



## **Modelanalyser af mobilitet og miljø** Slutrapport på ALTRANS og AMOR II

**Christensen, Linda; Gudmundsson, Henrik**

*Publication date:*  
2003

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*

Christensen, L., & Gudmundsson, H. (2003). Modelanalyser af mobilitet og miljø: Slutrapport på ALTRANS og AMOR II. Danmarks Miljøundersøgelser Miljøministeriet. DMU-rapport, Nr. Nr. 447

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



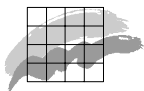
**Danmarks Miljøundersøgelser**  
Miljøministeriet

Slutrapport fra  
ALTRANS og AMOR II

# **Modelanalyser af mobilitet og miljø**

*Faglig rapport fra DMU, nr. 447*

*[Tom side]*



**Danmarks Miljøundersøgelser**  
Miljøministeriet

---

Slutrapport fra  
ALTRANS og AMOR II

# **Modelanalyser af mobilitet og miljø**

*Faglig rapport fra DMU, nr. 447*  
**2003**

*Linda Christensen*  
*Henrik Gudmundsson*

## Datablad

Titel:	Modelanalyser af mobilitet og miljø.
Undertitel:	Slutrapport fra ALTRANS og AMOR II
Forfattere:	Linda Christensen og Henrik Gudmundsson
Afdeling:	Afdeling for Systemanalyse
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 447
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Miljøministeriet
URL:	<a href="http://www.dmu.dk">http://www.dmu.dk</a>
Udgivelsestidspunkt:	Juni 2003
Faglig kommentering:	Ole Kveiborg, Hanne Bach
Finansiell støtte:	Forsknings- og udredningsmidler fra Transportrådet, Miljøstyrelsen og Det Strategiske Miljøforskningsprogram II samt Energistyrelsen.
Bedes citeret:	Christensen, L. & Gudmundsson, H. 2003. Modelanalyser af mobilitet og miljø. Slutrapport fra ALTRANS og AMOR II. Danmarks Miljøundersøgelser. 116 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 447. <a href="http://faglige-rapporter.dmu.dk">http://faglige-rapporter.dmu.dk</a>  Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Sammenfatning:	Begrebet bæredygtig transport diskuteres og ved hjælp af persontrafikmodellen ALTRANS belyses mulighederne for at fremme bæredygtig udvikling gennem en række scenarier. Desuden præsenteres en mere detaljeret analyse af ændringer i CO <sub>2</sub> -belastningen ved forbedring af den kollektive trafiks serviceniveau. Hovedindholdet i persontrafikmodellen ALTRANS præsenteres og dens kvalitet diskuteres.
Emneord:	Bæredygtig transport, kollektiv trafik serviceniveau og miljøbelastning, persontrafikmodel, mikroøkonomisk adfærdsmodel.
Layout:	Ann-Katrine Holme Christoffersen
Korrektur:	Hanne Bach, Ann-Katrine Holme Christoffersen
ISBN:	87-7772-742-8
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	116
Internetversion:	Rapporten findes kun elektronisk som PDF-fil på DMU's hjemmeside <a href="http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR447.pdf">http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR447.pdf</a>
Købes hos:	Miljøministeriet Frontlinien Strandgade 29 1401 København K Tlf.: 33 66 02 00 <a href="mailto:frontlinien@frontlinien.dk">frontlinien@frontlinien.dk</a> <a href="http://www.frontlinien.dk">www.frontlinien.dk</a>

# Indhold

## Forord 5

## Sammenfatning 6

- Projektets formål 6
- Trafikmodellen ALTRANS 6
- Transport og bæredygtig udvikling 7
- Scenarieanalyser 7
- Forbedret kollektiv service som miljøstrategi 8
- Kvalitetsvurdering af modellen 8

## Summary 10

- Purpose 10
- The ALTRANS model 10
- Transport and sustainable development 11
- Scenario analysis 11
- Improved public transport as environmental strategy 12
- Quality assessment of the model 13

## 1 Baggrund, formål og indhold 14

## 2 ALTRANS - en persontrafikmodel 16

- 2.1 Den geografiske model 18
  - 2.1.1 Modellens opbygning 19
  - 2.1.2 Model for kollektiv trafik 20
  - 2.1.3 Serviceniveau og kørestrækning for kollektiv trafik 24
  - 2.1.4 Model for bilrejser 25
  - 2.1.5 Model for attraktion til byfunktioner 25
- 2.2 Adfærdsmodellen 25
  - 2.2.1 Model for destinations- og transportmiddelvalg 26
  - 2.2.2 Model for bilejerskab 29
  - 2.2.3 Modeller for kørekorthold og cohorteffekt 30
  - 2.2.4 Datagrundlag 30
  - 2.2.5 Opvægtning 33
- 2.3 Bilparks- og emissionsmodellen 34
  - 2.3.1 Fremskrivning af bilparken 35
  - 2.3.2 Skrotning af biler 35
  - 2.3.3 Tilgangen af nye biler 37
  - 2.3.4 Emissionsmodel for biltrafikken 37
  - 2.3.5 Emissioner og omkostninger for kollektiv trafik 38
- 2.4 Fremskrivnings- og scenariemodellen 40
  - 2.4.1 Principperne i en fremskrivningsmodel 41
  - 2.4.2 Scenariemodell 41

## 3 Transport og bæredygtighed 45

- 3.1 Baggrund 45
- 3.2 Bæredygtig udvikling 45
- 3.3 Bæredygtighed på transportområdet 50

- 3.3.1 Definition af 'bæredygtig transport'? 50
- 3.3.2 Politiske planer og mål 52

## **4 Scenarieanalyser af transport og bæredygtighed 56**

- 4.1 Opstilling af scenarier 56
  - 4.1.1 Afgræsninger 56
  - 4.1.2 Metode 57
  - 4.1.3 Hypoteser 58
  - 4.1.4 Udvalgte scenarier 60
- 4.2 Resultater 62
  - 4.2.1 Trafik 62
  - 4.2.2 Emissioner 63
  - 4.2.3 Rejsetid 67
  - 4.2.4 Trafikantomkostninger 69
  - 4.2.5 Bilparken 71
- 4.3 Konklusioner 71
  - 4.3.1 Resultater af scenarierne 71
  - 4.3.2 Konklusioner i forhold til bæredygtighedsanalysen 73

## **5 Forbedret kollektiv service som miljøstrategi 75**

- 5.1 Effekten af serviceforbedringer ifølge litteraturen 76
- 5.2 Adfærdsændringer i scenarierne 77
  - 5.2.1 Beregning af adfærdsændring 80
  - 5.2.2 Adfærdsændring i de 4 scenarier 81
- 5.3 Miljømæssige effekter af de 3 scenarier 86
- 5.4 Omkostninger i de 4 scenarier 88
  - 5.4.1 Driftsøkonomisk beregning 88
  - 5.4.2 Samfundsøkonomisk beregning 90
- 5.5 Konklusion 90

## **6 ALTRANS-modellens kvalitet 92**

- 6.1 Forskellige modeltypers kvalitet 92
  - 6.1.1 Zonebaserede og individbaserede modeller 92
  - 6.1.2 ALTRANS som individbaseret model 93
- 6.2 Styrker og svagheder i ALTRANS 94
  - 6.2.1 Systematisering af forudsætninger og usikkerheder 95
  - 6.2.2 Modellens adfærds-mæssige idegrundlag, punkt 1 97
  - 6.2.3 Modellens økonomiske og modeltekniske grundlag, punkt 2-5 99
  - 6.2.4 Modellens matematiske og datamæssige grundlag, punkt 6-9 102
  - 6.2.5 Sammenfatning af modelafprøvning 104
  - 6.2.6 Konklusion 107

## **7 Litteratur 109**

# Forord

Denne rapport udgør afslutningen på to projekter: ALTRANS, Alternative Transportsystemer, og AMOR II delprogram 5, 'Sector economic scenarios, impact and policy assessment: Transport', der blev påbegyndt på Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) i 1994. Rapporten indeholder dels en oversigt over en persontrafikmodel, der blev udviklet i den kvantitative del af ALTRANS-programmet, og dels analyser af scenarier og andre resultater fra modellen. Selve modellen er dokumenteret i en række rapporter (Thorlacius, 1998, Kveiborg, 1999 og Rich & Christensen, 2001). Scenarieanalyserne er derimod nye og har kun tidligere været offentliggjort i sammendrag (Gudmundson, 2001 og Christensen, 2001).

Denne afsluttende rapport er et resultat af det samlede projekt, der er blevet til som et teamwork, der ud over forfatterne har omfattet en lang række medarbejdere i DMU, først og fremmest Uffe Kousgaard, Ole Kveiborg, Zine Lange, Jeppe Husted Rich, Per Thorlacius og Morten Winther. Uden deres indsats var arbejdet aldrig blevet realiseret.

Udviklingen af ALTRANS har kun været mulig gennem støtte fra forsknings- og udredningsmidler fra Transportrådet, Miljøstyrelsen og Det Strategiske Miljøforskningsprogram II, samt Energistyrelsen. Vi vil gerne takke for denne støtte og ikke mindst for den opbakning og tålmodighed, vi har mødt i den vanskelige proces.

Arbejdet med ALTRANS har været fulgt af en styringsgruppe, der gennem årene har bestået af Niels Buus Kristensen og Mogens Fosgerau, COWI, Sten Leleur og Otto Anker Nielsen, Institut for Planlægning, DTU, John Holten-Andersen, Afdelingen for Systemanalyse, Susanne Krawack og Johan Nielsen, Transportrådet, Robert Heide-mann, Pia Berring, Claus Hedegaard Sørensen og Henrik Hvidtfeldt, Miljøstyrelsen samt Kenneth Larsen og Martin Thelle, Energistyrelsen. Vi vil gerne takke for mange konstruktive kommentarer og forslag fra styringsgruppen, når vi har fremlagt de løbende varianter af modellen.



# Sammenfatning

## Projektets formål

Formålet med denne rapport er at belyse mulighederne for at fremme en bæredygtig udvikling på persontransportområdet og herunder ved hjælp af en trafikmodel at undersøge en række konkrete tiltag og scenarier som har dette sigte. Hovedindholdet i den udviklede trafikmodel præsenteres i kapitel 2. I kapitel 3 diskuteres hvordan bæredygtig udvikling kan forstås i en transportsektorsammenhæng og der opstilles en operationel fortolkningsramme. I kapitel 4 præsenteres en analyse af effekten af forskellige scenarier, hvori generelle politiske tiltag over for trafikken simuleres i forhold til den opstillede ramme. I kapitel 5 behandles en mere detaljeret analyse af de scenarier, der vedrører mulighederne for at reducere miljøbelastningen ved at fremme den kollektive trafiks serviceniveau. Endelig diskuteres afslutningsvis nogle aspekter af modellens kvalitet i kapitel 6.

## Trafikmodellen ALTRANS

Kernen i trafikmodellen ALTRANS er en individbaseret mikroøkonomisk adfærdsmodel. Denne form for modeller er specielt velegnede til at analysere effekten af forskellige former for politikvariable, der påvirker individets adfærd.

Adfærdsmodellen er udviklet på grundlag af transportvaneundersøgelsen, som indeholder data om transportmiddelvalg og rejsemål på et stort antal rejser. Modellen er opbygget, så den på grundlag af trafikanternes hidtidige adfærd og oplysninger om rejsetider og rejseomkostninger beregner dels transportarbejdet fordelt på transportmidler og dels, hvor mange biler husstandene besidder. Desuden beregnes transportarbejdets fordeling på rejsemål (en O-D matrice på zoner).

Da modellen specielt skulle kunne analysere betydningen af rejsetider med kollektiv trafik, har det været nødvendigt til modelkomplekset at udvikle en særlig geografisk baseret GIS-model der ud fra køreplandata kan beregne hvordan rejsetiden med tog og bus ville være sammensat på køretid, skiftetid og ventetid.

For at kunne arbejde med miljøbelastningen i et fremtidsår, er modelkomplekset kompletteret med en model for bilparkens sammensætning i femtiden. Herved kan adfærdsmodellens oplysninger om trafikarbejdet i bil fordeles ud på biler i forskellig størrelse og alder, og der er indlagt emissionsdata for 5 stoffer, bl.a. CO<sub>2</sub>. Modellen for bilparkens sammensætning er en makroøkonomisk model for skrotning af biler. Nytilgangen af biler et givet år forudsættes sammensat som nybilparken i basisåret. Der beregnes ikke emissioner eller støj, da dette forudsætter viden om trafikens rutevalg, som ikke indgår i modelkomplekset.

Dette modelkompleks kan anvendes til analytiske formål, bl.a. i form af scenarieberegninger, hvor man for basisåret eller et fremtidsår

beregner ændringer i transportarbejde, trafikarbejde og emissioner ved ændring i diverse politikvariable. Eksempelvis kan hastigheden for biler eller rejsetiderne i den kollektive trafik ændres. Eller der kan indføres ændrede priser på kollektiv eller individuel trafik. Herudover kan ændringerne af den økonomiske eller demografiske udvikling i fremtidige år analyseres.

### **Transport og bæredygtig udvikling**

Transport bidrager til en række forskellige påvirkninger af miljøet og har derigennem betydning for opnåelse af overordnede bæredygtighedsmål. Der er derfor stor interesse for at undersøge mulige strategier og virkemidler som kan fremme en bæredygtig udvikling i sektoren. Til det formål er der opstillet en række scenarier der belyser forskellige indgrebsmuligheder i persontransporten med henblik på at fremme bæredygtighed.

Der viser sig imidlertid en række vanskeligheder med at vurdere effekten af trafikale tiltag ud fra en konsistent og operationel definition af bæredygtig udvikling i transportsektoren. Der er derfor i denne sammenhæng benyttet en forenklet tilgang hvor der fokuseres på mulighederne for at reducere en række centrale miljøbelastninger, hvor transport spiller en væsentlig rolle. Dette omfatter her emissioner af kuldioxid (CO<sub>2</sub>), kvælstofoxider (NO<sub>x</sub>) og partikler, som repræsenterer for transportens bidrag til hhv. globale, regionale og lokale miljøproblemer. Dette indebærer selvsagt en kraftig indsnævring i forhold til bæredygtighedsproblematikken. Den valgte indsnævring skyldes for en stor del vanskeligheder med at operationalisere og modellere hele spektret af transportens miljøpåvirkninger. Dette problem drøftes yderligere på baggrund af scenarieanalyserne.

### **Scenarieanalyser**

I de opstillede policyscenarier holdes effekter på disse miljøparametre op mod effekter på trafikanternes mobilitet og økonomi. Scenarierne omfatter en vifte af adfærdsregulerende tiltag, både økonomiske tiltag og ændringer i trafikudbud. Derudover indgår såvel tiltag til at påvirke biltrafikken som tiltag vedrørende den kollektive trafik. I et scenarie kombineres flere forskellige tiltag i forhold til både bilkørsel og kollektiv trafik.

Analyserne viser, at der kan opnås betydelige reduktioner i emissionerne gennem tiltag til at påvirke adfærden, men at dette gennemgående vil kræve ret vidtgående tiltag (fx store afgiftsforhøjelser eller betydelige restriktioner på biltrafikken).

De tiltag, der direkte påvirker bilisternes omkostninger (pris og tid) vil være mest virkningsfulde, hvad angår samlet reduktion af emissioner, set i forhold til isolerede kollektive trafikforbedringer. Endvidere ses, at det scenarie som kombinerer sådanne tiltag med fremme af kollektiv trafik har de største effekter. Til gengæld vil disse tiltag indebære øgede omkostninger for trafikanterne, både hvad angår tid og driftsomkostninger. Det vil dog givetvis være muligt at opstille mere specifikke og differentierede virkemiddelpakker, hvor disse modsætninger mindskes.

Markante tiltag til at fremme den kollektive trafik kan i sig selv have stor effekt på antallet af kollektive trafikanter, men har et meget begrænset potentiale for at overflytte bilister og kan i sig selv endog medføre stærkt forøget samlet miljøbelastning, især forurening med partikler.

De fordelingsmæssige effekter af de undersøgte tiltag, som er undersøgt forekommer gennemgående moderate. Tiltag overfor biltrafikken rammer dog typisk befolkningen uden for byerne mest (idet der ikke i denne sammenhæng ses på geografisk differentierede tiltag).

I forhold til spørgsmålet om fremme af bæredygtig udvikling er der en række aspekter som ikke er belyst. For det første analyseres kun et begrænset udsnit af transportsektorens miljøeffekter. For det andet er resultaterne af modeltekniske årsager ikke sammenholdt med konkrete mål. For det tredje er det ikke forsøgt at sammenveje de mulige miljøforbedringer med de negative økonomiske effekter for trafikanterne. Endelig er der ikke foretaget analyser af eventuelle implementeringsbarrierer.

Det vurderes dog alt i alt at analysen giver væsentlige bidrag til forståelsen af mulighederne for at påvirke transportadfærden i mere bæredygtig retning.

### **Forbedret kollektiv service som miljøstrategi**

Scenarierne for den kollektive trafik uddybes yderligere, for at belyse om den samlede CO<sub>2</sub> emission kan reduceres, hvis den kollektive trafiks service forbedres.

Det konkluderes, at det ikke er muligt gennem en generel frekvensforbedring i den kollektive trafik at gøre denne tilstrækkelig attraktiv til at bilister frivilligt flytter over i busser og tog i en sådan grad, at der opnås en reduktion i CO<sub>2</sub> eller en driftsøkonomisk gevinst. Dette skyldes dels, at en generel frekvensforbedring kun fører til en relativ beskedent rejsetidsforbedring i forhold til de mange ekstra tog- og buskilometer, og dels at bilisters lyst til frivilligt at skifte transportmiddel er meget beskedent.

Hastighedsforbedring i den kollektive trafik vil derimod være miljømæssigt fordelagtig, hvis den kan gennemføres uden samtidig at nedsætte bilernes hastighed.

Hvis man kombinerer hastigheds- og frekvensforbedringer er det muligt at forbedre den kollektive trafik på en CO<sub>2</sub> neutral måde, og dermed skabe en mobilitetsforbedring for kollektiv trafikanterne. Det forudsætter imidlertid, at merkørslen med kollektiv trafik gennemføres med mindre køretøjer end de hidtidige, samt at man fremmer koordinering mellem forskellige ruter, herunder mellem bus og tog. Driftsøkonomisk vil en sådan indsats dog normalt koste ekstra.

### **Kvalitetsvurdering af modellen**

Analyser af modellen viser, at den er velegnet til at belyse effekten af forskellige politikvariable indbyrdes. Den kan anvendes til analyser

af scenarier, hvor en alternativ udvikling sammenlignes med en basisudvikling. Modellens elasticiteter over for ændringer i priser er i god overensstemmelse med andre modeller, hvorfor analyser af prisscenarier virker realistiske. Derimod er der nogle problemer i modellens behandling af rejsetider, specielt med kollektiv trafik. For at få forbedret modellens funktionalitet i relation til rejsetider ville en reestimering være ønskelig. Denne vil dog næppe ændre rapportens miljømæssige konklusioner væsentligt.

Modellen er ikke egnet til at belyse den trafikale udvikling sammenholdt med et basisår. Hertil bør makroøkonomiske modeller benyttes. Modellen kan heller ikke anvendes til scenarier på lang sigt, hvor de ydre strukturer som bolig- og arbejdspladsløkalisering vil være væsentlig ændret.

# Summary

## Purpose

The purpose of this report is to analyse measures and scenarios to achieve sustainable passenger transport in Denmark using the microeconomic transport model ALTRANS. The main features of the model are presented in Chapter 2. Chapter 3 has a discussion of how to make the concept of 'sustainable transport' operational. Based on this discussion a set of evaluative criteria is established. In chapter 4 a number of transport policy scenarios are analysed with regard to their performance towards the criteria. Chapter 5 has a more in-depth analysis of those scenarios focusing especially on improving public transport service. Finally some aspects of the quality of the model are analysed in chapter 6.

## The ALTRANS model

The core of the ALTRANS model is a microeconomic model of individual behaviour. This type of model is especially effective to analyse various types of policy variables affecting transport behaviour.

The model is based on the Danish National Travel Survey, which includes data on destination and mode choice for a large number of individual trips. The model is constructed in a way so as to calculate the number of cars possessed by each family as well as the number of passenger kilometres travelled by each individual on each mode. The calculation is based on data for previous behaviour combined with information about travel time and costs for all trips. Also included are calculations of the distribution of passenger kilometres on various destinations (a matrix for O-D zones).

Since a main purpose of the model was to enable an assessment of changes in the travel time by public transport it was necessary to develop a specific GIS based sub-model. This sub-model calculates travel time by bus and train for all trips based on an extensive set of timetable data for the major public transport providers in Denmark. Calculated travel time is split into time for actual movement, transfer time and waiting time.

To enable analysis of transport emissions in future years another sub-model has been developed to calculate the composition of the car fleet. By adding this step the traffic performance information produced by the behavioural model can be distributed to cars of different size, age and emission profile for five pollutants, including CO<sub>2</sub>. The composition model is a macroeconomic model for scrap-age of end-of-life vehicles, which is combined with data for the composition of the car fleet in the initial year. The emission projections are calculated as national aggregates. There are no attempts to assess air quality or noise effects since this would require data for route choice, which is not part of the ALTRANS model complex at this stage.

The ALTRANS model complex can be used for a variety of analytical objectives including the assessment of changes in outcomes such as passenger transport, traffic or emissions, resulting from changes in several different policy variables. For example changes in motor vehicle speed or travel times in public transport can be stipulated, as well as changes in prices and charges. In addition to changes in direct policy variables also the effect of changes in overall demographic or economic factors in future years can be assessed.

### **Transport and sustainable development**

Transport contributes to a number of impacts on the environment, thereby conditioning the overall chances of securing a sustainable development for future generations. Considerable interest has therefore been given to analyse possible strategies and measures to promote so-called 'sustainable transport' solutions. In this project a number of scenarios have therefore been defined in order to assess various policy options for achieving 'sustainable transport' in the passenger transport sector in Denmark.

However, a number of difficulties have been identified in the attempt to establish a comprehensive yet operational definition of sustainable transport. Some of the major difficulties are discussed in the report and a simplified and partial approach is established for the further analysis. The focus of this approach is to assess possible reductions in a number of key environmental pressures for which passenger transport is a major contributor. The specific pressures addressed are emissions of Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>), Nitrogen Oxides (NO<sub>x</sub>) and Particulate Matter (PM). Those pollutants represent the contribution from transport to key global, regional and local environmental pressures respectively. Thereby the choice of parameters also reflects concerns for both the present and future generations. Nevertheless this obviously entails a substantial narrowing of the full scope of (environmental) concerns in the debate over sustainable development and transport. The more limited approach is mainly due to methodological difficulties inherent in, but not limited to, the particular modelling framework applied to the analysis. The limitations are discussed further in the conclusions from the scenario studies.

### **Scenario analysis**

A number of policy scenarios have been defined and analysed. In the analysis the effects of changes in various policy measures on the emission parameters are calculated and held up against impacts on parameters of mobility and costs (time and money) for the travellers. The policy scenarios all address various types of 'behavioural' measures, which means economic measures as well as measures to change transport quality or supply (e.g. quality and speed of public transport). Measures targeting car traffic are included as well as measures towards public transport operations. In one scenario several of those measures are applied in combination.

The results show that considerable reductions in emissions are achievable by policies to change travel behaviour, even if it will in general require rather aggressive measures to obtain notable effects

(for instance major tax increase or operational restrictions for car travel). Those measures that directly affect the costs of travellers (in money and/or time) are the most effective in terms of reducing overall emissions, compared with measures solely aiming to improve public transport supply or service. Strong measures to enhance public transport service (e.g. a doubling of frequency) are shown to lead to substantial increases in the number of public transport users. However those same measures have a very limited potential to actually transfer car drivers to public transport (the increases thus being due to more travel by existing users or by cyclists and pedestrians) and may even lead to a strong increase in overall emissions especially of Particulate Matter.

Moreover it is shown that a combined scenario – combining increased costs for car travellers with improved public transport service - has by far the strongest positive effects on emissions. On the other hand it is shown that restrictive measures also entails the largest increases in costs (time as well as money) for motorists. In the combined scenario restrictions can however be more moderate to achieve a similar level of emission effect as in restrictive scenarios without improved public transport service. It should be noted that all of the chosen scenarios represent rather general measures. With an improved model it would be possible to construct other scenarios with more specific focus (e.g. in geographical terms), in which case the cost/effect ratios most likely could be improved.

The distributional effects on mobility and costs that have been examined (in terms of differences between population groups and regional differences) seem relatively moderate. However, measures to restrict car travel typically have the strongest negative impact on people living outside cities (note again that no attempts have been made to design scenarios with geographically differentiated measures).

Concerning the overall question of contributing to sustainable transport the above results provide only a partial answer. First of all only a limited range of environmental impacts could be addressed. Secondly, no attempt could be made to compare results with overall 'sustainability' targets, since the model does not allow absolute predictions of future emissions, only relative comparisons between scenarios. Thirdly no attempt was made to weigh together the environmental impacts with the costs in time and money for motorists. Finally no analysis of possible implementation barriers has been made.

Nevertheless the overall assessment is that the results of the emissions and mobility/costs analysis provide an important contribution to the understanding of the potential of policies to change travel behaviour in a more sustainable direction.

### **Improved public transport as environmental strategy**

The scenarios that address public transport supply and service have been analysed further in order to investigate whether the overall emissions of CO<sub>2</sub> can be reduced if public transport is improved. In other words: How and to what extent can public transport improve-

ments be used as a strategy to reduce climate impact from the transport sector?

One conclusion of the analysis is that a substantial, general increase in the frequencies of all public transport routes would not be sufficient to attract enough car drivers so as to achieve an overall reduction in CO<sub>2</sub> emissions from transport as a whole or to obtain an increase in public transport revenues that could offset the increased costs. One reason is that even substantially increased frequency only leads to moderate reductions in travel time as a whole, compared with the large increase of public transport kilometres. Another reason is the strong unwillingness of car drivers to change mode of travel.

Another conclusion is that increased travel speed in public transport on the other hand would be environmentally benign, if it is achieved without at the same time reducing the speed of (urban) car traffic.

A combined effort to increase speed and frequency of public transport could therefore lead to a substantial improvement in the mobility of public transport users without an overall increase in CO<sub>2</sub> emissions from transport. The conditions for this positive effect are however to supply the increased number of public transport kilometres by smaller (and thus more energy efficient) vehicles than the standard ones used today, and to implement better co-ordination between different lines (including between bus and railway lines). The running costs are however most likely to increase as a result of such a combined effort.

### **Quality assessment of the model**

An assessment of the model shows that it is well suited to undertake comparative analysis of various policy variables. It can thus be used to analyse scenarios where a basic trend is compared with some alternative trajectories. The price elasticities of the model are shown to be in good agreement with those of other similar models. The results of the analysis of price policy scenarios therefore seem realistic. On the other hand there are some problems with the travel time estimation methodology, especially for public transport. To improve the capacity to forecast travel times correctly, it would be desirable to re-estimate the model. Such a re-estimation would however not likely lead to any major changes in the conclusions of this report concerning the environmental effects.

The model is not well suited to analyse development in transport over time, e.g. where a future situation is compared with a base year. To make such an assessment using macroeconomic models will be more appropriate. The present model is also not reliable for long-term transport scenarios, since it does not incorporate structural changes in factors such as the location of workplaces or residences.



# 1 Baggrund, formål og indhold

Hovedformålet med projektet ALTRANS (ALternative TRANSport-systemer) har været at belyse, i hvilket omfang man gennem en koordineret og forstærket satsning på realistiske alternativer til bilen rent faktisk vil kunne forvente at opnå mere omfattende miljøforbedringer med rimelige omkostninger og konsekvenser i øvrigt. Med andre ord, hvor går grænserne for, hvad der i dag er realistisk muligt at opnå miljømæssigt ved overflytning af bilisten til kollektiv transport, samtidig med at forskellige hensyn som økonomi og tilgængelighed tilgodeses.

Projektet faldt i 2 dele,

- en sociologisk del, der skulle belyse hvad der betinger trafikanternes valg af daglige transportløsninger, og hvilke ændrede forudsætninger der kan føre til ændrede valg,
- en kvantitativ del, der gennem konkrete modelanalyser skulle belyse, hvor mange rejsende der kan forventes overflyttet ved forskellige tiltag for at forbedre den kollektive trafik.

Den sociologiske del af projektet afsluttedes med rapporterne Jensen, 1997a og 1997b. Denne rapport afslutter den kvantitative del af projektet.

Hovedformålet med den kvantitative del var at belyse, hvorvidt det er muligt at påvirke bilisternes adfærd så meget, at det er muligt alene ved forbedringer i den kollektive trafiks serviceniveau at få flyttet tilstrækkelig mange ud af bilerne og ind i de kollektive transportmidler.

Ved projektets start fandtes hverken nogen detaljeret viden om den kollektive trafiks service på konkrete geografiske steder eller viden om sammenhængen mellem serviceniveau i den kollektive trafik og valg af bil henholdsvis kollektiv trafik.

En hovedopgave i projektet var derfor at udvikle en model, der på grundlag af køreplaner for den kollektive trafik, kan udtrykke den tilbudte service med kollektiv trafik i relation til hver enkelt rejse. Det er valgt at udvikle en GIS baseret model, der på grundlag af køreplaner for den kollektive trafik kan beregne rejsetider mv. for rejser med kollektiv trafik. Denne opgave blev afsluttet med rapporten Thorlacius, 1998. Og analyser med modellen er dokumenteret i rapporten Christensen, 2000.

Den næste opgave var at udvikle en model eller andre former for vurderingsværktøjer, der kan belyse transportmiddelvalg og adfærd i øvrigt afhængig af den faktiske service med kollektiv trafik.

Udviklingen af den geografiske model viste sig undervejs at være væsentlig mere kompliceret og tidskrævende end oprindeligt forventet. På et tidspunkt stod vi derfor over for et valg imellem at stoppe projektet eller fortsætte det med yderligere ressourceindsats.

Da det indsamlede køreplanmateriale var særdeles værdifuldt, og da den adfærdsmodel, der var under udvikling, viste sig lovende, valgte DMU at søge økonomisk finansiering til en udvidelse af projektet, således at det allerede gennemførte arbejde blev nyttiggjort. Der blev derfor indgået aftale med Miljøstyrelsen og Energistyrelsen om at udvikle en egentlig trafikprognosemodel.

Yderligere finansiering blev etableret gennem det Strategiske Miljøforskningsprogram II, hvor der i AMOR IIs delprogram 5 'Sector economic scenarios, impact and policy assessment: Transport' dels skulle ske en forbedring af den udviklede model og dels gennemføres scenarieanalyser med modellen.

Modellen er nu udbygget til at belyse transportarbejde og trafikarbejde fordelt på transportmidler generelt afhængig af rejsetider og omkostninger i den kollektive og individuelle trafik. Herved var der tale om en egentlig trafikmodel og ikke kun en analysemodel vedrørende kollektiv trafik. Modellen er sammenfattende beskrevet i kapitel 2, og dens kvalitet vurderes i kapitel 6.

I AMOR II programmet har et af formålene været at anvende økonomiske modeller til undersøge mulighederne for at fremme en bæredygtig udvikling. Formålet er blandt andet at belyse konsekvenserne af politiske beslutninger med dette sigte. I programmets delprojekt 5 er der fokuseret på persontransportsektoren. I nærværende rapportens kapitel 3 indgår derfor en behandling af bæredygtighedsbegrebets betydning for transportsektoren, samt i kapitel 4 en række scenarieberegninger der særligt har til sigte at undersøge mulighederne for at fremme en bæredygtig transportudvikling.

I rapportens kapitel 5 er gennemført en scenarieanalyse, der skal belyse ALTRANSs overordnede formål, nemlig mulighederne for gennem forbedring af den kollektive trafik at fremme en bæredygtig udvikling af persontrafikken.

Endelig bringes i kapitel 6 en samlet vurdering af ALTRANS-modelens kvalitet som fremskrivnings- og scenariemodell.

## 2 ALTRANS - en persontrafikmodel

Hovedformålet med udvikling af persontrafikmodellen ALTRANS er at få bedre viden om, hvordan de ydre rejsevilkår påvirker rejseadfærden, herunder specielt transportmiddelvalg. På baggrund af en eksakt viden om folks faktiske adfærd i en konkret kendt situation hvad angår rejsetid og pris, er udviklet en model, der kan forudsige rejseadfærden ved ændring i rejsevilkårene for den enkelte trafikant.

### *Makromodeller og individbaserede modeller*

Tidligere tiders trafikmodeller – der stadig er de mest anvendte modeller i praktisk trafikplanlægning – modellerer alene adfærd i gennemsnit. Hvis prisen på transport stiger, ved man som eksempel, hvor meget mindre folk rejser. Modellen fordeler derefter rejseaktiviteten ud på geografiske mål som hidtil, blot på et lavere niveau. I sådanne modeller er det kun muligt at tage hensyn til forskelle i geografien. Eksempelvis kan man forudsætte, at der er flere rejsemål (flere boliger eller flere arbejdspladser) i bestemte områder (kaldet zoner) og derefter se, hvor meget anderledes trafikmønsteret bliver. Forudsætningen er her, at folk i de ekstra boliger rejser lige så meget som alle andre i gennemsnit, og i gennemsnit er lige tilbøjelige til at rejse til de samme zoner som folk i den pågældende zone hidtil har været.

I de individbaserede økonometriske modeller, som den udviklede model tilhører, tages hensyn til at folk reagerer forskelligt på ændrede rejsevilkår afhængig af forskelle i indkomst, køn, alder, erhverv, familiestørrelse, bilejerskab osv. Herved får man et meget mere differentieret billede af, hvordan reaktionen vil blive, hvis nogle ydre rejsevilkår ændrer sig. Reaktionen på ændringer i rejsetider i bil eller kollektiv trafik, vil eksempelvis være forskellig i forskellige geografiske områder, fordi befolkningen i områderne er forskelligt sammensat, bl.a. hvad angår indkomst. Ligeledes er det muligt at beskrive sociale forskelle i reaktioner på politiktiltag som ændrede priser eller bedre kollektiv trafikforsyning og dermed uligheder i effekten af de forskellige tiltag.

Ved udviklingen af ALTRANS-modellen er vægten lagt specielt på ønsket om at vide, hvordan reaktionen er på ændringer i den kollektive trafiks service. Hensigten var at få indblik i, hvad bedre frekvens henholdsvis hurtigere rejsetider betyder. Er det muligt at få busser og tog indbyrdes til at passe bedre sammen og hvilken effekt vil det have på valg af kollektiv trafik frem for bil eller cykel?

### *Krav til datagrundlag*

En individbaseret adfærdsmodel må baseres på detaljerede interviews med folk, hvoraf fremgår både hvad de er for nogle personer og hvordan de har rejst. Til dette formål danner Transportvaneundersøgelsen et godt grundlag, fordi den indeholder et stort antal interviews, hvori oplyses såvel de socioøkonomiske baggrundsvariable som den konkrete rejseaktivitet dagen forinden.

Ideen i en økonometrisk model er nu, at man ud fra interviewdata ved, hvordan folk af en bestemt type vælger at rejse, når de får tilbudt nogle bestemte rejsevilkår i form af omkostninger ved rejsen,

rejsetider og rejsetidens sammensætning mere detaljeret. Rent statistisk ved man, hvor stor en del, der vælger kollektiv trafik og hvor stor en del, der vælger bil eller cykel. Det forudsættes så, at folk når de får tilbudt nogle anderledes rejsevilkår fordeler sig på transportmidler lige som folk af samme type, der før forandringen havde disse rejsevilkår.

For at kunne lave en model skal man derfor kende såvel de rejsevilkår folk har i deres faktiske valg af transportform, som de vilkår de ville have haft i den rejsemåde, de fravalgte. I Transportvaneundersøgelsen ved man, hvor lang rejsetiden er for de, der rejser på en bestemt måde. Derimod ved man ikke, hvordan rejsetiden ville have været, hvis personen havde rejst den samme tur med et andet transportmiddel. Denne viden er man derfor nødt til at skaffe sig på en anden måde.

### *De indgående modeller*

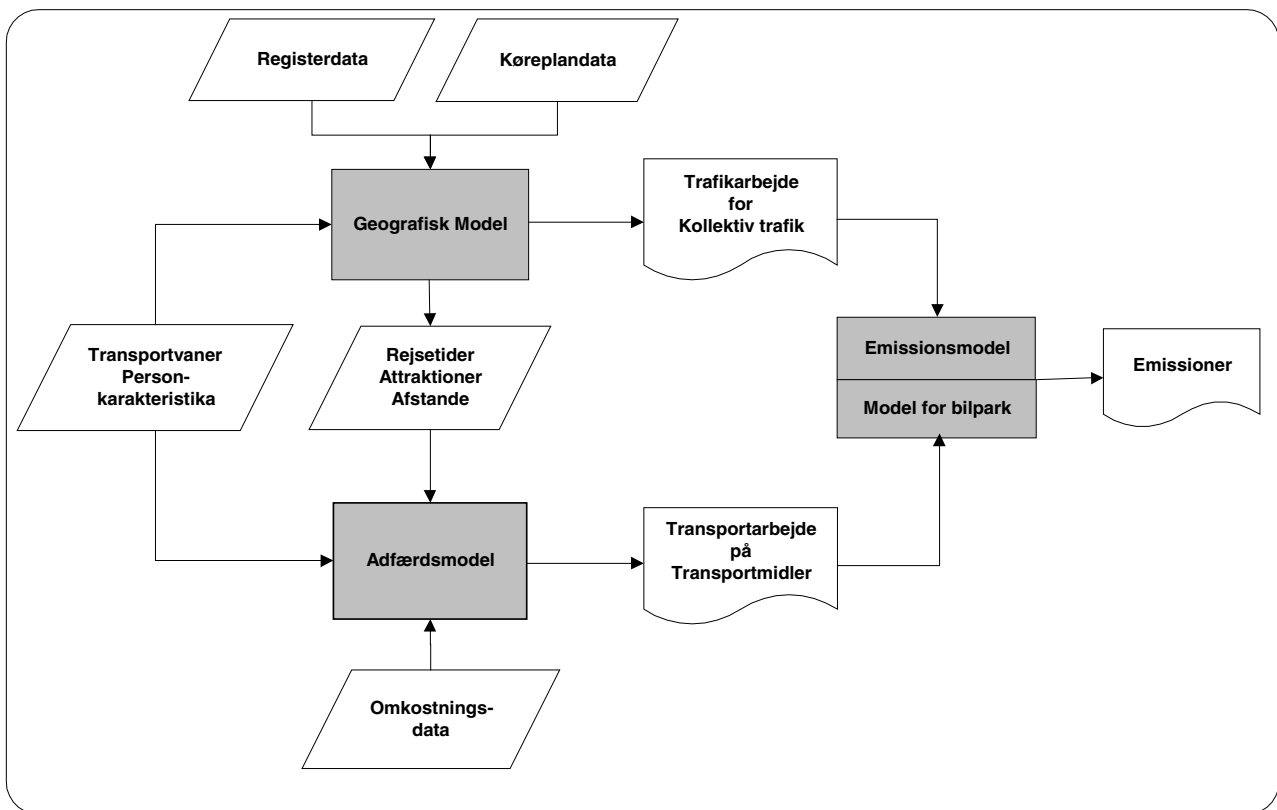
For at fremskaffe en sådan viden er der som led i modellen udviklet en geografisk model til beregning af rejsetider med individuel og kollektiv trafik samt andre udtryk for serviceniveauet i den kollektive trafik. Modellen er udviklet i GIS, og er for den kollektive trafiks vedkommende baseret på elektroniske køreplaner.

Selve kernen i ALTRANS-modellen er den individbaserede adfærdsmodel, der fordeler rejsende på transportmidler afhængig af rejsetiden med bil og kollektiv trafik. Da folk kan finde på at rejse længere, hvis de bliver tilbudt en bedre rejsetid til et mål, indeholder modellen også en mekanisme, der fordeler folk på rejsemål afhængig af rejsetid og pris samt hvor attraktivt det er at rejse til forskellige rejsemål.

Modellens hovedformål er imidlertid ikke kun at belyse transportarbejde og dets transportmiddelfordeling, men først og fremmest at belyse de miljømæssige konsekvenser. Man må derfor vide mere om transportarbejdets miljøeffekter, som mere specifikt handler om hvilke transportmidler, de enkelte rejser udføres med. Specielt har fordelingen af transportarbejdet i bil på forskellige biltyper og bilårgange stor betydning. Ikke mindst i en prognosesituation, hvor bilparken gennem årene vil være under betydelig forandring, er det vigtigt at tage hensyn til ændringer i transportarbejdets sammensætning på biltyper. Der er derfor som led i modelkomplekset udviklet en bilparksmodel, der fastlægger emissionerne fra trafikken.

### *Overblik over modelstrukturen*

Det samlede modelkompleks er vist i figur 1. Med gråtone er placeringen i modelkomplekset af de 3 modeller vist, den geografiske model, adfærdsmodellen og bilparks- og emissionsmodellen. Nedenfor beskrives de 3 modeller nærmere.



Figur 1 Modelkompleks til beregning af trafikarbejde, transportarbejde og emissioner afhængig af serviceniveau i kollektiv trafik og rejsevaner

### Prognosemodel

Dette modelkompleks kan anvendes til analytiske formål, bl.a. i form af scenarieberegninger, hvor man beregner ændringer i transportarbejde, trafikarbejde og emissioner ved ændring i diverse politikvariable. Eksempelvis kan hastigheden for biler eller rejsetiderne i den kollektive trafik ændres. Eller der kan indføres diverse ændrede priser på kollektiv eller individuel trafik.

Modellen er imidlertid også blevet videreudviklet til en prognosemodel, der kan beregne ændringerne i fremtidige år af den økonomiske udvikling og politiske tiltag. Omdannelsen af modellen til en prognosemodel er nærmere beskrevet i kapitel 2.4, men spørgsmålet tages op flere gange undervejs i afsnittene om de enkelte delmodeller. I kapitel 2.4 beskrives også, hvorledes modellen anvendes som scenariemodell

## 2.1 Den geografiske model

ALTRANS's geografiske model er opbygget, så den på den ene side leverer de data, der er behov for i adfærdsmodellen, og på den anden side kan anvendes til generelle analyser af den kollektive trafik og af tilgængelighed. Modellen er detaljeret beskrevet i Thorlacius (1998). I Christensen (2000) er analyseresultater fra TU data beregnet med modellen vist. Desuden er nogle mangler og fejl, der er fundet i modellen, belyst.

Den geografiske model beregner på baggrund af informationer om rejsemålenes placering og rejsetidspunktet rejsetider med individuel

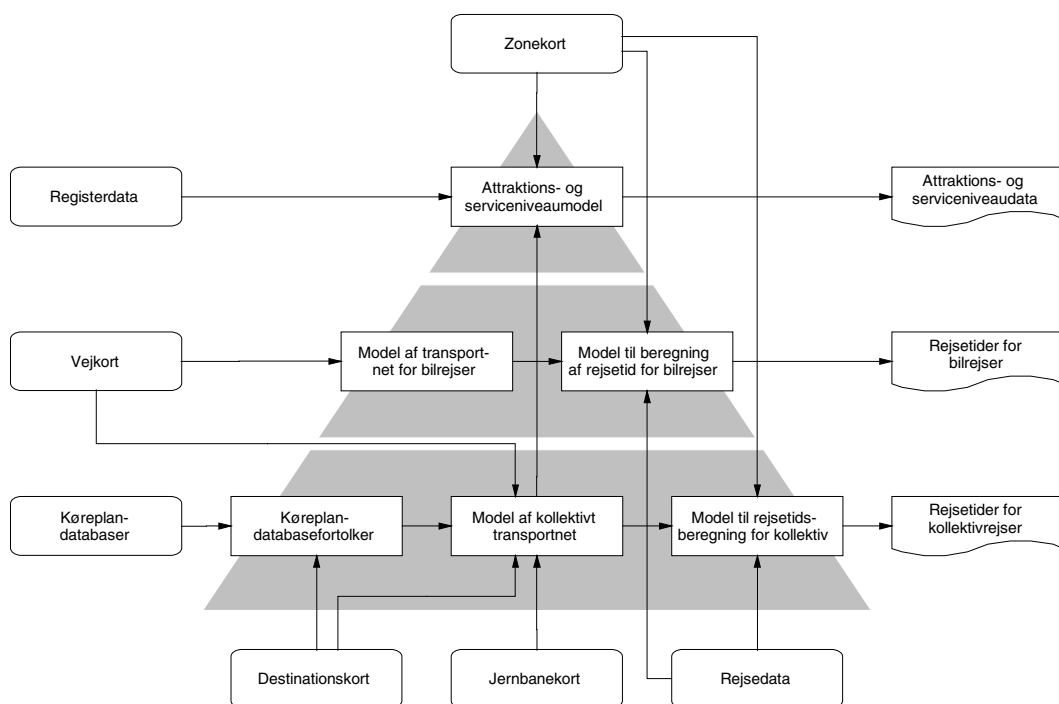
og kollektiv trafik. For den individuelle trafik tages hensyn til hastighedsrestriktioner på vejnettet. For den kollektiv trafik benyttes trafik-selskabernes køreplaner fordelt på køretid, skiftetid og ventetid udviklet i GIS. Modellen beregner rejsetiden på hurtigste rute mellem udgangs- og slutzonen samt trafikarbejdet med kollektiv trafik.

Input til den geografiske model er

- køreplandata
- diverse registerdata
- geografiske data om netværk og zoner

### 2.1.1 Modellens opbygning

Modellen er opbygget i et geografisk informationssystem (GIS), men der indgår også en del databehandling forud for og efter beregningerne i GIS. Det er dette samlede data- og beregningskompleks, der betegnes den geografiske model. Modellen, der er vist i figur 2, består af 3 delmodeller. Modellen, der er vist øverst beregner attraktionsdata og serviceniveau i den kollektive trafik. Den midterste model er modellen til beregning af rejsetider i bil og den nederste er modellen til beregning af kollektive rejsetider m.v.



Figur 2 Den geografiske models opbygning. De afrundede kasser viser inddata, de rektangulære viser beregningsmodeller og kasser med bølgelinie viser uddata

Grundlaget for alle 3 modeller er, at der i GIS er indlagt et vejkort og et jernbanekort samt et kort over de zoner, der er defineret i TU-dataene, jf. figur 2. TU-zonerne er en væsentlig del af dataanalyserne i GIS. Således er det gennem disse muligt at relatere start- og slutpunktet for alle rejser i Transportvaneundersøgelsen til et geografisk sted. Ligeledes kan de interviewedes bopæl og eventuelle arbejdssted samt andre data om zonerne relateres til et sted i kortet. Rent teknisk knyttes alle adresser og rejsemål inden for en zone til dennes midtpunkt, kaldet dens centroid.

I systemet er desuden indlagt et vej- og jernbanenet. Vejnettet danner grundlag for beregningen af afstande og rejsetider for biltrafikken. Vej- og jernbanenettet er ligeledes basis for udlægningen af et kollektivt trafiknet i GIS. Det sker ved anvendelsen af en omfattende database med den kollektive trafiks køreplaner.

### 2.1.2 Model for kollektiv trafik

I mange trafikmodeller beregnes rejsetiderne med kollektiv trafik på grundlag af gennemsnitlige rejsetider (se fx. Ortúzar og Willumsen (1994)). Gennemsnitshastigheden er som for bilrejser lagt ind på ruterne. Ventetiden inddrages som en terminaltid, der beregnes som halvdelen af tidsafstanden mellem 2 afgang, og skiftemuligheder beregnes oftest som halvdelen af tidsafstanden mellem 2 afgang på den rute, man skifter til, uanset en eventuel korrespondance.

I dette projekt ønskes ikke sådanne forenklinger, fordi formålet med projektet er at belyse betydningen af den kollektive trafiks service. Der skal derfor tages hensyn til de virkelige skiftetider. For at kunne gøre det har vi udviklet en model, der beregner på de enkelte bussers (og togs) korrekte ankomsttider til et skiftested, og til korrekte afgangstider fra stoppestedet. Herved kan der tages højde for både korrespondance og til særlig lange skiftetider. Samtidig tages der hensyn til virkelige køretider, når disse varierer gennem dagen.

*De kollektive køreplaner i GIS*

Forudsætningen for at kunne beregne virkelige rejsetider er køreplandata. Disse er derfor søgt indsamlet fra trafiksselskaberne.

11 trafiksselskaber anvender et fælles køreplanssystem, TR-System, hvorfor disse er leveret i ensartet format. Fra DSB og HT er leveret data i et dataformat, der anvendes til DSBs rejseplanlægger. Endelig er der i mere individuelle formater leveret data fra de 3 store byer, Aarhus, Aalborg og Odense. Der er således ikke skaffet data fra Bornholm og de kommunale ruter i Fyns, Ringkøbing og Aarhus amter - bortset fra Aarhus og Odense samt Randers.

Disse køreplaner er bearbejdet i forskellige køreplanfortolkere, så de danner et fælles databasesystem, der kan anvendes til det videre arbejde.

*Destinationer*

Det geografiske element i køreplanerne er stoppesteder/stationer. I de modtagne køreplaner er kun medtaget et udvalgt antal af disse, og i modellen er antallet yderligere begrænset for at reducere datamængderne og dermed modellens kompleksitet. Ved reduktionen er det først og fremmest sikret, at der findes mindst en destination i alle zoner samt at der så vidt muligt er destinationer i alle skæringspunkter mellem forskellige ruter.



Figur 3 Kort over destinationer

For at kunne knytte køreplanerne an til det øvrige GIS system er alle destinationer blevet digitaliseret i GIS, jf. figur 3. Destinationerne er placeret, så de ligger på vej- henholdsvis jernbanenettet. Destinationerne er således det element, der forbinder køreplandatabasen med GIS data om zoner og vejnet.

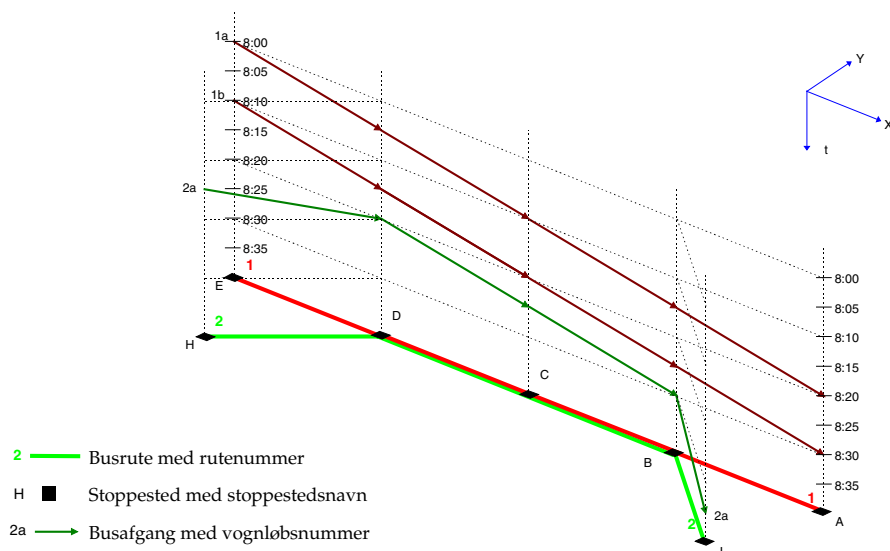
Modellen har hermed et kollektivt rutenet, der for hver rute afbilder dennes forløb mellem start og slutdestination gennem zonerne på vej- eller jernbanenettet afhængig af om der er tale om bus eller tog. Busnettet bliver ved stationerne forbundet med tognettet med nogle fiktive skiftestrækninger, så det modelteknisk er muligt at skifte mellem bus og tog.

#### *Kørestrækninger*

Problemet med at modellere den kollektive trafik er, at man imidlertid ikke blot kan rejse ud ad den kollektive rute med bussens/togets hastighed. Man kan kun bevæge sig ud af ruten præcis på det tidspunkt, der kører en bus.



For også at holde styr på tidspunkterne benyttes et 3-dimensionalt geografisk koordinatsystem med en tidsakse som den 3. dimension, jf. figur 4. I denne ses de enkelte kørestrækninger på en busrute, hvor afgangstidspunktet i den første destination er forbundet med ankomsttidspunktet på den næste destination. En rejse kan kun bevæge sig på disse kørestrækninger og kan ikke midt på en rute springe fra en kørestrækning til en anden.



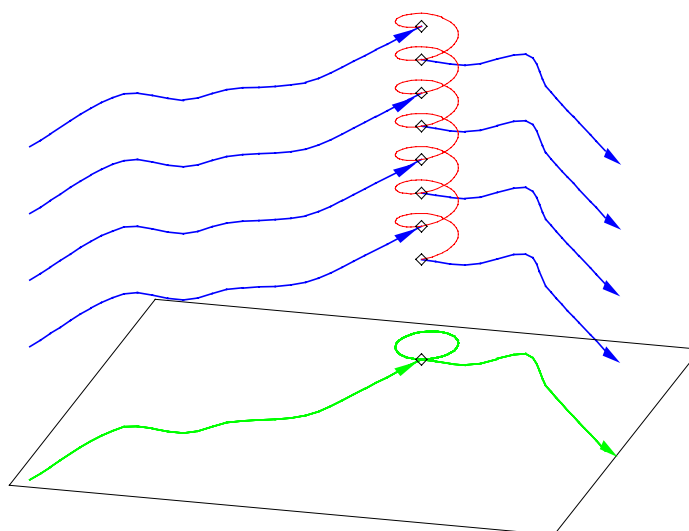
Figur 4 Tidsrepræsentationen i kollektivmodellen, her illustreret ved tre busafganges bevægelse i tid og rum. Figuren viser hvorledes tidsaspektet ved fartøjers bevægelse i planen kan illustreres i en rumlig figur, når tiden vælges som tredje dimension.

### Skiftestrækninger

For at kunne skifte i destinationerne fra én rute til en anden, er alle ankomende ruter forbundet med alle efterfølgende afgående ruter, så det er muligt at bevæge sig fra én rute til en anden. Dette gøres med skiftestrækninger, der indlægges fra en ankomst til den nærmeste efterfølgende afgang fra destinationen. Denne afgang forbindes igen med den følgende ankomst, der igen forbindes med den følgende afgang osv. jf. figur 5.

Hvis personen blot skal videre ad samme rute til en zone længere fremme på ruten, bevæger rejsen sig direkte videre i en destination uden forsinkelse. Hvis den rejsende derimod skal til en zone, der ikke ligger på den rute, det er valgt at starte med, er det muligt at lade den ankomende rejse løbe nedad tidsaksen indtil man finder den rute, der hurtigst fører videre til den ønskede slutdestination.

I modellen som den på indeværende tidspunkt er udformet, er det muligt at gå direkte fra den ene rute til den næste uden skiftetid. Dette er imidlertid ikke realistisk, idet det altid må påregnes, at der er en vis skiftetid mellem 2 ruter. Kun på skiftestrækningerne mellem busser og tog er indlagt en skiftetid på skiftestrækningen.



Figur 5 Tidsrepræsentationen i modellen, her illustreret ved et stoppested med udvalgte kørestrækninger (fire ankomster og fire afgang). På figuren ses ligeledes de til modelleringen af skiftemuligheder nødvendige syv skiftestrækninger (røde spiraler). Rektanglet nederst i figuren skal illustrere planen, og de grønne linier køre- og skiftestrækningernes projektion på denne.

### Ventetider og forbindelsesstrækninger

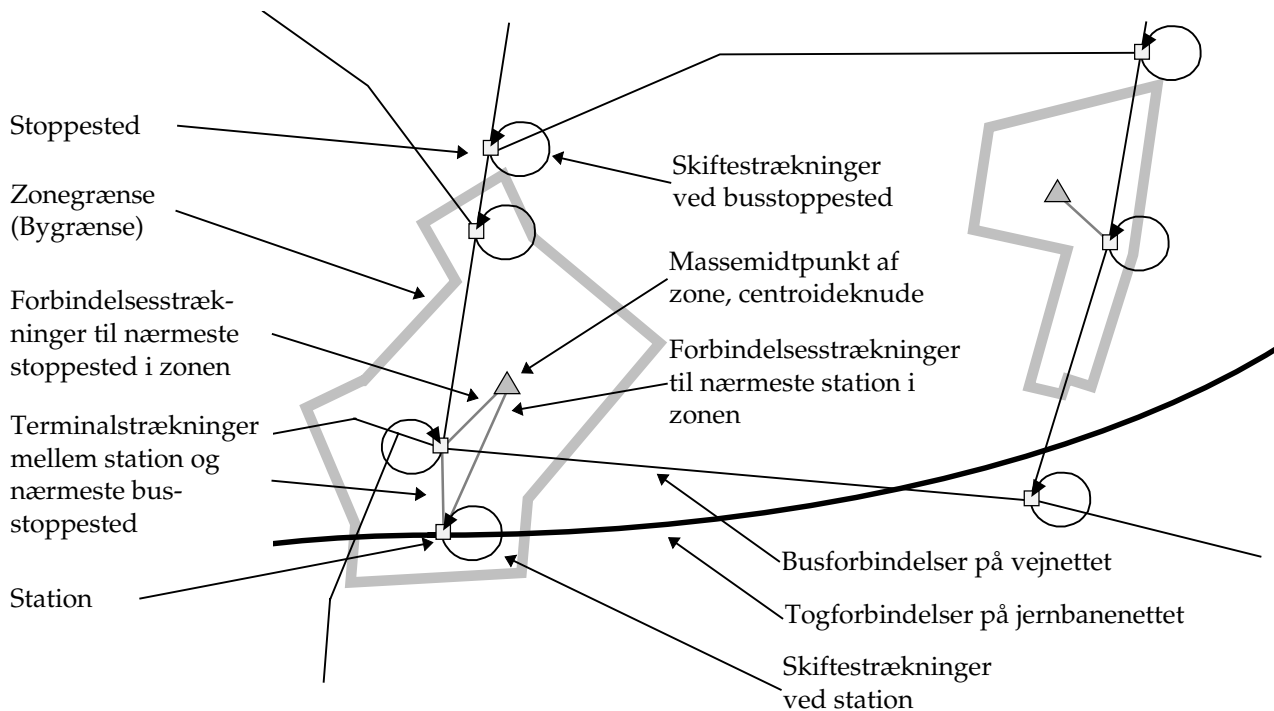
Ventetider ved kollektiv trafik er det vanskeligste at håndtere i en model, fordi der dels er tale om en faktiske ventetid, som er den tid folk står ved stoppestedet, og dels en skjult ventetid, som er tiden fra man gerne ville rejse til man faktisk kan det, alternativt tiden fra man ankommer til sit mål til tidspunktet, hvor man skulle være der.

I en model, der alene er baseret på køreplandata har man ikke mulighed for at inddrage, den faktiske ventetid ved stoppestedet. I modelarbejdet har vi valgt at tage udgangspunkt i den skjulte ventetid, som er middelvektetiden ved tilfældig ankomst til stoppestedet. Ventetiden er således også et udtryk for genen ved at skulle tilpasse sig afgangstiderne.

TU-dataene angiver kun, at rejsen foregår inden for en hel time. Man kender således ikke den rejsendes ankomsttidspunkt til stoppestedet. Det er derfor nødvendigt at foretage rejsetidsberegningen flere gange i løbet af timen med forskellige afgangstidspunkter, således at man afslutningsvis kan beregne den gennemsnitlige rejsetid med tilhørende gennemsnitlig ventetid for et tilfældigt ankomsttidspunkt til stoppestedet. TU turene gennemregnes normalt 5 gange for en time.

Da selve rejserne er knyttet til zonen er det valgt rent teknisk at forbinde zonerne centroider med den største destination i den pågældende zone. Strækningerne betegnes forbindelsesstrækninger. De har ikke fået tildelt nogen rejsehastighed, men det beregningstekniske ankomsttidspunkt knyttes til zonen centroid, hvorefter modellen vælger den afgang, der giver den hurtigste forbindelse til målet.

Det samlede kollektive rutenet for et lille område er illustreret i figur 6 vist "oppefra", så man kun ser de 2 dimensioner.



Figur 6 Objekter i datamodellen for det kollektive transportsystem. Note: Objekterne er projiceret på planen, hvorfor objekter, der har samme beliggenhed i planen, men er forskellige i tid, ikke kan skelnes fra hinanden.

#### *Beregning af rejsetider*

Når det samlede kollektive rutenet er indlagt, beregner 'Modellen for beregning af Rejsetider' i GIS den hurtigste rute mellem 2 centroider. Dette kan udføres for alle rejser i TU, og for alle andre rejser, hvis start- og slutdestination er kendt. Den opgør også hvordan rejsetiderne fordeler sig på køretid, skiftetid og ventetid.

Rejser internt i en zone kan ikke beregnes i den geografiske model, fordi rejsen starter og slutter i samme centroid. I stedet beregnes køretiden som gennemsnit ud fra rejser i den pågældende zonetype ifølge TU-data. Der regnes ikke med skiftetider og ventetider.

#### *Rutelængder og emissioner for kollektiv trafik*

Når den samlede kollektive trafik er indlagt på vejnettet i GIS kan ruternes samlede længde ligeledes beregnes i lighed med afstande for biltrafikken.

For at kunne beregne emissioner fra den kollektive trafik i emissionsmodellen skal man ikke alene kende rutelængden, men også kørehastigheden og transportmiddeltypen.

Der skelnes mellem S-tog, andre togtyper og bus. Modellen opgør, hvor mange kilometer, det køres med de forskellige transportmiddeltyper ved forskellige hastigheder. Modellen er forberedt til at beregne emissioner direkte i den geografiske model, ligesom den kan beregne på flere køretøjstyper, hvis trafikskaberne indberetter disse i køreplandatabasen.

### **2.1.3 Serviceniveau og kørestrækning for kollektiv trafik**

#### *Serviceniveau*

Til modelformål kan det være relevant at inddrage andre servicemål for den kollektive trafik end selve den konkrete rejsetid, fordi disse

kan være en del af den generelle motivation for at vælge kollektiv trafik, herunder at eje en bil.

Serviceniveauet udtrykt som antal afgang fra en zone kan være en metode. Denne kan optælles i køreplanfortolkerens grundtabel, men er ikke implementeret i den aktuelle model.

Serviceniveauet udtrykt som antal km rute pr. km<sup>2</sup> areal beregnes derimod i GIS modellen for den kollektive trafik. Der indlægges en cirkel med radius på 10 km og rutenettets samlede længde opgøres, og der deles med hele cirkelens areal. Ved beregningen af rutenettet sammentælles 1 hverdagsdøgn, 1 lørdagsdøgn og 1 weekenddøgn. Resultatet skal blot tages som en indikator for serviceniveauet i og omkring hver by.

#### 2.1.4 Model for bilrejser

En model for bilrejser er beregningsteknisk relativt simpel i GIS. Den benytter vejnettet som beregningsgrundlag, og rejseafstande og rejsetider måles fra centroid til centroid i de zoner, der rejses fra/til. Modellen beregner afstand og rejsetid for den hurtigste vej mellem 2 centroider.

Tabel 1 Anvendte hastigheder (km/t)

Motorveje	110
Motortrafikveje	90
Hovedveje	80
Øvrige veje på landet	70
Veje i byer	40

I modellen er det valgt at benytte hastigheder uafhængigt af tidspunktet på døgnet, og altså ikke tage hensyn til trængsel i myldretiden. Alle veje er tildelt en hastighed ud fra deres type, jf. tabel 1. For at kunne afgrænse veje inden for byzone indlægges en knude på alle veje, hvor disse skæres af en zonegrænsen.

#### 2.1.5 Model for attraktion til byfunktioner

Registerdata over det samlede antal arbejdspladser, antal beboere samt antal arbejdspladser inden for visse kategorier knyttes til de enkelte centroider. Disse informationer skal anvendes i adfærdsmodellen til at beregne, hvor attraktivt det er at rejse til den pågældende zone.

For det samlede antal arbejdspladser og antal beboere kendes informationerne helt ned på byer med 200 indbyggere og på sogne. Herved er det muligt at få en forholdsvis god geografisk fordeling af disse informationer. For de detaljerede arbejdspladsinformationer findes kun oplysninger ned til byer med 500 indbyggere.

Det har været nødvendigt at foretage en fordeling af arbejdspladser på landet mellem landsbyerne, da alle rejser knyttes til nærmeste by/landsby.

## 2.2 Adfærdsmodellen

Adfærdsmodellen i ALTRANS er en individbaseret økonometrisk model, der er udviklet på grundlag af først og fremmest Transportvaneundersøgelsen. Den anvendes til at estimere transportarbejdet fordelt på transportmidler samt bilejerskab. Desuden estimeres turenes fordeling på rejsemål (en O-D matrice på zoner). Modellen beskrives indgående i Rich & Christensen (2001).

ALTRANS's adfærdsmodel består af 3 delmodeller:

1. Model for valg af transportmiddel og destinationer
2. Cohortmodel og model for kørekorthold
3. Model for bilejerskab

Herudover er der en række procedurer og delmodeller, som primært behandler eller konstruerer data til adfærdsmodellerne. Disse spænder fra udvikling af ekspansionsfaktorer til brug for opskrivning til samplingsprocedure for alternative destinationsvalg.

Alle 3 delmodeller er individbaserede økonometriske modeller.

### 2.2.1 Model for destinations- og transportmiddelvalg

Den centrale model i adfærdsmodel-komplekset, modellen for valg af transportmiddel og destinationer, estimerer og efterfølgende simulerer antallet af km, som folk rejser fordelt på 4 transportmiddelkategorier: kollektiv trafik, bilfører, bilpassager og let trafik. Samtidig estimerer den destinationerne for rejserne, så det er muligt at re-allokere trafikken ud på vejnettet, og dermed kunne analysere problemstillinger inden for fx. road-pricing og eksponering fra luftforurening. Selvfølgelig indgår dog ikke i ALTRANS-modellen.

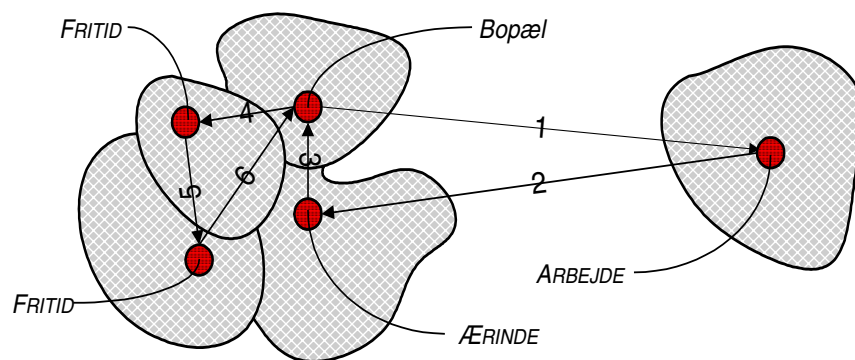
Udgangspunktet for modellen er som nævnt i indledningen til kapitlet, at man ved hvor lang tid, det har taget at foretage en bestemt rejse, men også, hvor lang tid det ville have taget at foretage den samme rejse med alternative transportmidler. Yderligere vides, hvad rejsen har kostet, og hvad den ville have kostet med alternativerne. På den baggrund estimeres med hvor stor sandsynlighed en person, der har en bestemt socioøkonomisk baggrund, vil vælge kollektiv trafik og med hvor stor sandsynlighed hun vil vælge bil som fører henholdsvis bil som passager henholdsvis cykel. Yderligere estimeres, hvordan turene er fordelt på zonepar. Da man kender afstandene mellem zonerne kan man ved at summere over alle personerne i datasættet, få fordelingen af transportarbejdet på transportmidler.

#### *Økonomisk grundlag*

Rent økonometrisk er den grundlæggende antagelse i en mikrobase- ret adfærdsmodel, at individer og husstande udviser en adfærd, som modelmæssigt kan afbildes på en nytteskala. Med andre ord antages det, at et givent individs aktivitet kan tilskrives, at personen ved den pågældende aktivitet erhverver en vis benefit eller nytte. Personen antages at ville maksimere sin nytte. For at kunne omsætte denne antagelse til praktiske modeller gøres yderligere en række antagelser om nyttefunktionens specifikke matematiske form og om individer- nes opfattelse af nytte som et gode.

#### *Modelstrukturen*

Modelstrukturen er baseret på en modellering af rejser på kædeni- veau, dvs. ture fra hjemmet til man er retur i hjemmet (se figur 7) - dog benyttes forsimplede turkæder i forhold til de observerede kom- plexe kæder, hvor hver kæde har højst 3 mål. I modellen forudsæt- tes anvendelse af samme transportmiddel i hele kæden.

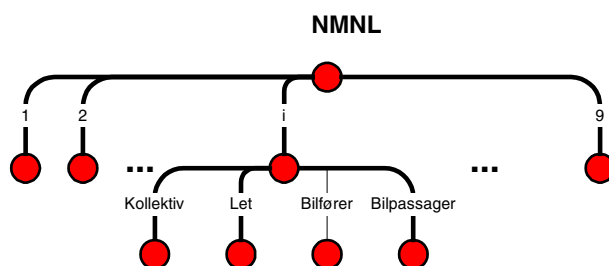


Figur 7 Illustration af kombinerede turkæder. Første kæde består af tur 1-3 med blandet formål med ærinde og arbejde. Anden kæde (tur 4-6) er en ren fritidskæde.

Selve modelstrukturen er baseret på stokastisk nytteteori og formuleret som en nested logitmodel med 2 niveauer. Det øverste niveau er destinationsvalg og det nederste er transportmiddelvalg, jf. figur 8. At modellen er en nested model vil sige, at de diskrete valg foretages på 2 niveauer samtidig.

De 2 niveauer af valg:

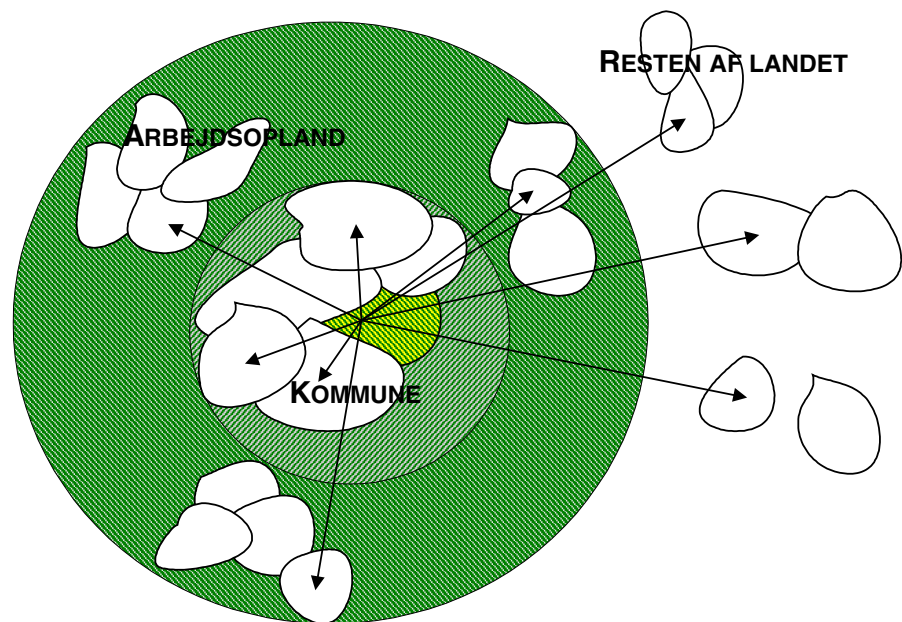
- mellem nogle udvalgte målzoner eller destinationer for rejserne
- mellem nogle afgrænsede transportmidler.



Figur 8 Nested logit struktur for kæder med enkelt hovedformål

For hver af de mulige målzoner eller destinationer vælges mellem de 4 transportmidler. Modellen bestemmer således rejsemål og transportmiddel. I og med at målet er bestemt, er afstanden også givet. Yderligere er rejsetiden bestemt af viden om mål og transportmiddel. Transportmiddelvalg, rejseafstand og rejsetid bestemmes således endogent i modellen sammen med rejsemålene.

Modellen er en mikroøkonomisk model, hvor de væsentligste parametre til bestemmelse af valgene traditionelt er tid og omkostninger. For at drive rejserne frem skal personen have en nytte af at rejse, dvs. at hun skal nå nogle byfunktioner. Jo flere der findes af disse et bestemt sted, des større er chancen for at hun rejser derhen. Men omvendt jo dyrere det er, og jo længere tid det tager, des mindre er chancen for at den pågældende rejse bliver valgt. Tilsvarende med valget af transportmiddel, der ligeledes antages at kunne bestemmes ud fra rejsetid og omkostninger.



Figur 9 Sampling af destinationsvalg i tre områdetyper.

### Destinationszoner

Destinationsvalget er baseret på valg mellem 9 forskellige rejsemål, hvis turkæden er simpel, dvs. går direkte ud og hjem. De 9 områder vælges ved random sampling med 3 inden for bopælskommunen, 3 inden for arbejdskraftoplandet og 3 i det øvrige land - dog inden for 100 km fra hjemmet (se figur 9). Hvis kæden indeholder 2 mål ud over hjemmet vælges mellem 18 mål, nemlig 9 for hvert formål. Der vælges således ikke mellem alle mulige mål, men mellem et mindre antal, der er udvalgt tilfældigt.

I den fase, hvor modellen estimeres, er den faktiske målzone en af de 9 henholdsvis 18 mål. For hver delrejse er beregnet afstanden og rejsetiden med hver af de 4 mulige transportmidler. Desuden er for hver af de 9 henholdsvis 18 destinationer kendt attraktionen, som udtrykkes ved antallet af arbejdspladser inden for de brancher, der er mest relevant for det rejseformål, som personen rejser til.

### Variable

I modellen indgår således attraktionsvariable, der er mål for, hvor attraktivt det er at rejse til en given zone, samt alternative specifikke tids- og omkostningsvariable, dvs. tids- og omkostningsvariable, der afhænger af hvilket transportmiddel, der beregnes sandsynlighed for. Herudover indgår en række socioøkonomiske variable som alder, køn, og indkomst samt enkelte variable for tilgængelighed med kollektiv trafik.

Endelig indgår kørekorthold og i bilalternativerne (fører og passager) antallet af biler i husstanden. Disse variable er specielle, fordi det kun er i første gennemregning af modellen, at kørekorthold og antallet af biler er kendt fra grunddata. Begge variable bestemmes nemlig i deres egen model.

Når modellen for destinations- og transportmiddelvalg i første omgang er estimeret, kan den samlede årskørsel for husstandene af forskellig type beregnes. Denne indgår derefter i modellen for bilejerskab, hvor sandsynligheden for at husstanden har nul, en eller flere biler beregnes. Der kan derefter foretages en nyestimering af model-

len for destinations- og transportmiddelvalg, hvor bilejerskabet ikke længere bestemmes af grunddata, men af bilejerskabsmodellen.

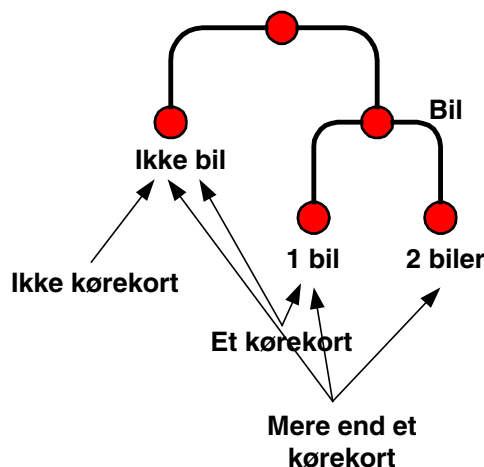
For kørekorthold er det lidt simplere, idet kørekortstatus ikke forudsættes at afhænge af transportadfærden. Derimod afhænger kørekorthold af tidspunktet for hvilket modelberegningen gennemføres, da sandsynligheden for at have kørekort stiger med tiden, jf. 2.2.3.

### Segmentering

Alle baggrundsvARIABLE indgår som parametre i modellen. Imidlertid har nogle parametre så stor betydning for de estimerede ligninger i modellen at de ikke blot kan indgå på linie med de øvrige variable som et led i nyttefunktionen. Det har derfor været nødvendigt at opdele i nogle segmenter og estimere separate modeller for hvert segment. Først og fremmest er landet inddelt i nogle geografiske områder efter urbaniseringsgrad. De bystørrelser, der er analyseret på i kapitel 5 udgør således hvert sit segment i modellen. Selv om modellen estimeres for hvert område for sig, sikres det dog, at visse strukturer går igen fra segment til segment.

### 2.2.2 Model for bilejerskab

I modellen for bilejerskab estimeres antallet af biler i husstanden. Resultatet af estimeringen er sandsynligheden for at husstanden ikke har bil, og i tilfælde af at den har bil, om den har en eller flere biler. Modellen er specificeret som en nested logitmodel med 2 niveauer. På første niveau bestemmes, hvorvidt husstanden har bil eller ej. På andet niveau bestemmes, hvorvidt bilhusstande har 1 eller 2 biler.



Figur 10 Træstruktur for den nestede multinominale logitmodel for bilejerskab. På øverste niveau bestemmes hvorvidt husstanden har bil, på nederste niveau, hvor mange biler. På figuren angives også, hvordan antallet af kørekort i husstanden indgår i modellen.

### Variable

Som input til modellen anvendes omkostninger til bilhold, socioøkonomiske data for husstanden og dennes enkelte individer samt de to variable for tilgængelighed med kollektiv trafik.

Modellen anvender herudover dels kørekorthold bestemt i cohortmodellen, jf. afsnit 2.2.3, og dels husstandens årskørsel i bil bestemt gennem modellen for destinations- og transportmiddelvalg.



### *Bestemmelse af årskørsel*

Bilparkmodellen tager udgangspunkt i *husstandes* årskørsel i bil, mens destinationsmodellen estimerer *individens* daglige transport. Det er derfor nødvendigt at estimere årskørslen i hele husstanden på baggrund af modelberegningens viden om andre individers kørsel.

Der er 2 former for problemer, der er løst. Dels skal man kende årskørslen for andre personer i husstanden end den interviewede, og dels skal man kende kørselsomfanget på de dage, som interviewet ikke omfatter.

I transportvaneundersøgelsen er kun interviewet om transportadfærden på én dag. På de dage, hvor individet ikke er interviewet, må individets årskørsel sammensættes af gennemsnittet af andre dage, som estimeres for lignende personer i andre husstande.

Når man har estimeret de enkelte persontypers årskørsel, summeres årskørslerne for de forskellige persontyper, der indgår i husstandstypen.

De beregnede sandsynligheder for bilhold benyttes efterfølgende som input til modellen for valg af transportmiddel og destinationer.

### **2.2.3 Modeller for kørekorthold og kohorteffekt**

En central parameter for såvel bilejerskab som destinationsvalg er kørekorthold. For at kunne anvende modellen som en prognosemodel er det nødvendigt at tage højde for, at kørekortholdet øges med tiden, fordi en person, der en gang har erhvervet kørekort, beholder dette indtil engang i alderdommen. Dette har primært betydning for kvinders kørekorthold, idet mange midaldrende og ældre kvinder i dag ikke har kørekort. Kørekortholdet vil derfor stige frem til omkring 2017.

#### *Kørekortmodellen*

Delmodellen for kørekorthold består af 2 dele. I den første del beregnes sandsynligheden for at have kørekort ud fra den kendte kørekortfordeling. Denne er en binær logitmodel med variablene køn og alder, indkomst, stilling og urbaniseringsgrad.

#### *Cohortmodellen*

Denne anvendes i cohortmodellen til at simulere antallet af kørekort for hvert år frem til beregningsåret under hensyntagen til ændret alderssammensætning og indkomst. Det antages at antallet af kørekort i en given alder er det samme som det var året før i alderstrinnet lige under - for samme socioøkonomiske gruppe.

I alle fremtidige år vil der hermed være flere kørekort i befolkningen end i basisåret. De ekstra kørekort fordeles dernæst efter størst nytte til personer uden kørekort i ved hjælp af kørekortsmodellen. I udgangsåret er der også en del husstandsmedlemmer, for hvem kørekortstatus ikke er opgivet. Disse får tilsvarende tildelt kørekort med kørekortmodellen.

### **2.2.4 Datagrundlag**

Modelkomplekset er udviklet på grundlag af TU-data, der indeholder oplysninger om hver enkelt rejse sammen med socioøkonomiske data. Desuden indeholder TU data nogle informationer om de ydre

vilkår for rejserne, fx. om den geografiske beliggenhed i bymønstret og afstanden til stoppested hjemmefra. TU data er grundigt beskrevet i Christensen (2000a).

#### *Afstande og rejsetider*

Som beskrevet er det nødvendigt i modeller, der bygger på alternative valgmuligheder, ikke alene at kende vilkårene ved det konkrete valg, men også ved alle de alternative valg. For at kende disse, må der enten skaffes informationer om disse alternativer ved at spørge interviewpersonen eller ved selv at beregne dem ud fra kendskab til de alternative rejsemuligheder. Vi har valgt selv at beregne forudsætningerne for de alternative rejser med den geografiske model. For en rejse med kollektiv trafik er beregnet køretider og gennemsnitlige ventetider, mens skiftetiderne ikke udviste tilstrækkelig variation i forhold til de øvrige variable til at der kunne bestemmes selvstændige parametre. For interne rejser i en zone, hvor der ikke kan beregnes rejsetider, anvendes en gennemsnitlig afstand og en gennemsnitlig køretid ud fra bystørrelsen. Der indgår her ikke nogen ventetid.

Den geografiske model anvendes også til at beregne de 2 tilgængelighedsvariable med kollektiv trafik, nemlig den gennemsnitlige ventetid for alle rejser fra en zone samt antal kilometer kollektiv trafikrute inden for en afstand af 10 km fra zonen centrum.

#### *Omkostninger*

Omkostninger er den anden centrale parameter i adfærdsmodellen. De består dels af variable omkostninger, der skal kendes både for omkostningen ved den aktuelle rejse og ved alle alternative rejser, og dels af nogle store engangsomkostninger til anskaffelse af transportmiddel samt nogle faste årlige omkostninger, der er mere eller mindre uafhængige af, hvor meget man kører.

#### *Omkostninger til bil*

Transportvaneundersøgelsen indeholder for den periode, modellen vedrører, oplysninger om bilens alder men ikke om dens type. Der er derfor mulighed for at benytte oplysninger om bilens alder til at fastlægge omkostningerne. Imidlertid er bilens alder en eksogen variabel, mens selve bilejerskabet er en endogen variabel, der bestemmes i adfærdsmodellen. Forudsætningen for at kunne inddrage bilens alder er derfor, at alderen også bestemmes i modellen, hvilket derfor er overvejet. Variansen er imidlertid meget lille, antagelig fordi biltypen er mindst lige så vigtig. Det har derfor ingen mening at bruge kræfter på modelbestemmelse af alderen alene. Typen er med i TU-dataene fra 1998, hvorfor det senere vil være muligt at årgangs- og modelbestemme bilvalg.

Variable omkostninger bestemmes ved omkostningen pr km for hvert transportmiddel. I modellen regnes med brændstofomkostninger til bil og en gennemsnitlig årskørsel. Herudover medtages øvrige driftsomkostninger til olie og reparationer.

De faste omkostninger til bilhold består dels i omkostningen ved anskaffelsen af bil og dels af en række årlige omkostninger. Anskaffelsesprisen omsættes til en årlig udgift ud fra en forrentning, der er fastlagt til 5,5%. Det er ikke indbygget i modellen, at afskrivningen også afhænger af årskørslen og dermed burde indgå i kilometeromkostningen.

### Takster for kollektiv trafik

For brug af kollektiv trafik er der ikke på samme måde faste omkostninger som for bil. En analyse af taksterne for at køre kollektivt viser at disse varierer meget i Danmark. For det første er forskellen stor mellem amter/trafikselskaber. For det andet falder prisen pr. km med afstanden, og faldets størrelse er forskelligt fra selskab til selskab. Dette skyldes bl.a. en forskellig zonestruktur, og hvornår maksimumsprisen nås. Endelig er også rabatten på titurs klippekort og abonnementskort forskellig.

Det er valgt at basere prisberegningen på det aktuelle amtslige trafik-selskab, der rejses med, og lade prisen variere med rejseafstanden. Prisen fastsættes ud fra et 10-turs klippekort, fordi det er det største segment af rejsende, der benytter dette alternativ (43%). Der regnes med en minimums- og en maksimumspris for rejser inden for amterne.

Ved rejser over amtsgrænsen er det ikke muligt at benytte en amtsintern pris. Det antages, at rejser over amtsgrænsen er forholdsvis lange, og samtidig er de dyrere end de amtsinterne, fordi der skal tælles zoner i begge selskaber. Det er valgt at benytte en gennemsnitspris på 80 øre pr km, som er typisk for ture på 20 km og som samtidig svarer nogenlunde til DSB's km-pris. Minimumsprisen er sat til 10 kr. Til gengæld er der ingen maksimumspris.

### Cykel og gang

Omkostningen ved at cykle er sat til 24 øre pr. km.

### Skattefradrag for pendling

For bolig-arbejdsstedsrejser på over 24 km ydes et transportfradrag. Skatteværdien for dette tages der hensyn til i modellen. Fradraget er dog blevet knyttet til personen og ikke til rejsen, således at det i modellen får mindre indflydelse på lokaliseringsvalget end det ellers ville være tilfældet. Beløbet afhænger af om den samlede pendlingsrejse (dobbelttur) er under eller over 100 km.

### Attraktion til byfunktioner

Der er fra Danmarks Statistik indhentet registerdata om befolkning og arbejdspladser fordelt på zoner. Disse anvendes til attraktionsdata. Eksempelvis benyttes antallet af bosiddende personer som attraktionsvariabel for besøgsture, og for indkøbsture anvendes antallet af arbejdspladser inden for detailhandel. Vanskeligst har det været at bestemme attraktionen for fritidsformål som idræt og en tur i skoven. Tabel 2 viser hvilken enhed, der er lagt til grund for hver funktion.

Tabel 2 Match mellem andre turformål, stillingskategorier og proxier for attraktioner.

Formål	Personer	Attraktions proxier
Hjem	Alle fordelt på aldersklasser	Befolkning fordelt på aldersklasser
Hente / bringe	Alle	Totale antal bosiddende i zone
Indkøb	Alle	Detailhandel, Supermarkeder og varehuse
Bank og læge m.v.	Alle	Pengeinstitutter, læger m.m.
Besøg, privat møde	Alle	Totale antal bosiddende i zone
Forlystelse og sport	Alle	Hoteller, restauration, forlystelse Folkeskoler
Erhvervsmøde, kundebesøg, håndværk, erhverv	Alle	Totale antal beskæftigede
Udflugter, sommerhus, gåtur	Alle	Hoteller, restauration, forlystelse

For attraktionen til arbejdspladser kan brancher ikke anvendes direkte, idet TU dataene kun indholder erhvervsstatus på beskæftigelsesgrupper. Der er derfor anvendt en fordelingsnøgle for fordelingen af beskæftigelsesgrupper på hver branche baseret på landsfordelingen. Attraktionen til arbejdspladser udtrykkes dermed som antallet af arbejdspladser inden for den pågældende persons erhvervsstatus.

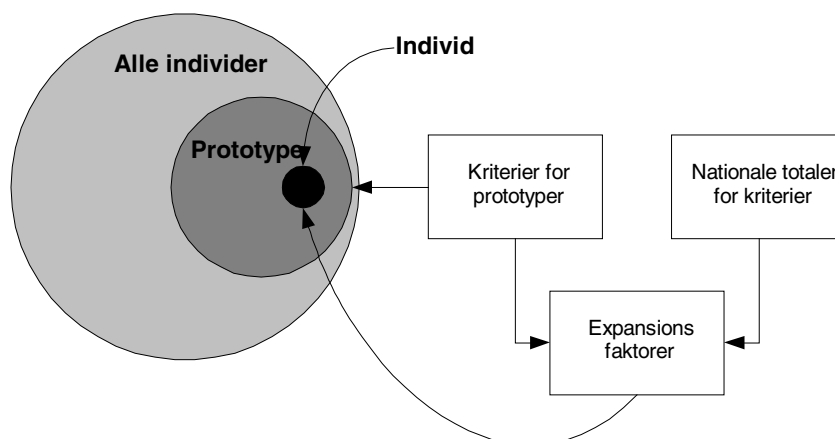
### 2.2.5 Opvægtning

Som beskrevet fremkommer det samlede transportarbejde fordelt på transportmidler som summen af de enkelte individers adfærd. Imidlertid er det af flere grunde nødvendigt at vægte de enkelte personers bidrag. TU-dataene er kun baseret på en lille stikprøve, og interviewpersonerne er kun i en vis udstrækning repræsentative for befolkningens adfærd. En prognosemodel er først relevant, hvis den kan udsige noget om hele befolkningens adfærd og ikke kun et tilfældigt udvalg.

En anden grund til at opvægte er, at der i fremtidsår sker en ændring i befolkningssammensætningen. For at lave en prognose må der opvægtes til den da relevante befolkningssammensætning.

Det er derfor nødvendigt at opvægte interviewpersonerne til den samlede befolkning. På grund af skævheder i bortfaldet i relation til især alder og indkomst sker denne opvægtning med forskellige vægte for et større antal befolkningssegmenter. Først med denne opvægtning har man en færdig model for persontrafikarbejdet for basisåret. Beregningen af vægte til opvægtningsproceduren er beskrevet i Rich & Kveiborg (1998) og i kort version i Rich & Christensen (2000).

Opvægtningen i ALTRANS bygger på en detaljeret krydstabulering af befolkningstal på køn, alder, stilling og indkomst, i alt  $2 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 5 = 560$  totaler. Herudover benyttes en separat total for urbaniseringen med 7 kategorier. Selve opregningsproceduren bygger på den logtransformerede vægtede OLS regression som opstillet i trafikmodellen PETRA (COWI, 1998a). Metoden er illustreret i nedenstående figur 11.



Figur 11 Konstruktion af vægte.

Konstruktionen af vægtene foretages forud for model-estimationen og vægtene anvendes efterfølgende til at frembringe aggregerede nationale tal for efterspørgslen.

## 2.3 Bilparks- og emissionsmodellen

Da formålet med ALTRANS først og fremmest er at kunne vurdere de miljømæssige konsekvenser af forskellige scenarier, skal modellen tilføjes et modul, der beregner miljøeffekten af trafikudviklingen.

Den tredje delmodel i modelkomplekset er derfor en bilmodel, der på grundlag af information om bilparkens samlede størrelse kan fordele trafikarbejdet i bil ud på biler i forskellig størrelse og alder. Modellen består primært af en makroøkonomisk model for skrotning af biler. Tilgangen til bilparken er derimod ikke selvstændigt udviklet.

Med kendskab til bilparkens sammensætning beregnes i modellen emissionen fra transportarbejdet i bil som fører. Desuden beregnes emissionerne fra den kollektive trafik.

### *Beregnete miljøeffekter*

Størrelsen af mange af miljøeffekterne afhænger af såvel trafikmængden som omgivelserne og det trafikale miljø. De kan derfor ikke beregnes med ALTRANS-modellen, der kun beregner trafikens samlede omfang fordelt på transportmidler og en grov geografisk fordeling.

Det er derfor besluttet kun at opgøre energiforbrug og emissioner. Ved samlede nationale emissionsopgørelser beregnes energiforbrug og det samlede udslip af 8 stoffer. Det er dog besluttet kun at medtage de emissioner, det er mest interessante at sammenligne i scenarierne. Der beregnes derfor

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

Det havde været ønskeligt at få opdelt partiklerne på størrelse, men viden herom forelå ikke, da modellen blev udviklet.

### *Typer af emissionsmodeller*

En model til beregning emissioner opererer med 3 former for trafik, for hvilke der anvendes forskellige former for emissionsopgørelse:

- trafik, der ikke har nogen luftemission, først og fremmest gang og cykel, men også bilpassagerer betragtes beregningsteknisk som ikke udsendende emissioner,
- bilførere og anden form for motoriseret individuel trafik. Emissionen herfra følger direkte af førerens transportarbejde,
- kollektiv trafik, hvor flere benytter samme transportmiddel. Emissionen følger ikke passagerernes transportarbejde, men bør beregnes på grundlag af transportmidlets trafikarbejde. Det drejer sig

dels om bus og tog og dels om færge og fly, hvoraf sidstnævnte dog ikke indgår i ALTRANS's transportmidler.

Emissionsberegninger for biltrafikken er mere kompliceret end for den kollektive trafik, fordi det for bilerne er nødvendigt at basere beregningerne på en opdeling i størrelse og alder for bilerne. For den kollektive trafik vil størrelses- og aldersfordeling kun være en mulig scenarieparameter.

#### *Referencer*

Bilmodellen er grundigt beskrevet i Kveiborg (1999). Den består dels af model for afgang og tilgangen af biler og dels af en emissionsberegning, der bygger på Winther (1999) og Winther & Ekmann (1998).

#### **2.3.1 Fremskrivning af bilparken**

I en prognosemodel er det nødvendigt at lave en fremskrivning af bilparkens sammensætning, idet bilernes emissionskoefficienter afhænger af bl.a. deres årgang. Sammensætningen på årgange ændres over tiden med skrotning af gamle biler og tilgang af nye biler.

I adfærdsmodellen bestemmes bilernes årgang ikke, kun bilernes antal. Det er derfor nødvendigt efterfølgende at fremskrive bilparkens sammensætning, så det vides, hvor mange biler, der er i bilparken af hver årgang i det pågældende år. Da emissionskoefficienterne yderligere er forskellige afhængig af brændstoftype og motorstørrelse, skal fremskrivningen ske for hver af de relevante brændstof- og størrelsesgrupper.

Fremskrivningsmodellen for bilparkens sammensætning består af 2 delvis uafhængige udviklinger, skrotningen af de eksisterende biler og introduktion af nye biler.

#### **2.3.2 Skrotning af biler**

Fra Danmarks Statistik er for hvert af årene 1991-1997 købt en optælling af biler fordelt på årgang, mærke/model, vægtniveau og drivmiddel. Ved at sammenholde bilparkens sammensætning på 2 på hinanden følgende år kan man se, hvor mange biler, der er forsvundet fra bilparken (skrottet) de pågældende år.

#### *Gruppering af bilparken*

De skrottede biler grupperes på de grupper, der anvendes i COPERT II, og der er opstillet og estimeret en skrotningsmodel for hver type (se Kveiborg, 1999). COPERT opererer med 3 størrelsesgrupper for benzinbiler og 2 for diesel grupperet efter motoreffekt. Da motoreffekten ikke er registreret i bildatabasen, har det været nødvendigt at omsætte motorstørrelsesgrupper til vægtgrupper.

#### *Supplerende tidsserie*

Desværre er bildatabasens tidsserie på 7 år for kort til at estimere en god makroøkonomisk model. Det har derfor været nødvendigt at supplere med data fra Automobilimportørerne (løbende årgange) for bilparkens samlede skrotninger fordelt på alder henholdsvis størrelse, idet disse fås for en længere periode. Problemet ved at anvende disse data er, at de ikke findes underdelt på størrelse for hver årgang, men kun det samlede antal for hver årgang.

Aldersinddelingen går kun tilbage til 1970. Før dette tidspunkt er antallet samlet i én gruppe. Det har derfor kun været muligt at føre skrotningsmodellen tilbage til 20 år gamle biler. Det er et problem især for de tunge biler, da kun ca. 30% af disse er skrottet efter 20 år. Omkring 90% af de mindste biler er skrottet efter 20 år.

### *Skrotningsmodellen*

Opbygningen af skrotningsmodellen er foretaget vha. traditionel tidsserieestimation, hvor skrotningen til ethvert tidspunkt  $t$  antages at afhænge af en række eksogene faktorer – alle disse er økonomiske faktorer:

$$S_i(t) = \alpha_i + \beta_i \mathbf{X}(t) \quad \text{Eq. 1}$$

hvor  $S_i$  er skrotningen af biler i en gruppe  $i$ , sammensat på baggrund af alder, drivmiddel og vægt.  $\alpha_i$  er en konstant og  $\beta$  er en vektor af parametre, specifik for gruppe  $i$ , til hver af de forklarende variable i vektoren  $\mathbf{X}$ .

I estimationen bestemmes parametrene  $\alpha_i$  og  $\beta_i$  så de faktiske skrotninger bestemmes bedst muligt. Den korte tidsserie med informationer tilpas detaljeret har gjort det nødvendigt at anvende en estimationsmetode, der kombinerer denne tidsserie med de nævnte informationer fra Automobil importørernes sammenslutning på et mindre detaljeret niveau. Dette er således foretaget i en generel maksimum likelihood estimation (se detaljerne i Kveiborg, 1999). Metoden estimerer derved alle parametre i modellen på én gang. Den mest præcise estimation var formentlig opnået ved at estimere på andelen af en given bestand af biler i en given gruppe, der skrotes; herved fjernes problematikken omkring forskelle i faktiske niveauer. Dette er desværre ikke muligt at gøre ved anvendelsen af de to datasæt med forskellige detaljeringsniveauer. Skrotningen  $S_i$  er derfor den absolutte skrotning i de enkelte grupper  $i$ . For at sikre at niveauet af skrotningen står mål med bestanden i den enkelte gruppe, er denne anvendt som en yderligere forklarende variabel.

På grund af det meget store antal parametre (der arbejdes med 120 forskellige grupper af biler), der skal estimeres, er det ikke indenfor rammerne af dette projekt muligt at specificere individuelle sammenhænge i form af formel Eq.1, hvor de forklarende variable ( $\mathbf{X}$ ) varierer individuelt mellem de enkelte grupper af biler.

### *Modellens variable*

I estimationen er følgende variable blevet anvendt:

- generelt indkomstindeks
- generelt forbrugerprisindeks
- anskaffelses-prisindeks
- indeks for vedligeholdelsesomkostninger.

Derudover er der forsøgt anvendt dummyer for 1994, hvor skrotningen har været specielt høj som følge af den i 1994 indførte skrotningspræmie. Effekten af disse dummyer viste sig dog at være insignifikante og er derfor ikke med i den endelige model.

Vha. de indgående forklarende variable kan skrotningen i hver af grupperne bestemmes i forbindelse med anvendelsen af ALTRANS til prognoseformål.

### 2.3.3 Tilgangen af nye biler

Beregningsgangen i modellen for bilparkens sammensætning foregår successivt efter følgende formel:

*Antal nye biler*

$$\text{Bestand (år } t) = \text{Bestand (år } t-1) + \text{Nye biler (år } t) - \text{Skrotning (år } t)$$

I basisåret kendes bilparkens sammensætning på grundlag af den eksisterende statistik. I det følgende år kan bilparkens samlede størrelse prognosticeret i adfærdsmodellen. Antallet af biler i en given årgang er bestemt af bilparken i basisåret for denne årgang minus de skrottede biler fra årgangen. For at få det samlede antal biler til at stemme, må det manglende antal biler være nyttilkomne biler i beregningsåret. Det forudsættes, at de nyttilkomne biler alle er nye, og ikke ældre biler fra udlandet.

Hvis det estimerede antal biler ifølge adfærdsmodellen ikke stemmer med det faktiske antal i basisåret, korrigeres det estimerede antal, så det svarer til den eksisterende bilpark i basisåret.

De nye bilers sammensætning på størrelse skal yderligere bestemmes. Af hensyn til enkelthed er det i ALTRANS valgt at lade bilernes størrelsessammensætning være som i basisåret.

Alternativt kunne man have valgt at anvende den af COWI udviklede model for bilparkens udvikling (COWI, 1999), der er en mikroøkonomisk model, der bygger på en viden om bilkøbernes socioøkonomiske forhold. Denne model kunne gennemregnes med de anvendte økonomiske parametre og andre scenarievariable. Som output fra modellen skulle anvendes en fordeling på de 5 køretøjstyper, der er nødvendige for at beregne emissioner, og ikke de 25 køretøjstyper, COWI's model opererer med.

### 2.3.4 Emissionsmodel for biltrafikken

Beregningen af biltrafikens emissioner sker på grundlag af transportarbejdet med bil som fører. Der tages hensyn til såvel kørsel med varm motor som koldstart. Emissionen fra personbiler beregnes i princippet som summen af en varmstarts-emissionskoefficient gange trafikarbejdet og et koldstartstillæg for hver tur.

Alle faktorer er afhængige af bilens årgang og størrelse/brændstoftype. Varmstarts-emissionskoefficienten afhænger herudover af hastigheden.

Årskørslen for hver årgang er skønnet af Vejdirektoratet på grundlag af årskørselsundersøgelserne (Winther & Ekmann, 1998). Årskørslen forudsættes at være uafhængig af bilens størrelse - uanset at dette ikke anses for realistisk.

I fremskrivningsåret forøges/reduceres årskørslen pr bil for alle aldersgrupper med samme faktor, således at summen af antal biler i hver gruppe gange deres gennemsnitlige årskørsel bliver lig det estimerede trafikarbejde ifølge adfærdsmodellen.

*Varmstart*

Varmstarts-emissionskoefficienten beregnes på grundlag af COPERT II for den pågældende årgang. For alle nye biler i fremtidsår anvendes



des de emissionskoefficienter, der er fastsat i EU-normer for den pågældende årgang.

For ældre biler ændrer emissionskoefficienterne sig med tiden - det gælder især katalysatorbiler. Emissionskoefficienten for en given årgang skal derfor korrigeres for motorslid, idet der foreligger oplysninger om emissionskoefficientens udvikling afhængig af en bils akkumulerede kørsel. Da der i modellen beregnes den samlede årskørsel for biler i hver aldersgruppe, er det også muligt at beregne en gennemsnitlig bils akkumulerede kørsel i en given alder. De for motorslid korrigerede emissionskoefficienter ved varmstart kan således beregnes for hver bilårgang i et givet beregningsår, jf. Kveiborg (1999).

For at kunne beregne emissionen fra varmstart forudsættes kendskab til trafikens fordeling på by-, land- og motorvejskørsel. Denne fordeling forudsættes i ALTRANS at være som i basisåret.

#### *Koldstartstillæg*

Koldstartstillægget beregnes ud fra den tysk-schweizisk emissionsdatabase (jf. Winther, 1999) for en bytrafiksituation. I denne differentieres koldstartstillægget efter

- turlængden, der kan være på 0-1 km, 1-2 km, 2-3 km, 3-4 km og 4-km (her benyttes kun de 4 første klasser og 3- km),
- pausen siden sidste tur, der kan være fra 0-1 timer og op til over 8 timer,
- udetemperaturen i temperaturspring på 5 grader, der beregnes som månedsmiddelværdien,
- bilens alder.

Siden udviklingen af bilmodellen i ALTRANS er koldstartstillægget også gjort afhængigt af motorslid. Men dette indgår ikke i nærværende version af ALTRANS. I ALTRANS tages heller ikke hensyn til udviklingen i turlængder og koldpauser i fremtidsår. Der benyttes samme fordeling som i udgangsåret.

### **2.3.5 Emissioner og omkostninger for kollektiv trafik**

For den kollektive trafik beregnes trafikens emissioner som nævnt på basis af trafikarbejdet med kollektiv trafik ifølge den geografiske model. Også driftsomkostningerne skal tilkobles denne model.

#### *Emissioner*

I den geografiske model kendes transportmidlets type fordelt på bus, tog og S-tog, men ikke dets alder og type i øvrigt. Emissionskoefficienterne udtrækkes fra COPERT II og emissionen beregnes som trafikarbejdet med det enkelte transportmiddel gange emissionskoefficienten ved den relevante gennemsnitshastighed.

I fremskrivningsmodellen er det kun busser/togs alder, der fremskrives, mens sammensætningen på transportmiddeltyper benyttes som en scenarievariabel, der kan reguleres i det enkelte scenario. Det antages, at de kollektive transportmidler vil være fordelt på alder og type som i basisåret.

#### *Driftsomkostninger*

Til scenarieanalyserne er der behov for data om driftsomkostninger.

For den kollektive trafik findes 4 former for udgifter:

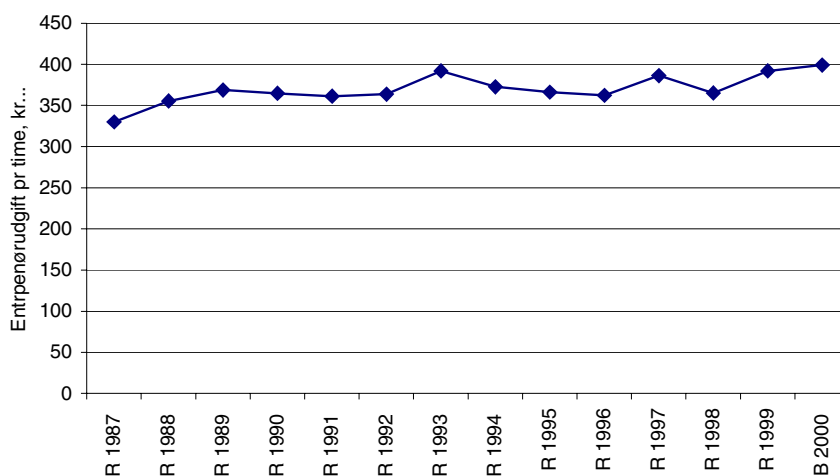
- drift af det kørende materiel inkl. garagearbejde,
- materielanskaffelser,
- anlægsudgifter til skinner, sikringsanlæg mv.,
- drift af kundebetjening o.lign.

Da scenarierne primært er tænkt til sammenligning af forskellige former for udvikling tillader vi os at se bort fra nye udgifter til kundebetjening, administration o.lign. og går ud fra at disse bevares uforandret i alle scenarier.

I første omgang tænkes heller ikke gennemført nye baneanlæg, hvorfor udgifter hertil også holdes udenfor. Hvis man specielt vil studere scenarier, hvor tog overtager busstrafik, må udgifterne hertil findes på dette tidspunkt.

Materielanskaffelser er den vanskeligste parameter at håndtere i scenarierne, fordi det ved opstilling af et scenario ikke er muligt at afgøre, om en forbedring fører til behov for et nyt transportmiddel eller ej.

I beregninger på busser regnes med den gennemsnitlige timeomkostninger, hvori afskrivning og forrentning af busserne er inkluderet. Denne beregnes som entreprenøromkostning pr køreplantime. (egne beregninger på basis af statistik fra Amtsrådsforeningen (2000)). Figur 12 viser at denne omkostning har været konstant i løbende priser i hele perioden 1989-98. For at omregne fra omkostninger per time til omkostninger per kilometer anvendes gennemsnits hastigheden for al busstrafik, der ligger meget tæt på 30 km/time (Trafikministeriet, 1997).



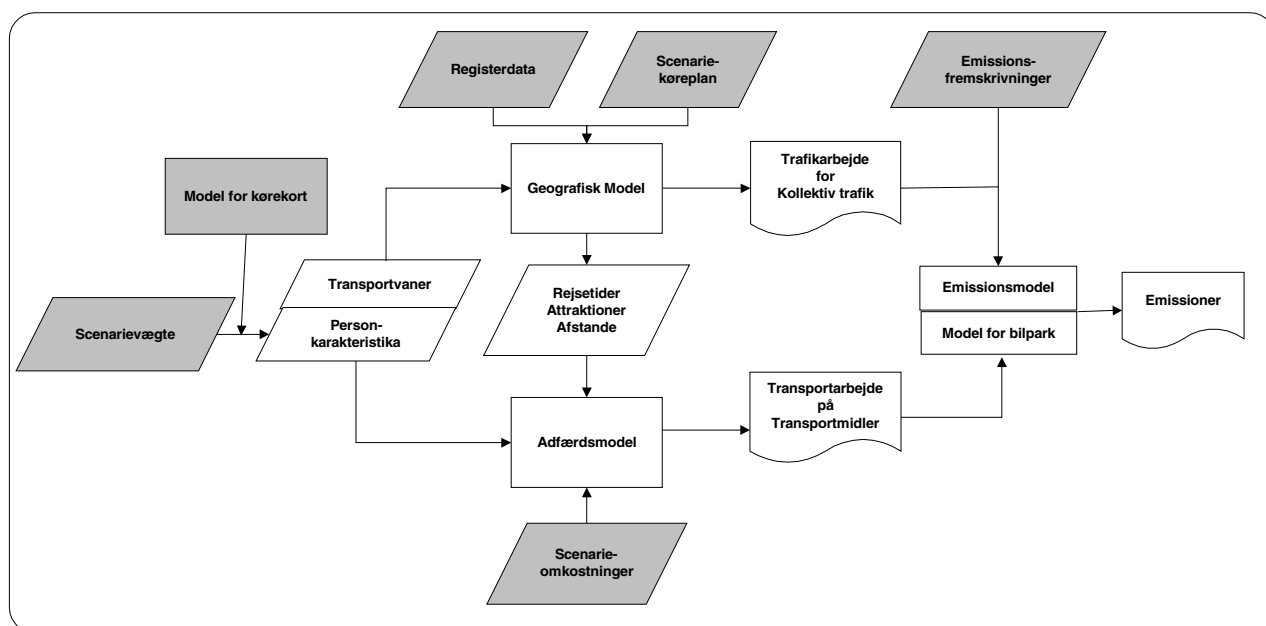
Figur 12 Omkostning til drift af busser i Danmark pr køreplantime.

For togenes vedkommende er driftsudgifterne til såvel betjeningen af togene som afskrivning på driftmateriel væsentlig højere. For busserne regnes med 12 kr./km, for togene 25 kr./km. For busserne er beløbet incl. forrentning og afskrivning, for togene skal dette beløb lægges til. Forrentning og afskrivning skønnes til 20 kr./km pr tog-

sæt. Der er tale om marginalomkostninger, hvor omkostningen til infrastrukturen ikke medregnes i driftudgiften. Omkostningerne er baseret på DSB's tog, men forudsættes i beregningerne at være de samme for S-tog.

## 2.4 Fremskrivnings- og scenariemodellen

Det udviklede modelkompleks er afslutningsvis udbygget til en prognose- og scenariemodel. I modelbeskrivelserne ovenfor er flere steder omtalt, hvordan de enkelte modeller er udbygget til prognoseformål for fremtidsår. I dette afsnit gives en mere samlet beskrivelse af anvendelsen som prognose- og scenariemodel. Det udbyggede modelkompleks, der udgør en egentlig prognosemodel, fremgår af figur 13.



Figur 13 Ændring af model ved omdannelse til prognose- eller scenariemodel. Ændringen fremgår ved en sammenligning med figur 1. Hermed har man ALTRANS-modellen i sin endelige form.

### *Fremskrivning eller scenario*

I dette afsnit skelnes mellem en fremskrivnings- og en scenariemodel. En fremskrivningsmodel forstås her som en model, der alene tager højde for 'udviklingen', som denne forventes på grundlag af andre fremskrivningsmodeller, hvor der ikke sker nogen egentlig styring af udviklingen. Ved en scenariemodel forstås vi en model, hvori der er indlagt nogle ændrede forudsætninger, som vi ikke forventer kommer af sig selv. Formålet med en scenariemodel er således at afprøve effekten af ændringer i udviklingen, eksempelvis hvor meget man kan ændre miljøbelastningen, hvis man tager diverse styringsmidler i anvendelse.

Det er klart, at denne skelnen ikke er entydig, idet de fleste fremskrivninger, der rækker blot nogle få år ud i fremtiden, må bygge på nogle forudsætninger om den fremtidige udvikling, man ikke kan være sikker på kommer 'af sig selv'.

### 2.4.1 Principperne i en fremskrivningsmodel

For at anvende den udviklede model til prognoseformål er det nødvendigt først at gennemkøre adfærdsmodellen med en basisestimation af transportmiddel- og destinationsvalget i udgangsåret baseret på det oprindelige datasæt, men med et estimeret bilejerskab.

Dernæst køres en modelkørsel med de ændringer i datasættet, der er nødvendige for at opnå den fremskrivning eller de scenarieændringer, der ønskes.

En ren fremskrivning gennemføres ved at gennemregne den samme model som i basisscenariet for en række fremtidsår. I hvert fremtidsår består forskellen fra basisåret i

1. et fremskrevet prisniveau,
2. anvendelse af cohorteffekten på kørekorthold,
3. ændrede vægte på de enkelte prototypiske personer, så antallet stemmer med en prognose for den demografiske udvikling.

Hermed fremkommer en basisfremskrivning.

Vægtene, der anvendes i basisåret tager højde for den aktuelle befolknings sammensætning, hvad angår køn, alder, indkomst, beskæftigelse m.v. Ved opvægtning til fremtidige år indlægges forudsætninger om ændringer i den basale befolknings- og indkomstudvikling. Vægtningen af aldersgrupperne ændres derfor, så den svarer til Danmarks Statistiks befolkningsfremskrivning. Den økonomiske vækst følger en simpel fremskrivning af væksten i Finansministeriets ADAM fremskrivning.

Man kunne også forestille sig at ændre på beskæftigelsen ud over den, der følger af alderssammensætningen, samt at ændre på befolkningens fordeling på byer/kommuner/landsdele ud fra en regional befolkningsprognose. Dette indgår imidlertid ikke i vor basisfremskrivning.

### 2.4.2 Scenariemodell

For at lave en scenarieanalyse gennemføres en ny gennemregning af modellen, hvor der ikke alene indføres nye befolkningsvægte, men også andre ændringer i datasættet, der repræsenterer de scenarieændringer, der ønskes belyst. Gennemregningen kan foretages for basisåret og sammenlignes med basismodelkørslen, eller den kan gennemføres for fremtidsår og sammenlignes med basisfremskrivningen for det relevante fremtidsår.

En model kan kun anvendes til scenarieanalyser af de forhold, den behandler. De steder, det er muligt at introducere forandringer i ALTRANS drejer sig om:

1. Vægtning af grupper
  - A. Befolkningens og boligernes lokalisering
  - B. Demografisk udvikling
2. Omkostningsparametre
  - A. Indkomstfremskrivning
  - B. Brændstofpriser
  - C. Bilprisen omsat til årlig udgift
  - D. Samlede årlige udgifter og afgifter til bilhold
  - E. Takster for brug af kollektive trafik
3. Sammensætning i attraktioner
4. Rejsetider m.v. i bil
  - A. Hastighedsbegrænsninger i byer og på land, mere differentierede hastighedsgrænser inden for områder
  - B. Vejafgifter
  - C. Parkeringstider og P-afgifter
5. Betjening med kollektiv trafik
  - A. Ændret køreplan for kollektiv trafik
  - B. Hastighedsændring o. lign. uden egentlig køreplanændring
  - C. Introduktion af ny infrastruktur
  - D. Serviceniveau i øvrigt for kollektiv trafik
6. Ændringer i emissionskoefficienter

#### *Gruppevægtning*

Gruppevægtene er det væsentligste sted at fremskrive befolkningen. Her anvendes som nævnt diverse makromodellers prognoseforudsigelser. Den eneste fremskrivning, der ikke anvendes på vægtene er indkomsten, der fremskrives som en faktor på den enkelte persons indkomst.

I scenariesammenhæng vil det primært være relevant at regulere på lokaliseringsstrukturen, dvs. befolkningen i de enkelte zoner. Når der reguleres på vægtene for det samlede antal personer i hver zone, kan det samtidig være nødvendigt at ændre på alders- og indkomstsammensætningen, så den samlede sum bliver korrekt ikke alene hvad angår befolkningen som helhed, men også i de enkelte indkomst- og aldersgrupper.

#### *Omkostningsparametre*

Alle priser beregnes i 1993 niveau. Velfærds- eller indkomstudviklingen består derfor i en fremskrivning af alle indkomster bestemt i makroøkonomiske modeller. Der kan laves følsomhedsberegninger og alternative fremskrivninger ved at ændre indkomsterne i forhold til prognoserne, herunder fx. ved at differentiere indkomstudviklingen på indkomstgrupper.

Den væsentligste form for scenario, der kan analyseres med modellen er imidlertid afgifts- og prisscenarier. Brændstofafgifter og takster i kollektiv trafik virker direkte ind på adfærdsmodellen. De årlige afgifter og bilprisen, der ligeledes er omsat til en årlig afskrivning, påvirker derimod kun bilejerskab, og er derfor mindre virkningsfuld

i modellen. Bilpriser virker også ind på skrotningen og dermed bilparkens alderssammensætning. Det er ikke muligt at belyse effekten af afgiftsdifferentiering på fx. bilprisen.

#### *Attraktioner*

En anden måde at ændre på lokaliseringen er gennem ændring i attraktionerne. Hvis der er tale om regional eller lokal omlokalisering er det nødvendigt både at ændre vægtningen af befolkningen på zoner og attraktionerne i de enkelte zoner. Nogle byfunktioner er mere følsomme end andre over for ændringer i attraktionen, fordi målet er mere præcist beskrevet i modellen. Ændringer i den samlede beskæftigelse og dennes branchesammensætning påvirker relativt præcist bolig-arbejdsstedsrejser. Også for indkøbs- og besøgsrejser er attraktionen relativt præcist beskrevet i modellen. Derimod er attraktionen for fritidsrejser til sport, forlystelser og udflugter i det grønne dårligt beskrevet.

#### *Rejsetider m.v. i bil*

Der regnes kun med 4 hastigheder i modellen: en for byzone, en for hver af vejtyperne på landet, motorveje, landeveje og biveje. Det er derfor også umiddelbart disse, der kan ændres i nærværende version af modellen. Det er dog overkommeligt at indføre en mere differentieret hastighedsstruktur for biler og reestimere modellen. Det kan dreje sig om en vejtypeklassificering både i byer og på land med differentierede hastigheder, om en finere byområdeinddeling samt om terminaltider især i bykerner, hvor parkerings søgning er udbredt. Foretages en sådan reestimering med nye hastigheder, er det muligt at benytte hastigheder på samme geografiske niveau som scenarievARIABLE.

Afgifter kan ligeledes introduceres i byområder eller på vejklasser. Hertil kræves en ændret beregning af hurtigste rute i bil, så denne tager hensyn til både pris og omkostning ud fra en vægtning af tid i relation til pris. Parkeringsafgifter kunne ligeledes indføres i modellen, men kræver også en reestimering af modellen for at få initialsituationen med.

#### *Kollektiv trafikbetjening*

Med modellen er det muligt at belyse betydningen af ændringer i den kollektive trafikbetjening. Dette kan gøres mere eller mindre sofistikeret. Simplest kan man som for biltrafikken introducere en områdebestemt hastighedsændring. I princippet kan man ligeledes introducere en generel ændring i frekvenser og i skiftetider. Herved får man belyst adfærdsændringer, men man kender ikke de køreplanmæssige forudsætninger og dermed de emissionsmæssige effekter af ændringerne. Hertil kræves konkrete ændringer i køreplanerne. Også serviceændringer kan belyses enten selvstændigt eller som led i køreplanændringer, der ændrer alle faktorer samtidig.

Endelig er det muligt at indføre ny infrastruktur i form af en sporvogn eller S-togslinie og lave en fartplan for denne. Modellen kan dog ikke 'se forskel' på transportmidler med høj og lav klasse bortset fra eventuelle bedre køretider.

#### *Emissionskoefficienter*

I modellen kan de nye bilers emissionskoefficienter selvfølgelig ændres og der i gennem belyses effekten af skærpede normer. Dette kunne dog gøres simplere uden ALTRANS-modellen.

*Modelteknisk  
fremskrivningsmåde*

Mere interessant er det imidlertid - set i relation til ALTRANS-projektets formål - at indføre ændringer i de kollektive transportmidler, hvor disse synes at køre med unødigt høj kapacitet og lav energieffektivitet.

Rent modelteknisk foretages fremskrivningen i modellen for destinations- og transportmiddelvalg ved at der beregnes en ny fordeling på destinationer og transportmidler på interviewpersonerne med de estimerede modelformler. Forskellen fra den oprindelige basisberegning er, at de enkelte personer tildeles nogle ændrede parametre for rejsetider og omkostninger. Også bilejerskab og kørekortshold ændres på grundlag af modellerne for disse variable.

I scenariemodellen og i øvrigt også i fremskrivningsmodellen antages antallet af ture at være det samme som hidtil. Desuden antages sammensætningen i turformål at være de samme. Der beregnes således nye rejsemål og transportmiddelfordeling ud fra de hidtidige rejseformål.

I rapporten Rich & Christensen (2001) beskrives kort en simpel frekvensmodel, der kunne være anvendt til at ændre antallet af ture. Denne er imidlertid ikke implementeret i modelkomplekset, da den viste sig utilfredsstillende på grund af manglende data. En bedre måde at håndtere turfrekvenser på vil være en aktivitetsbaseret tilgang, men det ligger uden for dette arbejdes formål.

Rent modelteknisk sammenlignes senarieanalyserne dog ikke direkte med basisestimationen, fordi denne er estimeret ud fra en forudsætning om at interviewpersonen rejser til den faktisk valgte zone. I stedet laves en basisfremskrivning, som senarieanalyserne sammenlignes med. I basisfremskrivningen og i senarieberegningerne er det faktisk valgte mål kun et af de mulige mål, personen kan vælge imellem og som derfor vælges med en vis sandsynlighed.

I kapitel 4 og 5 gennemføres en række senarieanalyser med modellen og i kapitel 6 beskrives afslutningsvis modellens kvalitet.

## 3 Transport og bæredygtighed

### *Indledning*

Transportsektoren forsyner samfundet med mobilitet og bidrager til den økonomiske vækst, men medfører også betydelige negative miljøeffekter. På nogle områder såsom udslip af CO<sub>2</sub> er transportens bidrag til miljøbelastningen stærkt voksende, hvilket har ført til bekymringer for om udviklingen på transportområdet på længere sigt er bæredygtig.

Det er derfor et generelt mål for trafikpolitikken nationalt og internationalt herunder i EU-regi at sigte mod en bæredygtig udvikling på transportområdet (fx Regeringen 2002; Miljø- og Energiministeriet 1999 s. 396; OECD 1997; ECMT 2000). Der er opstillet en række mere konkrete miljømæssige mål herfor. Det har imidlertid vist sig vanskeligt at opnå en række af de ønskede mål. Der knytter sig derfor stor interesse til at undersøge mulighederne for at påvirke transportadfærden i en miljømæssigt bæredygtig retning uden urimelige omkostninger og tab af mobilitet.

### 3.1 Baggrund

#### *Transportprojektet under 'AMOR II'*

I AMOR II programmet under det strategiske miljøforskningsprogram SMP II er et af formålene at anvende økonomiske modeller til undersøge mulighederne for at fremme en bæredygtig udvikling. Formålet er blandt andet at belyse konsekvenserne af politiske beslutninger med dette sigte. I programmets delprojekt 5 er der fokuseret på persontransportsektoren.

Hovedformålet med analyserne er at undersøge en vifte af mulige tiltag til at reducere persontransportens miljøbelastning, og dermed fremme en miljømæssigt bæredygtig udvikling, med særlig vægt på adfærdspåvirkende tiltag. Desuden er sigtet at belyse muligheder og begrænsninger i den anvendte model-tilgang som led i bæredygtighedsanalyser, herunder metodegrundlagets styrker og svagheder i den sammenhæng.

#### *Kapitlets indhold*

I dette kapitel tages afsæt i bæredygtighedsproblematikken. Der belyses definitioner og fortolkninger af hvad en bæredygtig udvikling generelt vil sige, og hvilke generelle parametre analysen derfor skal pejle efter. Desuden diskuteres hvordan bæredygtighed kan tolkes i en transportsektorsammenhæng, og dermed hvilke konkrete operationelle kriterier en modelanalyse skal forholde sig til. Afsnittet er en kortfattet oversigt over den begrebsafklaring, der findes i Gudmundsson (2000).

### 3.2 Bæredygtig udvikling

#### *Miljø og økonomisk udvikling*

Den økonomiske udvikling medfører en række afledte miljømæssige konsekvenser. Nogle af disse konsekvenser kan have betydning for fremtidige generationers levevilkår og velfærd, fx ændring af jordens klima og nedgang i den biologiske mangfoldighed som følge af tab af



arter og økosystemer. Dette har skabt voksende bekymring i gennem de seneste årtier, og har ført til øgede krav om at tilrettelægge den økonomiske udvikling under hensyntagen til de langsigtede miljømæssige konsekvenser, - med andre ord at sikre en bæredygtig udvikling.

*Begrebet 'Bæredygtig udvikling'*

Tanken om en bæredygtig udvikling blev gjort kendt internationalt med Brundtlandrapporten fra 1987, hvor en bæredygtig udvikling defineres som "... en udvikling der tilfredsstillende de nuværende behov uden at bringe fremtidige generationers muligheder for at opfylde deres behov i fare" (Verdenskommissionen 1987). Der opstilles altså ikke her en uovervindelig modsætning mellem økonomisk udvikling i dag og opretholdelse af miljøkvaliteten for fremtidige generationer, men der lægges op til politiske strategier der kan sikre at begge aspekter tilgodeses.

Bæredygtig udvikling er siden FNs Rio-konference i 1992 blevet ophøjet til en central målsætning på globalt plan samt på nationalt plan af regeringer i en lang række lande, herunder Danmark. Senest har den danske regering fx udsendt 'Fælles Fremtid – Udvikling i balance', som Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling, der også bygger videre på Brundtlandrapportens tankegang (Regeringen 2002).

*Økonomisk teori om bæredygtig udvikling*

Forud for og sideløbende hermed er mange af de aspekter som indgår i tanken om en bæredygtig udvikling blevet behandlet i den faglige litteratur indenfor økonomi, naturvidenskaber, etik, retsfilosofi, mv. Indenfor økonomisk teori er det centrale, at menneskelig velfærd og levevilkår i sidste instans bør være målestokken for udviklingen. Om udviklingen er bæredygtig afhænger derfor af om velfærden vokser, falder eller netop opretholdes over tid (jf. fx. Pezzey 1992; DØR 1998). Indebærer en given udvikling at velfærden for fremtidige generationer falder, så er udviklingen ikke bæredygtig.

Kriterier for om dette er tilfældet knytter sig ifølge de fleste økonomiske teorier til bevarelsen af samfundets beholdning af kapitalgoder af forskellig art. Herunder hører både produceret kapital (bygninger, maskiner, teknologi mv.), menneskelig kapital (viden og færdigheder) og naturkapital (naturressourcer, miljøets funktioner for liv og velfærd, mv.). Bevarelsen af dette kapitalapparat intakt er en vigtig forudsætning for om velfærden kan opretholdes. Dette kan - hypotetisk - opnås ved at bevare apparatet uændret, eller - mere praktisk - ved at udnytte det produktivt og geninvestere overskuddet i opbygning af ny kapital som erstatning for opbrugt eller nedslidt kapital.

Der findes forskellige skoler indenfor den økonomiske teori som opererer med varierende forudsætninger der skal være opfyldt for kapitalgoderne, førend at det kan hævdes at udviklingen har været bæredygtig (Turner 1993).

*'Svag' og 'Stærk' bæredygtighed*

Et vigtigt skel mellem disse skoler står mellem en såkaldt svag og stærk version af bæredygtighed. Den svage version mener at de forskellige typer kapitalers værdi bør opgøres i priser og derefter adderes i kroner. Det er den samlede værdi af de forskellige kapitaltyper som skal være intakt for at udviklingen er bæredygtig. Reduceres fx dele

af naturkapitalen kan den substitueres med en mængde produceret kapital af samme værdi.

Overfor dette står den stærke version, som ikke mener det er muligt at substituere naturkapital med produceret kapital, da disse typer af kapital udfører fundamentalt forskellige funktioner for menneskets levevilkår og velfærd. Flere savværker kan fx ikke erstatte den funktion som træer og skove har (Daly 1990). De enkelte typer kapital (menneskeskabt kapital, naturkapital, mv.) skal altså hver især bevares intakt for at udviklingen er bæredygtig. Naturkapitalen kan ganske vist godt anvendes, men kun i det omfang den erstattes som naturkapital. Som kriterier for bæredygtig udnyttelse af naturkapitalen foreslår fx Costanza & Daly (1992) fire principper:

- Det fysiske omfang af de menneskelige aktiviteter (ressourceforbrug, forurening) må begrænses til at ligge indenfor en skala som naturkapitalen kan understøtte.
- Teknologisk udvikling bør være effektivitetsfremmende frem for skalaforøgende (dvs. forbedre effektiviteten i udnyttelsen af ressourcerne fremfor at øge det fysiske omfang).
- Fornybar naturkapital skal anvendes bæredygtigt, dvs. at ressourcer ikke høstes hurtigere end deres naturlige gendannelsestakt og emissioner ikke overstiger økosystemernes absorptionsevner.
- Ikke-fornybar naturkapital kan udnyttes, men kun i den takt der udvikles fornybare ressourcer, der kan erstatte dem i fuldt omfang.

### *Kritisk naturkapital*

Imellem disse yderpunkter findes økonomer som advokerer for et mere nuanceret syn end modstillingen mellem svag og stærkt bæredygtighed antyder (se fx Turner 1997; Pearce et al. 1994; Pearce 1997; Castle 1997). En række af disse økonomer er enige om at der givetvis vil være en række naturgoder som rent faktisk godt kan erstattes af produceret eller anden kapital, uden at levevilkår og velfærdsmulighederne forringes, mens der er andre typer - såkaldt *kritisk naturkapital* - der ikke nødvendigvis kan det. For at vurdere om udviklingen er miljømæssigt bæredygtig må *den kritiske* naturkapital identificeres, opgøres og muligvis bevares for sig (ikke forsøges adderet til den øvrige kapital). Nedgang i den kritiske naturkapital kan således ikke nødvendigvis kompenseres ved øget tilvækst af fx produceret eller menneskelig kapital, dvs. at nedslidning af kritisk naturkapital må anses for ikke-bæredygtigt indtil det modsatte måtte være bevist.

Et eksempel på kritisk naturkapital kunne være jordens beskyttende ozonlag, som hvis det helt forsvandt ville medføre uoverskuelige følger for økosystemer og mennesker på jorden.

Der er gjort en række forsøg på at identificere 'kritisk naturkapital' (se fx Ekins et al 2000). Herhjemme har Naturrådet i deres rapport om naturpolitik i bæredygtighedens perspektiv peget på en række områder som kan karakteriseres som kritiske ressourcer, dvs. rumme kritisk naturkapital (Agger et al 2000):

- De naturlige kredsløb, fx tilstrækkelige vandressourcer
- Et levende hav
- En frugtbar jord i tilstrækkelig udbredelse

- Ikke-skadelig indåndingsluft
- Et nogenlunde uforstyrret klima
- Robuste økosystemer, bl.a. afhængig af biodiversitet
- Fortsat evolution

*Vanskeligt at operationalisere*

Disse områder repræsenterer imidlertid meget brede aspekter af 'naturkapitalen' og der er ikke i dag nogen nærmere enighed om hvilke dele af naturen der mere præcist kan opfattes som 'kritisk naturkapital' og hvor truet (kritisk) disse dele er. Eller sagt på en anden måde: hvor de kritiske grænser ligger for de mange forskellige typer af naturkapital som understøtter produktion, forbrug og velfærd nu og i fremtiden. Dette skaber en betydelig og grundlæggende vanskelighed i at gøre begrebet om miljømæssigt bæredygtig udvikling operationelt.

*Der anlægges en 'forsigtighedsbetragtning'*

I nærværende rapport anlægges en 'forsigtighedsbetragtning'. Udgangspunktet for denne betragtning er en vurdering af om bæredygtighed bør tage specifikt højde for belastning af væsentlige miljømæssige goder, selvom der ikke nødvendigvis er udviklet metoder til at værdisætte disse som 'konventionel' naturkapital eller til at identificere grænserne for dem som 'kritisk naturkapital'. Disse metode-mæssige mangler bør ifølge denne opfattelse ikke udelukke at potentielt kritiske miljøproblemer belyses i en praktisk policyanalyse af bæredygtig udvikling.

*Forskellige typer miljøpåvirkning*

Ikke alle påvirkninger af miljøet er nødvendigvis lige kritiske og relevante. Der kan her skelnes mellem miljøbelastninger som:

1. påvirker den *nuværende generations* sundhed og velfærd (fx dødelig og sygdomsforvoldende forurening af nærmiljøet),
2. påvirker *fremtidige generationers* muligheder, herunder belastninger af natur som kan føre til irreversible ændringer på systemniveau (i fx klima og økosystemer),
3. påvirker såkaldt *unikke miljøværdier* (Arler 2000) som tillægges stor betydning af den nuværende generation, uden at være decideret kritiske for hverken nuværende eller fremtidige generationers velfærd (fx landskaber med herlighedsværdi).

Tabel 3 Oversigt over miljøtemaer i et antal centrale indikatorsystemer- og rapporter. UNEP=United Nations Environment Programme (UNEP 1997); UN CSD =United Nations Commission on Sustainable Development (Bryld 1997); OECD=Organisation of Economic Cooperation and Development (OECD 1993); EEA=European Environment Agency (EEA 2000a) DMU = Danmarks Miljøundersøgelser (Holten-Andersen et al 1997)

Miljøtemaer	UNEP 1997	UN CSD 1997	OECD 1993	EEA 2000a	DMU 1997
Drivhuseffekt	•	•	•	•	•
Ozonlaget		•	•	•	•
Eutrofiering			•	•	•
Forsuring			•	•	•
Fotokemisk forurening				•	•
Bymiljø	•	•	•	•	•
Energiforbrug				•	•
Mineraler / Materialer				•	
Jordmiljø og erosion	•	•	•	•	•
Fødevarer		•			
Ferskvand	•	•	•	•	•
Kyst og havmiljø	•	•	•		•
Natur, biodiversitet	•	•	•	•	•
Arktisk miljø	•				
Kemiske stoffer og uheld		•	•	•	•
Genteknologiske risici		•			•
Affald		•	•	•	•
Radioaktivitet		•			

Af disse vil især miljøbelastninger under pkt. 2 være relevante at medtage i en bæredygtighedsanalyse, hvor der fokuseres på oprettholdelse af fremtidige generationers muligheder. Belastninger under 1 og 3 er væsentlige af hensyn til den nuværende generation, specielt hvis disse belastninger ikke allerede er afspejlet i de relevante økonomiske sammenhænge (priser og regnskaber).<sup>1</sup>

#### Miljøtemaer og -indikatorer

Indenfor det hjemlige og det internationale miljøforvaltningsarbejde er indikatorer for de væsentligste miljøbelastninger blevet organiseret indenfor en række områder eller *miljøtemaer*. Tabel 3 viser de overordnede miljøtemaer der typisk arbejdes med.

Udgangspunktet i nærværende arbejde har været at en analyse af bæredygtighed som minimum bør søge at belyse konsekvenser i forhold til indikatorer og mål indenfor de kritiske miljøtemaer som er relevante for det pågældende aktivitetsområde og -niveau, der analyseres, i dette tilfælde transportaktivitet.

<sup>1</sup> I praksis kan det dog være vanskeligt at skille miljøbelastningerne ad på denne måde, idet en række af dem vil influere på miljøgoder indenfor to eller alle tre områder (fx luftforurening med kvælstofoxider, som både kan medføre sygdomstilstande hos mennesker, influere irreversibelt på økosystemerne og ændre landskabernes herlighedsværdi).

Udvælgelsen af miljøtemaer til nærværende analyse af *transporten* har derfor indkredset det sæt af miljøproblemer, hvor (person) transportsektoren i Danmark spiller en væsentlig rolle, jf. næste afsnit.

### 3.3 Bæredygtighed på transportområdet

#### 3.3.1 Definition af 'bæredygtig transport'?

*Transportens miljøpåvirkninger*

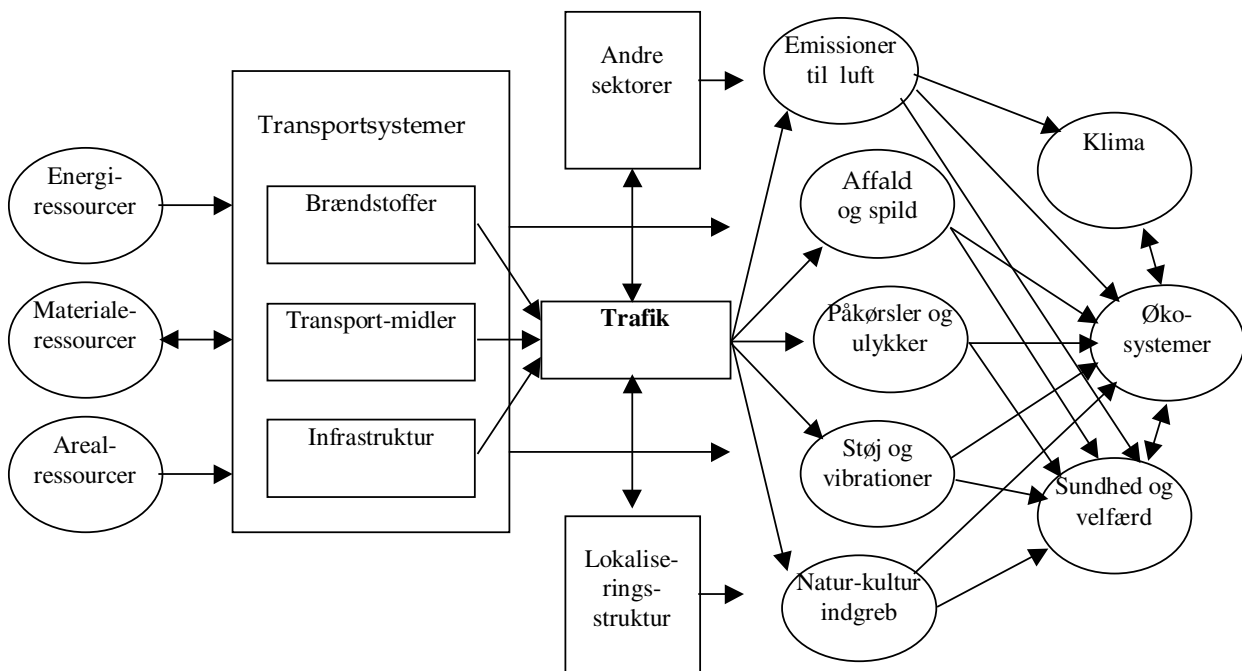
Transport bidrager til en række forskellige påvirkninger af miljøet og har derigennem betydning for opnåelse af bæredygtigheds mål indenfor en række af de ovennævnte temaer.

For det første medfører selve trafikaktiviteten forskellige former for forurening af luft, vand og jord samt støj. Her indgår trafikens belastning under miljøtemaer som *drivhuseffekt, forsuring, eutrofiering, fotokemisk forurening, jord, og bymiljø*.

For det andet medfører fremstilling, vedligeholdelse mv. af transportmidler, infrastruktur og drivmidler at der forbruges ressourcer, produceres affald og gribes ind i naturlige landskaber og kulturmiljøer. Her berøres yderligere temaer som *energiforbrug, mineraler/materialer, affald, natur og biodiversitet*.

For det tredje er transporten med til at påvirke udviklingen i produktion, forbrug og lokalisering i øvrige sektorer, og den influerer derigennem indirekte på den samlede miljøtilstand - dvs. i realiteten på næsten alle temaer.

Figur 14 illustrerer en *systemsynsvinkel* på transportens miljøpåvirkninger, hvor transporten ses som et fysisk system med input af ressourcer og output i form af emissioner, stoffer og energi, som influerer på natur og miljø.



Figur 14 Transportsektorens miljøpåvirkninger i et systemperspektiv

Der er gjort en række forsøg på at definere hvad et 'bæredygtigt transportsystem' vil sige. I et OECD projekt defineres eksempelvis et 'miljømæssigt bæredygtigt transportsystem' som:

"...et transportsystem hvor transporten ikke bringer den menneskelige sundhed eller de økologiske systemer i fare, og som samtidig møder behovene for tilgængelighed på en måde som er i overensstemmelse med (a) forbrug af fornybare ressourcer under disses regenereringstakt og (b) anvendelse af ikke fornybare ressourcer under den takt med hvilken der udvikles fornybare substitutter" (OECD 2000, oversættelse forfatterne).

Her overføres altså blandt andet en række af de systemkriterier for 'stærk' miljømæssig bæredygtighed, som blev omtalt i forrige afsnit, på transportsektoren. Kriterierne kan udfoldes i forhold til et større eller mindre udsnit af de miljøtemaer som er angivet ovenfor, afhængig af hvilke miljøproblemer der tilskrives transportsektoren.<sup>2</sup>

*Vanskeligt at definere  
'Bæredygtig transport'*

Der er imidlertid en række konceptuelle og analytiske vanskeligheder forbundet med at udmønte en konsistent og operationel definition af 'bæredygtig transport':

- For det første afhænger de miljøeffekter der henføres til transport i nogen grad af om transport betragtes som en selvstændig aktivitet, om den ses som led i en større systemsammenhæng, eller om den ses som en afledt funktion af andre aktiviteter, jf. ovenfor. Dvs. at forhold som systemafgrænsning og kausalitetsopfattelse spiller ind, når transport skal analyseres i et bæredygtighedsperspektiv. Forskellige afgrænsninger vil fx have forskellige implikationer for hvilke strategier der vil være relevante
- For det andet spiller transportsektorens miljøbelastning sammen med andre aktiviteters belastninger. Det er den samlede påvirkning af miljøet der skal være bæredygtig og strengt taget ikke nødvendigvis den enkelte aktivitet. Ud fra et miljømæssigt synspunkt er det fx. ligegyldigt om en given mængde CO<sub>2</sub> kommer fra transport eller en anden aktivitet, blot mængden som helhed er miljømæssigt acceptabel. Reduktion af belastningen bør i princippet ske hvor det opnås mest optimalt, hvilket ikke nødvendigvis fordrer en proportional nedskæring af belastningen i alle sektorer. Det samme gælder hvad angår fordeling af evt. reduktioner indenfor transportsektoren mellem fx person- og godstransport.
- For det tredje vil effekten af indgreb i transporten afhænge af hvordan dette påvirker den samlede aktivitet og adfærd i samfundet. Man kan fx forestille sig at mindsket transport vil lede til mindsket aktivitet i andre sektorer, således at den samlede belastning reduceres mere end bidraget fra transporten i sig selv. Man kan imidlertid også meget vel forestille sig at reducerede transportmuligheder til gengæld vil øge andre miljøbelastende aktiviteter, fx andre former for forbrug. En umiddelbar reduktion

---

<sup>2</sup> Andre forsøg på at definere og opstille konkrete mål for 'bæredygtig transport' findes fx hos Kågeson (1994); Gilbert & Tangauy (2000); UK Round Table (1996) og EU's Joint Expert Group on Transport and Environment (2000).

af transportens forurening er måske derfor ikke tilstrækkelig til at nå et givet mål.

Hvis man ikke kender samspilseffekterne kan det være svært at afgøre om en given transportudvikling vil føre mod en bæredygtig udvikling eller ej. I realiteten afhænger det af dynamiske relationer mellem samfundets forskellige aktiviteter og sektorer over tid.

Derfor er der ikke i denne sammenhæng gjort forsøg på at opstille analytisk baserede definitioner og mål for (person) transportsektorens bæredygtighed.

#### *Afsæt i politiske mål*

Der er derimod valgt en anden tilgang, hvor der primært tages afsæt i hvilke af de ovennævnte generelle miljø- og bæredygtighedsindikatorer, der afspejles i politiske målsætninger, der er opstillet for at fremme bæredygtig udvikling indenfor transportområdet. Dette kan bl.a. begrundes med, at analysen især sigter mod at kunne understøtte miljøpolitiske beslutninger indenfor transportsektoren, hvor bæredygtighedsproblemer i høj grad er på dagsordenen, uanset at en isoleret betragtning på transportens bæredygtighed som nævnt volder store konceptuelle vanskeligheder.

Denne fremgangsmåde med afsæt i en politisk dagsorden vil til gengæld indebære begrænsninger i forhold til en analytisk-teoretisk betragtning, blandt andet fordi en 'politisk' problemdefinition ikke nødvendigvis opfanger alle relevante aspekter. Begrænsningerne herved vil blandt andet blive drøftet i lyset af et sæt af kriterier for 'bæredygtig transport' som er udviklet af OECD, jf. næste afsnit.

### **3.3.2 Politiske planer og mål**

Der er udbredt politisk enighed om at der er tendenser i transportudviklingen og dens miljøbelastning som ikke er bæredygtige på længere sigt. Dette gælder både herhjemme (Regeringen 2002), i Europa (ECMT 2000) og globalt (United Nations General Assembly 1997). Der er opstillet en række politiske planer med nærmere kriterier, mål, indikatorer og strategier for hvordan bæredygtighed i forhold til transport udlægges i disse sammenhænge. Nogle centrale dokumenter sammenfattes kort i det følgende.

#### *Danske målsætninger og strategier*

*Herhjemme* blev grundlaget lagt med VKR-regeringens transport-handlingsplan (Trafikministeriet 1990); og 'Trafik 2005' (Trafikministeriet 1993) med senere opfølgninger. I disse planer blev et overordnet mål om at fremme en bæredygtig trafikudvikling og integrere miljøhensyn i transportpolitikken formuleret. Det erklærede sigte var at omlægge transportsystemet således at der opnås den nødvendige mobilitet indenfor de grænser, der sættes af hensynet til ressourceforbrug og miljøbelastning.

Der blev desuden fastlagt konkrete miljømål for en række miljøpåvirkninger, nærmere bestemt udslip af CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, kulbrinter, partikler samt støj. Målene er ikke at forstå som kriterier for et 'bæredygtigt transportsystem' men er pragmatiske policy mål der afspejler ønskede og mulige reduktioner på mellemlang og længere sigt.

Senere analyser og handlingsplaner samt den nye VK-regerings bæredygtighedstrategi fra 2002 medførte justeringer i målene, blandt andet således at de særlige sektormålsætninger for CO<sub>2</sub>-emissioner fra transport i år 2005 og 2010 er opgivet og en række andre mål er under genovervejelse.

Samtidig medfører den nationale bæredygtighedsstrategi at der sættes fokus på et overordnet mål om at afkoble sammenhængen mellem den økonomiske vækst og væksten i transportens miljøkonsekvenser.

Alt i alt fastholdes dog i store træk de samme miljøtemaer og målområder for transport som i den tidligere regerings planer, jf. tabel 4.

Tabel 4 Miljøtemaer og mål vedr. transport i Danmark (Regeringen 2002)

Miljøtemaer	Miljømål vedrører
Drivhuseffekt	CO <sub>2</sub> udslip
Luftforurening – regionalt og lokalt	NO <sub>x</sub> udslip Kulbrinte udslip Partikeludslip i byer
Støj	Støjbelastning af boliger
Trafiksikkerhed	Dræbte og alvorligt tilskadede
Natur og landskab	-
Affald	-

#### *Målsætninger og strategier på EU plan*

I EU har Kommissionen og Rådene for hhv. transport og miljø i fællesskab udviklet en række strategier. Dette omfatter især den 1. transportpolitiske hvidbog for bæredygtig mobilitet (CEC 1992), en strategi for integration af miljøhensyn i transportpolitikken (Transport Council 1999), og senest kommissionens transportpolitisk hvidbog (CEC 2001). Også på EU niveau lægges vægt på at opnå en balance mellem vækst i transport og hensyn til miljøet. Væsentlige strategier herfor omfatter bl.a.:

- Afkobling af sammenhængen mellem økonomisk vækst og transportvækst.
- Stabilisering af udviklingen i 'modal split' mellem individuel og kollektiv transport.
- Internalisering af eksterne omkostninger i transportsektorens prisstrukturer ('fair and efficient pricing').
- Miljøkonsekvensvurdering af strategiske transportbeslutninger.

I strategien fra 1999 er endvidere følgende emner udpeget som særligt hastende indsatsområder:

- Væksten i transportsektorens CO<sub>2</sub> udslip.
- Skadelige effekter af transportemissioner, herunder sundhedseffekter.
- Væksten i selve trafikken.
- Fordelingen på transportformer.
- Støj.

Der er ikke p.t. opstillet konkrete miljømålsætninger for transportsektoren på EU plan, men forslag herom ventes fremsat i år 2003. Der



er derimod udviklet et omfattende system af indikatorer til at måle fremskridt i retning af bæredygtig transport og sektorintegration (EEA 2000b), jf. tabel 5.

Tabel 5 Miljøtemaer og udvalgte miljøindikatorer i EU's indikatorsystem for transport og miljø 'TERM' (EEA 2000b). Note: Der indgår også trafikale indikatorer mv.

Miljøtemaer	Miljøindikatorer vedrører
Drivhuseffekt	CO <sub>2</sub> udslip totalt og transportens andel
Energi	Energiforbrug totalt og transportens andel Energiforbrug pr person- og tonkm
Luftforurening – regionalt og lokalt	NO <sub>x</sub> udslip Kulbrinte udslip SO <sub>2</sub> udslip Partikeludslip Overskridelse af luftkvalitetsstandarder Emission pr person- og tonkm
Støj	Støjbelastning af boliger
Trafiksikkerhed	Dræbte og tilskadekomne Forureningsuheld
Natur og Landskab	Arealforbrug til transport Fragmentering af landskaber

#### OECDs EST projekt

Endelig har OECD i samarbejde med en række medlemslande gennemført et udredningsprojekt om strategier for 'miljømæssigt bæredygtig transport' (EST= Environmentally Sustainable Transport). (OECD 2000). Der er ikke her tale om politisk forpligtende strategier, men om *analyser* af en række strategiske muligheder i et langsigtet perspektiv. EST analyserne opererer derfor også mere vidtgående målsætninger end de ovennævnte. De miljømæssige *temaer* som er inddraget i analysen er imidlertid stort set de samme som også er udpeget i danske og europæiske strategier, jf. tabel 6.

Tabel 6 Miljøtemaer og miljømål i OECDs EST projekt (OECD 2000)

Miljøtemaer	Konkrete miljømål vedrører
Drivhuseffekt	CO <sub>2</sub> udslip totalt og transportens andel
Luftforurening – regionalt og lokalt	NO <sub>x</sub> udslip Kulbrinte udslip Partikeludslip
Støj	Støjbelastning af boliger
Trafiksikkerhed	Dræbte og tilskadekomne
Natur og landskab	Arealforbrug til transport

I EST analyserne er det vurderet om det vil være muligt at nå en række opstillede målsætninger for år 2020 gennem tre forskellige typer strategier, nemlig henholdsvis:

- teknologisk forbedring er transportsystemerne
- adfærdsregulerende strategier til påvirkning af transportomfang og –fordeling, samt
- kombinationer heraf

Desuden er det søgt at belyse de sociale og økonomiske konsekvenser ved at nå miljømålene. Blandt konklusionerne er, at det vil være nødvendigt med *kombinerede* strategier for at nå målene, men at dette til gengæld skulle være muligt uden nødvendigvis at indebære omfattende negative virkninger på mobilitet og samfundsøkonomi.

Endvidere konkluderer OECD-arbejdsgruppen på baggrund af de gennemførte analyser at strategier på området må indeholde en række centrale elementer for at lede mod for et 'miljømæssigt bæredygtig transport'. Disse elementer er opstillet som en 'checkliste', som kan følges i forbindelse med implementering af sådanne strategier, jf. tabel 7. Denne checkliste vil her blive anvendt som vejledning til at vurdere i hvilket omfang nærværende analyse bidrager til at belyse transporttiltag i et bredere bæredygtighedsperspektiv.

Tabel 7 OECDs 'checkliste til strategier for Miljømæssigt bæredygtig transport'. Kilde: OCED (2000) (Oversættelse ved forfatterne).

1. Opstil en langsigtet vision for bæredygtig transport
2. Vurder de langsigtede tendenser i transporten under inddragelse af alle aspekter
3. Definer sundheds- og miljømæssige mål
4. Sæt kvantitative sektorspecifikke mål
5. Identificer strategier for at opnå bæredygtig transport
6. Vurder de sociale og økonomiske konsekvenser af visionen
7. Konstruer pakker af virkemidler og instrumenter
8. Opstil en implementeringsplan
9. Etabler overvågningsmekanismer for implementering og rapportering
10. Opbyg en basis for bred støtte til strategien

*Stor overensstemmelse mellem danske og internationale mål*

Alt i alt ses en stor overensstemmelse mellem danske og internationale 'policymæssige' fortolkninger af hvilke miljømæssige mål og indikatorer, mv. der er relevante i strategier for bæredygtig udvikling på transportområdet.

Nogle centrale træk er:

- der ønskes en væsentlig begrænsning i miljøbelastningen fra transportsektoren uden omfattende begrænsninger i mobilitet eller uforholdsmæssigt store samfundsøkonomiske omkostninger,
- der opereres ikke ud fra egentlige definitioner af og mål for bæredygtig udvikling i transportsektoren, men ud fra policy mål og indikatorer for et begrænset sæt af miljø- og sundhedstemaer, hvor transport udgør en betydelig del af den samlede belastning,
- der fokuseres primært på emissioner som påvirker klima, økosystemer og sundhed (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, kulbrinter, partikler), støj samt i mindre omfang energiforbrug, arealforbrug, og trafikulykker,
- der arbejdes med integrerede strategier hvor forskellige typer af virkemidler kombineres for at kunne opnå en samlet udvikling i retning af bæredygtighed.

## 4 Scenarieanalyser af transport og bæredygtighed

I dette kapitel opstilles og analyseres en række scenarier med henblik på at belyse mulighederne for at fremme en bæredygtig udvikling af persontransporten i Danmark.

Først beskrives på baggrund af det forrige kapitel samt hidtidig forskning på området de afgrænsninger, den metode og de hypoteser der opereres ud fra i analysen. Dernæst analyseres de konkrete scenarier, hvor forskellige tiltag vurderes i forhold til udvalgte effekter på miljøbelastning, mobilitet og økonomi. Endelig fremdrages en række konklusioner, dels hvad angår de konkrete tiltags umiddelbare effekter, og dels hvad angår analyseresultaternes relevans for den bredere problemstilling om fremme af bæredygtig udvikling.

### 4.1 Opstilling af scenarier

#### 4.1.1 Afgrænsninger

*Afgrænsninger*

I forhold til begrebs- og målaflklaringen i forrige kapitel er der foretaget en række væsentlige afgrænsninger i analysen:

*Trafikkens emissioner*

1) Der fokuseres alene på *trafikkens emissioner til luften*, eftersom de øvrige miljøkonsekvenser knytter sig til lokale effekter, der vil kræve inddragelse af en lang række areal- og strækningsspecifikke data, som ikke har været tilgængelige for analyse med den anvendte model. Det er valgt at belyse emissioner af hhv. kuldioxid (CO<sub>2</sub>), kvælstofoxider (NO<sub>x</sub>) og partikler<sup>3</sup>, som repræsenterer for trafikens hhv. langsigtede globale, regionale og mere umiddelbare sundhedsmæssige påvirkninger. På den måde dækkes miljøeffekter af relevans for både nuværende og kommende generationer.

*Indikatorer – ikke konkrete mål*

2) De *konkrete miljømæssige målsætninger* for de udvalgte temaer anvendes alene som indikatorer. Det analyseres ikke, om en given strategi fører til at et givet miljømål nås eller ej, men derimod alene om strategien giver en større eller mindre positiv eller negativ effekt på den analyserede parameter. Dette skyldes dels de omtalte mangler på egentlige bæredygtighedsmål for transportsektoren, og dels metodemæssige begrænsninger i modellen, som vil blive berørt nærmere i næste afsnit.

*Udvalgte økonomiske effekter vurderes*

3) Der fokuseres på udvalgte trafikale, økonomiske og fordelingsmæssige effekter af trafikale indgreb, som har betydning for trafikanternes velfærd, herunder trafikens omfang og fordeling, tidsforbruget til transport samt omkostninger, men der søges *ikke at gennemføre samlede privat- eller samfundsøkonomiske analyser*.

*Intet aggregeret bæredygtighedsudtryk*

4) Endelig vurderes de enkelte effekter hver for sig, og det forsøges ikke at opstille noget aggregeret '*bæredygtighedsmål*' eller '*bæredygtigheds-index*'. Dette skyldes primært at der ikke for nærværende findes

---

<sup>3</sup> Det skal understreges at det er den samlede partikelmasse der er regnet på og ikke de fine fraktioner (PM-10; PM 2,5), som anses for særligt sundhedsskadelige.

et plausibelt fagligt grundlag herfor, hvorved et sådant index ville blive arbitrært og vanskeligt at fortolke.<sup>4</sup>

I tabel 8 vises de effekter som er søgt belyst i studiet.

Tabel 8 Oversigt over de parametre som har været inddraget i analysen. Ikke alle parametre medtages i denne fremstilling.

<b><u>Mobilitet</u></b>	Transportarbejde Samme fordelt på transportformer Bilkørsel Bilparkens størrelse
<b><u>Miljø – Emissioner</u></b>	Kuldioxid (CO <sub>2</sub> ) Kvælstofoxider (NO <sub>x</sub> ) Kulbrinter (HC) Partikler (PM)
<b><u>Trafikantøkonomi</u></b>	Transporttid for trafikantgrupperne Trafikanterens rejseomkostninger, som sum af : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Driftsudgifter til bil, dvs. variable udgifter til bil plus forrentning og afskrivning;</li> <li>• Billetter til kollektiv trafik</li> <li>• Tidsomkostninger, beregnet på baggrund af trafikøkonomiske enhedspriser</li> </ul>
<b><u>Fordeling</u></b>	Tidsforbrug og omkostninger fordelt på befolkning i 6 geografiske områder: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Københavns og Frederiksberg kommuner (Kbh. Frb.)</li> <li>• Københavns forstæder (Forstæderne)</li> <li>• Byer &gt; 70.000 indbyggere</li> <li>• Byer 10-35.000 indbyggere</li> <li>• 2-10.000 indbyggere</li> <li>• Landsbyer og landområder (Land, landsby)</li> </ul>

#### 4.1.2 Metode

Analysemetoden kan betegnes som er modelbaseret, komparativ policy-scenarieanalyse.

##### *Modelbaseret*

Analysen er *modelbaseret* idet der som beskrevet tages udgangspunkt i trafikmodelkomplekset ALTRANS.

##### *Policy-scenarier*

Der er tale om *policy-scenarier* idet der defineres et basisscenerie og et antal policy-scenarier, hvor det antages at visse reguleringer af persontransporten er gennemført, jf. nærmere i næste afsnit. Der fokuseres på adfærdsrelaterede tiltag, og ikke på teknologiske tiltag. Effekterne af disse beregnes og vurderes.

##### *Komparativt*

Endelig er der tale om *komparative* scenarier, fordi konsekvenserne ikke vurderes absolut, men indbyrdes i forhold til hinanden og til basissceneriet. Dette skyldes dels at der ikke opereres med konkrete miljømål i analysen, som forklaret i forrige kapitel, og dels at denne fremgangsmåde mindsker konsekvenserne af eventuelle usikkerheder i modellens absolutte fremskrivninger, jf. det følgende.

<sup>4</sup> For eksempler herpå se dog fx Minken (1997) og Black (2000).

Der er valgt en scenariorhorisont frem til år 2010, hvor en række tilpasninger i bilejerskab og valg af rejsemål som reaktion på tiltagene kan forventes at have fundet sted, men hvor det er rimeligt at forvente at der kun vil have været begrænset effekt på lokaliseringsadfærden, og den teknologiske udvikling, som ikke modelleres. Der er indregnet en stigning i indkomsten på i gennemsnit 2% p.a. frem til 2010, med udgangspunkt i Finansministeriet (2000). Det skal dog bemærkes at modellen i sin nuværende form synes at undervurdere den absolutte udvikling i trafikken bl.a. som følge af indkomststigninger. Dette understreger nødvendigheden af den komparative tilgang som er valgt, hvilket mindsker betydningen af dette.

#### 4.1.3 Hypoteser

Det har som udgangspunkt været ønsket at se på en vifte af adfærdregulerende tiltag, både økonomiske tiltag, og hvad man kunne kalde trafiksystemiske eller udbudsorienterede tiltag. Derudover har et ønske været at se på både tiltag til at påvirke biltrafikken og den kollektive trafik, i overensstemmelse med de aktuelle strategier på området og modellens styrkeområder.

Der eksisterer et vist grundlag for at formulere hypoteser. Der er således i de senere år foretaget en række scenarieanalyser i relation til persontransportens miljøbelastning herhjemme. I nogle af disse analyser er forskellige tiltag og deres konsekvenser undersøgt ud fra en lignende tankegang som i denne analyse, men med andre modelværktøjer.

Blandt disse analyser skal her fremhæves tre, nemlig Det Økonomiske Råds analyse af transport og miljø (DØR 1996), COWIs analyser for Trafikministeriet (Trafikministeriet/COWI 1997) samt Transportrådets scenarieanalyse (Transportrådet 2000). I disse analyseres primært CO<sub>2</sub>-reducerende tiltag samt en række samfundsøkonomiske effekter. Tabel 9 – 11 opregner nogle centrale træk ved disse analyser og deres resultater.

Tabel 9 Sammenlægning af DØR (1996). *Note:* CO<sub>2</sub> effekten er af DØR beregnet for hele samfundsøkonomien i ligevægt. Det er her omregnet omtrentligt til en andel af persontransportens CO<sub>2</sub> udslip af hensyn til sammenligning med de andre analyser.

DØR: Transport. Dansk Økonomi. Forår 1996	
Metode:	Generel ligevægtsmodel
Effekter:	CO <sub>2</sub> nationalt (efter ny ligevægt), transportforbrug i kr., afgiftsprovenu; en lang række samfundsøkonomiske variable
Tiltag:	CO <sub>2</sub> effekt ( <i>fra persontransport</i> )
+ 10% bilpris	Ca. -1%
+ 10% benzinafgift	Ca. -3%
+ 10% kollektiv subsidie	Ca. -1%
Konklusioner bl.a.:	Benzinafgift mest virkningsfuldt (for CO <sub>2</sub> ) Gennemgående ret beskedne CO <sub>2</sub> effekter af trafiktiltagene Relativt høje skyggeomkostninger for at nå målene

Forskellige typer tiltag analyseres

Tre tidligere analyser

Tabel 10 Sammendrag af Trafikministeriet/COWI (1997)

Trafikministeriet/COWI: CO <sub>2</sub> reduktioner i transportsektoren	
Metode:	Økonomisk fremskrivning kombineret med elasticiteter fra litteratur
Effekter:	CO <sub>2</sub> nationalt 2005, en række samfundsøkonomiske omkostninger
Tiltag:	CO <sub>2</sub> effekt ( <i>fra persontransport</i> )
+ 22% benzinpris	-14%
+ 42 % benzinpris	-24%
+ 72% benzinpris	-35%
Kollektiv trafik	20% reduktion af takster 20% Reduktion af rejsetid <1%
Konklusioner bl.a.:	Benzinafgift mest virkningsfuld (for CO <sub>2</sub> )  Gennemgående ret beskedne CO <sub>2</sub> effekter af trafiktiltagene  Relativt høje skyggeomkostninger for at nå målene

### Metodiske forskelle

Der skal ikke her foretages en nærmere gennemgang af de enkelte undersøgelser. Det skal dog bemærkes at metoderne adskiller sig væsentligt indbyrdes og fra nærværende analyse, idet der anvendes hhv. en generel ligevægtsmodel for den danske økonomi (udbygget i henhold til transportsektoren) (DØR 1996), og mere ad hoc prægede sektorøkonomiske beregninger baseret på aggregerede økonomiske fremskrivninger og elasticiteter. Transportrådet (2000) inddrager dog også beregninger med den disaggregerede persontransportmodel PETRA, der har træk til fælles med den her anvendte model.

Tabel 11 Sammendrag af Transportrådet (2000)

Transportrådet. Scenarier for biltrafikken 1996-2020	
Metode:	Økonomisk fremskrivning kombineret med elasticiteter fra litteratur + PETRA model
Effekter:	CO <sub>2</sub> nationalt 2010, en række trafikale og samfundsøkonomiske effekter
Tiltag:	CO <sub>2</sub> effekt ( <i>fra persontransport</i> )
Transportfradrag fjernes	- 8%
+ 50 % benzinpris	-25%
Kollektive trafikinvesteringer	- 2%
Konklusioner bl.a.:	Benzinafgift mest virkningsfuldt (for CO <sub>2</sub> )  CO <sub>2</sub> mål kan kun nås med virkemiddelpakke  Stærke tiltag nødvendige for at nå målene

### Resultater af hidtidige analyser

Følgende generelle hypoteser uddrages af disse undersøgelser:

- Det er muligt, men vil kræve betydelige indgreb at opnå en væsentlig reduktion af CO<sub>2</sub> gennem indgreb i persontransporten.
- Det tiltag som har størst individuel effekt på CO<sub>2</sub> reduktion er øgede brændstofafgifter; effekten heraf er større end fx tiltag til at fremme af kollektiv transport.

- Der kan opnå den største reduktion i CO<sub>2</sub> udslip ved at kombinere forskellige tiltag.
- Der er stor usikkerhed om de økonomiske effekter af at gennemføre tiltag til at realisere væsentlige CO<sub>2</sub>-reduktioner.

Disse konklusioner har medvirket til at formulere de scenarier som er opstillet i nærværende sammenhæng, jf. det følgende afsnit.

#### 4.1.4 Udvalgte scenarier

11 scenarier analyseres

På baggrund af de ovennævnte metodiske overvejelser præsenteres her de scenarier, som indgår i analysen (se tabel 12).

Scenarierne omfatter et basisscenario (01). Derudover indgår dels situationer med ændrede forudsætninger om den økonomiske udvikling frem til 2010 (hhv. 1% og 3% vækst p.a.) (02a og 02b); og dels scenarier, hvor forskellige tiltag forudsættes indført med henblik på at reducere miljøbelastningen (03 – 10). De alternative vækstscenarier er kun medtaget som sammenligningsgrundlag.

Tabel 12 De opstillede scenarier

Scenarie- oversigt
<p><b>01. Basisscenario</b> Der regnes med 2% stigning i personlig indkomst per år. Øvrige forudsætninger (bortset fra demografi) uændret</p>
<p><b>02. Varierende indkomstforudsætninger</b></p> <p><b>2.a. Lavere vækst i indkomst</b> 1% vækst per år</p> <p><b>2.b. Højere vækst i indkomst</b> 3% per år</p>
<p><b>03. Kombinationsscenario</b> Kollektiv trafiks hastighed øges 20%; Biltrafikkens hastighed reduceres 20% Benzin afgift øges med 25% i 1997 og derefter med 2% p.a. frem til 2010 Taksterne i den kollektive trafik sænkes med 25%</p>
<p><b>04. Hastighed på vejnet</b> Rejsehastigheden sænkes med 20% på alle veje i forhold til basis svarende til 32 km/t i byer; 64 km/t på mindre veje, og 88 km/t på motorvej.</p>
<p><b>05. Øget kollektiv trafikfrekvens</b></p> <p><b>05a. Dobbelt kollektivfrekvens</b> Frekvensen på alle kollektive ruter og områder 'fordobles'</p> <p><b>05b Flere og hurtigere busser og tog</b> Som 05a, kombineret med 10% kortere køretid</p>
<p><b>06. Takstændringer på kollektiv trafik</b> Alle kollektive takster reduceres med 25%</p>
<p><b>07. Brændstofafgift forøges</b> Prisen på benzin og diesel ved hjælp af afgifter øges i med 25% i 1997, og 50% over basis i 2000, 2005 og 2010.</p>
<p><b>10. Hurtigere kollektiv trafik</b> Som 01, men med 25% hurtigere tid i bus/tog</p>

Tiltagsscenarierne kan inddeles i tiltag der retter sig mod forbedring af den kollektive trafik; tiltag som begrænser biltrafikken, samt scenari-

er der kombinerer flere virkemidler. Desuden kan de inddeles i hhv. efterspørgselsorienterede og udbudsorienterede tiltag.

*De kollektive scenarier* beskriver forskellige muligheder for at forbedre den kollektive service. Det omfatter dels forbedringer af frekvensen (05); øget hastighed i systemet (10), samt prisreduktioner (06). Disse scenarier er analyseret i nærmere detaljer i kapitel 5.

*De bilorienterede scenarier* omfatter dels reduktioner i hastigheden på vejnettet (04) og dels stigning i brændstofprisen (07).

Endelig indgår et *kombiscenario* (03), som omfatter en række tiltag fra de øvrige scenarier. Filosofien her er blandt andet at restriktioner på biltrafikken vil forudsætte en forbedring af den kollektive trafik og at reduceret biltrafik til gengæld vil give bedre praktiske muligheder for fx at øge hastigheden i den kollektive trafik. Dermed kan tiltagene understøtte hinanden (Scenario 05b er også et – mere begrænset – 'kombiscenarie').

#### *Hypotetiske scenarier*

Det bemærkes at der er tale om relativt drastiske indgreb, især i de kollektive scenarier. Scenarierne skal opfattes som eksplorative. Målet er især at belyse i hvilket omfang forskellige typer relativt markante indgreb kan påvirke trafikken og miljøet.

For at kunne gennemføre scenarieanalyserne har det været nødvendigt at supplere modellens output på to områder.

#### *Kollektive emissioner*

Det gælder for det første den kollektive trafiks emissioner, som ikke beregnes i modellen. Der er hertil indhentet oplysninger vedrørende gennemsnitlige emissioner fra de kollektive transportformer, som de forventes at se ud i 2010 (jf. bl.a. Vejdirektoratet 2000 og Winther 1999). Emissionskoefficienter for de kollektive transportformer er ganget på det samlede trafikarbejde med de kollektive transportformer i hvert scenario. Det er i alle scenarier på nær scenario 05 forudsat, at det kollektive udbud kan opfange den nyskabte og overflyttede transportefterspørgsel, dvs. antal kørte kilometer er uændret i forhold til basisscenariet. I scenario 05a, hvor frekvensen i den kollektive trafik antages fordoblet, er emissionen herfra ganget med 2.

#### *Hastighed og emissioner*

For det andet gælder det ændringer i hastigheder for vejtrafikken, hvis emissionsmæssige konsekvenser ikke beregnes i modellen. Der er hertil inddraget tekniske kurveforløb der beskriver den gennemsnitlige emission som funktion af køretøjers rejsehastighed for de relevante emissioner (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler). Emissionerne er forskudt relativt i forhold til de forudsatte hastighedsændringer i de scenarier hvor der indgår hastighedsændringer (03, 04, 05b, 10). Det er i beregningen forudsat at alle biler er katalysatorbiler i år 2010. For den kollektive trafiks emissioner er der indarbejdet tilsvarende justeringer for busser, mens der for tog ikke tegner sig et entydigt billede af hastighedsændringer i de intervaller som der opereres med her, og emissionerne er derfor antaget konstante.



## 4.2 Resultater

I det følgende præsenteres udvalgte resultater fra analyserne. Der ses først på konsekvenser for trafik og transportarbejde; dernæst emissioner, rejsetid, omkostninger og bilejerskab. En række fordelingsmæssige effekter (på hhv. geografiske områder og indkomstgrupper) inddrages undervejs.

Alle resultater angives som procentvis ændring i forhold til basissceneriet i året 2010. Kollektiv trafik omfatter både bus- og togtrafik. Let trafik er cykel og gang. Biltrafik er inddelt på bilfører og bilpassagerer. Transportarbejde for bilførere svarer til ændringer i bilernes trafikarbejde (kørte bilkilometer).

### 4.2.1 Trafik

I dette afsnit belyses de trafikale konsekvenser af de 9 scenarier.

Tabel 13 Personkilometer pr transportform og totalt

	Kollektiv	Let	Bilfører	Bilpass	Total
02a. Lav Indkomst	2,6%	0,9%	-1,1%	0,9%	-0,2%
02b.Høj-Indkomst	-2,7%	-1,3%	1,3%	-1,0%	0,2%
03. Kombiscenarie	174,7%	21,2%	-29,4%	-25,4%	-9,0%
04. Langsom biltrafik	15,4%	12,2%	-12,7%	0,0%	-5,4%
05. Dobbelt kollektiv	96,4%	-6,8%	-0,3%	3,5%	7,2%
05b Dobbelt og hurtigere koll	132,7%	-8,5%	-1,7%	1,3%	8,3%
06. Billigere kollektiv	21,7%	-2,1%	-0,9%	-1,9%	0,4%
07. Benzinpris	35,5%	22,8%	-18,5%	-17,7%	-10,8%
10. Hurtigere kollektiv	71,1%	-4,8%	-2,8%	-4,6%	2,1%

*Den kollektive trafik påvirkes mere end biltrafikken*

Der sker generelt størst ændringer hvad angår den kollektive transports andel af det samlede transportarbejde, jf. tabel 13. Den største tilvækst opnås i kombiscenariet (03), hvor den kollektive transport stiger med 175%. Stigningen er endog større her end i de to scenarier som indebærer de mest drastiske tiltag til at udbygge den kollektive transport nemlig scenarier med fordobling af frekvensen (05 og 05b), hvor der dog også sker en betydelig vækst. Dette peger imidlertid på at en udbygning i sig selv har mindre effekt end en kombination af tiltag.

Den største reduktion i det samlede transportarbejde sker i scenario 07 hvor benzinprisen øges kraftigt. Dette samt kombiscenariet medfører desuden begge over 20% stigning i den lette trafik. En henholdsvis lavere og højere økonomisk vækst (02a og b) medfører tilsyneladende ikke særlig markante ændringer sammenlignet med tiltagsscenarierne. At antallet af bilpassagerer stiger i scenariet med fordoblet kollektiv frekvens kan synes kontraintuitivt. Det skyldes formentlig en fejl i modellen.

Biltrafikreduktion er en vigtig parameter, da den har direkte effekt på miljøet. Øget kollektiv og let trafik (jf. afsnittet ovenfor) behøver så-

ledes ikke indebære reduktion i biltrafikken, men kan være udtryk for en samlet forøgelse af transportomfanget.

#### *Reduktion af biltrafik kræver restriktioner*

Dette ses (jf. kolonnen bilfører) ved at biltrafikken kun reduceres nævneværdigt i tre af scenarierne, nemlig scenario 04 med langsommere hastighed, scenario 07b med højere benzinpris, og mest i kombiscenariet, hvor der opnås næsten 30% reduktion af biltrafikken. Det er altså i den situation hvor der opnås langt størst overflytning til kollektiv og let trafik. Selv en fordobling i udbuddet af den kollektive trafik som i scenario 05 medfører kun en helt marginal overflytning. Hurtigere kollektiv trafik (scenario 10) giver heller ikke i sig selv større overflytning.

#### *Størst reduktion i København*

I de scenarier hvor en reduktion i biltrafikken opnås sker den største reduktion generelt for befolkningen i hovedstadens centalkommuner. Det må skyldes at udbuddet af kollektiv trafik her er større og bedre, og derfor har en større konkurrenceflade med biltrafikken. Effekten synes meget voldsom i kombiscenariet. Der sker dog også en betydelig overflytning i de mellemstore byer (10-35.000 indb.).

Tabel 14 Biltrafik-ændringer efter befolkningens urbaniseringsgrad.

	Kbh.& Frb.	Forstæderne	Byer > 70.000	10-35.000	2-10.000	Land landsby
02a. Lav Indkomst	1%	-3%	0%	-2%	-1%	0%
02b. Høj-Indkomst	-1%	1%	0%	0%	0%	0%
03. Kombiscenarie	-44%	-33%	-36%	-34%	-27%	-24%
04. Langsom biltrafik	-17%	-12%	-13%	-16%	-12%	-11%
05. Dobbelt kollektiv	-5%	-4%	0%	-1%	2%	1%
05b Dobbelt og hurtigere koll	-10%	-6%	-1%	-3%	1%	0%
06. Billigere kollektiv	-3%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
07. Benzinpris	-25%	-18%	-21%	-23%	-17%	-16%
10. Hurtigere kollektiv	-7%	-4%	-2%	-4%	-2%	-2%

#### **4.2.2 Emissioner**

I dette afsnit vises ændringer i de udvalgte emissioner og til sammenligning ændringer i biltrafik og personkilometer. Først ses på den samlede trafik, derefter på den kollektive trafiks andel.

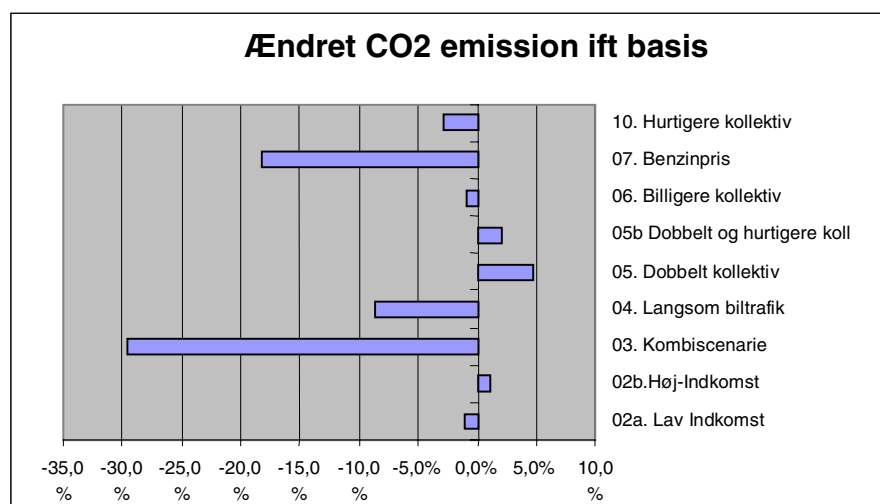
Tabel 15 Oversigt over ændringer i emissioner og trafik. Note (1). Partikelemissioner er her angivet for alle emissioner inkl. tog, se teksten

	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM (1)	Biltrafik	PKM
02a. Lav Indkomst	-1,1%	-0,5%	-0,2%	-1,1%	-0,2%
02b.Høj-Indkomst	1,1%	0,5%	0,2%	1,2%	0,2%
03. Kombiscenarie	-29,6%	-22,9%	-14,1%	-29,4%	-9,0%
04. Langsom biltrafik	-8,7%	-17,8%	-5,0%	-12,7%	-5,4%
05. Dobbelt kollektiv	4,6%	28,2%	60,2%	-0,3%	7,2%
05b Dobbelt og hurtigere koll	2,1%	25,5%	57,3%	-1,7%	8,3%
06. Billigere kollektiv	-1,0%	-0,8%	-0,4%	-0,9%	0,4%
07. Benzinpris	-18,2%	-13,7%	-7,5%	-18,5%	-10,8%
10. Hurtigere kollektiv	-2,8%	-2,9%	-3,5%	-2,8%	2,1%

Der er stor forskel på emissionerne fra den samlede trafik i de enkelte scenarier. Der er også forskel på hvordan de enkelte forureningskomponenter påvirkes, jf. tabel 15.

### CO<sub>2</sub> følger biltrafik

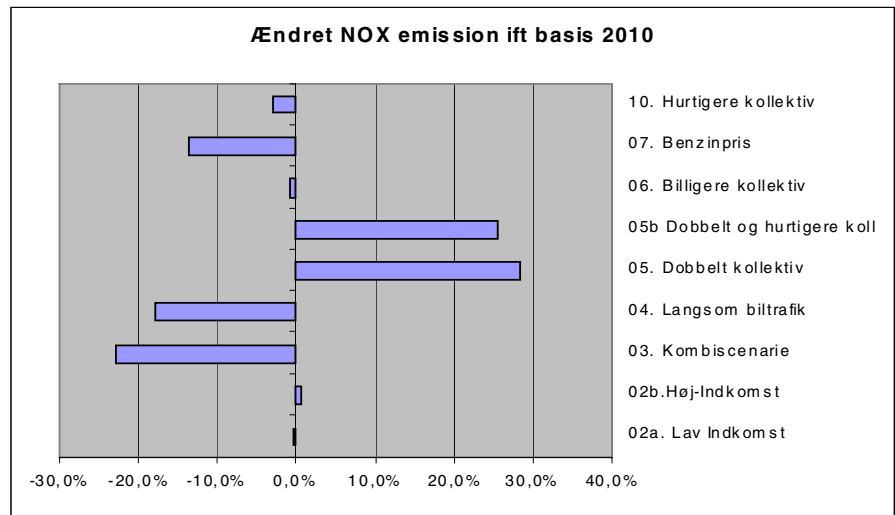
Ændringerne i CO<sub>2</sub> følger i store træk ændringerne i biltrafikken. Den største samlede reduktion opnås ved scenario 07 med øget benzinpris samt ved kombinationsscenarioet (03). Det øgede udbud af kollektiv trafik i fordoblingsscenarioerne (05) er ikke nok til at den samlede emission af CO<sub>2</sub> fra både bil og kollektiv trafik falder. Den beskedne overflytning kan altså ikke opveje det øgede udslip fra den kollektive trafik.



Figur 15 Procentvise ændringer i CO<sub>2</sub> emission i forhold til basisscenarie

### Kollektive scenarier giver i sig selv mere NO<sub>x</sub>

For kvælstofoxider (NO<sub>x</sub>) opnås der også reduktion i de samme to scenarier: øget brændstofpris og kombiscenariet. Til gengæld stiger emissionen ret meget i scenarierne med fordobling af det kollektive udbud. Dette skyldes at den kollektive trafik har en relativt højere NO<sub>x</sub> emission per personkilometer i forhold til biler end hvad der gælder for CO<sub>2</sub>.



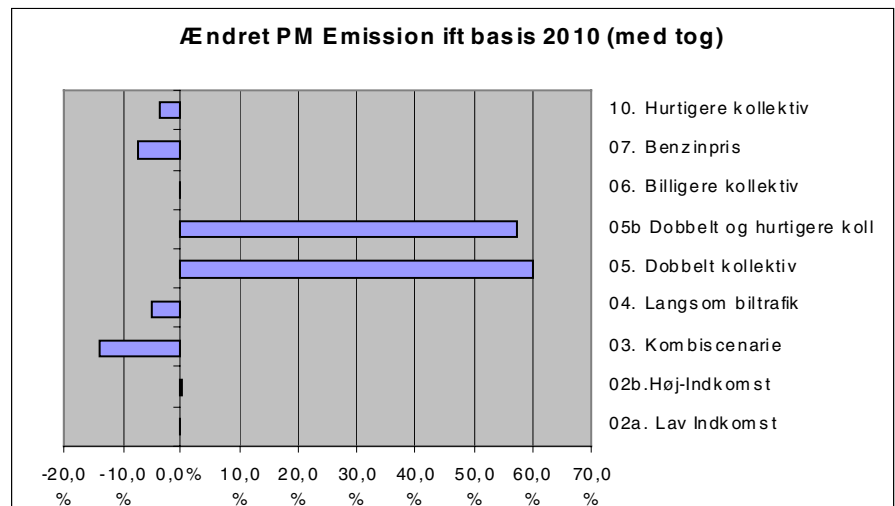
Figur 16 Procentvise ændringer i NO<sub>x</sub> emission i forhold til basisscenarie

*Det gælder i endnu højere grad partikler*

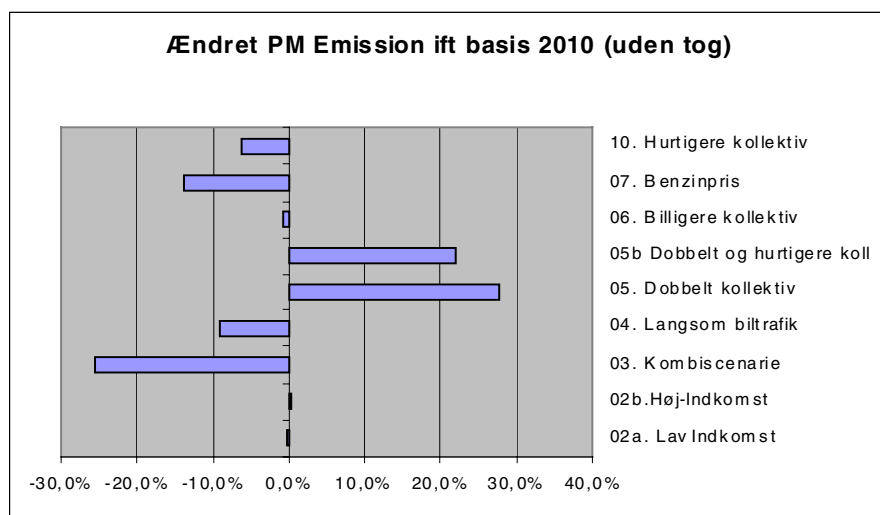
Dette forstærkes yderligere når man ser på emission af partikler (PM), hvor den kollektive trafiks andel af emissionen er endnu større.

*Beregning med og uden tog*

Der er her gennemført to alternative beregninger. I den første beregning inkluderes alle kollektive emissioner på samme måde som i beregninger for CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. (jf. figur 17). Hermed er der imidlertid ikke taget højde for at partikelemission fra tog i vidt omfang skyldes udslip fra kraftværker der leverer el til togene. Disse udslip udgør ikke samme sundhedsmæssige belastning som partikler der udsendes i gaderum. Derfor er der gennemført en alternativ beregning hvor alle togemissioner er taget ud og der kun er medtaget emissioner for biler og busser (figur 18).

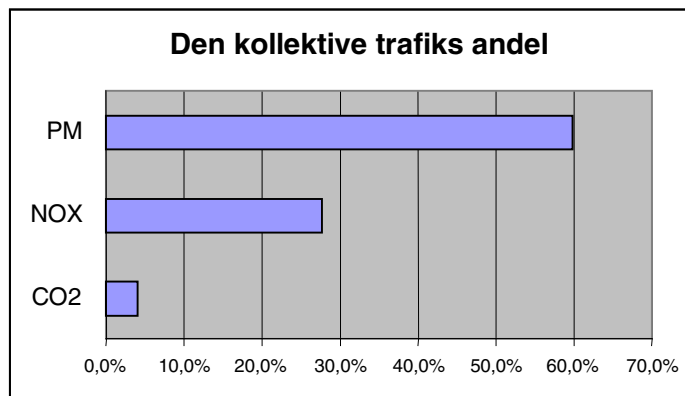


Figur 17 Procentvise ændringer i PM emission i forhold til basisscenario (alle emissioner inklusive tog)



Figur 18 Procentvise ændringer i PM emission i forhold til basisscenario (uden tog)

I begge tilfælde ses at PM emissionerne samlet set reduceres i de to scenarier der indebærer øget benzinpris (07 og 03), mest i beregningen uden togemissioner, mens de vokser kraftigt (med hhv. over 50% og over 20%) i de to scenarier med kollektiv fordobling. Her slår den kollektive trafiks høje andel af emissionerne igennem i en sådan grad, at miljøbelastningen, jf. figur 19, forøges markant.<sup>5</sup> Hurtigere kollektiv trafik (10) giver imidlertid i sig selv en vis reduktion i emissionerne i begge beregninger.



Figur 19 Den kollektive trafiks andel af emissioner i basissceneriet (Partikler er her inklusive togenes bidrag)

*Kombination af tiltag giver størst reduktion*

Konklusionen er for alle emissioner, at markante restriktioner på biltrafik i form af hhv. øgede afgifter eller reducerede rejsehastigheder har større effekt på emissionerne end selv markante, men isolerede tiltag til at forbedre den kollektive trafik.

De mest gunstige miljøeffekter synes man at opnå ved at kombinere en række tiltag, hvori både indgår restriktioner og forbedringer. Det er således det kombinerede scenarie, som giver de største reduktioner af alle emissionerne.

<sup>5</sup> Et vigtigt forbehold er dog at benziner er antaget ikke at have noget partikeludslip. Det er muligvis ikke korrekt i henhold til den allernyeste forskning.

Der er dog et vigtigt forbehold, at der ikke er forudsat øget udbud af kollektiv trafik til at opfange den kraftige overflytning der sker i dette scenario. Denne forudsætning – at der ikke indsættes flere busser og tog – medfører antageligt en overvurdering af de positive miljømæssige effekter som kan opnås, specielt vedrørende partikler og NO<sub>x</sub>.

#### 4.2.3 Rejsetid

Rejsetiden beregnes direkte i modellen og resultaterne ses i tabel 16.

Tabel 16 Ændring i rejsetid for de enkelte transportformer

	Koll	Let	Bilfører	Bilpass	I alt
02a. Lav Indkomst	2,5%	0,8%	-1,0%	0,9%	0,2%
02b. Høj-Indkomst	-2,5%	-1,2%	1,2%	-1,0%	-0,2%
03. Kombiscenarie	116%	20%	-10%	-6%	12%
04. Langsom biltrafik	14,8%	12,0%	11,6%	22,7%	14,2%
05. Dobbelt kollektiv	62,3%	-6,8%	-1,1%	1,5%	4,7%
05b Dobbelt og hurtigere koll	76,5%	-8,5%	-2,5%	-0,6%	4,8%
06. Billigere kollektiv	20,8%	-2,1%	-0,9%	-1,9%	0,9%
07. Benzinpris	34,5%	22,0%	-14,8%	-13,6%	0,3%
10. Hurtigere kollektiv	37,7%	-4,8%	-2,6%	-4,6%	0,7%

Rejsetiden kan ses som en omkostning for trafikanterne. At skulle bruge mere tid på transport er i sig selv uattraktivt. At den samlede rejsetid øges for fx kollektiv trafik betyder dog ikke i sig selv nødvendigvis et tab af velfærd. Dels kan det skyldes at der er sket en overflytning fordi den kollektive trafik er blevet relativt mere attraktiv end bil eller cykel. Og dels kan det skyldes at folk vælger at rejse til fjernere og mere attraktive rejsemål, hvor den øgede transportomkostning opvejes af gevinsten ved at kunne rejse til netop disse attraktive mål. Eftersom der er en tendens til at den tid folk er villig til at bruge på transport ligger fast, vil en stigning i den samlede transporttid dog alt andet lige tyde på et vist velfærdstab.

*Kollektiv rejsetid øges i de fleste scenarier*

I de fleste af tiltagsscenarierne ses der er forøgelse af den samlede rejsetid i den kollektive trafik. Ser man på scenario 04 med reduktion af hastigheden på vejene, er der markant øget rejsetid både for biltrafikanterne og kollektive trafikanter, dvs. den samlede tid til transport vokser kraftigt. Det er altså for eksempel ikke tilstrækkelig attraktivt at flytte over til kollektivt eller finde alternative rejsemål til, at det kan opveje den langsommere bilkørsel. Ser man på scenario 07 med øget benzinpris, falder rejsetiden i bil markant, mens den stiger i den kollektive trafik, som udtryk for et der sker både en overflytning til kollektiv trafik og en reduktion i afstanden til de valgte rejsemål. Ændringen i nettorejsetid er her nær 0, dvs. trafikanterne oplever ikke samlet set længere rejsetid.

I kombiscenariet (03) ses derimod en forøgelse af den samlede rejsetid, om end ikke helt så markant som i scenario 04 alene med lavere hastighed. Effekten modvirkes altså af den hurtigere kollektive trafik i kombiscenariet.

### Fordeling på by og land

Ændringerne i den samlede rejsetid fordeler sig forskelligt mellem by og land. Ser man på scenario 04 hvor biltrafikkens hastighed sænkes, sker den største forøgelse på landet og i de mindre byer, mens forøgelsen er mindre i hovedstadens centralkommuner. Det kan både skyldes, at det kollektive udbud er bedst i stand til at opfange bilister i Københavnsområdet, og at der er de bedste muligheder for at skifte til andre relevante rejsemål. Den samme tendens ses for kombiscenariet, hvor der næsten ikke sker en forøgelse af rejsetiden i København. De bagvedliggende tal viser, at den største vækst sker på landet (længere rejser) mens overflytningen er størst i København.

Tabel 17 ændring i rejsetid for befolkningen i forskellige geografiske områdetyper og indbyggertal)

	Kbh.& Frb.	Forstæderne	Byer > 70.000	10-35.000	2-10.000	Land landsby
02a. Lav Indkomst	-0,1%	0,7%	0,1%	0,5%	-0,1%	-0,1%
02b.Høj-Indkomst	0,1%	-0,6%	-0,1%	-0,7%	0,1%	0,1%
03. Kombiscenarie	4%	11%	13%	13%	13%	14%
04. Langsom biltrafik	7,7%	12,6%	14,7%	14,5%	15,3%	16,2%
05. Dobbelt kollektiv	5,8%	6,0%	0,1%	7,3%	2,5%	4,5%
05b Dobbelt og hurtigere koll	3,9%	5,6%	0,3%	7,7%	3,1%	5,0%
06. Billigere kollektiv	1,0%	0,8%	1,0%	0,7%	1,2%	1,0%
07. Benzinpris	2,6%	2,3%	1,9%	0,7%	-1,0%	-2,1%
10. Hurtigere kollektiv	-3,7%	-0,8%	0,3%	1,8%	1,7%	1,9%

### Fordeling på indkomstgrupper og køn

Ændringerne i rejsetid fordeler sig tilsyneladende ujævnt over indkomstgrupper. Der er dog en tendens til at hastighedsreduktion for biltrafikken (04) rammer de højere indkomstgrupper mest som følge af at bilejerskabet er størst her.

Tabel 18 Ændringer i rejsetid for de enkelte indkomstgrupper (1000 kr.)

	< 100	100-200	200-300	300-400	400-500	> 500
02a. Lav Indkomst	0,1%	0,1%	0,3%	0,4%	0,5%	0,2%
02b.Høj-Indkomst	-0,1%	-0,2%	-0,4%	-0,4%	-0,4%	-0,2%
03. Kombiscenarie	11%	12%	13%	14%	12%	12%
04. Langsom biltrafik	11,5%	14,3%	15,7%	16,6%	16,8%	16,8%
05. Dobbelt kollektiv	4,1%	4,9%	4,5%	6,0%	5,2%	5,0%
05b Dobbelt og hurtigere koll	3,8%	5,0%	4,8%	6,2%	5,0%	5,6%
06. Billigere kollektiv	1,0%	1,0%	0,9%	0,9%	1,0%	0,7%
07. Benzinpris	1,3%	0,0%	-0,1%	0,1%	0,3%	-1,8%
10. Hurtigere kollektiv	0,7%	0,7%	0,8%	1,2%	1,2%	0,6%

Der er heller ikke meget forskel på effekterne hvad angår fordeling på de to køn (resultatet er ikke vist). Dog findes en svag tendens til at restriktioner på biltrafikken øger mændenes rejsetid en smule mere end kvindernes, mens forbedret kollektiv trafik øger kvindernes

marginalt, som følge af den ulige fordeling i, hvilke transportformer de to køn overvejende anvender.

#### 4.2.4 Trafikantomkostninger

Trafikantomkostninger består dels af de direkte transportudgifter og dels af tidsmæssige omkostninger, jf. ovenfor. De direkte transportudgifter (her under ét kaldet driftsomkostninger) omfatter drift og ejerskab af bil (herunder benzin og slid mv.), samt køb af bus- og togbilletter. Tidsomkostningerne er her prissat med udgangspunkt i Vejdirektoratets Trafikøkonomiske enhedspriser (Vejdirektoratet 1999).

Tabel 19 Procentvis ændring i trafikantomkostninger

	Tidsomk. i kr. pr pers	Driftsomk. i kr. pr pers	I alt kr. pr pers
02a. Lav Indkomst	0,2%	-0,4%	-0,1%
02b. Høj-Indkomst	-0,2%	0,5%	0,1%
03. Kombiscenarie	12,1%	10,8%	11,5%
04. Langsom biltrafik	14,2%	-7,4%	5,1%
05. Dobbelt kollektiv	4,7%	5,4%	5,0%
05b Dobbelt og hurtigere koll	4,8%	6,0%	5,3%
06. Billigere kollektiv	0,9%	-1,8%	-0,2%
07. Benzinpris	0,3%	23,1%	9,9%
10. Hurtigere kollektiv	0,7%	1,1%	0,9%

*De fleste scenarier medfører øgede trafikantomkostninger*

Resultaterne viser at de fleste scenarier vil medføre øgede samlede omkostninger for trafikanterne, undtagen scenario 06 med billigere kollektiv trafik. De største stigninger i omkostningerne fremkommer ved øget benzinafgift (07) og ved kombinationsscenarioet (03), hvor disse stiger med omkring 10%.

Dog er der forskel på hvilke omkostninger der stiger, og hvorledes dette kan tolkes. I scenario 07 med øget brændstofafgift er det især driftsomkostningerne som stiger, herunder naturligvis især benzinomkostninger. I kombiscenarioet er det især det samlede tidsforbrug der vokser og dermed tidsomkostningerne. Dette kan imidlertid også til dels tolkes som udtryk for at der er en velfærdsgevinst ved de længere (kollektive) rejser til nye rejsemål, som foretages i dette scenario. Man skal derfor være varsom med at opfatte det sådan, at de øgede tidsomkostninger er udtryk for et rent velfærdstab.

I scenario 04 med reduceret hastighed stiger tidsomkostningerne markant, mens driftsomkostningerne falder på grund af mindsket slid og til dels benzinforbrug. Samlet set vægter tidsforøgelsen dog mest.

*Ikke 'gratis' at opnå markante miljøforbedringer*

Resultaterne tyder på at det næppe er "gratis" at opnå miljømæssige resultater gennem trafikale tiltag af den her undersøgte type. De tiltag der har størst positiv effekt på trafik og miljø (03 og 07) har også størst omkostninger for trafikanterne.



Trafikanternes omkostninger fordeler sig forskelligt mellem land og by. Det ses at de to scenarier med størst trafikale og miljømæssige effekter (øget benzinpris og kombiscenariet) giver størst stigning i omkostningerne uden for de tætte byområder. De tiltag der specifikt øger udbudet af kollektiv trafik (05 og 05b) indebærer større stigning af omkostningerne i byerne.

Tabel 20 Fordeling af ændrede trafikantomkostninger på geografiske områder.

	Kbh. & Frb.	Forstæderne	Byer > 70.000	10-35.000	2-10.000	Land landsby
02a. Lav Indkomst	0,2%	-0,1%	0,2%	0,1%	-0,3%	-0,2%
02b.Høj-Indkomst	-0,2%	0,1%	-0,1%	-0,1%	0,3%	0,2%
03. Kombiscenarie	2,4%	9,0%	11,3%	10,6%	12,9%	15,3%
04. Langsom biltrafik	4,1%	4,8%	6,5%	5,8%	4,4%	4,7%
05. Dobbelt kollektiv	9,8%	7,1%	0,9%	7,0%	2,8%	3,9%
05b Dobbelt og hurtigere koll	9,0%	7,2%	1,3%	7,6%	3,4%	4,2%
06. Billigere kollektiv	-1,3%	-0,6%	-0,2%	-0,2%	0,0%	0,1%
07. Benzinpris	4,8%	10,5%	9,8%	6,9%	11,8%	12,3%
10. Hurtigere kollektiv	-1,3%	-0,2%	0,9%	1,6%	1,3%	1,2%

Generelt synes effekterne at være fordelt relativt jævnt over de forskellige indkomstgrupper.

Tabel 21 Fordeling af ændrede trafikantomkostninger på indkomstgrupper (1000 kr.).

	< 100	100-200	200-300	300-400	400-500	> 500
02a. Lav Indkomst	0,0%	0,0%	-0,2%	-0,2%	-0,3%	0,1%
02b.Høj-Indkomst	0,0%	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%
03. Kombiscenarie	10,7%	11,9%	11,8%	11,9%	9,2%	11,5%
04. Langsom biltrafik	5,0%	5,1%	5,0%	5,1%	5,6%	5,0%
05. Dobbelt kollektiv	5,1%	5,1%	4,5%	5,5%	4,5%	4,5%
05b Dobbelt og hurtigere koll	5,3%	5,5%	5,0%	5,4%	4,1%	4,9%
06. Billigere kollektiv	-0,4%	-0,2%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	0,0%
07. Benzinpris	8,5%	10,0%	10,5%	10,9%	11,7%	11,4%
10. Hurtigere kollektiv	1,4%	0,8%	0,8%	0,6%	1,0%	0,4%

Der er ikke foretaget en samfundsøkonomisk opgørelse som omfatter fx de nødvendige udgifter til at fordoble frekvensen i den kollektive trafik (05) eller andre relevante investeringer.

Det er heller ikke vurderet i hvilket omfang en øget biltrafik i tilfælde af at der ikke foretages indgreb - 0 scenariet - vil medføre forsinkelser på vejnettet for både bilister og kollektive trafikanter og dermed øgede omkostninger.

### 4.2.5 Bilparken

Scenarierne påvirker størrelsen på bilparken. Her er resultaterne vist som procentvis ændring i antal biler pr husstand i 2010, samt ændringer i antal husstande i tre forskellige klasser af bilejerskab.

Bilantallet kan ses som en indikator på den mobilitet dele af befolkningen har til rådighed. Nedgang i bilejerskabet kan dermed udtrykke et velfærdstab, men kan også til dels ses som udtryk for reduceret behov for bilkørsel.

*Kombiscenariet medfører størst reduktion i bilparken*

Den største effekt ses med kombiscenariet (03), hvor antal biler reduceres ca. 4%, mens benzinprisscenariet (07) medfører reduktion på ca. 2%, af samme størrelsesorden som antagelsen om en reduktion af den økonomiske vækst fra 2 til 1% om året. Også langsommere biltrafik reducerer bilejerskabet, mens de øvrige scenarier ikke har nævneværdig effekt.

De to scenarier med størst effekt fører især til en reduktion i antal husstande med 2 eller flere biler, og en forøgelse af antal husstande uden bil.

Tabel 22 Ændring i antal biler pr husstand

	Relativ ændring pr husstand	Ændret andel af husstande		
		0 Biler	1 Bil	2 el. flere
02a. Lav Indkomst	-2,1%	0,4%	1,1%	-1,6%
02b.Høj-Indkomst	2,2%	-0,5%	-1,0%	1,6%
03. Kombiscenarie	-3,8%	2,2%	-0,7%	-1,5%
04. Langsom biltrafik	-1,1%	0,7%	-0,7%	0,0%
05. Dobbelt kollektiv	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
05b Dobbelt og hurtigere koll	-0,2%	0,1%	0,0%	-0,1%
06. Billigere kollektiv	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
07. Benzinpris	-2,1%	1,2%	-0,4%	-0,8%
10. Hurtigere kollektiv	-0,3%	0,2%	-0,1%	-0,1%

Analyserne viser at der ikke er nævneværdige fordelingsmæssige effekter hvad angår ændringer i bilejerskab på geografiske områder i de scenarier hvor dette finder sted (dog med tendens til størst reduktion i hovedstaden og de mellemstore byer).

## 4.3 Konklusioner

Her samles først op på de umiddelbare resultater af scenarieanalysen og derefter konkluderes i forhold til bæredygtighedsanalysen.

### 4.3.1 Resultater af scenarierne

Analyserne viser, at der kan opnås betydelige reduktioner i persontransportens emissioner gennem tiltag til at påvirke adfærden, men at det gennemgående vil kræve ret vidtgående tiltag at opnå dette.

Resultaterne peger, som ventet ud fra tidligere studier, på at de tiltag der direkte påvirker bilisternes omkostninger (pris og tid) vil være mest virkningsfulde, hvad angår samlet reduktion af emissioner, set i forhold til isolerede kollektive trafikforbedringer. Til gengæld kan disse tiltag rettet mod bilisme indebære øgede omkostninger, både hvad angår tid og driftsomkostninger.

*Isolerede kollektive tiltag giver ringe overflytning*

Markante tiltag til at fremme den kollektive trafik kan have stor effekt på antallet af kollektive trafikanter, men de undersøgte tiltag har et meget begrænset potentiale for at overflytte bilister og derigennem reducere den samlede miljøbelastning, og deres effekter i så henseende meget mindre end de tiltag der direkte påvirker biltrafikken. Som også mere detaljeret vist i kapitel 5, kan visse tiltag til at fremme den kollektive trafik i sig selv medføre forøget miljøbelastning, især forurening med partikler.

*Kombiscenario giver størst miljøeffekt – men giver også store trafikantomkostninger*

En kombination af flere forskellige virkemidler der hhv. reducerer de kollektive trafikanters omkostninger og tidsforbrug og øger biltrafikanternes ditto har den største effekt hvad angår reduktion af biltrafik og emissioner. Kombinationen gør samtidig at de enkelte virkemidler hver for sig kan være mere moderate, således som det ses i kombinationsscenarioet. Herved bliver de negative effekter for trafikanterne dog ikke nødvendigvis mindre. Det er kombinationsscenarioet, som medfører den største forøgelse af trafikanternes omkostninger.

*Moderate fordelings effekter*

De fordelingsmæssige effekter af de undersøgte tiltag som her er undersøgt forekommer gennemgående moderate. Tiltag overfor biltrafikken rammer dog typisk befolkningen uden for byerne mest, idet der som nævnt ikke opereres med geografisk differentierede tiltag.

*Nogle forbehold og begrænsninger*

Af relevante forhold der ikke er belyst, er dels konsekvenser for lokaliseringsvalg som følge af ændrede rejserelationer, og dels ændringer i trafikken hastighed som konsekvens af trængselsproblemer, der kan opstå som følge af den generelle trafikudvikling eller de enkelte tiltag.

Forhold som er mindre tilfredsstillende belyst, omfatter den forventede effekt på bilejerskab og trafik som følge af øget indkomst over tid samt trafikanternes ændring i valg af rejsemål, der i modellen sker momentant. Disse forhold vil dog formentlig have mindre effekt på de relative forskelle mellem scenarierne end på det absolutte niveau og det tidsmæssige gennemslag af effekterne.

Der vurderes at resultaterne er robuste i forhold til disse forbehold.

Derudover kan bemærkes at de analyserede scenarier udgør simple og ret firkantede regneeksempler. Det er muligt at udtænke væsentlig mere nuancerede tiltag, fx målrettede tiltag til at fremme den kollektive trafiks frekvens og hastighed hvor dette vil give størst effekt, og mere differentierede afgiftssystemer for biltrafikken, fx i form af Road Pricing.

*Anbefaling: opstilling af virkemiddelpakker med supplerende tiltag*

#### **4.3.2 Konklusioner i forhold til bæredygtighedsanalysen**

Som indikatorer for fremme af bæredygtig udvikling på transportområdet er det i scenarieanalysen valgt at belyse muligheder for at opnå væsentlige reduktioner i transportens udslip af CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler. Dette er holdt op mod effekter på mobilitet og økonomi.

Analyserne viser at det er muligt at påvirke transportadfærden i retning af reducerede emissioner, især gennem kombination af tiltag. Dette kan imidlertid påvirke mobiliteten og trafikantøkonomien negativt. Anbefalingen må derfor være at der arbejdes med at udvikle virkemiddelpakker, hvor tiltagene supplerer hinanden, og at der arbejdes på at finde mere nuancerede løsninger, hvor effekter på miljø, økonomi og mobilitet kommer i mindst mulig konflikt, når sigtet er at fremme en bæredygtig udvikling på transportområdet.

*OECD's checkliste*

Set ud fra en bæredygtighedsbetragtning bør perspektivet dog breddes noget mere ud end dette. Afslutningsvis skal analysen derfor diskuteres med udgangspunkt i den 'checkliste' til implementering af strategier for 'bæredygtig transport' der som redegjort for i kapitel 3 er opstillet i forbindelse med OECDs EST projekt (OECD 2000).

*Visioner*

*ad 1) 'Opstil en langsigtet vision for bæredygtig transport'*

*ad 2) 'Vurder de langsigtede tendenser i transporten under inddragelse af alle aspekter'*

Der er ikke taget udgangspunkt i egentlige langsigtede visioner for bæredygtig transport, men i mere umiddelbare og mellemfristede policy mål og problemstillinger. Dette valg kan i høj grad tilskrives ønsket om at benytte en empirisk funderet analysemodel for transportadfærden, og ikke mere fritstående scenarioteknikker eller lignende. Dette kan næppe siges at gøre analysen irrelevant for beslutninger der har til hensigt at bringe transportsektoren på en bæredygtig kurs, men det kan være relevant at supplere denne analysetilgang med andre typer undersøgelser fx såkaldte back-casting-studier (Se fx. Steen et al 1997).

Det er formentlig mere problematisk at ikke 'alle relevante aspekter' er medtaget, herunder især at der kun er set på et snævert udsnit af de miljøeffekter som transportsystemerne bidrager til. Igen kan dette dog ses som et behov for at foretage supplerende analyser af andre miljøproblemer fremfor som en alvorlig mangel ved nærværende analyse

*Konkrete mål*

*ad 3) 'Definer sundheds- og miljømæssige mål'*

*ad 4) 'Sæt kvantitative sektorspecifikke mål'*

Der er opstillet konkrete indikatorer relateret til trafikens sundheds- såvel som miljømæssige påvirkninger, men der er ikke defineret kvantitative sektorspecifikke mål for analysen. Dette må anses for en svaghed, idet der rent faktisk er opstillet sådanne mål i en række forskellige sammenhænge, som der kunne tages afsæt i. Det skyldes som nævnt især en begrænsning i den anvendte model i dens foreliggende version, hvad angår mulighederne for at beregne absolutte

ændringer i trafik og emissioner imellem dagens situation og fremtidige scenarier.

*Strategier, konsekvenser og virkemiddelpakker*

*ad 5) 'Identificer strategier for at opnå bæredygtig transport'*

*ad 6) 'Vurder de sociale og økonomiske konsekvenser af visionen'*

*ad 7) 'Konstruer pakker af virkemidler og instrumenter'*

Disse retningslinier er i vidt omfang fulgt, idet der dog naturligvis kun er belyst et mindre udvalg af de mulige pakker og virkemidler og kun en mindre del af de økonomiske og sociale konsekvenser, som kunne være relevante.

De undersøgte tiltag og virkemidler er ikke nødvendigvis de mest relevante på længere sigt. Det kunne være interessant at inddrage en række tekniske virkemidler til at nedbringe miljøbelastningen fra køretøjer og drivmidler uden at gribe ind i rejsetider mv., samt dertil lokaliseringsmæssige virkemidler, evt. i kombination med mere nuancerede adfærdsmæssige tiltag.

Desuden ville det være relevant at undersøge de samlede samfundsøkonomiske konsekvenser af forskellige tiltagspakker, hvilket dog under alle omstændigheder burde bygge på mere målrettede analyse-scenarier, end de eksplorative scenarier der er anvendt her.

*Implementering og opbakning*

*ad 8) 'Opstil en implementeringsplan'*

*ad 9) 'Etabler overvågningsmekanismer for implementering og rapportering'*

*ad 10) 'Opbyg en basis for bred støtte til strategien'*

Disse aspekter synes især at rette sig mod den politiske implementering af planer og umiddelbart knap så meget mod virkemiddelanalyser. Det er dog klart at implementeringsmuligheder og -barrierer også vil være afgørende for at der kan gennemføres strategier til at påvirke transportadfærden i bæredygtig retning og at sådanne barrierer og muligheder vil være væsentlige at få belyst. Formulering og analyser af scenarier med mere direkte afsæt i aktuelle implementeringsspørgsmål kunne for eksempel være en mulighed for at fremme 'en basis for bred støtte' til strategier.

Alt i alt vurderes det at analysen kan bidrage til fremme af forståelsen af væsentlige muligheder for og konsekvenser af at gribe ind i transportadfærden med henblik på at fremme en bæredygtig udvikling. Det vil være oplagt at arbejde videre med at inddrage flere af de ovennævnte aspekter, samtidig med at metodegrundlaget udvikles.

## 5 Forbedret kollektiv service som miljøstrategi

I dette kapitel belyses det overordnede spørgsmål i projektet ALTRANS: Er det muligt blot ved at forbedre den kollektive trafik at gøre denne så attraktiv, at bilister har lyst til at benytte den kollektive trafik i stedet for bil, hvorved trafikens miljøbelastning reduceres. Det analyseres altså, om det er en god miljøstrategi at forbedre den kollektive trafik for at reducere miljøbelastningen.

Den kollektive service kan forøges på flere måder, bl.a. ved øgede hastigheder og højere frekvens.

### *Højere frekvens*

Hvis en serviceforbedring skabes gennem et forøget kollektivt trafikarbejde, fx. højere frekvens, vil dette i sig selv medføre øget miljøbelastning. Og miljøbelastningen pr ekstra km er større for bus og tog end for biler, hvad angår de fleste miljøparametre. Forudsætningen for at opnå en miljøforbedring er derfor, at serviceforbedringen gør den kollektive trafik så attraktiv, at der lokkes tilstrækkelig mange fra bilerne over i den kollektive trafik til, at reduktionen i bilernes miljøeffekt opvejer den øgede miljøbelastning fra busser og tog.

Hvor mange overflyttede bilførere det vil være nødvendigt at have som ekstra passagerer i det kollektive net, hvis der skal være tale om en miljømæssig gevinst, vil afhænge af hvilken kollektiv trafik, der indsættes, og hvilken form for miljøeffekt, der betragtes. Generelt vil større transportmidler dog give større miljøbelastning, mens skift fra bilernes overvejende benzindrift til dieseldrift ændrer betydningen af luftemissionernes forskellige komponenter, jf. Christensen (2000a eller 2000b).

Højere kørehastigheder for busser, især i bygader, vil derimod i sig selv være en energibesparelse<sup>1</sup>. Ligeledes vil de fleste luftemissioner blive reduceret ved hastighedsforøgelse, når udgangshastigheden er under 40 km/t. Samtidig vil det kunne tiltrække flere bilister, når tidsforholdet mellem bil og kollektiv trafik forbedres. Ved anlæggelse af busbaner, busgader eller ligefrem sporvogne i gaderne og ved at signalprioritere til fordel for busserne i kryds kan hastigheden øges. For busserne vil der dermed blive tale om en miljøforbedring uden at det koster ekstra trafikarbejde.

Men når hastigheden for busser skal øges kan det reducere kapaciteten for biler, hvilket kan føre til lavere bilhastighed og øget energiforbrug, hvilket modvirker den miljømæssigt positive effekt af øget hastighed for den kollektive trafik. Lavere hastigheder for bilerne vil gøre konkurrenceforholdet i forhold til busserne bedre, så yderligere nogle bilister vælger den kollektive trafik frem for bil. Nettoresultatet for busserne i områder med begrænset vejkapacitet vil dermed af-

---

<sup>1</sup> Hvorvidt der er tale om energibesparelse eller øget energiforbrug at øge hastigheden, afhænger af udgangshastigheden. I byerne kører den kollektive trafik langsomt, under 40 km/t. Her vil der altid være tale om reduceret energiforbrug ved højere hastighed, jf. fx. Winther (1999).

hænge af et komplekst samspil mellem kapacitetsforandringer og hastighedsændringer for de to typer transportmidler.

For tog afhænger energiforbruget ved øget hastighed både af udgangshastigheden og togtypen.

*Andet*

Bedre vilkår for brug af cykler i forbindelse med kollektiv trafik vil altid gøre denne mere attraktiv uden at det koster øget energiforbrug og miljøbelastning. Denne problemstilling tages dog ikke yderligere op her. Ej heller beskæftiger vi os med komfortforbedringer, bedre skiltning og information osv., der alt sammen kan øge brugen af kollektiv trafik uden øget miljøbelastning.

*Kapitlets indhold*

I dette kapitel belyses effekten af 2 former for serviceforbedring, nemlig hastighedsforøgelse og øget frekvens. Når valget af scenarier indskrænkes til frekvens- og hastighedsforbedringer skyldes det, at det er sådanne scenarier, der kan beregnes på landsdækkende rejsevanedata. Effekten af større præcision eller bedre komfort kræver empiriske analysemetoder, som omfatter data, der kan tage højde for ændringer i disse parametre. COWIconsult (1995a) viser imidlertid også, at det er direkte forbedringer, der har størst betydning for transportmiddelvalget, så bortset fra forbedringer i præcision er det også de vigtigste parametre for transportmiddelvalg, analyserne behandler.

Effekterne af serviceforbedringerne vil blive belyst dels ved brug af ALTRANS-modellen og dels med den metode, som blev præsenteret i Christensen (2000a og 2000b).

Indledningsvis skal kort refereres resultaterne af tidligere undersøgelser fra litteraturen, der er grundigere beskrevet i Christensen (2000a).

## **5.1 Effekten af serviceforbedringer ifølge litteraturen**

*HT's Roskilde analyse*

Der findes i litteraturen et par eksempler, hvor miljøeffekten af forskellige serviceforbedringer er beregnet. I Danmark er der gennemført en teoretisk analyse af forskellige scenarier for serviceforbedringer i bustrafikken baseret på en modelberegning for Roskilde (HT, 1994). Analysens konklusioner viser, at en mindre forbedring i servicen vil være fordelagtig, mens en mere radikal forbedring hverken vil være miljømæssigt eller driftsøkonomisk forsvarlig.

Serviceforbedringen forudsættes i begge scenarier at blive gennemført ved indsættelse af minibusser og andre småbusser i by- og regionalnettet. I det mindre serviceforbedrende scenario udskiftes dele af den eksisterende kollektive trafik med mere energiøkonomiske transportmidler. Herved opnås en merbetjening samtidig med at der høstes gevinsten af en mindre miljøbelastende vognpark. Den mere omfattende serviceforbedring forudsættes gennemført uden yderligere forbedring i den eksisterende vognpark, hvilket er en væsentlig årsag til, at der ikke er tilstrækkelig miljøgevinst. Konklusionen på

scenarieanalyserne for Roskilde synes derfor snarere at være, at serviceforbedring ikke i sig selv giver nogen miljøgevinst.

#### *Norske erfaringer*

I Norge er der i begyndelsen af 1990'erne gennemført storstilede forsøg med forbedring af den kollektive trafik i hele landet. Solheim et al (1994) har beregnet effekten af forbedringer i den kollektive trafik i Trondheim og Kristiansand.

På en pendlerrute i Kristiansand gennem byens centrum og ca. 10 km ud til hver side er indført en direkte buslinje samt frekvensforøgelse. Omkring 11% af passagererne på ruten er tidligere bilister. I Trondheim blev frekvensen øget på en række ruter. To ruter, hvor frekvensen næsten er fordoblet mellem kl 7 og 18, er belyst. Ca. 5% af passagererne på de to ruter er tidligere bilister. De to undersøgelser er efter vor vurdering behæftet med nogle fejl, herunder for lave emissionskoefficienter, som vi har forsøgt at korrigere for. Herved bliver konklusionen, at 10% af ekstraudslippet i Kristiansand ikke kan kompenseres af faldet i biltrafik. I Trondheim kan besparelsen fra den mindre biltrafik netop kompensere det ekstra CO<sub>2</sub> udslip fra busserne. I begge tilfælde øges det samlede NO<sub>x</sub> udslip.

#### *Påvirkelighed ved serviceforbedringer*

Ud over disse to analyser af den miljømæssige effekt af serviceforbedring findes enkelte danske undersøgelser af overflytningspotentiale mellem bil og kollektiv trafik. Bl.a. har COWI for HT gennemført en stated preference undersøgelse af tidsværdien af frekvensforbedringer. Ifølge denne har frekvensforbedringer fra 20 til 10 minutter og fra 10 til 5 minutter samme værdi pr minut (COWI, 1995a). Den første frekvensfordobling har derfor dobbelt så stor værdi for bilister som den sidste. Værdien pr. minut er mindre ved frekvensforbedringer ved lav frekvens, men en forbedring fra 2 timers drift til 1 times drift har alligevel større værdi for kunderne end en forbedring fra 1 times drift til ½ times drift (COWI et al. 1998). Elasticiteten og dermed overflytningen bliver derfor større ved en fordobling af frekvensen ved lavere frekvens end ved høj.

Undersøgelsen viser også, at den forbedring, der for bilister har størst værdi, er koordinering mellem afgang (COWI, 1995a).

## **5.2 Adfærdsændringer i scenarierne**

For at belyse miljøeffekten af serviceforbedringer er der gennemført 3 scenarieanalyser. Det ene er en generel fordobling af frekvensen på alle kollektive ruter, mens det anden er en generel reduktion af køretiden på 25% på alle ruter. I det 3. scenario kombineres de to strategier, så frekvensen fordobles samtidig med, at køretiden reduceres 10%. Endelig medtages også en analyse af effekten af 10% takstreduktion.

I de to scenarier, med frekvensforbedring forudsætter beregningen en forbedring af alt fra den tyndeste landrute til den mest højfrekvente københavnske busrute eller S-tog, uanset at tidsafstanden mellem busser/tog på dele af ruterne kun er 1-2 minutter.



### Serviceforbedringens betydning for rejsetiderne

Ved beregningen af de nye rejsetider med kollektiv trafik er det forudsat, at alle ventetider og skiftetider halveres henholdsvis alle køretider reduceres. Desuden forudsættes det selvfølgelig ved frekvensfordobling, at det kollektive net er dobbelt så stort som hidtil.

Der tages i beregningerne af effekten af frekvensfordobling således ikke hensyn til, at den kollektive trafik bl.a. i forvejen kunne være koordineret, så mange skiftetider i forvejen var minimale og en frekvensfordobling derfor ikke ville reducere skiftetiden. Analysen på en reduceret køretid beregnes ligeledes rent teoretisk uden hensyntagen til, at dette vil betyde, at skiftetider ændres, og at koordinerede forbindelser ikke længere vil passe.

Serviceforbedringen set for trafikanterne kan udtrykkes i ændringer i rejsetider. I Christensen (2000a) påvises en klar sammenhæng mellem transportmiddelvalg og forholdet mellem den samlede kollektive rejsetid (dvs. summen af køre-, skifte- og ventetid) og tiden i bil. Også ventetiden<sup>2</sup> vises at have en betydning for transportmiddelvalget. Den procentvise ændring i den samlede kollektive rejsetid kan derfor benyttes som et udtryk for serviceniveauet i den kollektive trafik.

Tabel 23 Den relative forbedring i den samlede tid til den kollektive rejse i gennemsnit afhængig af hvordan serviceforbedringen gennemføres. Forbedringen vises afhængig af bopælsbyens størrelse og af turlængden.

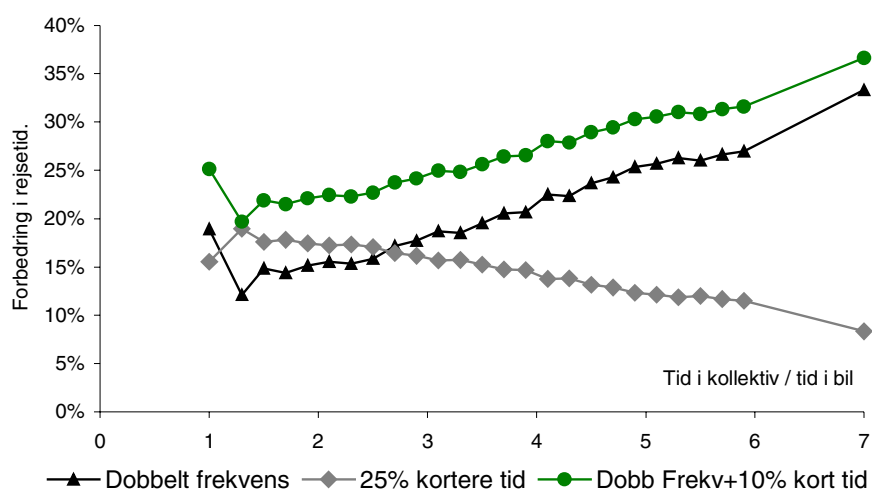
	Dobbelt frekvens	25% kortere tid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
<b>Alle</b>	23%	14%	28%
<b>Bopælsbys størrelse</b>			
Centralkommuner	13%	18%	21%
Forstæder	19%	16%	25%
Byer > 70.000 indb	20%	15%	26%
By 10-65.000 indb	25%	13%	30%
By 2-10.000 indb	25%	12%	30%
Land, småby	29%	11%	33%
<b>Turlængde</b>			
< 10 km	23%	13%	29%
10-15 km	24%	13%	29%
16-49 km	22%	14%	28%
50-199 km	20%	15%	26%
>200 km	15%	18%	22%

Tabel 23 viser, at en fordobling i frekvensen kun giver en reduktion i den samlede tid til en kollektiv rejse på 23%. Dette til trods for, at

<sup>2</sup> Ventetiden er her benyttet som udtryk for den ventetid en person vil få, hvis denne ankommer på et helt tilfældigt tidspunkt til stoppestedet. Det er alene den nødvendige ventetid ifølge køreplanerne. Den har ikke noget med forsinkelser at gøre. Dennes ventetid betegnes også ofte skjult ventetid fordi folk normalt ikke står ved stoppestedet ½ time, men venter fx. hjemme eller på arbejdet.

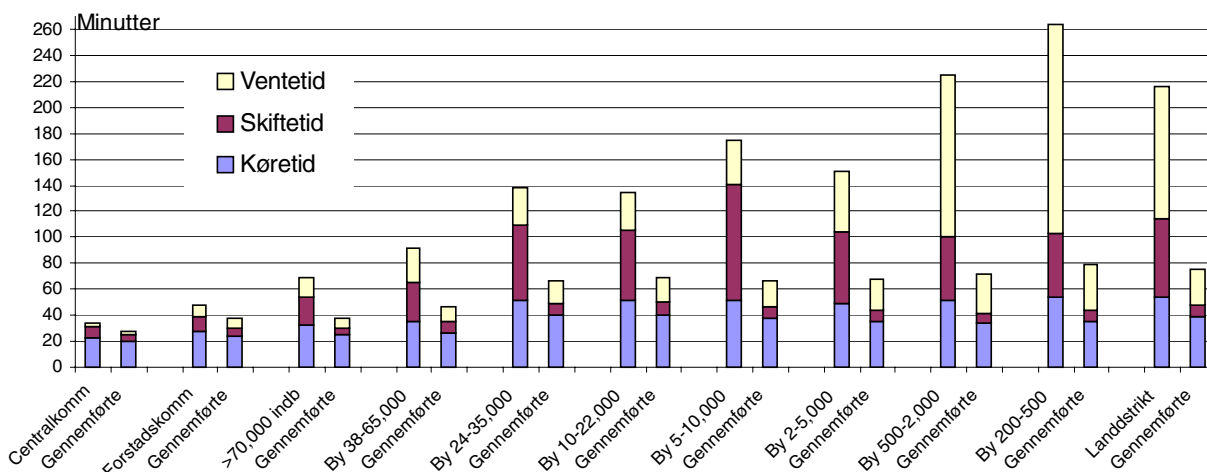
trafkarbejdet med kollektiv trafik og den deraf følgende emission øges 100%. Køretidsreduktionen på 25% reducerer den samlede rejsetid incl. ventetid med 14%. Hvis der lægges en køretidsforbedring på 10% oven i frekvensfordoblingen, når man op på en reduktion i den samlede rejsetid på 28%.

Den største forbedring ved dobbelt frekvens opnås, når tidsforholdet mellem rejsetiden med kollektiv trafik og i bil som udgangspunkt er dårligst, jf. figur 20. Omvendt opnås den største tidsforbedring ved hastighedsforøgelse, når serviceniveauet forlods er højt. Da tidsforholdet - og specielt vente- og skiftetid - er dårligere i de mindre byer og landsbyer end i Hovedstaden, jf. figur 21 betyder dette, at frekvensforbedring giver størst tidsreduktioner på landet og i de mindre byer, mens hastighedsforbedringer giver størst tidsgevinst i København, hvilket bekræftes i tabel 23.



Figur 20 Ændringen i den samlede rejsetid afhængig af forholdet mellem rejsetid i kollektiv trafik og bil forud for forbedringen. (7 betyder "mere end 6 gange" - eller i praksis en ikke gennemførlig rejse).

Figur 21 viser imidlertid også, at de, der rent faktisk rejser med kollektiv trafik, gør det, fordi de har mulighed for at rejse med en væsentlig bedre rejsetid end gennemsnittet af alle de rejsetider, der tilbydes trafikanterne som helhed. Skiftetiden er noget kortere, og ventetiden (den såkaldt skjulte ventetid) er meget kortere. Det sidste skal dog tages med et vist forbehold, idet man fra interviewene ved, hvornår trafikanten er rejst, og ikke hvornår denne måtte have ønsket at rejse. Og på det tidspunkt, hvor han rejste kollektivt var der en afgang. Den skjulte ventetid ifølge beregningerne er derfor højst en time. I virkeligheden kunne interviewpersonen godt have ventet mere end en time for at kunne komme af sted på det pågældende tidspunkt.



Figur 21 For hver byklasse vises sammensætning af den samlede rejsetid på køre-, skifte- og ventetid for 1) alle rejser uanset hvilket transportmiddel, der i virkeligheden benyttes (venstre søjle), 2) kun rejser, der gennemføres med kollektiv trafik (højre søjle). Omfatter kun ikke-interne rejser i en zone.

### 5.2.1 Beregning af adfærdsændring

Spørgsmålet er nu, hvordan tidsændringerne, som de tilbydes, påvirker trafikanterne.

Beregningerne i dette kapitel gennemføres som et scenario for udgangsåret 1996 og ikke som i forrige kapitel for 2010. En sammenligning af de trafikale effekter for året 1996 med effekten af en beregning for året 2010 viser dog ikke nogen forskel af betydning.

#### Effektanalyse i ALTRANS

Ved beregning af effekten af scenarierne i ALTRANS benyttes 3 ændrede parametre, køretid, ventetid og km kollektiv trafik. Skiftetiden indgår ikke i adfærdsmodellens formler. Til gengæld tages altså højde for både ændringer i ventetid og i trafiknettets omfang.

I scenarieberegningerne med ALTRANS, har det været nødvendigt at benytte en version af modellen, hvor køreplaner for bybusserne i Århus og Ålborg ikke indgår i rejsetidsberegningen. Dette giver fejl i resultatet af beregningerne for de store provinsbyer.

#### Effektanalyse i simpel model

Der er desuden gennemført en beregning af ændringen i transportmiddelvalg med en simpel regnearksmodel, hvori der antages samme transportmiddelfordeling ved et givet serviceniveau før og efter en forbedring. I analysen bag herværende rapport er medtaget data for en længere periode end i (Christensen 2000a), og køreplanerne for de store provinsbyer er med i rejsetidsberegningen.

I analyserne anvendes forholdet mellem den samlede rejsetid (dvs. summen af køre-, skifte- og ventetid) og tiden i bil som et udtryk for serviceniveauet i den kollektive trafik. Det antages i beregningerne, at de personer, der før forbedringen havde et samlet tidsforhold  $T_f$  og efterfølgende får tidsforholdet  $T_e$  vil have samme transportmiddelfordeling som de, der før forbedringen havde rejsetidsforholdet  $T_e$ . Det forudsættes, at turlængden ikke ændres. Herved får man en ny transportmiddelfordeling.

Ved gennemførelsen af beregningerne grupperes rejserne efter de vigtigste faktorer for transportmiddelvalg, nemlig indkomst, kørekort og bytype samt rejselængde. Derved tages der højde for, at der ikke sker en fejlberedning, fordi der fx. er højere kollektivandel i områder med lavindkomst. Personer med høj indkomst og 2 kørekort i husstanden kan altså kun ændre adfærd til samme adfærd som andre højindkomstpersoner med flere kørekort i husstanden. I ALTRANS-modelberegningen sikres gennem parametre og segmentering af modellen tilsvarende at sådanne fejl undgås.

I de simple beregningerne kan interne rejser ikke medtages. De er overvejende er korte og derfor har lav kollektiv andel. Disse udgør halvdelen af turene og 25% af transportarbejdet i bil. I den simple model analyse inddrages omkostningerne heller ikke, så takstscenariet kan ikke belyses.

### 5.2.2 Adfærdsændring i de 4 scenarier

#### *Ændring i kollektivandelen*

Serviceforbedring i den kollektive trafik får ifølge modelberegningerne i ALTRANS-transportarbejdet til at stige ganske betydeligt. I scenariet med fordoblet frekvens stiger transportarbejdet 90%, jf. tabel 24.

Hvis køretiden reduceres 25% stiger transportarbejdet med 70%. Ved kombination af køretidsreduktion og frekvensfordobling skulle transportarbejdet med kollektiv trafik mere end fordobles.

Tabel 24 Ændring i transportarbejde med kollektiv trafik i 3 scenarier med ALTRANS. Tal i parentes angiver mangelfuldt beregningsgrundlag.

	Dobbelt frekvens	25% kortere køretid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Alle	92%	69%	126%
Centralkommuner	44%	43%	69%
Forstæder	106%	55%	141%
Byer > 70.000 indb	(19%)	(58%)	(41%)
By 10-65.000 indb	148%	82%	188%
By 2-10.000 indb	61%	88%	98%
Land, småby	114%	91%	160%

Frekvensfordoblingen synes ifølge ALTRANS-beregningerne at have størst effekt i forstæderne, i de mellemstore provinsbyer og på landet. I Københavns centralkommuner og i de mindre byer er væksten i den kollektive trafik væsentlig under gennemsnittet. Den lave forøgelse i byerne over 70.000 indbyggere skyldes antagelig de ovenfor omtalte mangler ved modellen i de store byer.

Hvis køretiden reduceres, er forøgelsen i transportarbejdet større jo mindre bystørrelsen er. Også selv om den procentvise forbedring i den samlede rejsetid er mindre jo mindre byen er. Det har altså større betydning, at der ikke særlig stor forskel på rejsetiden uanset bystørrelse for de, der rent faktisk vælger den kollektiv trafik, så effekten bliver størst når servicen forlods er lav.

I den simple modelberegning er forøgelsen i transportarbejdet ved rejsetidsændringer kun omkring 20%. Det kan derfor allerede ud fra forskellen mellem de to modelleres resultater ses, at der må være tale om en stor vækst i transportarbejdet som helhed.

Tabel 25 Ændring i transportarbejde med kollektiv trafik i 3 scenarier ved beregning med den simple model.

	Dobbelt frekvens	25% kortere køretid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Alle	18%	16%	26%
Centralkommuner	6%	8%	10%
Forstæder	16%	15%	21%
Byer > 70.000 indb	12%	14%	22%
By 10-65.000 indb	21%	15%	29%
By 2-10.000 indb	29%	21%	38%
Land, småby	27%	24%	39%

Beregningerne med den simple model viser ved frekvensfordobling en effekt, der er større jo mindre by, hvilket passer sammen med at forbedringen i den samlede rejsetid er større jo mindre by og jo ringere det oprindelige rejsetidsforhold var.

I den simple model medregnes de interne rejser som omtalt ikke. Da disse udgør et stort antal - og i de store byer og på landet også relativt lange rejser, er det ikke utænkeligt, at der netop internt i de større byer og forstæderne til København sker en væsentlig vækst ved en forbedret frekvens, som ikke kommer frem, sådan som den gør i ALTRANS. I de små byer er de interne rejser derimod korte og den kollektive trafik selv ved frekvensfordobling dårlig, hvorfor de interne rejser sjældent er attraktive at tilbagelægge med kollektiv trafik i disse byer. Herved bliver væksten for rejser fra denne byklasse mindre end i de større og mindre byer.

Der er således ingen grund til at anfægte resultaterne af beregningen med ALTRANS-modellen, om end det virker overraskende, hvor stor væksten i den kollektive trafik beregnes til at blive.

### Trafikvækst

Tabel 26 viser, at der sker en ganske stor vækst i det samlede transportarbejde foranlediget af en serviceforbedring i den kollektive trafik, 2% ved køretidsforbedring, og hele 7-8% ved frekvensforbedring. Ved køretidsforbedring er væksten jævnt fordelt, mens den ved frekvensforbedring især forekommer i Københavns centralkommuner, hvor den er meget stor, men også i de store provinsbyer. De rejsende får med et relativt beskedent ekstra tidsforbrug mulighed for at kunne rejse meget længere og dermed nå langt flere aktiviteter, hvilket de ifølge modellen udnytter. Ved frekvensfordobling øges det samlede tidsforbrug til rejser med 5%, men herfra skal trækkes en besparelse ved kortere ventetid. I København er forøgelsen i tidsforbruget til rejser kun 6% selv om afstandene øges 20%.

Tabel 26 Ændring i det samlede transportarbejde i de 3 scenarier Tal i parentes angiver mangelfuldt beregningsgrundlag.

	Dobbelt frekvens	25% kortere tid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Alle	7%	2%	8%
Centralkommuner	20%	3%	22%
Forstæder	9%	1%	11%
Byer > 70.000 indb	(2%)	(2%)	(3%)
By 10-65.000 indb	11%	4%	13%
By 2-10.000 indb	4%	2%	5%
Land, småby	5%	1%	5%

I tabel 26 er væksten i transportarbejdet målt i forhold til det samlede transportarbejde. Sætter man derimod væksten i relation til mængden af kollektiv trafik, fremgår det, at hovedparten af forøgelsen i kollektivt transportarbejde, skyldes vækst i den samlede transport jf. tabel 27. I fordoblingsscenarioet er hele den øgede kollektive transport nygenereret trafik. Ved højere hastighed kommer der også noget overflyttet trafik, mere i de mindre byer og på landet end i København.

Tabel 27 Væksten i transportarbejde i de 3 scenarier målt i forhold til transportarbejdet med kollektiv trafik i basissituationen. Tal i parentes angiver mangelfuldt beregningsgrundlag.

	Dobbelt frekvens	25% kortere tid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Alle	91%	26%	106%
Centralkommuner	83%	12%	92%
Forstæder	77%	11%	90%
Byer > 70.000 indb	(27%)	(23%)	(35%)
By 10-65.000 indb	123%	41%	147%
By 2-10.000 indb	77%	36%	95%
Land, småby	123%	31%	137%

Alt i alt virker den beregnede vækst i den kollektive trafik, som skyldes nygenereret trafik overraskende stor. Det skal bemærkes, at modellen ikke lægger restriktioner på mulighederne for at ændre rejsemål, hvilket betyder, at også målet for arbejdspladser flytter i modellen. På kort sigt er dette imidlertid ikke realistisk, hvorfor den fulde forøgelse i trafikvæksten ikke vil materialisere sig på den måde, som modellen viser. På længere sigt vil en vækst også i bolig-arbejdsstedsrejserne derimod kunne komme på tale, hvorved ændringen vil være realistisk.

#### Overflytning fra øvrige transportmidler

En del af væksten i den kollektive trafik skyldes en overflytning fra let trafik, jf. tabel 28. Reduktionen i den lette trafik er lidt større ved frekvensfordobling (7%) end ved køretidsreduktion (5%), og derfor også større ved det kombinerede tiltag (9%). Overflytningen er størst i København ved frekvensfordobling og i Københavns forstæder ved hastighedsforøgelse. En sådan overflytning er klart forventelig, idet

cykler og busser har omtrent samme hastighed i de centrale dele af byerne. En mere højfrekvent eller hurtigere kollektiv trafik gør derfor denne mere attraktiv for potentielle cyklister.

Tabel 28 Reduktion i den lette trafik i de 3 scenarier ved beregning med ALTRANS-modellen.

	Dobbelt frekvens	25% kortere tid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Alle	-7%	-5%	-9%
Centralkommuner	-4%	-11%	-9%
Forstæder	-17%	-6%	-20%
Byer > 70.000 indb	-3%	-5%	-4%
By 10-65.000 indb	-6%	-3%	-7%
By 2-10.000 indb	-4%	-3%	-4%
Land, småby	-4%	-3%	-5%

Miljømæssigt er en reduktion i cykel og gang til fordel for den kollektive trafik ikke attraktiv. Det miljømæssigt afgørende er en reduktion i biltrafikken, hvilket i denne sammenhæng betyder reduktion i trafikken i bil som fører.

Denne reduktion er imidlertid ifølge modelberegningen yderst beskedent, jf. tabel 29. I eksemplet med frekvensfordobling er overflytningen kun 0,5% i gennemsnit og ved hastighedsreduktion 3%. I København og forstæder er den mellem 5 og 7% og i de mindre byer på 2-4%. Imidlertid sker der en vækst i biltrafikken i de små byer ved frekvensfordobling, hvilket er ulogisk, når biltrafikken ikke påvirkes direkte men stilles i en ringere konkurrencesituation.

Tabel 29 Ændring i transportarbejde med bil som fører i 3 scenarier.

	Dobbelt frekvens	25% kortere tid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Alle	-0,5%	-3,0%	-1,9%
Centralkommuner	-6,2%	-7,3%	-10,7%
Forstæder	-5,1%	-4,9%	-7,6%
Byer > 70.000 indb	(0,1%)	(-2,8%)	(-1,2%)
By 10-65.000 indb	-1,7%	-3,8%	-2,9%
By 2-10.000 indb	1,6%	-2,4%	0,6%
Land, småby	0,8%	-2,0%	-0,1%

Modellens ændring i andelen af transportarbejde som bilpassagerer viser et endnu mere problematisk resultat. I begge eksempler med frekvensfordobling øges andelen af bilpassagerer. I København endda ganske betydeligt. Ved hastighedsforbedringen viser beregningen derimod en forventelig reduktion i passagertrafikken, men kun på 3%.

Modelberegningen viser herudover, at der sker et om end beskedent fald i bilejerskabet som følge af den bedre kollektive trafik. I hastighedsscenarioet er den beregnet til 0,3% og i scenariet, hvor fordoblet frekvens kombineres med køretidsnedsættelse, til 0,2%.

Den simple model viser en tilsyneladende mere realistisk overflytning fra bilførere til kollektiv trafik ved serviceforbedringer. Således optræder der ikke positive værdier. Imidlertid kommer reduktionen stadig ikke op på mere end godt 2% af biltrafikken eller 3,4% ved det kombinerede scenario. Som ved ALTRANS falder overflytningen med mindre bystørrelse. Frekvensforbedring giver mindre effekt i København med den simple model end med ALTRANS.

Tabel 30 Ændring i transportarbejde med bil som fører ifølge reden simple model.

	Dobbelt frekvens	25% kortere tid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Alle	-2,1%	-2,2%	-3,4%
Centralkommuner	-3,3%	-6,3%	-7,7%
Forstæder	-2,5%	-3,8%	-3,8%
Byer > 70.000 indb	-3,5%	-3,3%	-5,4%
By 10-65.000 indb	-1,9%	-1,6%	-3,6%
By 2-10.000 indb	-2,3%	-1,8%	-3,0%
Land, småby	-1,4%	-1,4%	-2,3%

Også for bilpassagerer udvises en mere rimelig overflytning med den simple model. Men heller ikke i denne er der alle steder tale om et positivt fortegn på overflytningerne. Der flyttes mere ved frekvensforbedring end ved hastighedsforbedring. Og der flyttes ved hastighedsforøgelse lidt mere i København, hvor konkurrenceforholdet for den kollektive trafik er bedst. Herudover er overflytningen nogenlunde den samme i hele landet.

#### *Samlet vurdering af modelanalyserne*

Analyserne med de to modeller viser, at der hersker noget uklarhed om, hvor meget de forskellige scenarier fører til af ændringer i transportmiddelsammensætningen.

Den simple model medtager ikke vækst i det samlede transportarbejde og undervurderer derfor væksten i den kollektive trafik. På den anden side udviser ALTRANS-beregningerne nogle alvorlige fejl i beregningerne af overflytningen af biltrafik.

Det er derfor nødvendigt at tage de fundne resultater med et vist forbehold. Det synes dog rimeligt at drage følgende konklusioner:

- Frekvensforbedring fører til en betydelig vækst i transportarbejdet i kollektiv trafik. Det meste af denne vækst skyldes nygenereret trafik. Væksten ved frekvensforbedring er størst i forstæderne til København og de større provinsbyer
- Hastighedsforøgelse fører til en noget mindre vækst i transportarbejdet med kollektiv trafik. Også denne vækst skyldes primært nygenereret trafik. Væksten ved hastighedsforbedring er større jo mindre byer
- Serviceforbedring i den kollektive trafik fører til en vis overflytning af cykel- og gangtrafik



- Serviceforbedring fører kun til en yderst beskedne overflytning af bilister, i størrelsesorden nogle få procent. Overflytningen er mindre i de små byer og på landet end i de store byer
- Også bilejerskabet synes at blive påvirket, men kun ganske svagt

### 5.3 Miljømæssige effekter af de 3 scenarier

Den miljømæssige effekt af ændret service afhænger af hvilken miljømæssig belastning, man ser på. I Christensen (2000a) er belastningen pr kilometer sammenlignet for biler og forskellige kollektive transportmidler. Her omtales det, at en bus forårsager omtrent samme ulykkesrisiko som en bil pr kilometer, mens den støjer som 8 biler, hvis den ikke er særlig støjafskærmet. CO emissionen fra en bil er højere end fra en bus, mens bussens partikelemission er 20-40 gange og NOx emission 10-20 gange så stor pr km som bilens. De lave tal gælder i dagens situation, mens de høje tal gælder en fremtidig situation, hvor alle biler har katalysator<sup>8</sup>. Endelig er CO<sub>2</sub> emissionen 5-6 gange så stor. For tog gælder nogle lidt andre forhold, idet tog generelt er mere miljøbelastende pr km end busser.

Tabel 31 Ændret trafikarbejde for busser og tog henholdsvis i bil som fører i hver af de 3 scenarier med serviceforbedring. Km pr dag.

	Dobbelt frekvens	25% kortere tid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Ekstrakørsel bus	790.000	0	790.000
Ekstrakørsel tog	160.000	0	160.000
Sum kollektiv trafik	950.000	0	950.000
Sparet bilkørsel	450.000	2.520.000	1.560.000

I scenarierne med dobbelt frekvens skal der køres 950.000 km ekstra med kollektiv trafik, ifølge opgørelser i Trafikministeriet (1996). Som det fremgår af tabel 31, kan der imidlertid kun spares 450.000 bilkm ifølge ALTRANS-beregningerne og 1,7 mio. km ifølge de simple beregninger, dvs. langt mindre end nødvendigt for at opveje merkørslen med bus og tog. Scenariet med dobbelt frekvens fører således for stort set alle miljøkomponenter til en miljømæssig forringelse.

Hvis hastigheden samtidig øges spares biltrafik svarende til godt 1,6 gange den nødvendige merkørsel med kollektiv trafik. Beregnes overflytningen fra bil med den simple model bliver besparelsen i bilkørsel 3 gange merkørslen med kollektiv trafik.

Når miljøeffekten beregnes for CO<sub>2</sub> kan i dette scenario yderligere inddrages fordelene af øget hastighed. Effekten af hastighedsforøgelsen er i størrelsesorden 80 tons ved en forøgelse på 25% og 140 tons ved en forøgelse på 10%, men vel at mærke på en dobbelt så stor trafik, jf. tabel 32. (Se Christensen, 2000a og b).

<sup>8</sup> I beregningerne i en fremtidig situation er dog ikke taget højde for forbedringer i busteknologien, og ej heller til at koldstartsemissionerne reducerer bilernes fordel. De fremtidige emissionsforhold vil derfor ligge væsentligt tættere på de nuværende end her angivet. Den nuværende situation refererer til bilparken i 1997.

Tabel 32 Ændret CO<sub>2</sub> emission som følge af scenarier ved anvendelse af traditionel kollektiv trafik

	Dobbelt frekvens	25% kortere tid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Øget kollektiv trafik	1.380		1.380
Hastighedsforøgelse		- 80	- 140
ALTRANS, Sparet trafik	- 75	- 420	- 260
Ændret tons CO <sub>2</sub> udslip, ca.	+ 1.300	- 500	+ 1000

Besparselsen fra den reducerede biltrafik og hastighedsforøgelsen er imidlertid alt for beskeden i forhold til den nødvendige ekstrakørsel ved frekvensfordobling. Det er således kun muligt at opnå en miljøgevinst, hvad angår CO<sub>2</sub> ved den rene hastighedsforøgelse. Og det forudsætter, at denne kan gennemføres uden at bilernes hastighed reduceres samtidig, hvilket ikke er sandsynligt.

Hvis det kapacitetsmæssigt (og praktisk) er muligt at gennemføre den ekstra trafik med mindre køretøjer, vil den ekstra CO<sub>2</sub> emission kunne reduceres, så der er lidt bedre forhold mellem miljøforringelsen ved ekstrakørslen og effekten af den reducerede biltrafik, jf. tabel 33. CO<sub>2</sub> emissioner kan således blive reduceret fra knap 1.400 tons til godt 500 tons. Her tænkes på tog med kun 1 togsæt og småbusser, som kunne betegnes midibusser, se nærmere i Christensen (2000a).

Tabel 33 Ekstra emissioner ved fordoblet frekvens afhængig af de valgte transportmidler

	mio. km/dag	Store transportmidler		Små transportmidler	
		g CO <sub>2</sub> / km	Tons CO <sub>2</sub>	g CO <sub>2</sub> / km	Tons CO <sub>2</sub>
bus	0,79	890	700	250	200
tog	0,12	4700	560	2300	280
S-tog	0,04	1500	120	1500	60
I alt	0,95		1.380		540

Imidlertid vil det ikke være tilstrækkelig til at opnå en besparelse i CO<sub>2</sub> emissionen i scenariet med dobbelt frekvens, men derimod muligvis, hvis frekvensforbedringen kombineres med hastighedsforøgelse, jf. tabel 34. Hvis der imidlertid er hold i den beregnede meget store vækst i transportarbejdet i den kollektive trafik, er det imidlertid ikke realistisk altid at køre med små transportmidler. I myldretiden må kapaciteten mange steder fordobles.

Tabel 34 Ændret CO<sub>2</sub> emission som følge af scenarier ved anvendelse af små transportmidler

	Dobbelt frekvens	25% kortere tid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Øget kollektiv trafik	530		530
Hastighedsforøgelse		- 20	- 80
ALTRANS, Sparet trafik	- 75	- 420	- 260
Ændret tons CO <sub>2</sub> udslip	+ 460	- 440	+ 190

I Hovedstaden er emissionsreduktionen større end i det øvrige land ved fordoblet frekvens. I tabel 35 og 36 er vist den ekstra emission fra busser og tog i København med forstæder og den tilsvarende besparelse fra en reduceret biltrafik. Selv med den større reduktion i biltrafikken er det ikke i Hovedstaden muligt at opveje merudslippet af CO<sub>2</sub> fra den ekstra kollektive trafik ved fordoblet frekvens.

Tabel 35 Ekstra trafik og CO<sub>2</sub> udslip ved fordoblet frekvens i Hovedstaden

	mio. km/dag	g CO <sub>2</sub> / km	Tons CO <sub>2</sub>
bus	0,22	1000	220
tog	0,01	4700	47
S-tog	0,04	1500	60
I alt			327

Tabel 36 Ændret CO<sub>2</sub> udslip fra biltrafikken ved 3 scenarier i Hovedstaden beregnet med ALTRANS.

	Dobbelt frekvens	25% kortere tid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Øget kollektiv trafik	330		330
Hastighedsforøgelse		- 22	- 20
Sparet Biltrafik, ALTRANS	- 141	- 145	- 221
Ændret tons CO <sub>2</sub> udslip	190	- 170	90

## 5.4 Omkostninger i de 4 scenarier

De økonomiske konsekvenser ved et scenario kan vurderes ud fra såvel en driftsøkonomisk som en samfundsøkonomisk betragtning. Vægten lægges her på en driftsøkonomisk tilgang. Den samfundsøkonomiske beregning berøres kun kort.

### 5.4.1 Driftsøkonomisk beregning

I det driftsøkonomiske perspektiv betyder øget frekvens større omkostninger for trafikskaberne. Flere kunder vil dog skabe flere billetindtægter og dermed delvis opveje udgiften.

Den samlede meromkostning til selve driften af bus og tog ved en fordobling af driften skønnes til godt 18 mio. pr dag for hele landet og 5,7 mio. i Hovedstaden, jf. tabel 37.

Denne beregning bygger på en skønnet udgift på 12-13 kr. pr buskm og 25 kr./togkm, jf. afsnit 2.3.5.

Tabel 37 Ekstra driftsomkostninger inklusiv afskrivning ved fordoblet frekvens

	kr. / km	km / dag	Omkostninger mio. kr. / dag
<b>Hele landet</b>			
Bus	12	790.000	9,5
Tog	55	160.000	8,8
Omkostninger pr dag			18,3
<b>Hovedstaden</b>			
Bus	12	200.000	2,4
Tog	65	50.000	3,3
Omkostninger pr dag			5,7

#### Driftsomkostninger og takster

Trafikanternes marginale driftsomkostning er i modellen ansat til mellem 23 øre pr km for cyklister og 84 øre pr bilfører, jf. tabel 38. Den kollektive driftsomkostning for trafikanterne, dvs. bustaksterne er 81 øre i modellens basisberegning, der er de rejser trafikanterne faktisk rejser. Når man går fra estimeringsfasen i modelarbejdet til selve modelanalyserne bliver busomkostningen lavere, 74 øre pr km, fordi den gennemsnitlige rejselængde i modellen øges. Med hensyn til det modeltekniske heri henvises til Rich & Christensen (2001).

Tabel 38 Gennemsnitlige marginale driftsomkostninger for de 4 Hovedtransportformer i ALTRANS. De gennemsnitlige omkostninger for hele landet er vist for de faktiske rejser i basisberegningen samt for en modelberegning. Omkostningerne er yderligere vist for modelberegningen for forskellige byklasser.

	Kollektiv Kr. / km	Cykel Kr. / km	Bilfører Kr. / km	Bilpassager Kr. / km
Alle, basis	0,81	0,24	0,85	0,61
Alle, model	0,74	0,24	0,85	0,61
Centralkommuner	0,87	0,23	0,85	0,61
Forstæder	0,76	0,24	0,85	0,61
Byer > 70.000 indb	0,83	0,24	0,85	0,61
By 10-65.000 indb	0,60	0,24	0,85	0,61
By 2-10.000 indb	0,72	0,24	0,85	0,61
Land, småby	0,70	0,23	0,85	0,61

Den ringe forskel i den marginale omkostning ved at køre i bil som fører og med kollektiv trafik understreger, hvorfor overflytningsmulighederne mellem bil og kollektiv trafik er så ringe, også selv om rejsetiderne forbedres væsentlig. Kun i København er rejsetiderne

med kollektiv trafik acceptable i forhold til rejsetiden med bil. Taksten pr km er højere i København og de store provinsbyer end i det øvrige land. Det skyldes antagelig, at mange korte rejser udføres med bus, hvorved minimumstaksten fører til en høj km pris.

Når serviceniveauet øges, udnytter trafikanterne det til at rejse længere. Herved bliver taksten pr. km mindre, eksempelvis falder den til 63-64 øre pr km i de 2 scenarier med fordoblet frekvens og 67 øre pr km i scenariet med hastighedsforøgelse.

Samlet kan frekvensforbedringen derfor ikke betale sig driftsøkonomisk, jf. tabel 39 sammenholdt med tabel 37. I og med at transportarbejdet i modellen med fordoblet frekvens og reduceret køretid fører til mere end en fordobling af trafikarbejdet, skulle den ekstra trafik kunne afvikles med lavere tilskud pr km. Afstandsrabatten fører imidlertid til, at kunderne kun betaler 2/3 af de ekstra omkostninger.

Tabel 39 Ekstra takstindtægter fra 16-74 årige i 3 scenarier, mio. kr.

	Dobbelt frekvens	25% kortere tid	Dobbelt frekvens + 10% kortere tid
Hele landet	9,05	7,44	12,70
Hovedstaden	3,62	2,18	4,91

Øget hastighed giver i herværende beregning overskud, men da forøgelse af hastigheden i nogle sammenhænge koster investeringer i form af busbaner, signalprioritering, nye tog med hurtigere accelerationsevne osv., kan de ekstra billetindtægter ikke tages direkte som overskud. Imidlertid er der et betydeligt driftsoverskud til at dække nødvendige investeringer. I Hovedstaden er der tættere på balance i det kombinerede scenario.

#### 5.4.2 Samfundsøkonomisk beregning

Serviceforbedring vil skabe øget velfærd, idet kollektivbrugerne vil få kortere rejsetid. Modelanalyserne viser, at kollektiv trafikanterne udnytter denne tidsgevinst til at øge deres rejseafstand, fordi de derved får adgang til flere attraktive rejsemål inden for en rimelig rejsetid. De øger endda selve rejsetiden, og omsætter altså noget af den reducerede skjulte ventetid til øget rejsetid. Også de samlede omkostninger øges. Disse øgede tids- og driftsomkostninger er et udtryk for velfærdsgevinst. Beregning af værdien heraf er forholdsvis kompliceret, og vi skal ikke bevæge os yderligere ind herpå.

### 5.5 Konklusion

På baggrund af analyserne kan det konkluderes, at det ikke er muligt gennem en generel frekvensforbedring i den kollektive trafik at gøre denne tilstrækkelig attraktiv for bilister til at flytte dem over i busser og tog i en sådan grad, at der opnås en miljømæssig eller driftsøkonomisk gevinst. Der er to årsager hertil. For det første fører generel frekvensforbedring kun til en relativ beskeden rejsetidsforbedring i forhold til den nødvendige indsats af ekstra kilometer. For det andet er bilisters lyst til frivilligt at skifte transportmiddel meget beskeden.

Hastighedsforbedring vil derimod være miljømæssigt fordelagtig, hvis den kan gennemføres uden samtidig at nedsætte bilernes hastighed.

Såvel frekvens- som hastighedsforbedring øger kollektivbrugernes mobilitet, så de rejser længere. Herved skabes større lighed mellem bilister og kollektiv brugere.

Hvis man kombinerer hastigheds- og frekvensforbedringer er det muligt at forbedre den kollektive trafik på en CO<sub>2</sub> neutral måde, og dermed skabe en mobilitetsforbedring for kollektiv trafikanterne uden at det fører til ekstra miljøbelastning. Det forudsætter imidlertid, at merkørslen med kollektiv trafik gennemføres med mindre køretøjer end de hidtidige, så den ekstra kapacitet tilpasses efterspørgslen. En trafikplanlægning, hvor den ekstra trafik indsættes, så den specielt fremmer koordinering mellem forskellige ruter, mellem bus og tog og mellem regional- og lokalruter vil være af væsentlig betydning.

Driftsøkonomisk vil en sådan indsats normalt koste ekstra, dels fordi takststrukturerne betyder at de kollektive kunders merkørsel ikke giver så store merindtægter som det hidtidige transportarbejde, og dels fordi tilpasning af køretøjernes passagerkapacitet til efterspørgslen specielt for bustrafikken kan være dyr på grund af behov for dobbelt bushold og udskiftning af busserne over dagen og mellem ruter.

## 6 ALTRANS-modellens kvalitet

I denne rapport er redegjort for en model, der skal kunne anvendes til at belyse transportudvikling, transportmiddelfordeling og bilejerskab for persontrafikken fremover for dels en upåvirket udvikling og dels som konsekvens af nogle scenarier, der rent teknisk introduceres som ændringer i modellens forudsætninger.

I dette kapitel skal belyses modellens kvalitet og dens fortrin og mangler. Det skal bl.a. diskuteres, hvor sikker eller usikker dens forudsigelser om udviklingen er, og hvilke ændringer eller scenarier det er meningsfyldt at beregne. Der indledes med en kort introduktion til forskellige modeltypers styrker og svagheder.

### 6.1 Forskellige modeltypers kvalitet

#### 6.1.1 Zonebaserede og individbaserede modeller

Den traditionelle form for trafikmodel, der har været anvendt siden 1950'erne er den såkaldte fire trins model, der er en aggregeret model baseret på makrodata. De 4 trin er

1. Turgenerering og turattraktion på zoneniveau
2. Fordeling af turene mellem zonerne
3. Fordeling af turene på transportmidler
4. Fordeling af rejserne på netværk

Sådanne modeller er baseret på, at alle personer i en zone modelleres som gennemsnit, dvs. de rejser lige ofte. Deres rejser fordeles ud på rejsemål afhængig af hvor mange rejser, der modtages i hver af de øvrige zoner samt en fordeling på rejseafstande. Denne fordeling er ens for alle zoner. Ved fastlæggelse af turgenereringen og fordelingen på mål tages der således ikke hensyn til individuelle forskelle mellem personerne ud over de forskelle, der som gennemsnit er mellem de forskellige zoner.

Modeller af denne type har vist sig velegnede til at belyse trafikens fordeling på vejnettet bl.a. som konsekvens af ændringer i infrastrukturen. Derimod er de, fordi de er baseret på gennemsnitsadfærd på zoneniveau, dårligt egnede til at opfange effekten af politiske ændringer som afgiftsændringer og ændringer i rejsevilkår over tid.

Typisk vil de enkelte individer nemlig reagere forskelligt på ændrede rejsetider i bil og med kollektiv trafik eller på ændringer i afgifter. Hvis alle personer i en zone er ens, men forskellige fra personerne i en anden zone, ville en 4 trins model kunne modellere politiske ændringer rimelig korrekt. Dette er imidlertid ikke tilfældet. Der vil inden for en zone altid være variation over parametre som indkomst, husstandstype, antal børn osv. og ikke mindst vil der være forskel på rejsemålene. Alle disse forhold vil have indflydelse på reaktionerne på en ændring i rejsetider og -omkostninger og vil dermed skabe forskelle i hvor meget folk i de enkelte zoner ændrer adfærd.

For at råde bod på de manglende muligheder i 4 trins modellerne for at tage højde for ændringer i rejsevilkårene er der i de seneste ti år arbejdet med udvikling af nye modeltyper, der er baseret på diskrete valg på individniveau.

Da formålet med ALTRANS ikke har været at belyse effekten af infrastrukturændringer, men derimod af ændringer i rejsevilkår som rejsetider og generelle rejseomkostninger, samt evt. af ændringer i lokaliseringen, har det været naturligt ved valg af modeltype at udnytte de muligheder, der ligger i diskrete valgmodeller baseret på individdata.

### 6.1.2 ALTRANS som individbaseret model

Styrken i ALTRANS-modellen er således, at den bygger på modellering af individbaserede data og ikke på aggregerede zonebaserede data.

*Idegrundlag bag  
individbaserede modeller*

En individbaseret model, der matematisk set er opbygget ved hjælp af diskrete valgmodeller, er dog ikke individbaseret på den måde, at man kan forudsige, hvordan hr. Hansen og fru Jensen vil reagere. I grundprincippet er det fortsat en model, der bygger på gennemsnit og fordelinger. Men gennemsnittet gælder ikke nogle grove zoner, men en lang række sammenhænge mellem socioøkonomiske forhold og de forhold, som ønskes belyst med modellen, i dette tilfælde primært rejsevilkår.

Ideen i modeltypen er yderligere, at man fastlægger (estimerer) en aktuel adfærd på grundlag af de givne data, dvs. at den faktiske rejseadfærd fastlægges ud fra dennes afhængighed af individernes socioøkonomiske baggrund og de kendte rejsevilkår. Herefter ændres de ydre rejsevilkår i overensstemmelse med de ændringer i politikvariablene, som man ønsker at belyse. Med disse nye forudsætninger beregnes en ny adfærd. Modeltypen forudsætter derfor, at de politikker man ønsker at belyse, indgår i selve modellens struktur. Hvis fx. rejseomkostningen for rejser med kollektiv trafik ikke indgår i modellens parametre, kan modellen ikke belyse effekten af ændret billetpris. Og yderligere, hvis denne billetpris kun er groft kendt, fx. som gennemsnitspriser, kan modellen ikke belyse ændringer over geografiske områder eller i strukturen i billetpriser.

Dette fører til to karakteristika ved modeltypen. For det første er det meget vigtigt, at de forhold, som modellen skal belyse, indgår i konstruktionen. For det andet er det karakteristisk, at det er marginale ændringer, der belyses med modellen. Det er ikke så afgørende, at det absolutte niveau for transportarbejde og transportmiddelfordeling er korrekt, blot ændringerne i forhold til udgangssituationen er det.

*ALTRANS's opbygning*

Overordnet består ALTRANS af 3 delmodeller, en model for valg af destinationer og transportmidler, en model for udviklingen i antallet af biler i bilparken samt en model for sammensætningen i bilparken. Kun de 2 første af disse modeller er individbaserede diskrete valgmodeller, mens den sidste er en kombination af forskellige makroøkonomiske modeller.



### *Modal split modellen*

Valget af en individbaseret diskret valgmodel til modal split modellen er det helt afgørende i modelvalget. Det var ønsket i selve modeludviklingen at kunne belyse betydningen af rejsetider med kollektiv trafik for valg af transportmiddel. Heraf følger, at modellen skal være opbygget omkring data, der viser rejsetider for den konkrete rejse. Det er i modellen også valgt at lade muligheden af, at modelpersonerne ændrer rejseafstand indgå, når deres rejsevilkår ændres. Dette er dels en forudsætning for at kunne belyse effekten af ændringer i rejseomkostninger og dels en forventet effekt af ændrede rejsetider. Konkret er dette modelleret i modellen ved at personerne vælger deres rejsezone.

### *Bilejerskabsmodellen*

Bilejerskab blev inddraget i modelkomplekset af flere grunde. For det første er der en tæt sammenhæng mellem rejseaktivitet og valg af transportmiddel på den ene side og bilejerskab på den anden. Det blev derfor antaget, at det ville have betydning for effekten af scenarierne, at politikvariablene også påvirkede selve bilejerskabet. For det andet var det væsentligt for scenarieanalyserne, at de belyste en fremtidig situation, dels fordi politikkerne ikke kan gennemføres over kort tid, og dels fordi deres effekt på den fremtidige situation også er vigtig i miljømæssig sammenhæng. Endelig opstod der et ønske om at anvende modellen til belysning af bæredygtig udvikling, og her er et fremtidsscenario det eneste relevante.

### *Modellen for bilparkens sammensætning og emissioner*

Ved analyserne af den miljømæssige effekt af ændret transportadfærd i et fremtidsår, er det meget væsentligt at tage højde for den miljøeffekt, der automatisk kommer af den løbende udskiftning af bilparken med de miljøkrav, der stilles til nye biler. Det var derfor nødvendigt at konstruere en model for bilparkens sammensætning afhængig af bilparkens samlede størrelse. Denne model består dels af en model for skrotning af gamle biler og dels af en model for tilgangen af nye biler. S sammensætningen i skrotningerne antages stort set at være uafhængige af socioøkonomiske forhold, fordi bilerne blot handles eller gives videre til andre indtil de af tekniske årsager ikke længere kan bevares i bilparken på et rimeligt økonomisk grundlag. Skrotningsmodellen er derfor en makroøkonomisk model. Tilgangen til bilparken af forskellige bilmærker afhænger derimod af socioøkonomiske forhold hos køberen og af dennes forventede brug af bilen. Derfor ville en diskret valgmodel være oplagt. En sådan er da også udviklet på danske forhold (COWI, 1995b). Imidlertid er her valgt at benytte en simpel fremskrivning af tilgangen til bilparken, så denne som gennemsnit er sammensat som tilgangen i 1998. Da der klart er tale om et forenklet modelkoncept, skal denne modeldel ikke behandles yderligere i det følgende.

## **6.2 Styrker og svagheder i ALTRANS**

Der er tre veje til belysning af en models kvalitet, som må benyttes parallelt. Den ene er en analyse af modellens idegrundlag og opbygning. Den anden er en analyse af de resultater modellen genererer, når den anvendes på diverse data og forudsætninger, fx. sammenligning med en kendt udvikling eller resultatet fra andre undersøgelser. Den tredje tilgang er en analyse af en række statistiske tests.

Med analysen af modellen kan man belyse, om den strukturelt og rent logisk går i den rigtige retning, hvor meget den overhovedet kan belyse, samt hvor langt ud i fremtiden den evt. kan benyttes. De matematiske tests og øvrige udtryk kan belyse, om modellen ud fra de givne strukturelle forudsætninger fungerer korrekt, om resultaterne er logiske samt om der er indre konsistens i modellen.

I dette afsnit koncentrerer diskussionen omkring analysen. Herudover refereres til de matematiske tests og data- og modelanalyser, der er gennemført i baggrundsrapporterne Rich & Christensen, 2001 og Christensen, 2000a. Afslutningsvis opsamles diskussionerne i en konklusion på modellens kvalitet.

Inden de konkrete styrker og svagheder i ALTRANS kan belyses, opstilles en oversigt over, hvad der er afgørende at tage i betragtning, når kvaliteten af en model skal belyses. Der opstilles til dette formål en liste med 9 emner fordelt på 4 hovedproblemstillinger.

### 6.2.1 Systematisering af forudsætninger og usikkerheder

En model hviler på en række forudsætninger og modelantagelser, som kan skabe en mere eller mindre god model. Hvor god modellen er, og hvor langt ud i fremtiden den kan forudsige eller blot belyse udviklingen, kan man ud fra erfaring og intuition have en mening om, men ikke sige noget præcist om.

En model vil aldrig være en fuldstændig beskrivelse af virkeligheden, men nærmere et forsøg på at analysere nogle mere eller mindre komplekse sammenhænge. Det er derfor vigtigt at modellen er præcis for de forhold, den skal anvendes på, hvorimod de forhold, der ikke umiddelbart er i fokus, er mindre vigtige.

Modeller baseres dels på antagelser og dels på teoretiske sammenhænge. Det er vigtigt, at antagelserne er velbegrundede og virker fornuftige. De teoretiske sammenhænge gør det muligt at fortolke resultaterne ved hjælp af teorien, hvorfor det er vigtigt, at teorien er velargumenteret og efterprøves i modellen.

En models begrænsninger kan konkretiseres i nogle punkter, der bevæger sig fra det overordnede og strukturelle i metoden til de mere konkrete fejl og usikkerheder, der har basis i metodikken.

#### *Adfærdsmæssige grundlag*

1. En adfærdsmodel er opbygget til at efterligne folks faktiske adfærd. Jo bedre modellen afspejler den måde, hvorpå folks adfærd opstår og forandres, des bedre er modellen. De adfærdsbetingende forhold, der ikke er med i modelopbygningen, kan modellen ikke forudsige noget om. Og hvis modellen er opbygget på en forkert antagelse om adfærden, dvs. at den ikke efterligner folks tankegang/adfærdsmønstre, bliver dens resultater forkerte.

#### *Økonomiske og modeltekniske forudsætninger*

2. En adfærdsmodel gælder kun så længe folks adfærd og prioriteringer af deres nytte svarer til den adfærd og nytte, modellen bygger på. Således skal folk, når de er i en bestemt situation, som gennemsnit fortsætte med at vælge handling a frem for handling b med samme sandsynlighed. Hvis folk i gennemsnit begynder at

ændre adfærd i en given situation, er modellens forudsætninger faldet til jorden.

3. En adfærdsmodel forudsætter ikke - som nogen forventer en - rationel adfærd. Modellen bygger på, at folks adfærd er givet af den nytte, de får af adfærden, at de selv er i stand til at vurdere deres nytte, samt at de handler så de maksimerer deres nytte. Nytte kan bl.a. omfatte økonomiske, tidsmæssige og holdningsmæssige forhold. Manglende rationalitet i forhold til nyttemaksimeringen tages der højde for i et stokastisk fejllid, der opfanger tilfældig variation.
4. Modellen skal bygge på de parametre og data, der udtrykker de forhold, der indgår i folks valg for at nytteoptimere. Forhold, der ikke er inddraget i modellen må kun variere tilfældigt og må ikke på nogen systematisk måde påvirke valget af adfærd. Specielt må disse forhold ikke være korreleret med hverken personernes socioøkonomiske baggrund eller med de forudsætninger, der i modellen ligger til grund for deres adfærdsvalg.
5. Modelopbygningen forudsætter, at folk har indsigt i konsekvenserne af deres handlinger. Med ringe viden herom er de ikke i stand til at optimere deres adfærd, som de ville gøre, hvis de havde fuld information. De vil dermed i mindre grad handle i overensstemmelse med modelbyggerens forventninger, som bygger på fuld viden om konsekvenserne af de forhold, der er indbygget i modellen.
6. Manglende information om konsekvenserne og andre forhold, der ikke modelleres i modellen opfanges i fejllid, men jo mere adfærd, der overlades til fejllid, des mere usikker er modellen. Specielt er det et problem hvis de forskellige bidrag til fejllid er indbyrdes korrelerede eller korrelerede med de socioøkonomiske data, jf. punkt 4.
7. For at kunne lave en matematisk model, gøres yderligere nogle forudsætninger eller tilpasninger af adfærden og nytten. Selve denne matematik og dens gennemregning/estimering introducerer en række forenklinger. Under estimeringen af de matematiske udtryk opstilles yderligere nogle forudsætninger, der typisk tilpasser modellens resultater til forventningerne om en logisk eller rationel adfærd for folk i gennemsnit.
8. Modellen reproducerer fejl i data og model, herunder i interviewsvar og informationer om de interviewede. Hvor sådanne fejl er væsentlige i sammenligning med variationen i den adfærd, modellen skal belyse, gør det modellen usikker eller uanvendelig til belysning af disse spørgsmål. En økonomisk model, eller for den sags skyld enhver anden model, er aldrig bedre eller sikrere end de data, den bygger på.
9. Modellen bygger på et datasæt, der ikke nødvendigvis er repræsentativt for alle mennesker. Modellens data er opregnet til den samlede befolkning ud fra nogle socioøkonomiske forudsætninger. Hvis bortfaldet ikke er dækket af de variable, der anvendes i

*Matematiske  
forudsætninger*

*Datamæssige  
forudsætninger*

opskrivningen, men er systematisk anderledes end det, den anvendte opskrivning er beregnet på, introduceres en yderligere fejl.

### 6.2.2 Modellens adfærdsmæssige idegrundlag, punkt 1

Forud for en dags rejseaktiviteter går en række mere eller mindre eksplicitte beslutninger hos det enkelte individ: Hvilke aktiviteter skal gennemføres den aktuelle dag, om overhovedet nogen? Hvordan skal de evt. kombineres, skal der fx. afleveres eller hentes børn på vej til eller fra arbejde? Hvor skal aktiviteterne foregå, skal der fx. handles på vej fra arbejde i et indkøbscenter eller i en nærbutik tæt ved hjemmet? Hvilke transportmidler skal anvendes?

#### *Antal rejser og rejseformål*

Denne samlede kæde af beslutninger skal inddrages i en model, hvis den skal være dækkende for folks faktiske adfærd. Endnu inddrager kun få persontrafikmodeller hele beslutningskæden i en model. COWI valgte ved konstruktionen af persontrafikmodellen PETRA (COWI, 1998), at modellere såvel rejseformålet som kombinationen af formål i modellen. Der er således konstrueret en nested logitmodel, hvori personen vælger mellem forskellige 'dagsprogrammer'. Et dagsprogram kan bestå af et vist antal kombinationer af turkæder. Og en turkæde kan sammensættes af et vist antal forskellige turformål.

Da der findes et stort antal turformål og langt større antal kombinationer af formål ville valgsættet blive enormt stort og vanskeligt at behandle, hvis alle skulle med. I PETRA er det derfor valgt at begrænse antallet af formål og de mulige kombinationer. Resultatet af disse begrænsninger blev, at PETRA kun reproducerer i størrelsesorden 75% af den i TU konstaterede trafik. Det ville derfor være nødvendigt at nytænke formålssammensætningerne i forhold til de i PETRA valgte, og opbygge et valgsæt, der dækker en større del af trafikken. Ved konstruktionen af ALTRANS var det primære formål at arbejde med transportmiddelvalg. Det blev derfor besluttet ikke at gennemføre den komplicerede modellering af rejseformål og disses kombination.

I ALTRANS er rejsernes formål derfor eksogent bestemt, og vil altså ikke blive ændret over tid. Til gengæld har det givet mulighed for at regne på en mere detaljeret formålssammensætning og mulighed for at kombinere attraktioner bedre med rejsens formål, end det ville være muligt i en model, hvor der skulle vælges mellem formålssammensætninger. Uden et formålsvalg har det været vanskeligt at inddrage et valg imellem at rejse eller ikke at rejse og er derfor opgivet.

Konsekvensen af ikke at modellere rejseformål, kombinationer af formål og rejsefrekvens og derigennem muligheden for omstrukturering i turkædesammensætning er, at ALTRANS bliver en kortsigtsmodel. Yderligere kan den ikke tage højde for konsekvensen af mere radikale ændringer i kollektiv trafikforsyning eller rejseomkostninger, der antagelig vil påvirke folks rejsemønstre og ikke kun deres rejseafstand.

Desværre påvises det ikke i COWI, 1998 og den øvrige dokumentation af PETRA, hvor stor effekt modelleringen af rejseformålene har på

transportarbejdet. I Christensen, 2002, er det påvist, at der i Hovedstadsregionen og især i København er en anden turkædesammensætning end i det øvrige land. Overraskende er det imidlertid, at der ikke på landet er større grad af formålskombinationer end i fx. provinsbyerne. Konklusionen i denne rapport er derfor, at en tættere lokalisering af en lang række servicefunktioner i Hovedstaden, så anvendelsen af disse 'på vejen' bliver mere simple, fører til større grad af formålskombinationer. Det er således tilsyneladende de eksogent givne formålattraktioner, der primært bestemmer formålskombinationer frem for behovet ud fra tid og omkostninger. Det tyder derfor på, at en endogen bestemmelse af formål og formålskombinationer ikke bidrager radikalt til modellens resultater. På den anden side kombinerer kollektiv trafikanter oftere end individuelle trafikanter, hvilket indikerer et behov for at kunne bestemme formålskombinationer i samspil med transportmiddelvalget. Det kræver derfor grundige analyser, hvis der skal drages endelige konklusioner omkring betydningen af ikke at inddrage formålskombinationer.

#### *Transportmiddelvalg og destinationsvalg*

Ved modelleringen af valg af transportmiddel og af destinationer benyttes i ALTRANS en nested struktur, der må antages at afspejle folks beslutningsstruktur. Der er eksperimenteret med hvilken af de to beslutninger, der skal ligge på øverste niveau, dvs. hvad der vælges først. Nogle resultater indikerer det ene valg, mens andre indikerer det modsatte, så her har man måttet vælge (Rich og Christensen, 2001). Der er således i begge tilfælde tale om en vis afvigelse mellem adfærd og model.

Styrken i modellen er, at den baseres på turkæder frem for de enkelte ture. Mange modeller, der benytter en individbaseret valgmodel til at bestemme transportmiddelvalg, er kun baseret på valg af transportmiddel på de enkelte dele af en turkæde (Jocivic, 2001). Turbaserede modeller introducerer en fejl i og med at transportmidlet på en hjemtur hænger nøje sammen med transportmidlet på udturen, fx. hjælper det ikke, at den kollektive trafikforsyning er god på udturen, hvis det er umuligt at komme hjem med kollektiv trafik.

#### *Bilejerskabsmodellen*

I adfærdsmodellen bestemmes bilparkens størrelse i sin egen delmodel, der er efterstillet modal-splitmodellen.

I modellen bestemmes sandsynligheden for at en familie har bil - og i givet fald hvor mange - ud fra familiens økonomiske formåen, hvorvidt de enkelte husstandsmedlemmer kan køre bil, dvs. har kørekort, og dens behov for bil, dvs. hvor meget de ville køre i bilen/bilerne bestemt af modellen for destinations- og transportmiddelvalg. I modellen tages der specielt hensyn til, at kørekorthold udvikles over tid.

Som mikromodel er modellen fornuftigt tænkt og sandsynligvis i overensstemmelse med den enkelte families adfærd.

På makroniveau har modellen imidlertid nogle svagheder. Resultatet af alle de enkelte familiers bilejerskab på mikroniveau, bliver på makroniveau til en samlet bilpark, når familierne opskrives til hele befolkningen. Imidlertid påvirkes bilparkens samlede størrelse ikke af kortsigtede fluktuationer i behovet for bil, fordi bilerne fortsat vil

være i bilparken. De forsvinder først, når de skrottes af tekniske grunde. På ganske kort sigt tilpasses bilparken ganske vist til efterspørgslen ved at uønskede biler ophobes hos bilforhandlerne, men efter kort tid vil brugte bilers pris tilpasse sig efterspørgslen. Herved fastholdes bilparkens størrelse, mens modellens prisforudsætninger skulle ændres.

På lidt længere sigt kan bilparken dog tilpasse sig efterhånden som gamle biler skrottes, og der tilkommer færre nye biler. Samtidig vil prisstrukturen på brugte biler efterhånden genoprettes.

På længere sigt vil modellen derfor være korrekt. Dette giver imidlertid et problem i forhold til den del af adfærdsmodellen, der bestemmer transportarbejdets størrelse, fordi dette primært er bestemt på kort sigt. Forudsætningen for at bilejerskabsmodellen og modellen for transportarbejde og transportmiddelfordeling kan fungere optimalt sammen er dermed, at de begge er korrekte på lidt længere sigt.

### **6.2.3 Modellens økonomiske og modeltekniske grundlag, punkt 2-5**

Modellen er en økonomisk model og er derfor opbygget på grundlag af data om omkostninger, rejsetider og attraktioner.

#### *Transportmiddelvalg*

I spørgsmålet om transportmiddelvalg melder sig imidlertid spørgsmålet, om hvorvidt andre forhold har betydning. Specielt vil nogen pege på spørgsmålet om holdninger. I Jensen (1997b) og i Rich (1999) påvises det, at bl.a. transportmiddelvalg er stærkt afhængig af holdninger. I Rich (1998) påvises det således, at halvdelen af forklaringen på, hvor meget bilejere bruger deres bil, er begrundet i holdningsmæssige forhold. Det kan derfor være uheldigt, at holdninger ikke indgår i de forudsætninger, modellen opbygges på.

Eksempelvis forudsættes det i modellen, at ved en tilstrækkelig lav pris på kollektiv trafik og en tilstrækkelig god rejsetid, vil man altid kunne få flere til at skifte til kollektiv trafik.

Modellen er opbygget på grundlag af en gennemsnitlig rejseadfærd for alle, som varierer ud fra socioøkonomiske baggrundsdata. Modellen tager ikke højde for, at der kan være en stor gruppe af trafikanter, der slet ikke er til at flytte over i kollektiv trafik uanset hvor god den kollektive trafik er. Til gengæld kan en anden gruppe være ret lette at påvirke. Denne forskel bliver opsamlet i modellens restled som en tilfældig variation. Hvis forandringerne i rejsetider og omkostninger er relativt beskedne, vil modellen vise nogle rigtige resultater. Hvis forandringerne derimod bliver store kan modellen måske komme til at vise et større forandringspotentiale end der virkelig er. Det kunne derfor være relevant at forsøge at adskille de to grupper – hvis de overhovedet eksisterer som sådanne to grupper - og for hver tage hensyn til både deres basale holdning og deres økonomiske og tidsmæssige påvirkelighed.

Inddragelse af holdninger kunne være særlig relevant, hvis der over tid sker et holdningsskift på grund af fx. større bevidsthed om kollektiv trafiks fordele eller ulemper. I så fald vil den aktuelle model

ikke kunne tage højde for ændringerne, fordi folk vil ændre adfærd uden at tider og priser overhovedet har ændret sig. En introduktion af holdninger i modelgrundlaget vil imidlertid kun være relevant, hvis man har kendskab til effekten af at påvirke holdninger.

I forhold til den valgte problematik omkring mulighederne for at ændre transportmiddelvalg ved at ændre den kollektive trafiks service, er spørgsmålet om ændring i holdninger ikke relevant, og derfor ikke i sig selv noget der skulle indføres i modellen. Men det kunne være relevant at undersøge, om det ville forbedre modellen, hvis man i estimeringen kunne inddrage en holdningsmæssig variabel ud over de socioøkonomiske variable for derved at tage højde for eventuelle begrænsninger i folks vilje til at skifte transportmiddel. Sammenholdt med de model- og datamæssige problemer, vi skal beskrive nedenfor, betyder holdninger dog mindre.

### *Destinationsvalg og lokaliseringsstruktur*

I modellen er destinationsvalget bestemt af antal attraktioner i en zone. Dette antal er eksogent fastlagt. Over tid ændrer antallet af funktioner i en zone sig imidlertid. Og ændringerne er i en vis udstrækning afhængige af, hvor mange der kan rejse til en funktion og hvordan. Nogle brancher som detailhandel er således meget styret af tilgængelighed for kunderne, mens andre som fx. fremstillingserhverv i langt mindre grad lader sig styre lokalisingsmæssigt af tilgængelighed for persontrafik. Hvis modellen skal anvendes over en længere periode, er det en forudsætning, at den kombineres med en model eller prognose for udviklingen i lokaliseringen. Hvis ikke dette sker, må modellen under alle omstændigheder betragtes som en kortsigtsmodel.

Imidlertid er modellen heller ikke en ren kortsigtsmodel, fordi mange af folks aktiviteter er geografisk bundet for en periode. Modellen forudsætter imidlertid, at folk frit kan vælge rejsemål ud fra attraktioner, rejsetider og omkostninger. Nogle rejsemål er ganske vist let påvirkelige, så som indkøb og en del fritidsaktiviteter, mens andre som arbejdsplads og uddannelsessted ikke ændrer sig fra dag til anden, fordi det pludselig bliver billigere eller lettere at nå frem til andre mål. På længere sigt påvirker det naturligvis folks valg af arbejdspladslokalisering. Hvis det er meget tidskrævende og dyrt at nå til en arbejdsplads, vil folk efterhånden søge at skifte arbejde, og søgeområde vil afhænge af, hvor det er lettest at komme frem. Derimod kan besøgsfrekvensen til et rejsemål påvirkes af tilgængeligheden. Således er det ugentlige antal ture til en arbejdsplads som gennemsnit påvirket af dennes lokalisering i forhold til hjemmet (Christensen 2002). Også besøgsrejser, der er det vigtigste fritidsrejseformål, er påvirket af hvor besværligt det er at komme frem. Her viser det sig imidlertid, at folk ændrer deres samkvem med personer, der bor langt væk til fordel for de mere nære bekendte (Nielsen, 2002).

Hvis man ser på modellens resultater på et vist sigt, hvor der er indtrådt en ny gennemsnitstilstand efter en forandring, er ideen i attraktioner som grundlag antagelig ganske god. Det største problem samler sig om arbejdspladserne, fordi tilpasningen til disses tilgængelighed antagelig er af samme størrelsesorden som det tidsrum, hvor modellens forudsætninger i øvrigt ændrer sig.

Spørgsmålet om lokalisering og destinationsvalg er taget op i et ph.d. projekt (Rich, 2001).

### *Rejsetidspunkt og hastigheder*

I ALTRANS er rejsetidspunktet eksogent bestemt. Når der bliver kapacitetsproblemer på vejnettet og i det kollektive trafiksystem vil nogle trafikanter indrette deres rejsetidspunkt efter, hvor glidende trafikken afvikles og om der er mulighed for at få siddeplads i tog eller bus. I ALTRANS inddrages imidlertid ikke kapacitetsbestemte hastigheder på vejnettet eller komfortvariable i tog/bus. Der er således kun meget få mekanismer i selve modellen, der kunne anvendes til at bestemme tidspunktet.

Ved modellens bestemmelse af rejsetiden med kollektive trafik beregnes denne som gennemsnit over den aktuelle time og den derved beregnede ventetid anvendes som et udtryk for, at den rejsende må indrette sin rejsetid efter køreplanen. Specielt for den kollektive trafik tages der således et vist hensyn til tilpasningen af rejsetider.

På lange rejser, der ikke medtages i modellen, kunne det være relevant at inddrage en længere periodes køreplaner i valgmodellen. Ligeledes er det et - omend mindre - problem, at der kun opereres med en times interval for beregningen af den kollektive trafiks rejsetider, hvis der omkring rejsetidspunktet er 1-2 timer mellem 2 afgangene.

### *Manglende kendskab til rejsetider*

I ALTRANS beregnes, hvor lang rejsetiden vil være, hvis trafikanten benytter forskellige transportmidler, og herudfra beregnes sandsynligheden for et bestemt valg. Men mange trafikanter kender slet ikke rejsetiden med kollektiv trafik og træffer derfor deres beslutning ud fra manglende viden om denne rejsetid.

Der er tale om flere former for manglende eller forkert viden. Nogle personer, der rent faktisk overvejer at bruge bussen, kender ikke fartplanen og vælger derfor en forkert rute, som fører til længere rejsetid end nødvendigt eller vælger et andet mål end det optimale. Nogle kender en rejsetid, men det er ikke den hurtigste rute, hvorfor de ikke har valgt kollektiv trafik i samme grad som de havde gjort, hvis de havde haft korrekt information. Endelig vælger nogle personer bil, fordi de bilder sig ind, at de kender rejsetiden, som de betragter som uacceptabel. Undersøgelser har således vist, at bilister har en tilbøjelighed til at overvurdere rejsetiden med den kollektive trafik, de ikke benytter (Brög, diverse rapporter). En del af disse personer ville – som ovenfor beskrevet – under ingen omstændigheder have benyttet kollektiv trafik, så her har deres opfattelse i praksis ingen relevans. Men hvis de rent faktisk ville have overvejet at bruge kollektiv trafik, hvis de havde kendt den rigtige tid, fører det til en fejl i modellen.

Endelig er det et problem i modellen, at der regnes med de køreplanlagte rejsetider. Trafikanterne har i praksis en viden eller erfaring, som modellen ikke tager højde for, nemlig at tog og busser somme tider er forsinkede eller kører for tidligt. Dette bevirker, at rejsetiden forlænges, og at skift ikke altid kan lade sig gøre i virkelighedens verden og derfor medvirker til at forlænge rejsetiden eller umuliggør rejsen. Det ved folk, og det påvirker i høj grad deres valg



af transportmiddel. I modellen fører det imidlertid blot til en lavere sandsynlighed for valg af kollektiv trafik, som kun giver sig udslag i fejl, hvis nogle typer rejser er mere påvirket end andre.

Alle disse usikkerheder omkring den manglende viden omkring kollektiv trafik indikerer, at denne estimeres usikkert i modellen, dvs. den ikke fuldt ud danner grundlag for de virkelige valg.

#### 6.2.4 Modellens matematiske og datamæssige grundlag, punkt 6-9

Som nævnt i punkt 7 i afsnit 6.2.1 sker der en række forenklinger ved omsætning af antagelserne om adfærden til den matematiske model. Disse kan ikke vurderes logisk på samme måde som de adfærdsmæssige forudsætninger ovenfor. I stedet er gennemført en egentlig modelafprøvning.

I dette afsnit opregnes nogle kendte fejlkilder, der har været nødvendige at introducere i modelopbygningen. I næste afsnit præsenteres derefter et resume af de modeltests der er beskrevet i de enkelte rapporter.

*Metodemæssige begrænsninger*

En væsentlig begrænsning i den anvendte modeltype ligger i begrænsninger i de mulige valg. Når der i en delmodel skal vælges mellem både transportmiddel og destination, må der foretages en begrænsning i de mulige valg. Denne begrænsning skyldes dels antallet af observationer i TU, som estimeringen skal bygge på, og dels de tekniske begrænsninger i det anvendte EDB program (Limdep). Begrænsningen består i, at en turkæde kun kan indeholde 3 ture, at der kun kan vælges mellem 9 destinationer (18 hvis kæden indeholder 3 ture), samt at der kun kan vælges mellem 4 transportmidler.

Ved fastlæggelse af begrænsningerne er der naturligvis lagt vægt på at udvælge de mest almindelige aktiviteter, så de udelukkede eller undertrykte muligheder er relativt sjældne.

*Metoden i destinationsbestemmelse*

Begrænsningen til 3 ture betragtes eksempelvis som acceptabelt, fordi der altid medtages et evt. arbejdsformål samt at de 3 længste delture behandles.

Ved destinationsvalget udvælges 3 destinationer inden for interviewpersonens bopælskommune, 3 destinationer inden for arbejdskraftoplandet i øvrigt og 3 destinationer inden for 100 km. Der tages således hensyn til at de korte rejser er langt de hyppigste, så i dette område står valget mellem en væsentlig større andel af de mulige zoner end for de længere rejser. Sidstnævnte bliver dermed mere usikkert bestemt end de hyppige korte ture.

Til gengæld er det en klar begrænsning i modellen, at den ikke modellerer rejser over 100 km. Dette skyldes, at de lange rejser sjældnere er daglige rejser, men en del af en fjernrejse, der medfører overnatning og derfor ikke indgår i modellen. Ganske vist er endagsrejser over 100 km sjældne, men på grund af deres længde udgør rejser over 100 km 20% af transportarbejdet i dagturene. Udeladelsen betyder at der generelt opnås lavere elasticiteter end der burde.

I og med at turformålet er eksogent bestemt er det muligt at benytte langt mere specialiserede turformål end det var muligt, hvis der skulle vælges mellem turformålene i en valgmodel. Dette medfører, at der kan knyttes en væsentlig mere præcis attraktionsbeskrivelse til den enkelte destination, fx. antal beskæftigede inden for detailhandel til indkøbsture, antal beboere til besøgsture osv.

Der er dog fortsat databegrænsninger, idet nogle turformål ikke kan få tilknyttet en attraktionsvariabel, der afspejler hvor attraktivt det pågældende sted er at rejse til. Dette er et særligt problem for en del fritidsaktiviteter.

#### *Metoden i rejsetidsberegninger*

Modellens styrke er dens præcise beregning af rejsetider og omkostninger specielt i den kollektive trafik. Imidlertid er data leveret på zonebasis, hvilket betyder, at for interne rejser i en zone kan der ikke beregnes en rejsetid. Det har derfor været nødvendigt at benytte gennemsnitlige rejsetider internt i zonen. Da der er mange korte rejser, der derfor ofte må være zoneinterne, er der forholdsvis mange rejser, der bliver gennemsnitsberegnet.

Rejsetidsberegningen i GIS med kollektiv trafik er så kompleks, at det har været nødvendigt at foretage nogle forenklinger. Således skal den kollektive rejse starte og slutte i destinationszonens centrum. Dette kan evt. medføre flere skift end personen i virkeligheden vil gennemføre, fordi der ikke går direkte bus/tog forbindelser mellem de zoner, der rejses imellem. I virkeligheden vil personen måske vælge at gå til en nabozone, hvis dette giver kortere rejsetid. Det er heller ikke muligt ved skift at gå mellem destinationer bortset fra mellem visse stationer og busstop. Især på korte rejser internt i store byer skaber dette en for lang rejsetid med kollektiv trafik. Problemet skaber en ensidig fejl i kollektive rejsetider, fordi det ikke muliggør kortere rejsetid, kun længere.

I de mindre byer og på landet introduceres omvendt en fejl fordi alle rejser hæftes op på byens, eller den nærmeste bys centroid, hvilket i praksis kan være langt fra det faktiske rejsemål, der måske i virkeligheden kan have et andet kollektivt trafiktilbud, som blot ikke går til zonen centroid. Men her er der snarere tale om en usikkerhed end en ensidig fejl.

Rejseafstandsberegningen i bil og med let trafik er også fejlbehæftet, fordi det anvendte vejnet er både forsimplet og fejlfyldt. Således mangler vejstumper, så der bliver meget omvejskørsel. Trafiknettet består af rette linier, der derfor er mere udrettede end virkelighedens vejnet og derfor giver for korte afstande. Og endelig er en del veje dobbelttegnede, så afstanden ad vejen bliver registreret dobbelt.

#### *Datafejl TU interview*

Selve datagrundlaget i TU er også til en vis grad fejlbehæftet (Christensen, 2000a). Et eksempel er et underskud på særlig rejseaktive personer i interviewmaterialet, der betyder en samlet undervurdering af transportarbejdet ved opskrivning. Desuden mangler bl.a. nogle korte natlige hjemture efter kl. 3 og et antal lange udrejser. Sidstnævnte har dog mindre betydning, da modellen under alle omstændigheder ikke medtager rejser over 100 km.

I TU-data er der usikkerhed omkring rejseafstande og -tider, fordi de bygger på folks egne usikre tidsangivelser. Rejseafstande og rejsetider i modellen bygger imidlertid ikke på folks mere eller mindre fejlagtige afstandsforfølelse, fordi de er baseret på beregninger i den geografiske model i GIS. Til gengæld er GIS-beregningerne behæftet med andre fejl, idet zonen er angivet relativt fejlfuld (Christensen, 2000a), hvilket især viser sig på korte afstande (Christensen, 2002).

Generelt er dette imidlertid gennemgående tilfældige fejl, der i modellen opfanges af fejlleddet, og derfor ikke har væsentlig betydning for modellens kvalitet. Da der yderligere ved scenarieanalyser kun er tale om analyse af forskelle mellem modelresultater før og efter introduktion af et scenario, har opskrivningsfejl ingen eller kun meget lille betydning.

### 6.2.5 Sammenfatning af modelafprøvning

I Rich & Christensen (2001) er beregnet en række elasticiteter, der er sammenholdt med andre elasticiteter i litteraturen. Herigennem belyses modellens kvalitet i en vis udstrækning. Også scenarieanalyserne i denne rapport kan belyse modellens kvalitet.

#### *Elasticitetsanalyser*

Modellen beregner effekten af et scenario på bilejerskab og på transportarbejde hver for sig. Herefter kan de 2 effekter ganges sammen til en samlet effekt. Nedenfor beskrives effekten fra de 2 delmodeller hver for sig.

#### *Indkomstelasticiteter*

Indkomsten har en væsentlig indflydelse på bilejerskabet. Derimod er indflydelsen på transportarbejdet estimeret til 0, hvilket også er fundet i danske tidsserieanalyser. Imidlertid er der alligevel en vis indflydelse fra indkomsten på trafikarbejdet i bil, fordi bilejerskabet stiger med indkomsten, og højere bilejerskab fører til mere transportarbejde. Effekten af indkomsten øges endda en smule, fordi det større trafikarbejde igen virker tilbage på bilparken og øger dermed indkomstelasticiteten en smule. Alt i alt bliver indkomstelasticiteten på bilejerskabet dog kun 0,22 i 2005 og 0,31 i 2020 hvilket er væsentlig mindre end hvad der er fundet på danske tidsserieanalyser, Bjørner (1994) finder således en langsigtselasticitet på 0,56.

Imidlertid kan der også stilles spørgsmålstejn ved tidsserieanalysernes estimering af indkomstelasticiteten. Da indkomsten primært er stigende vil en tidsseriebaseret analyse af væksten i bilejerskabet ved stigende indkomst meget vel kunne omfatte andre forhold, der ikke korrigeres for i analysen, bl.a. kohorteffekten og ændring i lokaliseringen. En modelanalyse som i ALTRANS, der opdeler effekten på dens årsager, må derfor få en lavere indkomstelasticitet. Om den skal være så meget lavere er imidlertid et spørgsmål.

#### *Samspil mellem bilejerskab og transportarbejde*

Øget bilejerskab fører som nævnt til øget trafikarbejde. I modellen er effekten estimeret til omkring 0,3. COWI (1995b) angiver, at elasticiteten beregnet på en tidsserie er estimeret til 0,6, dvs. det dobbelte af modellens.

Øget trafikarbejde fører omvendt også til øget bilejerskab. Effekten er beregnet til at have en elasticitet på 0,12-0,13. Effekten af transportar-

bejdet på bilejerskab estimeres normalt ikke på tidsserier, så elasticiteten kan ikke holdes op over for et alternativ. Effekten virker igen tilbage på transportarbejdet, men er så beskednen, at det ikke kan forklare forskellen på 0,3 og 0,6.

#### *En prognose*

I Rich og Christensen (2001) er foretaget en fremskrivning med modellen til 2016. I fremskrivningen er den eneste årsag til stigende trafik og bilejerskab en generel indkomstudvikling plus en cohorteffekt på kørekorthold. Disse 2 forhold tilsammen giver kun en stigning i trafikken på 4,3%, hvilket må anses for totalt urealistisk al den stund trafikken generelt stiger 2% om året. COWI (1998) når ligeledes frem til en meget beskednen vækst med PETRA modellen.

Konklusion er derfor, at en adfærdsbaseret model som ALTRANS ikke er velegnet til prognoser for en udvikling, fordi de ikke kan tage højde for alle de andre ændringer, der også sker over tid. En tilsvarende konklusion blev draget for PETRA. Dette er tidsseriemodellerne bedre til – hvis alle ændringerne over tid fortsætter som de hidtil har været.

#### *Omkostningselasticiteter*

Modellen for transportmiddelvalg og destinationer viser en priselasticitet på transportarbejdet med bil på  $-0,38$  ved ændring i driftsomkostning for bilkørsel. Elasticiteten ligger tæt på hvad der er fundet ved danske tidsserieanalyser og internationale analyser. Også krydselasticiteterne på  $0,65$  for kollektiv trafik og  $0,42$  for let trafik er realistiske. For bilpassagerer er elasticiteten lidt højere end for bilførere, hvilket ikke er overraskende, da de fleste kører med som bilpassagerer på længere ture og især på fritidsture, dvs. netop de ture, der må forventes at være mest følsomme over for prisstigninger. Alt i alt synes modellen at virke godt ved ændringer i omkostninger på bilkørsel.

Priselasticiteten på brug af kollektiv trafik ved ændring i billetprisen findes til  $0,3$ , en smule større ved takstsænkning end ved takststigning, hvilket viser at der er en del tvangskunder i den kollektive trafik. Resultatet ligger i overkanten af resultater fra internationale analyser, men da disse kun omfatter bustrafik, virker det rimeligt at herværende elasticiteter er lidt højere. Krydselasticiteten på bilkørsel er meget lille, kun  $0,02$ . Den er lidt højere i forhold til de øvrige trafikantgrupper,  $0,03$  for passagertrafik og  $0,05$  for cykler.

Bilparksmodellen har derimod en elasticitet på omkostninger på bilhold, der virker for lav. Det antages at hænge sammen med, at der alene er anvendt en gennemsnitlig omkostning for at holde bil uanset om bilen er stor eller lille, ny eller gammel.

#### *Kollektivt serviceniveau*

Ved modeludviklingen er kun anvendt data for perioden 1995-97. Herved har det været vanskeligt at adskille rejsetidsvariable fra omkostningsvariable, fordi der inden for så kort periode ikke er stor varians i omkostningerne i forhold til rejsetiderne. Yderligere har det pga. mange bortfald i rejsetiderne været vanskeligt at adskille de enkelte komponenter i rejsetidsberegningen.

Resultatet er derfor, at den væsentligste del af sammenhængen mellem rejsetidskomponenterne og transportarbejdet med de enkelte transportmidler er samlet i variabelen for køretid. Skiftetiden har ikke

kunnet udskilles selvstændigt og frekvensen/ventetiden har kun fået meget ringe indflydelse. En parameter for serviceniveauet udtrykt ved kilometer kollektiv trafik pr arealenhed har derimod vist sig signifikant med en noget større indflydelse.

Resultaterne viser, at elasticiteten for køretider er  $-2,76$  for kollektiv trafik, dvs. at transportarbejdet med kollektiv trafik skulle stige med næsten 30% hvis køretiden reduceres med 10%. Elasticiteten for ventetiden er derimod kun  $-0,14$  (ved ventetiden forstås den halve tidsafstand mellem 2 afgang uanset frekvensen). Dette forhold mellem elasticiteterne svarer ikke til hvad der findes andre steder. (COWI, 1995a viser således, at frekvensen påvirker valg af transportmiddel mere end rejsetiden. Elasticiteten for serviceniveauet er  $-0,57$  og synes derfor snarere at opfange en væsentlig del af betydningen af forskelle i frekvens.

Ser man på krydselasticiteterne, dvs. faldet i de øvrige transportformer, når den kollektive trafik forbedres, er effekten meget lille. Køretids-krydselasticiteten er  $0,10$  for bilførere,  $0,21$  for passagerer og  $0,20$  for den lette trafik. Den samlede effekt er, at biltrafikken ikke påvirkes ret meget ved serviceforbedringer, men at der flyttes lidt fra den lette trafik og fra bilpassagererne over på den kollektive trafik. Samtidig påvirkes transportarbejdet med en elasticitet på  $-0,08$ .

For de 2 øvrige sæt af krydselasticiteter er effekten ekstrem lille. Alle beregninger er sammensat af effekten fra flere geografiske segmenter. Her viser det sig, at krydselasticiteten har forkeret fortegn i flere segmenter, dvs. biltrafikken stiger, når den kollektive trafiks frekvens forbedres. Dette synes direkte forkert.

Det må derfor konkluderes, at det med den nuværende estimering på data ikke er helt tilfredsstillende, at analysere på rejsetiderne. Konklusionen i kapitel 5, at effekten på biltrafikken af forbedringer i den kollektive trafik er beskeden er dog utvivlsomt korrekt.

Der kan være flere årsager til fejlene og den tilsyneladende vanskelighed ved at estimere køretidseffekter:

- Der er estimeret på for kort tidshorisont, så samvariansen mellem tid og omkostninger bliver for stor.
- Der har vist sig at være mange – også ensidige – problemer og fejl forbundet med den kollektive rejsetid. Tilsammen kan disse forhold have påvirket estimeringen så meget, at det ikke er tilstrækkeligt at antage, at usikkerheden er opsamlet i fejleddet.
- Modellens udformning vedr. rækkefølgen i valget af transportmiddel henholdsvis destination er muligvis forkert. En ombytning, så transportmiddel bestemmes forud for destinationen vil muligvis kunne løse nogle af problemerne.

Alt i alt vil en reestimering på et tidsmæssigt mere omfattende datasæt med færre datafejl i de kollektive trafikberegninger utvivlsomt give lidt mere troværdige resultater, hvad angår effekten af serviceniveauets indflydelse.

## 6.2.6 Konklusion

Styrken i ALTRANS-modellen er først og fremmest, at den bygger på modellering af individbaserede data, og ikke på aggregerede zonebaserede data.

Den logiske konstruktion af modellen er god. Bl.a. er det en styrke ved modellen, at den baseres på turkæder frem for på de enkelte ture. Modellen kunne muligvis – især til prognoseformål - forbedres ved også at inddrage valg af rejseformål og kombinationer heraf, frem for at behandle formål som eksogent. På den anden side har de eksogene formål muliggjort anvendelse af mere detaljerede attraktionsparametre.

Ved ikke at inddrage formål endogent i modellen vil ALTRANS kun kunne belyse effekter over en kortere årrække. Yderligere kan den ikke tage højde for effekten af mere radikale ændringer i rejsevilkår, fordi disse antagelig vil påvirke folks formålskombinationer.

Modellen for transportmiddel- og destinationsvalg synes alt i alt at virke godt ved ændringer i omkostninger. Derimod synes der at være så mange problemer med bestemmelse af rejsetider, at adfærdsændringer ved ændringer i kollektivt serviceniveau estimeres usikkert i modellen, hvilket betyder at den ikke fuldt ud danner grundlag for den virkelige adfærd.

Modellen for bilejerskab er også logisk godt konstrueret, men den lider under nogle datamæssige mangler. Desuden er det diskutabelt, om den uafhængighed mellem priser og efterspørgsel, der er en forudsætning for modellen, holder i praksis. Denne del af modellen er derfor mindre valid end rejsedelen af modellen.

Generelt er der indhøstet så mange erfaringer med brugen af modellen, at det ville være relevant at reestimere den med basis i forbedringer af de datamæssige og modeltekniske svagheder, der er konstateret. Ikke mindst vil inddragelse af en længere tidsperiode kunne rette op på nogle af problemerne.

Afprøvning af modellen viser, at denne ikke egner sig som prognosemodel, fordi den ikke inddrager alle de forhold der ændrer sig i det omliggende samfund over en tidsperiode.

Modellen egner sig derfor kun til at belyse relative ændringer i adfærden som konsekvens af ændringer i rejsevilkår. Hertil er det ikke så afgørende, at det absolutte niveau for transportarbejde og transportmiddelfordeling er korrekt, blot ændringerne i forhold til udgangssituationen er det.

Desuden skal man være forsigtig med store forandringer i scenarierne. Ved store ændringer kan det ikke forudsættes, at adfærden fuldt ud tilpasser sig nye vilkår.

Endelig skal man være klar over, at der er tale om en kortsigtsmodel. Udvikling ud over 5-10 år egner den sig ikke til at behandle i sin nuværende form. Der er derfor snarere tale om en scenariemodell til politikanalyser end en prognosemodel.

Ved modellens anvendelse til belysning af politikscenarier, er det vigtigt, at de ændringer, modellen skal belyse effekten af, indgår i dennes konstruktion og datagrundlag. En grundigere beskrivelse af de mulige scenarier fremgår af kapitel 2.4.

## 7 Litteratur

Agger, P., Baagøe, J., Hamann, O. & Primdahl, J. (2000): *Dansk naturpolitik – visioner og anbefalinger*. Vismandsrapport 2000. Naturrådet, København

Amtsrådsforeningen (2000): *Busstatistik*. [www.ARF.dk](http://www.ARF.dk)

Arler, Finn (2000): *Bæredygtighed og naturkvalitet*. Pp 36-49: in Holten-Andersen, et. Al (red): *Dansk naturpolitik – i bæredygtighedens perspektiv*. Temarapport nr. 2 2000, Naturrådet, København

Bjørner, T. B. (1994): *Persontransport med bil*. AKF memo. AKF forlaget

Black, William, R (2000). *Toward a Measure of Transport Sustainability*. Paper presented at TRB Annual Conference, Washington DC., January 2000

Bryld, Birgitte (1997): *CSD Working list of indicators of sustainable development*. Pp. 142-147 in: Moldan B; Billharz; S. & Matravers, R: *Sustainability Indicators: A Report on the Project on Indicators of Sustainable Development*. SCOPE 58. Wiley & Sons, Chichester

Castle, Emery, N (1997): *A comment on Georgescu-Roegen, Daly, Solow and Stiglitz*. *Ecological Economics* 22 (1997) pp. 305-306

CEC (2001): *European transport policy for 2010: time to decide*. *White Paper*. COM(2001) 370. Commission of the European Communities. Brussels, 12/09/2001

CEC (1992): *The Future Development of the Common Transport Policy – a global approach to the construction of a Community framework for sustainable mobility*. Commission of the European Communities, Bruxelles, 1992

Christensen, L. (2002): *Bystruktur og transportadfærd. Hvad siger Transportvaneundersøgelsen?* DMU-rapport nr 382. Danmarks Miljøundersøgelser. Elektroniskudgivelse på [www.dmu.dk](http://www.dmu.dk)

Christesen, L. (2001): *Forbedret kollektiv service som miljøstrategi*. I: Andersen, P., Mortensen, J.B. og Nielsen, H.Ø.: *Bæredygtighed, økonomi og velfærd*. Det Strategiske Miljøforskningsprogram s 145-158

Christensen, L. (2000a): *ALTRANS. Transportvaner og kollektiv trafikforsyning*. Afdeling for Systemanalyse. 154 sider. Faglig Rapport fra DMU nr. 320

Christensen, L. (2000b): *Er det en miljømæssig fordel, at forbedre den kollektive trafiks service?*. I: Lahrman, H. & Nielsen, J. (red.): *Trafikdage på Aalborg Universitet 28.-29. august 2000*. Supplementsbind. Transportrådet og Aalborg Universitet. Trafikforskningsgruppen. – ISP's skriftserie 255: 229-243



- Christensen, L. (1999): *Betydningen af kollektiv trafiks service for transportmiddelvalg*. I: Lohmann-Hansen, A. & Pittelkow, A. (red.): Trafikdage på Aalborg Universitet 30.-31. august 1999. Konferencerapport 1. Transportrådet og Aalborg Universitet. Trafikforskningsgruppen. – ISP's skriftserie 238:249-259
- Christensen, Linda (1997): *Betydningen af den kollektive trafiks serviceniveau*. I: Lohmann, H. & Christensen, A. (red.): Trafikdage på Aalborg Universitet 25.-26. august 1997. Suppleringsrapport. Transportrådet og Aalborg Universitet. Trafikforskningsgruppen. – ISP's Skriftserie 209:215-224
- Christensen, Niels & Møller, Flemming (2001): *Nationale og internationale miljøindikatorer. Metodeovervejelser*. Danmarks Miljøundersøgelser. 163 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 347
- Christensen, L. og Gudmundsson, H. (1993) *Transportens eksterne effekter*. Transportrådet Notat 93-01
- Costanza, R. & Daly, H (1992). *Natural Capital and Sustainable Development*. Conservation Biology, 6, 1: 1992. pp 37-46
- COWI, Transportrådet og Trafikministeriet (1999): *PETRA – analysemodel for persontransport*. Notat nr 99-06, Transportrådet København
- Cowi (1998a). *PETRA. Weights*. PETRA Working Paper no.3. Cowi september 1998. Lyngby
- Cowi (1998b). *PETRA. The Licence Holding Model*. PETRA Working Paper no.4. Cowi september 1998. Lyngby
- Cowi (1998c). *PETRA. The Cohort Model*. PETRA Working Paper no.5. Cowi september 1998. Lyngby
- Cowi (1998d). *PETRA. The Travel Demand Module*. PETRA Working Paper no.7. Cowi september 1998. Lyngby
- Cowi (1998e). *PETRA. Data*. PETRA Working Paper no.8. Cowi september 1998. Lyngby
- Cowi (1998f). *PETRA. The Forecast Model. – Synthesis Report*. Cowi september 1998. Lyngby
- COWIconsul (1995a) *Faktorer i bilisters valg af transportmiddel. – En Stated Preference undersøgelse*. Cowiconsult, august 1995
- COWIconsult (1995b) *Analyse af bilafgifter 2005*. Transportrådet notat nr. 95.05
- COWIconsult (1994) *Buskatalog*. Trafikministeriets Forsøgsordninger System Rapport 09
- COWI og Færdselsstyrelsen (1998) *Lokal og regional kollektiv trafik - en oversigt*. Færdselsstyrelsen

- Daly, Herman (1990): *Toward some operational principles of sustainable development*. Ecological Economics, 2, pp 1-6
- DSB (1999): *Dokumentation for DSB's data til TEMA99*. Notat af 30. juli 1999 med tilhørende regneark. Ikke publiceret
- DØR (1998). *Balance mellem generationer*, pp 171-256 in: Dansk Økonomi, efterår 1998. Det Økonomiske Råd, København
- DØR (1996). *Transport*. Dansk Økonomi. Forår 1996. Det økonomiske Råd, København
- ECMT (2000). *Sustainable Transport Policies*. European Conference of Ministers of Transport. Paris
- EEA (2000a). *Environmental signals 2000*. European Environment Agency regular indicator report. Environmental Assessment report no 6. European Environment Agency, Copenhagen
- EEA (2000b): *Are we moving in the right direction?. Indicators on transport and environment integration in the EU*. TERM 2000. Environmental issues series No 12. European Environment Agency, Copenhagen
- Ekins, P.; Simon, S.; Deutsch, L.; Folke, C. & de Groot, R. (2000): *A Framework for the Practical Application of the Concepts of Critical Natural Capital and Strong Sustainability*. CRITINC project. Working paper 1A. CRITINC project. Department of Environmental Social Sciences, Keele University. URL: <http://www.keele.ac.uk/depts/ge/CRITINC/WP1A.htm>
- Finansministeriet (2000). *Finansredegørelse 2000*. Finansministeriet, København, april 2000
- Gilbert, Richard & Tanguay, Helene (2000). *Sustainable transportation performance indicators project. Brief review of some worldwide activity and development of an initial long list of indicators*. The Centre for Sustainable Transportation, Toronto
- Gudmundsson, H. (2001): *Transport i et bæredygtighedsperspektiv*. I: Andersen, P., Mortensen, J.B. og Nielsen, H.Ø.: Bæredygtighed, økonomi og velfærd. Det Strategiske Miljøforskningsprogram s 123-143
- Gudmundsson, Henrik (2000). *Mobilitet og bæredygtighed – strategier, mål og institutioner i reguleringen af persontransport*. Ph.D-serie 8.2000, Handelshøjskolen i København. Økonomisk Fakultet. Samfundslitteratur, Frederiksberg
- Holten-Andersen, John et al. (eds.) (1997). *Natur og Miljø. Tilstand og påvirkninger*. Faglig rapport fra DMU. nr. 224 Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde
- HT (1994): *Roskilde/Trento projektet, Vurdering af forskellige trafikale virkemidler i Roskilde år 2005*. HT og Europa kommissionen, Generaldirektorat 17 (energi)
- Jensen, M. (1997a). *Benzin i blodet. Kvalitativ del*. ALTRANS. Danmarks Miljøundersøgelser. 130 s. – Faglig rapport fra DMU, nr. 191

- Jensen, M. (1997b). *Benzin i blodet. Kvantitativ del. ALTRANS*. Danmarks Miljøundersøgelser. 130 s. – Faglig rapport fra DMU, nr. 200
- Joint Expert Group on Transport and Environment (2000): *Recommendations for actions towards sustainable transport. A strategy review*. 26 September 2000
- Jocivic, G. (2001): *Activity based travel demand modelling – a literature study*. Danmarks TransportForskning Note 8
- Jørgensen, N.O. (1988): *Trafikrisiko i Nærtrafik*. Institut for Veje Trafik og Byplan, DTU Notat 88-4
- Kveiborg, O. (1999). *ALTRANS Bilparkmodel. Beregning af udvikling og emissioner*. Faglig rapport fra DMU nr 294
- Kågeson, Per (1994): *The concept of sustainable transportation*. The European Federation for Transport and Environment, T&E 94/3, Bruxelles
- Miljø- og Energiministeriet (1999). *Natur- og Miljøpolitisk redegørelse 1999*. Miljø- og Energiministeriet, København. .s 664
- Minken, Harald (1997). *A Sustainability objective function for local transport policy evaluation*. Paper, Institute of Transport Economics, Oslo
- Nordhaus, William, D. (1994): *Reflections on the Concept of Sustainable Economic Growth*. pp 309-325 in: Pasinetti, Luigi L. & Solow, Robert M.: Economic growth and the structure of long term development. Proceedings of the IEA Conference held in Varenna, Italy. IEA conference volume, nr.112. Mcmillan, Basingstoke
- Nielsen, T (2002): *Boliglokalisering og transport i Aalborg*. Institut for Samfundsudvikling og planlægning. Aalborg Universitet
- OECD (2000). *EST Guidelines for environmentally sustainable transport (EST) presented and endorsed at the international conference held from 4th to 6th October 2000 in Vienna, Austria*
- OECD (1997). *Towards Sustainable Transportation. The Vancouver Conference*. OECD Proceedings, OECD, Paris. 187 p
- OECD (1993). *Environmental Indicators. OECD Core Set of indicators for environmental performance reviews*. Environment Monographs No 83. OECD/GD (93)179. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris
- Opschoor, Hans (1997). *The hope, faith and love of neoclassical environmental economics*. Ecological Economics 22 pp. 281-284
- Ortúzar, J.D. & Willumsen, L.G. (1994). *Modelling transport*, Wiley, Chichester.
- Pearce, David W (1997). *Substitution and sustainability: some reflections on Georgescu-Roegen*. Ecological Economics 22, pp. 295-297

- Pearce, David.W., Atkinson, Giles D., Dubourg, W.R. (1994). *The economics of sustainable development, Annual Review of Energy Economics*, Vol 19. pp 457-74
- Pezzey, J. (1992). *Sustainable Development Concepts. An Economic Analysis*. World Bank Environment Paper Number 2, The World Bank, Washington DC
- Regeringen (2002). *Fælles Fremtid – udvikling i balance. Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling*. Miljøstyrelsen, København
- Rich, J. H. (2002): *Long Term Travel Demand Modelling*. Ph.D. rapport CTT, DTU
- Rich, J. & Christensen, L., (2001). *ALTRANS - Adfærdsmodel for persontrafik*. Danmarks Miljøundersøgelser, Faglig Rapport fra DMU nr. 348
- Rich, J. H. og Kveiborg, O. (1998). *Prototypical Sample Enumeration using log-transformed QUAD optimisation – Simulation Experiments and Evidence from a Danish National Transport Survey*. Presented at second NORFA meeting Parnu, Estonia september 1998
- Solheim, T., Hammer, F., Johansen, K.W. (1994): *Kollektivt og forurenende, Miljøeffekter av å forbedre kollektivtilbudet i norske byer*. Transportøkonomisk institutt, TØI rapport 245/1994
- Solow, Robert W.(1997): *Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz*. *Ecological Economics* 22, pp. 267-268
- Statsministeriet (1988). *Regeringens handlingsplan for miljø og udvikling*. Statens Informationstjeneste, København
- Steen, P.; Dreborg, K-H.; Henriksson G.; Hunhammer, S.; Höjer, M.; Rignér, J. & Åkerman, J. (1997). *Färder i framtiden - Transporter i ett bärkraftigt samhälle*. KFB-rapport 1997:7. Kommunikationsforskningsberedningen, Stockholm
- Thorlacius, P. (1998). *Beregning af rejsetider for rejser med bil og kollektiv trafik*. ALTRANS. Danmarks Miljøundersøgelser.– Faglig rapport fra DMU, nr. 240
- Trafikministeriet (2000a). *Bustrafik 1999*. Rapport. Trafikministeriet, København
- Trafikministeriet (2000b). *Begrænsning af transportsektorens CO<sub>2</sub>-udslip. Muligheder og virkemidler*. Trafikministeriet, København, 2000
- Trafikministeriet (1997): *Bustrafik 1994*
- Trafikministeriet (1996): *TEMA - En brugermodel for transportens emissioner*. Dokumentationsrapport
- Trafikministeriet/COWI (1997). *CO<sub>2</sub> reduktioner i transportsektoren*. Trafikministeriet, København

- Trafikministeriet (1990). *Regeringens transporthandlingsplan for miljø og udvikling*. Trafikministeriet, København
- Transport Council (1999). *Transport and Environment. Report to the European Council of Helsinki from the Council (Transport)*. October 1999. 11717/99. Brussels
- Transportrådet (2000). *Scenarier for biltrafikken 1996- 2020*. Rapport 00-02 Transportrådet, København
- Turner, Kerry (1997). *Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. A pluralistic and interdisciplinary perspective*. Ecological Economics 22 pp. 299-302
- Turner, R. K.(1993). *Sustainability: Principles and Practice*. In: Turner, R.K. (Ed.): Sustainable Environmental Economics and Management • Principles and Practise. Bel-haven, London, pp. 4-36
- UK Round Table on Sustainable Development (1996). *Defining a sustainable transport sector*. UK Round Table on Sustainable Development, London, 1996. 38 p
- UNEP (1997). *Global Environment Outlook –1. Global State of the Environment Report 1997*. United Nations Environment Programme. Oxford University Press, Cary
- United Nations General Assembly (1997). *Resolution Adopted by the General Assembly. Programme for the Further Implementation of Agenda 21, A/RES/S-19/2 . Nineteenth special session*. United Nations, New York. 19 September 1997
- Vejdirektoratet (2000). *Transportsektorens energiforbrug og emissioner. Dokumentationsnotat. Notat nr. 76*. Vejdirektoratet, København 29. Marts 2000
- Vejdirektoratet (1999). *Trafikøkonomiske enhedspriser. Prisniveau 1997*. Rapport 186. Vejdirektoratet, København
- Vejdirektoratet (1997): *Personer pr bil. Belægningsgrader for person- og varebiler*. Rapport nr. 137
- Verdenskommissionen for miljø og udvikling (1987). *Vores fælles fremtid*. Brundtland-kommissionens rapport om miljø og udvikling. FN-forbundet og Mellemlfolkeligt Samvirke. København
- Winther, Morten (1999): *Analyse af emissioner fra vejtrafikken. – Sammenligning af emissionsfaktorer og beregningsmetoder i forskellige modeller*. - Faglig rapport fra DMU, nr. 265. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde
- Winther, M. (1998): *Emissionsfaktorer fra den danske transportsektor*. Danmarks Miljøundersøgelser. - Arbejdsrapport fra DMU, nr. 78
- Winther, M. & Ekman, B. (1998): *Emissioner fra vejtrafikken i Danmark 1980-2010*. Danmarks Miljøundersøgelser. 73 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 256

# Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser  
Frederiksborgvej 399  
Postboks 358  
4000 Roskilde  
Tlf.: 46 30 12 00  
Fax: 46 30 11 14

*Direktion  
Personale- og Økonomisekretariat  
Forsknings- og Udviklingssektion  
Afd. for Systemanalyse  
Afd. for Atmosfærisk Miljø  
Afd. for Marin Økologi  
Afd. for Miljøkemi og Mikrobiologi  
Afd. for Arktisk Miljø*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Vejløsvej 25  
Postboks 314  
8600 Silkeborg  
Tlf.: 89 20 14 00  
Fax: 89 20 14 14

*Overvågningssektionen  
Afd. for Terrestrisk Økologi  
Afd. for Ferskvandsøkologi  
Projektchef for det akvatiske område*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Grenåvej 12-14, Kalø  
8410 Rønde  
Tlf.: 89 20 17 00  
Fax: 89 20 15 15

*Afd. for Vildtbiologi og Biodiversitet*

## Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, samt årsberetninger. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

## Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

### 2002

- Nr. 403: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 2001/02 i Danmark. Wing Survey from the 2001/02 hunting season in Denmark. Af Clausager, I. 62 s., 50,00 kr.
- Nr. 404: Analytical Chemical Control of Phtalates in Toys. Analytical Chemical Control of Chemical Substances and Products. By Rastogi, S.C., Jensen, G.H. & Worsøe, I.M. 25 pp. (electronic)
- Nr. 405: Indikatorer for Bæredygtig Transport – oplæg til indhold og strategi. Af Gudmundsen, H. 112 s., 100,00 kr.
- Nr. 406: Det landsdækkende luftkvalitetsmåleprogram (LMP). Årsrapport for 2001. Af Kemp, K. & Palmgren, F. 32 s. (elektronisk)
- Nr. 407: Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2000. By Kemp, K. & Palmgren, F. 32 pp. (electronic)
- Nr. 408: Blykontaminering af havfugle i Grønland fra jagt med blyhagl. Af Johansen, P., Asmund, G. & Riget, F. 31 s. (elektronisk)
- Nr. 409: The State of the Environment in Denmark 2001. By Bach, H., Christensen, N. & Kristensen, P. (eds). 368 pp., 200,00 DKK
- Nr. 410: Biodiversity in Glyphosate Tolerant Fodder Beet Fields. Timing of Herbicide Application. By Strandberg, B. & Bruus Pedersen, M. 36 pp. (electronic)
- Nr. 411: Satellite Tracking of Humpback Whales in West Greenland. By Dietz, R. et al. 38 pp. (electronic)
- Nr. 412: Control of Pesticides 2001. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krøngård, T. Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 28 pp. (electronic)
- Nr. 413: Vegetation i farvandet omkring Fyn 2001. Af Rasmussen, M.B. 138 s. (elektronisk)
- Nr. 414: Projection Models 2010. Danish Emissions of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC and NH<sub>3</sub>. By Illerup, J.B. et al. 194 pp., 100,00 DKK.
- Nr. 415: Potential Environmental Impacts of Soil Spills in Greenland. An Assessment of Information Status and Research Needs. By Mosbech, A. (ed.) 116 pp. (electronic)
- Nr. 416: Ilt- og næringsstoffluxmodel for Århus Bugt og Mariager Fjord. Modelopsætning. Af Fossing, H. et al. 72 s., 100,00 kr.
- Nr. 417: Ilt- og næringsstoffluxmodel for Århus Bugt og Mariager Fjord. Modelopsætning og scenarier. Af Fossing, H. et al. 178 s. (elektronisk)
- Nr. 418: Atmosfærisk deposition 2001. NOVA 2003. Af Ellermann, T. (elektronisk)
- Nr. 419: Marine områder 2001 - Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Af Ærtebjerg, G. (red.) (elektronisk)
- Nr. 420: Landovervågningsoplande 2001. NOVA 2003. Af Bøgestrand, J. (elektronisk)
- Nr. 421: Søer 2001. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. (elektronisk)
- Nr. 422: Vandløb og kilder 2001. NOVA 2003. Af Bøgestrand, J. (elektronisk)
- Nr. 423: Vandmiljø 2002. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning. Af Andersen, J.M. et al. 56 s., 100,00 kr.
- Nr. 424: Burden Sharing in the Context of Global Climate Change. A North-South Perspective. By Ringius, L., Frederiksen, P. & Birr-Pedersen, K. 90 pp. (electronic)
- Nr. 425: Interkalibrering af marine målemetoder 2002. Af Stæhr, P.A. et al. 88 s. (elektronisk)
- Nr. 426: Statistisk optimering af monitoringsprogrammer på miljøområdet. Eksempler fra NOVA-2003. Af Larsen, S.E., Jensen, C. & Carstensen, J. 195 s. (elektronisk)
- Nr. 427: Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2001. By Kemp, K. & Palmgren, F. 32 pp. (electronic)

### 2003

- Nr. 428: Vildtbestande, jagt og jagttider i Danmark 2002. En biologisk vurdering af jagtens bæredygtighed som grundlag for jagttidsrevisionen 2003. Af Bregnballe, T. et al. 227 s. (elektronisk)
- Nr. 429: Movements of Seals from Rødsand Seal Sanctuary Monitored by Satellite Telemetry. Relative Importance of the Nysted Offshore Wind Farm Area to the Seals. By Dietz, R. et al. 44 pp. (electronic)
- Nr. 430: Undersøgelse af miljøfremmede stoffer i gylle. Af Schwærter, R.C. & Grant, R. 60 s. (elektronisk)
- Nr. 432: Metoder til miljøkonsekvensvurdering af økonomisk politik. Møller, F. 65 s. (elektronisk)

Begrebet bæredygtig transport diskuteres og ved hjælp af persontrafikmodellen ALTRANS belyses mulighederne for at fremme bæredygtig udvikling gennem en række scenarier. Desuden præsenteres en mere detaljeret analyse af ændringer i CO<sub>2</sub>-belastningen ved forbedring af den kollektive trafiks serviceniveau. Hovedindholdet i persontrafikmodellen ALTRANS præsenteres og dens kvalitet diskuteres.

Danmarks Miljøundersøgelser  
Miljøministeriet

ISBN 87-7772-742-8  
ISSN 1600-0048