktor for slitage

	Forværrelse/forbedring per 10.000 km
CO	6.7%
HC	6.4%
NO _x	7.3%

Diesel type

De emissionsmålinger, der ligger til grund for den tyske håndbog er foretaget i perioden 1990-1994. På det tidspunkt var svovlindholdet i tysk diesel ca. 0,13%, svarende til ca. 2 gram SO₂ i udstødningen per liter diesel. For at korrigere for forskellen i dieselkvalitet mellem den tyske diesel, der ligger til grund for målingerne, og den lavsvovl diesel der anvendes i dag, er det antaget, at NO_x reduceres til 95%, og at partiklerne reduceres til 49% i forhold til det der er målt i 1990-1994. Disse faktorer svarer til de faktorer, der anvendes ved omregning mellem lavsvovl, let diesel og ultralet diesel for busserne i SEEK.

Mellem de dieselkvaliteter der er til rådighed i programmet anvendes følgende korrektionsfaktorer:

Tabel 3.11 Korrektionsfaktorer for dieselkvalitet

	Forbrug	NO _x	HC	CO	partikler	SO ₂
LavSvovl	1	1	1	1	1	1
UltraLet	1	1,02	1,04	1,08	1,30	10
LetDiesel	1	1,02	1,00	1,00	1,39	10

For benzinkvaliteten gælder det, at med hensyn til CO₂, CO, HC, NO_x og partikler, er der ikke forskel i benzinkvaliteten mellem i de tyske målinger og den benzin, der anvendes i Danmark i dag.

3.2.3 Koldstart

Parametrene til beregning af koldstartstillægget i TEMA2000 er estimeret på baggrund af datamaterialet fra den tyske håndbog.

Koldstartstillægget beregnes ud fra udetemperatur og køremønster. Derudover indgår den samlede kørelængde, således at der ikke tillægges fuldt koldstartstillæg for ture, hvor motoren ikke når at blive driftvarm.

Der er estimeret forskellige parameterværdier for godkendelsesnormerne og for de enkelte emissionstyper. SO₂-tillægget beregnes ud fra tillægget i CO₂ og dermed energiforbruget.

Bilernes 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 den forhøjede indre friktion i motoren, der giver større energi- og dermed brændstofforbrug. For katalysatorbiler gælder det især for emissionerne af CO, HC og til dels NO_x, idet katalysatoren slet ikke er aktiv, når den er kold. Emissionsfaktorerne pr. km er for katalysatorbiler mange gange større med kold motor i forhold til med varm motor. Derfor bliver den relative betydning af koldstartsemissionerne større, efterhånden som udbredelsen af katalysatorer stiger.

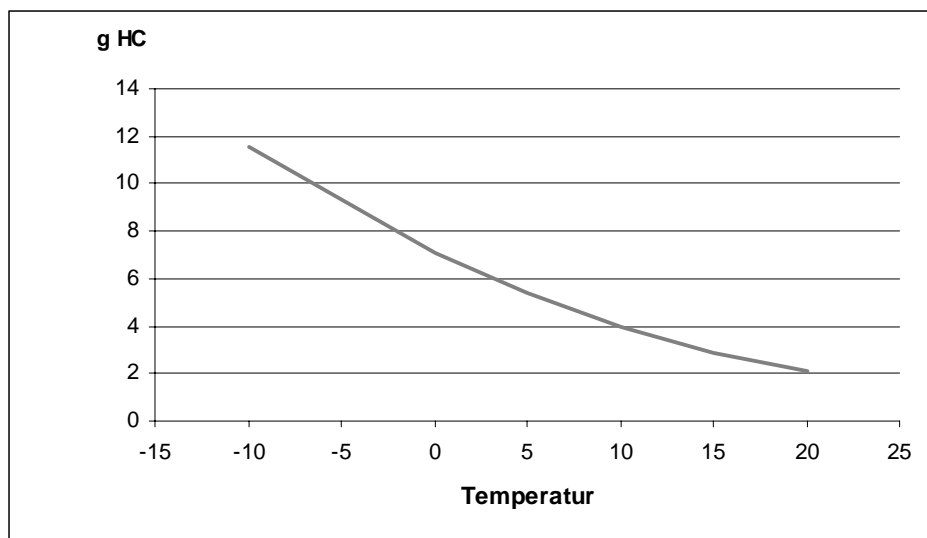
Effekten af koldstart er dog også medregnet for benzindrevne biler uden katalysator og for dieslbiler.

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

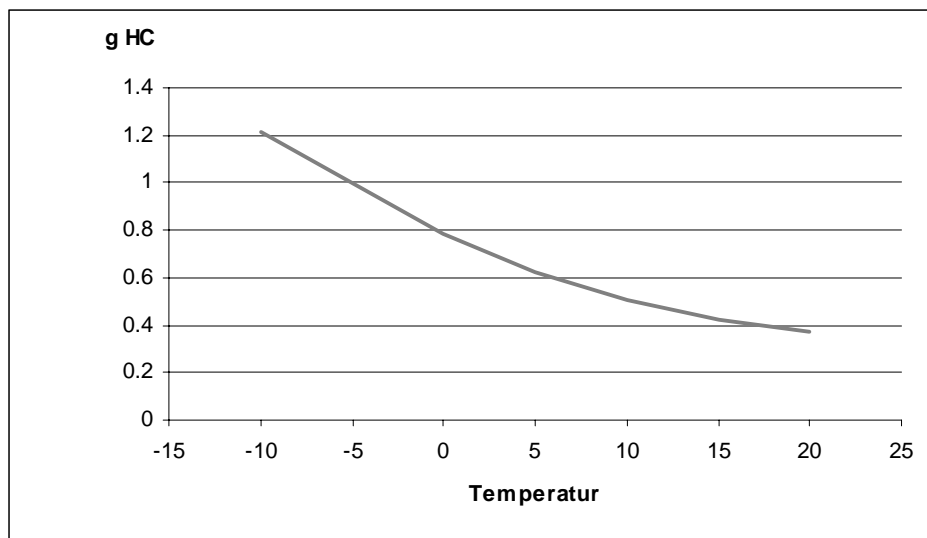
I den tyske håndbog beregnes koldstartsemissioner ud fra målinger på FTP køremønsteret. Køremønsteret gennemkøres først med kold motor og derefter med varm motor. Forskellen mellem de to målinger udgør koldstartstillægget.

Følgende figurer viser sammenhængen mellem udetemperaturen og koldstartstillægget for HC emissionerne for en EURO I bil.

Figur 3.5 Udetemperatur og HC koldstartstillæg for EURO I benzinbil



Figur 3.6 Udetemperatur og HC koldstartstillæg for EURO I dieselbil



Ud over udetemperaturen, afhænger koldstartstillægget også af køremønsteret. Ved belastende køremønstre med mange stop og accelerationer (og deraf følgende lave rejsehastigheder) er der højere koldstartstillæg end ved køremønstre med mere jævn kørsel (og højere rejsehastighed).

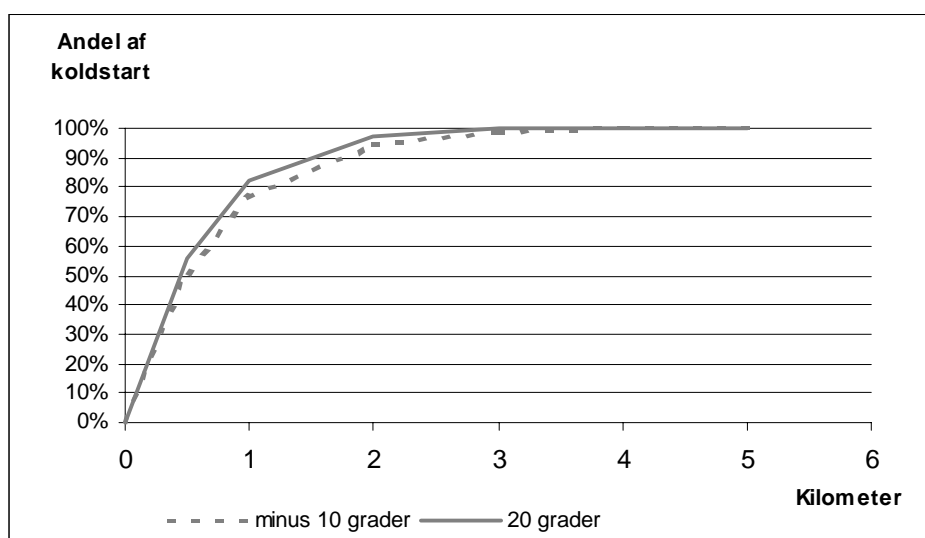
Køremønsteret i koldstartsfasen er sat til 30 km/t, hvilket svarer til rejsehastigheden ved bykørsel. Ved en rejsehastighed på 20 km/t er der en korrektionsfaktor på ca. 1,25, hvilket betyder, at koldstartstillægget ved en rejsehastighed på 20 km/t er 25% højere end ved en rejsehastighed på 30 km/t. Ved rejseha-

stigheder på 70 km/t reduceres koldstartstillægget til 50% i forhold til koldstartstillægget ved 30 km/t.

Ved korte ture medregnes kun den del af koldstartstillægget, der svarer til de kørte kilometer. Hvor lang tid der går, inden hele koldstartstillægget er udledt, afhænger af udetemperaturen, og er forskellig for de forskellige emissioner.

Følgende figur viser som eksempel hvor stor en del af koldstartstillægget for CO der udsendes ved korte ture.

Figur 3.7 Koldstartstillæg ved korte ture (CO tillæg for EURO I benzinbil)



Allerede ved 1 km er ca. 80% af koldstartstillægget udsendt.

Den følgende tabel viser størrelsen af koldstartstillægget for de forskellige emissioner og godkendelsesnormer for benzinbiler.

Tabel 3.12 Default koldstartstillæg ved 8,5°C, benzinbiler

g/tur	PM ₁₀	NO _x	SO ₂	CO	HC	CO ₂
PreEURO	0.038	-0.09	0.014	119	21.0	437
EURO I	0.015	1.03	0.011	52	4.1	345
EURO II	0.015	0.47	0.011	37	2.5	345
EURO III	0.015	0.28	0.011	26	1.3	345
EURO IV	0.015	0.12	0.011	10	0.7	345

Størrelsen af disse koldstartsemissioner kan sammenlignes med de varme emissioner. I den følgende tabel er det beregnet, hvor mange kilometer med varm motor koldstartstillægget svarer til.

Tabel 3.13 Koldstartstillæg svarende til km med varm motor, benzinbiler

Kilometer	PM ₁₀	NO _x	SO ₂	CO	HC	CO ₂
PreEURO	2	0	2	15	17	2
EURO I	2	3	2	36	35	2
EURO II	2	5	2	40	49	2
EURO III	2	7	2	51	52	2
EURO IV	2	7	2	42	40	2

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 regnet med i de eksisterende undersøgelser.

Der er fire kilder til fordampningsemissioner:

- Fordampning fra tank til luft ved ændring af brændstoffets temperatur
- Fordampning til luft ved tankning
- Fordampning fra kaburator efter kørsel (Hot Soak)⁶
- Fordampning under kørsel (Running Loss)

Fordampning fra tank

Fordampning ved ændring i brændstoffets temperatur skyldes at brændstof fylder mere ved højere temperaturer i forhold til lave temperaturer. Nyere biler er forsynet med aggregat til reduktion af fordampning fra tank ved temperaturændringer. I den tyske håndbog er der beregnet følgende fordampning ved de forskellige godkendelsesnormer:

Tabel 3.14 HC fordampning fra tank fra benzinbiler fra den tyske håndbog

Godkendelsesnorm (benzinbiler)	g HC per dag
Pre EURO	6,78
EURO I	0,33
EURO II	0,23
EURO III	0,13
EURO IV	0,13

Note: Da temperatursvingningerne i Tyskland og Danmark er af samme størrelsesorden vil disse tal også gælde i Danmark.

Da denne type fordampning ikke varierer med kørselsomfanget, inddrages den ikke direkte i TEMA2000 beregningerne.

⁶ Der tales både om Varm Soak og Hot Soak. Varm Soak er den fordampning der sker når bilen slukkes uden at være blevet helt driftsvarm - med andre ord en delvis Hot Soak.

Fordampning ved tankning

Fordampning ved tankning (det der spildes og fordamper mens man tanker) er heller ikke indregnet. Da denne type fordampning er afhængig af kørselsomfanget, burde den regnes med, men da der ikke foreligger data på denne type fordampning, er det ikke muligt at tage den med.

Hot Soak

"Hot Soak" er den fordampning, der sker fra motor og indsprøjtningssystem efter at 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 den tyske Handbuch er der foretaget målinger af Hot Soak ved varierende strækninger.

På grund af krav om fordampningsbegrænsende udstyr er der en kraftig reduktion af "Hot Soak" emissionen fra og med EURO I.

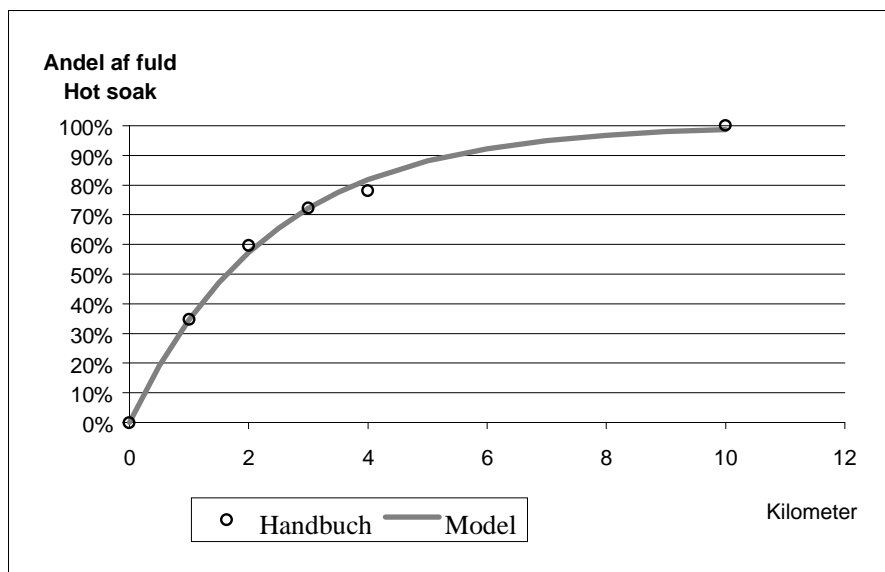
Tabel 3.15 viser måleresultater fra den tyske undersøgelse, hvor motoren er driftvarm (fuld "Hot Soak"). Disse tal anvendes i TEMA2000, når der er tale om en lang tur.

Tabel 3.15 Fordampningstab, "Hot Soak"

Godkendelsesnorm	g HC per motorstandsning
Pre Euro	9,38
EURO I	0,77
EURO II	0,54
EURO III	0,31
EURO IV	0,31

Imidlertid afhænger "Hot Soak" emissionen som nævnt af hvor varm motoren er når den slukkes, og dermed af hvor langt den har kørt. Figur 3.8 viser hvor stor en del af en andel af en fuld "Hot Soak", der forekommer ved forskellige kørte distancer.

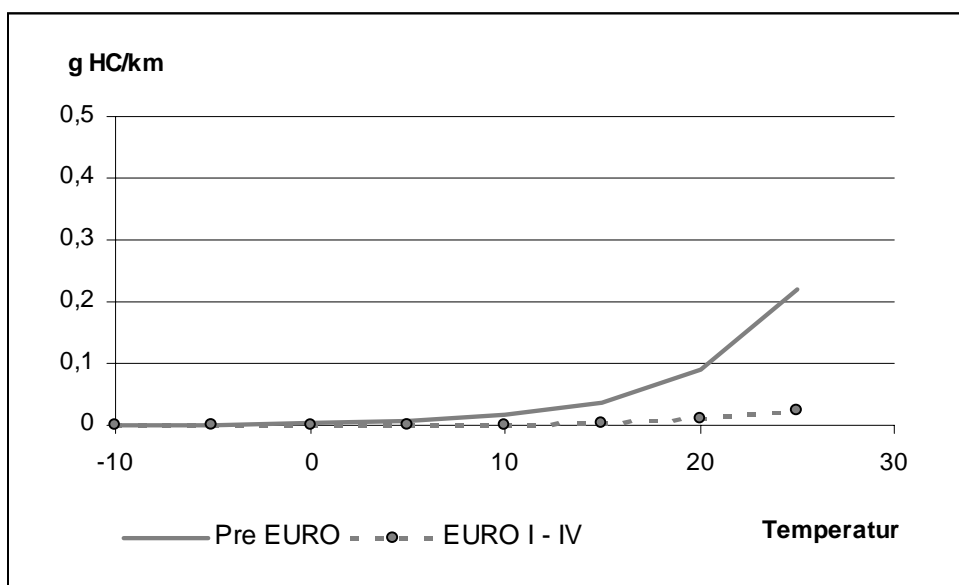
Figur 3.8 Andel af Hot Soak ved forskellige kørte distancer



Runing Loss

"Runing Loss" er den fordampning fra motor og indsprøjtningssystem, der finder sted under kørslen. Hverken i den tyske håndbog eller i MEET er der foretaget nye målinger. Derfor er det valgt at anvende CORINAIR's formlen for Running Loss, der også anvendes i MEET.

Figur 3.9 Running Loss HC emissioner ved forskellige temperaturer



Fordampningstab og koldstartstillæg

Følgende tabeller viser fordampningstab og koldstartstillæg ved forskellige temperaturer og godkendelsesnormer.

Tabel 3.16 HC koldstartstillæg og fordampningstab ("Hot Soak") ved forskellige temperaturer

g HC per tur	Koldstart			"Hot Soak"		
	-10°C	8,5°C	20°C	-10°C	8,5°C	20°C
PreEURO	54.9	18.8	4.1	0.5	2.2	5.2
EURO I	10.8	4.1	2.0	0.0	0.0	0.0
EURO II	6.5	2.5	1.2	0.0	0.0	0.0
EURO III	3.6	1.3	0.7	0.0	0.0	0.0
EURO IV	1.7	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0

Tabel 3.17 HC fordampningstab ("Running Loss") ved forskellige temperaturer

g HC per km	-10°C	8,5°C	20°C
PreEURO	0.0004	0.0119	0.0912
EURO I	0.0002	0.0053	0.0410
EURO II	0.0002	0.0053	0.0410
EURO III	0.0002	0.0053	0.0410
EURO IV	0.0002	0.0053	0.0410

3.2.5 Elbiler

Udover de benzin- og dieslbiler der er behandlet i det foregående, er der også lagt to elbiler ind i modellen. Begge er biler der også kører som benzinbiler.

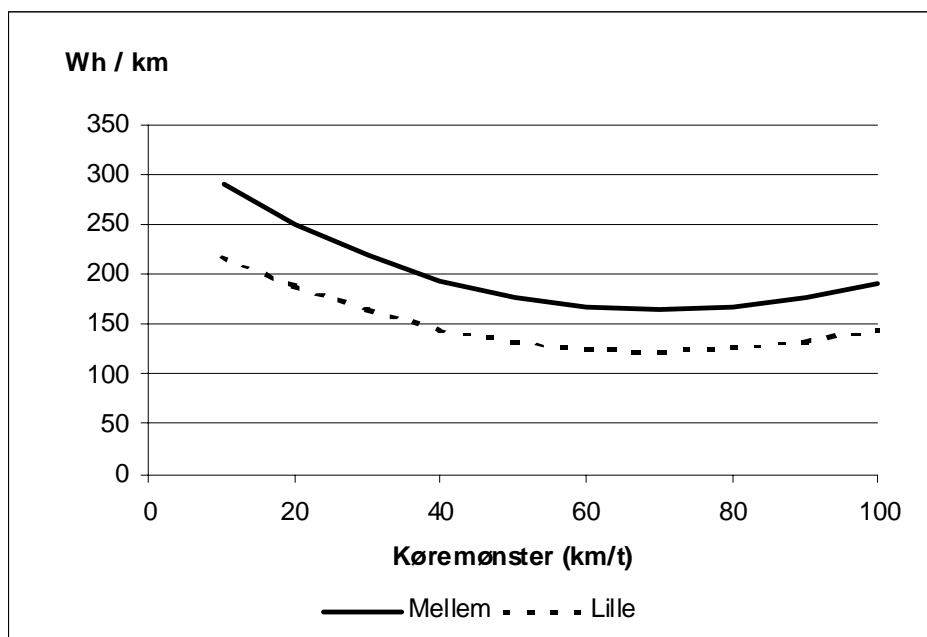
En lille traditionel elbil med en topfart på 91 km/t og et gennemsnitligt elforbrug på 150 Wh per kilometer (eksempel Citroen Saxo) og en større elbil med en topfart på 95 km/t og et energiforbrug på 200 Wh per kilometer (eksempel Citroen Berlingo). Kilde til elbilernes energiforbrug er Videncenter for elbiler, 1999.

Elbilernes emissioner beregnes efter samme principper som der gælder for el-tog.

Der foreligger ikke oplysninger om afhængigheden af elbilernes elforbrug med køremønsteret, men da det er oplyst fra Videncenter for Elbiler, at der er højere energiforbrug ved høje og lave gennemsnitshastigheder er det valgt at antage at afhængigheden svarer til en diesebil. Da elbiler oftest anvendes på korte ture er det valgt at kalibrere hastighedsafhængigheden så den passer et gennemsnit fra 10 til 90 km/t. Dvs. så det gennemsnitlige elforbrug på køremønstre fra 10 til 90 km/t bliver 150 hhv. 200 Wh.

Figur 3.10 viser den anvendte sammenhæng mellem elbilernes energiforbrug og kørehastigheden.

Figur 3.10 Sammenhæng mellem køremønstre og elforbrug for elbiler



Note: Energiforbruget beregnet som Wh er det elforbrug der trækkes ud af stikkontakten. Ved beregning af emissioner korrigeres dette forbrug for tab i forsyningsnettet og for elproduktionens virkningsgrad.

3.3 Beregningsgang for energiforbrug og emissioner

3.3.1 Emissioner fra varm motor

Emissionerne fra varm motor beregnes generelt som:

$$e_l = e_l(V)F_l(S) \quad (1.)$$

hvor l er emissionstypen og hvor den hastighedsafhængige del beregnes som:

$$e_l(V) = \beta_{0,l} + \beta_{1,l} \cdot V + \beta_{2,l} \cdot V^2 + \beta_{3,l} \cdot V^3 + \beta_{4,l} / V \quad (2.)$$

mens korrektionsfaktoren for slitage beregnes som:

$$F(S)_l = 1 + (S - 60000) / 10000 \times b_l / 100 \quad (3.)$$

Hvor S er kilometerstanden (max 107.000 km) og b_l er slitageparameteren for emission l .

3.3.2 Koldstartstillæg

Koldstartstillægget beregnes som et fast tillæg efter følgende formel:

$$E = E_l(T) F_l(V) G(D) \quad (4.)$$

Hvor E og F er andengradspolynomier, der beskriver sammenhængen mellem emission og temperatur, T, og hastighed, V,

$$E_l(T) = \beta_{0l} + \beta_{1l}T + \beta_{2l}T^2 \quad (5.)$$

og

$$F_l(V) = h_{0l} + h_{1l}V + h_{2l}V^2 \quad (6.)$$

Og hvor G(D) er en funktion der beregner emissionerne på korte ture.

$$G_l(D) = \frac{1 - e^{(-A_l D / Dk)}}{1 - e^{(-A_l)}} \quad (7.)$$

Denne funktion sørger for at den største del af koldstartstillægget stiger til fuldt niveau allerede på de første få kilometer.

3.3.3 Fordampningstab

Fordampningstabet beregnes som:

$$E = E^{HotSoak}(T) + e^{RunLoss}(T) \quad (8.)$$

hvor "Hot Soak" beregnes som:

$$E^{HotSoak} = e^{(a+bR+cT)} \frac{1 - e^{(-AD/B)}}{1 - e^{(-A)}} \quad (9.)$$

hvor a, b, A, B og c er parametre, R er brændstofflygtigheden, T er udetemperaturen og D er distancen.

"Running Loss" beregnes som:

$$e^{RunLoss} = e^{(d+eR+fT)} \quad (10.)$$

hvor d, e og f er parametre, R er brændstofflygtigheden og T er udetemperaturen.

3.4 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 nd Edition - EEA November 1997.

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

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

COWI (1996): *TEMA - En model for transporters emissioner, Dokumentationsrapport*, April 1996.

DTU (1992): *Emmisions from 3 passenger cars at high speeds*, Laboratorie for energi teknik RE 92-3.

Eggleston, H.S. m.fl. (1991): *CORINAIR Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic, Volume 1: Methodology and Emission Factors*.

Hickman A. J. (ed): *Emission Calculation Methodology. Final report from the MEET project*, Transport Research Laboratory, march 1999.

INRETS (1997): *Modelling of cold start emissions for Road Vehicles. Meet deliverable no. 8*.

Videncenter for Elbiler (1999): *Elbilen på vej ud i det danske samfund - en drejebog for kommuner, institutioner og virksomheder*.

VTI (1997): *Inddata till EMV-modellen, ett datorprogram för beräkning av avgasemissioner från vägtrafik*.

Winther, Morten (1997): *Analyse af emissionsmodellen "Workbook on Emission Factors for Road Transport"*. DMU, Afdeling for systemanalyse, 1997.

RWTÜV, Rheinisch-Westfälischer Technischer Überwachungs-Verein e.V., Institut für Fahrzeugtechnik (1993): *Verdampfungs- und Verdunstungsemissionen*, Working paper 13, mandated by BUWAL; Essen, February 1993

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 og brugervariable

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

- Bustype (diesel, gas, hybrid)
- 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.

Der er inddraget såvel almindelige dieselbusser som hybridbusser (med og uden regenerering), LPG-busser og CNG-busser. Derudover er dieselbusserne grupperet efter EURO godkendelsesnormerne. Endvidere er busserne grupperet i:

- Bybus
- Regionalbus
- Fjern
- Turistbus

TEMA2000 bruger samme vejnet som for personbiler til beregning af afstanden mellem to lokaliteter. Og også til fordelingen på land/by og vejtype. Disse defaultværdier 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% længere end en bil, der kører den hurtigste vej. Dertil kommer yderligere en strækning fordi bussen ikke altid har et stoppested derfra hvor man ønsker at rejse, og heller ikke der hvor man gerne vil hen.

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

Afstanden for kørt distance er ligesom for den øvrige vejtrafik fordelt på de tre vejtyper:

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

Til hver vejtype hører en rejsehastighed. Som default er den gennemsnitlige hastighed for de tre vejtyper sat til:

Tabel 4.1 Default rejsehastigheder for bybusser

	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 TEMA's defaultværdier.

I modsætning til personbiler 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 for de forskellige bustyper:

Tabel 4.2 Default belægning på busserne

	Totalvægt	Antal passagerer	
		Maksimum	Belægning
Bybus	16	45	12,6
Regionalbus	16	45	9,4
Fjernbus	24	54	10,3
Turistbus	24	54	27

Kilde: Trafikministeriet (1995), Bustrafik 1994. Belægning for turistbusser er baseret på skøn, foretaget af Kaj Jørgensen.

Den maksimale belægning varierer meget i forskellige busser. Således varierer alene antallet af siddepladser fra 26 til 62 i HT's busser. 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.

Hver passager antages at veje 75 kg.

For busser (og lastbiler) er emissionsnormerne af praktiske årsager ikke fastsat for køretøjerne, men for motorerne. Testmålingerne er foretaget efter den såkaldte 13-mode test, hvor motorernes brændstofforbrug og emissioner er målt for 13 forskellige belastningssituationer af motoren opspændt i en prøvebænk.

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

Som nøgle-emissionstal for bus-motorerne benyttes en standardvægtning af 13-punkts-målingerne. 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 *modes*, som motorerne er målt ved, alle er konstante belastningssituationer. Imidlertid forøges både energiforbrug og emissioner ved belastningsændringer - de såkaldte *transienter*. I fremtiden vil motorernes egenskaber ved belastningsændringer derfor indgå i godkendelsesbetingelserne.

Tabel 4.3 Godkendelsesnormer for busser

Godkendelsesnorm	I kraft	NO _x g/kWh	HC g/kWh		CO g/kWh	Partikler g/kWh
			NMHC	CH ₄		
EURO-0	1-10-90	14,4	2,4		11,2	
EURO-I	1-10-93	8,0	1,1		4,5	0,36
EURO-II	1-10-96	7,0	1,1		4,0	0,15
EURO-III ¹⁾	ESC ²⁾ ETC ³⁾	1-10-01	5,0	0,66	2,1	0,10
			5,0	0,78	1,6	5,45
EURO-IV ¹⁾	ESC ²⁾ ETC ³⁾	1-01-06	3,5	0,46	1,5	0,02
			3,5	0,55	1,1	4,0
EURO-V ¹⁾	ESC ²⁾ ETC ³⁾	1-10-09 ¹⁾	2,0	0,46	1,5	0,02
			2,0	0,55	1,1	4,0

1) EURO-V der træder i kraft i 2009 er ikke medtaget i edbprogrammet.

2) ESC = testcyklus med *stabile* motorbelastninger (dagens 13-mode test)

3) ETC = testcyklus med *transiente* motorbelastninger

Kilde: EU-direktiver, Miljøstyrelsen og Trafikredgørelse 1997.

EURO-V der træder i kraft i 2009 er ikke medtaget i edbprogrammet. Begrundelsen er at denne norm ligger langt ude i fremtiden.

I følge en aldersfordeling pr. ultimo 1998 fra Danmarks Statistik for busser i rutekørsel og turistbusser og baseret på en antagelse om samme aldersfordeling i år 2000 vil EURO fordelingen for busser være som givet i Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Estimeret EURO fordeling for busser i år 2000

	Pre EURO	EURO I	EURO II
Busser i rutekørsel	47%	19%	34%
Turistbusser	45%	40%	16%

Da de nye busser har det største transportarbejde vil denne fordeling overvurdere alderen på den bus en person typisk kører med. Der foreligger imidlertid ikke data for bussernes aldersfordeling vægtet med deres transportarbejde.

Der er i øvrigt stor spredning i aldersfordelingen fra trafikelskab til trafikelskab. Således oplyser HT at størstedelen af deres busser er EURO II busser.

For dieselbusserne kan der vælges mellem lavsvovl (som er default) og ultralet diesel. (se evt. kort beskrivelse brændstoffer i afsnit 2.3)

Endelig kan der vælges to typer efterbehandlingsudstyr for dieselbusser

- Oxidationskatalysator
- Oxidationskatalysator kombineret med partikelfilter

Oxidationskatalysatoren reducerer emissionerne HC og CO ved iltning. Katalysatoren kan reducerer mængden af CO og HC med omkring 80-90%, ved en omdannelse af CO og HC til CO₂ og vand.

Oxidationskatalysator kombineret med partikelfilter består af en kombination af en katalysator og et keramisk filter. I det keramiske filter forbrændes ca. 90% af de partikler, der kommer fra motoren ved hjælp af naturligt forekommende O₂ og NO_x.

Filtre til dieselkøretøjer kan nedbringe mængden af skadelige stoffer i udstødningen væsentligt. Brug af visse typer filtre kræver, at der anvendes diesel med et svovlindhold under 50 PPM svarende til lavsvovl diesel.

De hybridbusser der er regnet på i SEEK og som er med i TEMA er benzin/elektriske busser, med og uden regenerering. For hybridbusser *med regene-*

rering oplades batteriet også ved den energi der opstår ved opbremsning, og udnytter på den måde bremseenergien. Hybridbusser er lidt tungere end dieseldrevne standardbusser, hvilket der tages der hensyn til i emissionsberegningerne.

Hybridbusserne i SEEK er forsynet med 3-vejs-katalysator. 3-vejs-katalysator reducerer CO og HC ved iltning og reducerer samtidig NO_x emissionerne ved at ved at fjerne noget ilt og derved omdanne NO_x til N₂. Denne proces kræver en meget præcis styring af iltindholdet i katalysatoren.

I princippet sker der de samme kemiske processer i en oxyderende katalysator som anvendes til dieseldrevne køretøjer, og i en tre-vejs-katalysator som anvendes til benzindrevne køretøjer. Forskellen er, at forbrændingsprocessen og dermed iltindholdet i katalysatoren kan styres mere præcist på benzindrevne end på dieseldrevne køretøjer. Det udnyttes i tre-vejs-katalysatoren hvor iltindholdet måles løbende og motorens forbrændingsproces løbende tilpasses til at give det optimale iltindhold i katalysatoren.

Som en ny mulighed i TEMA kan der endvidere beregnes emissioner og energiforbrug for to aktuelle typer af gasbusser:

- LPG - liquid petroleum gas (Lambda 1). Svarer til den Scania-bustype, som p.t. bruges af Combus og ARRIVA (tidligere BusDanmark) i København.
- CNG - compressed natural gas (lean-burn). Svarer til en Volvo-bus, der p.t. kører i Göteborg. Typen bruges p.t. ikke i Danmark.

Gasbusser er lidt tungere end dieseldrevne busser. Dette er der taget hensyn til i modelberegningerne.

For gasbusser er der ikke mulighed for at vælge forskellige brændstoftyper eller forskellige kombinationer af efterbehandling (rensning) af emissionerne.

Mange af disse brugervariabler repræsenterer nye funktioner i forhold til de tidligere versioner af TEMA.

4.2 Analyse

I TEMA2000 er det lagt til grund at, der skal grupperes efter godkendelsesnormer. Den tidligere version af TEMA byggede på konkrete busser, ligesom for personbiler. Der er således behov for en reestimering af emissionsfunktionerne med et mere bredt udsnit af busserne grupperet efter godkendelsesnormer. Dette arbejde er foretaget i forbindelse med opstillingen af SEEK. TEMA2000 bygger på SEEK med hensyn til bybusser og regionalbusser og den tyske håndbog med hensyn til turist- og fjernbusser.

4.2.1 SEEK

SEEK står for "Simulering af Energiforbrug og Emissioner med variabel Køretøjskonfiguration" og er et edb-program udviklet af Teknologisk Institut for Færdselsstyrelsen, Trafikministeriet og Hovedstadsområdet's Trafikselskab til beregning af brændstofforbrug og luftforurening fra busser og lastbiler. Simuleringsprogrammet kan beregne energiforbrug og emissioner for forskellige kørselsprofiler. Beregningerne baserer sig på en række motor- og køretøjsdata, specielt emissioner og brændstofforbrug målt ved relevante belastninger⁷.

For at disse beregninger skulle kunne bruges i TEMA, er et større antal køremønstre blevet gennemregnet på SEEK. For hvert enkelt køremønster er de beregnede emissioner blevet sammenstillet med den gennemsnitlige hastighed, så det har været muligt at opstille funktioner for sammenhængen mellem henholdsvis kørehastighed og energiforbrug. Alle køremønstrene er gennemregnet for et stort antal kombinationer af køretøjstype, vægt, efterbehandlingsudstyr og brændstoftype.

SEEK er valgt som beregningsgrundlag, idet programmet bygger på gennemsnitlige emissionsdata for flere motorer, der er udbredte i Danmark, og idet det giver muligheder for at beskrive effekten af mange emissionsnormer, flere brændstofkvaliteter og flere kombinationer af efterbehandlingsudstyr.

SEEK omhandler imidlertid alene bybusser, der ikke er beregnet til kørsel ved høje hastigheder. Derfor kan man ikke umiddelbart lægge nye køremønstre med højere gennemsnits hastigheder ind i SEEK-modellen og derved beregne turist- og fjernbusser. Forsøg med SEEK har vist, at dette resulterer i for høje emissioner ved høje hastigheder. På denne baggrund er det valgt at basere fjern- og turistbussernes hastighedsafhængighed på den tyske håndbog.

4.2.2 Den tyske håndbog

Den tyske håndbog indeholder køremønsterafhængige emissionsfaktorer for både bybusser og turistbusser. Til anvendelsen i TEMA2000 er emissionerne fra turistbusserne kalibreret med forskellen mellem de danske bybusser og de tyske bybusser.

$$E_{TEMA2000}(V) = E_{Handbuch}(V) \times \frac{E_{Handbuch}^{By}(V_{By})}{E_{SEEK}^{By}(V_{By})} \quad (11.)$$

Dette er gjort for at undgå at de forskellige datagrundlag slår igennem på sammenligninger mellem regional- og fjernbusser i Danmark. I øvrigt må det forventes, at det nyere data grundlag der ligger bag SEEK er mere sikkert end de ældre data fra den tyske håndbog.

⁷ Beskrivelsen er hentet fra Teknologisk Instituts egen beskrivelse af SEEK på Teknologisk Instituts hjemmeside (<http://www.teknologisk.dk>)

4.2.3 Køremønstre

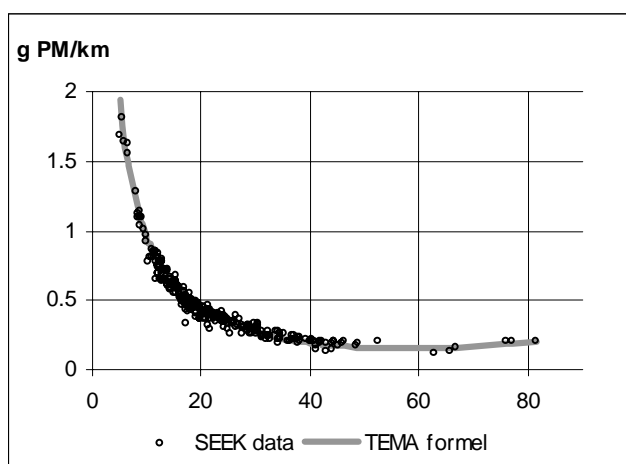
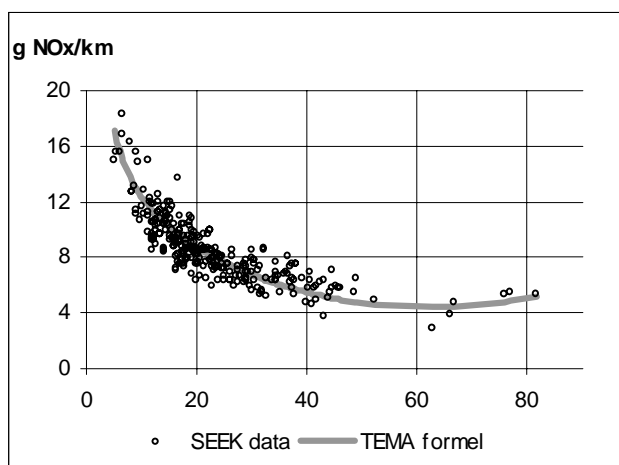
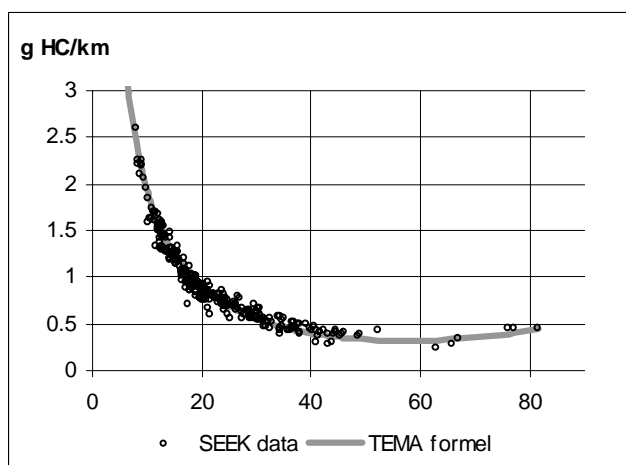
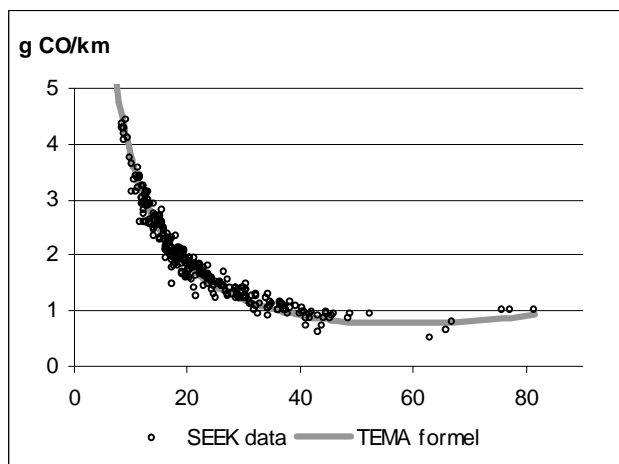
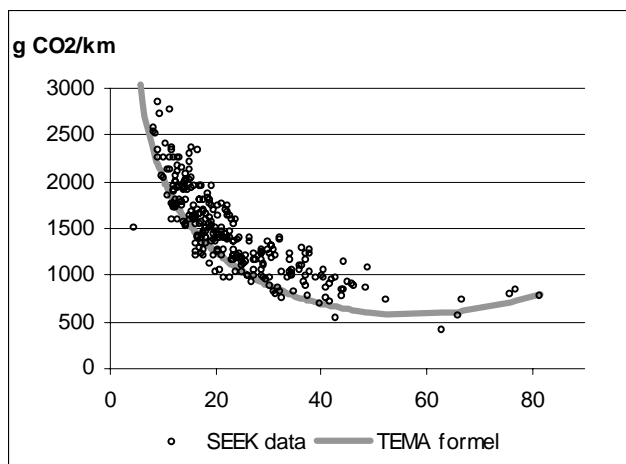
Sammenhængen mellem køremønstre og energiforbrug/emissioner er fundet ud fra edb-simuleringer af aktuelt målte køremønstre fra tre kilder:

- Nogle få, lange buskøremønstre, som indbygget i SEEK. Det drejer sig om linje 5 i København, en teoretisk tysk kørselsprofil ("Braunschweig") samt en rute i Aalborg
- Et større antal korte buskøremønstre registreret på 4 gader i København
- Nogle få, lange lastbilture hovedsageligt gennem åbent land.

De lange køremønstre er delt op i korte delstrækninger. Alle disse korte køremønstre begynder og slutter med et stop. I alt er over 300 køremønstre med en gennemsnitlig længde på lidt over 1 km anvendt til at beregne energiforbrug og emissioner.

Lastbilkøremønstrene er inddraget for at supplere med højere hastigheder end de, som er registreret i bygader. Her har der ikke været buskøremønstre til rådighed, men hvor de højere rejsehastigheder forekommer, antages busstoppene at ligge så spredt, at køremønstrene for busser og lastbiler kan betragtes som ens.

De følgende figurer illustrerer sammenhængen mellem emissionerne og rejsehastigheden.

Figur 4.1 Emissionsdata og -funktioner for EURO II dieselbusser uden passagerer

4.2.4 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 delvist inddraget via den gennemsnitlige hastighed for hvert køremønster. Det er ikke beskrevet, hvordan antallet af passagerer hænger sammen med hvor mange stoppesteder bussen ikke stopper ved.

Den anden virkning - vægtforøgelsens direkte indflydelse - er undersøgt ved hjælp af SEEK, og indgår derfor som brugerparameter i TEMA2000.

Beregningsmæssigt indgår passagertallet ved at hver passager tildeles vægten 75 kg. Den summerede passagervægt plus bussens egenvægt regnes for at være bussens aktuelle vægt. Den regningsmæssige egenvægt er altså inklusive chauffør og en typisk mængde brændstof.

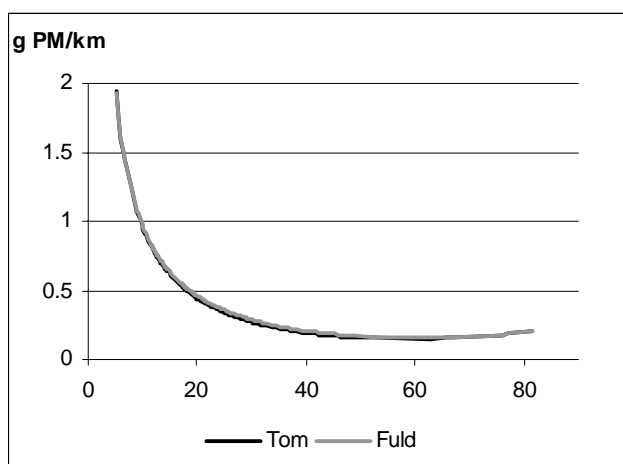
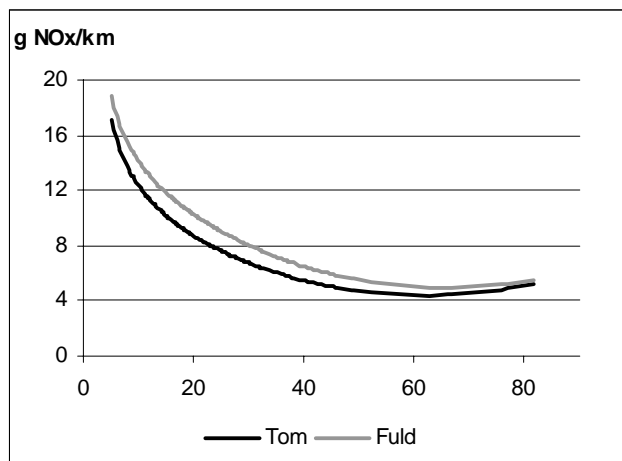
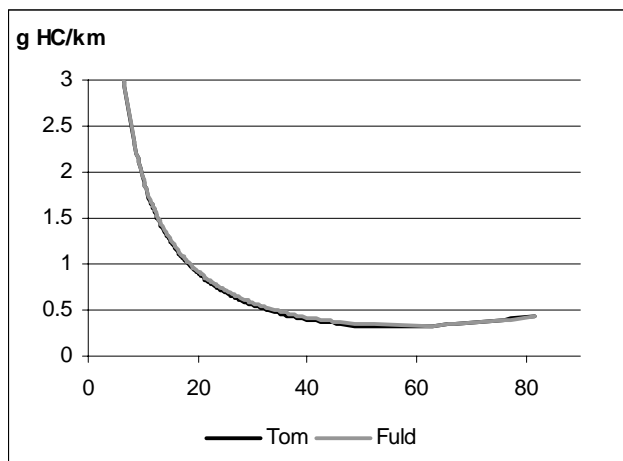
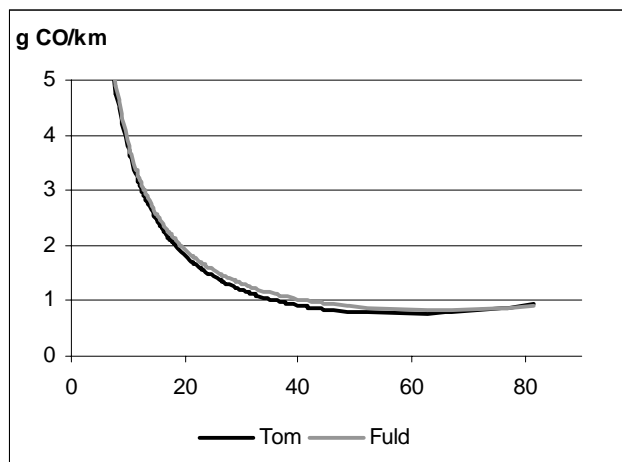
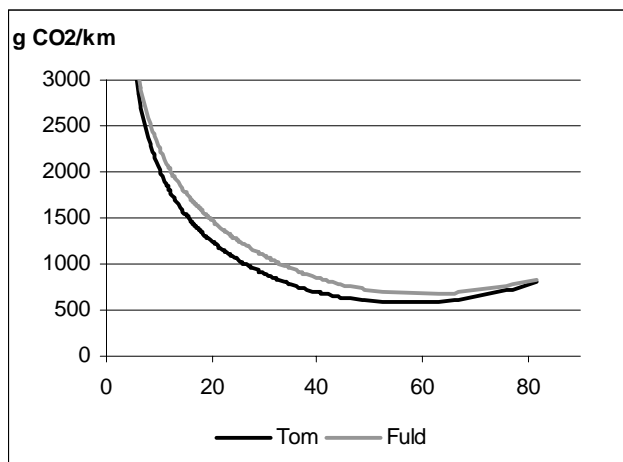
Funktioner opstilles for:

- Bus uden passagerer
- Bus med fuld last

Til beregning af energiforbrug og emissioner ved en bestemt vægt beregnes værdierne først for bussens egenvægt (tom bus) samt for bussens totalvægt. De aktuelle værdier findes derefter ved lineær interpolation mellem de to talsæt. Det forudsættes med andre ord, at der er tale om en lineær sammenhæng mellem vægt og energiforbrug/emissioner. Vægtafhængigheden er klart størst ved de lave rejsehastigheder, hvor der typisk optræder hyppige stop med påfølgende accelerationer.

Vægtafhængigheden er illustreret i den følgende figur.

Figur 4.2 Vægtafhængighed for EURO II dieselbusser



SEEK giver mulighed for emissionsberegninger for busser med EURO I, EURO II og EURO III (foruden gas- og hybridbusserne). For at bestemme emissioner fra pre-EURO busser og EURO IV anvendes korrektionskoefficienter som vist i det følgende.

Busser indregistreret før EURO I trådte i kraft er ikke med i SEEK-modellen. Til modellering af disse ældre køretøjer i TEMA2000 er der taget udgangspunkt i data fra TEMA2, som vist i den følgende tabel. Til sammenligning er vist forholdet mellem normtallene, altså grænseværdierne, for EURO I køretøjer og ældre køretøjer. Som det ses, har man i TEMA2000 valgt at benytte korrektioner som lægger sig tæt op ad den gamle Tema-model.

Tabel 4.5 Korrektionsfaktorer for emissioner for busser fra før EURO I

pre/Euro-I	Energi	NO _x	HC	CO	partikler
Tema 2	1,015	2,25	1,39	2,06	2,25
Normer	-	1,8	2,18	2,49	-
TEMA2000	1,015	1,8	2,18	2,49	1,5

Tallene er korrektionsfaktorer, som beregnede EURO I værdier skal ganges med for at få pre-EURO værdierne.

EURO IV-motorer er endnu så nye, at der ikke foreligger emissionsdata for aktuelle driftssituationer. Emissionsdata for EURO IV beregnes ved at korrigere emissionsdata for EURO III med forholdstal svarende til forholdet mellem normværdierne for EURO III henholdsvis EURO IV.

Tabel 4.6 Reduktion fra EURO III til EURO IV

Godkendelses-norm	NO _x g/kWh	HC g/kWh	CO g/kWh	PM ₁₀ g/kWh
EURO III	5	0.66	2.1	0.10
EURO IV	3.5	0.46	1.5	0.02
EURO IV/III	0.70	0.70	0.71	0.20 (0.23)

Note: På grund af at effekten af svovlfattig diesel indregnes reduceret fra EURO normerne er effekten fra EURO III til EURO IV reduceret. TEMA regner således med en reduktionsfaktor på 0.23, mens reduktionsfaktoren ifølge normene ville være 0.20.

4.2.5 Brændstoftype

For dieseldrevne busser giver programmet SEEK mulighed for at vurdere konsekvenserne af at køre på følgende dieseltyper (se også afsnit 2.3 om brændstoffer).

- Lavsvovl diesel (default)
- Ultralet diesel
- Let diesel

I forhold til kørsel med lavsvovl diesel benyttes følgende korrektion ved brug af de andre (ældre) brændstoftyper.

Tabel 4.7 Korrektionsfaktorer til dieseltyper i TEMA2000

Korrektioner	Forbrug	NO _x	HC	CO	PM ₁₀	SO ₂
Lavsvovl	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ultralet	1,00	1,02	1,04	1,075	1,30	10,0
Letdiesel	1,00	1,02	1,00	1,00	1,39	10,0

Disse viste korrektioner stammer direkte fra beregningsgrundlaget for modellen SEEK.

4.2.6 Efterbehandling

For dieseldrevne busser er der mulighed for at vælge følgende kombinationer af efterbehandling af emissionerne fra motoren:

- Oxiderende katalysator
- Oxiderende katalysator samt partikelfilter
- Ingen efterbehandling (default).

De beregnede basisemissioner er for motorer uden efterbehandling af emissionerne. Ved brug af efterbehandling benyttes følgende korrektioner. Disse viste korrektioner stammer direkte fra beregningsgrundlaget til modellen SEEK.

Tabel 4.8 Korrektionsfaktorer til beregning af effekt af efterbehandling

Korrektioner	forbrug	NO _x	HC	CO	partikler
Ingen (default)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Kat.	1,00	0,95	0,25	0,10	0,81 *)
Kat. & filter	1,00	0,95	0,25	0,10	0,06

*) De 0,81 er en typisk værdi - faktoren varierer mellem 0,80-0,83. Katalysatorvirkningsgraden er bedst ved lave motorbelastninger.

Foruden de nævnte variable er der yderligere en række forhold som principielt påvirker emissions- og energiforhold ved en bustur, men som ikke er med i TEMA2000. Her kan nævnes:

- Koldstart. Betyder meget lidt i absolutte værdier, og da busser normalt kun koldstartes én gang om dagen, er de relative størrelser helt ubetydelige.
- Motorslitage. Dette betyder meget lidt for større dieselmotorer i modsætning til benzinmotorer med katalysator.
- Fordampning og andre udslip, der ikke er knyttet direkte til motorens drift. Medregnes normalt ikke ved dieseldrift på grund af brændstoffets lave fordampning. For gas er der ikke fundet oplysninger om sådanne udslip.
- Topografi indgår ikke i beregningerne, da brugeren normalt ikke vil have data for dette, og det desuden kun betyder meget lidt i Danmark.
- Vindforhold indgår ikke i beregningerne, da medvind og modvind antages at opveje hinanden, og betydningen af sidevind forudsættes at være lille.

4.3 Beregningsgang

Emissionerne for busserne beregnes efter følgende formel:

$$e_l = ((1 - B) e_{l, Tom}(V) + B e_{l, Fulldast}(V)) F_{l,d} F_{l,e} \quad (12.)$$

hvor l er emissionstypen, B er bussens belægning og hvor den hastighedsafhængige del beregnes som:

$$e_l(V) = \beta_{0,l} + \beta_{1,l} \cdot V + \beta_{2,l} \cdot V^2 + \beta_{3,l} \cdot V^{-1} \quad (13.)$$

$F_{l,d}$ er korrektionsfaktoren for dieseltypen, d , for emission l og

$F_{l,e}$ er korrektionsfaktoren for efterbehandling, e , for emission l .

4.4 Litteratur

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

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

SEEK, EDB-program til beregning af emissioner fra Busser.

Hickman A. J. (ed): Emission Calculation Methodology. Final report from the MEET project, Transport Research Laboratory, march 1999.

Trafikministeriet (1995): Bustrafik 1995.

5 Persontog

De samme fysiske faktorer, som påvirker emissionerne for TEMA's andre transportformer, har også indflydelse på tog. Det drejer sig om køre/standse mønstre, transporteret vægt, motorteknologi mv. Eltog adskiller sig fra de fleste andre transportmidler, idet emissionerne udledes fra kraftværkerne og ikke transportmidlet selv.

5.1 Oversigt og brugervariable

Togtyper

I Tabel 5.1 er vist de togtyper, som indgår i TEMA2000.

Tabel 5.1 Togtyper i TEMA.

Togtype (litra)	Fremdrift	S-tog	Regional	Intercity	Lyntog	I drift fra	Type
EA	elektrisk		*			1984	lokomotiv
ER (IR4)	elektrisk		*	*		1995	togsæt
IC3	diesel		*	*	*	1989	togsæt
ME	dieselektrisk		*			1981	lokomotiv
MR	diesel		*			1978	togsæt
MZ I / II	dieselektrisk		*			1967	lokomotiv
MZ III / IV	dieselektrisk		*			1972	lokomotiv
ET (Øresundstog)	elektrisk		*			2000	togsæt
MM (gl. S-tog)	elektrisk	*				1967	togsæt
SA-D (nye S-tog)	elektrisk	*				1996	togsæt
X10/11 (Pågatåg) 1)	elektrisk		*			n.a.	n.a.

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 i mellem stationerne. Et øget antal stationer på en given tog-rute øger antallet af accelerationer og alt andet lige energiforbruget og emissionerne. Lyntog kører med højere hastighed, hvilket også alt andet lige resulterer i øget energiforbrug. Opdelingen i regional, intercity og lyntog med tilhørende standsemønstre svarer dermed til køremønstre for biler. For nye og gamle S-tog kan der vælges mellem tog med mange stop og gennemkørende.

Stationer

Der kan køres mellem 213 stationer på Banestyrelsens 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 tilbyer for andre transportmidler, så brugeren kan sammenstykke en tur bestående af f.eks. en bildeltur til en station og en togdeltur herfra.

Bemærk, at TEMA giver mulighed for at tage lange regionaltogsture, f.eks. hele vejen fra Helsingør til Odense i en deltur, selvom turen i praksis foretages med en række togskift undervejs. Brugeren gøres i disse tilfælde opmærksom på, at der bliver kørt længere end den gennemsnitlige regionaltogstur.

Figur 5.1 HRL-nettet opdelt i segmenter.



Note: Segmenttender er vist med sort prik

Banestrækninger og segmenter

HRL-nettet er inddelt i 42 segmenter, som angivet i Tabel 5.6 og vist i Figur 5.1. Inddelingen er foretaget således, at nettet er opdelt i sammenhængende strækninger, som ikke forgrener sig eller skifter status fra f.eks. hoved- til regionalbane. Segmenterne er strækninger mellem to "sorte" stationer på kortet. Til hvert segment er knyttet en by- og landprocent, som er andelen af segmentet som ligger i henh. by- og landzone. Dette er med henblik på at kunne fordele dieselemmissionerne mellem by og land.

Til S-togs-nettet benyttes en afstandstabel, der angiver den korteste skinneafstand mellem ethvert muligt par af S-togs stationer.

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

Figur 5.2 S-togs-nettet



Rutelægning

TEMA 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 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.

Belægningsgrader

TEMA's belægningsgrader er opgjort for

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

Belægningsgradenerne angiver, hvor mange % af togets sæder, der i døgngennemsnit er optaget.

Brugervalg

Brugeren kan specificere:

- Togtype: Regional, intercity, lyntog eller S-tog
- Til - og fra station

TEMA sammensætter ruten, således at den primært foregår med brugerens foretrukne togtypevalg, f.eks. Intercity, og de steder, hvor der ikke kører Intercity, køres der i stedet med regionaltog. Regionaltog kører fra alle TEMA's stationer, men det er kun muligt at komme til en anden station med regionaltog, hvis det kan lade sig gøre uden at skifte togtype undervejs.

I avanceret indstilling kan brugeren specificere:

- Togtype (litra)
- Afstand
- Fremtidige teknologier for IC3 og MR
- Belægningsgrader

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 kapitlet "Øvrige data".

Målinger

I Tabel 5.3 ses nøgletal for energiforbrug og emissioner. Køremønstre og elforbrug er målt flere forskellige steder i landet, men emissioner og energiforbrug er målt i prøvestand. 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). Det ideelle kunne være at have data for hver togtype på hver strækning, men dette giver et temmelig stort antal målinger.

Emissioner, elektriske tog

Emissioner for elektriske tog sker via kraftværkernes udledninger. Dette er omtalt i kapitlet 'Øvrige data'. Bemærk, at som konvention foregår alle emissioner fra kraftværker udelukkende i landzone.

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%. Pr. 1. januar 2000 er DSB gået over til at anvende svovlfattig diesel (svarende til den type der bruges i vejtrafikken) med et

svovlindhold på 0,005%. Svovlfattig diesel er derfor standard i TEMA2000 også for tog.

Resultatet af DTI's energimålinger blev en række grundtal for energiforbrug og emissioner af NO_x, 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.

Banestyrelsen har beregnet emissionsnøgletal for IC/3 vha. af togsimuleringsprogrammet ViTo.

Nye teknologier og brændstof

DSB planlægger at foretage en række tiltag, der vil reducere emissioner fra fremtidens tog. Bl.a. er der planer om inden for en årrække at introducere filtre og katalysatorer på dieseltogene. For IC3's vedkommende er der planer om at udskifte motorerne med EURO III typer, som kendt fra vejtransporten.

For at kunne tage højde for de fremtidige teknologier, er der i Tabel 5.2 angivet en række af DSB's estimater for hvormeget disse tiltag vil reducere de forskellige emissionstyper. Estimatene er valideret af Teknologisk Institut.

Tabel 5.2 Procentvise reduktioner for de 6 emissionstyper afhængigt af togtype og reduktionstiltag.

Litra	Reduktionstype	CO ₂	CO	HC	NO _x	SO ₂	Partikler
		%	%	%	%	%	%
EA	Nuværende teknologi	-	-	-	-	-	-
IC3	EURO III motor + filter + svovlfattig diesel	-	90	75	60	90	97
IC3	EURO III motor + oxiderende katalysator + svovlfattig diesel	-	90	75	60	90	78
IC3	EURO III motor + svovlfattig diesel	-	-	-	60	90	70
IC3	Filter + svovlfattig diesel	-	90	75	-	90	91
IC3	Oxiderende katalysator	-	90	75	-	-	10
IC3	Svovlfattig diesel	-	-	-	-	90	5
ME	Svovlfattig diesel	-	-	-	-	90	-
MR	Filter + svovlfattig diesel	-	90	75	-	90	91
MR	Oxiderende katalysator	-	90	75	-	-	10
MR	Oxiderende katalysator + svovlfattig diesel	-	90	75	-	90	25
MR	Svovlfattig diesel	-	-	-	-	90	10
MZI/II	Svovlfattig diesel	-	-	-	-	90	-
MZIII/IV	Svovlfattig diesel	-	-	-	-	90	-

Kilde: DSB Miljø.

Note: Svovlreduktion er standard i TEMA, eftersom DSB pr. 1. januar 2000 har skiftet til svovlfattig diesel.

Emissioner, eltog

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 anslået kørestrømsstab på 5%.

Energiforbruget inkluderer el til opvarmning og belysning. For de togtyper som er i stand til at regenerere energi (IR4, ET og nye S-tog) i forbindelse med bremsning er denne energimængde fratrukket forbruget. For at energien kan genbruges, kræves det, at der er et elektrisk tog i nærheden, der forbruger energi.

Tabel 5.3 Energi- og emissionsnøgletal for diesel- og eltog.

Togtype	Elforbrug kWh _M /plkm	Energi MJ/plkm	CO ₂ g/plkm	CO g/plkm	HC g/plkm	NO _x g/plkm	SO ₂ g/plkm	Partikler g/plkm
MR / Reg	0,024	0,24	17,8	0,071	0,037	0,27	0,00041	0,016
IC3 / Reg		0,23	17,0	0,041	0,017	0,24	0,00038	0,007
ER / Reg		0,29	21,1	0,065	0,017	0,42	0,00049	0,015
MZIII/IV / Reg		0,27	20,1	0,102	0,014	0,35	0,00046	0,018
MZI/II / Reg		0,31	22,8	0,056	0,014	0,40	0,00053	0,012
EA / Reg	0,020							
ET (ØR) / Reg	0,025							
IC3 / IC	0,019	0,19	14,3	0,031	0,014	0,20	0,00032	0,006
ER / IC								
IC3 / Lyn		0,23	17,0	0,034	0,013	0,25	0,00038	0,006

Kilde: DSB.

Noter: SO₂ emissioner er for svovlfattig diesel. For eltog opgøres emissioner som konstant faktor pr. kWh gange el-emissioner. Disse kan opgøres efter flere metoder, og der er derfor ikke angivet emissioner i tabellen. plkm=pladskm.

Tabel 5.4 Pladser (kapacitet) i tog.

Togtype	Antal vogne/ togsæt pr. tog	pladser pr. tog
MR	1	132
IC3	2	288
ER	2	466
ME	5	360
MZIII/IV	5	360
MZI/II	5	360
EA	8	600
ET(ØR)	2	506
IC3 Intercity	2	288
ER Intercity	2	466
IC3 lyntog	1	144

Kilde: DSB.

Den gennemsnitlige togstørrelse som vist i Tabel 5.4 er beregnet onsdag den 11. november 1998, som var en normal driftsdag. Beregningen er foretaget på baggrund af udtræk af data om den realiserede kørsel fra DSB's Materiel Administrations System (MADS).

Tabel 5.5 Elforbrug og passagerdata for S-tog.

Togtype	kWh/km	belægning	kapacitet
MM (gl. S-tog) / mange stop	7,5	24%	256
SA-D (nye S-tog) / mange stop	3,7	24%	336
MM (gl. S-tog) / gennemkørende	5,5	24%	256
SA-D (nye S-tog) / gennemkørende	2,7	24%	336

Kilde: Banestyrelsen. Værdierne er incl. et forventet kørestrømstab på 5%

Belægningsgrader

HRL-togenes belægningsgrader er baseret på udtræk for hele 1998 fra TogRapport databasen, som benyttes til at kapacitetstilpasse togene. DSB vurderer, at sikkerheden ved tællingerne bag belægningsprocenterne er relativt stor. Belægningsprocenterne er døgn gennemsnitlige.

Belægningsgraderne for S-tog opgøres kun på et overordnet plan, hvor der beregnes en årlig gennemsnitlig belægningsgrad for hele S-togtrafikken. Der kan derfor ikke skelnes mellem belægningsgrader for nye og gamle S-tog.

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 5.6. Med typisk forstås den togtype, der har den højeste afgangsfrekvens på segmentet.

Lyntog betjenes kun af IC3, mens Intercitytog betjenes af både ER og IC3. IC3 er typisk Intercitytog overalt i landet undtagen mellem Tinglev og Sønderborg. Dette skal tages med forbehold, eftersom en pkm opgørelse muligvis ville give en anden fordeling, eftersom det typiske ER intercitytog er større end IC3 toget. På denne baggrund er det valgt at give brugeren mulighed for at vælge mellem ER og IC3, på de ture hvor hele intercity segmentfølgen er elektrificeret.

Regionaltog er også opgjort med afgangsfrekvens på segmentet som kriterie 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 5.6 Strækningsslængder og by/land fordeling for HRL-nettet.

Segment	SegmentEnde1	SegmentEnde2	Længde (km)	By	Land	Typisk Regionaltog	Typisk Intercitytog	Typisk Lyn-
1	Ålborg	Frederikshavn	84,9	23 %	77 %	MR	IC3	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 %	MR	IC3	IC3
6	Struer	Thisted	73,6	16 %	84 %	MR	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 %	MR		

10	Holstebro	Skjern	71	11 %	89 %	MR		
11	Skjern	Esbjerg	59,9	30 %	70 %	MR		
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 %	MR		
15	Lunderskov	Tinglev	62,5	20 %	80 %	MZI/II	ER	
16	Lunderskov	Fredericia	32,8	35 %	65 %	MR	IC3	IC3
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 %	MR	IC3	IC3
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 %	MR	IC3	IC3
23	Odense	Svendborg	48,2	31 %	69 %	MR		
24	Odense	Nyborg	28,7	27 %	73 %	ER	IC3	IC3
25	Nyborg	Korsør	23,3	0 %	100 %	ER	IC3	IC3
26	Korsør	Ringsted	44,4	23 %	77 %	ER	IC3	IC3
27	Ringsted	Roskilde	32,6	24 %	76 %	ME	IC3	IC3
28	Ringsted	Næstved	26,8	16 %	84 %	ME		
29	Næstved	Nykøbing F	56,2	23 %	77 %	ME		
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 %	ME	IC3	IC3
35	København H	Helsingør	46,2	67 %	33 %	ER		
36	København H	Malmø	25	75 %	25 %	ER		
37	Malmø	Ystad	80	90 %	100 %	X11		
38	Hillerød	Helsingør	24,4	45 %	55 %	-	-	-
39	Tinglev	Sønderborg	41,2	24 %	76 %	ER	ER	
40	Kalundborg	Holbæk	43,5	24 %	76 %	ME		
41	Holbæk	Roskilde	35,8	30 %	70 %	ME		
42	Padborg	Tinglev	14,4	22 %	78 %	MR		

Kilde: DSB

5.3 Beregningsgang

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

Tabel 5.7 Variable og index

Variabel	Forklaring	Enhed	Tabel
E^P	Emission pr. person	[g/p]	-
E^E	Emission pr. el energiforbrug	[g/kWh]	el-emissioner
e^K	Emission pr. pladskm	[g/plkm]	Tabel 5.3
q	Energiforbrug pr. km	[kWh/km]	Tabel 5.5
K^P	Kapacitet i transportmidlet	[antal sæder]	Tabel 5.4 / Tabel 5.5
B	Belægningsprocent	[%]	-
D	Distance	[km]	Tabel 5.6
G	By, land eller motorvejsandel	[%]	Tabel 5.6
l	Emissionstype	CO ₂ , CO, HC, NO _x , SO ₂ , Partikler	-
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 beregnes over en følge af segmenter og at emissioner pr. pkm for dette transportarbejde er det grundlag, de andre enheder for emissioner beregnes på baggrund af.

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 segmentrækkefølge.

$$e_{g,l}^P(i, j) = \frac{\sum_{s \in \text{korteste vej } i \rightarrow j} e_{t(s),l}^K K_{t(s)} D_s G_{s,g}}{\sum_{s \in \text{korteste vej } i \rightarrow j} B_{s,t(s)} K_{t(s)} D_s}, \quad t \in \text{diesel togtype}$$

$$e_{g,l}^P(i, j) = \frac{\sum_{s \in \text{korteste vej } i \rightarrow j} E_l q_{t(s)}^K K_{t(s)} D_s G_{s,g}}{\sum_{s \in \text{korteste vej } i \rightarrow j} B_{s,t(s)} K_{t(s)} D_s}, \quad t \in \text{elektrisk togtype}$$

hvor togtypen, $t(s)$, afhænger af segmentet og angiver den typiske togtype for hvert segment. Dette er gengivet i Tabel 5.6. Har brugeren valgt regionaltog, køres der med et typisk regionaltog på strækningen med samme togtype hele vejen. Hvis brugeren har valgt Intercitytog eller lyntog, køres der såvidt muligt med typiske Intercity eller lyntogstype. Hvis der ikke kører Intercity eller lyntog på en del af strækningen vælges typiske regionaltog.

I avanceret indstilling benytter TEMA ikke den geografiske fordeling af belægningsgraderne og formlerne for almindelige tog bliver da (her gengivet for diesel):

$$e_{g,l}^P(i, j, t, D) = \frac{e_{t,l}^K G_g}{B_t}$$

For S-tog benyttes formlen:

$$e_l^P(i, j, t) = \frac{E_l^E q_t}{K_t^P B_t}, \quad t \in \text{Stog}$$

Bemærk, at eltog pr. definition forurener i landzone, dvs. $G_{s,land} = 100\%$, og $G_{s,by} = 0\%$.

Når i og j ligger midt på segmenter, beregner TEMA den forholdsmæssige del af start- og slutsegmenterne på ruten, dvs. D , ganges med den %-del af segmentet som strækningen fra segment-ende til i eller j udgør.

5.4 Litteratur

DSB (1999): *Dokumentation til TEMA*.

Banestyrelsen (1998): *Dokumentation til TEMA*.

Banestyrelsen (1997a): *Miljøberetning og Grønt regnskab*.

Banestyrelsen (1997b): *Kørevej på skinner, kort*.

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.

6 Færger til passagertransport

6.1 Oversigt og brugervariable

Færgetransporten er i konstant udvikling. Det betyder, at færger flyttes rundt mellem forskellige ruter. Især på ruterne Kalundborg-Århus og Sjællands Odde-Ebeltoft er der stor udskiftning og omrokering af tonnager i denne periode.

TEMA2000 er ændret på to områder på færgetransporten i forhold til TEMA2. For det første er færgerne fra TEMA2 (de fordefinerede færger) blevet opdateret, hvilket i høj grad vil sige, at de er blevet udskiftet med nye færger og ruter, som repræsenterer færgeruterne i Danmark på tidspunktet for rapportens udarbejdelse. For det andet er der tilføjet en mulighed for brugeren for at definere en vilkårlig færge på basis af nogle få ekstra informationer (de brugerdefinerbare færger).

De medtagne centrale færgeruter til TEMA2000 ses i Tabel 6.1 nedenfor. I forhold til TEMA2 er ruterne over Storebælt og Grenå-Hundested fjernet. Samtidig er ruterne til og fra Bornholm medtaget. Det er desuden valgt at indlægge ruten Sjællands Odde-Århus, som blev åbnet i slutningen af april 1999. På ruten, som drives af Mols-Linien, sejler en af de forhenværende Cat-Link færger under navnet Max Mols.

På Sjællands Odde-Ebeltoft sejler i dag to hurtige katamaranfærger, Mie og Maj Mols, som blev indsat i sommeren 1996. De konventionelle færger, Mette og Maren Mols, er fra januar 2000 overflyttet fra Odden-Ebeltoft til ruten Kalundborg-Århus. Den gamle færge, som sejlede på ruten, er i TEMA2000 erstattet af de nye Mette og Maren Mols.

Der er endvidere medtaget en række færgeruter til og fra de små øer. Disse 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 færgestørrelser i Danmark. De centrale færgeruter og færgeruterne til og fra de små øer er illustreret i Figur 6.1 - Figur 6.4.

Til sammen dækkede de valgte indlandsruter i 1998 63% af passagerne transporteret med færge i Danmark, hvis man ser bort fra ruterne over Storebælt. Ruterne anses således i rimelig grad at dække færgesfarten i Danmark.

Øvrige ændringer i forhold til TEMA2 er opdaterede emissionsfaktorer samt en opdatering af belægningsgrader. Disse er nærmere diskuteret i afsnit 6.2.

Tabel 6.1 Færger og -ruter i TEMA2000 og deres årlige transport i 1998

Rute	Færge	Passager- km på ruten, mio ¹⁾	Passa- gerer på ruten, 1000 ¹⁾	Passa- gerer på ruten i % af inden- landske ruter ⁵⁾
Ebeltoft - Sjællands Odde	Mie/Mai Mols	130,1	1.909	18%
Århus-Kalundborg	Mette/Maren Mols	128,1	1.439	13%
Århus- Sjællands Odde ²⁾	Max Mols	-	-	-
Rønne-Ystad	Povl Anker Villum Clausen ³⁾	50,8	800	-
København-Rønne	Jens Koefod	65,7	355	3%
Bøjden- Fynshav	Thor Sydfyen	3,2	232	2%
Små ø-færgeruter ⁴⁾	Små færger	31,2	2.864	27%
Total		409,1	6.799	63%

1) Kilde: Samfærdsel og turisme 1998:42. Bemærk at der ikke nødvendigvis kun blev sejlet med de angivne færger på ruterne.

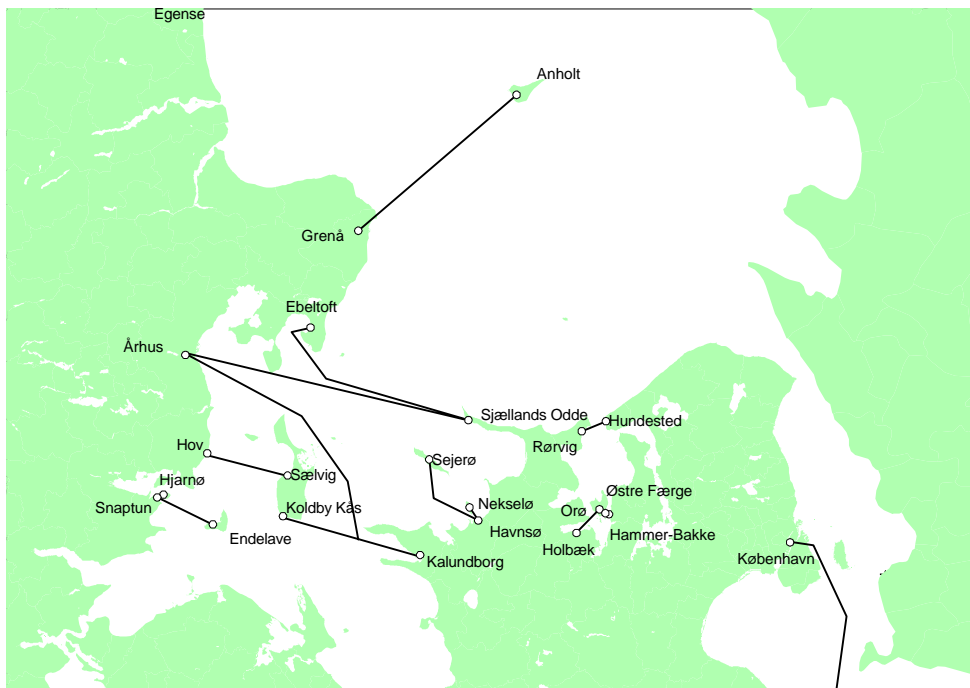
2) Ruten blev åbnet i april 1999. Max Mols er en tidligere Cat-Link færge.

3) Færgen forventes indsat april 2000.

4) Se de inkluderede ruter på Figur 6.1 - Figur 6.4 og data for disse i appendiks.

5) Eksklusiv Storebælt.

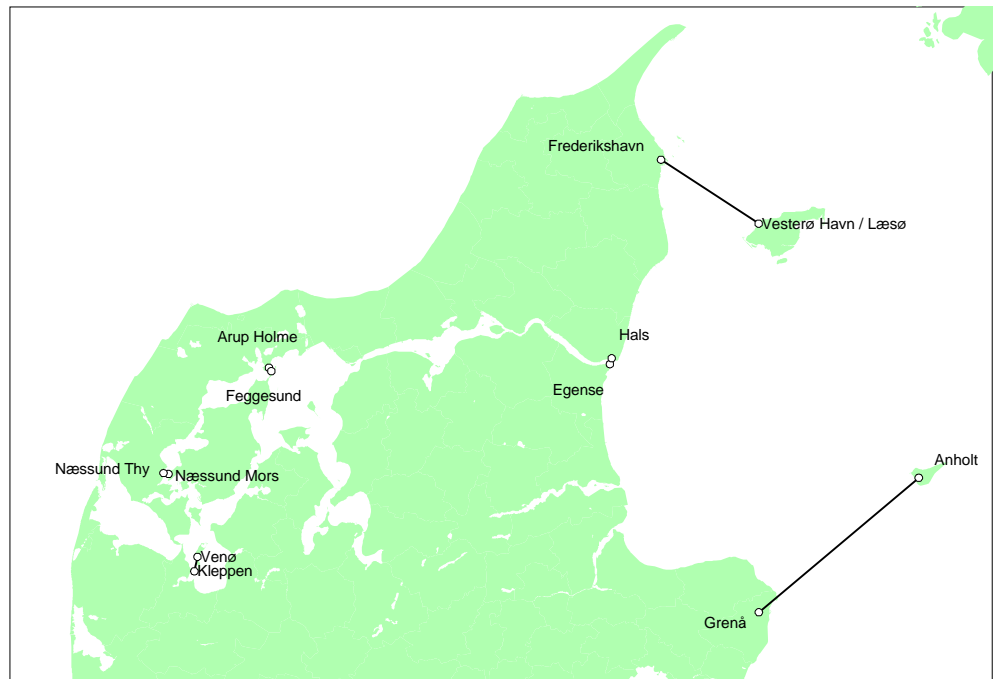
Figur 6.1 TEMA2000 færgeruter Østjylland-Sjælland



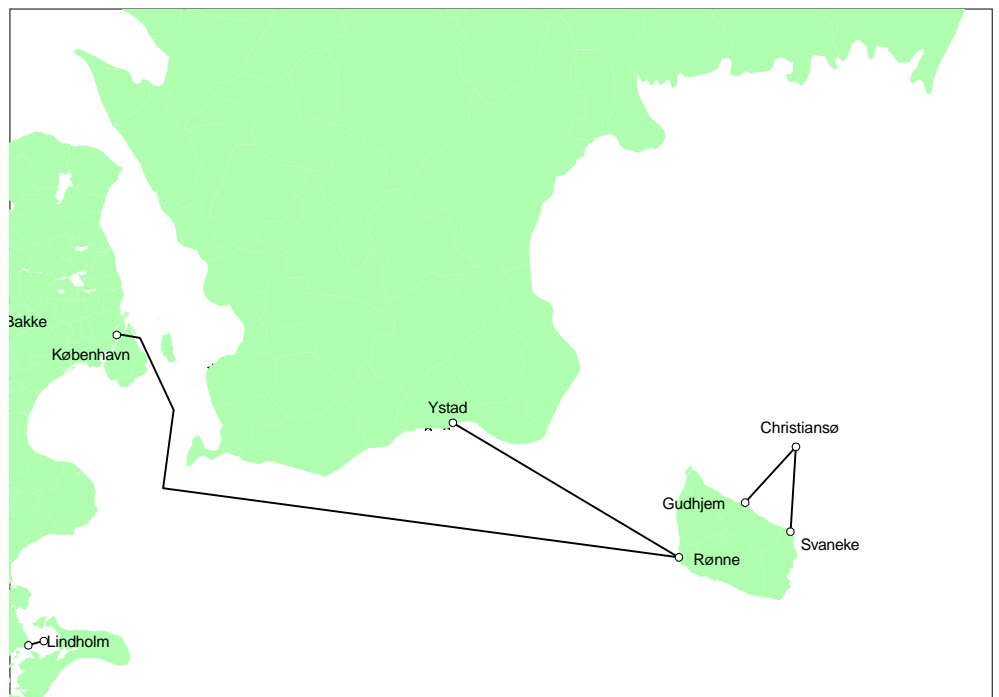
Figur 6.2 TEMA2000 færgeruter Fyn / Sønderjylland og i Smålandsfarvandet



Figur 6.3 TEMA2000 færgeruter i Nordjylland



Figur 6.4 TEMA2000 færgeruter til og fra Bornholm



Brugerparametrene for de fordefinerede færger er ikke ændret væsentligt i forhold til den gamle version af TEMA. De brugerspecificerede parametre for disse færger er således:

- Færgen/ruten,
- Ombordstigningsform, dvs. bil, bus eller landgangspassager,
- Evt. færgens belægning i antal biler, busser og landgangspassager,
- Evt. belægningen i bil eller bus.

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

Fastlæggelse af energiforbrug for færger er generelt forholdsvis enkelt, idet rederierne opgør energiforbruget på årsbasis, hvilket kan danne basis for beregning af energiforbrug pr. overfart. Emissioner bliver derimod normalt ikke målt, og derfor er talmaterialet langt mere sparsomt. Som hovedregel er der benyttet faktuelle data for færgernes olieforbrug.

For færgerne Villum Clausen, Thor Sydfyen og Sejerøfærgen, er der imidlertid indlagt energiforbrug beregnet vha. brugermodul i TEMA2000 på basis af passagerbilkapaciteten og oplyst sejlhastighed. Data for færgerne ses i appendiks.

Det bør i øvrigt nævnes, at mange af de mindre færger i Danmark sejler på relativ lav vanddybde (5 – 10 m), hvilket medfører en forøget fremdrivningsmodstand og dermed et større energiforbrug i forhold til sejlads på dybt vand. I Tabel 6.2 er vist den procentvise forøgelse af effektbehovet ved henholdsvis 5, 10 og 15 m vanddybde, hvoraf det tydeligt fremgår, at i området fra 10 m til 5 m

vanddybde sker der en betydelig forøgelse af energiforbruget. Dette forhold bevirker, at færgerne på lav vanddybde ofte reducerer farten for ikke at forbruge uforholdsvist meget ekstra olie til fremdrivning. Men selv med et sådant operationelt tiltag må det konstateres, at de mindre færger ofte har et stort energiforbrug pr. transporteret bilenhed pr. km (Appendiks 1, tabel 13.6). Den varierende vanddybde er også en medvirkende årsag til, at der for de anførte færger er en stor variation i energiforbruget pr. bil pr. km.

Med hensyn til det ekstra energiforbrug som følge af lav vanddybde skal der også henvises til bilagsrapporten "Beskrivelse af TEMA 2000 modellens skibstekniske beregningsgrundlag", side 39, fig. 45.

Tabel 6.2 Procentvis effektforøgelse på grund af sejlads på lav vanddybde

Færgestørrelse (personbilenheder)	5 m vanddybde	10 m vanddybde	15 m vanddybde
20	182	12	2
30	204	17	3
50	241	29	5
100	302	106	17

6.2.2 Emissioner

I TEMA2 blev emissionsberegningerne for færger baseret på målte emissioner fra færgen Kronprins Frederik, der sejlede fra Korsør til Nyborg. Disse emissionsfaktorer er erstattet af mere generelle faktorer baseret på målinger af motorer fra flere skibe. Det fremgår dog, at de opdaterede emissionsfaktorer ikke adskiller sig væsentligt fra de tidligere (se Tabel 6.3).

Der benyttes de samme emissionsfaktorer for store (over 100 personbiler) og små konventionelle færger på nær SO₂. For de store konventionelle færger oplyses det, at de typisk sejler på brændstof med et svovlindhold på 0,5%, hvilket er højere end antaget i TEMA2. Det skal dog nævnes, at der kan være store variationer i svovlprocenten for den leverede brændolie iflg. oplysning fra rederierne. Miljøstyrelsens Transportkontor oplyser, at små danske færger typisk sejler på mere svovlfattig olie, hvorfor modellen benytter et svovlindhold på 0,1% for disse færger. Det skal dog bemærkes, at det ikke er undersøgt, hvilken slags brændstof de enkelte små færger sejler på.

For hurtigfærger er der fremkommet nyere viden om emissionsfaktorer, som viser, at visse af de anvendte emissionsfaktorer i TEMA2 udgjorde et groft skøn for hurtigfærgerne. Inden for hurtigfærgerne er der igen forskel på emissionerne, alt efter hvilken motortype færgen er udstyret med. Der er først og fremmest væsentlig forskel på NO_x-, CO og HC-emissionerne fra gasturbiner og dieselmotorer. To af Mols-Liniens hurtigfærger, Mai og Mie Mols samt BornholmsTrafikkens nye hurtigfærge er udstyret med gasturbiner, mens Max Mols (den tidligere Cat-Link færge) har dieselmotorer.

Typisk sejler hurtigfærgerne på svovlfattigt brændstof, som dog kan variere lidt fra rederi til rederi. Det er i modellen antaget, at hurtigfærgerne sejler på dieselolie eller gasolie med et svovlindhold på 0,1%.

I Tabel 6.3 ses emissionskoefficienterne fra TEMA2 sammen med de nye gennemsnitlige emissionskoefficienter fra hurtigfærger fra de nyere kilder. Det fremgår, at de dieseldrevne hurtigfærger 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_x, hvilket altså er en markant ændring i forhold til TEMA2. Det skal understreges, at de motorspecifikke emissioner fra gasturbinedrevne hurtigfærger kan variere meget. Specielt vil NO_x-emissionerne kunne være væsentligt lavere end de angivne værdier, og der er fra flere forskellige fabrikanter rapporteret om NO_x-emissioner helt nede på 0,1 g/MJ.

Tabel 6.3 Emissionskoefficienter (g/MJ) fra forskellige brændstoffer og motortyper i TEMA2000 samt TEMA2

Emission	Konventionelle færger	Hurtigfærger, diesel	Hurtigfærger, gasturbiner	Kronprins Frederik, miljødiesel
Model	TEMA2000	TEMA2000	TEMA2000	TEMA2
CO ₂	74	74	74	75
CO	0,20	0,19	0,01	0,15
NO _x	1,5	1,3	0,39 ¹⁾	1,38
HC	0,061	0,058	0,034	0,07
SO ₂	0,25 ²⁾	0,049 ³⁾	0,049 ³⁾	0,049
Partikler	0,029	0,026	0,010	0,02

Kilder: Trafikministeriet (1995) *Nye færgetyper - Teknisk rapport*, Energistyrelsen: *Energistatistik 98*, Colin Sowman, *The Motor Ship: Turbines power up*, Lloyds Register of Shipping (1995): *Marine Exhaust Emissions Research Programme*, MAN B&W (1999): *Datablade for NO_x-emissioner*

1) Øvrige oplysninger om motor-specifikke emissionsværdier giver værdier på helt ned til 0,08 g/MJ.

2) Baseres på et svovlindhold på 0,5%. For de små (under 100 personbiler) konventionelle færger er anvendt svovlindhold på 0,1% svarende til 0,049 g/MJ.

3) Baseres på et svovlindhold på 0,1%.

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 manøvre-

ring 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 TEMA2000.

6.2.3 Belægningsgrader og personbilækvivalenter

Belægningsgraderne er, i det omfang det har været muligt, blevet opdateret med data fra Danmarks Statistik og rederierne. Der har dog igen været problemer med at få data fra visse af rederierne. Ti af de små færges er ikke omfattet af statistikken "Transport" fra Danmarks Statistik. I stedet er der indlagt belægningsgrader, som er gennemsnittet af de øvrige små færgeruter. Der er forholdsvis ensartede belægningsgrader på de små færges, så dette er en rimelig antagelse.

Belægningsgraderne danner baggrund for fordeling af emissioner og energiforbrug på transportmidler og passagerer. 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 forbrugene 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 TEMA2 blev fordelingen af energiforbrug og emissioner på trafikanter beregnet med samme personbilækvivalenter for hurtigfærges og konventionelle færges. Arealudnyttelsen dannede basis for fordelingen på transportmidler, mens en passager blev tildelt 1/50 af hvad en bus kunne rumme, altså 1/10 af en personbil.

For hurtigfærges er dette ændret, idet energiforbruget på disse færges er langt mere afhængigt af vægten af de køretøjer, der transporteres, end det er af arealudnyttelsen. Det er ikke aktuelt at benytte ækvivalenterne for lastbiler, da der ikke transporteres lastbiler på Max og Mie Mols, og det heller ikke forventes på Villum Clausen. Til gengæld er der mulighed for at transportere et lille antal busser på alle færges. Tabel 6.4 nedenfor viser de anvendte ækvivalenter.

Tabel 6.4 Personbilækvivalenter for færgernes kapacitet

	Konventionelle færger	Hurtigfærger
Gående ¹⁾	1/10	1/10
Personbil	1	1
Varebil	2	2
Bus	5	16
10 tons Lastbil	3	-
27 tons Lastbil	4	-
48 tons Lastbil	6	-

1) Ækvivalenten for gående er baseret på en kapacitet på 50 passagerer i busser, som antages at være det mest realistiske alternativ til at være gående ombord.

6.2.4 Brugedefinerede færger

Udover de færger der i dag sejler på de ruter der er med i TEMA2000 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 TEMA2000 og dokumenteret i bilagsrapport.

Her skal blot nævnes, at delmodellen bygger på en statistisk analyse af færger. På baggrund af hvilken 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 TEMA2000.

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

6.3 Beregningsformler

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

$$q_t = q_{Fæрге} * \frac{N_t C_t}{\sum_t N_t C_t}$$

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

Tilsvarende vil emissionen per km være givet ved nedenstående formel:

$$e_t = I * q_t$$

hvor I er den specifikke emissionsfaktor i g/MJ.

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

6.4 Litteratur

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

Miljøstyrelsen (1997): *Emissioner fra skibe i danske farvande 1995-1996*, DK-teknik for Miljøstyrelsen.

Miljøstyrelsen (1998): *Reduktion af miljøbelastning ved flytning af godstransport fra land til sø og Belysning af de miljømæssige fordele ved coastertransport frem for landtransport*. DK-teknik for Miljøstyrelsen

SeaPress (1998): *Dansk illustreret skibsliste*

Trafikministeriet (1995): *Nye færgetyper - Teknisk rapport*.

Transportrådet (1999): *Godstransportkæders miljø- og omkostningsforhold*

7 Fly

Beregning af energiforbrug og emissioner fra fly er på mange måder mere kompliceret end for de andre transportformer, blandt andet fordi transporten så udpræget foregår i tre dimensioner. På den anden side er der kun et begrænset antal aktuelle ture, og et begrænset antal flytyper.

7.1 Oversigt og brugervariable

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

Brugeren kan vælge følgende:

- destination
- flytype
- passagerbelægning.

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

Odense og Vojens er ikke medtaget som destinationer, fordi der pr. 1.4.99 ikke længere er regelmæssig beflyvning af disse lufthavne.

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

Den følgende tabel viser destinationerne, deres afstand fra København/Kastrup og passagertallene i 1997 og 1998.

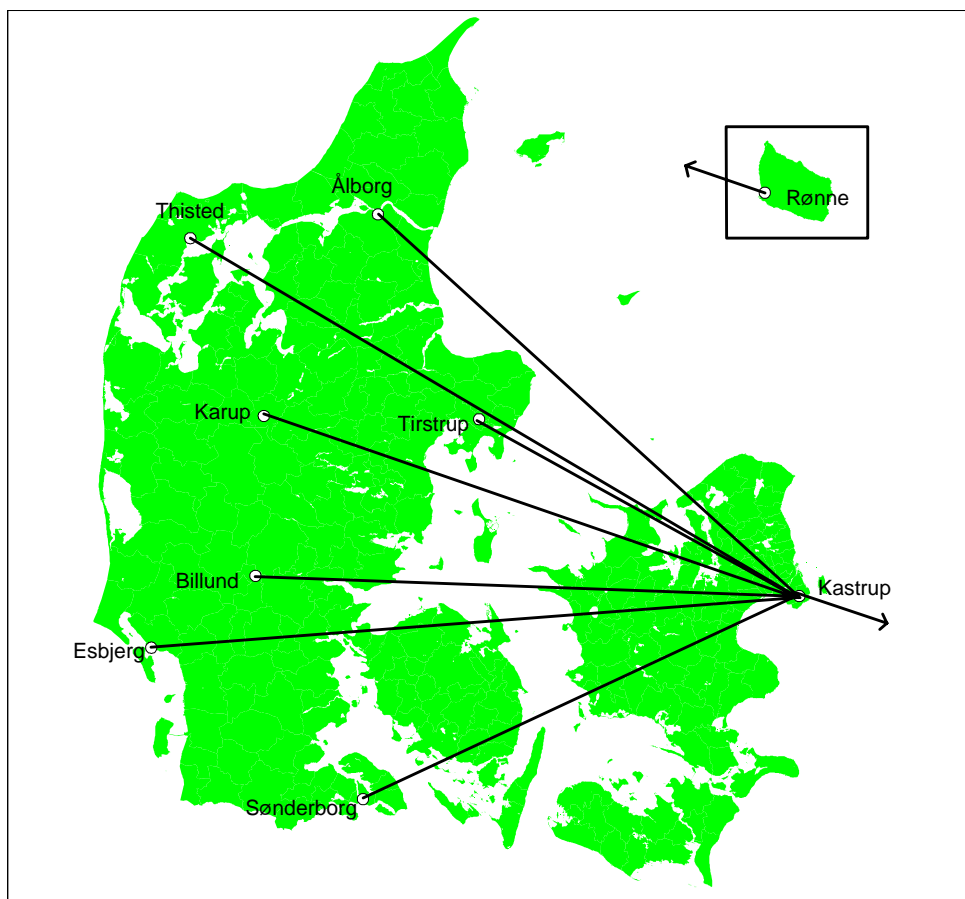
Tabel 7.1. Afstande og passagertal på danske indenrigsruter.

Destination	Afstand fra København	1997: x1000 passagerer	1998: x1000 passagerer	Ændring 1997->1998
Aalborg	220 km	4562	4641	+2%
Aarhus	123 km	5590	4460	÷20%
Billund	188 km	4861	3824	÷21%
Esbjerg	227 km	2052	1357	÷34%
Karup	206 km	3299	3176	÷4%
Rønne	175 km	2217	2250	+2%
Sønderborg	163 km	1837	1702	÷7%
Thisted	268 km	693	572	÷18%

Kilde til passagertallene: SLV's hjemmeside, juni 1999.

Afstandene er luftlinjeafstande. De aktuelt fløjne distancer er 7-15% længere.

Figur 7.1. Dansk indenrigsrutenet.



Den følgende tabel viser de aktuelle passagerbelægninger på de forekommende kombinationer af destination og flytype. I TEMA2000 er default-belægningerne sat til den værdi, der er oplyst for de fly, der flyver den pågældende rute.

Tabel 7.2. Passagerbelægning og flytyper på danske indenrigsruter.

Flytype	B737 -500	F50	B737 -600	DC-9 -41	MD- 80 ²⁾	F50	Q400	3) Atr 42	3) Jet- stream
Operatør	MAE	MAE	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS	Cim	Sun
Sæder: aktuelt	104	56	116	105-122	130-162	40-50	-	48	18
- : i TEMA	104	50	116	114	146	50	72	-	-
Aalborg	-	-	-	-	?	?	>>	69%	-
Aarhus	-	-	-	-	?	?	>>	57%	-
Billund	53% ⁴⁾	53% ⁴⁾	-	-	-	-	-	-	-
Esbjerg	?	53%	-	-	-	-	-	-	-
Karup ³⁾	-	-	-	-	(63%)	-	-	60%	-
Rønne	61½%	61½%	-	-	-	-	-	-	-
Sønderborg	-	-	-	-	-	-	-	57%	-
Thisted	-	-	-	-	-	-	-	-	65%

Noter:

- 1) Beflyvning af Karup standset af SAS marts 1999, hvorefter Cimber Air overtog koncessionen.
- 2) MD-80 er en fællesbetegnelse for typerne MD-81, -82 og -83, som er samme konstruktion men med forskellige sædeantal.
- 3) Disse flytyper er ikke medtaget i TEMA-modellen på grund af manglende data.
- 4) Maersk angiver 53% til Billund for både Boeing 737 og Fokker 50 som gennemsnitlig belægning for de to flytyper.

? angiver, at belægningen for ruten ikke er oplyst.

- angiver, at ruten ikke beflyves med pågældende flytype.

() Tal i parentes gælder en rute/flytype, der er stoppet efter 1. december 1999.

>> angiver, at flytypen forventes indsat på den pågældende rute.

De udfyldte felter svarer til den eller de flytyper, der blev brugt på de pågældende destinationer i 1999. De opdaterede belægningsgrader er oplyst af selskaberne for de enkelte destinationer, men ikke fordelt på flytyper.

Brugeren kan vælge mellem samtlige kombinationer, bortset fra flytyperne ATR-42 og Jetstream, der ikke indgår i TEMA.

7.1.1 Nyt i TEMA2000

Til brug for forrige udgave af TEMA blev der foretaget beregninger af energiforbrug og emissioner for indenrigsruterne med flytyperne DC-9-41, B737, MD-80 og Fokker 50.

I nærværende udgave af TEMA er der tale om en udvidelse med flytyperne B737-600 (Boeing 737-600) og Q-400 (De Havilland Canada DHC-8-400; Q for "quiet").

For de nye fly er beregningerne foretaget på samme måde.

To andre flytyper bruges på danske indenrigsruter: ATR 42 benyttes af Cimber Air til flere destinationer, og BAe Jetstream bruges af Sun-Air til Thisted-ruten.

De tilgængelige data om disse flytyper er så sparsomme, at det ikke har været muligt at beregne deres emissioner.

7.2 Analyse

7.2.1 Grunddata for fly-emissioner

Emissionskravene og målemetoderne er detaljeret beskrevet i ICAO's Annex 16, Volume 2, "Aircraft Engine Emission Certification". Med nogle års mellemrum justeres kravene. For tiden er det især grænserne for NO_x-emissioner, der forsøges skærpet. Jetmotorer med en nominel trykkraft på over 26,7 kN (ca. 2½ ton tryk - en DC-9 motor yder ca. 7 ton) skal ifølge dansk lov opfylde kravene for at måtte sidde på et dansk fly. Det er fastsat i Bestemmelser for Luftfart nr. 1-25, "Bestemmelser om begrænsning af forurening fra luftfartøjer".

En godkendt jetmotor er udstyret med et certifikationsark, hvor målebetingelserne og måleresultaterne er anført.

Emissionstyperne NO_x, 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. Resultaterne af disse prøver findes udtrykt som gram pr. kg forbrugt brændstof.

Disse data er samlet i ICAO's Emission Data Bank og er som sådan offentligt tilgængelige. Det er disse data, som er grundlaget for TEMA2000. Partikelemissionerne i emissionsdatabanken er opgivet som enhedsløse "røgtal" - værdier som desværre ikke kan omsættes til specifikke partikelemissionstal. Partikelemissionerne fra fly er derfor ikke medtaget i TEMA2000.

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

Der er ikke en tilsvarende godkendelsesnorm for turbinedrevne propelfly. Derfor er der ikke almindeligt tilgængelige emissionsdata for propelfly. I forbindelse med udvikling af den tidligere TEMA-version blev der fremskaffet detaljerede data for Fokker 50-motorer, men til beregninger for Dash-8-400, som er et nyt turbopropfly, har det været nødvendigt at tillemppe data fra Fokker-motoren. Emissionsværdier fra Dash-8 er derfor behæftet med betydelig usikkerhed.

7.2.2 Forureningskilder og -segmenter

I forbindelse med flyvninger kan energiforbrug inddeles i følgende kilder:

- Flymotorer
- APU (flyets hjælpemaskineenhed)
- Tankning og andet fordampningstab

Der er foretaget enkeltstående opgørelser af forholdene ved start og kørsel med hjælpemaskineriet (APU = Auxiliary Power Unit), men kun for langdistancefly, og da der ikke umiddelbart er grundlag for at bestemme tilsvarende værdier for de lidt mindre fly, der er tale om til dansk indenrigsflyvning, er dette udeladt af de samlede værdier. Det skønnes dog, at energiforbruget er i størrelsesordenen 1% af det samlede forbrug, og emissionerne i størrelsesordenen 2-5% af de samlede emissioner ved en indenrigsflyvning.

Emissioner af kulbrinter ved tankning og fordampning i øvrigt medregnes ikke. Mængden skønnes at være ubetydelig i relation til turens samlede emissioner, men kan godt udgøre en betydelig andel af på-jorden-emissionerne.

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

- Motorstart (start-up).
- Kørsel til startposition (taxi out). 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 reduceret 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 over 27.000 fod stigning med omkring $M_{0,70}$ (0,7 x lydens hastighed, eller ca. 800 km/t) op til marsch-højden (jetfly); dette segment er ikke relevant for dansk indenrigsflyvning, fordi flyene ikke når at komme så højt op;
 - stigning med 300 - 400 km/t 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). Hastighedsprofilet er omtrent det 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). Inklusiv kørsel til startposition før start regnes der med i alt 15 minutters kørsel inkl. stop undervejs. Motorindstilling svarer næsten til tomgang.

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

7.2.3 Forudsætninger for beregning af brændstofforbrug og emissioner

Foruden brugervariable, flytype og destination, er der en række faktorer, som har indflydelse på brændstofforbruget og emissionerne. Til beregningerne er gjort følgende forudsætninger og overvejelser:

Den aktuelle flyvedistance (med omveje som følge af ud- og indflyvningsruter samt eventuelle rute-omveje) er i TEMA bestemt ud fra luftrumsstrukturen. Fly starter i en retning, der især er bestemt af vindens retning og styrke, men også andre forhold, for eksempel støjhensyn, spiller ind. Hvilken retning flyets destination ligger i, får sjældent indflydelse på startretningen. Der flyves altså et lille stykke i startbanens retning, før flyet har retning mod destinationen. For konkrete flyvninger er der ofte afvigelser på 10-25%, mest ved korte ruter som de danske indenrigsruter.

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 stigning og nedgang, og kun et kort stykke vandret flyvning.

Flyets startvægt har en vis betydning under stigning, relativt lille betydning under marchflyvning og næsten ingen betydning under nedgang. I TEMA er der taget udgangspunkt i aktuelt opgivne startvægte fra luftfartsselskaberne suppleret med flytypernes operationelle data.

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 er taget udgangspunkt i hvad der er skønnet at være typiske forhold.

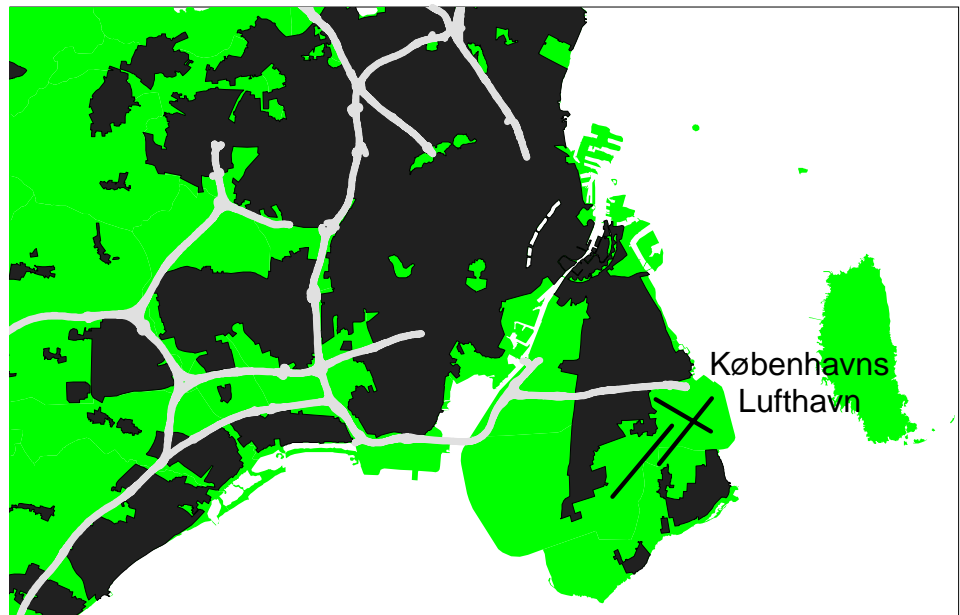
7.2.4 Fordeling af emissioner på land og by

En ny funktionalitet i TEMA2000 i forhold til Tema2 er muligheden for at opgøre emissionerne i byzone og landzone for sig. For flyvninger er det ikke umiddelbart indlysende, hvordan denne opdeling bedst foretages, men en nærmere analyse viser, at det er mest rimeligt at betragte alle emissioner som forekommende i *landzone*, og sådan fungerer programmet også.

Følgende betragtninger indgår i denne vurdering:

- Den luftbårne del af flyvningen foregår så godt som udelukkende med en afstand til enhver bebyggelse som er stor i forhold til landzonebebyggelsernes afstand til vejene
- På-jorden-emissionerne forekommer i lufthavnene, som alle ligger udenfor 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). De fleste andre indenrigslufthavne ligger mere isoleret fra bymæssig bebyggelse end Kastrup og Aalborg.



Flyveveje til og fra lufthavne er af støjensyn 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.

Fly-emissionerne influerer i det store og hele ikke på byrummenes luftkvalitet. På den baggrund er det valgt at lade alle flyemissioner gælde som forekommende i landzone.

7.2.5 Metodevalg

Som det fremgår, er det valgt at bruge samme beregningsmetode til TEMA2000 som til forrige udgave af TEMA.

I forbindelse med udviklingen af det fælleseuropæiske emissionsmodelkompleks MEET er der også udviklet en model til flyemissioner. Metoden er udviklet ud fra ATEMIS og giver mulighed for at beregne emissioner og energiforbrug ud fra flytype og afstand alene - modellen antager selv en sandsynlig flyveprofil. Umiddelbart er dette tilfredsstillende i forhold til TEMA's krav, men det har desværre vist sig at modellen ikke er gyldig for de ret korte flyveafstande, der er i dansk indenrigsflyvning.

I 1999 er der kommet en ny version af Corinair. Metoden har ikke umiddelbart mulighed for at fastsætte forudsætninger detaljeret nok til brug for TEMA og har desuden ikke været dokumenteret tidnok i forhold til udviklingen af TEMA2000. De foreløbige regneeksempler, der foreligger, er brugt til sammenlignende kvalitetskontrol, og den har vist, at modellen ikke er egnet til beregning af så korte flyture som det danske indenrigsnet består af.

Af de modeller der er analyseret i forbindelse med TEMA2000, er ATEMIS den mest veldokumenterede, idet den opfylder TEMA's krav til ind- og uddata og giver konsistente resultater. Denne model er derfor valgt til beregninger af energiforbrug og emissioner i såvel TEMA2 som TEMA2000.

7.3 Metodebeskrivelse

For flyenes emissioner er TEMA baseret på kalkulationer med et computersimulationsprogram, ATEMIS, der kan beregne brændstofforbrug samt emissioner af HC, CO og NO_x på basis af brugerspecificerede oplysninger om flyveprofil (stigning, flyvehøjde og nedgang), hastighed og flytype. SO₂ samt CO₂ er beregnet ud fra energiforbruget samt oplysninger om svovlindholdet og den ækvivalente CO₂-mængde i jetfuel. Partikelemissionerne beregnes ikke af programmet. Programmet er udviklet som et eksamensprojekt af en østrigsk ingeniør, Richard Feller, der i dag er ansat ved Wien's lufthavn. Det er bygget op omkring de komplicerede sammenhænge, der er skitseret ovenfor, og brugen af det kræver derfor en del detailviden omkring flyvning. Selve beregningsproceduren er derfor udført af Richard Feller på baggrund af ind-data om flytyper, flyveprofiler, aktuelt brændstofforbrug m.v. indsamlet af COWI.

Herunder er vist et eksemplet er til illustration af størrelsesforhold ved en udvalgt flyvning. De angivne værdier svarer ikke fuldstændigt overens med de benyttede beregningsforudsætninger. F.eks. er der forudsat 15 min. kørsel (taxiing) i beregningerne, hvor der er regnet med 10 minutter i det viste eksempel..

Tabel 7.3. Eksempel på flyveprofil.

Airport from:	Copenhagen	Aircraft:	MD-82			
Airport to:	Aalborg	Engines:	two JT8D-219			
		Takeoff weight:	62 tonnes			
		Seats: 156		Occ.rate: 65.8%		
Flight phase	Power setting	Time (min.)	Fuel flow ¹⁾ (kg/sec)	Altit.(1) (ft)	Altit.(2) (ft)	Distance NM
Take-Off	100%	1.00	1.292	0	1,500	2
Climb 1	100%	0.35	1.286	1,500	3,000	1
Climb 2	72%	6.00	0.926	3,000	20,000	32
Cruise	27%	10.00	0.348	20,000	20,000	30
Descent	6%	7.50	0.083	20,000	3,000	43
Approach	33%	4.00	0.425	3,000	0	17
Taxiing	14%	10.00	0.179	0	0	4
Total flight		37.35				129

Brændstofforbrug samt emissioner er beregnet uden for TEMA af ATEMIS simulationsprogrammet for de 70 kombinationsmuligheder, som brugeren har mulighed for at specificere. Emissioner pr. transportmiddelkilometer og personkilometer beregnes ligesom for de øvrige transportmidler ved at dividere de totale emissioner med afstanden og med antallet af passagerer.

Afslutningsvist gives en kort beskrivelse af beregningsproceduren i ATEMIS-programmet. En mere uddybende dokumentation findes i et baggrundsnotat⁸.

Fremgangsmåden i ATEMIS er baseret på at beregne de øjeblikkelige værdier for brændstofforbrug og emissioner pr. sekund på ethvert tidspunkt under hele flyveturen, hvorefter de samlede værdier beregnes ved integration (addition) over tiden. Emissionerne af HC, CO og NO_x beregnes via brændstofforbruget ud fra emissionsfaktorer, der er opgjort som gram HC, CO eller NO_x pr. kilogram jetfuel.

Flyenes partikelemissioner beregnes ikke, da der ikke foretages standardiserede målinger af motorernes partikeludslip. I TEMA-modellens resultatark for flyene

⁸ Richard Feller: 'ATEMIS Air Traffic Emission Simulation - carried out on behalf of COWIconsult Consulting Engineers and Planners', 1995.

vil partikelemissioner derfor være sat lig nul, hvilket dog naturligvis ikke er helt korrekt.

Emissionsfaktorerne (g/kg jetfuel) såvel som brændstofforbruget (kg jetfuel pr. sekund) afhænger blandt andet af motorbelastningen. For de enkelte flytyper er der foretaget målinger af emissionsfaktorer og brændstofforbrug ved fire forskellige motorbelastninger under standardiserede betingelser. Disse målinger er tilgængelige i ICAO's Engine Exhaust Emission Databank. Nedenfor er illustreret værdierne for MD82 med JT8D-219 motorer (værdier er pr. motor):

Tabel 7.4 Eksempel på emissionsdata fra ICAO's EEE database.

Ydelse [%]	Fuelflow [kg/s]	HC [g/kg]	CO [g/kg]	NO _x [g/kg]
100%	1,354	0,27	0,73	27,0
85%	1,085	0,42	1,2	20,8
30%	0,3817	1,59	4,07	9,13
7%	0,1344	3,48	12,63	3,6

Det ses, at emissionerne pr. kg forbrugt jetfuel aftager med motorbelastningen for HC og CO, mens den er stigende for NO_x. For NO_x afhænger emissionsfaktoren endvidere af lufttemperaturen og dermed af højden, hvilket der er korigeret for i ATEMIS-programmet.

Emissionerne af SO₂ beregnes direkte ud fra brændstofforbruget under forudsætning af et svovlindhold på 0,01% (vægt), hvilket medfører emissioner på 0,02 g SO₂ pr. kg jetfuel. For CO₂-emissionerne er der forudsat en emissionsfaktor på 3,132 kg pr. kg brændstof.

De fire motorbelastninger er det typiske under forskellige flyvefaser:

100% ≈ take-off, 70% ≈ stigning, 30% ≈ cruise, 7% ≈ nedstigning.

Den nøjagtige motorbelastning på et givet tidspunkt afhænger imidlertid på kompliceret vis af flyveprofilen, startmassen samt motortekniske faktorer. En af brugeren valgt passagerbelægning har ikke indflydelse på de beregnede samlede energiforbrug og emissioner, men kun på de passagerspecifikke forbrugs- og emissionstal. I ATEMIS-programmet udtrykkes brændstofforbruget som en funktion af den øjeblikkelige hastighed i forhold til lyden, dvs. Mach-tallet (M), flyvehøjde (h) og motorbelastning (ps).

Sammenhængen fra M , h og ps til brændstofforbruget pr. sekund (bf) er i ATEMIS-programmet approksimeret ved et Taylor-polynomium, hvor para-

metrene er kalibreret separat for hver flytype i overensstemmelse med oplysningerne om flyveprofiler for de enkelte ruter.

7.4 Beregningsformler

De samlede emissioner af hver forureningskomponent kan derefter beregnes ved at summere over tiden, t , fra flyvningens start til slut. Formelt kan de samlede emissioner for flyvningen beregnes som:

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

hvor

N = antal motorer

bf = det aktuelle brændstofforbrug pr. sekund pr. motor

e_i = emissionsfaktoren for hhv. HC, CO, NO_x

M = den aktuelle hastighed, angivet som Mach-tallet

h = den aktuelle flyvehøjde

ps = motorbelastningen i % i f.t. fuld belastning

Indekset i er hhv. HC, CO, NO_x, mens t er tiden, der løber fra start til slut af flyveturen, incl. taxitid i afgang- og ankomstlufthavn. Partikelemissionerne beregnes ikke af programmet.

8 Varebiler

Kategorien varebiler indeholder

- Kassevogne
- Minibusser
- Autocampere

Alle under 3,5 t.

8.1 Oversigt og brugervariable

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;
- Kørselsfordeling på by, landevej og motorvej;
- Den gennemsnitlige rejsehastighed inden for hver af disse kategorier;
- Motorslitage (kilometerstand);
- Antal koldstarter;
- Udetemperatur;
- Belægning, dvs. bilens last.

Sidstnævnte indgår kun beregningen i af resultaterne pr. tonkilometer, og altså ikke i beregningerne af den enkelte varebils emissioner og energiforbrug.

Ligesom for personbiler beregner TEMA2000 energiforbrug og emissioner for varebiler mellem 666 destinationer i Danmark. Hvis der vælges udgangspunkt (fra) og destination (til), beregner programmet selv afstanden og kørselsfordeling på by, land og motorvej⁹. Derudover kan brugeren selv specificere afstande, fordeling på forskellige vejtyper og rejsehastigheder.

⁹ Der henvises til særskilt afsnit om vejafstande i kapitlet "Øvrige data" samt til kapitlet om personbiler for en mere udførlig beskrivelse.

Godkendelsesnorm

Normer for varebilers emission er relateret til typegodkendelsen. Disse normer er løbende blevet skærpet, hvilket bevirker, at nyere biler generelt har lavere emissionsfaktorer end ældre.

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

- Pre EURO
- EURO I
- EURO II
- EURO III
- EURO IV

Tabel 8.1 Normer for benzin varebilers emissioner, g/km

	I kraft	CO	HC	NO _x
1250-1700 kg				
EURO I	1-10-94	6.36	0.92	0.75
EURO II	1-10-98	4.92	0.39	0.32
EURO III	1-01-02	4.17	0.25	0.18
EURO IV	1-01-07	1.81	0.13	0.10
over 1700 kg				
EURO I	1-10-94	8.49	1.14	0.91
EURO II	1-10-98	6.15	0.46	0.32
EURO III	1-01-02	5.22	0.29	0.21
EURO IV	1-01-07	2.27	0.16	0.11

Note: Kørecyklus for godkendelse ændret fra EURO III. For EURO I og EURO II er værdierne omregnet til den nye kørecyklus. Værdierne for HC og NO_x er i de fleste tilfælde beregnet ud fra en skønnet fordeling, da der i de fleste tilfælde kun angives normer for HC + NO_x

Tabel 8.2 Normer for diesel varebilers emissioner, g/km

	I kraft	CO	HC	NO _x	Partikler
1250-1700 kg					
EURO I	1-10-94	5.48	0.280	1.13	0.19
EURO II	1-10-98	1.5375	0.238	0.952	0.12
EURO III	1-01-02	0.8	0.65		0.07
EURO IV	1-01-07	0.63	0.33		0.04
over 1700 kg					
EURO I	1-10-94	7.31	0.34	1.37	0.25
EURO II	1-10-98	1.845	0.2856	1.1424	0.17
EURO III	1-01-02	0.95	0.78		0.1
EURO IV	1-01-07	0.74	0.39		0.06

Note: Kørecyklus for godkendelse ændret fra EURO III. For EURO I og EURO II er værdierne omregnet til den nye kørecyklus. Værdierne for HC og NO_x er i de fleste tilfælde beregnet ud fra en skønnet fordeling, da der i de fleste tilfælde kun angives normer for HC + NO_x

Tabel 8.3 Anslået antal varebiler under de forskellige normer 1/1-2000

Norm	Fordeling af varebiler
Pre EURO	50%
1 - 4 år gl. (EURO I)	36%
0 - 1 1/4 år gl. (EURO II)	13%
I alt (ultimo 1998)	309.264

Note: Antallene i tabellen er skønnet ud fra aldersfordelingen i 1997

Kilde: Varebilundersøgelsen, Statistiske Efterretninger 1998:47, 1999:3, Statistisk Årbog og egne beregninger

Køremønstre

Afstanden er opdelt på vejtyperne;

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

Til hver vejtype hører et køremønster med en gennemsnitlig rejsehastighed. Som default er den gennemsnitlige hastighed for de tre vejtyper sat til:

Tabel 8.4 Default rejsehastigheder for varebiler

	By	Land
Motorvej	110	110
Øvrige veje	30	70

Køremønsteret er karakteriseret ved en gennemsnitshastighed, der er resultatet af den variable kørehastighed og antal stop.

Belægning

Brugeren kan desuden vælge last. Belægningen har ikke indflydelse på de beregnede samlede energiforbrug og emissioner, kun på de belægningsspecifikke forbrugs- og emissionstal. De specificerede varebiler har en default lastevne på 1 ton og en default belægning på 250 kg¹⁰.

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.

Udetemperatur

Udetemperaturen har betydning for, hvor stor effekt der er af koldstarten. Derimod indgår temperaturen ikke i beregningen af emissionerne fra varm motor.

¹⁰ Varebilernes belægning er skønnet ud fra en sammenstilling af varebilernes transportarbejde og trafikarbejde, samt oplysninger om hvor stor en andel af varebilerne der udfører godstransport (af Kaj Jørgensen). Oplysningerne om trafikarbejdet stammer fra Martin Thelle, Energistyrelsen (15.07.99)

Udetemperaturen er default sat til 8,5 °C, hvilket er den gennemsnitlige temperatur i Danmark, vægtet med antallet af ture på forskellige tider af døgnet. Brugeren kan ændre udetemperaturen for at afspejle de konkrete forhold under en given tur.

Slitage

Ligesom for personbiler medregnes alene slitage for benzinvarebiler med katalysator.

Effekten af slitage skyldes en forringet effekt af katalysator og/eller den automatiske regulering i takt med at bilen ældes (kilometerstand). TEMA2000 beregner en default slitage der svarer til den forventede kilometerstand for de forskellige normer per 1/1-2000. Varebilers årskørsel, som er beregnet på baggrund af varebilundersøgelsen (Statistiske Efterretninger 1998:47), er gengivet i følgende tabel.

Tabel 8.5 Varebilers årskørsel efter varebilens alder

Bilens alder	Km per år	Km stand
0-1 år	29,808	14,904
1 - 2 år	27,734	42,638
2 - 3 år	25,298	67,936
3 - 4 år	24,368	92,304
4 - 5 år	21,209	113,513
5 - 6 år	19,855	133,368
6 - 7 år	20,970	154,338
7 - 8 år	19,092	173,430
8 - 9 år	17,711	191,141
9 - 10 år	15,655	206,796

Kilometerstanden for biler der er mellem 0 og 1 år gamle beregnes til halvdelen af årskørslen. Det skyldes, at gennemsnitsalderen for 0 til 1 årige biler antages at være ½ år.

Der er opstillet en simpel skrotnings model til beregning af antallet af biler efter alder. De grundlæggende forudsætninger bag modellen er et konstant antal nyregistreringer på 28.500 per år samt følgende skrotrater.

Tabel 8.6 Anvendte skrotrater

Bilens alder	Andel af biler der skrottes
0-5 år	0.30%
5-6 år	1%
6-7 år	2%
7-8 år	5%
8-9 år	10%
9-10 år	15%
10-11 år	20%
11-12 år	30%
over 12 år	40%

Skrotningsraterne er beregnet således, at varebilparkens størrelse på langt sigt er uændret på 309.264 biler.

På baggrund af denne model og årskørslen fordelt på aldersgrupper (vist i Tabel 3.5) er der beregnet følgende forventede kilometerstand.

Tabel 8.7 Forventet kilometerstand fordelt på godkendelsesnorm

Norm	Årstal						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
EURO IV				14,904	28,750	41,773	54,349
EURO III				70,893	94,317	115,898	136,381
EURO II	18,621	32,349	45,199	146,022	165,253	182,679	199,368
EURO I	80,609	103,800	125,377	229,352	238,779	249,269	261,531
PreEURO	205,436	212,539	220,504				

Note: Tallene gælder primo året. Dvs. kolonnen "2000" angiver den forventede kilometerstand per 1/1 2000.

Diesel type

Endelig kan brugeren specificere, hvilken type diesel der anvendes. Default er sat til "lavsvovl" diesel, men da der stadig er let diesel på markedet, er der også mulighed for at vælge denne type.

8.2 Analyse

I TEMA2 er emissionsfunktionerne baseret på Copert. Der foreligger nu et bedre datagrundlag til beregning af emissionsfunktioner for varebiler. Der er to tilgængelige datakilder:

- MEET (der svarer til en revideret version af Copert)
- Handbuch

I TEMA2000 version er det valgt af basere emissionsfunktionerne på den tyske "Handbuch". Det skyldes (som for personbiler), at de antagelser, der ligger bag emissionsfunktionerne i MEET (andengradspolynomier), ikke er tilstrækkeligt fleksible til at give et korrekt billede af emissionerne ved høje hastigheder.

Beregningerne for EURO I varebiler er baseret på faktiske emissionsmålinger. Emissioner fra EURO II - III biler er baseret på skøn over reduktion fra EURO I biler til den relevante godkendelsesnorm.

Emissionerne deles op i:

- varme emissioner
- koldstarttillæg
- fordampningstab

8.2.1 Varme emissioner

De varme emissionsfaktorer beregnes som:

$$e = e(V) * S(D) * F(Dieselttype)$$

hvor e er den samlede emissionsfaktor per km, $e(V)$ er emissionsfaktoren beregnet ud fra køremønster, $S(D)$ er en korrektionsfaktor for slitage og $F(Dieselttype)$ er en korrektionsfaktor for dieseltypen. Hvis der vælges lavsvovl diesel, er denne korrektionsfaktor 1. Korrektionsfaktoren korrigerer i hovedsagen SO_2 emissionerne.

Korrektion for slitage medregnes kun for katalysatorbiler. Den væsentligste årsag til, at slitage forøger emissionerne er, at katalysatoren nedbrydes, eller at den automatiske regulering er defekt. I øvrigt henvises til diskussionen af slitage under personbiler.

Hastighed

Køremønsteret er næst efter godkendelsesnormerne den mest betydende faktor til beregning af emissionerne.

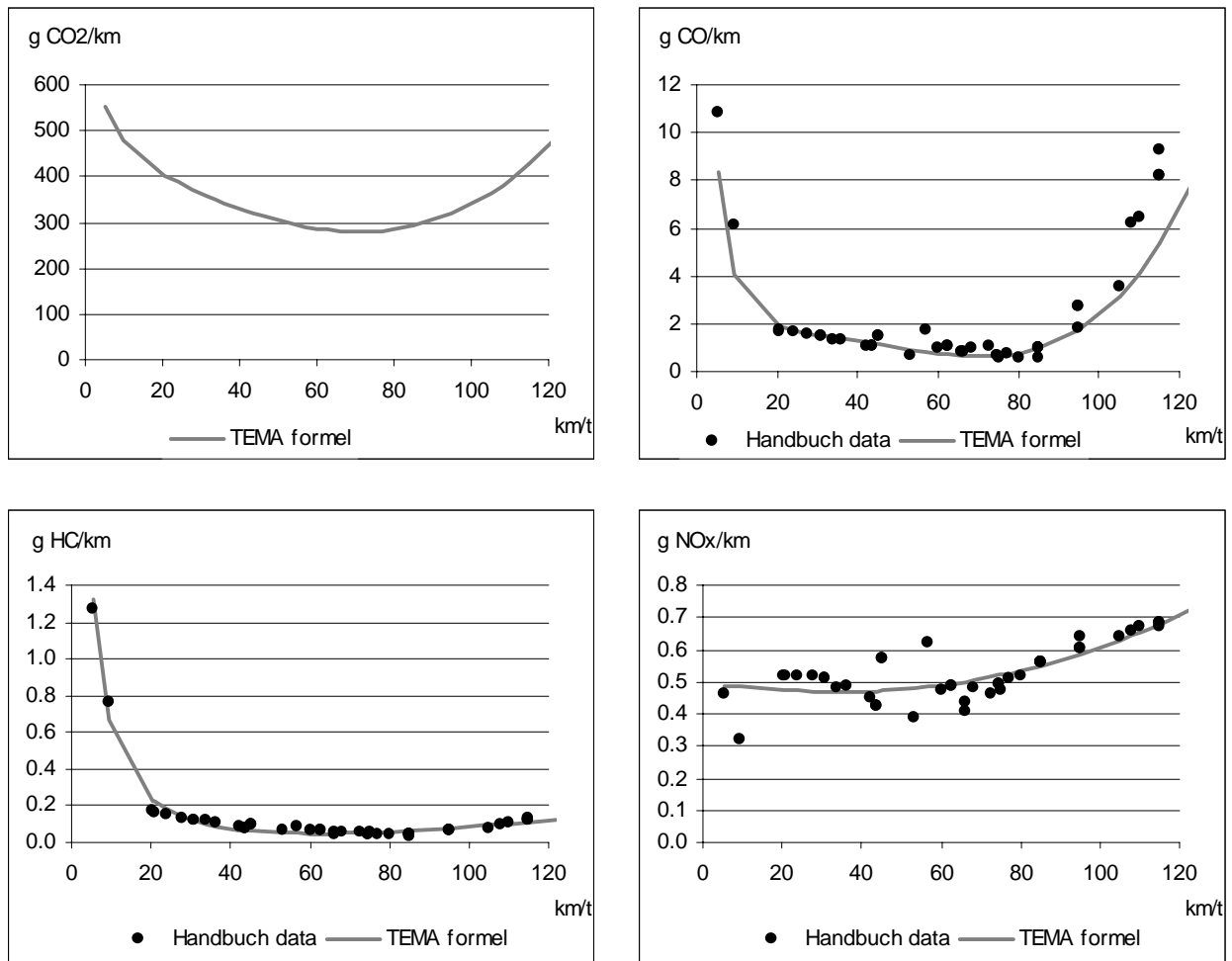
De anvendte trafiksituationer (køremønstre) er de samme som for personbiler, dvs. køremønstre med gennemsnitshastigheder fra 5 km/t til 145 km/t.

I den tyske database er der beregnet emissionsfaktorer for hvert af disse køremønstre. På baggrund af disse data er der estimeret emissionsfunktioner, hvor emissionsfaktoren er en funktion af den gennemsnitlige hastighed for det enkelte køremønster.

Der er estimeret en funktionsform for hver af emissionerne, CO_2 , CO , HC , NO_x og partikler. SO_2 og energiforbrug beregnes ud fra CO_2 emissionerne. Emissionsfunktionerne er illustreret i de følgende figurer for EURO I varebiler.

Forholdet mellem CO , HC , NO_x og partikel emissioner fra benzin- og dieselvarebiler svarer i store træk til de tilsvarende forhold for personbiler. Derimod op-giver den tyske database lavere energiforbrug for benzinvarer end for dieselvarebiler. Dette strider mod det forhold at benzinbiler typisk bruger ca. 25% mere brændstof (liter) end tilsvarende dieselvarebiler. Ved beregning af benzinvarer energiforbrug og CO_2 emissioner er det derfor valgt ikke at bruge den tyske database, men i stedet antage at benzinvarer bruger 25% mere brændstof end dieselvarebiler. Da der er større energiindhold i 1 liter diesel i forhold til en liter benzin svarer denne antagelse til at benzinbilerne har 10% større energiforbrug end tilsvarende dieselvarebiler.

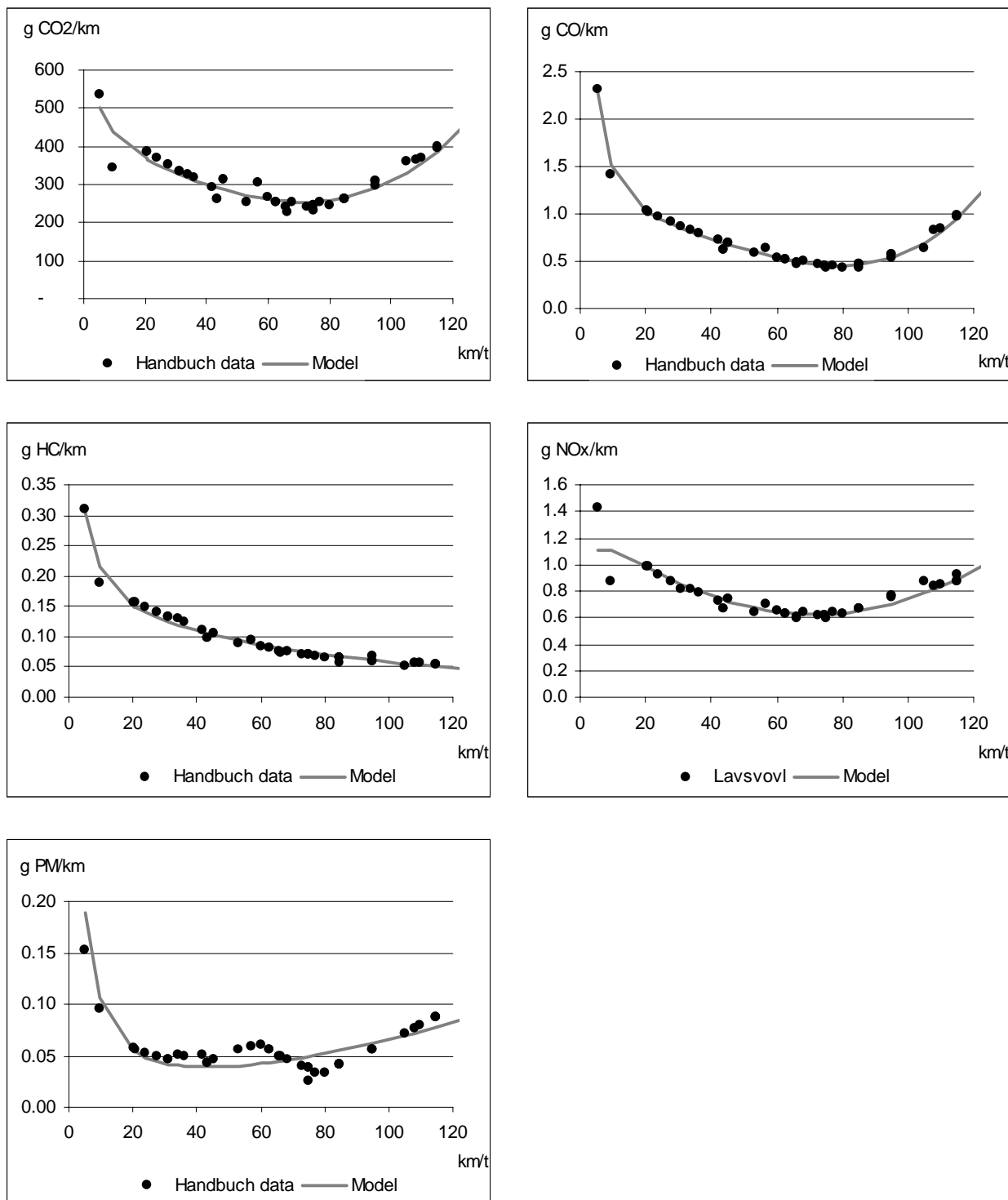
Figur 8.1 Emissionsdata og -funktioner for EURO I benzinbiler



Note: De ovenstående figurer er beregnet for EURO I benzinbiler med en kilometerstand på 60.000 km.

Kilde: Den tyske Handbuch

Figur 8.2 Emissionsdata og -funktioner for EURO I dieselvarebiler



Kilde: Den tyske Handbuch

Der er beregnet funktioner for benzin- og dieselvarebiler svarende til pre-EURO og EURO I. For EURO II - IV er der anvendt procentvise forbedringer svarende til ændringen i normerne. Hvilket giver de samme reduktioner som for personbiler. (reduktionerne for personbiler er gengivet i afsnit 3.2)

8.2.2 Slitage

Der foreligger ikke data på slitagens betydning for emissionerne. Da benzin varebilernes motorteknologi ligner personbiler, er det antaget, at benzinvarer biler forringes på samme måde som personbiler. Der er således anvendt følgende slitagefaktorer:

Tabel 8.8 Forværrelse

	Procent forværrelse per 10.000 km
CO	6,7%
HC	6,4%
NO _x	7,3%

Som for personbilerne antages forværrelsen kun at gælde 0 - 107.000 km. Over 107.000 km sker der ingen yderligere forværrelse. Som nævnt regnes der ikke med nogen slitage for dieseldrevne varebiler.

Diesel type

De emissionsmålinger, der ligger til grund for den tyske håndbog er foretaget i perioden 1990-1994. På det tidspunkt var svovlindholdet i tysk diesel ca. 0,13%, svarende til ca. 2 gram SO₂ i udstødningen per liter diesel. For at korrigere for forskellen i dieselkvalitet mellem den tyske diesel, der ligger til grund for målingerne, og den lavsvovl diesel der anvendes i dag, er det antaget, at NO_x reduceres til 95%, og at partiklerne reduceres til 49% i forhold til det der er målt i 1990-1994. Disse faktorer svarer til de faktorer, der anvendes ved omregning mellem lavsvovl, let diesel og ultralet diesel for busserne i SEEK.

Mellem de dieselkvaliteter der er til rådighed i programmet anvendes følgende korrektionsfaktorer.

Tabel 8.9 Korrektion for dieseltype

	Forbrug	NO _x	HC	CO	partikler	SO ₂	SO ₂ /l
LavSvovl	1	1	1	1	1	1	0,084
LetDiesel	1	1,02	1,00	1,00	1,39	10	0,830

8.2.3 Koldstart

Der beregnes koldstartstillæg for følgende emissioner:

- CO
- HC
- NO_x
- CO₂
- Partikler
- SO₂

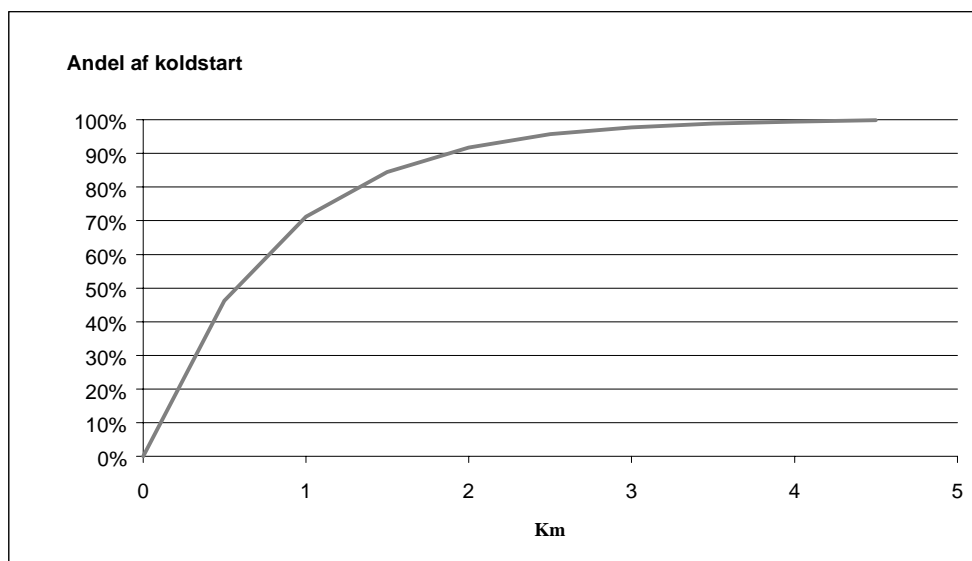
SO₂ tillægget beregnes ud fra tillægget i CO₂ og dermed energiforbruget.

Koldstartstillægget beregnes ud fra køremønster og temperatur. Køremønsteret i koldstartsfasen er sat til 30 km/t, hvilket svarer til rejsehastigheden ved bykørsel. Ved en rejsehastighed på 20 km/t er der en korrektionsfaktor på ca. 1,1- 1,3 afhængig af emissionstypen, hvilket betyder, at koldstartstillægget ved en rejsehastighed på 20 km/t er 10% - 30% højere end ved en rejsehastighed på 30 km/t.

Derudover indgår den samlede kørelængde, således at der ikke beregnes fuldt koldstartstillæg for ture, hvor motoren ikke når at blive driftvarm.

Ved korte ture (under 5 km) er det kun en del af koldstartstillægget der udsendes. Følgende figur viser hvor stor en del af koldstartstillægget der udsendes ved korte ture.

Figur 8.3 Koldstartstillæg ved korte ture (CO tillæg for EURO I benzinbil)



Det ses, at fuld koldstart opnås ved ca. 4 km, men allerede efter 1 km er ca. 70% af koldstartstillægget udledt.

Parameterværdierne til beregning af koldstartstillægget i TEMA2000 er ligesom for personbiler estimeret på baggrund af datamaterialet fra den tyske håndbog. Der er estimeret forskellige parametre for godkendelsesnormer og for emissionsstyperne

- CO₂
- CO
- NO_x
- HC
- Partikler.

Der anvendes et køremønster med en rejsehastighed på 30 km/t for de kilometer der beregnes koldstart på.

8.2.4 Fordampningsemissioner

Der medregnes samme fordampningstab som for personbiler.

Både for running loss og for fordampningstabet fra tanken vil man forvente, at fordampningstabet fra varebiler, der typisk har større motor og tank, er større end for personbiler. Der er imidlertid ikke tilgængelige data til at indregne en sådan forskel.

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.

8.3.1 Emissioner fra varm motor

Emissionerne af fra varm motor beregnes generelt som:

$$e_l = e_l(V)F_l(S) \quad (14.)$$

hvor l er emissionstypen og hvor den hastighedsafhængige del beregnes som:

$$e_l(V) = \beta_{0,l} + \beta_{1,l} \cdot V + \beta_{2,l} \cdot V^2 + \beta_{3,l} \cdot V^3 + \beta_{4,l} / V \quad (15.)$$

mens korrektionsfaktoren for slitage beregnes som:

$$F(S)_l = 1 + (S - 60000) / 10000 \times b_l / 100 \quad (16.)$$

Hvor S er kilometerstanden (max 107.000 km) og b_l er slitageparameteren for emission l .

8.3.2 Koldstartstillæg

Koldstartstillægget beregnes som et fast tillæg efter følgende formel:

$$E = E_l(T)F_l(V)G(D) \quad (17.)$$

Hvor E og F er andengradspolynomier, der beskriver sammenhængen mellem emission og temperatur, T, og hastighed, V,

$$E_l(T) = \beta_{0l} + \beta_{1l}T + \beta_{2l}T^2 \quad (18.)$$

og

$$F_l(V) = h_{0l} + h_{1l}V + h_{2l}V^2 \quad (19.)$$

Og hvor G(D) er en funktion, der beregner emissionerne på korte ture.

$$G_l(D) = \frac{1 - e^{(-A_l D / D_k)}}{1 - e^{(-A_l)}} \quad (20.)$$

Denne funktion sørger for at den største del af koldstartstillægget stiger til fuldt niveau allerede på de første få kilometer.

8.3.3 Fordampningstab

Fordampningstabet beregnes som:

$$E = E^{HotSoak}(T) + e^{RunLoss}(T) \quad (21.)$$

hvor "Hot Soak" beregnes som:

$$E^{HotSoak} = e^{(a+bR+cT)} \frac{1 - e^{(-AD/B)}}{1 - e^{(-A)}} \quad (22.)$$

hvor a , b , A , B og c er parametre, R er brændstofflygtigheden, T er udetemperaturen og D er distancen.

"Running Loss" beregnes som:

$$e^{RunLoss} = e^{(d+eR+fT)} \quad (23.)$$

hvor d , e og f er parametre, R er brændstofflygtigheden og T er udetemperaturen.

8.4 Litteratur

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

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

COWI (1996): *TEMA - En model for transporters emissioner, Dokumentationsrapport*, April 1996.

Hickman A. J. (ed): Emission Calculation Methodology. Draft summary report from the MEET project, Må ikke citeres. Transport Research Laboratory 1998.

9 Lastbiler

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

Emissionsformlerne for lastbiler bygger på analyser af beregninger udført med emissionsberegningsprogrammet SEEK, i en version der er tilpasset til lastbiler¹¹.

9.1 Oversigt og brugervariabler

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, ton last.

Belægningen indgår både i beregningen af lastbilens emissioner samt ved beregning af resultater pr. tonkilometer. Der anvendes en default belægningsgrad på 48% (Statistiske Efterretninger). På lange ture er kapacitetsudnyttelsen noget højere, op til ca. 70%.

For lastbilerne er der mulighed for at vælge tre forskellige køretøjstyper¹²:

- Sololastbil på 10 ton totalvægt med 2 aksler. Egenvægt 4,8 ton, lasteevne 5,2 ton, motor 150-170 kW, 6 gear.
- Sololastbil på 25 ton totalvægt med 3 aksler. Egenvægt 8 ton kg, lastevne 16 ton, motor ca. 250 kW, 16 gear.

¹¹ Se kort beskrivelse af SEEK i kapitlet om busser.

¹² Kilde: EDB-program SEEK, Lastbilversion, Dokumentationsrapport til SEEK modellen.

- Lastvognstog på 40-48 ton totalvægt med 5-6 aksler. Egenvægt 16 ton, lasteevne, 24-32 ton, motor ca. 400 kW.

Brugeren kan vælge mellem pre EURO og EURO I - EURO IV.

TEMA2000 bruger samme vejnet for lastbilerne som for personbiler til beregning af afstanden mellem to lokaliteter. Og også til fordelingen på land/by og vejtype. Disse værdier vurderes at passe rimeligt godt, også på lastbiler. Dog kan der være enkelte situationer hvor programmet fordeler kørsel på motorvej og landeveje for meget til motorvejenes fordel. Da lastbilers emissioner på landevej uden for bymæssig bebyggelse og på motorveje er tæt på hinanden, har dette kun begrænset betydning for de beregnede emissioner per km.

Afstanden for kørt distance er ligesom for den øvrige vejtrafik fordelt på de tre vejtyper:

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

Til hver vejtype hører en rejsehastighed. Som default er den gennemsnitlige hastighed for de tre vejtyper sat til:

Tabel 9.1 Default rejsehastigheder for lastbiler

	By	Land
Motorvej	80	80
Øvrige veje	25	70

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

For både busser og lastbiler vælger brugeren motorteknologi (hvilken Euro-norm), vægt (som passagertal hhv. vægt af last), køremønstre, dieseltypen og efterbehandlingsudstyr.

Ligesom for den øvrige vejtransport er dieseltypen default sat til lavsvovl.

9.2 Analyse

Ligesom for busser er det valgt at anvende SEEK som beregningsgrundlag idet SEEK bygger på gennemsnitlige emissionsdata for flere motorer, der er udbredte i Danmark, og idet SEEK giver muligheder for at beskrive effekten af

mange emissionsnormer, flere brændstofkvaliteter og flere kombinationer af efterbehandlingsudstyr.

De vigtigste forskelle mellem den modelmæssige behandling af lastbiler og busser er følgende:

- For lastbiler med et andet antal aksler, men samme vægt, vil beregningerne stadig passe med god nøjagtighed.
- Som det fremgår, har de tre typer hver sin motorstørrelse og forskellige transmissionssystemer. De har også lidt forskellige frontarealer.
- De anvendte motorer er lidt anderledes end de dieselmotorer, der bruges i busser. Selve køretøjerne er især anderledes hvad angår vægten, gearingen og frontareal. I lastbiler forudsættes det, at der er manuelt gear.
- De køremønstre, der ligger til grund for beregningerne er opdelt i mindre køremønstre for at give tilstrækkeligt mange observationer og spredning i hastigheden. I praksis er de faktiske køremønstrene delt op hver gang lastbilen holder stille. Til beregning af lastbiler er der udelukkende brugt køremønstre registreret ved aktuelle kørsler med lastbiler, både ved bykørsel og landevejskørsel. Køremønstrene er færre (ca. 30 i alt), men længere (ca. 10 km lange) end de tilsvarende for busser (ca. 1 km lange). Det skyldes at busserne stopper oftere end lastbiler.

I øvrigt henvises til kapitlet om busser.

Den gennemsnitlige hastighed for et køremønster er bestemt af:

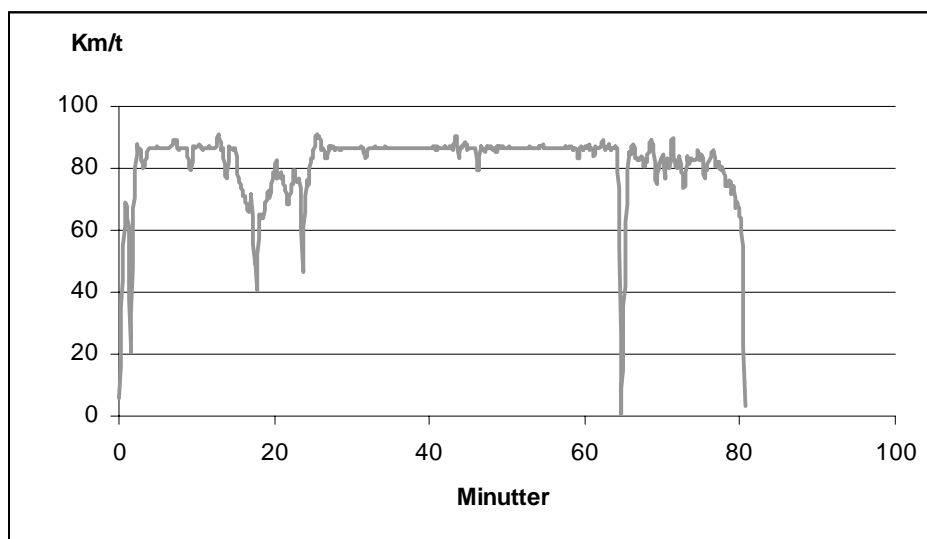
- Hvor hurtigt kan der køres på den type vej der er tale om
- Hvor mange gange der stoppes eller bremses ned i fart undervejs

Emissionsfunktionerne i TEMA er som nævnt beregnet ud fra SEEK. Fremgangsmåden har været at beregne energiforbrug (og emissioner) på en række køremønstre med forskellige gennemsnitshastigheder ved hjælp af SEEK. Ud fra disse beregninger er det estimeret en sammenhæng mellem den gennemsnitlige hastighed og energiforbruget.

Ved køremønstre med lav og middel hastighed indgår der flere stop, og derfor er energiforbruget ved køremønstre med lav og middel rejsehastighed højere end energiforbruget ved høje gennemsnitshastigheder, som indebærer et mere jævnt køremønster.

Følgende figur viser det køremønster der har den højeste gennemsnitshastighed (81,5 km/t) i beregningerne. Dette køremønster er et udsnit af køremønsteret "Langtur A" som følger med SEEK.

Figur 9.1 Eksempel på køremønstre for lastbil



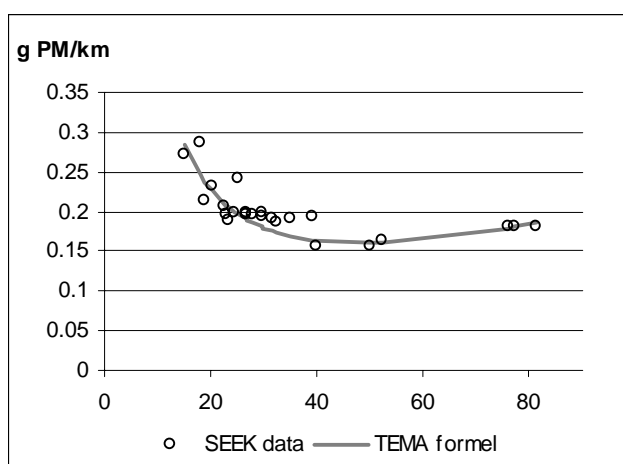
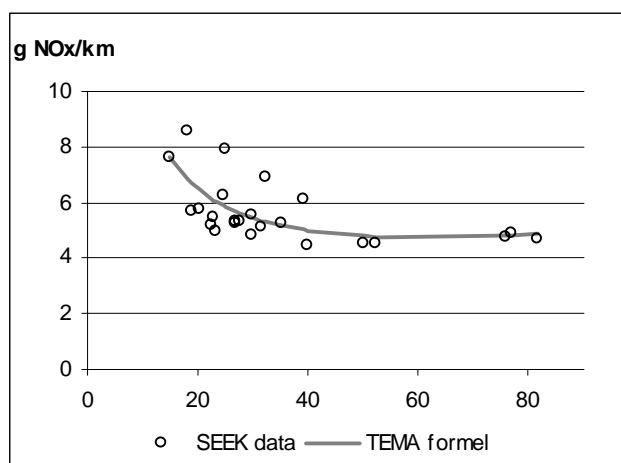
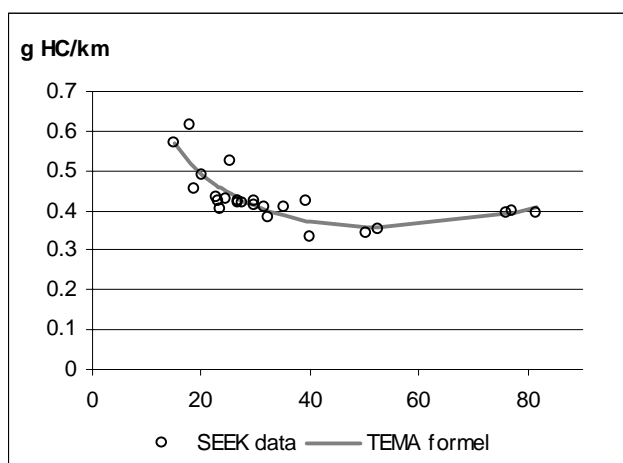
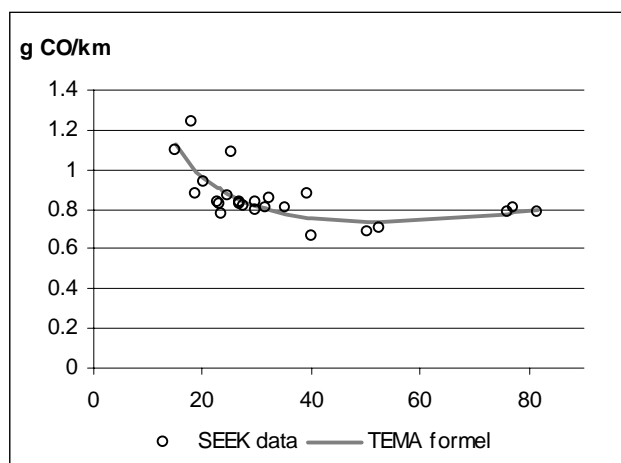
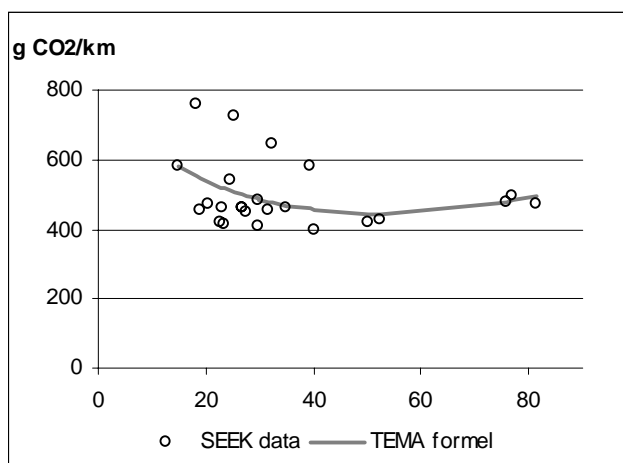
Det ses at den maksimale hastighed (bortset fra enkelte, kortvarige overskridelser, formentlig ved kørsel ned ad bakke) ligger lige under 90 km/t. Køremønstret indeholder lange perioder med hastigheder tæt på 90 km/t, en start, en standsning, en nedsættelse af hastigheden til nær ved 0 km/t, samt to nedsættelser af hastigheden til omkring 40 km/t. Nedsættelserne af hastigheden medfører, at gennemsnitshastighed kun er 81,5 km/t, selv om march hastigheden er tæt på 90 km/t. Derudover medfører accelerationerne efter standsningerne og nedsættelserne af hastigheden, en forøgelse af energiforbruget.

Hvis der ikke havde været nedsættelser af hastigheden undervejs ville gennemsnitshastigheden have været højere, og energiforbruget ville have været lavere. Dette er baggrunden for at energiforbruget for lastbiler kan være faldende med stigende rejsehastighed helt op til 90 km/t. Denne sammenhæng er mere udpræget jo tungere lastbilen er.

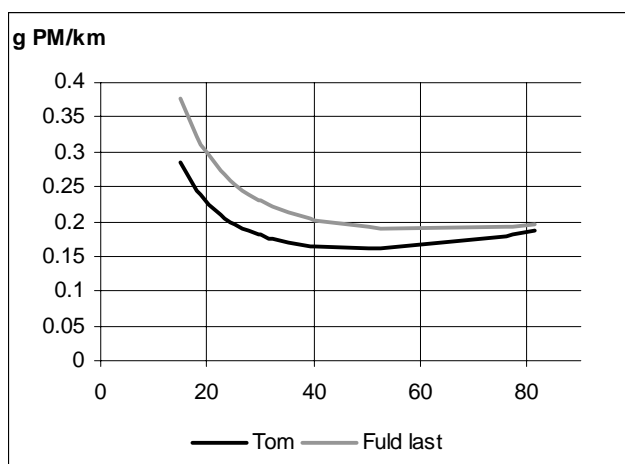
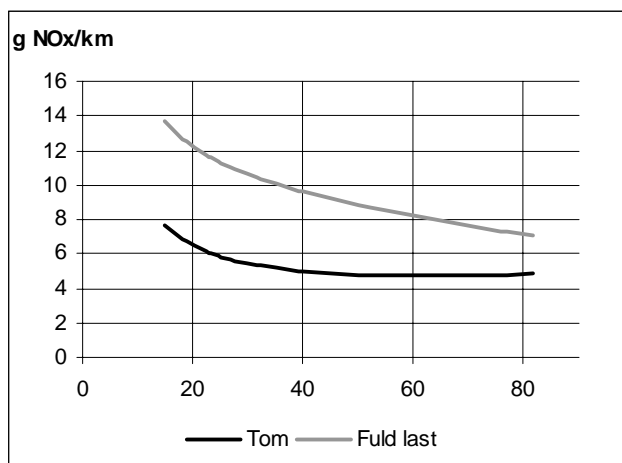
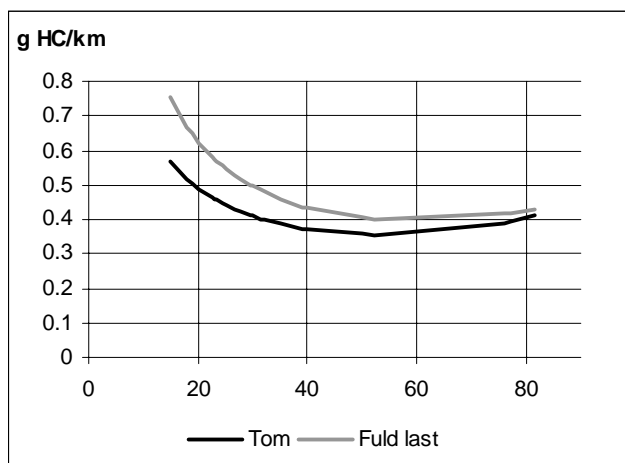
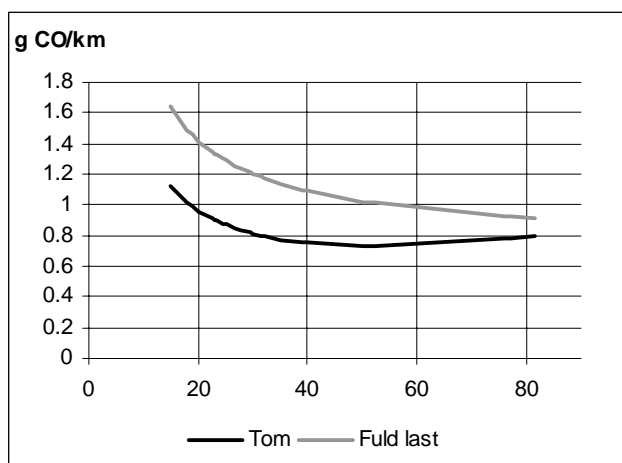
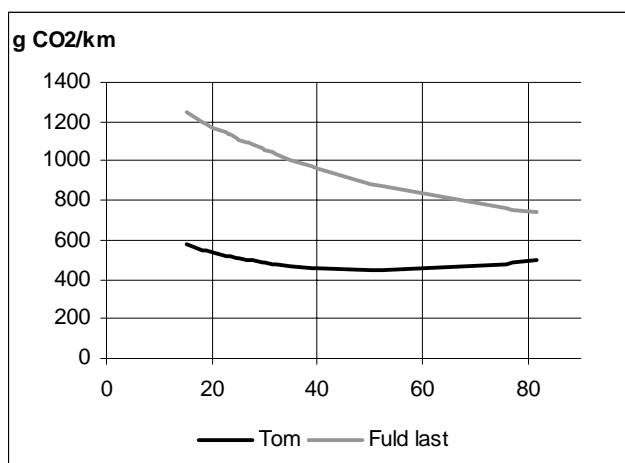
Til sammenligning viser en undersøgelse foretaget af Vejdirektoratet og Laboratoriet for Energiteknik, DTU, 1991, at energiforbruget for lastbiler ved stigende rejsehastighed er faldende op til en rejsehastighed på 90 km/t. TEMA's resultater er altså i god overensstemmelse med tidligere undersøgelser.

I de følgende figurer er vist de opstillede emissionsfunktioner for 25 tons EURO II lastbiler. I den første figur vises modelfit for en 25 tons EURO II lastbil uden last. I den efterfølgende figur vises emissionsfunktioner for en 25 tons lastbil med og uden last.

Figur 9.2 Emissionsdata og -funktioner for tom 25 tons EURO II lastbil



Figur 9.3 Emissionsdata og -funktioner for 25 tons EURO II lastbil med tom vogn og fuld last



9.3 Beregningsgang

Emissionerne for lastbiler beregnes efter følgende formel:

$$e_l = ((1-B) e_{l,Tom}(V) + B e_{l,Fulldast}(V)) F_{l,d} F_{l,e} \quad (24.)$$

hvor l er emissionstypen, B er lastbilens belægning og hvor den hastighedsafhængige del beregnes som:

$$e_l(V) = \beta_{0,l} + \beta_{1,l} \cdot V + \beta_{2,l} \cdot V^2 + \beta_{3,l} \cdot V^{-1} \quad (25.)$$

$F_{l,d}$ er korrektionsfaktoren for dieseltypen, d , for emission l og

$F_{l,e}$ er korrektionsfaktoren for efterbehandling, e , for emission l .

9.4 Litteratur

DTI (1999): EDB-program SEEK, Lastbilversion, Dokumentationsrapport til SEEK modellen.

Hickman A. J. (ed): Emission Calculation Methodology. Final report from the MEET project, Transport Research Laboratory, march 1999.

Danmarks Statistik, Statistiske Efterretninger.

10 Godstog

Energiforbrug og emissioner for godstog beregnes for DSB's godstog. I modsætning til tidligere versioner af TEMA, indgår der nu en mere fleksibel model for sammenhængen mellem togstørrelser og emissioner som giver mulighed for at specificere togets samlede vægt.

10.1 Oversigt og brugerparametre

Togtyper

Der indgår to godstogstyper i TEMA:

- Eltog - EA
- Dieselelektriske tog

Emissionerne for sidstnævnte beregnes på baggrund af konkrete ture med ME, MZI/II, MZIII/IV. Det vurderes af DSB, at energiforbrug og emissioner fra disse dieselelektriske togtyper er sammenlignelige, og at man derfor med rimelighed kan samle disse.

Som standard kører TEMA med eltog, hvor det er typisk, og med diesel, hvor det er typisk. F.eks. er det ikke tilladt for dieseltog at krydse Storebælt¹³, hvilket gør, at der skal skiftes lokomotiv på en rute fra f.eks. København til Århus. TEMA klarer dette ved at køre med el fra København til Fredericia, hvorefter der køres diesel fra Fredericia til Århus. I avanceret indstilling skal brugeren selv specificere el eller diesel.

Stationer

I enkel indstilling kan der køres mellem alle godsstationer¹⁴ på HRL nettet. HRL nettet er segmentopdelt på samme måde som for persontog. Formålet hermed er at have en geografisk fordeling for de gennemsnitlige togstørrelser og

¹³ Der kører dog en række dieseltog på dispensation, fx IC3.

¹⁴ 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 666 punkter fordelt i Danmark, hvoraf en del er passagerstationer. Derfor optræder København H som fællesbetegnelse for passager- og gods-transport station. Derudover indgår Grindsted, Løgstør, Korinth og Assens på DSB's net ikke.

belægninger. Det har ikke været muligt at beregne en geografisk fordeling af emissionerne (afhængigt af bakker og køremønstre), selvom køremønstrene vurderes at have stor betydning. Datagrundlaget har været så sparsomt, at det ikke har været muligt at inddrage denne parameter.

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

Rutelægning

TEMA sammenstykker i enkel indstilling automatisk den korteste segmenttrækkefølge fra station til station. 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 segment-ende, har TEMA indlagt afstanden fra frastation til første segment-ende på ruten, og beregner automatisk den forholds-mæssige del af det første segment, der skal medtages. Tilsvarende for tilstationen.

Brugervalg

Brugeren kan specificere:

- Fra- og til station
- Brugerlast

og i avanceret indstilling kan der yderligere specificeres

- Togtype: diesel / el
- Antal lokomotiver
- Afstand
- Samlet vægt af last for hele turen
- Samlet vægt af vogne og last for hele turen

Vægt af vogne og last er fordelt på segmenter. I den enkle indstilling gives der derfor emissioner som funktion af et gennemsnit af samlet tog vægt og last vægtet med lastmængder og strækningslængder.

Figur 10.1 HRL nettet for godstog.



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

10.2 Analyse

10.2.1 Metodeoverblik

Metoden til at opgøre emissioner for godstog er udarbejdet af DSB / Banestyrelsen og er skitseret i Tabel 10.1 i tilarbejdet version. Princippet er en 3-delning af problemet:

1. Togdata

Først opgøres statistiske data for gennemsnitlige godstog (diesel og el). Målet er i sidste ende at kunne opgøre emissioner pr. tonkm, hvorfor laststatistik er nødvendig. Med henblik på at estimere energiforbruget skal det samlede togs vægt beregnes.

2. Energiforbrug

Dernæst udarbejdes en funktionsmæssig sammenhæng mellem togdata og energiforbrug. Det er i høj grad togets samlede vægt, der er afgørende for energiforbruget, men motorens effektivitet og køremønstret i form af antal stop og hastighed har også en rolle.

Som metode er valgt at foretage en række testkørsler og estimere en statistisk sammenhæng mellem de afgørende faktorer og energiforbruget. Dermed har testkørslerne organisering også indflydelse på resultaterne. Det må tilses, at der køres med repræsentative togtyper og lastmængder, og at der er en rimelig variation i datamaterialet.

Konkrete målinger er foretaget i form af køremønstre (logning af effekttårn, se persontog) eller forbrukt strøm. Der benyttes en konvention om at bruttoenergiforbrug angives i MJ. Dette er for dieseltogens vedkommende brændværdien af det dieselbrændstof, der forbruges. Energiforbrug for elektriske tog måles på toget eller på en omformerstation. Når energiforbruget er målt på en omformerstation betegnes dette kWh_M. For at omregne fra målt energiforbrug til bruttoenergiforbrug på kraftværket anvendes en omregningsfaktor. Se kapitlet "Øvrige data".

3. Emissioner

Til sidst estimeres en sammenhæng mellem energiforbrug og emissioner fordelt på emissionstyper. For dieseltogs vedkommende vil der være tale om målinger fra testsituationer for forskellige effekttårn for motorerne. Metodediskussionen vedr. opgørelse af emissioner fra elektriske togs energiforbrug er beskrevet i 'Øvrige data'.

Tabel 10.1 Metodeoversigt for godstog

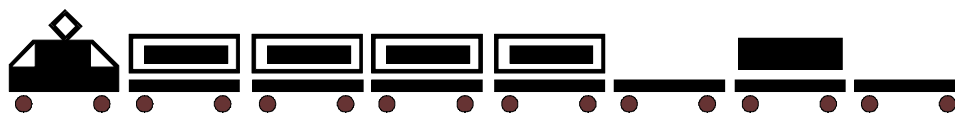
1: Togdata		
<i>Metodeprincip</i>	<i>Afgørende faktorer</i>	<i>Måling</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Opgørelse af statistik for godstog 	<ul style="list-style-type: none"> • Laststatistik (vægt incl. / excl. containere) • Materielstatistik (vægt af togvogne, antal vogne, kapacitet, belægningsgrad) • Kørselsstatistik (stationer m.v.) 	<ul style="list-style-type: none"> • DSB's GTS system
↓		
2: Energiforbrug		
<i>Metodeprincip</i>	<i>Afgørende faktorer</i>	<i>Måling</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Måling på testkørsel kombineret med Statistisk model for sammenhæng mellem togdata og energiforbrug. 	<ul style="list-style-type: none"> • Masse af lokomotiv, vogne og last • Køremønster / Hastighed • Testkørslernes organisering 	<ul style="list-style-type: none"> • Køremønster (effekttrin) • Strømforsøg på omformerstation (kWh_M)
↓		
3: Emissioner		
<i>Metodeprincip</i>	<i>Afgørende faktorer</i>	<i>Måling</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Diesel: Motormålinger • El: Kraftværksmålinger 	<ul style="list-style-type: none"> • Motortype • Brændstoftype (specielt SO₂ indhold) • Brændelsfordeling mellem el og varme. = Fordeling mellem energiindhold og energikvalitetsmetoderne • Valg mellem marginal kontra gennemsnitsmetode • Korrektion for import /eksport • Efficiensgrad på kraftværkerne (afhængig af ovenstående) 	<ul style="list-style-type: none"> • DTI køretrinsmåling • Emissioner fra elproduktion

10.2.2 Togdata: Anvendt metode og resultater

I Figur 10.2 er skitseret et godstog bestående af lokomotiv, togvogne, lastbærende og last. Det er togets samlede vægt, der er afgørende for energiforbruget, men

begrebet *Vægt på krogen*, M^{vpk} ¹⁵, er nødvendigt, idet energiforbruget er estimeret 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.

Figur 10.2 Skitse af godstog bestående af lokomotiv, togvogne, lastbærere og last.



Ovenstående beskrivelse giver nedenstående sammenhæng:

$$(10.1) \quad M^{tog} = M^{lokomotiv} + M^{togvogne} + M^{last} + M^{lastbærer}$$

$$(10.2) \quad M^{vpk} = M^{togvogne} + M^{last} + M^{lastbærer}$$

DSB har beregnet gennemsnitlige tog- og laststørrelser i form af vægt på krogen og lastvægt for hovedparten af de segmenter, der indgår i TEMA. Data er fundet på basis af et udtræk for 1998 fra DSB GTS (Gods Transport Styling), hvor alle godstogstransporter er registreret. Da 95 % af alle godstog køres med et enkelt lokomotiv, er der set bort fra indflydelsen på den gennemsnitlige togstørrelse fra evt. særligt store tog, som er trukket af mere end et lokomotiv.

Tabel 10.2 Gennemsnitlig tog- og laststørrelser fordelt på segmenter

Segment nr.	Fra	Til	Samlet last dieseltog (ton)	Samlet last, el-tog (ton)	Vægt på krogen, dieseltog (ton)	Vægt på krogen, el-tog (ton)	Typisk lokomotiv på segmentet
1	Ålborg	Frederikshavn	179	0	379	0	Diesel
2	Ålborg	Langå	191	0	455	0	Diesel
3	Århus H	Grenå	65	0	164	0	Diesel
4	Århus H	Langå	174	0	437	0	Diesel
5	Struer	Langå	127	0	283	0	Diesel
6	Struer	Thisted	0	0	0	0	-
7	Struer	Holstebro	213	0	397	0	Diesel
8	Holstebro	Herning	137	0	378	0	Diesel
9	Herning	Skjern	456	0	890	0	Diesel
10	Holstebro	Skjern	307	0	707	0	Diesel
11	Skjern	Esbjerg	456	0	892	0	Diesel
12	Esbjerg	Bramming	304	0	679	0	Diesel
13	Bramming	Lunderskov	304	0	689	0	Diesel
14	Bramming	Tønder	0	0	0	0	-
15	Lunderskov	Tinglev	321	477	758	976	El
16	Lunderskov	Fredericia	261	474	643	979	El

¹⁵ Krogen er lokomotivets sammenkobling med togvognene.

17	Fredericia	Vejle	199	0	521	0	Diesel
18	Herning	Vejle	153	0	406	0	Diesel
19	Herning	Skanderborg	52	0	123	0	Diesel
20	Skanderborg	Vejle	206	0	543	0	Diesel
21	Skanderborg	Århus H	190	0	516	0	Diesel
22	Fredericia	Odense	182	445	462	928	El
23	Odense	Svendborg	37	0	66	0	Diesel
24	Odense	Nyborg	135	445	367	934	El
25	Nyborg	Korsør	135	445	367	934	El
26	Korsør	Ringsted	135	445	366	934	El
27	Ringsted	Roskilde	129	439	340	921	El
28	Ringsted	Næstved	211	0	506	0	Diesel
29	Næstved	Nykøbing F	180	0	479	0	Diesel
30	Nykøbing F	Rødby	3	0	722	0	Diesel
31	Nykøbing F	Gedser	0	0	0	0	-
32	Næstved	Køge	81	0	203	0	Diesel
33	Køge	Roskilde	435	0	835	0	Diesel
34	Roskilde	København H	238	427	565	893	El
35	København H	Helsingør	660	394	1205	926	Diesel
36	København H	Malmø	0	0	0	0	-
37	Malmø	Ystad	0	0	0	0	-
38	Hillerød	Helsingør	0	0	0	0	-
39	Tinglev	Sønderborg	41	0	141	0	Diesel
40	Kalundborg	Holbæk	147	0	453	0	Diesel
41	Holbæk	Roskilde	193	0	562	0	Diesel
42	Padborg	Tinglev	358	475	779	974	El

Kilde: DSB. Lastvægten er baseret på informationer fra afsenderne og det har ikke umiddelbart været muligt at estimere hvor stor en del af lastvægten, der udgøres af lastbærere. For at vurdere omfanget oplyser DSB, at der kun benyttes lastbærer i 5 % af de kørte vognkm. På denne baggrund ses der bort fra vægten af lastbærere, som anses for last.

Nedenfor er statistiske data opgjort for DSB's materiel i Tabel 10.3 og Figur 10.3.

Tabel 10.3 Egenvægt for DSB lokomotiver

Lokomotivtype	Vægt (tons)	Type
EA	80	elektrisk
ME	115	dieselektrisk
MZI/II	116,5	dieselektrisk
MZIII	125	dieselektrisk
MZIV	123	dieselektrisk

Tabel 10.4 Gennemsnitlige data for DSB's godsvogne pr. 1.12.1997.

	Togvogne til bulktransport	Togvogn til containertransport	Togvogne til stykgods	Togvogne til andre typer gods	I alt
Taravægt (ton)	14	18	15	19	
Max. last (ton)	32	61	26	42	
Bestand (antal)	306	299	1062	558	2225

Kilde: Beregninger baseret på data fra www.dsb.dk.

Tabel 10.5 Eksempeldata på containere til tørgods.

	20 fod	40 fod
Taravægt (ton)	2	3
Max. last (ton)	18	27

Kilde: Munck (1983). Nogle containervogne kan også læsse 50-60 fod containere.

Ingen belægningsgrader

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

Rollende Landstraße

"Rollende Landstraße" er en transportform, hvor lastvogne incl. forvogne køres op på eller sættes på flade togvogne. Chaufførerne kører også med toget i modsætning til løstrailer transport. I flg. 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 dog 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.

Vær dog opmærksom på, at det ikke umiddelbart er muligt at sammenligne emissioner pr. tonkm, eftersom lastbilernes egenvægt anses for last i disse beregninger, men egenvægten er reelt en lastbærer.

10.2.3 Energiforbrug og emissioner: Anvendt metode og resultater

Diesel

DSB har anvendt følgende metode: Ved beregning af nøgletal for energiforbrug og emissioner fra lokomotivtrukne dieseltog, udnyttes det, at lokomotivet er opbygget således, at motoren kun kan belastes i et begrænset antal trin, kaldet

kontrollertrin. Når der skiftes mellem de forskellige trin, sørger motorstyringen for, at der relativt hurtigt opstår en stationær tilstand, hvor motorens ydelse og omdrejningstal er konstant.

Dette betyder, at når der haves kendskab til energiforbrug og emissioner pr. tidsenhed i alle kontrollertrin, kan togets energiforbrug og emissioner estimeres ud fra en måling af hvor lang tid det enkelte kontrollertrin har været anvendt ved en given kørsel.

For hvert kontrollertrin multipliceres den målte tid med måleresultater for energiforbrug og emissioner pr. tidsenhed, hvorefter resultaterne adderes og divideres med strækningens længde og vægten af togvogne inkl. last.

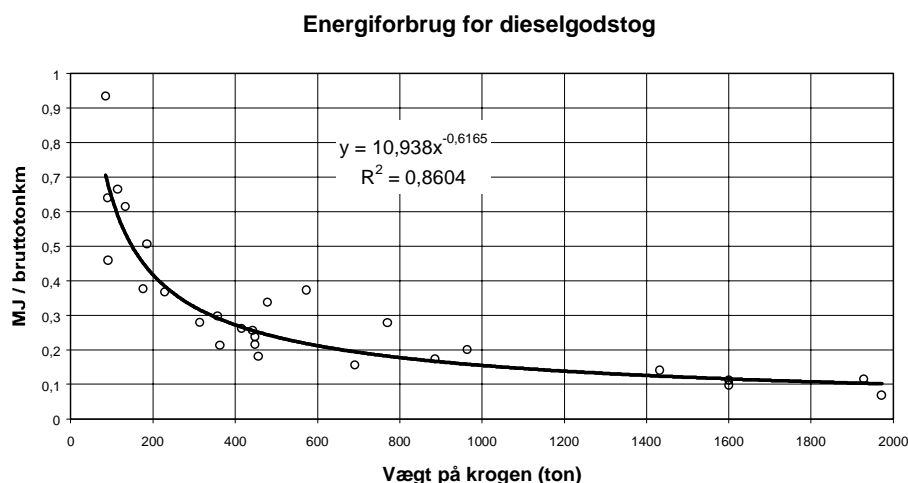
$$Nøgletal = \frac{\sum_i \text{Tid}_i \cdot \text{Måleværdi}_i}{\text{Strækningslængde} \cdot \text{Vægt}}, \text{ hvor } i = \text{kontrollertrin}$$

Måling af energiforbrug og emissioner pr. tidsenhed i hvert kontrollertrin er gennemført i 1994, med en opdatering i 1998. Måling af hvor lang tid det enkelte kontrollertrin har været anvendt ved konkrete kørsler hentes fra togets harvilog, der registrerer alle hændelser under kørslen. Således registreres tidspunkterne for hvornår der skiftes kontrollertrin. Herudfra kan det for en given kørsel beregnes hvor lang tid toget har kørt i det enkelte kontrollertrin.

De beregnede nøgletal afhænger bl.a. af parametre som litra, togvægt og køremønster. Køremønsteret er bestemt af forhold som køreplan, infrastruktur, trafikafvikling, lokomotivførerens vaner og m.m.

Den væsentligste (og umiddelbart målbare) parameter er togvægten. Da det kun er den vægt lokomotivet trækker, der kan variere, er det valgt at normere energiforbruget og emissionerne hermed. Den vægt lokomotivet trækker benævnes *vægten på krogen*, eller *bruttoton*.

Figur 10.3 *Energiforbrug for dieselgodstog*



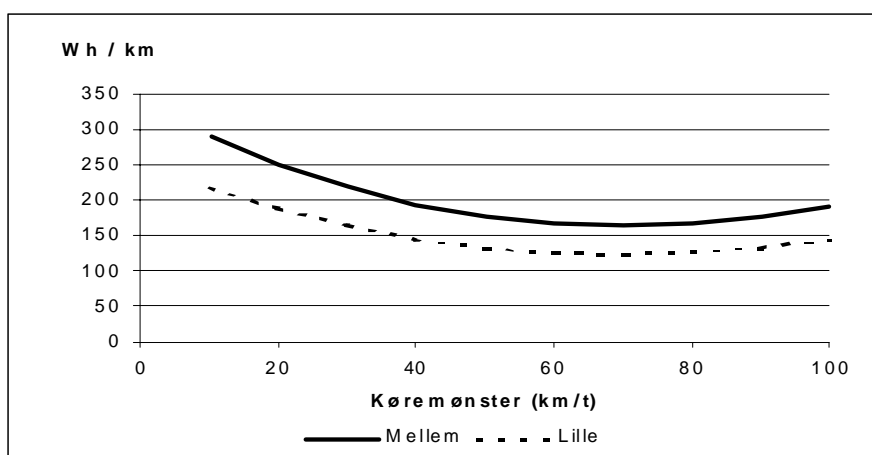
Da aflæsning af havariloggen og den efterfølgende databehandling er relativt tidskrævende, er der kun et begrænset antal havarilog aflæsninger til rådighed. Disse er ydermere gældende for forskellige litra, hvorfor der er set bort fra litraafhængigheden. Resultaterne er således gældende for alle dieseldrevne lokomotiver.

I Figur 10.3 er vist kurven for energiforbruget pr. bruttotonkm som funktion af vægten på krogen. Ligeledes er vist regressionskurven baseret på en potensfunktion.

El

Energiovgletallene for EA er fundet på basis af aflæsninger af elmålere placeret ved tilgangen til kørestrømsnettet. Aflæsningerne blev gennemført i et tidsrum, hvor der kun har kørt et enkelt tog af kendt størrelse. I alt er der gennemført aflæsninger for 5 forskellige togstørrelser, hvormed elforbruget pr. bruttotonkm er blevet beregnet. Figur 10.4 viser resultatet af en regressionsanalyse.

Figur 10.4 Energiforbrug for elgodstog.

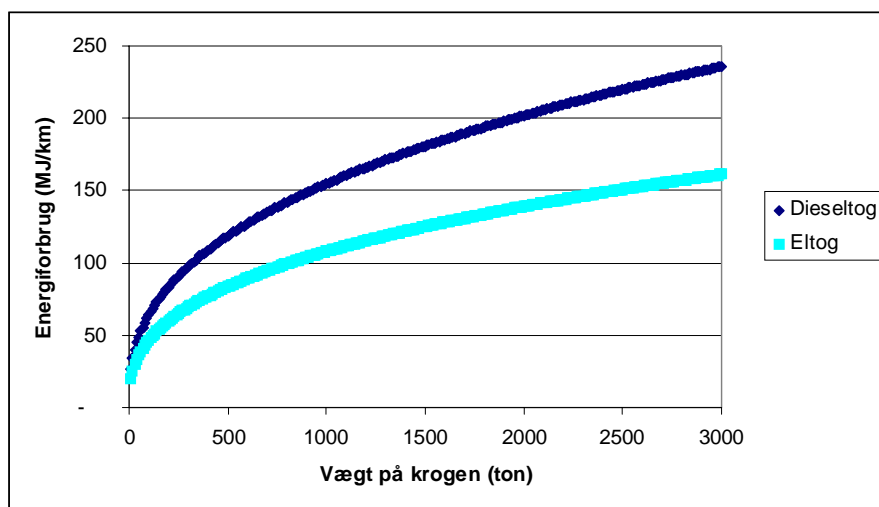


Samlet set

I Figur 10.5 er vist primærenergiforbruget for både diesel og el. Figuren viser, at jo mere vægt på krogen, der kobles på et tog, jo større bliver energiforbruget pr. km. Hvis der ikke kobles nogen vægt på krogen, vil der stadig være et energiforbrug for at lokomotivet kan køre.

Elektriske tog har i Figur 10.5 et mindre primært energiforbrug end dieseltog. Dette hænger sammen med de virkningsgrader, der regnes med for elproduktion. En del af elværkernes primære energiforbrug går til varmeproduktion og tæller ikke med i elproduktionens forbrug - se kapitlet "Øvrige data".

Figur 10.5 Sammenhæng mellem energiforbrug og vægt på krogen



Note: Der er anvendt 6,05 MJ / kWh_M

10.3 Beregningsgang

I Tabel 10.6 er vist det samlede resultat af DSB's regressionsanalyser. Emissioner for NO_x, HC, CO og partikler er baseret på måleresultater fra DTI, men CO₂ og SO₂ er baseret på brændstofkonstanter. Bemærk, at partikelemissioner er TSP og ikke PM₁₀.

Tabel 10.6 Sammenhæng mellem vægt på krogen og emissioner og energiforbrug for dieselgodstog

Emissionstype (l)	$e_l^G(M^{vpk}, L)$ $M =$ Vægt på krogen i tons $L =$ antal lokomotiver
Q_{diesel}	$L \cdot 10,9 \cdot \left(\frac{M}{L}\right)^{-0,617}$ [MJ / btonkm]
NO_x	$L \cdot 14,9 \cdot \left(\frac{M}{L}\right)^{-0,621}$ [g / btonkm]
HC	$L \cdot 1,23 \cdot \left(\frac{M}{L}\right)^{-0,76}$ [g / btonkm]
CO	$L \cdot 1,84 \cdot \left(\frac{M}{L}\right)^{-0,613}$ [g / btonkm]
SO_2	$0,0017 \cdot Q_{diesel}$ [g / btonkm]
CO_2	$74 \cdot Q_{diesel}$ [g / btonkm]
TSP	$L \cdot 0,868 \cdot \left(\frac{M}{L}\right)^{-0,699}$ [g / btonkm]

Kilde: DSB. SO_2 emissioner er ved anvendelse af svovlfattig diesel.

DSB er pr. 1. januar 2000 gået over til svovlfattig diesel frem for miljødiesel, hvilket har reduceret udslippet af SO_2 med 90 %.

Tabel 10.7 Sammenhæng mellem vægt på krogen og energiforbrug for et el-lokomotiv

	$q^G(M^{vpk}, L)$ $M =$ Vægt på krogen i tons $L =$ antal lokomotiver
Q_{el}	$L \cdot 1,434 \cdot \left(\frac{M}{L}\right)^{-0,635}$ [kWh _M / btonkm]

Kilde: DSB. Emissioner for elgodstog beregnes via el-emissionsfaktorerne.

Tabel 10.8 Typisk energiforbrug og emissioner for diesel og elgodstog.

	Diesel	El
Vægt på krog [bton]	834	1055
Energi [MJ/btonkm]	0,17	0,12
NO _x [g/btonkm]	0,23	0,017
HC [g/btonkm]	0,007	0,001
CO [g/btonkm]	0,030	0,0072
TSP [g/btonkm]	0,008	0,00043
CO ₂ [g/btonkm]	12,8	8,22
SO ₂ [g/btonkm]	0,0029	0,016
Elforbrug [kWh _M /btonkm]	-	0,017

Note: kWh_M er strøm leveret til kørestrømsnettet, dvs. incl. kørestrømstab. Energiindholdsmetoden er anvendt.

Når der er flere lokomotiver, antages energiforbrug og emissioner at komme fra et stort lokomotiv opdelt i flere små. Dette giver et for højt tal for emissionerne, eftersom 2 lokomotiver 2,9-dobler emissionerne og 3 lokomotiver 5,4-dobler emissionerne for fastholdt vægt på krogen.

Det er kun i særlige tilfælde, der køres med flere end et lokomotiv, bl.a. hvis Storebæltstunnelen skal gennemkøres med ellokomotiv med mere 1500 tons på krogen. 95 % af alle godstransporter er med 1 lokomotiv.

Tabel 10.9 Lokomotivernes trækraft

	Vægt på krogen (tons)
Et diesel lokomotiv:	2500
Et el-lokomotiv:	2000
Et el-lokomotiv under Storebælt:	1500
Mere end ét lokomotiv:	3000

Note: Der kan aldrig transporteres mere samlet last end 0,8 * Vægt på krogen.

Tabel 10.10 Variable og index

Variabel	Forklaring	Enhed	Tabel
e^G	Emission pr. tonkm	[g/tonkm]	-
E^E	Emission pr. el energiforbrug	[g/kWh _M]	el-emissioner
$e^G(\cdot)$	Emission pr. bruttotonkm	[g/btonkm]	Tabel 10.6
q^G	Energiforbrug pr. brutto-tonkm	[kWh _M /btonkm]	Tabel 10.7
M^{vpk}	Togets Vægt På Krogen	[ton]	Tabel 10.4
M^{last}	Togets last	[ton]	Tabel 10.4
D	Distance	[km]	Segmenttabel under persontog.
G	By, land eller motorvejsandel	[%]	Segmenttabel under persontog.
l	Emissionstype	CO ₂ , CO, HC, NO _x , SO ₂ , Partikler	-
i	Fra	Stationer	-
j	Til	Stationer	-
g	Geografi	Land, by	-
s	Segment eller strækning	1..42	-

Formler

Med gennemsnitlige togstørrelser i enkel indstilling kan brugeren kun vælge fra og til station, dvs. at TEMA kender de typiske lokomotivtyper på ruten, der køres kun med 1 lokomotiv og den geografiske fordeling af tog- og laststørrelser er også kendt. Princippet i beregningsgangen er ligesom for persontog, at der ses på ruten fra i til j og det samlede transportarbejde her imellem. Det er dette transportarbejde som anvendes for at komme frem til emissioner pr. tonkm. Derved haves nedenstående formel. TEMA har data for hvert segment, der angiver om det pågældende segment typisk er betjent af diesel- eller eltog. (Se Tabel 10.4). Emissionerne kan derfor være en blanding af diesel- og eltog og er et udtryk for emissioner fra det typiske køremønster.

$$e_{g,l}^G(i, j) = \frac{\sum_{s \in \text{korteste vej } i \rightarrow j} e_l^G(M_s^{vpk}, L) \cdot M_s^{vpk} \cdot D_s \cdot G_{s,g}}{\sum_{s \in \text{korteste vej } i \rightarrow j} M_s^{last} \cdot D_s}, \quad [\text{g/tonkm}]$$

I avanceret indstilling skal brugeren selv specificere antallet af lokomotiver, el/diesel, vægt på krogen, lastmængden og by-land fordelingen. Dermed benyttes den geografiske fordeling af tog- og laststørrelser ikke og ovenstående formler ændres til:

$$e_{g,l}^G(i, j, M^{vpk}, M^{last}, L) = \frac{e_l^G(M^{vpk}, L) \cdot M^{vpk} \cdot G_g}{M^{last}}, \quad \text{diesel tog [g/tonkm]}$$

$$e_{g,l}^G(i, j, M^{vpk}, M^{last}, L) = \frac{E_l^E q^G(M^{vpk}, L) \cdot M^{vpk} \cdot G_g}{M^{last}}, \quad \text{el tog [g/tonkm]}$$

Bemærk, at eltog pr. definition forurener i landzone, dvs. $G_{s, land} = 100\%$ og $G_{s, by} = 0\%$. Når i og j ligger midt på segmenter, beregner TEMA den forholdsmæssige del af start- og slutsegmenterne på ruten, dvs. D_i ganges med den %-del af segmentet som strækningen fra segmentende til i eller j udgør.

10.4 Litteratur

DSB (1999): *Dokumentation til TEMA*.

Banestyrelsen (1997a): *Miljøberetning og Grønt regnskab*.

Banestyrelsen (1997b): *Kørevej på skinner, kort*.

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.

Munck, Mogens (1983): *Søtransport*, Dansk Speditør Forening,

11 Færger til godstransport

11.1 Oversigt og brugervariable

Godstransport mellem danske havne udgjorde i 1997 23,8 mio tons eller ca. 25% af den samlede godstransport med skib i dansk farvand. Godstransport mellem danske havne udførtes i 46% af tilfældene med færger, mens 16% udførtes med tankskibe og resten med almindelige tørlastskibe (primært container-skibe og bulk carriers).

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 last skibe, der som regel ikke medfører passagerer, men som kan transportere væsentligt mere rullende last end almindelige passagerførende bilfærger.

I de senere år er der dog set en tendens til, at Ro-Ro skibene også kan transportere passagerer; dog i langt mindre omfang end almindelige færger. I mange tilfælde drejer det sig om maks. 12 passagerer, da skibene derved stadig lov-mæssigt bliver klassificeret som lastskibe.

De almindelige passagerførende bilfærger, der kan transportere lastbiler eller løstrailere, ligger i TEMA2000 som forud definerede færger. Herudover kan brugeren selv definere en passagerfærge, hvor den i beregningsmæssig forstand betragtes som en gods-færge. 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 bilagsrapport¹⁶.

Brugerdefinerede færger kan anvendes på samme måde som de foruddefinerede færger når først de defineret. Delmodellen til brugerdefinerede færger kan således anvendes til at supplere de foruddefinerede færger i TEMA2000.

¹⁶ 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.

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

De brugerspecificerede variable for godstransport med færger er:

- Færger/ruten,
- evt. turlængde,
- forbindende transportform, dvs. varebil, lastbil eller løstrailer,
- evt. færgens belægning for den valgte transportform og
- antal tons i den valgte transportform.

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 passagerfærgerne i TEMA2000 kan enten 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 11.1 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.

Tabel 11.1 Lastemuligheder for godstransport på færger i TEMA2000

Færge	Varebil	10 tons	24 tons	48 tons
Mette/Maren Mols	X	X	X	X
Povl Anker	X	X	X	X
Jens Koefod	X	X	X	X
Thor Sydfyen	X	X	X	X

Note: For ø-færgeruterne henvises til appendikset. I denne tabel er kun nævnt de færger der indgår i TEMA2000.

11.3 Litteratur

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

Miljøstyrelsen (1997): *Emissioner fra skibe i danske farvande 1995-1996*, DK-teknik for Miljøstyrelsen.

Miljøstyrelsen (1998): *Reduktion af miljøbelastning ved flytning af godstransport fra land til sø og belysning af de miljømæssige fordele ved coastertransport frem for landtransport*. DK-teknik for Miljøstyrelsen

SeaPress (1998): *Dansk illustreret skibsliste*

Trafikministeriet (1995): *Nye færgetyper - Teknisk rapport*.

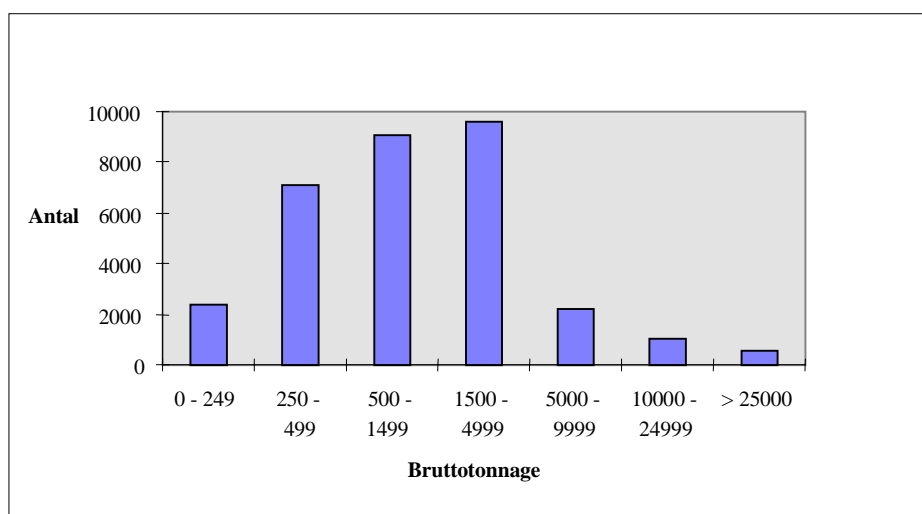
Transportrådet (1999): *Godstransportkæders miljø- og omkostningsforhold*

12 Fragtskibe

12.1 Introduktion

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, 1997



Kilde: Samfærdsel og turisme 1998:42.

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

Ved opstillingen af den tidligere version af TEMA var data for fragtskibes energiforbrug og emissioner sparsomme. Den gamle version af modellen indeholdt således kun to skibe, en lille coaster (499 BRT, lasteevne 1.580 ton) og et containerskib (4.960 BRT, lasteevne 11.000 ton).

TEMA2000 bygger på en omfattende model¹⁷ med hvilken det er muligt at foretage systematiske beregninger for forskellige skibstyper. Denne model er benyttet som grundlag for TEMA2000s fragtskibe, som er containerskibe og bulk carriers (massegodsskibe). Til TEMA2000 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. Udover disse skibe kan brugeren selv definere andre bulk- og containerskibe, idet der gælder følgende kapacitetsgrænser:

- Containerskibe: 100 - 7.000 TEU
- Bulk carriers: 2000 - 150.000 tons last

12.2 Brugervariable

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 eller container),
- evt. skibets maksimale lasteevne i TEU¹⁸ eller ton (TEU for containerskibe og ton for bulk carriers),
- evt. belægningsgraden i TEU eller ton,
- 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% i forhold til gennemsnitsfarten for den pågældende skibstype og -størrelse.

¹⁷ Se Kristensen (2000).

¹⁸ TEU står for 20 fods ækvivalent, dvs. eksempelvis en standard 20 fods container.

En 2000 tons bulkcarrier med en udnyttelsesgrad på 65% bruger 0,204 MJ per ton-km ved 10,4 knob, mens det samme skib bruger 0,285 MJ per ton-km hvis farten øges 10% til 11,5 knob, altså en forøgelse på 40% 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 på den danske flåde. TEMA2000 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 olieforbrugsmæssig 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%, er der i modellen indlagt en nedre grænse på 25% kapacitetsudnyttelse.

12.3 Analyse

12.3.1 Motortyper¹⁹

Slow speed motorer benyttes ofte til fremdrivning af containerskibe over 500 - 1000 TEU, idet der bygges slow speed motorer ned til 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 pct. for lav. Dette opvejes dog af det forhold, at for et så lille skib vil nyttelasten sandsynligvis udgøre op til ca. 90 pct. af dødvægten, hvor der i beregningsmodellen er brugt 75 pct. som en fælles procentsats op til containerskibe på 4000 TEU.

¹⁹ Fra Hans Otto Kristensens notat af 12. november 1999.

Også for bulk carriers er det i modelberegningerne antaget, at skibene fremdrives af slow speed motorer (Bilagsrapport, Bilag B). 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.

Slow speed motorer antages at forbrænde fuel olie, 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 med gennemsnitsalder (MJ/ton-km)*

Kapacitetsudnyttelse (aktuel last/maksimal last)	Bulkcarrier med 2000 tons lastevne	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 Emissionskoefficienter

De nævnte skibe sejler på fuelolie, og det er skønnet at det gennemsnitlige svovl indhold er 3%²⁰.

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 ₂	78,000
NO _x	2,500
CO	0,230
HC	0,073
Partikel	0,200
SO ₂	1,560

Kilde: Kristensen (2000), Lloyds Register of Shipping (1995) og MAN B&W (1999).

²⁰ Dette skøn er blandt andet baseret på Sowman (1997).

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 per tonkm og q er skibets energiforbrug per km..

Tilsvarende vil emissionen per ton være givet ved nedenstående formel:

$$e^G = I * q^G$$

hvor I er den specifikke emissionsfaktor i g/MJ.

Beregning af brugerspecificerede færgers energiforbrug fremgår af bilagsrapporten Kristensen (2000).

12.5 Litteratur

Danmarks Rederiforening (1999): Diverse oplysninger vedr. skibenes aldersfordeling.

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

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 NOx for slow speed og medium speed motorer fra MAN B&W diesel. Præsenteret på Skibsteknisk Selskabs konference 27. Oktober 1999.

Lloyds Register of Shipping (1995): Marine Exhaust Emission Research Programme.

Sowman, Colin (1997): *Do you know what's in your bunker?* The Motor Ship, December 1997.

13 Øvrige data

13.1 Rejsehastigheder, vejafstande og byzoner

I TEMA2000 kan der rejses i mellem 666 lokaliteter / destinationer. Disse omfatter:

- Byer med mere end 1000 indbyggere.
- DSB's stationer på hoved-, regional- og lokalbaner.
- DSB's S-togs stationer.
- Lufthavne, der betjener de væsentligste indenrigs-rute-fly.
- Færgehavne, der betjener de væsentligste færgeruter.
- Malmö og Ystad.

Vejafstandene mellem byerne i TEMA er beregnet og lagt ind i en afstandsmatrix. 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 personbilhastigheder. 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 køreafstanden 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.

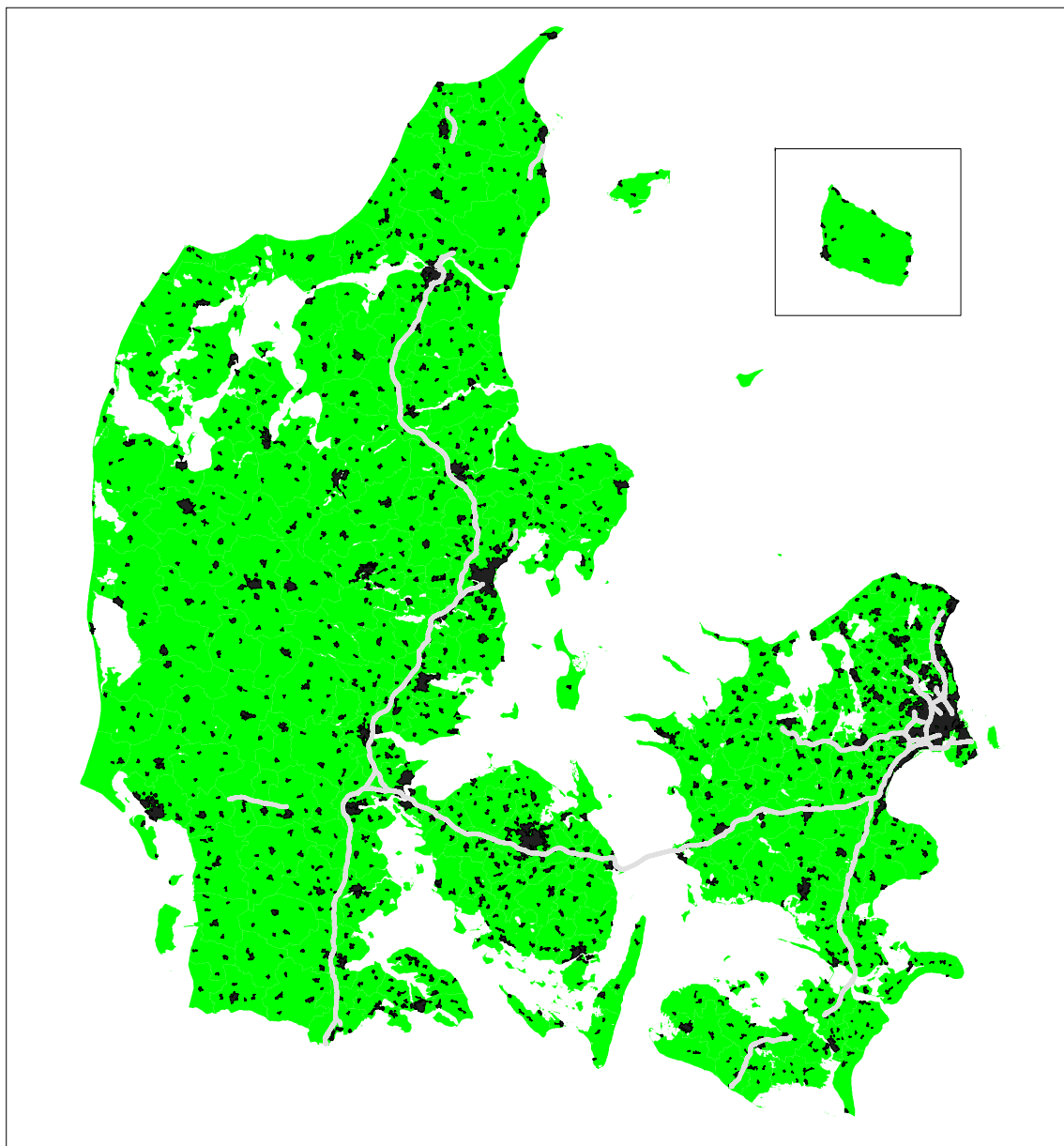
I DDO-vektor gælder flg. byzonedefinition: Alle bebyggede områder større end 0,3 km², samt industriområder under 1,5 km² er byzone. En ejendom er indenfor byzonen, hvis afstanden mellem to tilstødende bygninger er under 100 m, eller mere, hvis denne længere afstand skyldes kirkegårde, sports-, parkeringspladser, parker, jernbanearealer eller bebyggelsesområder under opbygning. Hvis to til-

stødende byzoner ligger tættere på hinanden end 500 m og deres totale areal overstiger 0,3 km², er begge arealer registreret.

Tabel 13.1 Benyttede hastigheder ved beregning af hurtigste rute

Benævnelse	Hastighed land	Hastighed by
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

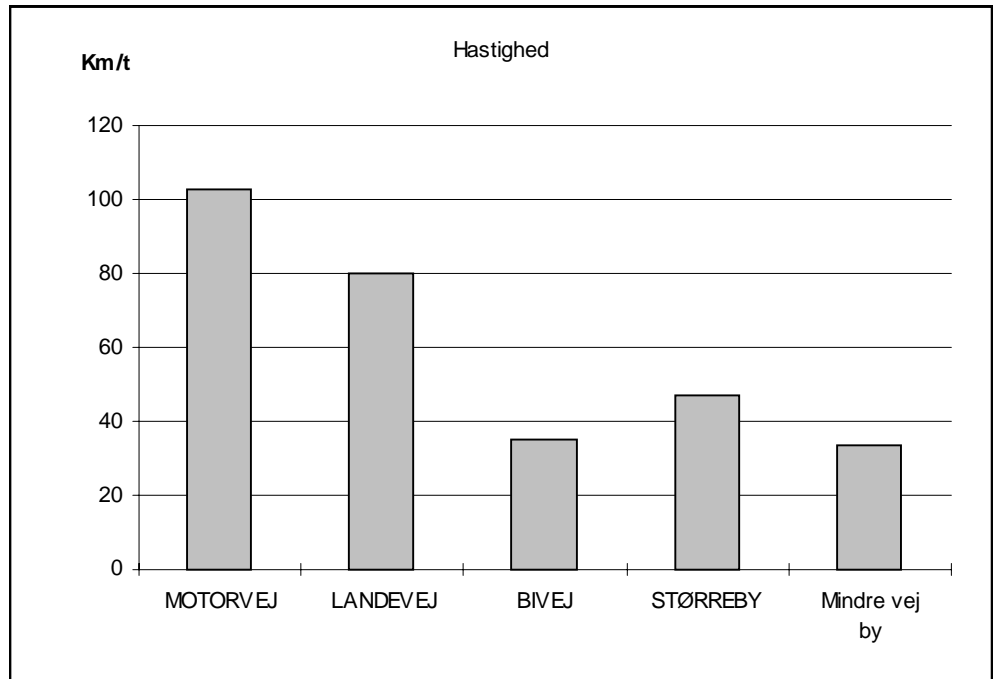
Figur 13.1 TEMA's byzoner fra DDO, samt motorvejsstrækninger fra DAV.



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

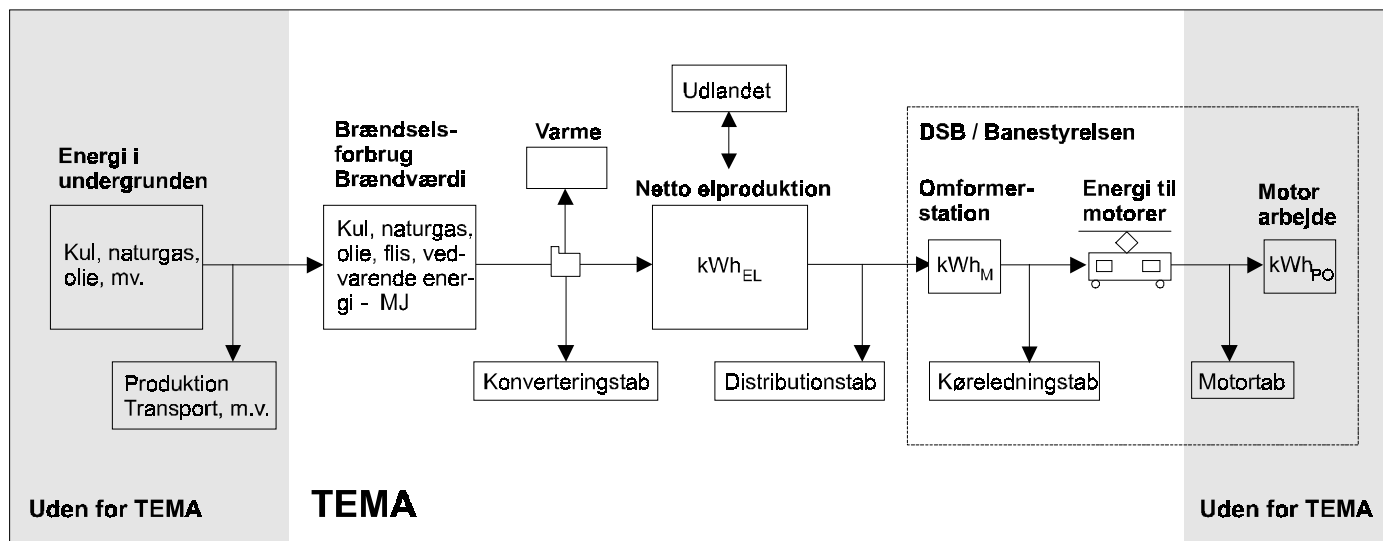
13.2.1 Elforsyning - kort overblik

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.

Figur 13.2 Energiflow fra brændsel via elproduktion til motorarbejde.



Note: DSB / Banestyrelsens strømmålinger for EA er foretaget på omformerstationer, mens S-togenes strømforbrug er målt i togene. Strømforbruget målt i togene er korrigeret for køreledningstab.

I Figur 13.2 er vist hvordan energi i undergrunden bliver konverteret til el og sendt videre til forbrugerne, for i det her tilfælde at blive transformeret til motorarbejde.

Brændselsforbrug

Først bliver brændslerne udvundet fra undergrunden og transporteret til elværkerne. Der forekommer et tab i forbindelse hermed, men det ses der bort fra i TEMA. Dette er konsistent med energiopgørelsen for alle andre brændstoftyper i TEMA. 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 dieselskøretøjer.

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. energienhed produceret. 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 1997 på 6 %.

Forbrug I Figur 13.2 er vist en af forbrugerne, nemlig DSB / Banestyrelsen. 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 i følge foreløbige opgørelser fra DSB på 5 %.

Endelig konverteres den elektriske energi i toget til motorarbejde (PO = Power Output), hvor der også forekommer et tab i processen. Jørgensen (1997) analyserer energiforbrug for tog og benytter som alternativ metode en analytisk beregning af den nødvendige mængde energi pr. ton km for at trække et tog.

13.2.2 Metodeovervejelser

Gennemsnitsmetode Når emissioner udregnes som gennemsnitsbetragtninger, tages det samlede årlige udslip fra alle produktionssteder, som divideres med det årlige elforbrug. Dette giver en historisk vinkel på emissionerne.

Marginalmetode I en situation, hvor der skal tages beslutninger om ændringer i mængden af togekørsel fremover være relevant at se på emissionerne ved en ændring af elfefterspørgslen.

Til dette formål er det nødvendigt at have klarlagt tidshorisonten. Hvis der er tale om en kort tidshorisont, vil den marginale energi blive produceret på et kulkraftfyret kondensværk. Er tidshorisonten derimod lang, vil der reelt være tale om en beslutning vedr. valg af produktionsteknologi. F.eks. hvis der bygges et decentralt naturgasfyret elværk, eller Banestyrelsen bygger sin egen vindmøllepark.

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 korrekt at tale om produktionsteknologier og beregne emissionsfaktorer for disse.

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 % 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% af miljøpåvirkningerne, og varmesiden får 13 %. 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.

I 1998 havde Danmark en positiv nettoeksport af el. 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

$$(13.1) \quad \eta_{\text{samlet}} = \frac{Q_{\text{produktion}}}{Q_{\text{primær}}}$$

$$(13.2) \quad \eta_{\text{el}} = \frac{Q_{\text{el}}^{\text{produktion}}}{Q_{\text{primær}}} \quad \eta_{\text{var me}} = \frac{Q_{\text{var me}}^{\text{produktion}}}{Q_{\text{primær}}}$$

hvor det ses, at virkningsgraderne er uafhængige af brændselsfordelingen.

Den mængde primærenergi, der går til produktionen af 1 kWh_M hos forbrugeren, beregnes efter flg. formel

$$(13.3) \quad El_{\text{faktor}} = \frac{1}{1-l_d} \cdot \frac{Q_{\text{el}}^{\text{primær}}}{Q_{\text{el}}^{\text{produktion}}} \cdot 3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kWh}_M} \right]$$

hvor l_d er distributionstabet i %. Distributionstabet opgøres som distributionstab i forhold til den indenlandske forsyning. Begge begreber er fra Energistatistikken. Dvs.:

$$(13.4) \quad l_d = \frac{Q_{\text{dist.tab}}}{Q_{\text{indenlandskforsyning}}}$$

TEMA's emissionsfaktorer opgøres (principielt) for hver emissionstype, l , således:

$$(13.5) \quad E_l^E = \frac{\sum_k E_{\text{primær}}^{E,k} \cdot M_{\text{primær}}^k}{Q_{\text{endeligt forbrug}}^{\text{el}}} \left[\frac{\text{g}}{\text{kWh}_M} \right]$$

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

Metoden til opgørelse af el-emissionskoefficienter har været debatteret i TEMA gruppen. På et møde mellem Trafikministeriet, Banestyrelsen, Energistyrelsen og COWI blev det besluttet at:

- Der benyttes gennemsnitsberegninger for alle elproducerende anlæg i Danmark.
- Der korrigeres for import/eksport

- Brugeren kan vælge imellem 1) Ren energiindholdsmetode 2) Energistyrelsens opgørelsesmetode og 3) Brugedefinerede emissioner

Energistyrelsens opgørelsesmetode svarer til Energistatistikens miljødeklarering af el for 1998. Miljødeklarering af el for 1999 vil foreligge medio August 2000.

Tallene er sat i forhold til forbruget, hvorved der tages højde for distributionstab fra kraftværkerne til forbrugerens måler. Dette er i størrelsesorden 6 %.

Energistyrelsen har opgjort TEMA's emissionsfaktorer. For CO₂'s vedkommende er dette gjort via en række brændselsspecifikke emissions-faktorer, mens SO₂, NO_x, HC og CO er opgjort via værk- og brændelses-specifikke faktorer.

TSP er opgjort via støvemissionsoplysninger fra centrale og decentrale Elkraft og Elsam værker, samt anslåede støvværdier for de øvrige elproducerende anlæg. Det er vanskeligt at kvantificere andelen af PM₁₀ i støvemissioner. Der er foretaget meget få undersøgelser i Danmark. De undersøgelser der er foretaget tyder på, at størsteparten af støvemissionerne er PM₁₀. Der foreligger dog endnu ikke offentliggjorte resultater for disse undersøgelser.

Det kræver nærmere undersøgelser at vurdere om udenlandske målinger kan oversættes til danske forhold. Det er i litteraturen sjældent klart, når der opgives PM-10 pr kWh, om der foregår en samproduktion af varme, som er typisk i Danmark. Derudover indgår en lang række tekniske forhold, såsom brændselstyper, kedeltyper, rensningsteknologi, mm. Energistyrelsen har derfor i samråd med Elsam skønnet, at "størstedelen af støvemissionerne er PM₁₀".

Anvendte faktorer Samlet set giver dette flg. el-emissionsfaktorer, som er anvendt i TEMA:

Tabel 13.2 Data for gennemsnitlig dansk elproduktion og anvendte el-emissionskoefficienter 1998.

Emissionstype		Energiindholdsmetoden	Energistyrelsens metode
η_{samlet}		69 %	69 %
η_{el}		37 %	37 %
l_d		7 %	7 %
Elfaktor	MJ / kWh _M	6,05	7,75
CO ₂	g / kWh _M	483	654
CO	g / kWh _M	0,42	0,44
NO _x	g / kWh _M	1,00	1,37
HC	g / kWh _M	0,033	0,039
SO ₂	g / kWh _M	0,92	1,25
TSP	g / kWh _M	0,026	0,037

Kilde: Beregning foretaget af Energistyrelsen for COWI.

Noter: TSP = Total Suspended Particles. PM₁₀ = Particulate Matter < 10 μm. TSP emissionerne er anslået ud fra oplysninger fra centrale værker, decentrale elværksejede anlæg og oplysninger fra affaldsforbrændingsanlæg. TSP oplysningerne er forbundet med nogen usikkerhed. Det har ikke været muligt at få kvantificeret andelen af PM₁₀ i TSP, men ifølge ELSAM vil størstedelen af partiklerne være under 10 μm.

Energistyrelsens opgørelsesmetode svarer til Energistatistikens miljødeklarering af el for 1998. Miljødeklarering af el for 1999 vil foreligge medio August 2000.

Eksportkorrektion har kun været mulig at foretage for CO₂, NO_x og SO₂.

Tabel 13.3 Energistatistik 1998.

Produktion 1998	TJ
El-produktion (netto)	141.101
Nettoexport	15.552
Indenlandsk el-forsyning	125.549
Distr. tab	8.391
Endeligt el-forbrug	117.158

Kilde: Energistyrelsen.

I TEMA er det muligt at benytte brugerdefinerede el-emissioner. Til brug for disse er der i Tabel 13.4 angivet 2 eksempler på emissionsfaktorer på miljøvenlige produktionsformer: Naturgas og el fra Sverige. TEMA-brugeren indtaster selv disse eller egne emissionsfaktorer.

For det naturgasfyrede værk er den totale virkningsgraden sat til 88 %. Virkningsgraden er hentet i Meyer et al (1994), mens emissionskoefficienter er oplyst af Energistyrelsen. Der er tale om et decentralt kraftvarmeværk. Der er regnet med 7 % distributionstab.

De svenske tal er fra Andersson (1997), som ikke opgiver virkningsgrader. Emissionerne er ret lave, da der indgår A-kraft og vandenergi. Der er ikke regnet med distributionstab.

Tabel 13.4 Eksempler på data for brugerdefinerede emissionsfaktorer.

Emissionstype	Naturgas	Svensk el
CO ₂ g / kWh	250,29	20,8
CO g / kWh	0,06	0,023
NO _x g / kWh	0,66	0,038
HC g / kWh	0,04	0,0003
SO ₂ g / kWh	0,00	0,021
TSP g / kWh	0,00	n.a.

Kilde: Beregninger på tal fra Energistyrelsen og Andersson (1997)

13.2.4 Litteratur

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

Elsam (1997): *Elsams miljøberetning*.

Energistyrelsen (1998): *Energistatistik 1997*.

European Commission (1995): *ExternE: Externalities of Energy, vol. 1-6*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Commission.

Jørgensen, Morten W. and Spencer C. Sorenson (1997): *Estimating Emissions from Railway Traffic*, Report ET-EO-97-03, Department of Energy Engineering, Technical University of Denmark.

Meyer, Henrik et al. (1994): *Omkostningsopgørelse for miljøeksternaliteter i forbindelse med energiproduktion*, Forskningscenter Risø.

Appendiks 1: Appendiks til søtransport

Tabel 13.5 Data for hovedfærger med oplyst energiforbrug

	Århus- Kalund- borg Maren Mols	Ebelt.- Sj.Odde Mie Mols	Århus- Sj.Odde Max Mols	Rønne- Kbh Jens Koe- fod	Rønne- Ystad Povl An- ker
Rederi	Mols-Linien	Mols-Linien	Mols-Linien	BornholmsT	BornholmsT
Færgetype	Konv	Hurtig	Hurtig	Konv	Konv
Strækning i km	91	48	72	185	64
Overfartstid i min	160	45	60	390	150
Antal passagerer: kapacitet belægningsgrad ³⁾	600 21% ²⁾	450 34% ²⁾	800 -	1500 25% ¹⁾	1500 32% ¹⁾
Antal biler: kapacitet belægningsgrad ⁰⁾	344 34% ²⁾	120 46% ²⁾	220 -	300 21% ¹⁾	300 30% ¹⁾
Lastbiler ja / nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Ja
Energi MJ pr overfart MJ pr km	192.565 2.123	155.930 3.290	192.340 2.664	358.204 1.934	208.940 3.290
Energi MJ pr bil-km Fuld belægning / Anført belægn	6 18	27 60	12 -	7 31	11 37
Energi MJ pr pers-km Fuld belægning / Anført belægn	4 17	7 22	3 -	1 5	2 7
CO ₂ kg pr overfart kg pr km	14.250 157	11.540 243	14.230 197	26.510 143	15.460 243
CO g pr overfart g pr km	38.510 425	1.560 33	36.550 506	71.640 387	41.790 658
NO _x g pr overfart g pr km	288.850 3.185	60.810 1.283	250.050 3.463	537.310 2.901	313.410 4.936
HC g pr overfart g pr km	11.750 130	5.300 112	11.160 155	21.850 118	12.750 201
SO ₂ g pr overfart g pr km	48.150 531	7.640 161	9.430 131	89.550 484	52.230 823
Partikler g pr overfart g pr km	5.580 62	1.560 33	5.000 69	10.390 56	6.060 95

Kilder: Trafikministeriet (1997): *Miljøregnskab for trafikken til og fra Bornholm* (tallene er fraregnet sejlads med færgen Peder Olsen), Bilfærgernes Rederiforeningen (februar 2000).

0) Belægningsgraden er beregnet på basis af vogndæksbelægning, dvs. det inkluderer alle medtagne køretøjer omreg-

net til personbilækvivalenter.

1) Scandlines tal for januar-oktober 1998.

2) Ingen direkte kilde har været til rådighed. Tallet er baseret på det totale antal transporterede enheder på ruten (alle færger) fra Samfærdsel og turisme under antagelse af, at 2/3 af bilerne og passagerne transporteres på hurtigfærgen, resten af det kørende materiel på kombifærgen, og det er forudsat at 60% af afgangene er med hurtigfærge.

3) Denne belægningsgrad er kun medtaget for sammenligningens skyld. Den benyttes ikke i modellen, hvor vogn-dæksbelægningen benyttes i stedet.

Tabel 13.6 Små færgeruter i TEMA med oplyst energiforbrug

Rute	Færge	Strækning i km	Passagerkapacitet		Personbiler		Lastbiler	Energi MJ/over-fart ³⁾	Energi MJ/km	Energi MJ/bil-km 100%
			Kap	Bel ²⁾	Kap	Bel ²⁾				
Anholt-Grenå	Anholt	48,2	217	18%	6	23%	2	14.760	307	51
Askø-Bandholm	Askø	7,0	95	8%	17	24%	3	828	118	7
Assens-Baagø	Baagøfærgeren	6,5	91	9%	8	33%	1	632	97	12
Barsøland-Barsø ¹⁾	Barsø-færgeren	2,4	24	9%	3	32%	1	474	197	66
Bjørnø-Fåborg ¹⁾	Lillebjørn	5,2	20	9%	Nej	ir	Nej	108	21	ir
Endelave-Snaptun	Endelave	17,6	146	20%	16	50%	3	3.683	209	13
Feggesund-Arup Holme ¹⁾	Hannæs	0,9	97	6%	12	26%	3	148	160	13
Fejøl-Kragenæs	Bukken-Bruse	2,3	150	10%	24	30%	2	595	257	11
Femø-Kragenæs	Femø Sund	13,0	100	12%	11	55%	2	1.571	121	11
Fåborg-Lyø, Avernakø	Fåborg II	24,1	147	12%	12	36%	3	2.294	95	8
Gudhjem-Christiansø ¹⁾	Ertholm	18,5	291	9%	Nej	ir	Nej	3.304	178	ir
Gudhjem-Christiansø ¹⁾	Chimera	18,5	142	9%	Nej	ir	Nej	2.738	148	ir
Hals-Egense	Hals-Egense	0,6	98	9%	10	43%	2	92	165	16
Hjarnø-Snaptun	Hjarnø	0,7	48	9%	5	32%	1	140	189	38
Hov-Samsø	Vesborg *)	22,2	440	17%	74	33%	Ja	10.146	457	6
Kalundborg-Koldby Kaas	Kyholm *)	41,5	450	19%	92	25%	Ja	33.640	811	9
Kalvehale-Lindholm ¹⁾	Ulvsund	3,7	150	9%	5	32%	3	1.495	403	81
Nekselø-Havnsø ¹⁾	Nixelø	4,6	73	9%	2	32%	1	394	85	43
Næssund Mors-Næssund Thy	Næssund	0,9	97	4%	12	19%	3	323	349	29
Omø-Stignæs	Omø	12,0	100	10%	7	36%	1	1.683	140	20
Orø-Holbæk	Ourø	8,3	148	10%	8	29%	2	870	104	13
Rudkøbing-Marstal	Marstal *)	17,0	395	11%	42	26%	Ja	12.515	736	18
Rudkøbing-Strynø	Strynboen	7,4	72	17%	10	31%	2	743	100	10
Rørvig-Hundested	Nakkehage	5,6	190	15%	23	38%	2	2.656	478	21
Skarø-Drejøl/Svendborg	Ærø	22,2	130	13%	14	19%	1	2.438	110	8
Stignæs-Agersø	Agersø Færgeren	2,8	130	8%	12	31%	2	644	232	19
Svaneke-Christiansø ¹⁾	Peter	37,0	147	9%	Nej	ir	Nej	4.484	121	Ir
Svendborg-Ærøskøbing	Ærøskøbing *)	22,5	395	16%	42	36%	Ja	15.911	707	17
Søby-Fåborg	Søbyfærgeren	17,4	199	13%	27	50%	8	3.750	215	8
Søby-Mommark	Øen	18,5	160	19%	18	50%	4	3.779	204	11
Venø-Kleppen	Venø Sund II	0,3	73	7%	10	28%	2	55	197	20
Vesterø Havn-Frederikshavn	Læsø	27,8	600	13%	52	41%	9	17.241	621	12
Østre Færge-Hammerbakke ¹⁾	Karen Orø	0,7	200	9%	40	32%	4	82	110	3
Østre Færge-Hammerbakke ¹⁾	Østre Færge	0,7	60	9%	8	32%	1	266	359	45

Kilder: Egne data samt for *) Bilfærgernes Rederiforeningen.

1) Belægningsgraderne er beregnet på basis af øvrige medtagne små færgeruter.

- 2) Kilde: Samfærdsel og turisme 98:42. Personbilsbelægningen er beregnet på basis af vogndæksbelægning, dvs. den inkluderer alle medtagne køretøjer omregnet til personbilækvivalenter. For ruter ikke opgivet i kilden er anvendt gennemsnit for øvrige ruter.
- 3) Energiforbruget pr. overfart er baseret på samlet energiforbrug og antal overfarter for 1994.

Tabel 13.7 Data for færger med beregnet energiforbrug

	Rønne- Ystad Villum Clausen	Bøjden- Fynshav Thor Sydfyen	Havnsø- Sejerø Sejerøfær- gen
Færgetype	Hurtig	Konv	Konv
Strækning i km	64,5	14	20,4
Sejlhastighed i knob	37	12,0	12,7
Antal passagerer: kapacitet belægningsgrad ³⁾	1000 -	300 16%	251 8%
Antal biler: kapacitet belægningsgrad ¹⁾	186 -	50 34%	36 20%
Lastbiler ja / nej	(Nej)	Ja	Ja
Energi MJ pr overfart MJ pr km	220.420 3.471	8.030 574	13.720 672
Energi MJ pr bil-km Fuld belægning / Anført belægn	19 -	10 31	19 94
Energi MJ pr pers-km Fuld belægning / Anført belægn	3 -	2 12	3 34
CO ₂ kg pr overfart kg pr km	16.310 257	590 42	1.020 50
CO g pr overfart g pr km	2.200 35	1.600 115	2.740 134
NO _x g pr overfart g pr km	85.960 1.354	12.050 860	20.580 1.009
HC g pr overfart g pr km	7.490 118	490 35	840 41
SO ₂ g pr overfart g pr km	10.800 170	390 28	670 33
Partikler g pr overfart g pr km	2.200 35	230 17	400 19

1) Belægningsgraden er beregnet på basis af vogn-dæksbelægning, dvs. det inkluderer alle medtagne køretøjer omregnet til personbilækvivalenter.

2) Ingen direkte kilde har været til rådighed. Tallet er baseret på det totale antal transporterede enheder på ruten (alle færger) fra Samfærdsel og turisme under antagelse af, at 2/3 af bilerne og passagerne transporteres på hurtigfærge, resten af det kørende materiel på kombifærge, og det er forudsat at 60% af afgangene er med hurtigfærge.

3) Denne belægningsgrad er kun medtaget for sammeligningens skyld. Den benyttes ikke i modellen, hvor vogn-dæksbelægningen benyttes i stedet.

Appendiks 2: 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, mindre end PM_{10} . Partikel emissioner fra kraftværker måles traditionelt som støv, der medregner alle størrelser af partikler. Da de danske kraftværker i dag er forsynet med partikel filtre og afsvovlingsanlæg, der sorterer de store partikler fra, vil hovedparten af partikel emissionerne fra elproduktion også være PM_{10} .

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 ude på landet. Men det skyldes, at der er flere mennesker der udsættes for emissionerne i byområder end uden for byområderne. Derfor skelner TEMA også mellem emissioner i byområder og emissioner udenfor byområder. Der foreligger ikke tal for om de emissioner der udsendes fra en kraftværksskorsten er mere eller mindre skadelige end de tilsvarende emissioner der udsendes fra et udstødningsrør på en bil.

Set i lyset af ovenstående, og de usikkerheder der i øvrigt er ved opgørelse af miljøeffekter af emissioner, vurderes det ikke at en opdeling af emissionerne efter 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.

13.3 Skadesvirkninger af emissioner

I det følgende gives en kort oversigt over de væsentligste skadevirkninger fra transportsektorens emissioner.

Tabel 13.8 Oversigt over skadeseffekterne

Emission Skade	Partikler (PM ₁₀)	NO ₂ /NO _x	SO ₂	HC	CO	HC CO ₂	Carcinogener ^{a)}
Dødelighed	+		(+)	+			(+)
Sygelighed	+	+	(+)	+	(+)		
Landbrug		(+)		(+)			
Skovdød		+	+				
Bygningsskader	+	+	+				
Klima-effekt						+	

+ : Væsentlig effekt (+) : Mindre væsentlig effekt

a) Kræftfremkaldende stoffer, specielt: Benzen (C₆H₆), 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, PM₁₀, med en diameter på under 10 µm, der er relevante, og opmærksomheden retter sig i stigende grad mod de mindre partikler, PM_{2.5} og de endnu mindre ultrafine partikler PM_{0,1}

NO_x

NO_x er en samlebetegnelse for NO og NO₂. Hovedparten af trafikens NO_x-emissioner finder sted som NO, der ikke giver anledning til sundhedsmæssige effekter. I atmosfæren omdannes NO dog ret hurtigt til det mere sundhedsskadelige NO₂ ved reaktion med O₃ og frie radikaler.

NO bidrager via sur deposition til skovskader og korrosion af bygninger og materialer. Endvidere indgår NO_x sammen med HC i de kemiske reaktioner i atmosfæren som fører til dannelse af jordnær ozon (O₃), der bl.a. påvirker landbrugsudbytte og giver sundhedsskader.

SO₂

Emissionerne af svovldioxid (SO₂) giver anledning til skader ad to veje. For det første direkte, idet SO₂ bidrager til skovskader og korrosion af bygninger og materialer.

For det andet sker der i atmosfæren en omdannelse af SO₂ til sulfater (-SO₄) 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 at 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_xH_y . 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_4), der er den simpleste kulbrinte, er ikke særligt reaktiv. Derfor opgør man også emissionerne uden methan under betegnelsen NMVOC eller NMHC²¹. Den væsentligste skadelige effekt af CH_4 er som klimagas, hvor den normalt opgøres til 21 CO_2 -ækvivalenter.

Ud over at bidrage til dannelsen af O_3 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_2 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.

CO₂

CO_2 -udslippene fra forbrænding af fossile energikilder er den væsentligste bidragsyder til den menneskeskabte klimaeffekt. Da klimaeffekten skyldes en global stigning af CO_2 -koncentrationen i atmosfæren på lang sigt, er det uden betydning hvor emissionen finder sted. Atmosfærens CO_2 -indhold har også direkte indflydelse på planternes vækst, men effekten er ubetydelig i forhold til de klimaændringer, som menneskeskabte CO_2 -bidrag giver anledning til.

13.4 Sammenvejning

De forskellige luftforureningskomponenter som beregnes i TEMA2000 er ikke umiddelbart sammenlignelige.

²¹ NMVOC = Non Methane Volatile Organic Compounds, NMHC = Non-Methane Hydrocarbons.

De enkelte effekter er interessante hver for sig f.eks. i relation til politiske målsætninger. (jf f.eks. de politiske diskussioner om muligheden for at leve op til de nationale og internationale CO₂ målsætninger).

Hvis der ønskes en samlet miljøvurdering er det nødvendigt at vægte de enkelte komponenter sammen til et mål. Der er ikke konsensus omkring hvilke metoder der kan anvendes til sammenvejning af miljøeffekter. Her nævnes to forskellige metoder til sammenvejning af de forskellige effekter.

- UMIP

- Samfundsøkonomiske enhedsomkostninger

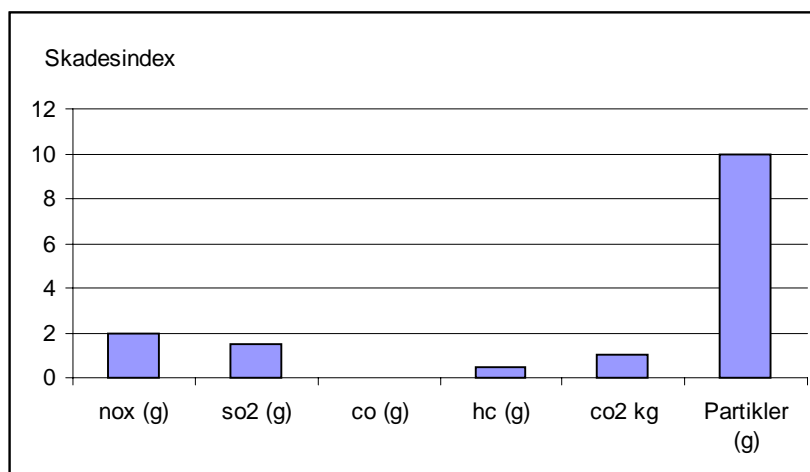
Ved UMIP metoden sker sammenvejningen på baggrund af en vurdering af de enkelte emissioners bidrag til miljøeffekterne (f.eks. drivhuseffekten). Sammenvejningen af de enkelte miljøeffekter til et tal sker herefter ved at tildele de enkelte miljøeffekter vægte. Disse vægte fastsættes ud fra en skønsmæssig vurdering af de enkelte miljøeffekters betydning, samt i hvor høj grad de bidrager til opfyldelsen af de politiske målsætninger.

Det er et alvorligt problem ved denne metode at partikler ikke indgår, især fordi partikel emissioner regnes for en af de mest skadelige miljøeffekter i transportsektoren. Når partikler ikke er med i UMIP metoden, skyldes det, at der ikke er fastsat nogen målsætning for reduktion af partikel emissionerne.

En anden metode er at anvende samfundsøkonomiske enhedsomkostninger til at vægte de enkelte komponenter sammen til en samlet samfundsøkonomisk omkostning. Princippet i opgørelse af den samfundsøkonomiske enhedspris er at skadevirkningen af de enkelte miljøeffekter kan opgøres i kroner. Derefter kan omkostningen ved de enkelte skadeeffekter lægges sammen.

Nedenstående figur viser et skade index baseret på en opgørelse af de samfundsøkonomiske skadeomkostninger fra trafikens emissioner. Det understreges, at opgørelse af skadeomkostningerne er behæftet med usikkerhed. Usikkerheden vedrører både opgørelsen af effekterne og især opgørelsen af de samfundsøkonomiske omkostninger ved de enkelte skadeeffekter. Især er det svært at sætte kroner på den øgede sygelighed og den øgede dødelighed. Usikkerhed omkring opgørelsen af skadevirkningerne skyldes f.eks. at det er vanskeligt at måle hvor mange der dør af sygdomme der kan henføres til emissionerne fra transportsektoren. Usikkerheden omkring opgørelsen af de samfundsøkonomiske omkostninger ved skadeseffekterne skyldes især at der er usikkerhed omkring opgørelsen af velfærdstab ved dødsfald - hvad er værdien af et liv.

Tabel 13.9 Skadesomkostningsindex for de væsentligste luftforureningsomkostninger



Kilde: Værdisætning af trafikens eksterne omkostninger - Luftforurening Udkast COWI for Trafikministeriet, februar 1999.

Regnet per gram er partikelemissionerne den miljøeffekt der har den største skadevirkning. Derefter kommer NO_x og SO_2 . Selv om der er usikkerhed om beregning af de samfundsøkonomiske enhedsomkostninger, så er der generel enighed om at partikelemissionerne er mest skadelige efterfulgt af NO_x målt per gram. Det skyldes at partikler og NO_x står for langt den største del af helbredseffekterne (sygelighed og dødsfald).

Ved en samlet vurdering af skadeseffekterne må skadeligheden per gram kombineres med mængden af emissionen. For partikler gælder det, at der er stor skadelighed, men det opvejes til en vis grad af at partikel emissionerne typisk er små, målt i gram.