



Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

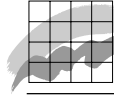
ALTRANS

Bilparkmodel

Beregning af udvikling og emissioner

Faglig rapport fra DMU, nr. 294

[Blank page]



Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

ALTRANS

Bilparkmodel

Beregning af udvikling og emissioner

*Faglig rapport fra DMU, nr. 294
1999*

Ole Kveiborg
Afdeling for Systemanalyse

Datablad

Titel:	Bilparkmodel	
Undertitel:	Beregning af udvikling og emissioner - ALTRANS	
Forfatter:	Ole Kveiborg	
Afdeling:	Afdeling for Systemanalyse	
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 294	
Udgiver:	Miljø- og Energiministeriet Danmarks Miljøundersøgelser©	
URL:	http://www.dmu.dk	
Udgivelsestidspunkt:	November 1999	
Faglig kommentering:	Linda Christensen, Uffe Kousgaard	
Layout:	Ann-Katrine Holme Christoffersen	
Tegninger:	Ole Kveiborg	
Bedes citeret:	Kveiborg, O. (1999): Bilparkmodel. Beregning af udvikling og emissioner. ALTRANS. Danmarks Miljøundersøgelser. 84 sider. - Faglig rapport fra DMU nr. 294.	
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.	
Abstract:	This report describes a model developed under the research project ALTRANS. The model is a sub-model under an overall model complex including as its primary elements a geographical model and a behavioural model. The present model describes the calculation of the emissions from the traffic calculated in the behavioural model. This is done using information from a detailed database on the Danish stock of cars from 1977 until 1997. The report describes the database and the developed model.	
Frie emneord:	Udvikling i bilparken, skrotninger, kartoffelkur, skrotningspræmie, tidsserieanalyse, maksimum likelihood, energiforbrug, emissioner, emissionsfaktorer.	
Redaktionen afsluttet:	November 1999	
ISBN:	87-7772-498-4	
ISSN:	0905-815X	
Papirkvalitet:	Cyclus Offeset	
Tryk:	Hvidovre Kopi	
Sideantal:	84	
Oplag:	100	
Pris:	Kr. 75,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)	
Købes i boghandelen eller hos:	Danmarks Miljøundersøgelser Postboks 358 Frederiksborgvej 399 DK-4000 Roskilde Tlf.: 46 30 12 00 Fax: 46 30 11 14	Miljøbutikken Information og Bøger Læderstræde 1 DK-1201 København K Tlf.: 33 95 40 00 Fax: 33 92 76 90

Indhold

Forord 5

Sammenfatning 6

- Udviklinger i den danske bilpark 6
- En model for bilparkens udvikling 8
- Emissioner 9
- Anvendelse 9

Summary 11

- Developments in the Danish fleet of cars 11
- A model for the development of the fleet of cars 13
- Emissions 14
- Application 14

1 Indledning 16

- 1.1 Princippet i fremskrivningen 16
- 1.2 Modellens struktur 17

2 Personbildatabasen 19

- 2.1 Indledning 19
- 2.2 Generelle tendenser i databasen 20
 - 2.2.1 Sammensætning af bestanden 20
- 2.3 Udvikling af skrotning 24
 - 2.3.1 Generelle konklusioner angående skrotning 34
- 2.4 Afsluttende bemærkninger 35

3 Metoder til udvidelse af det oprindelige datasæt 37

- 3.1 Supplerende data 37
- 3.2 Udvidelse vha. entropimaksimering 38
 - 3.2.1 Kalibrering vha. databasen 40
 - 3.2.2 Sammenligning med faktiske tal 40
- 3.3 Udvidelse vha. andre metoder 42
 - 3.3.1 QUAD og LogQUAD metoderne 43
- 3.4 Afsluttende bemærkninger 44

4 Skrotningsmodellen 45

- 4.1 Indledning 45
- 4.2 Diskussion af teoretiske modeller 46
 - 4.2.1 Tidsseriemodeller 46
 - 4.2.2 Least squares metoden 48
 - 4.2.3 Maksimum likelihood estimation 49
- 4.3 Eksogene variable 51
- 4.4 Estimation 53
 - 4.4.1 Resultater 54
- 4.5 Afsluttende bemærkninger 58

5 Fremskrivningsmodellen 60

- 5.1 Bestemmelse af udviklingen i bilparken 60
 - 5.1.1 Model til fordeling af nybilsalg 62
- 5.2 Model til bestemmelse af energi- og emissionsfaktorer 64
 - 5.2.1 Varmstart 64
 - 5.2.2 Overemissioner ved koldstart 66
- 5.3 Beregning af årskørsel samt energiforbrug og emissioner 67
- 5.4 Modelkørsler 69
- 5.5 Afsluttende bemærkninger 71

6 Afrunding 74

Referenceliste 77

Appendiks A 79

Personbiler 1991 til 1993 79

Appendiks B 80

Fordeling af bilparken 80

Appendiks C 81

Sammenhæng mellem vægt og motorstørrelse 81

Appendiks D 82

Udledning af log-likelihood funktion til estimation af skrotning 82

Forord

Denne rapport er blevet til som et led i arbejdet på forskningsprojektet ALTRANS (ALternative TRANSportsystemer), der er udført i Afdeling for Systemanalyse på DMU. Projektet er delt i to dele Den første del er afrapporteret i rapporterne *Benzin i blodet, kvalitativ del* og *Benzin i blodet, kvantitativ del* (Jensen, 1997a og 1997b). Denne del omfatter udviklingen af en trafikmodel til beskrivelse af persontransporten i Danmark. Arbejdet har været ledet af Linda Christensen og har primært været gennemført af Linda Christensen, Per Thorlacius, Jeppe Husted Rich, Morten Winther, Uffe Kousgaard og Ole Kveiborg. Arbejdet er, udover nærværende rapport, afrapporteret i Christensen (1999a og 1999b), Thorlacius (1998) samt Rich (1999a og b).

Denne rapport beskriver den del af trafikmodellen, der vedrører beregningerne af energiforbrug og emissioner fra den trafikale udvikling. En del af arbejdet er baseret på Winther (1999). Et væsentligt input til arbejdet på denne rapport er et datasæt, der er anskaffet for midler bevilget af Miljøstyrelsen som en såkaldt konto 14 bevilling. Rapporten er derfor også en dokumentation af indholdet i dette datasæt.

Indholdet i rapporten er blevet til med bidrag fra Morten Winther, Jeppe Husted Rich, Uffe Kousgaard og i særdeleshed Linda Christensen; alle fra Afdeling for Systemanalyse på DMU. En tak skal også lyde til Ann-Katrine Holme Christoffersen for sin hjælp med opsætning af rapporten, og ikke mindst for sit arbejde med at få det engelske summary til at fremstå som engelsk. Desuden har en del af arbejdet været diskuteret i forbindelse med en præsentation under forskernetværket *Transport, Land-Use and the Environment*, der er sponsoreret af NorFa (Nordisk Forskerutdanningsakademi, Norge) i marts måned 1999.

Udviklingen i ALTRANS og bilparkmodellen har været muliggjort gennem støtte fra først og fremmest Transportrådet, Miljøstyrelsen samt Energistyrelsen. Arbejdet har ligeledes været et led i Det Strategiske Miljøforskningsprogram AMOR (programmets del 5) omkring videreudvikling af ALTRANS til en prognosemodel. Altrans projektets styringsgruppe, bestående af Robert Heidemann og Pia Berring, Miljøstyrelsen; Susanne Krawack og Johan Nielsen, Transportrådet; OttoAnker Nielsen, Danmarks Tekniske Universitet samt ikke mindst Mogens Fosgerau, COWI Consulting Engineers and Planners A/S, har bidraget med værdifulde kommentarer under arbejdet.

Sammenfatning

Denne rapport er et led i afrapporteringen af persontransportmodellen Altrans, der gennem de sidste år er blevet udviklet på DMU i Afdeling for Systemanalyse. Rapporten beskriver dels udviklingen af en model til efterbehandling af outputtet fra den centrale adfærdsmodel (se Rich, 1999a og b), dels en grundig analyse af det basale datasæt til denne udvikling. Dette datasæt indeholder oplysninger om sammensætningen af den danske bilpark i årene 1991 til 1997.

Først i rapporten beskrives de nævnte basale datasæt og sidst den egentlige modeludvikling.

Udviklinger i den danske bilpark

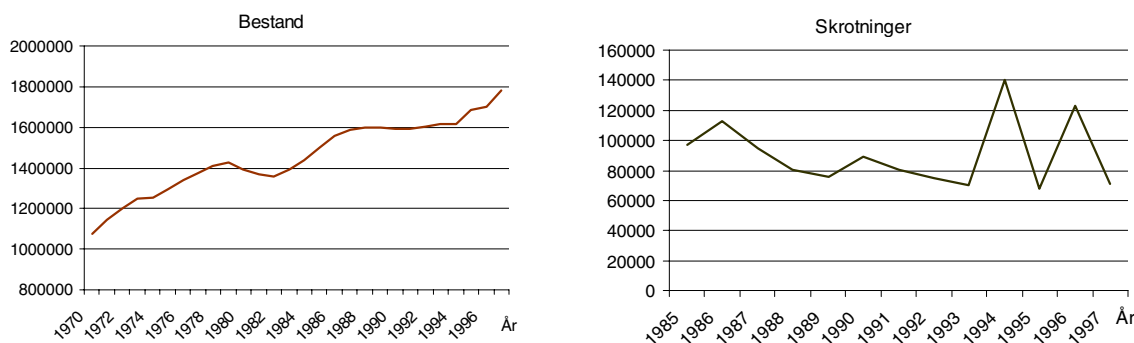
Basalt datasæt

Det basale datasæt, indhentet ved Danmarks Statistik for midler bevilget af Miljøstyrelsen, indeholder informationer om antallet af personbiler fordelt på *model, mærke, variant, vægt, drivmiddel, alder og ejerskab*. Det er et særdeles detaljeret datasæt, hvilket gør det umuligt at overskue uden at foretage forskellige former for aggregeringer. Det er i denne rapport valgt at fokusere på de tendenser, der kan ses ved aggregeringer på vægt, brændstof og aldersklasser, mens analyser af ejerskabet ikke er udført i særligt omfang. Ikke at sådanne analyser ikke er interessante, men til anvendelsen i modellen er dette af mindre vigtighed.

Selvom datasættet er en relativ kort tidsserie giver opdelingen på alder alligevel mulighed for også at se længere tilbage end 1991, dog med forbehold for ændringer som skrotning mv. i tiden før 1991.

Bilparken voksende

Den samlede danske bilpark er voksende og har i vid udstrækning været voksende gennem de sidste tre årtier. Dette på trods af svingninger i de økonomiske konjunkturer, oliekriser og økonomiske indgreb. Dette forløb ses illustreret i *figur 1*.



Figur 1 Udviklingen i bestanden af personbiler fra 1970 til 1997 samt skrotningerne fra 1985 til 1997.

De nævnte hændelser ses dog tydeligt i figuren som temporære udsving i den overordnede trend. F.eks. skyldes det kraftige fald i antallet af personbiler i begyndelsen af 1980'erne den anden oliekrise.

Ligeledes er Kartoffelkuren årsag til stagnationen i udviklingen fra 1986 til 1990. Derimod er der ikke umiddelbart synlige konsekvenser af skrotningspræmien i 1994. Denne bliver til gengæld synlig, når man ser på de elementer, der bestemmer den samlede udvikling: nybilsalget og skrotningerne. I rapporten her, er der primært fokuseret på skrotninger, da der tidligere er foretaget nærmere analyser af nybilsalget (Cowi, 1998).

Skrotning

I figur 1 ses udviklingen i skrotningen. I 1994 var der en større skrotning end den generelle trend netop som følge af skrotningspræmien. Grunden til denne øgede skrotning er primært en relativ lav skrotning i perioden op til 1994. Der er ikke en entydig forklaring på den store skrotning i 1996, men den kan skyldes specielle økonomiske forhold, der har betydet et stort antal midlertidigt afmeldte biler, der i 1997 kommer ud på markedet igen. Dette underbygges af en forholdsvis stor negativ skrotning i 1997.

En del af stigningen i bilparkens samlede størrelse skyldes en faldende skrotning igennem perioden. Samtidig er anskaffelserne af nye biler steget, hvilket samlet giver den store vækst.

Tungere biler

Udviklingerne i skrotning og samlet bestand er ikke entydig, når der opdeles på vægt og drivmiddel. Opdelingen på drivmiddel er ikke af væsentlig betydning, da antallet af benzinbiler udgør mere end ca. 95% af den samlede bestand. Derimod fremkommer interessante oplysninger ved opdelingen på vægtklasser. En af de væsentligste observationer er, at det først og fremmest er de små biler, der skrottes og påvirkes af skrotningspræmien, mens mellemstore og store biler både har en længere levetid, og i meget mindre omfang er påvirket af de økonomiske forhold. Det er dog ikke kun i forbindelse med skrotningerne, at der sker en forskydning mod tungere biler. Også i nyanskaffelserne købes større og større biler. En del af forklaringen på dette fænomen er, at de enkelte modeller i sig selv bliver tungere. Dette opfattes ikke umiddelbart af køberne, der tror de køber en bil i samme størrelse som tidligere. Det er således ikke nødvendigvis altid et bevidst valg af større bil.

Konsekvensen er entydig: udskiftningen i bilparken til større biler samt den generelle stigning i bilparken betyder, at energiforbruget må forventes at stige. Dette på trods af generelt bedre benzinøkonomi i de enkelte biler.

Til anvendelse i tidsserieestimation er en tidsserie på bare 6 år ikke nok. Det er derfor valgt at udvide datasættet med yderligere information om bilparkens sammensætning for en længere tidsperiode. De supplerende informationer eksisterer ikke på det detaljeringniveau, der kræves i modellen. Det var derfor overvejet at anvende metoder til at generere viden på et højere detaljeringniveau fra de mindre detaljerede oplysninger. Da dette imidlertid giver risiko for at introducere systematisk bias i estimationerne blev det i stedet valgt at anvende en anden metode: *maximum likelihood estimation*, hvor de forskellige sæt af informationer anvendes på en gang i en generelt formuleret estimation.

En model for bilparkens udvikling

Grundlæggende ligning

Udviklingen af bilparken foretages ud fra følgende grundlæggende ligning:

$$Bestand_t = Bestand_{t-1} + Nye\ biler_t - Skrotning_t$$

hvor *bestand* er en tilstandsvariabel, mens hhv. *skrotning* og *nye biler* er flow variable, der omsættes til faktiske størrelser ved at opgøre dem i en hel tidsperiode. Indeks *t* angiver tiden.

I Altrans adfærdsmodellen bestemmes til hver tidsperiode bestandens samlede størrelse. Det betyder derfor, at enten antallet af nye biler eller antallet af skrotninger skal findes som en residual. For at udnytte de detaljerede informationer om antallet af biler på forskellige aldre, er det valgt at lade antallet af nye biler fremkomme som en residual, når skrotningerne er bestemt.

Hovedformålet med modellen er at fordele og udvikle bestanden på hhv. drivmiddel, vægt og aldersklasser. For at gøre dette udvikles skrotningerne i 120 klasser hver for sig (2 drivmiddel-, 3 vægt- og 20 aldersklasser). Skrotning i hver af klasserne udvikles principielt fra følgende ligning:

$$Skrotning_t = Konstant + a_1 * Bestand_{t-1} + a_2 * Indkomst_t + a_3 * Benzinprisindeks_t + a_4 * Vedligeholdelsesomk.$$

hvor $a_1 * Bestand_{t-1} + a_2 * Indkomst_t + a_3 * Benzinprisindeks_t + a_4 * Vedligeholdelsesomk$ er estimerede parametre.

Der er desuden forsøgt anvendt andre forklarende variable, men de i ligningen angivne, var dem, der gav den bedste forklaringsgrad.

Fordelingen af nye biler på drivmiddel og vægtklasser kan principielt foretages med en model udviklet af Cowi Consulting Engineers and Planners A/S til at analysere personbilers energieffektivitet (Cowi, 1998). Det mangler dog endnu at blive klarlagt, om anvendelse af denne model giver bedre resultater end en fordeling baseret på den aktuelle fordeling i 1997.

Et af de store spørgsmål i estimationen af modellen har været, hvorvidt skrotningerne skulle estimeres på basis af skrotandele eller på de absolutte skrotninger. Der er fordele og ulemper ved begge dele, men mest væsentlig i denne sammenhæng har været hensynet til en konsistent estimation. Det er valgt at basere estimationen på de absolutte skrotninger, men samtidig at anvende den faktiske bestand som en supplerende forklarende variabel.

Gode estimationsresultater

Estimationerne giver generelt pæne resultater med R^2 værdier på godt 0,90 (når der korrigeres for antal parametre og antal observationer er R^2 på godt 0,50). Der er dog i estimationerne mulighed for at forbedre dette yderligere ved at lave separate forklarende variable for hver enkelt af klasserne. Der har der indenfor projektets rammer ikke været mulighed for.

Emissioner

Detaljeret opgørelse af emissionsfaktorer

Det overordnede formål med den beskrevne model er, at kunne beregne emissioner og energiforbrug fra det transportarbejde, der bestemmes i Altrans adfærdsmodellen via fordelingen på de forskellige typer af biler. Opdelingen på vægt- og aldersklasser giver mulighed for at anvende differentierede emissionsfaktorer. Emissionerne fra bilerne afhænger af bilens størrelse og i lige så høj grad af bilens alder. Ved opdelingen på aldersklasser er det muligt at indarbejde emissionskrav til fremtidige biler. De hidtil vedtagne EU normer er indarbejdet i modellen. Det er endvidere muligt at indarbejde de nedslidninger af katalysatorer, der nødvendigvis sker, når bilerne bliver brugt. I den udviklede model anvendes begge disse muligheder.

Opbygningen af emissionsdelen, der omfatter emissioner af CO, CO₂, NOx, SO₂, HC og partikler, er baseret på Winther (1999). En tilpasning af beregninger af koldstartsoveremissioner er foretaget efter en ad hoc metode. Det forventes dog i en fremtidig revision af modellen at blive tilpasset de sandsynlige ture i bil beregnet i adfærdsmodellen.

Udviklingen af emissionsfaktorerne baseres på bilernes alder vha. bl.a. oplysninger fra Vejdirektoratet om, hvor langt biler i bestemte aldre kører pr. år. En kobling fra bilens alder til den aktuelle emissionsfaktor etableres for alle emissionskomponenter og for både koldstarts og varme emissioner.

Anvendelse

Modellen er anvendt på en fremskrivning af bilparken foretaget af Vejdirektoratet i 1998, med udvikling af de betydende forklarende variable, beskrevet af ADAM modellen (Danmarks Statistik, 1995). Resultatet af denne fremskrivning for bilparkens sammensætning er angivet i *tabel 1*.

Den fremskrevne sammensætning af bilparken viser de samme tendenser, som også er set i den historiske udvikling. Dette begrundes med, at de forklarende variable fortsætter den udvikling de havde i det historiske forløb.

Tabel 1 Fordeling af bilparken ved fremskrivning af samlede bilpark foretaget af Vejdirektoratet.

Drivmiddel	Vægt	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Benzin	0-800 kg	16,91%	14,30%	11,94%	9,63%	7,55%	5,62%	3,78%	2,02%
Benzin	800-1000 kg	39,57%	38,18%	37,33%	36,18%	35,37%	34,53%	34,00%	33,76%
Benzin	>1000 kg	38,96%	42,72%	45,53%	48,64%	51,13%	53,63%	55,76%	57,49%
Diesel	0-800 kg	0,12%	0,06%	0,05%	0,04%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%
Diesel	800-1000 kg	1,37%	1,18%	1,08%	0,93%	0,78%	0,57%	0,35%	0,20%
Diesel	>1000 kg	3,07%	3,56%	4,07%	4,58%	5,14%	5,65%	6,12%	6,54%
Total		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Den udviklede model har nogle svagheder. Den væsentligste af disse er den manglende kobling til den adfærd der ligger bag udviklingen af bilparken. Eller med andre ord at der ikke er konsistent sammenhæng mellem udviklingen af den samlede bilpark, og de komponenter der beskriver sammensætningen af bilparken. Nybilsalget bestemmes f.eks. som en residual fremfor at anvende de detaljerede oplysninger, der ligger i de offentliggjorte statistikker og i den beskrevne database.

Summary

This report forms part of the report on the transport model Altrans - a model that during the last couple of years has been developed at the Department of Policy Analysis at NERI - the National Environmental Research Institute. The report describes both the development of a model for the finishing treatment of the output from the central behavioural model (see Rich, 1999a and b), and a thorough analysis of the basic data set used in this development. This data set holds information about the composition of the Danish fleet of cars covering 1991 to 1997.

The report describes firstly the above mentioned basic data set and secondly deals with the actual development of the model.

Developments in the Danish fleet of cars

Basic data set

The basic data set provided by Statistics Denmark by means of a grant from the Environmental Protection Agency holds information on the number of passenger cars allocated on *model, make, version, weight, fuel type, age* and *ownership*. This is a very detailed data set which is impossible to embrace without making certain forms of aggregation. In this report we have chosen to focus on the tendencies that can be seen by aggregation concerning weight, fuel and age groups while analyses of ownership has not been performed to any special extent. Not that such analyses has no interest but the use of this information in the model is less important.

Even if the data set is a relatively short time series the segmentation on age still offers the possibility of looking further back in time than 1991, though with reservations of changes such as scrappage etc. during the time before 1991.

Growing fleet of cars

The total Danish fleet of cars is growing and has to a large extent been growing through the last three decades. This in spite of fluctuating economic conditions, oil crises and economic interventions. This development is seen in fig. 1.

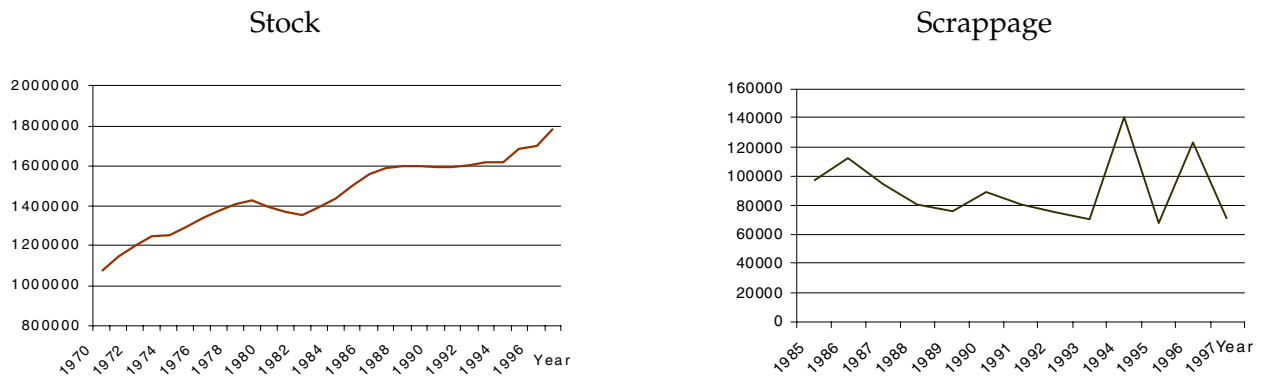


Figure 2 The development in the stock of passenger cars from 1970 to 1997 and the scrappage from 1985 to 1997.

However as it appears in fig. 1 the mentioned events are clearly seen as temporary movements in the overall trend. E.g. the reason for the heavy decline in the number of passenger cars in the beginning of the 1980s is a result of the second oil crises. Also the stagnation in the development covering the period from 1986 to 1990 is a result of the Danish October 1986 economic policy package. However there are not any immediate visible consequences of the "scrapping-of-cars" premium in 1994. In retaliation the above mentioned premium becomes visible looking beneath the overall development. Here the elements that determine the total development appear: the sale of new cars and the scrappage. The report primarily focus on scrapping one of the reasons being that further analyses of the sale of new cars has been performed (Cowi, 1998).

Scrappage

The development of scrappage is shown in fig. 1. The year 1994 showed a larger scrappage than the general trend as a result of the "scrapping-of-cars" premium. It is stated that the reason for this increase of the scrappage primarily is due to a relatively low scrappage in the period up to 1994. An unambiguous explanation to the large scrappage in 1996 can not be given but it may be due to special economic conditions that has led to a large number of temporarily unregistered cars which in 1997 were registered again. This is supported by a relatively large negative scrappage in 1997.

Part of the increase in the total size of the fleet of cars is due to a decrease of scrappage during the period. At the same time the purchase of new cars has increased as well which all together results in the large growth of the fleet of cars.

Heavier cars

The developments in the scrappage and the total stock is not unambiguous when segmented on weight and fuel type. The segmentation of the fuel type is not of significance as the number of non-petrol-cars does not make up more than 5 percent of the total stock. However, interesting information appears by the division on weight groups. One of the more important observations is that it first and foremost are the small cars that is being scrapped and affected by the "scrapping-of-cars" premium while medium size cars and large cars have a longer life. These cars are to a much smaller extent affected by the economic impacts. Yet it is not only in connection with the scrappage that a change towards heavier cars appears. Also when buying new cars still larger cars are being purchased. Part of the explanation to this phenomenon is that the individual models become heavier. This is not conceived immediately by the buyers who believe that they buy a car the same size as their former car. In this way it is not necessarily always a conscious choice of a larger car.

The consequence is unambiguous: the renewal of the fleet of cars towards larger cars as well as the general rise in the fleet of cars means that the energy consumption must be expected to increase. This despite a general improvement of the petrol consumption of the individual cars.

When using time series estimation a time series covering only six years is not long enough. It has therefore been decided to expand the data set with further information about the composition of the fleet of cars for a longer period of time. The supplementary information do not however exist on the level of detail required by the model. Meth-

ods to generate knowledge on a high level of detail from the less detailed information were therefore considered. However, as this involves the risk of introducing systematic bias in the estimates another method, *maximum likelihood estimation*, has been chosen instead. In maximum likelihood estimation the different sets of information are used at the same time in a generally formulated estimation.

A model for the development of the fleet of cars

Basic equation

The development in the fleet of cars is done on the basis of the following equation:

$$Stock_t = Stock_{t-1} + New\ cars_t - Scrappage_t$$

Stock is a state variable while *scrappage* and *new cars* are flow variables that are being converted into actual sizes by calculating them for a whole period of time. The index *t* represents the time.

The size of the stock for each period of time is determined in the Altrans behavioural model. It means that either the number of new cars or the number of scrapping must be seen as a residual. In order to use the detailed information about the number of cars on different levels of age it has been chosen to let the number of new cars appear as a residual when the scrappage has been determined.

The primary purpose with the model is to allocate and develop the stock on fuel type, weight and age groups respectively. In order to do this the scrappage of 120 groups are developed (2 fuel type, 3 weight and 20 age groups). In principle the scrappage in each group is developed from the following equation:

$$Scrappage_t = Constant + a_1 * Stock_{t-1} + a_2 * Income_t + a_3 * Petrol\ price\ index_t + a_4 * Maintenance\ costs$$

where $a_1 * Stock_{t-1} + a_2 * Income_t + a_3 * Petrol\ price\ index_t + a_4 * Maintenance\ costs$ are estimation parameters. Other explanatory variables have been tested but those stated in the equation were the ones that presented the best degree of explanation.

As a principle the allocation of new cars on fuel type and weight groups can be performed with a model developed by Cowi. This model is developed to analyse the energy-efficiency of passenger cars (Cowi, 1998). However, it still needs to be clarified whether the use of this model gives better results than an allocation based on the actual allocation current in 1997.

One of the big questions about the estimation of the model has been whether the scrappage should be estimated on the basis of the scrap share or on the absolute scrappage. There are advantages and drawbacks to both models but the most essential feature in this connection has been the regard to a consistent estimation. It has been chosen to base the estimates on the absolute scrappage but at the same time to use the actual stock as a supplementary explanatory variable.

Good estimation results

In general the estimations presents nice results with R^2 values of well over 0.90 (after correction of numbers of parameters and number of observations the R^2 are well over 0,50). Yet, the estimations offer the possibility of improvement by making separate explanatory variables

for each group. Unfortunately it has not been possible to do so within the scope of this project.

Emissions

Detailed calculation of emission factors

The overall objective of the described model is to be able to calculate the emissions and the consumption of energy from the person kilometres that are determined in the Altrans behavioural model via the allocation on the different types of cars. The allocation of weight and age groups offers the possibility of using differentiated emission factors. The emissions from the cars depend on the size of the car and not least the age of the car. Allocating on age groups it is possible to incorporate emission demands on prospective cars. The hitherto passed EU standards have been implemented in the model. Furthermore it is possible include in the attrition of the catalytic converters that inevitably happens when cars are being used. In the developed model both of these possibilities are used.

The construction of the emission part that includes the emissions of CO, CO₂, NO_x, SO₂, HC and particles is based on Winther (1999). An adjustment of the calculations of the emission contribution due to cold starts has been made on the basis of an ad hoc method. However, in a prospective revision of the model this is expected to be adjusted to the probable rides in car calculated in the Altrans behavioural model.

The development of the emission factors is based on the age of the cars. This is, among other things, done by means of information from the Danish Road Directorate about how much cars of different ages drive pr. year. For all emission components and for both cold starts and warm emissions a connection from the age of the car to the actual emission factor is established.

Application

The model has been used on a prediction of the fleet of cars. The prediction has been made by the Danish Road Directorate in 1998 with the development of the significant explanatory variables described in the ADAM model (Statistics Denmark, 1995). The result of this prediction of the composition of the fleet of cars is indicated in *table 1*.

The projected composition of the fleet of cars shows the same tendencies observed in the historical development. The reason for this is that the explanatory variables likewise continues the development that was seen in the historical progress.

Table 2 Distribution of the fleet of cars from projection of the total fleet of cars made by the Danish Road Directorate.

Fuel type	Weight	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Petrol	0-800 kg	16,91%	14,30%	11,94%	9,63%	7,55%	5,62%	3,78%	2,02%
Petrol	800-1000 kg	39,57%	38,18%	37,33%	36,18%	35,37%	34,53%	34,00%	33,76%
Petrol	>1000 kg	38,96%	42,72%	45,53%	48,64%	51,13%	53,63%	55,76%	57,49%
Diesel	0-800 kg	0,12%	0,06%	0,05%	0,04%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%
Diesel	800-1000 kg	1,37%	1,18%	1,08%	0,93%	0,78%	0,57%	0,35%	0,20%
Diesel	>1000 kg	3,07%	3,56%	4,07%	4,58%	5,14%	5,65%	6,12%	6,54%
Total		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Weaknesses that need to be improved

The developed model has some weaknesses. The most significant being the lacking linkage to the behaviour that lies behind the development of the fleet of cars. In other words there is not a consistent connection between the development of the total fleet of cars and the components that describes the composition of the fleet of cars. For instance the sale of new cars is defined as a residual in stead of being determined by use of the detailed information that exists in the published statistics and in the database described in this report.

1 Indledning

ALTRANS afrapportering

Denne rapport er et led i afrapporteringen af forskningsprojektet ALTRANS – Mobilitets- og Miljøkrav til ALternative TRANSportsystemer. Rapporten beskriver den del af modellen, der angår den egentlige ALTRANS model, samt den del der angår udviklingen af modellen til en egentlig prognosemodel. En overordnet beskrivelse af modelkomplekset i sin helhed kan findes i Christensen (1999a), mens mere specifikke dele findes i Thorlacius (1998) samt i Rich (1999a).

I rapporten beskrives udviklingen af en delmodel til at bestemme sammensætningen af personbilparken ud fra en fremskrivning af bestandens størrelse foretaget i ALTRANS adfærdsmodellen.

Rapportens to dele

Rapportens første del (kapitel 2 og 3) giver en beskrivelse af det essentielle datasæt – et udtræk fra Danmark Statistiks database over bilparken fra 1991 til 1997. Herudover indeholder denne del også en analyse af de tendenser, der kan findes i dette datasæt. Til anvendelsen skal datasættet udvides til at dække en længere årrække. Metoderne til dette opstilles ligeledes i den første del.

Den anden del af rapporten (kapitlerne 4 og 5) er en teknisk beskrivelse af, hvordan efterbehandlingsmodulet til fremskrivning af bilparken er opbygget.

Efterbehandlingsmodulet tager udgangspunkt i output fra adfærdsmodellen, der er beskrevet i Rich (1999a og b), og beregner fordelingen af den samlede bilpark på forskellige bilstørrelser samt diesel- og benzinbiler. Denne fordeling anvendes derefter til at beregne trafikarbejdet i de angivne kategorier, og det resulterende energiforbrug med tilhørende energirelaterede emissioner af CO₂.

En detaljeret beskrivelse af energi- og emissionsfaktorerne samt en metode til at fremskrive disse er beskrevet i Winther (1999). I nærværende rapport gives en kort sammenfatning af metoden.

1.1 Princippet i fremskrivningen

Hovedformål

Hovedformålet med modellen til fremskrivning af personbilparken er, at kunne beregne energiforbruget og emissionerne ved kørsel i personbil i forskellige scenarier beregnet i ALTRANS. Disse beregninger sker principielt ud fra følgende ligning.

$$E(t) = e(t) * P(t) * K \tag{1.1}$$

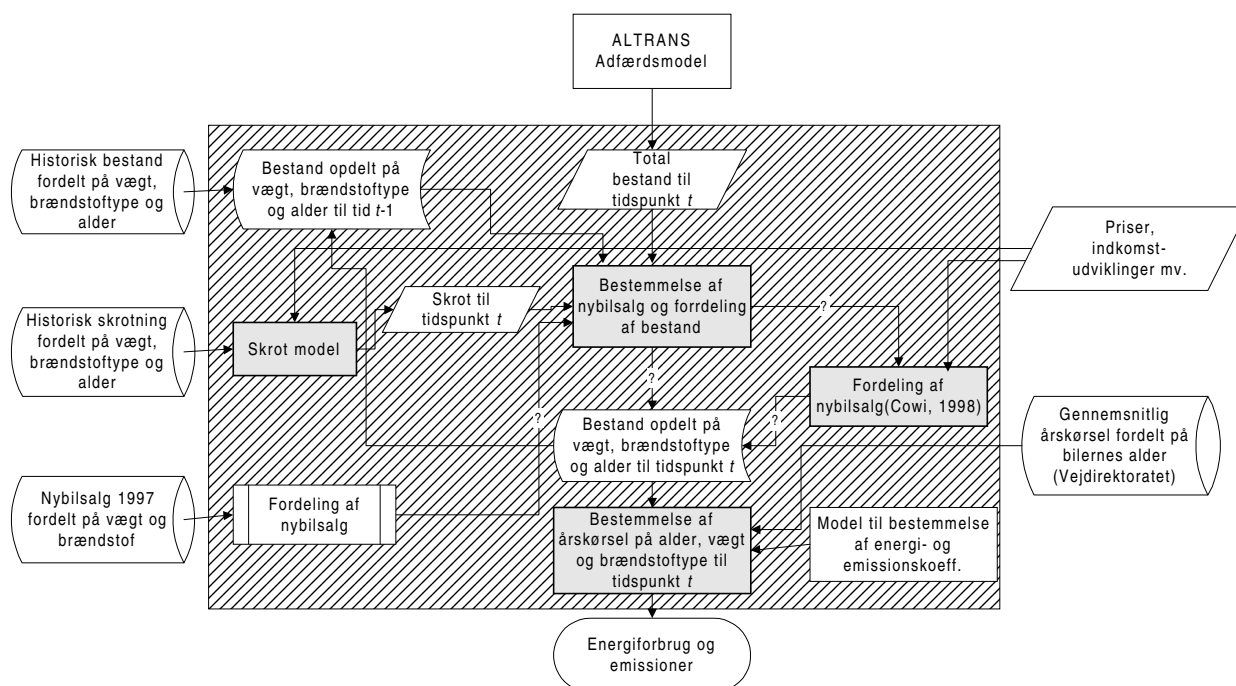
hvor E er energiforbrug(eller emissioner) til tidspunkt t ,
 e er energifaktoren (emissionsfaktoren) til tidspunkt t ,
 P er bestanden af biler til tidspunkt t (bestemt i Altrans) og
 K er en angivelse af, hvor mange kilometer en bil kører på årsbasis. Denne er estimeret på baggrund af et gennemsnit af eksisterende oplysninger for en række år.

Det fremgår heraf, at det forventes, at der er en udvikling i energifaktoren over tid. Bestemmelsen af denne udvikling er beskrevet nærmere i Winther (1999) og er sammenfattet i Kapitel 5.

Det primære i denne rapport er udviklingen af en metode til at bestemme bestanden af personbiler i forskellige kategorier $P(t)$ i ovenstående sammenhæng. Den samlede bestand bestemmes i Altrans adfærdsmodellen (se Rich, 1999a), mens det der skal udvikles her, er fordelingen på vægt, alder og brændstoftyper.

1.2 Modellens struktur

Den samlede model er illustreret i Figur 1.1. Den egentlige bilparkmodel ligger indenfor det skraverede område.



Figur 1.1 Skitse af hele modelberegningen. De skraverede kasser angiver de delmodeller, der beskrives i denne rapport. De resterende dele er primært angivelser af dataudvekslinger mellem de enkelte delmodeller. Et "?" indikerer, at flere metoder kan anvendes til at nå samme mål.

Modellen består af en række delmodeller (angivet med kasser) og en række output, der gemmes for at kunne anvendes til at angive et forløb over tid (f.eks. bestanden på tidspunkt t).

Input

Input til modellen kan groft deles op i to forskellige typer:

1. Input, der anvendes til at estimere udviklinger og
2. Input, der udvikles ud fra sammenhængene estimeret i modellen.

Input under pkt. 1 er i figuren angivet som "rør". Input i venstre side angiver informationer, der kan udtrages fra personbil databasen. I højre side angives andre input, bl.a. Vejdirektoratets opgørelse af årskørslen for biler i forskellige aldre.

Herudover er et væsentlig input til nybilsalg modellen oplysninger om priser og indkomstniveauer i de pågældende år. Disse oplysninger anvendes endvidere til at beskrive f.eks. udviklingen i skrotningen.

Udvikling

Udviklingen af bilparken baseres på en sekventiel proces, hvor en ny opgørelse af bestanden ved årets slutning foretages for hvert år fra udgangsåret (t_0) til det aktuelle prognoseår (t_p). Denne udvikling består af tre elementer – *tilgang af nye biler, den eksisterende bestand og skrotningen* – på følgende måde:

$$\text{Bestand}(\text{år } t) = \text{Bestand}(\text{år } t-1) + \text{Nye biler}(\text{år } t) - \text{Skrotning}(\text{år } t) \quad (1.2)$$

Udgangspunktet for denne beregning kommer typisk fra den historiske bestand; sammensætningen af den nye bestand sker ved hjælp af den i ALTRANS beregnede totale bestand og skrotningen. I en sådan sammenhæng kan enten tilgangen af nye biler eller afgang i form af skrotning beregnes som en residual.

I den her anvendte model beregnes tilgangen af nye biler som en residual. Fra Vejdirektoratets bestemmelse af årskørslerne af biler i bestemte aldersklasser beregnes den samlede årskørsel af biler i de enkelte brændstof- og vægtklasser for hver enkelt alderskategori.

Energiforbruget og emissionerne beregnes afslutningsvis ved at koble de beregnede årskørsler med tilhørende energi- og emissionskoefficeinter beregnet vha. modellen til bestemmelse af netop disse.

En nærmere beskrivelse af de enkelte modeldele findes i kapitlerne 4 og 5.

2 Personbildatabasen

Det grundlæggende datasæt til etablering af modellen til fremskrivning af personbilparken, og dermed de resulterende emissioner, er en opgørelse af bestanden af personbiler i perioden 1991 til 1997. Disse oplysninger er et udtræk af Danmarks Statistiks personbildatabase. For hvert år fremover føjes nye oplysninger til, og modellerne kan derfor i princippet opdateres med den nye information.

I dette kapitel beskrives en række tendenser, der kan udledes af databasen. Der fokuseres på inddelinger i samme kategorier som de inddelinger, der senere bliver anvendt i udviklingen af skrotningsmodellen. Dette svarer også til de inddelinger, der umiddelbart kan findes i den almindelige statistik på området.

2.1 Indledning

Det grundlæggende datasæt

Databasen indeholder opgørelsen af bestanden af biler fra 1991 til 1997 fordelt efter en række faktorer. Faktorerne er *mærke, model og variant; drivmiddel, vægt, ejerskabet samt første indregistreringsår*. Af disse er det primært de 4 første faktorer, der giver anledning til en opdeling af bilparken, da vægten i de fleste tilfælde er entydigt koblet til en bestemt variant, og da det er de samme biler, der optræder i de forskellige former for ejerskab (privat, firma og uidentificeret). I alt opgives ca. 26.000 observationer (records) for hvert år (1991 til 1997), der giver anledning til ca. 11.000 forskellige varianter.

En så detaljeret opgørelse af bilparken eksisterer ikke på elektronisk form hos Danmarks Statistik for perioden før 1991. De danske bilimportørers sammenslutning fører dog en sideløbende statistik, hvor nogle af de ovenstående oplysninger kan frembringes for tidligere perioder. Dette er emnet i kapitel 3.

Der er for de enkelte varianter ikke andre oplysninger om bilerne end vægten. Der arbejdes for tiden i Vejdirektoratet og på Danmarks Statistik på at udarbejde en database, hvor oplysninger om hver enkelt variant anføres. Dette arbejde er dog særdeles omfattende, hvorfor der ikke forventes nyt herfra indenfor den nærmeste fremtid.

Kvalitetskontrol

På Danmarks Statistik gennemføres en vis grad af kvalitetskontrol af de oplysninger, der ligger i databasen. Denne kontrol fanger dog ikke alle de unøjagtigheder med videre, der kan optræde. Der er således konstateret enkelte tilfælde, hvor den samme variant optræder under forskellige navne. Det er dog ikke fundet, at det var besværet værd, at forsøge at rette op på disse fejl, specielt i denne sammenhæng, hvor bilerne alligevel grupperes efter vægt og drivmiddel, hvor f.eks. forskellige noteringer af den samme variant ikke vil placere dem i forskellige grupper. Et andet problem opstod i forbindelse med det udtræk fra Danmarks Statistiks som vi modtog. I dette udtræk var der enkelte records, der ikke kunne læses eller evt. manglede en eller flere af oplysningerne. Disse records blev fra starten fjernet fra databasen. Det drejede sig dog om et forholdsvist lille antal biler uden nogen form for systematik, hvorfor det i denne sammenhæng ikke vil

have den store betydning.

I de næste afsnit ses først på den generelle udvikling af bestanden, herunder udviklingen af nybilsalget, dernæst ses på skrotningen, der kan opfattes som den anden side af udviklingen i forhold til nybilsalget.

2.2 Generelle tendenser i databasen

2.2.1 Sammensætning af bestanden

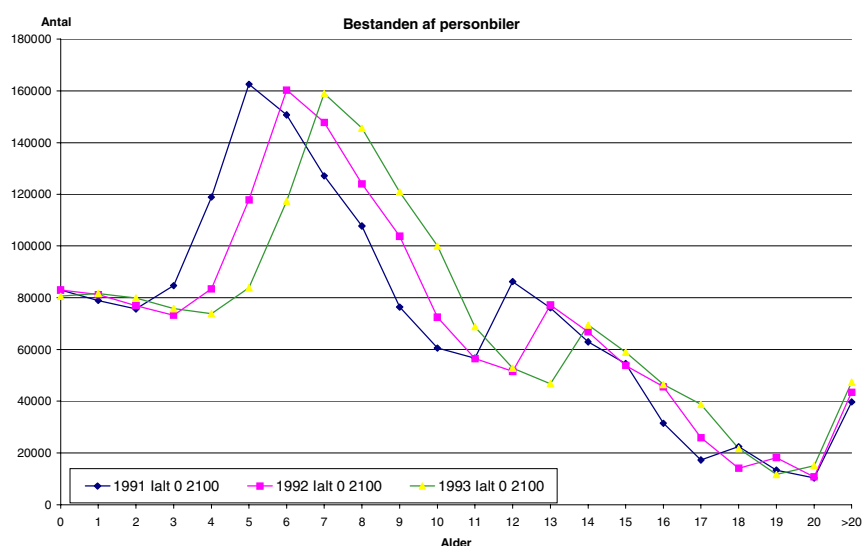
Kartoffelkur

I Figur 2.1 er bestanden af personbiler i 1991 til 1997 angivet fordelt på alder (en kurve for hvert år). I figuren kan flere ting observeres. Der ses en markant top af biler, der i 1991 var i aldersgruppen 5-7 år. Toppen forskyder sig et år mod højre for hvert år, hvor bilerne i de følgende kurver bliver ældre. Alderen af disse biler er således, at mønstret afspejler den vækst, der var i økonomien frem til 1985/86. I perioden steg nybilsalget meget kraftigt. I 1987 indtrådte effekten af *Kartoffelkuren*. Effekten af kartoffelkuren er meget tydelig i figuren, idet puklen for 1991 topper for 5 årige biler, svarende til at 1986 var det sidste år inden virkningen indtræder.

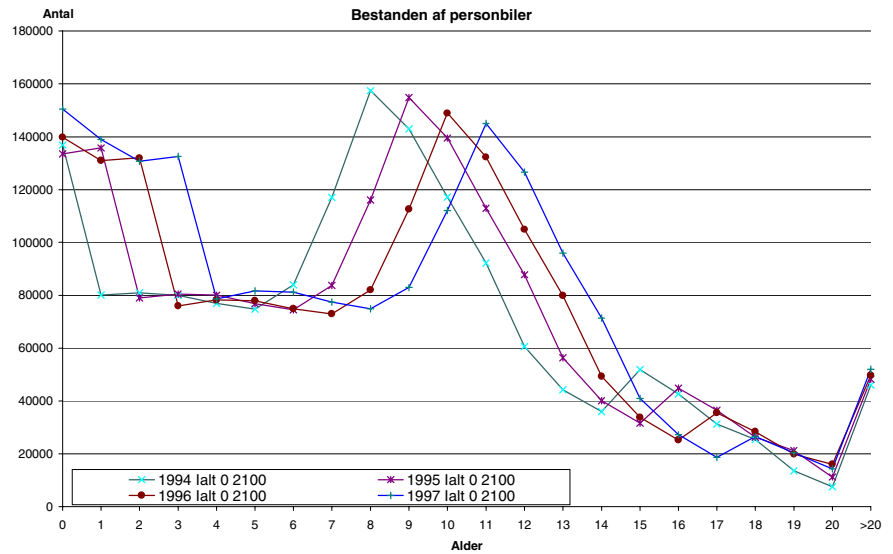
Skrotningspræmien

Nybilsalget forblev herefter lavt frem til 1994, hvor en anden effekt: *skrotningspræmien* resulterede i udskiftning af gamle biler til nye. Dette ses ved, at kurven for 1994 ligger væsentligt lavere end de tilsvarende kurver for 1991, 1992 og 1993 for specielt for biler i alderen 15-20 år; ligesom det kan konstateres at der har været en væsentlig stigning i nybilsalget (niveauet af 0-årige biler). Bilsalget har derefter været fastholdt (endda svagt stigende, dog uden at salget har nået niveauet i perioden op til kartoffelkuren).

a)



b)



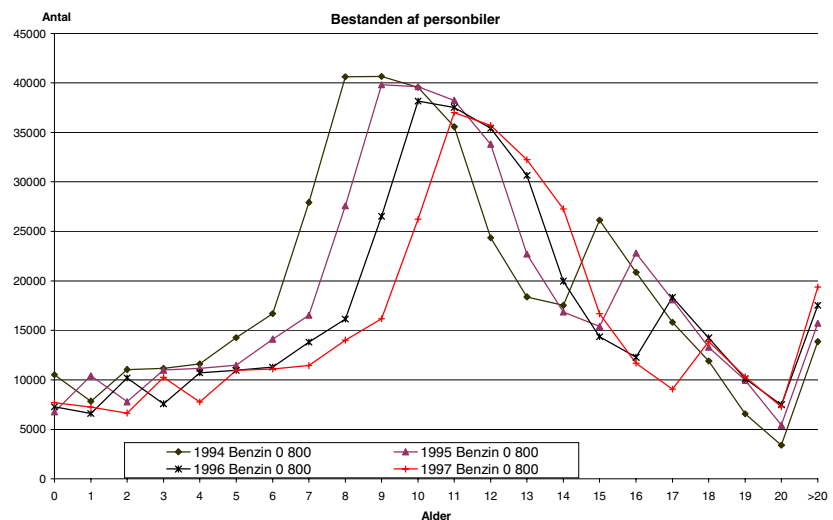
Figur 2.1 Bestanden af personbiler for årene a) 1991 til 1993 og b) 1994 til 1997 fordelt på alder.

Mønstret er det samme uanset brændstoftype, men den dominerende faktor i Figur 2.2 er benzinerne, der udgør ca. 95% af personbilbestanden (en andel, der i perioden 1991 til 1997 ligger relativt fast).

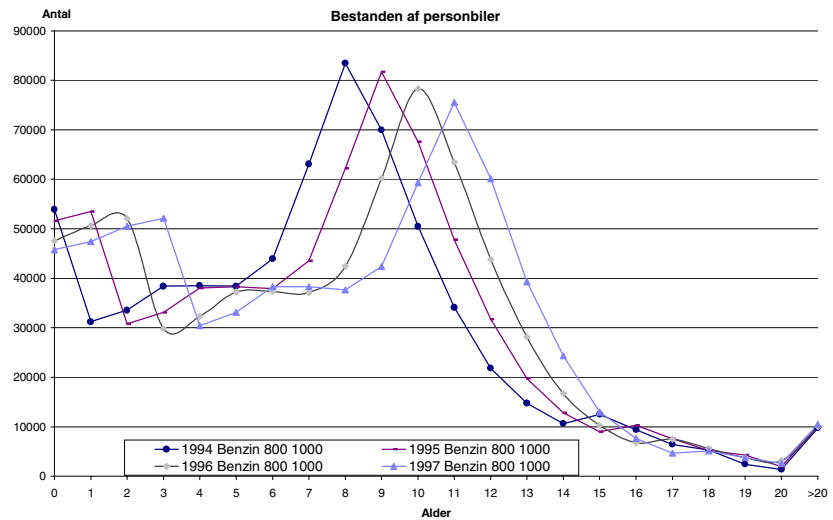
Udvikling på vægkategorier

Ses derimod på vægtfordelingen, - i første omgang udelukkende på vægkategorierne 0-800kg, 800-1000kg og over 1000kg - er mønstret noget anderledes. Disse tre kategorier repræsenterer hhv. ca. 25%, 40% og 35% af bilparken (i 1997).

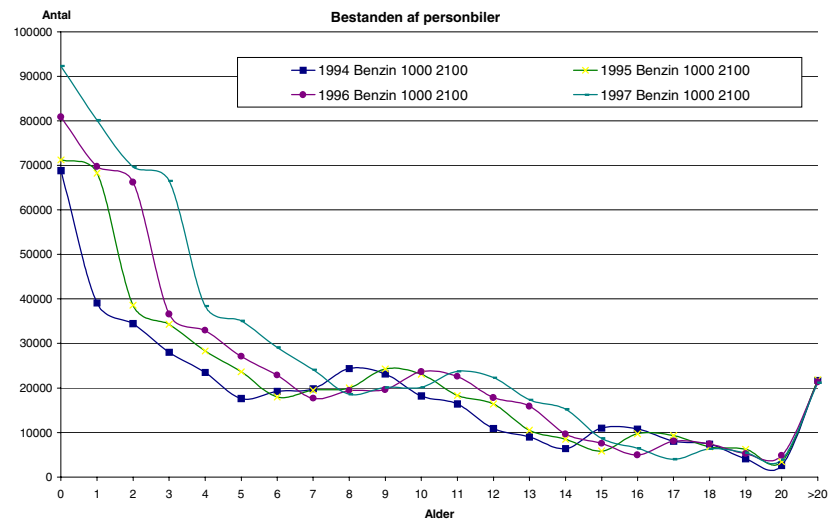
a)



b)



c)



Figur 2.2 Bestanden af benzinbiler med vægt fra a) 0 til 800 kg, b) 800-1000 kg samt c) fra 1000 kg. og opefter. Kun årene 1994 til 1997 er vist af overskuelighedshensyn¹. Mønstret er stort set det samme i alle årene, dog bortset fra et noget lavere niveau af nybilsalget.

Begrundelsen for at vælge netop disse tre grupperinger er, at disse svarer bedst til en opdeling på motorstørrelser. Dette er den relevante opdeling i forbindelse med energiforbrug og emissioner². En stikprøve, der kobler motorstørrelse med vægt er angivet i appendiks C. Inddelingen på vægtklasser er foretaget på baggrund af denne tabel. Udviklingen af disse tre vægtklasser af biler er illustreret i Figur 2.2.

For bilerne i mellemklassen (Figur 2.2b) er mønstret lig det generelle mønster. Ses i stedet på de små biler (Figur 2.2a), har antallet af disse

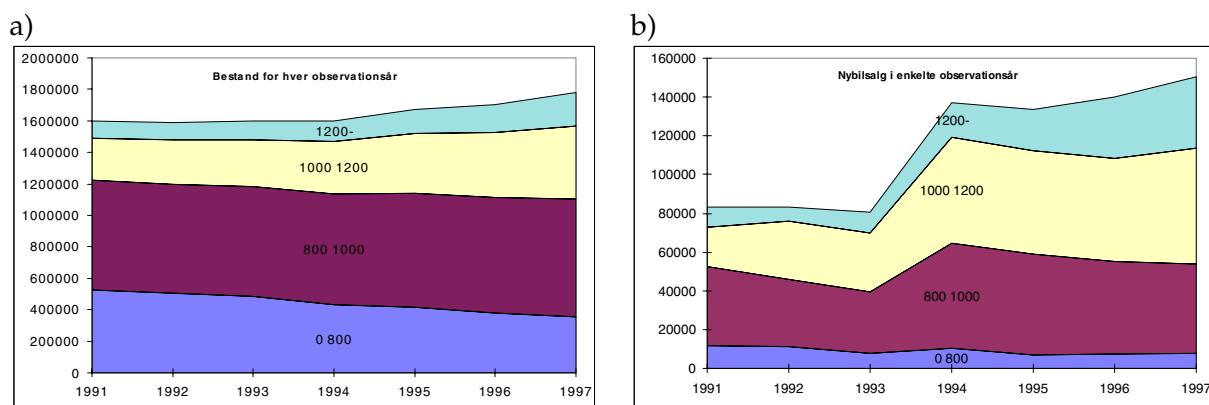
¹ I appendiks A er de tilsvarende kurver for 1991 til 1993 angivet.

² I Copert modellen opdeles energi- og emissionskoefficienter på benzinbiler i tre grupper, og for dieselmotorer i to grupper baseret på motorstørrelser. De angivne vægtklasser svarer således bedst muligt til denne inddeling.

biler været støt voksende frem mod 1986, hvorefter der kom et kraftigt fald i anskaffelsen af nye biler. Dette kan igen tilskrives virkningen af kartoffelkuren. Til gengæld er der ikke kommet en stigning i nybilsalget i løbet af 90'erne som det er sket for de tungeste (og mellem-tunge) biler. For de tunge biler (vægt over 1000 kg., Figur 2.2c) er det svært at se effekten af kartoffelkuren. Til gengæld har salget af biler i denne vægtsklasse været stigende gennem hele perioden og specielt siden 1994.

Skift mod tungere biler

Tendensen er, at udskiftningen af bilparken sker over mod generelt tungere biler. I løbet af 10-15 år vil denne effekt være slået næsten fuldt igennem, så fordelingen af bilerne på de tre vægtskategorier tilnærmelsesvis vil være i forholdet 10%/40%/50%, hvis den seneste udvikling fastholdes. Ud fra Figur 2.2 fremgår det dog ikke, om forskydningen kun er sket lige omkring grænserne mellem de enkelte vægtskategorier. Ved at se på en finere opdeling af bilerne på vægtskategorier viser det sig imidlertid, at fænomenet stadig er helt entydigt, at lette biler udskiftes med tungere biler. Det fremgår således af Figur 2.3, hvor der er foretaget en yderligere opdeling af den tungeste kategori af biler, at den kraftige forøgelse i salget af store biler gælder såvel i vægtsklassen 1000-1200 kg. som i klassen over 1200 kg. Denne figur underbygger således disse konklusioner.



Figur 2.3 Udviklingen af bilparken i fire vægtskategorier a) hele bilparken, b) nybilsalget.

Figur 2.3a) viser at bilparken har været svagt faldende frem til 1994, hvorefter den har været svagt voksende. Dette betyder altså, at selv om skrotningspræmien har betydet en øget afgang (se f.eks. Figur 2.4) af gamle biler er denne mere end opvejet af nybilsalget, der, som det ses i Figur 2.3b), steg kraftigt i 1994 og generelt set har været stigende siden. Således har bilsalget i 1997 været det største siden 1986, og det forventes endda at blive endnu højere i 1998.

Betydning for emissioner og energiforbrug

En konsekvens af udviklingen mod en tungere bilpark er, at energiforbruget og emissionerne alt andet lige vil stige. Tungere biler har generelt større motorer, og dermed også større energiforbrug og større emissioner, end de mindre biler.

Den samlede konsekvens for energiforbrug og emissioner kan ikke udledes alene ved at se på udviklingen af nybilsalget. En lige så vigtig faktor er afgang fra bilparken, eller skrotningen. Hvis det er meget energiforbrugende biler der skrottes, er sandsynligheden for at en ny bil, uanset størrelse, vil være mere energieffektiv og dermed betyde et lavere samlet energiforbrug.

Der er dog stadig det problem, at bestanden af små biler falder, mens antallet af store biler er kraftigt stigende. Det må alt andet lige betyde, at folk anskaffer en større bil, når de afskaffer (skrotter) den gamle. Man får derved ikke det fulde udbytte af, at nye biler er mere energieffektive og mindre emitterende, idet denne gevinst udhules af det større forbrug af store biler. Et element i udskiftningen mod større biler er, at nye udgaver af den samme bilmodel med tiden bliver tungere, uden at bilen i sig selv bliver større. Folk opfatter derfor ikke, at de i realiteten anskaffer en tungere bil. Der kan således ikke umiddelbart sættes lighedstegn mellem størrelse og vægt.

Analysen her kan ikke give svaret på, om den ene effekt har været stærkere end den anden. Da der ydermere ikke er indeholdt information om adfærden af de personer, der anskaffer de enkelte biler, kan der ikke siges noget om den samlede effekt, idet f.eks. ændret kørselsadfærd som følge af bilskift ikke indgår osv.

Tabel 2.1: Udviklingen i emissionen af CO₂ baseret på trafikarbejdet i TU data (se nærmere beskrivelse i Christensen, 1999a).

År	1994	1995	1996	1997
CO ₂ indeks	1	1,05	1,10	1,14

I Tabel 2.1 antydes den samlede udvikling af emissionerne ved en beregning af CO₂ emissionerne baseret på trafikarbejdet i personbiler fra transportvaneundersøgelsen fra 1994 til 1997.

Analysen kan, som det allerede er gjort, sige noget om den generelle udvikling af bilparken, samt om nogle af de faktorer der er betydende i denne udvikling. Da databasen ikke indeholder informationer om motorstørrelser med videre vedrørende de enkelte biler, kan der ikke siges noget præcist om den samlede effekt på energiforbruget.

Den anden del af udviklingen i bestanden af personbiler er skrotninger. I næste afsnit ses derfor på udviklingen af skrotningen gennem perioden 1992 til 1997.

2.3 Udvikling af skrotning

Beregning af skrotning

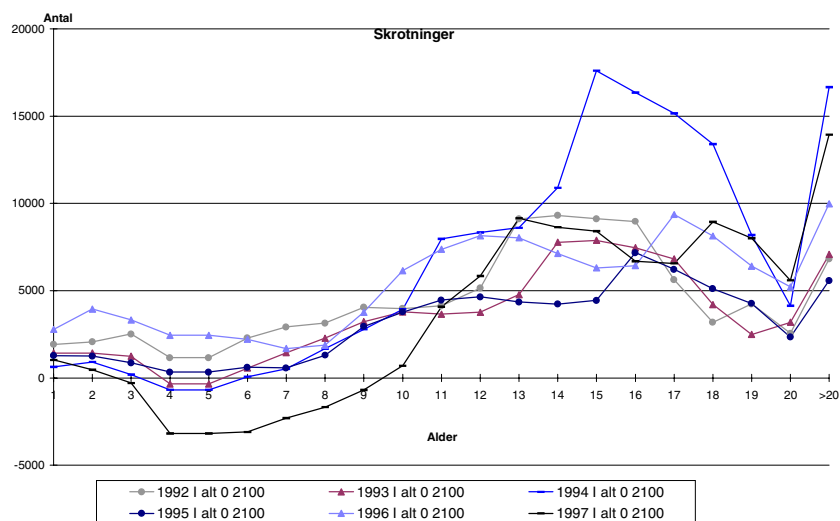
For at finde skrotningen i de enkelte år beregnes forskellen i bestandene fra det ene år til det næste. I omstående figurer vil skrotningen således være den vertikale afstand mellem to på hinanden følgende år (kurver), hvor man dog skal rykke den seneste kurve et enkelt år (horisontal forskydning).

Privatbiler og firmabiler

Der observeres tydelige forskelle i skrotningen når man ser på privatbiler og firmabiler. Primært er forskellen, at bestanden af biler til erhvervsformål "skrottes" i en meget tidligere alder, typisk inden de når alderen 5 år, mens privatbiler lever noget længere inden de skrottes. Effekten af skiftet fra erhvervsbil til personbil afbildedes dog ikke i figurerne, hvor biler behandles under et uanset ejerskabet og anvendelsen.

De fleste af de biler der anvendes som erhvervsbiler, overgår, når de "skrottes", fra anvendelsen til erhvervsformål til bestanden af privatbiler. Nettoresultatet af denne overførsel til privatbiler er, at be-

standen af privatbiler for de yngre årgange vokser i stedet for at være udsat for et svagt fald som følge af skrotning. Når bilerne overgår fra status som erhvervsbil til privatbil, indgår de i privatbilopgørelsen med første registreringsår som det år, hvor de blev anskaffet som erhvervsbiler. Denne tilgang af biler, der er ældre end 0 år, betegnes herefter som "negativ skrotning".



Figur 2.4 Total skrotningen af danske biler fordelt på alder og observationsår.

I Figur 2.4 vises den totale (både private og erhvervsbiler) skrotning af biler for de enkelte år. I figuren fremgår den omtalte negative skrotning (dog ikke pga. overførsel fra erhvervsbiler til privatbiler). Specielt 1997 træder meget tydeligt frem, idet den negative skrotning her er specielt stor og gældende for langt ældre biler, end det er tilfældet i alle de andre år.

Negativ skrotning

Et af de gennemgående træk i figurerne er den "negative" skrotning, der specielt for 1997 viste sig at være ganske betydelig.

Den negative skrotning opstår af flere grunde. Det er allerede anført, at en betydelig grund kunne være, at biler overføres fra at være firmabiler til at være privatejede biler.

En væsentlig grund til negativ skrotning er, at en del biler ikke sælges det år, hvor de introduceres på markedet, men stadig opgøres i statistikken med introduktionsåret som første registreringsår.

En anden grund er import af brugte biler. Disse indføres også i statistikken fra det år, hvor bilen er introduceret på markedet. At dette kan være en betydelig grund skyldes lovgivningen på området. Hvis prisen i udlandet er af en vis størrelse sammenlignet med den tilsvarende pris i Danmark, bliver bilen fritaget for afgift.

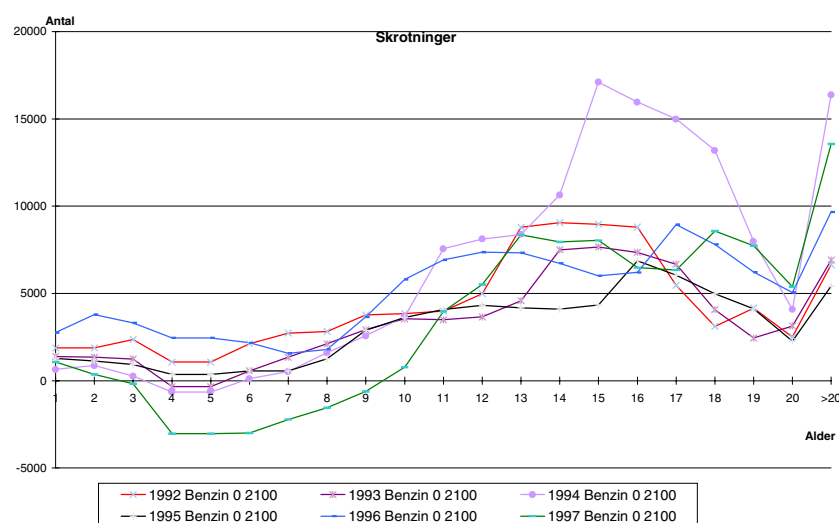
Den sidste grund, der skal anføres, er de såkaldte genregistreringer, hvor en bil i en periode har stået uden at være tilmeldt bilregistret. I det øjeblik den tilmeldes igen, optræder den i databasen som før, nemlig under sit første registreringsår. Da bestanden i denne analyse kun opgøres én gang om året, pr. 31.12., afhænger meget af, hvor mange biler der er afmeldt på denne dato i de enkelte år. I en perio-

de, hvor bilen er solgt til forhandleren, er de således "skrottet". Først året efter købes de igen af private. Året 1997 kan have været et engangsår med store negative skrotninger, fordi forhandlerne har solgt hele deres bestand af brugte biler ud.

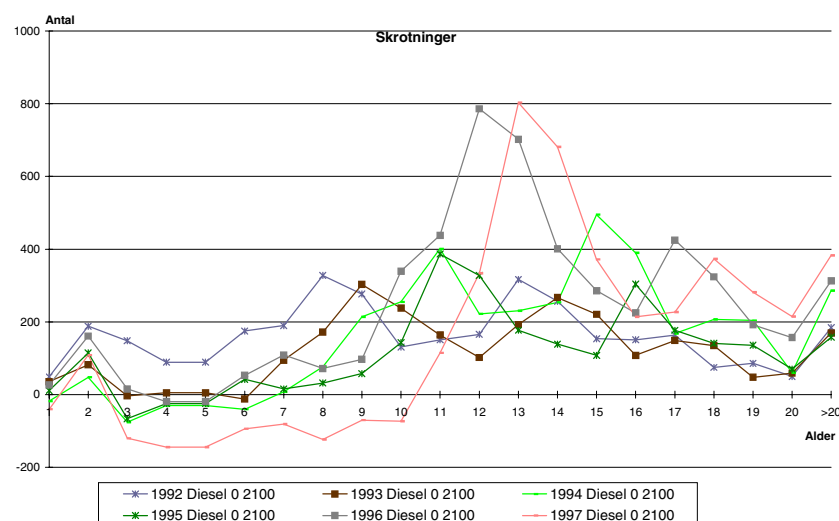
Mange skrotninger i 1994

Et andet fremtrædende element er "puklen" af skrotninger i 1994; specielt for biler i alderen 13 til 20 år. Denne pukkel er det tydelige resultat af skrotningspræmien. Det bemærkelsesværdige i den sammenhæng er, at der ikke er en tilsvarende lav skrotning i de efterfølgende år. Dette hænger i stor udstrækning sammen med, at der i en længere årrække før 1994 havde været en meget lav skrotning. Dette bidrog til, at bilerne forblev længere på markedet, inden de blev skrottet. Det er derfor i højere grad den manglende skrotning, der kan ses i figuren end en egentlig ekstra genereret skrotning. Dette bekræftes også til dels i rapporten *Skrotningspræmien, - Effekter for miljø og bilpark* (Transportrådet, 1995).

a)



b)



Figur 2.5 Skrotningen fordelt på a) benzin- og b) dieslebiler.

Opdeling på brændstoftype

Det generelle billede i Figur 2.4 ændres dog lidt, når der dekomponeres på hhv. brændstoftyper og vægtklasser.

I Figur 2.5 er en dekomponering på brændstoftype³ illustreret. De fleste af de observationer, der gælder for det generelle billede, er igen fremtrædende for benzinbiler. F.eks. ses skrotningen i 1994 at være større end i de andre år, og den forholdsvis store negative skrotning i 1997 genfindes også (både for benzin- og dieslbiler).

For benzinbilerne ser skrotningen ud til at følge et rimeligt ensartet mønster i de enkelte år, mens det for dieslbilerne er noget mere broget. Umiddelbart kan det godt se ud som om, der ikke er noget mønster af nogen art i skrotningerne. Effekten af skrotningspræmien træder ikke tydeligt frem. Ligeledes er der store udsving i skrotningen afhængig af alderen, så entydige konklusioner kan der derfor ikke gives. Samtidigt kan det dog anføres, at dieslbilerne, som tidligere nævnt, kun udgør ca. 5% af bestanden, hvorved de store udsving let forsvinder i det generelle billede (som det også fremgår af Figur 2.1 og Figur 2.2).

I de ovenstående figurer er det dog det faktiske niveau af skrotningerne, der er angivet. Dette kan således være et lettere misvisende billede, da det er meget afhængigt af størrelsen af de enkelte bestande (på alder og vægtgrupper). Der er, som det blev set i Figur 2.1 og Figur 2.2, store udsving i disse bestande. Det er derfor relevant at se på de andele af en bestemt bestand, der skrottes. Der vendes tilbage til dette senere.

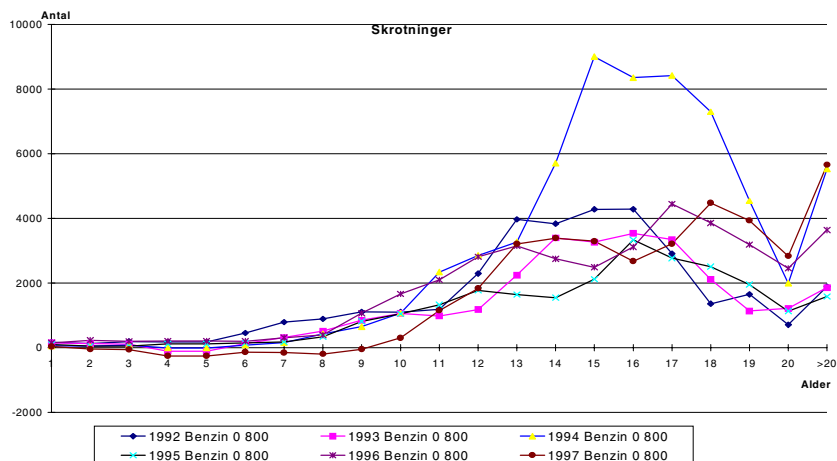
Opdeling på vægtklasser

I Figur 2.6 vises skrotningen af benzinbilerne fordelt på de tre vægtklasser. Igen er der mønstre, der går igen. Specielt den relativt store skrotning i 1994, en stor top af skrotninger af biler der er omkring 15 år gamle, samt den relativt store negative skrotning i 1997. Mønstrene i de tre figurer synes nogenlunde sammenfaldende.

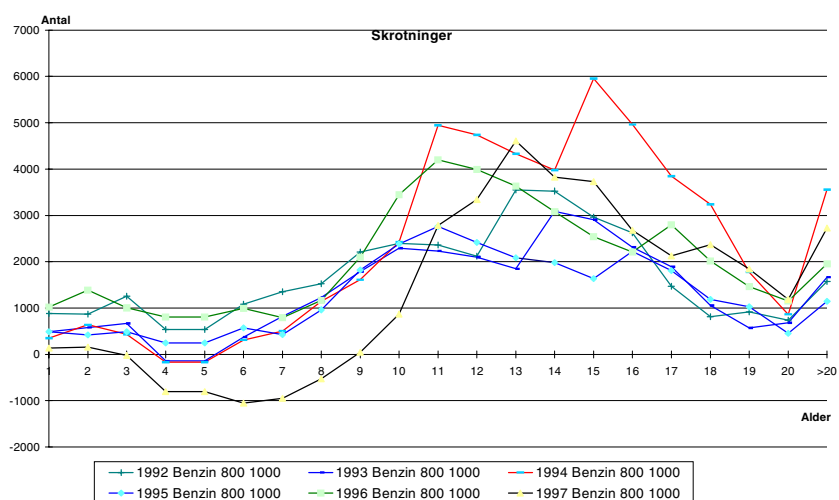
Der er ved første øjekast store ligheder mellem de enkelte observationsår, dog med visse udsving. Ligesom før, bør lighederne mellem de enkelte observationsår ikke diskuteres, uden at se dem i forhold til bestandene i de enkelte grupper.

³ Da antallet af biler i bilparken, der ikke kører på benzin eller diesel, er forsvindende lille, er disse biler her slået sammen med dieslbilerne.

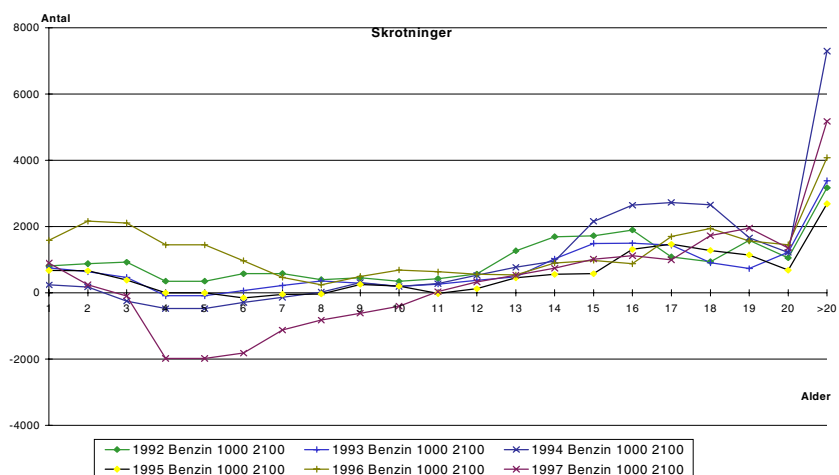
a)



b)



c)



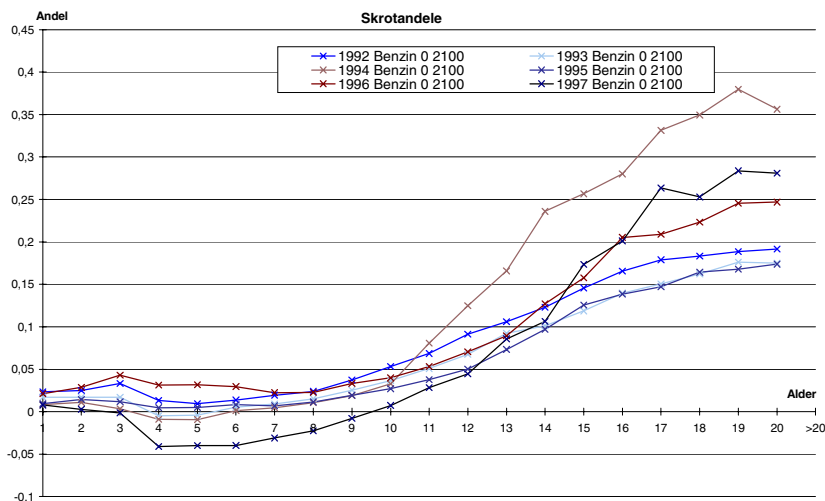
Figur 2.6 Skrotningen af benzinbiler⁴ fordelt på vægtklasser. a) Små biler fra 0 til 800 kg., b) biler i klassen 800-1000 kg. og c) biler i klassen 1000 til 2100 kg

⁴ Antallet af dieselbiler der skrottes, er ubetydeligt i en figur som denne, og vil ikke ændre det generelle udseende.

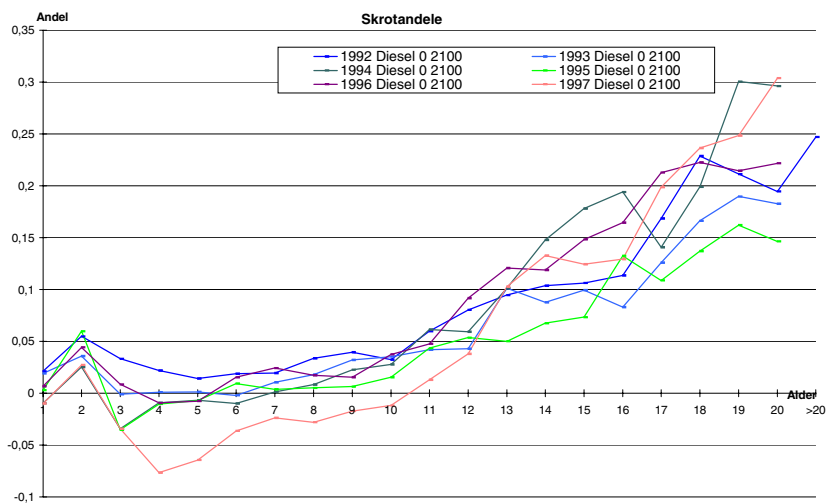
Det vil derfor være relevant at se på udviklingen af skrotninger, hvor de enkelte skrotninger angives som andele af den tilhørende bestand af biler. I Figur 2.7 og Figur 2.8 gentages Figur 2.5 og Figur 2.6, idet skrotningerne nu angives som andele af bestanden primo de enkelte år.

Det generelle billede er nu, at forløbet af skrotningerne i de enkelte år er meget ens. For benzinerne ses skrotningspræmiens effekt i 1994 tydeligt, mens årene forud ligger særlig lavt. Det samme forhold observeres ikke for dieselmotorerne.

a)



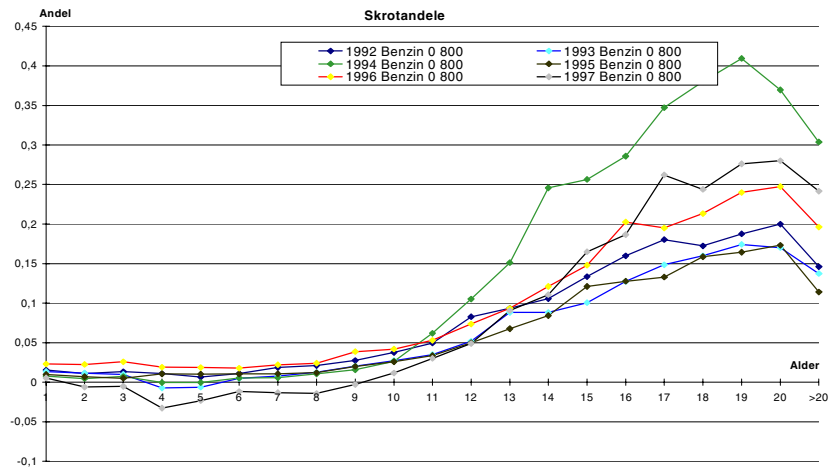
b)



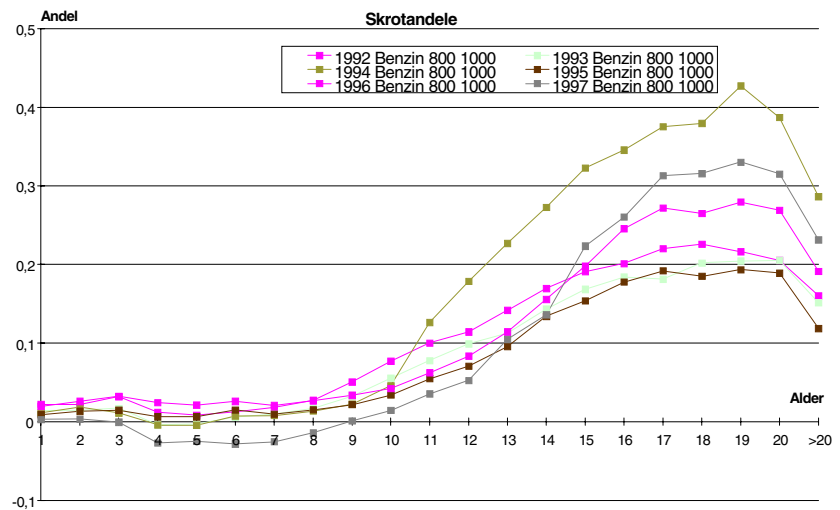
Figur 2.7 Skrotningen fordelt på brændstoftype som andel af bestanden primo de enkelte år. a) benzin og b) dieselmotorer.

Også ved en opsplitning på vægtklasser bliver forløbene mere entydige. Dette ses i Figur 2.8, der illustrerer fordelingen på vægtklasser. I figuren er betydningen af kartoffelkuren igen meget tydelig, idet kurven for 1994 generelt (og i særdeleshed for de ældre biler) ligger væsentligt over de andre kurver.

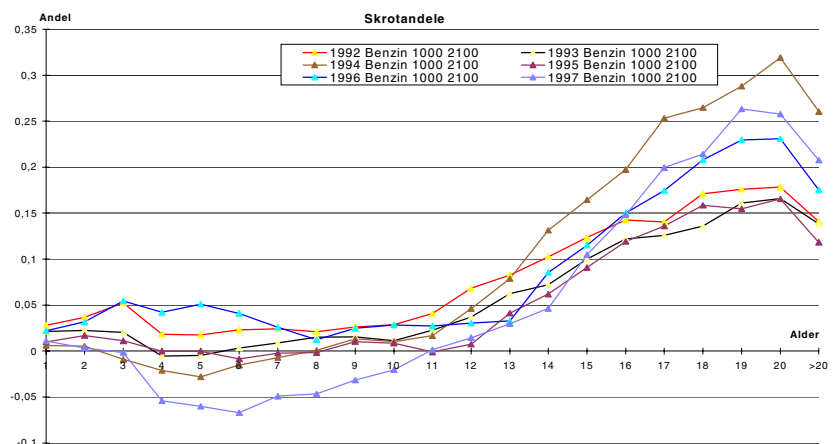
a)



b)



c)

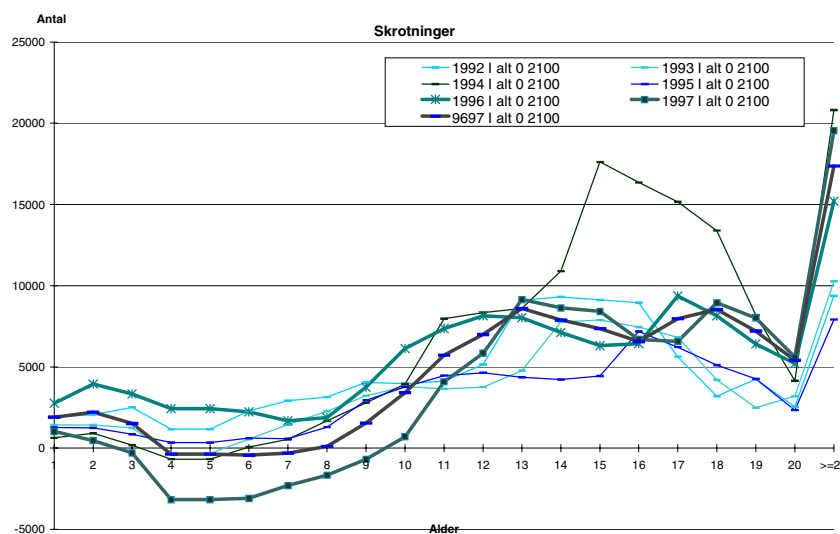


Figur 2.8 Skrotningen fordelt på vægtklasse som andel af bestanden primo de enkelte år. a) biler i vægtklassen 0-800 kg., b) biler i klassen 800-1000 kg. og c) biler i klassen 1000-2100 kg.

1997 et meget specielt år med store negative skrotninger

Det blev nævnt, at den negative skrotning specielt for 1997 var meget stor. Som forklaring herpå ses i figurene Figur 2.5 til Figur 2.8, at skrotningen af nyere biler i 1996 er forholdsvis stor. Specielt er dette

udtalt for de store biler. Ses derfor på skrotningen i både 1996 og 1997 samlet, er billedet mere "normalt". Dette ses i Figur 2.9, hvor et gennemsnit for skrotningen i 1996 og 1997 er anvendt. Den store skrotning i 1996 opvejer, som det ses i figuren, ikke fuldstændig den store negative skrotning i 1997.



Figur 2.9 Skrotninger hvor et gennemsnit for skrotningen for 1996 og 1997 er anvendt. Kurverne for 1996, 1997 og for 1996 og 1997 sammen er fremhævet.

Der er således meget der tyder på, at en stor gruppe biler er taget ud af markedet i 1996 for derefter at vende tilbage i 1997. En analyse af, hvilke bilmærker der typisk har en meget stor negativ skrotning, viser, at det stort set er alle de mellemstore nyere biler som Ford Mondeo og Sierra, Citroën Xantia, Toyota Carina og Corolla, VW Golf, Mitsubishi Galant, Opel Vectra og Mazda 626⁵. Af alle de eksisterende varianter af biler på markedet, er det ca. $\frac{1}{4}$ der har negativ skrotning, mens $\frac{1}{2}$ af varianterne ikke skrottes i 1997 (hovedsageligt kategorier med meget lav bestand).

Neutralisering af skrotningspræmien

Den samme øvelse kan også gennemføres for 1993 og 1994, hvorved effekten af skrotningspræmien bliver mindre synlig. Dette skyldes den førmtalte manglende skrotning frem mod 1994, der dog ikke fuldstændig neutraliserer effekten af skrotningspræmien.

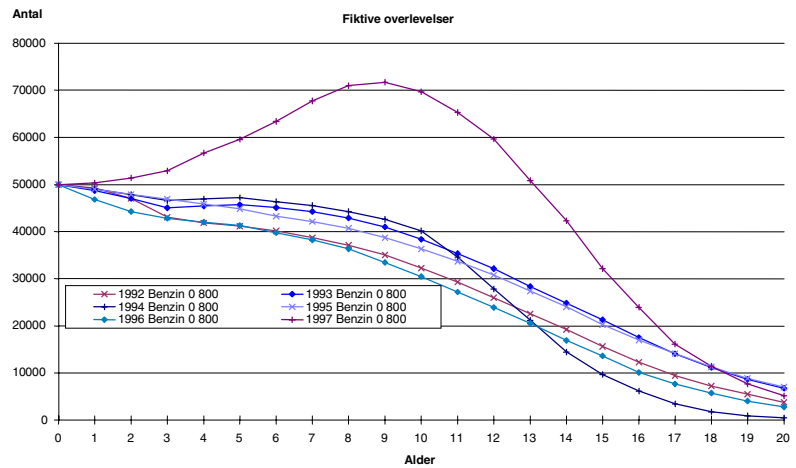
Den eneste forklaring der umiddelbart kan gives, er nogle specielle forhold, der har ført til en brat udskiftning af firmabiler (f.eks. en god økonomi) i 1996. Disse købes derefter først af private i 1997.

Fiktive overlevelseskurver

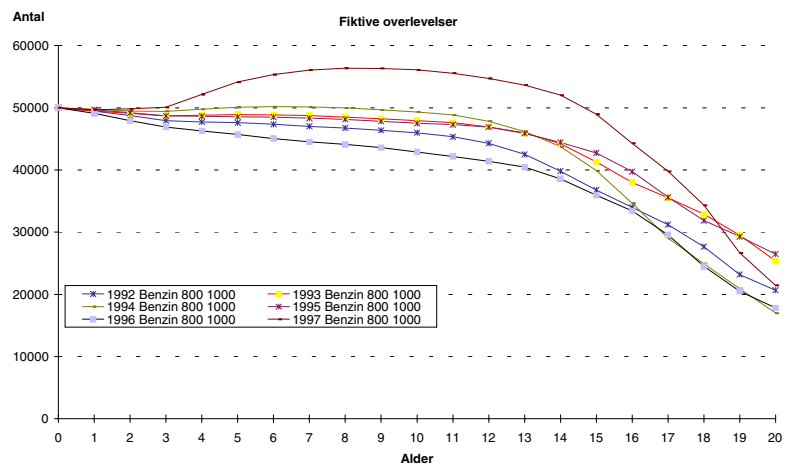
For yderligere at illustrere hvordan skrotningerne i de enkelte år udvikler sig, vises i Figur 2.10 udviklingen af fiktive bestande af personbiler, hvor der for hver vægtkategori antages at være 50.000 biler ved den første indregistrering. De beregnede skrotandele for de enkelte år anvendes herefter til at foretage udviklingen af disse fiktive bestande.

⁵ Dette hænger naturligt sammen med, at netop disse bilvarianter er de mest solgte i Danmark. Konklusionen ser dog ud til også at holde, når der ses på andele, idet disse også er relativt højere ved de meget solgte biler.

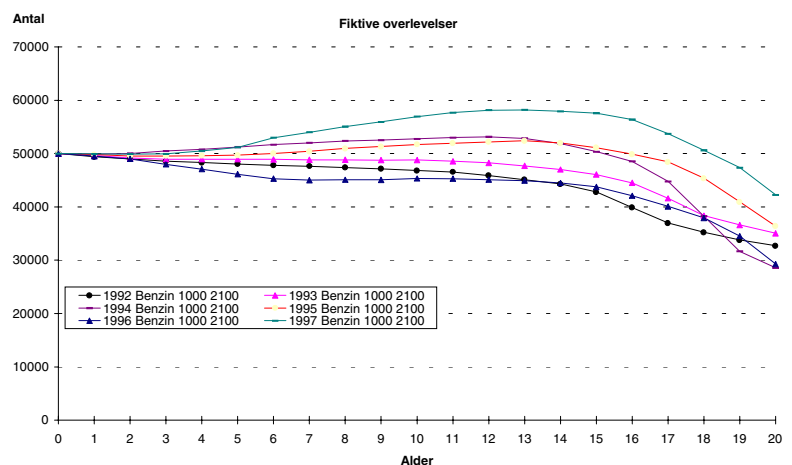
a)



b)



c)



Figur 2.10 Fiktive overlevelseskurver for antagede udgangsbestande på 50.000 biler i hver vægtkategori. a) 0-800 kg, b) 800-1000 kg. Og c) 1000-2100 kg.

Igen ses den specielle udvikling som følge af de store negative skrotninger i 1997. Specielt for de store og mellemstore biler fremgår den relativt store skrotning i 1996 også tydeligt. Det fremgår også af figurerne, da specielt den store negative skrotning i 1997 for den mindste

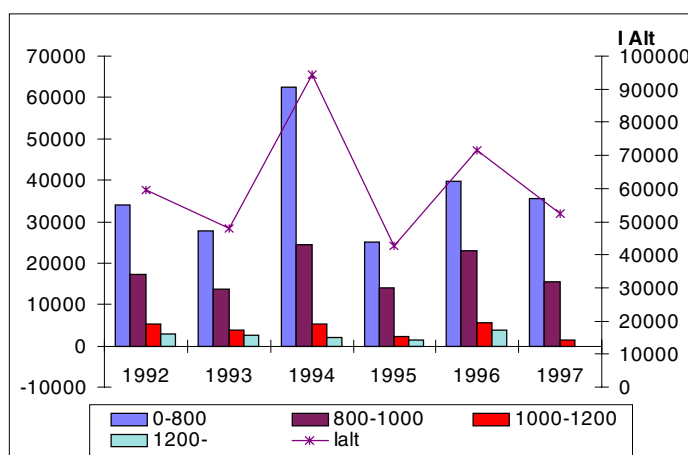
vægtkategori er det eneste år, hvor der er negative skrotninger for de små biler. Bemærk dog at figuren er baseret på identiske udgangsbestande, mens de små biler i den faktiske bestand udgør en noget mindre andel, hvorfor den absolutte negative skrotning af små biler umiddelbart har mindre betydning, end det måtte fremgå i figuren ovenfor. Det fremgår også af Figur 2.10, at bestanden af den enkelte generation af biler først vil nå sit udgangsniveau på 50.000 biler, når de har alderen 15-17 år, hvis skrotningerne fra 1997 anvendes. Dette forløb synes ikke at være det generelle forløb, men må tilskrives helt specielle forhold i 1996/1997.

Bortset fra 1997 er det interessante ved disse figurer tydeligheden af, at jo tungere bilen er, des længere holder den, og des senere skrottes den. De små biler påbegynder således en udrangering allerede kort efter første registrering. Efter 20 år er kun ca. 10% tilbage i bestanden. De mellemte biler begynder skrotning omkring 10 års alderen. Efter 20 år er ca. 40-50% stadig tilbage i bestanden. De tungeste biler påbegynder derimod først skrotningen når de er 15 år gamle. Der er derfor stadig omkring 70 % af udgangsbestanden tilbage efter 20 år.

Grunden til den relativt større skrotning af de små biler, mens de er unge, er, at disse biler, ved f.eks. trafikuheld, med større sandsynlighed bliver skadet i sådant et omfang, at bilen ikke kan repareres, men i stedet må skrottes. Dette forhold har mindre betydning jo tungere bilen er.

Større energiforbrug

De forøgede anskaffelser af tunge biler fører derfor entydigt til større energiforbrug. Modsat fører det også til større ressourcebesparelser, når bilerne holder længere. Men hvis det ikke samtidig fører til en opbremsning i anskaffelsen af nye biler, vil bilparken fremover blive forøget betydeligt i størrelse, fordi skrotningen vil foregå væsentlig langsommere, end det mønster der kan observeres i de ovenstående figurer.



Figur 2.11 Skrotningen i forskellige vægtgrupper samt totalt fordelt på enkelte år.

Vægten af de skrottede biler

Vi kan herefter se på vægten af de biler der bliver skrottet, for derved at afslutte diskussionen af de tendenser, der blev set i Figur 2.3, nemlig at bilparken bliver tungere og tungere.

Af Figur 2.11, der afbildeder skrotningen på de enkelte vægtgrupper, fremgår de store skrotninger i 1994 og 1996 igen tydeligt. Ydermere bemærkes at skrotningen af små biler også i 1997 er forholdsvis høj. Det, der skal bemærkes i figuren, er dog nærmere fordelingen på de enkelt vægtkategorier. Det ses meget tydeligt, at f.eks. skrotningspræmien havde størst effekt på de mindste biler, som det også tidligere er blevet antydnet. Derudover er det meget bemærkelsesværdigt, at det er blandt de mindste biler, at den største skrotning finder sted på trods af, at disse kun udgør ca. 25% bestanden. Det bekræfter derfor endnu engang det mønster der er set i de tidligere figurer, at udskiftningen af bilerne sker over mod tungere biler.

Det kan endnu engang også bemærkes, at skrotningen af biler i mellemklassen udgør en forholdsvis fast andel, hvis der ses bort fra de lidt unormale år 1994 og 1996.

En sidste kommentar, der skal knyttes til Figur 2.11 er, at skrotningen i 1997 af de tungeste biler er negativ, således at afgangenen af de ældste biler i denne kategori ikke engang er stor nok til at opveje tilgangen af brugte biler.

2.3.1 Generelle konklusioner angående skrotning

Ses der mere generelt på, hvornår de enkelte biler skrotes fremstår følgende konklusioner:

- Jo tungere en bil er, jo længere levetid har den.
- Benzinbiler skrotes senere end dieslbiler. Dette er dog ikke et helt entydigt billede. I f.eks. Figur 2.5 ses størrelsen af skrotningerne at bekræfte mønstret; at benzinbiler bliver ældre end dieslbiler. Ses der derimod på Figur 2.6 er billedet mere sløret, idet skrotningsandelene af benzinbilerne synes at toppe på et højere niveau end dieslbilerne, men at dette foregår ved nogenlunde samme alder. Til gengæld ses skrotningen af benzinbilerne at være betydeligt lavere for disse lidt yngre biler. En del af forklaringen på dette fænomen er, at en del store dieslbiler primært anvendes som firmabiler, og dermed udsættes for et større slid, og dermed også skal skrotes relativt tidligere.
- Der har i 1996 og 1997 været nogle helt specielle forhold, der har givet hhv. store skrotninger og store negative skrotninger. Der kan ikke umiddelbart gives nogen forklaring på dette. De to effekter udligner til en vis grad hinanden. Når oplysninger om bestanden i 1998 fremskaffes, kan en forklaring muligvis findes.
- Skrotningspræmien, der blev indført i 1994, har haft effekt på specielt benzinbiler. Derudover er det især de mindste biler, der er blevet påvirket af denne præmie. Til gengæld ser den ikke ud til at have haft nogen effekt på dieslbilerne.
- Størrelsen af skrotningerne fordelt på alder forekommer at være identisk for de fleste år både med og uden opdeling på brændstof hhv. vægtklasser.
- Skrotningen af erhvervsbiler sker indenfor de første 5 leveår af bilerne (denne effekt er som nævnt ikke illustreret i figurerne her).

Herefter overgår en del af disse til bestanden af privatejede biler, hvor de således ville bidrage til en endnu større negativ skrotning af privatejede biler, end den i figurene illustrerede.

- Det er i figurene ikke muligt at spore, om der er en udvikling i alderen af bilerne, inden de forlader markedet. Vejdirektoratet har lavet en sådan analyse, der viser, at medianalderen (ikke at forveksle med gennemsnitsalderen) for biler der skrottes, er stigende, Ekman og Kristensen (1998). Dette hænger formentlig sammen med skiftet mod tungere biler, der som nævnt forbliver længere tid i bestanden inden de skrottes. Det er derfor ikke entydigt, at alle biler generelt bliver ældre.

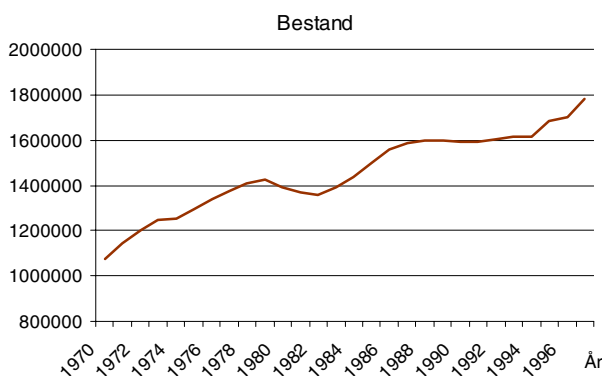
2.4 Afsluttende bemærkninger

Udvikling via forskellige indgangsvinkler

Udviklingen i bilparken kan beskrives ud fra en række forskellige indgangsvinkler. Den vinkel der er valgt her, har været at se på udviklingen i forskellige vægtklasser, samt på forskellige brændstoftyper (benzin og diesel). Derudover har der været fokuseret på bestanden fordelt på alderen af bilerne. Igennem en sådan opdeling kan det historiske forløb antydes.

Udvikling fra 1970 til 1997

Udviklingen i bilbestanden for perioden 1970 til 1997 er angivet i Figur 2.12. I figuren er det ikke umiddelbart let at se de tendenser, der blev diskuteret i afsnit 2.2. Dog ses den kraftige udvikling i perioden op til 1986 samt den kraftige vækst i de seneste år. Effekten af kartoffelkuren ses ved den meget svage vækst i bestanden fra 1987 til 1993. En lignende tendens kan spores i 1979-82 i forbindelse med den såkaldte 2. oliekrise.



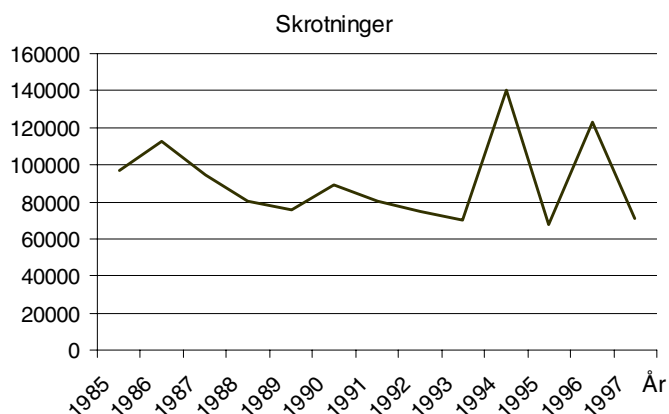
Figur 2.12 Udviklingen af bilparken fra 1970 til 1997.

Kilde: De Danske Bilimportører (1997)

Udvikling i skrotning fra 1985 til 1997

Tilsvarende er udviklingen i skrotningen i perioden 1985 til 1997 angivet i Figur 2.13. I denne figur er de tidligere nævnte udviklinger og tendenser meget tydelige. Specielt ses den store top med baggrund i skrotningspræmien i 1994 med efterfølgende dal i 1995. Samtidig ses det uforklarede fænomen med en stor skrotning i 1996 og en tilsvarende lav skrotning i 1997 (der skyldes den store negative skrotning). Et andet gennemgående træk, der ikke har været beskrevet tidligere, er et generelt fald i antallet af skrotninger. De laveste skrotninger ses som tidligere nævnt i 1993 (og 1995). En væsentlig forklaring på dette er den omtalte forskydning mod tungere biler, der skrottes senere.

Tilsvarende ses også at kartoffelkuren havde en indvirkning på skrotningerne, idet skrotningen faldt som resultat heraf. Dette forklarer også, hvorfor den totale bestand ikke, som det måske kunne være ventet, faldt efter 1986.



Figur 2.13 Udviklingen i skrotningerne fra 1985 til 1997.

Kilde: De Danske Bilimportører (1997).

Med baggrund i de to figurer kan det konkluderes, at tilgangen af nye biler har været generelt meget stigende igennem perioden fra midten af 80'erne til nu. Dette bekræftes også af statistikken (se f.eks. Danmarks Statistik, 1998).

Et væsentligt punkt, at fremhæve igen, er den meget entydige udvikling af bilparken mod tungere biler, der ses i analysen. Denne udvikling betyder, at energiforbruget og emissionerne ikke reduceres i den hastighed, der kunne opnås, hvis størrelsen af bilerne forblev uændret ved udskiftning. Det vil således være interessant at se på scenarier rettet mod at få folk til at anskaffe mindre biler, samt se på de afledte effekter af de andre afgiftsscenarier, der påtænkes udført med ALTRANS modellen.

På trods af den relativt korte tidsserie, der er blevet analyseret i den ovenstående gennemgang, har en række forskellige tendenser kunnet identificeres. Bl.a. effekterne af bl.a. kartoffelkuren i 1986 samt virkningen af skrotningspræmien i 1994. De generelle effekter af disse to indgreb overfor bl.a. bilmarkedet er her afslutningsvis blevet demonstreret i Figur 2.12 og Figur 2.13. En fuldstændig detaljeret opdeling, som i den gennemgåede database, eksisterer ikke. For at kunne foretage en grundig statistisk analyse af udviklingen, er det nødvendigt at udvide de eksisterende oplysninger for 1991 til 1997 med en længere tidsperiode. Hvorledes dette er blevet gjort i dette projekt beskrives i det følgende kapitel.

3 Metoder til udvidelse af det oprindelige datasæt

Databasen indeholder meget detaljerede oplysninger

Det oprindelige datasæt, der er anskaffet hos Danmarks Statistik, har den store fordel, at det indeholder specifikke oplysninger på 25 kg. vægtklasser for hver enkelt variant af bilerne. Information på et så detaljeret niveau giver dog hverken mulighed for at få overblik over en udvikling, lige så lidt som det er muligt at anvende det i forbindelse med fremskrivninger af bilparken.

Fremskrivningen kræver yderligere oplysninger

Der er dog den fordel forbundet med så detaljerede basisoplysninger, at analyser og eventuelle fremskrivninger af bilparken ikke er bundet til en forudbestemt opdeling. Databasen indeholder, som tidligere nævnt, kun oplysninger om årene 1991 til 1997, hvilket er relativt kort i forhold til at anvende oplysningerne til tidsserieanalyser. I arbejdet med at udvikle en egentlig model til fremskrivning af bilparken er det derfor nødvendigt at forlænge den aktuelle tidsserie, for at kunne få et tilstrækkeligt statistisk fundament.

I dette kapitel gennemgås de supplerende kilder, der er anvendt til at udvide den oprindelige database. Desuden beskrives en metode, der kan anvendes til at frembringe informationer på det detaljeringsniveau, der anvendes i estimationen af de essentielle sammenhænge i modellen. For at kunne lave denne udvidelse, bindes man til forudbestemte inddelinger af datamaterialet, og en del af fleksibiliteten i det oprindelige datasæt mistes. Det har vist sig, at opdelingerne i de supplerende informationer er sammenfaldende med de opdelinger, der alligevel ville være valgt ud fra argumenterne angivet i kapitel 2.

3.1 Supplerende data

Datakrav

Det optimale ville være, at kunne supplere databasen fra andre kilder med oplysninger på samme detaljerede niveau som i databasen. Dette er ikke muligt. Det er dog muligt at skaffe oplysninger om bestanden, opdelt på enkelte af kriterierne uafhængigt af hinanden. Det er f.eks. oplysninger om bestanden af biler på en række vægtklasser eller en fordeling af biler på brændstoftype. Til gengæld er oplysninger om bestanden opdelt på alder ikke umiddelbart tilgængelig.

Overlevelsestabler

De Danske Bilimportører laver i deres årspublikation *Vejtransporten i tal og tekst* en "overlevelsestavle" for personbiler baseret på deres første indregistreringsår. Alle overlevelsestablerne tager udgangspunkt i biler indregistreret i perioden før 1970; sammenlagt og derefter for hvert enkelt år for sig. Det betyder, at tidsserierne for biler ældre end 20 år bliver meget korte. Oplysningerne i årspublikationen⁶ er baseret på informationer fra det centrale bilregister, og kan derfor direkte sammenholdes med oplysningerne i databasen.

Bilimportørernes årlige tabeller danner derfor grundlaget for udarbejdelsen af de supplerende data. Udover de nævnte overlevel-

⁶ "Vejtransporten i tekst og tal" udgivet fra 1958 til nu.

sestavler indeholder tabelværket oplysninger om bestande af personbiler på vægtklasser samt brændstoftype.

Det er med andre ord kun 'randbetingelserne'⁷, der angives i bilimportørernes årspublikationer. Det er derfor nødvendigt med metoder, der kan kombinere disse oplysninger. Enten til at bestemme bestanden af biler i kategorier opdelt efter alle relevante kriterier eller direkte i en estimation af skrotningen. Nogle af de metoder, der kan anvendes til at bestemme bestanden i de enkelte kategorier, beskrives i de følgende afsnit, som omfatter bl.a. anvendelse af en gravitationsmetode samt kvadratiske optimeringsmetoder.

For at kunne anvende sådanne metoder kræves, at antallet af niveauer for de enkelte opdelingskriterier er begrænset (at der f.eks. ikke opdeles efter 25 kg. vægtklasser, men kun efter 3 til 10 vægtklasser). Som det tidligere blev nævnt, er dette derfor også en af begrundelserne for opdelingen på 3 vægtklasser og to drivmiddeltyper. Til gengæld anvendes stadig etårige aldersklasser, da modellens opbygning fordrer opdatering for et år ad gangen.

Det er ikke uproblematisk at fremstille supplerende detaljerede data på baggrund af mere aggregerede størrelser. Det er dog ikke det eneste problem i denne sammenhæng. Også anvendelsen af disse data har problemer. Et af problemerne er at der ved datakonstruktion er lagt en subjektiv vurdering af hvorledes data bør anvendes i estimationen ind, hvor det mest korrekte vil være at lade alt den tilgængelige information indgå i selve estimationen for derigennem at få bestemt de rette sammenhænge og parametre. En uddybning af denne problemstilling sker i kapitel 4.

3.2 Udvidelse vha. entropimaksimering

Entropimaksimering, og deraf udledte gravitationsmodeller, har deres oprindelse i fysikken, men er siden 60'erne anvendt indenfor trafikmodellering, til bl.a. at estimere OD-matricer (Origin-Destination), der angiver antallet af rejser (T_{ij}) mellem et udgangspunkt (i) og en destination (j). Estimationen foretages ud fra kendte randbetingelser om, hvor mange ture der har udgangspunkt i zone i , samt hvor mange ture der ender i zone j . Den resulterende matrix opfylder de givne randbetingelser, hvis disse vel at mærke er konsistente (dvs. at summen af ture fra alle udgangszoner er lig summen af ture til alle destinationszoner). En grundig gennemgang af opbyggelsen af gravitationsmodeller kan findes i Wilson (1970) samt i en mere generel sammenhæng i Wilson (1981).

For at kunne anvendes i sammenhængen her, fortolkes matricen T_{ij} som antallet af biler i f.eks. vægtklasse i og drivmiddeltype j . En fordeling ud på de enkelte kategorier kan derefter foretages vha. en gravitationmodel, hvor søjle og rækker summerer til de kendte søjle- og rækkesummer.

Matematisk kan dette opstilles på følgende måde:

⁷ Ved randbetingelser menes her bestanden af personbiler i forskellige vægtklasser, drivmiddeltyper eller aldersklasser.

$$MaxS = \sum_{ijk} T_{ijk} \ln \frac{T_{ijk}}{t_{ijk}} - T_{ijk} \quad (3.1)$$

$$S.t. \sum_{jk} T_{ijk} = O_i [\lambda_i] \quad (3.2)$$

$$\sum_{ik} T_{ijk} = D_j [\lambda_j] \quad (3.4)$$

$$\sum_{ij} T_{ijk} = Q_k [\lambda_k] \quad (3.5)$$

$$\sum_{ijk} T_{ijk} = T [\beta]$$

hvor t_{ij} angiver en tidligere kendt værdi for elementet på den ij 'te plads (f.eks. den tilsvarende størrelse i perioden 1991 til 1997),
 O_i , D_j og Q_k er de kendte totaler for hhv. brændstof, vægt og alder,
 λ_i , λ_j , λ_k samt β er de tilhørende duale variable (skyggepriser) til de enkelte bibetingelser i problemet.

Udtrykket i objektfunktionen er en approksimation af entropien⁸ i systemet. Løsningen på problemet sker ved opstilling af den almindelige lagrangesfunktion.

Inklusionen af de tidligere værdier af matrixelementerne sker for at sikre, at strukturen i den estimerede matrix T_{ijk} minder om den struktur, der er i den observerede matrix t_{ijk} . Dette er ikke et krav, men medtages for at den frie løsning ikke "løber af sporet".

Løsningen på optimeringsproblemet bliver:

$$T_{ijk} = t_{ijk} A_i O_i B_j D_j C_k Q_k \exp(\beta) \quad (3.6)$$

$$A_i = \frac{1}{\sum_{jk} t_{ijk} B_j C_k \exp(\beta)} \quad (3.7)$$

$$B_j = \frac{1}{\sum_{ik} t_{ijk} A_i C_k \exp(\beta)} \quad (3.8)$$

$$C_k = \frac{1}{\sum_{ij} t_{ijk} A_i B_j \exp(\beta)} \quad (3.9)$$

hvor A_i , B_j og C_k betegnes balanceringsfaktorerne.

Som det fremgår af udtrykkene (3.6) til (3.9) kan der ikke findes en eksakt løsning til problemet. I stedet itereres indtil et givent stopkriterie er opfyldt.

⁸ Entropien angiver graden af "uorden" i et system, eller som det er tilfældet her, antallet af mulige kombinationer af et givet T_{ijk} . Løsningen på problemet er derfor det valg af T_{ijk} , der har det størst mulige antal kombinationer (og dermed er det mest sandsynlige), og som samtidig opfylder de givne bibetingelser.

Metoden gentages for hvert af årene 1977 til 1990, idet dimensionen af randtotal vektoren for aldersklasserne reduceres – dvs. antallet af aldersklasser af bilerne - i forhold til antallet af mulige aldersklasser i forhold til 1970 (der er det første mulige indregistreringsår i tabellerne).

3.2.1 Kalibrering vha. databasen

Udover den styring af resultaterne, der pålægges løsningen i form af minimering af afstanden til den kendte fordeling i 1991 til 1997, kan disse år anvendes til yderligere at sikre, at løsningerne på optimerings-problemerne (3.1) til (3.5) for 1977 til 1990 ikke afviger væsentligt. Dette sker ved en form for kalibrering, hvor parameteren β bestemmes så estimationerne rammer 1991-1997-værdierne så præcist som muligt.

Derudover kan kalibreringen foretages ved at lægge en modstand, mod at placere biler i de enkelte matrix-indgange ind i estimationen. Dette vil tage form af en "omkostningsmatrix" $C=\{c_{ijk}\}$. Hvis "omkostningen" er stor, vil estimationen placere færre biler i den pågældende gruppe. I praksis sker dette ved at ændre (3.5) til

$$\sum_{ijk} T_{ijk} c_{ijk} = \tilde{C} \quad (3.5^*)$$

hvor \tilde{C} angiver den samlede "omkostning".

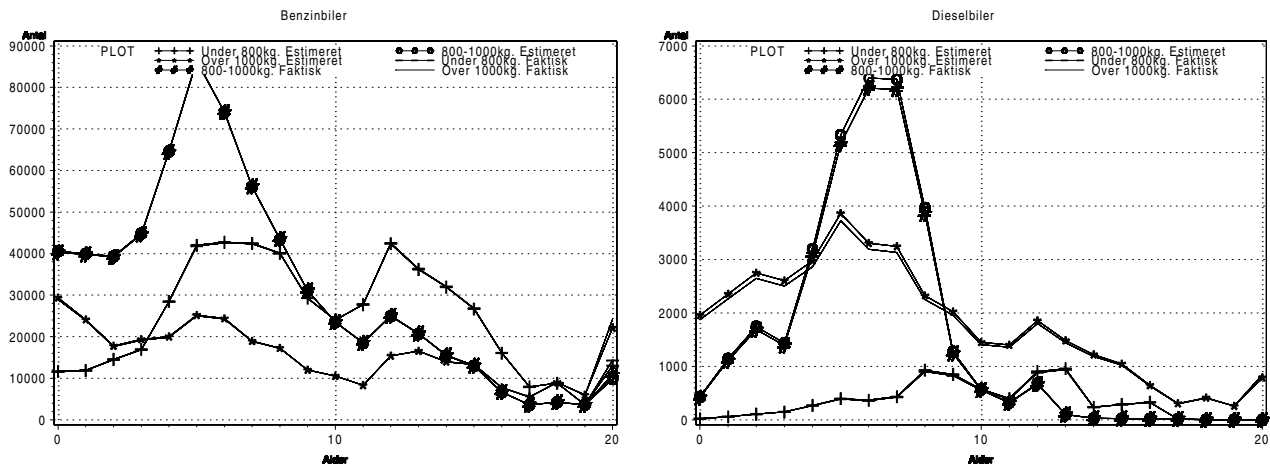
I løsningen på problemet (3.1) til (3.5) erstattes $exp(\beta)$ med $exp(\beta c_{ijk})$.

En metode til at finde denne C-matrix ville være at anvende informationerne fra 1991 til 1997 til at sikre, at antallet af biler, estimeret i den enkelte indgang for disse år, svarer til de faktiske antal i disse år og derefter anvende C i estimationen af bestanden for 1977-1990.

I praksis viser dette sig dog at være en temmelig besværlig metode, der alligevel ikke ændrer væsentligt ved de resulterende kontingenstabeller.

3.2.2 Sammenligning med faktiske tal

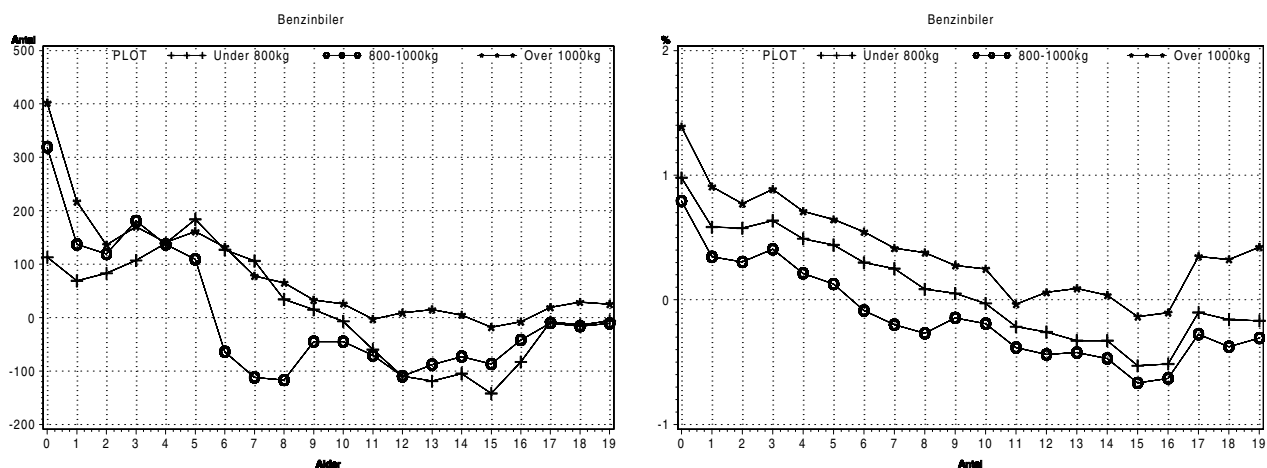
Et mindstekrav til proceduren er, at den kan gengive de faktiske fordelinger på de enkelte grupper for 1991 til 1997 forholdsvis præcist. En af fordelene ved gravitationsmetoden er, at den rammer de marginale totaler (O, D og Q) helt præcist. Af større interesse er derfor, hvor præcis metoden er, når der ses på den detaljerede opdeling i T_{ijk} grupper. I Figur 3.1 er de estimerede og faktiske bestande for 1991 illustreret for benzin- og dieslbiler. De estimerede bestande i figurerne er fundet uden brug af en "omkostningsmatrix" a la (3.5*).



Figur 3.1 Illustration af bestanden fra estimerede og faktiske data for 1991 for benzin- og dieslbiler.

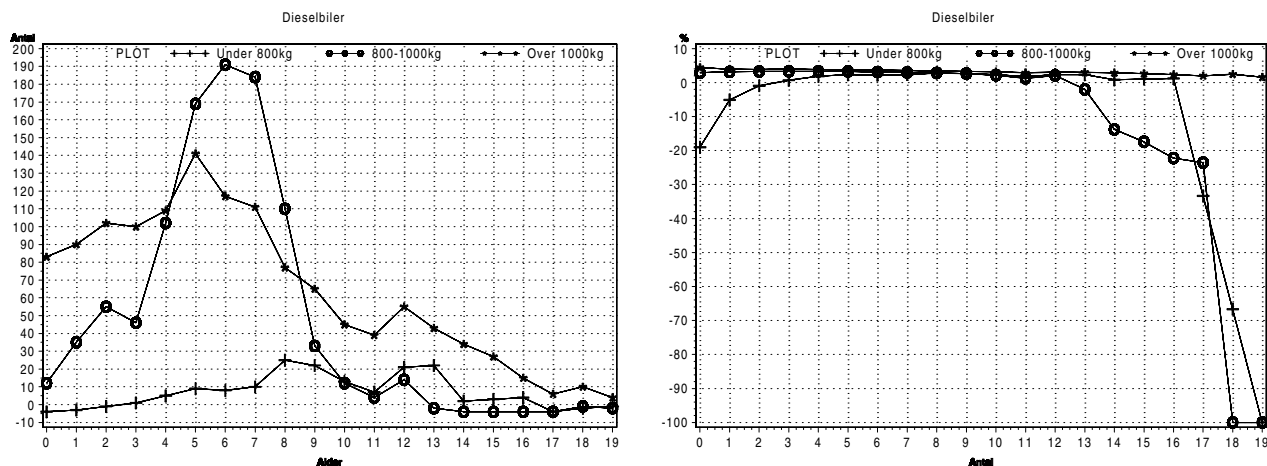
Som det fremgår af figurene, ser præcisionen ud til at være rigtig god. Dog er afvigelserne for biler på 20 år og derover noget større. Dette er et generelt billede, uanset hvilken brændstoftype og vægtklasse der ses på.

De gode tilpasninger bekræftes yderligere, hvis der ses på absolutte og procentvise afvigelser. Dette illustreres for benzinbiler i Figur 3.2 og i Figur 3.3 for dieslbiler.



Figur 3.2 Illustration af forskellen i bestanden fra estimerede og faktiske data for 1991 målt i hhv. faktiske størrelser og i procentafvigelser fra faktiske bestand. Alle kurverne er for benzinbiler.

I disse figurer er biler i alderen 20 år og derover udeladt, da afvigelserne her er væsentlig større end alle de andre afvigelser, hvorved det er svært at se forskellene ved de andre aldersklasser.



Figur 3.3 Illustration af forskellen i bestanden fra estimerede og faktiske data for 1991 målt i hhv. faktiske størrelser og i procentafvigelser fra faktiske bestand. Alle kurverne er for dieslbiler.

De procentvise afvigelser for dieslbilerne kan umiddelbart se meget voldsomme ud. Dette begrundes med, at der i flere af grupperne, af specielt de helt gamle biler, ikke er ret mange (evt. ingen) køretøjer i den respektive gruppe. Afvigelsen bliver derfor relativ høj. Målt i absolutte niveauer har dette dog ikke den store betydning, som det også tydeligt ses i figuren til venstre.

Ud fra disse figurer er der ikke nogen grund til at anvende kalibreringsmetoderne beskrevet i forrige afsnit.

De gode resultater for 1991 gentager sig dog ikke for 1992 og frem, selv ved anvendelse af kalibreringsmetoderne. Dette antyder derfor, at anvendelsen af de genererede data er problematiske. Dette tyder således på, at andre metoder, til generering af den nødvendige information, bør tages i anvendelse. I næste afsnit gennemgås to alternative metoder til løsning af dette problem.

3.3 Udvidelse vha. andre metoder

Gravitationsmetoden til at frembringe yderligere oplysninger er ikke den eneste anvendelige metode. En lang række metoder med samme formål eksisterer. Bl.a. kan nævnes generaliseret least squares metoden (GLS) og iterativ proportional fitting som to af disse metoder. Sidstnævnte metode er faktisk ækvivalent med gravitationsmetoden, mens GLS afviger lidt herfra, men i mange sammenhænge er det vist, at resultaterne i de to metoder ikke afviger væsentligt fra hinanden. En detaljeret gennemgang af en række af disse metoder findes i Ben-Akiva (1987).

QUAD og LogQUAD metoder

Af andre metoder skal nævnes de såkaldte QUAD (quadratic optimization) metoder, der har været kendt gennem længere tid og LogQUAD (log-transformeret QUAD) metoder, der er relativt nye. Metoderne er beskrevet i Jordal-Jørgensen og Fosgerau (1997) samt i Rich og Kveiborg (1998).

I næste afsnit gennemgås en version af metoden, der er modificeret til at estimere de ønskede oplysninger.

3.3.1 QUAD og LogQUAD metoderne

Metoderne virker begge principielt ved, at der bliver estimeret en form for vægt til hver enkelt matrix indgang i matrixen T_{ijk} . Den estimerede vægt bruges til at beregne hvor mange biler, der skal være i den enkelte kategori.

Matematiske
problemstilling

Den matematiske problemstilling for den kvadratiske metode kan opstilles som:

$$\underset{\{T_i\}_{i \in I}}{\text{Min}Z} = \sum_{j \in J} v_j \left(P_j - \sum_{i \in I} t_{ij} T_i \right)^2 + \lambda \left(\sum_{i \in I} (T_i - \bar{T})^2 - v \right), \lambda > 0 \quad (3.10)$$

Hvor P_j er antallet af biler, der er i gruppe j , hvor j angiver antallet af biler i en given vægt, alder eller brændstof gruppe (target gruppe), $j \in J = \{Vægt\} \cup \{Alder\} \cup \{Brændstof\}$
 t_{ij} er antallet af biler, er i en gruppe i kombineret af vægt, alder og brændstoftype⁹, der indgår i target gruppe j , $i \in I = \{Vægt\} \times \{Alder\} \times \{Brændstof\}$
 T_i er den estimerede korrektion (vægt), der skal foretages på gruppe i i forhold til antallet af personbiler i den tilsvarende gruppe i årene 1991 til 1997¹⁰
 T er forholdet mellem det totale antal biler i det givne år og antallet af biler i 1991 til 1997,
 v_j, λ og v er justeringsparametre.

Den lidt specielle opskrivning er en transformation af problemet fra et multidimensionalt problem til et todimensionalt. En gruppe i svarer derfor til en gruppe ijk i problemet (3.1) til (3.5). En gruppe i indgår derfor i opgørelsen af flere j -grupper.

Løsningen til dette problem kan igen ikke findes eksakt, men approksimeres igen ved en iterativ optimeringsmetode.

Et af problemerne ved denne metode, som også angivet i Rich og Kveiborg (1998), er, at den kan resultere i negative værdier af de enkelte matrixelementer.

Log-QUAD

En metode der undgår det, er den såkaldte logtransformerede QUAD metode. Den eneste forskel i forhold til (3.10) er en transformation af objektfunktionen:

$$\underset{\{T_i\}_{i \in I}}{\text{Min}Z} = \sum_{j \in J} v_j \left(\log \left(\sum_{i \in I} t_{ij} T_i \right) - \log(P_j) \right)^2 + \lambda \sum_{i \in I} (\log(T_i) - \log(T))^2, \lambda > 0. \quad (3.11)$$

⁹ I tilfældet, hvor der ikke anvendes information fra 1991 til 1997 i estimationen er $t_{ij}=1$ for alle ij .

¹⁰ Hvis der ikke anvendes informationer fra 1991 til 1997, vil T_i være det faktiske antal personbiler i en given gruppe.

Udover at eliminere negative matrix indgange sandsynliggør Rich og Kveiborg (1999), at metoden også giver et bedre fit. I metoden er det endvidere væsentligt, at λ får en relativ stor værdi, for derigennem at sikre, at den totale bestand rammes. Ved anvendelse af gravitationsmetoden skal λ derimod ikke være stor, da det nemt kan vises, at løsningen på dette problem vil konvergere mod en lineær programmerings løsning, hvor antallet af ikke 0 indgange i den estimerede matrix begrænses til antallet af bibetingelser.

Det er dog et generelt problem, at anvende genererede data til at foretage en efterfølgende estimation. Der er, ved en sådan metode, stor risiko for fejlagtigt at indføre skævheder i estimationen.

Gennemgangen her af QUAD og LogQUAD metoderne skal derfor udelukkende ses som et alternativ til anvendelse af entropi tilgangen i forrige afsnit. Metoderne løser ikke det generelle problem omkring anvendelse af genererede data, men kan, hvis genererede data nødvendigvis må anvendes, i nogle tilfælde resultere i mere præcise resultater.

3.4 Afsluttende bemærkninger

Med gennemførelsen af proceduren fra afsnit 3.2 for hver af årene før 1991, findes en komplet tidsserie for 1977 til 1997. Der skal dog tages forbehold for, at informationerne før 1991 er estimerede oplysninger, hvilket der kan kompenseres for, ved at tillægge dem mindre vægtning i estimationen af modellen. En anden væsentlig ulempe ved resultaterne fra disse metoder er, at det første medtagede registreringsår er 1970 for alle dataårene, hvorved der er færre observationer jo tidligere oplysningen er fra (eksempelvis er der for biler med alderen 22 år kun 7 observationer, mens der for 7 årige biler er en fuld tidsserie på 20 observationsår). Dette er således ikke et problem ved metoderne, men i stedet ved de anvendte supplerende oplysninger.

Med det udvidede datasæt er det således muligt, at foretage egentlige tidsserieestimationer på et relativt detaljeret niveau. I næste kapitel beskrives, hvordan dette foretages i skrottingsmodellen, ligesom det beskrives, hvordan de kendte data direkte kan anvendes i estimationen.

Uanset hvilken af de beskrevne datagenereringsmetoder der anvendes, er der dog ingen sikkerhed for, at de fundne antal af personbiler er korrekte angivelser af den faktiske fordeling. Det skal derfor holdes in mente, at bestandene for 1977 til 1991 er estimerede værdier, og derfor bør tillægges en mindre vægt i estimationen af bl.a. skrotningerne, som det beskrives i næste kapitel.

Et alternativ til at generere supplerende detaljerede data som det er beskrevet i dette kapitel, for derefter at anvende dem til at foretage estimationer, er at anvende de kendte randbetingelser direkte i estimationen. Dette vil også blive beskrevet i næste kapitel, hvor der endvidere argumenteres for, at dette også er den mest korrekte metode at anvende.

Udvidet datasæt giver mulighed for tidsserieanalyse

4 Skrotningsmodellen

I dette kapitel beskrives at af de væsentligste elementer i udviklingen af en model for bilparken - en model for skrotningerne. Resultatet af denne model anvendes i kapitel 5 i den samlede model.

4.1 Indledning

Den første problemstilling, der skal betragtes, er diskussionen af hvilke størrelser, der skal estimeres: de *absolutte skrotninger* indenfor hver gruppe eller *andelen* af bestanden i en bestemt gruppe, der skrottes. Udviklingen af både andele og faktiske bestande er beskrevet i kapitel 2. Begge muligheder byder på både fordele og ulemper. Nogle af disse skal ridses op her.

Absolutte skrotninger eller andele?

Ved at beregne den faktiske skrotning kan en større præcision opnås. Bl.a. ved at lade den faktiske bestand indgå som en medvirkende forklarende variabel. En ulempe ved dette er, at niveauet af bestanden ikke er det samme i alle grupper. Som alternativ kan skrotningsandelen derfor anvendes. Denne andel angiver, hvor stor en del af den eksisterende bestand indenfor en bestemt gruppe der skrottes i det enkelte år. Herved gøres skrotningen egentlig uafhængig af niveauet af bilparken, og ligheder mellem enkelte grupper kan udnyttes (f.eks. i form af ens skrotningsandele), til at estimere modellen med større præcision.

Ved at estimere andelen bliver det ikke nødvendigt at "bruge" en frihedsgrad til at inddrage den aktuelle bestand, da denne implicit er medtaget i andelen. Da datasættets størrelse er relativt begrænset, er dette derfor også den vinkel, der er valgt.

En anden grund til at benytte andelen er den manglende præcision i de genererede data for 1977 til 1990. I denne estimation var det, som nævnt, ikke direkte muligt, at ramme de præcise størrelser. I stedet kan det formodes, at andelen af skrotningerne ligger tættere på de "rigtige" værdier.

Det væsentligste punkt i diskussionen af valget mellem andele og faktiske størrelser afhænger, i realiteten, af graden af statistisk konsistens. For at kunne anvende andele, skal de genererede data, beskrevet i forrige kapitel, anvendes. Problemet ved dette er, at det ikke vides om de "estimerede" tal er korrekte. Det kan have den konsekvens at information, der ikke er indeholdt i data, fejlagtigt kan blive anvendt i estimationen af modellen, og derved resultere i alvorlig bias af estimererne.

En statistisk mere korrekt metode er derfor at anvende den tilgængelige information direkte i estimationen.

Som det vil blive demonstreret i dette kapitel, medfører dette dog, at det ikke er muligt, at estimere modellen baseret på andele, men kun på faktiske størrelser. I næste afsnit beskrives en metode til, hvorledes dette kan lade sig gøre vha. maksimum likelihood metoden. I afsnittet gennemgås også, hvordan modellen kan estimeres, hvis de

genererede data fra kapitel 3 kan anvendes. Dette sker vha. en generel gennemgang af least squares metoden til estimation af tidsserier.

4.2 Diskussion af teoretiske modeller

Gennemgangen i dette afsnit er opdelt på følgende måde. Først gennemgås de typiske former for tidsseriemodeller med fokus på mulige specifikationer af fejlledsstrukturen. Dernæst gennemgås generelt to forskellige estimationsmetoder: generalised least squares metoden og maksimum likelihood metoden.

Cross-section og tidsserie analyse

4.2.1 Tidsseriemodeller

Der anvendes traditionelt to forskellige økonometriske modeltyper/estimationsmetoder: *cross-section estimation*, hvor det er forskellene mellem de enkelte grupper, der danner grundlag for estimaterne og *tidsserie estimation*, hvor det er den historiske udvikling, der danner grundlag for estimaterne.

Tidsserierne er for korte

Et af problemerne ved at anvende tidsserier er, at der oftest ikke findes en dataserie, hvor antallet af tidsperioder er stort nok, hvorved det i praksis kan blive umuligt, at estimere en model med tilstrækkelig statistisk værdi.

På den anden side giver cross-section estimations metoden mulighed for at få et langt større antal observationer, idet det antages, at sammenhængen mellem afhængige og uafhængige variable er den samme uanset hvilken gruppe, der er tale om¹¹. Der kan dog opdeles i forskellige grupper, der antages at være mere homogene end det fulde datasæt¹².

Tidsafhængigheden forsvinder ved cross-section

Ved anvendelse af cross-section vil det til gengæld ikke være muligt at beskrive den uafhængige udvikling i skrotningen, der sker som en konsekvens af tiden (en trend, der ikke er beskrevet af de eksogene variable). Af denne grund er det derfor valgt at benytte en tidsserie model.

Udgangspunktet for en sådan model er, at der er en sammenhæng mellem afhængige og uafhængige variable i hver tidsperiode. Denne sammenhæng kan f.eks. beskrives som i (4.1):

¹¹ Dvs. at sammenhængen mellem skrotandelene og f.eks. prisindekset antages at være det samme for f.eks. diesel- og benzinbiler, og der således estimeres en fælles parameter for alle grupperne.

¹² En fuldstændig opdeling af datasættet efter kriterierne vægt, alder og brændstof vil dermed resultere i en tidsseriemodel.

$$s_{ijk}(t) = \sum_r^R \beta_{ijk}^r x_r(t) + \varepsilon_{ijk}(t) \quad (4.1)$$

$$\varepsilon_{ijk}(t) = \sum_{l=1}^L \varepsilon_{ijk}(t-l) + \mu_{ijk}(t) \quad (4.2)$$

hvor s er andelen¹³, der skrotes i gruppe ijk til tiden t ,
 x er en uafhængig variabel $x_r \in \mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_R\}$,
 $\beta_{ijk} = \{\beta_{ijk}^1, \dots, \beta_{ijk}^r, \dots, \beta_{ijk}^R\}$ er en vektor af parametre, der beskriver betydningen af de uafhængige variable \mathbf{X} ,
 $\varepsilon_{ijk,t}$ er et fejlede, der i (4.2) er specificeret som en autoregressiv proces (AR(L)) og
 $\mu_{ijk,t}$ er normalfordelt hvid støj.

ε er dog ikke i alle modeller specificeret som en autoregressiv proces, lige så ofte ses den som i (4.2) uden afhængighed af tidligere tidsperioder. AR-specificerede fejlede anvendes i tidsserieanalyser til at fjerne den autokorrelation, der evt. findes i datasættet.

ADL modeller

Et andet alternativ, der må anses som relevant, er (4.3), der også er en AR proces, hvor det dog er den afhængige variabel, der er en funktion af tidligere værdier af sig selv. Denne modeltype betegnes ofte som en *Autoregressive Distributed Lag (ADL)* model.

$$s_{ijk}(t) = \sum_{l=1}^L \alpha_{ijk} s_{ijk}(t-l) + \sum_r^R \beta_r x_r(t) + \varepsilon(t) \quad (4.3)$$

I denne modeltype indgår således yderligere L variable, der skal medtages i forbindelse med prognoser, - de afhængige variable $s_{ijk}(t-l)$. I (4.1) indgår således ikke en sammenhæng til tidligere realiserede værdier af den afhængige variabel i forbindelse med prognoser.

Fejlede-specifikationen er medtaget for at opnå et mere præcist fit til data. Begrundelsen for en sådan model er en forventning om, at en høj skrotning i en periode, alt andet lige betyder en lavere skrotning i den efterfølgende periode, som det f.eks. blev set i skrotningen i 1996 og 1997 (se afsnit 2.3).

De rigtige uafhængige variable kendes ikke

At specificere modellerne således, er resultatet af ikke at kende de rette uafhængige variable, der således burde kunne forklare de nævnte forskelle. Hvorvidt den ene model giver bedre resultater end den anden, kan der ikke på forhånd siges noget om, ligesom der ikke umiddelbart er en bedre intuitiv begrundelse for enten den ene eller den anden.

Forskellige estimationsmetoder

Modellerne kan yderligere gøres mere komplekse på flere måder. En af disse er den såkaldte Vektor-Autoregressive estimation (VAR), hvor de enkelte afhængige variable indgår som forklarende variable i estimationen af de andre afhængige variable:

¹³ Kan dog også være de absolutte skrotninger jf. kapitlets indledende diskussion.

$$\mathbf{S}(t) = \sum_{l=0}^L \boldsymbol{\alpha}_l \mathbf{S}(t-l) + \sum_r^R \beta_r x_r(t) + \varepsilon(t) \quad (4.4)$$

Hvor $\mathbf{S}(t)$ er en vektor af afhængige variable¹⁴ og $\boldsymbol{\alpha}$ er en vektor af parametre.

Bemærk at (4.4) medfører, at flere variable kommer til at indgå i bestemmelsen af \mathbf{S} i estimationen.

SUR estimation

En anden mulighed der ligeledes udnytter de sammenhænge, der er mellem de enkelte grupper, er den såkaldte *Seemingly Unrelated Regression* (SUR), der anvender en fælles fejldsspecifikation for (delmængden af) de enkelte grupper.

En fordel ved at anvende VAR eller SUR estimation er, at mængden af information (observationer), der anvendes i estimationen af den enkelte ligning, er større end estimation af hver enkelt ligning separat.

Hvorvidt dette egentlig bidrager med større efficiens i estimationen, afhænger naturligvis af i hvor høj grad der er korrelation mellem de enkelte fejld. Er der ingen korrelation, vil estimation af hver enkelt ligning separat give de samme resultater som en SUR estimation. Er der derimod en meget stor korrelation, vil SUR estimation øge efficiensen. Det bemærkes dog i Greene (1993), at hvis der anvendes ens uafhængige variable i alle ligninger, vil OLS estimation (estimation af hver ligning) give samme resultater som SUR estimationen. Dette er ikke tilfældet her.

4.2.2 Least squares metoden

OLS (ordinary least squares) er en estimationsmetode, der anvendes til at estimere simple lineære modeller. Metoden kan uden videre gøres anvendelig til at estimere mere generelle lineære modeller (metoden kaldes til denne brug naturligt nok generalised least squares).

Om denne kategori af metoder gælder det helt generelt, at afstanden mellem endogene og eksogene variable søges minimeret. Generelt søges en objektfunktion af følgende form minimeret:

$$\text{Min } Z = \sum_{ijk} (\mathbf{s}_{ijk} - f(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}_{ijk}))^T (\mathbf{s}_{ijk} - f(\mathbf{x}, \boldsymbol{\beta}_{ijk})) \quad (4.5)$$

Hvor ijk igen referer til biler i kategorier som i kapitel 3, er \mathbf{s} en vektor af observationer af skrotningerne til hvert tidspunkt t , og $\boldsymbol{\beta}$ er en vektor af parametre, der skal estimeres. I formuleringen er sammenhængen mellem skrotningen og de eksogene forklarende variable helt generel, men i alle de modeller, der er angivet i forrige delafsnit, er denne sammenhæng generaliseret lineær, men kan ellers principielt antage alle de beskrevne former.

¹⁴ Denne behøver ikke bestå af alle de enkelte grupper, men kan meget vel bestå af en delmængde af grupperne, hvor sammenhængen mellem disse er større end mellem andre grupper.

4.2.3 Maksimum likelihood estimation

Princippet i maksimum likelihood estimation er, at finde de parametre β , der gør det observerede sæt af afhængige variable (skrotninger) mest sandsynlig. Disse parametre betegnes maksimum likelihood estimaterne.

Likelihood funktion

For at finde disse estimater opstilles en likelihood funktion, der er en funktion af ukendte parametre (der skal estimeres) og som fortæller, hvad den forenede sandsynlighed for at observere de realiserede skrotninger, givet en bestemt tæthedsfunktion, $f(s_{ijk}, \theta)$, er.

Da metoden på denne måde er meget generel, er det muligt at kombinere forskellige fordelinger af fejleddene (ε_{ijk}) i estimationen. F.eks. at en delmængde af observationerne antages at følge en fordeling, mens en anden delmængde følger en anden fordeling. Desuden kan matematiske transformationer af de enkelte fejledd naturligt indlejres i likelihoodfunktionen. Denne mulighed skal senere vise sig at være særdeles praktisk i estimationen af skrotningsmodellen.

Oftest anvendes i stedet for likelihood funktionen $L(s_{ijk,t}, \theta)$, log-likelihood funktionen:

$$l(s_{ijk,t}, \theta) = \log(L) = \log\left(\prod_{ijk,t} f(s_{ijk,t}, \theta)\right) = \sum_{ijk,t} \log(f(s_{ijk,t}, \theta))$$

En generel introduktion til maksimum likelihood estimation kan findes i Davidson og MacKinnon (1993) kapitel 8. De i afsnit 4.2 diskuterede modeller kan alle estimeres vha. maksimum likelihood metoden. For dog at fokusere gennemgangen her, anvendes den helt simple lineære sammenhæng mellem de afhængige variable $S_{ijk,t}$ og de uafhængige variable X_t

$$S_{ijk,t} = \mathbf{X}_t \beta_{ijk} + \varepsilon_{ijk,t} \quad (4.6)$$

Her angiver $S_{ijk,t}$ den absolutte skrotning i kategori ijk til tiden t . Til senere brug angives sammenhængen mellem de absolutte skrotninger og skrotandelene her:

$$S_{ijk,t} = T_{ijk,t-1} - T_{ijk,t} \quad (4.7)$$

$$S_{ijk,t} = \frac{S_{ijk,t}}{T_{ijk,t-1}} \quad (4.8)$$

hvor $T_{ijk,t}$ angiver bestanden af biler i kategori ijk til tidspunkt t

For at kunne foretage maksimum likelihood estimationen, antages fejleddene $\varepsilon_{ijk,t}$ at være uafhængigt identisk normalfordelte (en anden fordeling kunne også antages).

Den model der derfor ønskes estimeret er:

$$S_{ijk,t} = \beta_{ijk} X_t + \varepsilon_{ijk,t} \quad e_{ijk,t} \sim N(0, \sigma^2), \quad t = 1992, \dots, 1997 \quad (4.9)$$

$$S_{..k,t} = \beta_{..k} X_t + \varepsilon_{..k,t} \quad (4.10)$$

$$S_{.j,t} = \beta_{.j} X_t + \varepsilon_{.j,t} \quad t = 1978, \dots, 1991 \quad (4.11)$$

$$S_{i..t} = \beta_{i..} X_t + \varepsilon_{i..t} \quad (4.12)$$

hvor $S_{..k,t} = \sum_{ij} S_{ijk,t}$, $\beta_{..k} = \sum_{ij} \beta_{ijk}$ og $\varepsilon_{..k,t} = \sum_{ij} \varepsilon_{ijk,t}$ etc.

Det følger heraf, at $\varepsilon_{..k,t}$, $\varepsilon_{.j,t}$ og $\varepsilon_{i..t}$ og dermed også $S_{..k,t}$, $S_{.j,t}$ og $S_{i..t}$ alle er normalfordelte (se f.eks. Hoel et al., 1971).

Det er derfor muligt at opstille den endelige likelihood funktion som summen af fire uafhængige bidrag (udledningen af de enkelte led findes i appendiks 4):

$$\ell = \ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_4 \quad (4.13)$$

$$\ell_1 = A_1 - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{ijk} (\mathbf{T}_{ijk} - \mathbf{X}\beta_{ijk})^T (\mathbf{T}_{ijk} - \mathbf{X}\beta_{ijk}) \quad (4.14)$$

$$\ell_2 = A_2 - \frac{1}{2J\sigma^2} \sum_i \left(\frac{1}{\mathbf{k}} (\mathbf{T}_{i..} - \mathbf{X}\beta_{i..}) \right)^T (\mathbf{T}_{i..} - \mathbf{X}\beta_{i..}) \quad (4.15)$$

$$\ell_3 = A_3 - \frac{1}{2I\sigma^2} \sum_j \left(\frac{1}{\mathbf{k}} (\mathbf{T}_{.j.} - \mathbf{X}\beta_{.j.}) \right)^T (\mathbf{T}_{.j.} - \mathbf{X}\beta_{.j.}) \quad (4.16)$$

$$\ell_4 = A_4 - \frac{1}{2IJ\sigma^2} \sum_k^{k(t)} (\mathbf{T}_{..k} - \mathbf{X}\beta_{..k})^T (\mathbf{T}_{..k} - \mathbf{X}\beta_{..k}) \quad (4.17)$$

$$A_1 = -N_1 IJK \log(\sqrt{2\pi\sigma^2}), \quad A_2 = -N_2 I \log(\sqrt{2\pi J\sigma^2}) - I \sum_{t=1978}^{1991} \log \sqrt{k(t)}$$

$$A_3 = -N_2 J \log(\sqrt{2\pi I\sigma^2}) - J \sum_{t=1978}^{1991} \log \sqrt{k(t)}, \quad A_4 = -K(t) \log(\sqrt{2\pi IJ\sigma^2})$$

$k(t)$ angiver antallet af aldersgrupper k , der er observationer for i år t . Dataserien for årene før 1989 indeholder ikke informationer om bestanden af de ældste biler jf. kapitel 3. Fra likelihood funktionen ℓ findes variansen σ^2 , betinget af estimerne på parametrene i modellen β , ved at løse ligningen, hvor den afledte af ℓ mht. σ sættes lig 0.

Skrotandele kan ikke anvendes i ML metoden

Fra denne opstilling af ℓ ses endvidere begrundelsen for, at det ikke er muligt at estimere parametrene til skrotandelene. For $t=1978, \dots, 1990$ kendes kun de samlede bestande (randtotalerne), samt andelen af disse totaler der skrottes. Det følger umiddelbart, at disse andele ikke er lig summen af skrotandelene i de enkelte grupper, eksemplificeret ved følgende:

$$S_{..k,t} = \sum_{ij} S_{ijk,t} = \sum_{ij} \frac{S_{ijk,t}}{T_{ijk,t-1}} \neq \frac{\sum_{ij} S_{ijk,t}}{\sum_{ij} T_{ijk,t-1}} = \tilde{S}_{..k,t} \quad (4.18)$$

Da bestanden i de enkelte grupper ijk ikke kendes for disse år, er det ikke muligt at beregne skrotandelene i disse grupper og dermed heller ikke at beregne bidragene til likelihood funktionen fra (4.10) og (4.11).

Det er således også disse størrelser, der søges fundet vha. metoderne beskrevet i kapitel 3. Problemet ved at anvende sådanne metoder inden likelihood maksimeringen er, at fordelingerne af $s_{ijk,t}$ ikke længere kendes, og at de med sikkerhed ikke længere er normalfordelte $N(x_t\beta_{ijk}, \sigma^2)$. Det vil heller ikke være muligt at anvende $\tilde{s}_{..k,t}$ som en tilnærmelse, da estimerne af parametrene β_{ijk} derved vil være biased.

Det mest konsistente modelvalg er altså, at estimere på absolutte størrelser, og i stedet lade bestanden af biler indgå som forklarende variabel.

GLS estimation

Det kan principielt også lade sig gøre at estimere den opstillede models parametre vha. GLS (generaliseret least squares) estimation, hvis der anvendes absolutte størrelser. Dette vil kræve minimering af objektfunktionen:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{ijk|t > 1991} (\mathbf{S}_{ijk} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}_{ijk})^T (\mathbf{S}_{ijk} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}_{ijk}) \\ & + \sum_{k|t < 1992} (\mathbf{S}_{..k} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}_{..k})^T (\mathbf{S}_{..k} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}_{..k}) + \dots \end{aligned} \quad (4.19)$$

Problemet ved at anvende denne metode er, at de sædvanlige teststørrelser fra GLS regressionerne ikke kan anvendes. Det er ikke forsøgt at finde de korrekte teststørrelser, da den mere generelle maksimum likelihood estimation umiddelbart kan anvendes.

Fordelen ved at kunne anvende denne generelle lineære regression er, at der ikke skal antages en specifik fordeling af de enkelte fejllid, men at der i stedet kan testes for, om fejleddene opfylder visse betingelser, der gør teststørrelser og egenskaber ved estimatorerne anvendelige til at teste hypoteser om f.eks. inklusion af de forskellige uafhængige variable, X . Dette står således i modsætning til maksimum likelihood estimationen, hvor det kræves, at der antages en specifik fordeling af fejleddene.

4.3 Eksogene variable

Uafhængige variable

Udgangspunktet for valget af uafhængige variable er, at det skal være variable, der kan fremskrives uafhængigt af estimationen. Dette kan således være eksogene variable i forhold til modellen (f.eks. forbrugerprisindekset eller et indeks for brændstofprisen), eller det kan være variable, der fremskrives i det samlede modelkompleks (f.eks. variable for den kollektive trafiks serviceniveau og lignende), der således kan siges at være eksogene for delmodellen til fordeling af skrotningerne.

Mange faktorer forklarer udviklingen

Der er en lang række faktorer, der er bestemmende for både valget af bil og for fordelingen af bilparken/skrotningen. Cowi har i deres arbejde med udviklingen af en model til fordeling af nybilsalget fun-

det en del af disse faktorer. Ligeledes har Vejdirektoratet foretaget en fremskrivning af personbilparken, hvor nogle af disse faktorer også indgår.

Af de faktorer, som Cowi har fundet, vil en del af dem være irrelevante for denne prognosemodel, da en fremskrivning af disse variable vil være umulig at foretage (f.eks. bilernes fysiske størrelse, type, motorkraft mv.). Der findes endvidere ikke historiske værdier for mange af disse variable, ligesom de ikke er generelle på kategori-niveau. De er derfor sorteret fra på forhånd.

Tilbage er variable som indkomst og pris. Indkomst variabelen kan i denne model medtages som en generel indkomstændring fra år til år, da information om hvem der ejer hvilke biler ikke findes. Samtidig kan prisen kun opdeles i generelle priser for biler i de enkelte kategorier, hvilket endvidere er besværligt, endsige umuligt. Dette problem bliver specielt udtalt, når en fremskrivning skal foretages. I stedet kan generelle prisindeks anvendes.

En yderligere forskel mellem Cowis model og denne model er, at Cowis model er bestemt til at fordele et givet nybilsalg, mens denne model skal forudsige udviklingen af skrotningen og ikke kun fordelingen.

I Vejdirektoratets fremskrivning anvendes følgende variable til at lave fremskrivningen af bilparken: *den reale ændring i BFI, ændringen i realrenten, ændringen i priserne på olie og benzin, reparation og vedligeholdelse samt anskaffelse*. Dette er alt sammen faktorer, for hvilke der kan foretages fremskrivninger¹⁵. Det må også forventes, at dette er faktorer, der har betydning for størrelsen af skrotningerne. Herudover kan brugtbilprisen evt. også medtages.

Generationseffekter

Af andre faktorer der kan medtages, er *generationseffekten*, der er den effekt, der fremkommer, fordi yngre befolknings-generationer har et andet kørekorthold, en anden arbejdsfrekvens mv. Et tydeligt eksempel herpå er, at et langt større antal kvinder har kørekort og er indtrådt på arbejdsmarkedet. Det må forventes, at dette har en positiv indvirkning på størrelsen af bilparken, men nok nærmere på nybilsalget end den egentlige skrotning.

Joyce Dargay har arbejdet netop med betydningen af generations-effekter og indkomsteffekter for bilparkens størrelse, dette er bl.a. beskrevet i Dargay (1998 og 1999).

Et yderligere element der bør undersøges, er indførslen af skrotningspræmien i 1994-95. Denne har givet en "unaturligt" høj skrotning, der skal kontrolleres for i estimationen.

4.4 Estimation

I forrige afsnit blev det diskuteret, hvilke variable der kan anvendes som uafhængige forklarende variable for skrotningen i de forskellige grupper. Da det ikke er muligt at finde forskellige prisindeks mv. for hver enkelt gruppe, vil den primære grund til udviklingen i skrot-

¹⁵ F.eks. vha. ADAM modellen.

ningen fremkomme, fordi indflydelsen af de uafhængige variable er forskellig på den enkelte gruppe.

De to hovedmetoder til estimation, der er beskrevet i dette kapitel, giver også to forskellige metoder til at teste signifikansen af de enkelte variable.

Ved anvendelse af den lineære regression (den normale tidsserie estimation, beskrevet i afsnit 4.2.2), er det muligt at teste betydningen af de enkelte parametre i hver enkelt ligning, for derigennem at afgøre om en variabel skal indgå i den enkelte ligning. Dette er ikke muligt i maksimum likelihood estimationen, hvor alle parametrene for de enkelte grupper estimeres simultant. Her vil inklusion af en bestemt variabel i princippet gælde for alle de enkelte ligninger, og kan ikke differentieres mellem hver enkelt ligning for at opnå det bedste fit i hver enkelt kategori. Dette er således den "omkostning" der er, ved at kombinere detaljeret og aggregeret information i estimationen.

En strategi for udvælgelse af såvel model som betydende variable ved anvendelse af de lineære regressioner er:

Model og metode bestemmes ud fra data

Den estimationsmetode (VAR, SUR eller simpel lineær regression), der umiddelbart ser ud til at passe bedst for flest grupper, anvendes. Valg af hvilke uafhængige variable der medtages i de enkelte ligninger, bestemmes derefter af t-værdierne for den estimerede parameter i den enkelte ligning. Der er som nævnt ikke den begrænsning, at alle ligninger skal have de samme forklarende variable.

For maksimum likelihood estimationen foretages udvælgelsen af betydende variable ved at evaluere maksimum likelihood ratioen, der sammenligner maksimum likelihood værdierne ℓ^{Max} for hver specifikation af modellen. Da det er den samlede likelihood værdi der sammenlignes på, er der ikke umiddelbart en entydig strategi for at udvælge hvilke variable, der skal indgå i bestemmelsen af skrotningen i den enkelte gruppe. I stedet vil de samme variable indgå i bestemmelsen af alle grupperne.

Som det blev diskuteret i forrige afsnit, er det relativt begrænset, hvilke variable der kan frembringes, ligesom det begrænsede antal historiske tidsperioder (21) begrænser det antal uafhængige variable, der kan medtages i hver ligning.

Det er endvidere valgt at begrænse estimationen til biler i aldersklasser fra 1 til 20 år, idet datamængden for biler ældre end 20 år er lille, og desuden reduceres med én observation for hvert yderligere år, der medtages. Det forventes desuden, at den største udvikling i skrotningerne finder sted, inden bilerne når denne alder. Dette på trods af, at beregninger foretaget af Vejdirektoratet viser, at medianalderen af bilerne bliver højere og højere¹⁶.

¹⁶ Bemærk dog i denne sammenhæng, at en forhøjet medianalder ikke nødvendigvis også betyder forhøjet gennemsnitsalder, eller at alle biler bliver ældre. Det kan godt tænkes, at det primært er resultatet af, at der er flere biler i de ældste aldersgrupper. Der er dog intet i tallene, der indikerer, at der bør foretages en yderligere opdeling af de ældste biler.

4.4.1 Resultater

I dette afsnit præsenteres resultaterne af de gennemførte estimationer. Præsentationen er koncentreret omkring maksimum likelihood estimationerne, men der gives også en kortere præsentation af estimationerne med least squares estimationerne.

t-værdier og χ^2 tests

Til at evaluere de forskellige variables betydning i de enkelte modeller anvendes hhv. t-værdier (least squares) og χ^2 tests, hvor den sidste referer til et likelihood ratio test, hvor forholdet mellem likelihood værdierne i de to forskellige specifikationer af modellerne sammenlignes, under hensyntagen til frihedsgraderne i de to modeller. Som generel rettesnor for hvor god den enkelte model er, anvendes generelle R^2 -værdier. Det vil fremgå, at disse ikke er imponerende høje, hvilket naturligvis skyldes den manglende differentiering i prisindeks for forskellige grupper af biler og især for maksimum likelihood estimationerne, at der ikke umiddelbart kan differentieres mellem forklarende variable i de forskellige grupper.

En egentlig sammenligning af de to modelestimer bør kun gøres ved at sammenligne R^2 værdierne for residualerne for 1992 til 1997, da observationerne for årene før dette enten er aggregerede størrelser, eller er genererede data, hvor der, som tidligere nævnt, i høj grad kan være unøjagtigheder. Et problem i denne forbindelse er dog stadig, at der i maksimum likelihood estimationen estimeres på absolutte skrotninger, mens der i least squares regressionerne estimeres på skrotandele. Resultaterne skal derfor ses i lyset af fordelene og ulemperne ved estimation af hhv. andele og absolutte værdier.

Maksimum likelihood estimer

Basis likelihoodværdi

Basismodellen er den lineære model, hvor skrotningen kun er forklaret vha. en konstant. Denne model giver en likelihood værdi til sammenligning: -14348,7. For yderligere at have et sammenligningsgrundlag, beregnes også R^2 -værdierne for de enkelte modeller. I Tabel 4.1 angives estimationsresultaterne af udvalgte modeller. I tabellen er endvidere angivet den korrigerede R^2 -værdi, hvor korrigeringen sker i forhold til antallet af observationer (her 1070) og antallet af parametre, der skal estimeres (120 for hver indgående variabel). Selvom den fælles estimation af modellen giver flere observationer, kan der ikke ukritisk tilføjes forklarende variable, da forholdet mellem antallet af observationer og antallet af parametre bliver for lavt. Opgaven er derfor, at finde den "mindste" model der kan forklare de observerede skrotninger.

Tabel 4.1 Estimationsresultater på udvalgte modeller¹⁷.

I alle modellerne er endvidere også inkluderet en konstant.

Bestand	Indkomst	F.Pris	Anskaffelses omk	Benzin	Vedlige- holdomk.	Dummy 94	ML-værdi	R ²	R ² - korr
X	X		X	X	X		-13501,3	0,84	0,24
X	X	X		X	X		-13587,8	0,81	0,56
X	X			X			-13783,9	0,75	0,54
X	X		X		X		-13636,5	0,78	0,49
X	X		X				-13743,7	0,74	0,54
X	X		X	X	X	X	-13527,4	0,83	0,19
X		X	X	X	X	X	-13539,6	0,83	0,21
	X	X	X	X	X		-13734,9	0,42	-0,77

Generelt kan det konkluderes, at modellernes evne til at beskrive data er ganske god, idet alle R²-værdierne er høje. Tilsvarende er alle modellerne signifikante ved gennemførelse af et likelihood ratio test mellem basismodellen og den enkelte påståede model. Billedet ændres dog lidt, hvis de korrigerede R²-værdier anvendes. Herved reduceres modellernes forklaringssevne ganske væsentligt. Specielt bemærkes, at værdien for modellen uden anvendelse af bestanden har en negativ værdi. Dette billede er helt generelt for alle de afprøvede modeller.

Interessante implikationer

Fra tabellen kan flere interessante ting udledes. For det første er modellerne, der inkluderer bestanden i den forrige periode, alle bedre end de tilsvarende modeller, hvor denne størrelse ikke er inkluderet. Dette harmonerer således godt med hele diskussionen vedrørende absolutte størrelser og andele. Det ville derfor have været bedre, om modellen kunne have været estimeret på andele fremfor absolutte værdier.

En anden særdeles væsentlig ting, der fremstår fra modellen, er betydningen af antallet af forklarende variable. En model der, set på basis af de ukorrigerede R²-værdier, har en god forklaringsgrad, viser sig efter inddragelsen af antallet af parametre, at være en mindre god model end en anden model med færre forklarende variable. Dette uddybes om lidt ved anvendelsen af likelihood ratio tests.

Det sidste, der umiddelbart bemærkes fra tabellen er, at inklusionen af en dummy, til forklaring af den relativt store skrotning i 1994, tilsyneladende ikke forbedrer modellens forklaringsgrad væsentligt. Dette ses både gennem den korrigerede R²-værdi og ved en sammenligning af ML-værdierne.

Valg af bedste model

Modellerne er systematisk blevet testet vha. likelihood ratio tests. Disse tests er blevet anvendt til at finde den mindste model, der med rimelighed kan forklare data. Udvalget (baglæns, hvor der trin

¹⁷ Forklaringen til de enkelte kolonner i tabellen: *Bestand* angiver bestanden af biler i kategorien, *F.-pris* angiver forbrugerprisindeks, 1980=1000, *Anskaff.omk* angiver et indeks for anskaffelsesomkostninger, 1980=1000, *Benzin* angiver et indeks for brændstofpriser, 1980=1000 og *Vedligehold.omk* er et indeks for vedligeholdelsesomkostninger, 1980=1000.

for trin testes hvilken variabel, der kan fjernes) har ført til følgende rækkefølge:

Tabel 4.2 Valg af mindste model vha. trinvis eksklusion af variable.

Modelnumrene henviser til rækkefølgen de er blevet kørt, og har derfor ikke direkte nogen betydning her.

I alle modellerne er endvidere inkluderet en konstant.

Model nr.	Bestand	Indkomst	F.Pris	Anskaffelses omk	Benzin	Vedligeholdomk.	Dummy 94	ML-værdi	LR	R ² -korr
21	X	X	X	X	X	X	X	-13492,7		-0,55
8	X	X	X	X	X	X		-13501,3	19,2	0,24
11	X	X		X	X	X		-13547,3	92,0	0,49
15	X	X			X	X		-13587,8	91,0	0,56
38	X				X	X		-13761,1	346,6	0,55
39	X	X				X		-13688,3	201,0	0,53
16	X	X			X			-13783,9	392,2	0,54

De tre sidste linier i modellen viser begge sammenligning med model 15, og indikerer således hvorledes strategien for udvælgelsen er foregået i de foregående trin. Den model der giver den mindste LR-værdi fravælges. Det fremgår heraf, at model 15 er den bedste model, hvilket også bekræftes af den korrigerede R²-værdi, der for de efterfølgende modeller er faldende.

Den sekvens, der er illustreret i tabellen, er ikke helt den sekvens, der skulle være anvendt, hvis den 'korrekte' udvælgelse skulle være foretaget i trin 1. Havde denne alternative sekvens været fulgt, ville vi være endt op med en dårligere model end model 15.

En helt generel sammenligning af de forskellige modeller kan også foretages vha. LR størrelsen. Teststørrelsen for denne specielle version af LR-testet kaldes F-test, der evalueres vha. $F(k_1, k_2)$ fordelingen, hvor k_1 og k_2 er antallet af parametre, der estimeres i hver af modellerne. Dette test (foretaget mellem alle modeller) bekræfter også resultatet af den ovenstående sekvens.

Et andet lige så væsentlig element i udvælgelsen af den rette model er, at se på parametrenes størrelser og fortegn. Da model estimationen foregår generelt, er der således stor risiko for, at flere af parameterestimerne har forkerte fortegn. En af forklaringerne på dette fænomen er, at de eksogene variable er korrelerede. Et problem i denne sammenhæng er antallet af parametre, der skal undersøges (for hver indgående variabel er der 120 parametre, der skal testes signifikans af). Dette er således en stor opgave som i denne sammenhæng ikke har kunnet løses indenfor tidsrammen. Modellerne er derfor kun testet generelt og ikke for hver enkelt gruppe af biler separat.

Statistisk resume

I Tabel 4.3 er enkelte statistiske resuméer om de 5 indgående variable angivet. Tallene angiver hhv. gennemsnit, standardafvigelse, største og mindste værdi af de tilhørende parameterestimer. Det skal til disse størrelser bemærkes, at de store maksimum værdier ikke er generelle for alle typer af kategorier, men kun for tilfældet af biler i den ældste aldersklasse. Til gengæld er de store maksimum værdier gældende for alle tre vægtklasser. Den ældste kategori af biler er

speciel, idet den er en samlekategori af alle biler ældre end 20 år, og antallet af skrotninger i denne kategori afviger derfor væsentligt fra de andre grupper. Udelades denne alderskategori, bliver de maksimale værdier af parametrene: hhv. 0,0113; 0,7869; 0,8435; 0,8142 og 1,4100.

Tabel 4.3 Beskrivende statistik om den valgte mindste model.

	Konstant	Bestand	Indkomst	Benzin	Vedligehold.omk.
Gennemsnit	0,0108	0,283	0,292	0,424	-0,0023
Standardafvigelse	0,00178	3,249	3,288	2,730	1,5754
Maksimum	0,0212	20,430	20,753	16,412	9,8022
Minimum	0,0093	-1,853	-1,889	-1,235	-7,6906

Det bemærkes, at alle parametrene, bortset fra konstanten, både har positive og negative værdier. Intuitivt skulle parameterestimerne til bestandens størrelse være positiv, mens forventningen til omkostningsvariablene er, at de burde være negative. Hvorvidt indkomst parametrene skal være positive eller negative er sværere at sige. Går man nærmere ind på de enkelte parameter estimer, viser det sig da også, at de overvejende svarer til denne intuition.

Least squares estimationsresultater

Least squares

Det er, som tidligere nævnt, ikke muligt at foretage den fuldstændige evaluering af modellen baseret på skrotandele, idet de fejl der indføres gennem data generationen, beskrevet i kapitel 3, ikke er mulige at evaluere. Det er derfor heller ikke muligt direkte at sammenligne R^2 -værdierne fra least squares estimation med de fra likelihood estimationen opnåede R^2 -værdier. De værdier der rapporteres fra OLS estimationerne, tenderer alle til at være højere end værdierne fra ML estimationen. Gennemsnittet af R^2 -værdierne ved estimation af modellerne separat for hver bil kategori er 0,58, mens den korrigerede R^2 har et gennemsnit på 0,47. Disse værdier dækker endvidere over store udsving i værdierne. Generelt tyder meget derfor på, at maksimum likelihood estimationerne beskriver data lige så godt som (eller bedre end) OLS estimerne. Det skal her retfærdighedsvis siges, at de mere sofistikerede GLS modeller, beskrevet i starten af dette kapitel, ikke er afprøvet, og at sammenligningerne ikke er foretaget på den samlede R^2 .

Som for maksimum likelihood estimationen, varierer fortegnene på parameterestimerne for alle de indgående variable. En effekt, der ikke ses i least squares estimerne er, at gruppen af de ældste biler har en markant forskellig størrelse på alle estimerne. Dette er således det direkte resultat af, at der estimeres på andele og ikke faktiske størrelser.

Det er også her principielt muligt, at specificere en separat sammenhæng for hver af de 120 delvis uafhængige kategorier. Det er dermed også muligt, at gennemføre en udvælgelsesprocedure lig proceduren, der blev antydnet for maksimum likelihood estimationen. Men arbejdet forbundet med dette, er vurderet for omfattende til at blive gennemført i denne sammenhæng. Gennemførelsen af denne detaljerede

udvælgelse er dog det optimale både ved least squares metoden, men også ved anvendelse af maksimum likelihood metoden.

4.5 Afsluttende bemærkninger

Et væsentligt element i udvikling af personbilparken

I dette kapitel er en af de væsentligste elementer i udviklingen af personbilparken blevet beskrevet. En model for størrelsen af skrotningen er udviklet og beskrevet. I modellen bestemmes hvilke biler der forlader bilparken fordelt på alder samt vægt og brændstof. At skrotningen har så afgørende betydning, begrundes yderligere i næste kapitel.

En af de diskussioner der har været i kapitlet, har drejet sig om, hvorvidt skrotningen skal udregnes som en andel af den eksisterende bestand, eller den skal beregnes i absolutte størrelser. Konklusionen herpå er ikke entydig, dog anføres det, at med anvendelsen af andele vil det blive muligt direkte at sammenligne på tværs af størrelseskategorier og brændstokategorier, og om muligt at estimere en fælles skrotningsandel for flere kategorier samlet.

En anden væsentlig problemstilling i estimationen af skrotningsandelene er anvendelsen af det genererede datasæt, beskrevet i kapitel 3. Risikoen er, at usikkerheden på de genererede observationer giver systematiske fejl i estimationen af skrotningen, som det ikke er muligt at korrigere for på passende vis. Alternativet er, at detaljerede tidsserier ikke er tilgængelige, hvilket dermed begrænser muligheden for "normal" tidsserie estimation. For at løse dette problem og samtidig udnytte så meget af den tilgængelige information som muligt, er maksimum likelihood metoden blevet anvendt. Denne metode giver mulighed for, på enkel vis, at estimere mere komplekse modeller med forskellig typer af information. Således kan metoden anvendes til, at estimere modellen, hvor detaljeret information kendes for 1991 til 1997, og mindre detaljeret information kendes for 1977 til 1990.

Maksimum likelihood mest konsistent

Maksimum likelihood estimation giver den mest konsistente estimation af modellen, givet antagelser om specifikke fordelinger af fejleddene, men modellen begrænses dog i og med, at det ikke er muligt, at estimere modellen baseret på skrotandele.

En tredje estimationsmulighed, der ikke er afprøvet, er at anvende de genererede data i maksimum likelihood estimation. Dette kræver igen en antagelse om, at de genererede tal ikke er systematisk biased, hvilket er en meget heroisk antagelse, da gravitations metoden netop anvender en sådan systematik. Det virker derfor umiddelbart som om, at anvendelsen af GLS estimation er mere anvendelig ved anvendelsen af de genererede data.

Den væsentligste ulempe ved at anvende maksimum likelihood estimation er, at den kræver en antagelse om en specifik fordeling af fejleddene. Ved den lineære regression er dette ikke et krav. Her skal der i stedet kontrolleres, at visse designkriterier er opfyldt. Et andet problem ved maksimum likelihood metoden er, at der ikke kan opstilles en strategi for udvælgelsen af betydende forklarende variable i de enkelte ligninger. Det er således heller ikke muligt, at kontrollere for bl.a. autokorrelation mv. i de enkelte ligninger på en systematisk

måde.

Forskellen på at anvende hhv. andele og absolutte størrelser viser sig også i de endelige estimationsresultater, hvor der er signifikant forskel på størrelsen af parameterestimerne for den ældste kategori af biler, sammenlignet med de andre alderskategorier i maksimum likelihood metoden. Dette er således ikke tilfældet for least squares resultaterne.

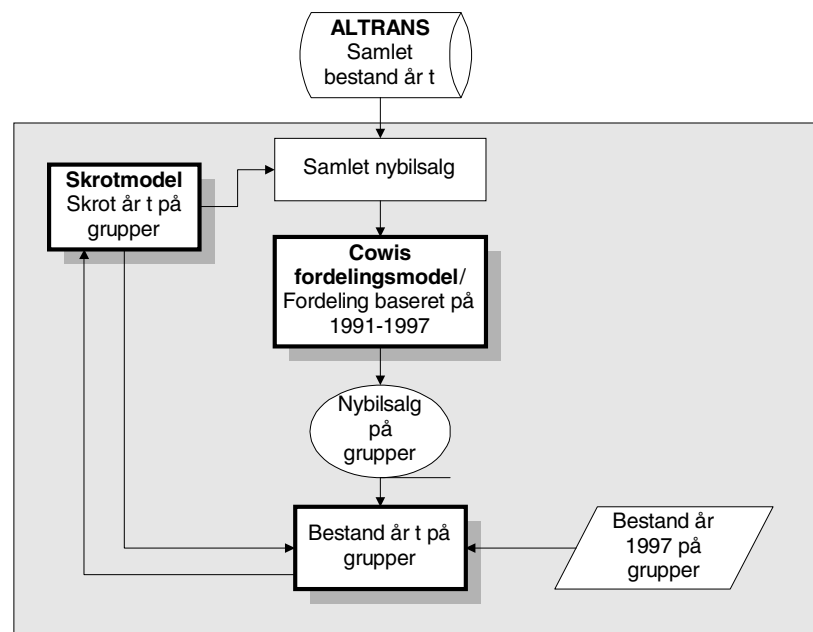
På trods af de nævnte problemer med estimationen af skrotningsmodellen, beskrevet i dette kapitel, er de endelige maksimum likelihood resultater dog af sådan en kvalitet, at modellen kan implementeres i den samlede bilparksmodel.

5 Fremskrivningsmodellen

Hovedparten af dette kapitel består af en teknisk gennemgang af, hvordan bilparken fremskrives år for år, baseret på bl.a. skrotningsmodellen beskrevet i forrige kapitel, Cowis model til fordeling af nybilsalget samt metoden til at fremskrive emissioner og energiforbrug. I gennemgangen er medtaget en række overvejelser, der nødvendigvis må med, når udviklingen bestemmes som det er tilfældet her.

5.1 Bestemmelse af udviklingen i bilparken

Udviklingen i bestanden af biler år for år er skematisk illustreret i Figur 5.1. Denne del af den samlede model foretager udelukkende en fordeling af bestanden af biler år for år, og inddrager derfor ikke modulet til fremskrivning af kørsel og energiforbrug. De eneste input udefra er den i ALTRANS beregnede totale bestand for hvert enkelt år fra basis året til det endelige prognoseår samt de relevante eksogene variable: indkomst, benzinpris og vedligeholdelsesomkostninger. De eksogene input er ikke illustreret i figuren.



Figur 5.1 En skematisk illustration af udviklingen i bilparken år for år.

Den essentielle sammenhæng, der udvikler bestanden af biler er:

$$T_t = T_{t-1} + N_t - S_t \quad (5.1)$$

hvor T_t angiver bestanden af biler i periode t ,
 N_t angiver tilgangen af nye biler i periode t og
 S_t angiver skrotningen i periode t .

Beregning af nybilsalg

For hvert år bestemmes bestanden T_t i ALTRANS, mens størrelsen af skrotningen bestemmes i skrotningsmodellen. Nybilsalget beregnes derfor som residualen mellem bestanden i periode t , bestanden i pe-

riode $t-1$ og skrotningen i periode t .

Det tillades dog ikke, at nybilsalget bliver mindre end 0¹⁸. Dette burde selvfølgelig ikke være nødvendigt at indføre, men i enkelte prøvekørsler har det vist sig, at det var muligt at få et nybilsalg mindre end 0, specielt hvis bilparkens totale størrelse forudsiges at falde.

Beregningen af nybilsalget er en totalberegning, mens der i det videre forløb ønskes en fordeling på de forskellige grupper. En sådan fordeling kan foretages på to forskellige måder: en mulighed er at anvende en historisk fordeling af bilerne uden nogen form for eksogen påvirkning. En anden mulighed er, at inddrage en model (Cowi, 1998) til at foretage denne fordeling. Denne model kan inddrage en række andre faktorer i fordelingen af bilsalget. I næste delafsnit gives en kort beskrivelse af denne model og dens muligheder i modellen til udvikling af bestanden.

Resultatet af denne proces er, uanset beregningsmåde, at nybilsalget fordelt på de forskellige grupper kendes.

Korrektion af den beregnede bestand

Udgangsbestanden er den senest observerede bestand (1997), der er fordelt på de respektive grupper. Da ALTRANS ikke nødvendigvis beregner samme bestand, kan der udregnes en korrektionsfaktor, der udligner de to størrelser – $T_{Korr} = \frac{T_{1997}^{Obs}}{T_{1997}^{ALTRANS}}$. Denne faktor holdes konstant, og anvendes derefter, for hvert år, til at justere den i ALTRANS beregnede bestand. På samme måde justeres trafikarbejdet fra ALTRANS, så det svarer til det faktisk realiserede trafikarbejde i 1997.

Der er dog en del faktorer, der taler for ikke at benytte en sådan korrektionsfaktor. Den væsentligste af disse er, at Altrans ikke beregner hele trafikarbejdet og hele bestanden af personbiler. Dels fraregnes de lange ture, dels er transport i varebiler ikke specifikt angivet. Det er derfor ikke muligt at skille disse ud og foretage separat beregning heraf. Varebilerne indgår ikke i den bilpark, der regnes på i bilparkmodellen. Den tredje indvending der er mod at foretage en korrektion er, at prognoser af bilparken og af trafikarbejdet i nogle situationer formentlig kan antages at være forudsagt korrekt. Det er i disse situationer kun i udgangssituationen, at modellen ikke rammer det faktisk observerede trafikarbejde.

Begrænsninger på skrotningen.

Skrotningerne beregnes, som angivet i kapitel 4, ud fra den valgte matematiske sammenhæng (f.eks. (4.1) eller (4.5)). Der sættes dog begrænsningen, at skrotningen ikke kan overstige 100%, da en negativ bilpark ikke er mulig.

Der indlægges en yderligere begrænsning på skrotningen. Den negative skrotning, der blev nævnt i afsnit 2.3, vil her fremtræde som en negativ andel. I beregningerne er denne begrænset til intervallet $[-1;0)$, selvom andelen i princippet ikke bør være nedadtil begrænset. Det virker dog urealistisk, at bestanden skulle vokse med over 100% pga. genregistreringer mv.; dog måske med undtagelse af gruppen af

¹⁸ Det kunne endda være nødvendigt at sætte denne grænse højere end 0, da et nybilsalg på 0 er lige så urealistisk som et negativt nybilsalg. Hvor stor denne størrelse skulle være, er dog ikke noget, der kan vides på forhånd. Med det nuværende niveau vil et tal mellem 50.000 og 100.000 virke mest troværdigt som undergrænse for nybilsalget.

små dieselmotorer (under 800 kg), hvor bestanden i udgangspunktet er meget lille (i nogle tilfælde under 10 køretøjer). At forsøge at gøre undtagelser i forbindelse hermed, vil udelukkende have akademisk interesse, da det ikke vil have nogen betydning i de samlede beregninger. Det er derfor valgt at bibeholde begrænsningen af skrotningsandelene nedadtil. Andelene er m.a.o. begrænset til intervallet $[-1;1]$.

Beregning af bestanden

Med metoderne til udviklingen af skrotningen og nybilsalget for hver periode t på plads, beregnes udviklingen af bestanden i hver gruppe for et år ad gangen. Udgangspunktet for denne beregning er, som nævnt, bestanden i 1997 fordelt på de samme grupper. Denne bestand er som beskrevet kompatibel med den beregnede bestand fra ALTRANS. Bestanden i gruppe ijk (vægt, brændstof og alder) i periode t beregnes herefter vha. af (5.1).

Bestanden i periode t anvendes i næste iteration til beregning af skrotningen i periode $t+1$ og i beregningen af bestanden i periode $t+1$. Iterationerne stopper, når det endelige prognoseår er nået.

5.1.1 Model til fordeling af nybilsalg

To mulige fordelinger af bilsalg

Som det blev nævnt ovenfor, er der to muligheder, hvorved nybilsalget fordelt på grupper kan beregnes.

Den første metode kan kort beskrives ved, at fordelingen bestemmes fast som det forhold, der i gennemsnit var i perioden 1991 til 1997 (eller som i 1997 eller et andet udvalgt år).

Fast fordeling er utilfredsstillende

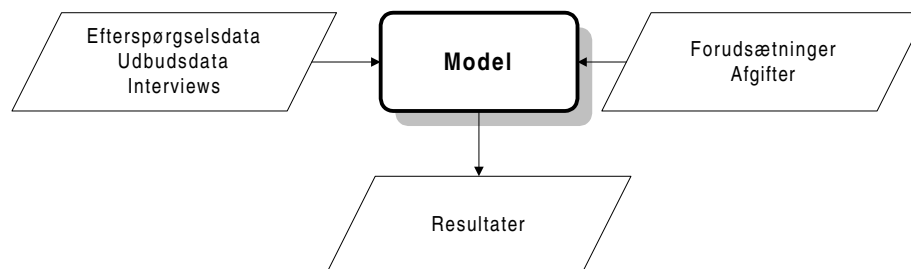
Denne metode er dog ikke særlig tilfredsstillende, idet eksogene faktorer som f.eks. ændrede skatteforhold og andre påvirkninger, som indkomster eller prisniveau ikke får indflydelse på bilvalget. Samtidig er det nybilsalget, der er bestemmende for, hvorledes den fremtidige bilpark er sammensat. Det er derfor vigtigt, at denne også får mulighed for at udvikle sig afhængig af andet end en forudbestemt fordeling.

Der er i løbet af 1997 og 1998 udviklet en model, der netop har til formål, at fordele et givet nybilsalg. Modellen er beskrevet i Cowi (1998) og der vil her blive givet en kort gennemgang af princippet i modellen.

Ganske enkelt er modellens komponenter illustreret i Figur 5.2. Efterspørgselsdata er data om de personer, der har købt nye biler i 1997, mens udbudsdata er informationer om de biler, der er blevet solgt i 1997. Endelig er disse registerbaserede data suppleret med interview data, hvor oplysninger, der ikke kan findes i registre, er indsamlet.

Det andet sæt af inputdata er forudsætninger for modellen (specificeres ikke nærmere) samt afgifter. Inkluderingen af afgifter gør det muligt, at påvirke bilsalget gennem ændrede afgifter¹⁹.

¹⁹ Dette var således hovedformålet med projektet.



Figur 5.2 Skematisk illustration af sammenhænge i modellen.

De fleste data forbliver uændret

For at modellen kan få anvendelse i dette projekt, vil det kræve, at en række af de anvendte data holdes fast i forbindelse med fremskrivninger, da disse ellers skal fremskrives inden de anvendes i fremskrivningsmodellen.

For efterspørgselsdata vil det betyde, at information som familietype, køn, alder og geografisk placering ikke umiddelbart kan inkluderes. Da indkomst anvendes som segmenteringsvariabel, vil det ikke uden videre være muligt, at udnytte en generel indkomstudvikling i forbindelse med modellen. Dette vil kræve en viden om hvilke bilkøbere, der skifter indkomstkategori. Et alternativ er at lade et tilfældigt udvalgt antal bilkøbere skifte indkomstkategori baseret på den generelle udvikling. Mulighederne for dette er endnu ikke undersøgt.

Fremskrivning af udbudsdata vil ligeledes være en næsten umulig opgave, idet disse er direkte koblet til den enkelte bilvariant. Dette er ikke elementer, der indgår i arbejdet med at lave en model for bilparken. Dog kan prisen på bilerne anvendes, ligesom benzin- og dieselpriser kan anvendes.

Selvom der er en vis sammenhæng mellem udbud og efterspørgsel af biler, er efterspørgslen dog ikke perfekt korreleret med udbuddet, hvilket også vises i Cowi, 1998. Betydningen af ikke at kunne ændre i udbudsdata i en fremskrivning, er derfor relativ begrænset. Til gengæld forsvinder en større del af forklaringsgraden, ved ikke at kunne inddrage efterspørgselsdata.

Blandt de mest betydende faktorer i valget af bil, viser det sig i interviewundersøgelsen, er størrelsen og prisen.

Logitmodel

Valget af bil bestemmes vha. en logitmodel²⁰, hvor både udbuds- og efterspørgselsoplysninger indgår i den stokastiske nyttefunktion. I princippet har hvert enkelt individ (et individ er defineret som en husstand, der har købt bil i 1997) alle udbudte bilmærker i sit valgsæt. Da det modelmæssigt ikke er hensigtsmæssigt endsige muligt, at behandle så stort et sæt af alternativer, samples et udvalg på 50 alternative biltyper inklusive den valgte biltype.

Logitmodellen angiver sandsynligheder for, at en bestemt bil (fra det samlede valgsæt) vælges. Efterfølgende lægger modellen det totale antal solgte biler af hver type sammen, så output bliver fordelingen på de ca. 1000 varianter, der anvendes i modellen.

²⁰ Modeltypen beskrives ikke nærmere her. For uddybende informationer henvises til Rich (1999a) og Cowi (1998).

For at kunne anvende dette resultat i fremskrivningsmodellen her, skal outputtet sammenlægges på vægt- og brændstofkategorierne.

Et mere teknisk problem ved at bruge denne fordelingsmodel er, at den skal køres en gang for hvert år indtil det endelige prognoseår. Modellen er opbygget i Access, og har en ikke uvæsentlig beregningstid.

5.2 Model til bestemmelse af energi- og emissionsfaktorer

I modellen beregnes personbilernes emissionsfaktorer for varme motorer og de ekstra emissioner ved koldstart. Faktorerne beregnes i alle prognoseårene opdelt efter bilernes førsteregistreringsår. Beregningerne opdeles også efter drivmiddel og motorstørrelse.

To emissionsbidrag

Emissionerne opdeles i to dele: varme emissioner og overemissionerne pga. koldstarter, der er den yderligere emission, der kommer, fordi motoren er kold.

Emissionerne er afhængige af bilernes første registreringsår samt de størrelseskategorier, der blev defineret i kapitel 2. Bilerne er i emissionsopgørelser opdelt efter forskellige alderskategorier (se Winther, 1999).

5.2.1 Varmstart

Emissionsfaktorerne for varmstart tages fra emissionsmodellen COPERT II (Ahlvik m. fl., 1997) ved by-, land- og motorvejskørsel.

Justering af faktorer pga. slid

Til opgørelserne af emissionsfaktorerne skelnes der specielt mellem konventionelle – ikke katalysatorbiler – og biler med katalysator. Katalysatorbilernes emissioner bliver gradvist større, jo længere bilerne har kørt. Forværrelsen skyldes slid på motor og katalysator. I de enkelte prognoseår er en justering af emissionsfaktorerne derfor nødvendig i forhold til køretøjernes samlede kørsel.

En tilsvarende ændring i emission pga. slid findes ikke for konventionelle biler. For dieslbiler foretages også en justering pga. slid. Denne justering er dog i princippet magen til justeringen for katalysatorbiler.

Det er, af denne grund, nødvendigt at indføre en korrektion af emissionsfaktorerne i modellen. Dette gøres simpelt ved at anvende bilerens alder, da ældre biler kører mindre pr. år end yngre biler. En mindre omregning er dog nødvendig for at opnå denne forbindelse.

Årskørsel

Oplysninger fra Vejdirektoratet om årskørslen bruges som nøgle for, hvor langt køretøjet i alt har kørt som funktion af alder. Matematisk kan fordelingsnøglen tilnærmes et 2. gradspolynomium fra køretøjets 0. år til udgangen af køretøjets 17. år. Herefter tilbagelægger køretøjet 12.525 km per år.

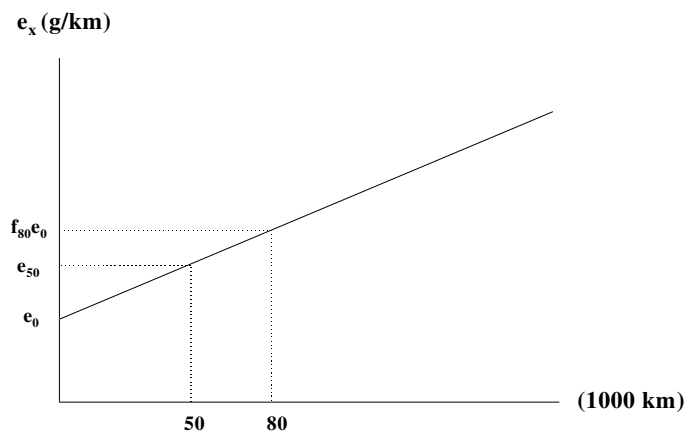
I (5.2) er funktionen for den samlede kørsel X som funktion af alderen Y angivet, hvor p angiver hvilket prognose år, der anvendes (f.eks. 2005):

$$X = \begin{cases} -405.033 * Y^2 + 25.800 * Y + 4194, & Y < 18 \\ -405.033 * 18^2 + 25.800 * 18 + 12.525 * (p - Y - 18), & Y > 17 \end{cases} \quad (5.2)$$

Denne sammenhæng er estimeret uafhængig af bilernes størrelse. Dette er naturligvis en grov approksimation, idet større biler kører længere end mindre biler. Approksimationen er nødvendig, da informationer om årskørslen fordelt på bilernes størrelser ikke eksisterer. Efter indførelsen af de periodiske syn skulle det blive muligt, at foretage systematiske opgørelser, der gør denne information tilgængelig. Uafhængig estimation for benzin- og dieslbiler laves heller ikke. Dette har mindre betydning i forbindelse med forværringer af emissioner, der kun er vigtige for benzinbiler med katalysator. Til gengæld vil approksimationen give et problem ved beregning af trafikarbejdet fordelt på de forskellige grupper af biler.

Forværrelsesfaktorer

For at beregne forværrelserne skal sammenhængen mellem km. og emissionsfaktorer, udover estimationen af sammenhængen mellem alder og tilbagelagte km., bestemmes. Denne sammenhæng kan til gengæld beregnes for de forskellige vægtkategorier, og er uden betydning for dieslbilerne.



Figur 5.3 Sammenhængen mellem kørte km for en katalysatorbil og emissionsfaktoren.

Figur 5.3 viser, hvordan emissionsfaktoren $e_{i,0}$ for en katalysatorbil stiger, når bilens samlede kørsel stiger. Emissionsfaktoren ved 50.000 km's kørsel, $e_{i,50}$, kendes fra COPERT modellen, og forværrelsesfaktoren $f_{i,80}$ udtrykker, hvor meget emissionen stiger for den i'te emissionskomponent fra 0 til 80.000 km's kørsel²¹.

Emissionsfaktoren, $e_{i,X}$ ved et givent antal kørte km, X , kan udtrykkes ud fra den rette linie:

$$e_{i,X} = \frac{f_{i,80} - 1}{80.000} \cdot e_{i,0} \cdot X + e_{i,0} \quad (5.3)$$

Idet $f_{i,80}$ og emissionsfaktorerne ved 50.000 km. kørsel kendes, kan $e_{i,0}$ beregnes som:

²¹ Denne emissionsfaktor kendes for hver aldersklasse af katalysatorbiler og de tre vægtklasser (egentlig er det motorstørrelser som beskrevet i afsnit 2.2.).

$$e_{i,0} = \frac{e_{i,50}}{\frac{(f_{i,80}-1)}{80.000} \cdot 50.000 + 1} \quad (5.4)$$

Ved at kombinere (5.3) og (5.4) kan formlen for $e_{i,X}$ til ethvert samlet kilometertal opstilles for hver aldersklasse af katalysatorbiler og de tre motorstørrelser:

$$e_{i,X} = \frac{e_{i,50}}{(f_{i,80} - 1) \cdot \frac{50.000}{80.000} + 1} \cdot \left(\frac{f_{i,80} - 1}{80.000} \cdot X + 1 \right) \quad (5.5)$$

Som forværrelsesfaktorer bruges for CO, VOC og NO_x hhv. 1,49, 1,30 og 1,49 (Niederle, 1998).

Ved indsættelse af udtrykket (5.1), der kobler tilbagelagte km. og alderen af bilerne, er koblingen fra bilernes alder til emissionsfaktorerne etableret.

5.2.2 Overemissioner ved koldstart

De ekstra emissioner ved koldstart beregnes med emissionsmodellen German Workbook (Keller et al., 1995) for de samme køretøjskategorier, som anvendtes ved beregningen af de varme emissioner.

Stort detaljeringsniveau

Beregningerne foretages under hensyntagen til bilernes holdetid, længden af turene samt udetemperaturen. For at kunne anvendes her, skal noget af denne detaljeringsgrad reduceres, f.eks. ved at sætte udetemperaturen konstant til 10⁰ C.

Overemissionerne ved koldstart er relevante, indtil bilerne har kørt over 4 km., hvorefter der tillægges den fuld overemission til den pågældende tur.

Som for varme emissioner afhænger katalysatorbilernes koldstarts-overemissioner også af, hvor langt bilerne i alt har kørt. Justeringsprincippet er det samme som gennemgået for varmmissioner. Nu kan overemissionen $E(s)$, af den i 'te emissionskomponent per gennemkørt strækning s og holdetid h findes for hver generation af katalysatorbiler og de tre motorstørrelser (i udtrykkene her er indeks for størrelse og alder ikke medtaget):

$$E_{i,X}(s, h) = \frac{E_{i,50}(s, h)}{(f_{i,80} - 1) \cdot \frac{50.000}{80.000} + 1} \cdot \left(\frac{f_{i,80} - 1}{80.000} \cdot X + 1 \right) \quad (5.6)$$

Den i alt kørte strækning X fås af (5.2), og de samme forværrelsesfaktorer f_{80} , som ved varmmissionsberegningen, anvendes.

(5.6) angiver m.a.o. overemissionen ved en tur på længde s , efter en holdetid på h , foretaget med en bil, der samlet har kørt X km.

5.3 Beregning af årskørsel samt energiforbrug og emissioner

I forgående afsnit blev det beskrevet, hvordan emissionsfaktorerne, der også dækker over energifaktoren, fremstilles. I dette afsnit beskrives, hvordan disse faktorer anvendes til at beregne de samlede emissioner og det samlede energiforbrug.

Problemstillingen

Problemstillingen er, at der i ALTRANS ikke etableres en sammenhæng mellem den enkelte personbiltur og den specifikke bil, som turen er foretaget i (alder, vægt og brændstoftype). Dette problem opstår, da information om den specifikke bil ikke kendes i det grundlæggende TU-datasæt²². Til gengæld er det muligt at følge den enkelte tur; hvor lang turen er samt holdetiden af bilen inden turen er foretaget.

Hvis det antages, at informationen om hvilken type bil der har foretaget den enkelte tur kendes, kan den samlede emission beregnes på følgende måde:

$$E = \sum_{Tur} (e(i)s_{Tur} + E(i, s_{Tur}, h_{Tur}, m_{Tur})) \quad (5.7)$$

Dette udtryk angiver emissionen som summen af alle ture, hvor emissionen på den enkelte tur sammensættes af en varm emission bestående af emissionsfaktoren e_x multipliceret med turens længde s_{Tur} samt overemissionen E ved en tur foretaget i måned m , hvor holdetiden inden turen er h . i angiver typen af personbil (alder, vægt og brændstoftype). Den tilbagelagte strækning en given årgang bil har tilbagelagt, medtages ikke længere, da denne implicit indeholdes i bilens alder jvf. udledningen i forrige afsnit.

Problem kun aktuelt for beregning af koldstart emissioner

Problemet er dog kun aktuelt for katalysator benzinerne, hvor betydningen af holdetid og strækning har indflydelse på størrelsen af overemissionen ved den enkelte tur. Var dette ikke tilfældet, ville det sidste led i summationen (5.7) forsvinde, og strækningen kan derfor erstattes med den totalt tilbagelagte strækning med en given type bil. Dette svarer til at beregne den totale varme emission.

En mulighed for at finde emissionerne er, at beregne trafikarbejdet med de forskellige typer af biler vha. (5.7) for den enkelte aldersklasse, mens det antages, at forskellige typer af biler (brændstof og vægt) med en given alder kører lige langt. Det totale trafikarbejde med en type ijk bil (alder, vægt og brændstof) beregnes på følgende måde:

$$S_{ijk} = N_{ijk} * \bar{s}_i \quad (5.8)$$

hvor S_{ijk} er total trafikarbejdet for en bil af type ijk ,
 N_{ijk} er antallet af biler af type ijk og
 \bar{s}_i er den årlige strækning en bil, i aldersklasse i , tilbagelægger

Beregning af koldstarter

For at benytte en tilsvarende metode til at beregne emissionerne for koldstarter skal der stadig beregnes, hvor mange ture der er af læng-

²² Dog kendes i TU-datasættet oplysninger om bilens alder på den enkelte tur. Denne oplysning fremkommer dog ikke i ALTRANS modelberegninger.

der indtil 4 km., hvor lang holdetiden har været samt hvilken måned turen foretages i.

En bedre metode til beregning af emissionerne er, at lave et vægtet gennemsnit af de enkelte overemissioner ved hver kørelængde og holdetid. Ved at benytte denne metode kan informationerne i ALTRANS beregningerne om hver enkelt tur udnyttes. For hver enkelt tur kendes således turens længde, holdetid samt hvilken måned turen foretages i. For at finde størrelsen af overemissionen ved den enkelte tur (betegnet E_x i formel (5.6)) skal der findes en gennemsnitlig overemission ved den givne turtype uanset typen af bil:

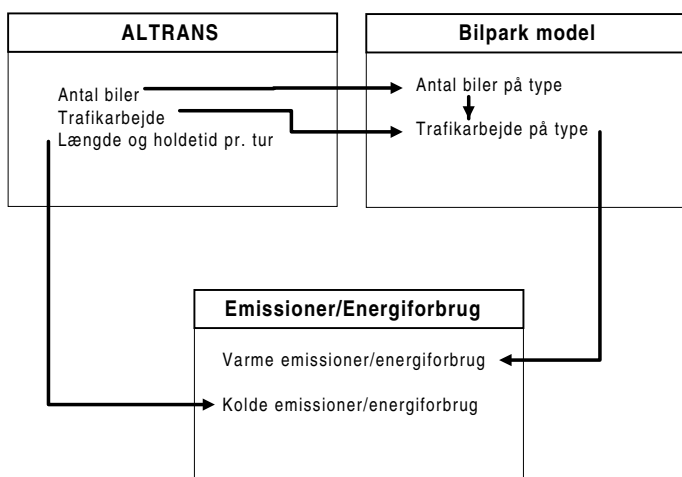
$$E(s_{Tur}, h_{Tur}, m_{Tur}) = \bar{E}(s_{Tur}, h_{Tur}, m_{Tur}) \quad (5.9)$$

$$\bar{E}(s_{Tur}, h_{Tur}, m_{Tur}) = \frac{\sum_{ijk} N_{ijk} E_{ijk}(s_{Tur}, h_{Tur}, m_{Tur})}{N} \quad (5.10)$$

Her angiver N den samlede bilparks størrelse. Den gennemsnitlige overemission findes m.a.o. som et vægtet gennemsnit af overemissionen, hvis turen blev foretaget med en type ijk bil.

En tilsvarende vægtet gennemsnits emissionsfaktor kan også laves for den varme emission. Denne vil dog blive det samme som ved anvendelsen af metoden beskrevet ovenfor, hvor den totale strækning, foretaget med den givne type bil, anvendes. De varme emissioner findes derfor vha. det totalt beregnede trafikarbejde for en type ijk bil beskrevet i (5.8) og det første led i summationen i (5.6).

I Figur 5.4 illustreres de principielle sammenhænge i beregningen.



Figur 5.4 Princip skitse over beregning af emissioner og energiforbrug.

Vi har efterfølgende forsøgt at udvikle et modelmodul, der anvender de faktisk beregnede ture i Altrans adfærdsmodellen, til at finde de mest sandsynlige fordelinger på koldpauser. Dette arbejde er ikke indført i denne version af bilparkmodellen, men forventes medtaget i en fremtidig revision.

5.4 Modelkørsler

Det har, i skrivende stund, ikke været muligt at forsøge at lave en fremskrivning med modellen, baseret på beregninger foretaget med adfærdsmodellen, da disse ikke forelå. I stedet er en fremskrivning af

bilparken, foretaget af Vejdirektoratet (Ekman og Clausen, 1999), anvendt. Der er ikke foretaget analyser af hvilke forhold, der har resulteret i den specifikke fremskrivning. Udviklingen er illustreret i Tabel 5.1 .

Tabel 5.1 Udviklingen i de anvendte inputvariable. 1980=1 for eksogene variable. Bestand og trafikarbejde i faktiske størrelser.

År	Bestand	Trafikarb. (mio. km.)	Indkomst	Benzinpris	Vedl.omk.
1998	1.860.824	36.727	2,86	1,54	2,90
1999	1.895.140	37.534	3,00	1,58	2,92
2000	1.929.456	38.341	3,15	1,63	3,00
2001	1.953.670	38.966	3,31	1,68	3,03
2002	1.977.884	39.591	3,47	1,73	3,06
2003	2.002.098	40.215	3,63	1,79	3,09
2004	2.026.312	40.840	3,80	1,84	3,13
2005	2.050.526	41.464	3,98	1,89	3,17

Input fra ADAM

Til at bestemme udviklingen i de eksogene variable er den national-økonomiske model ADAM (Danmarks Statistik, 1995) anvendt. Fra denne model er en fremskrivning af hhv. indkomst og benzinpriser taget. Derudover er der antaget et modificeret forløb af vedligeholdelsesomkostningerne.

Tabel 5.2 Sammensætning af bestanden af personbiler på vægt- og drivmiddelklasser i % af den samlede bestand.

Drivmiddel	Vægt	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Benzin	0-800 kg	16,91%	14,30%	11,94%	9,63%	7,55%	5,62%	3,78%	2,02%
Benzin	800-1000 kg	39,57%	38,18%	37,33%	36,18%	35,37%	34,53%	34,00%	33,76%
Benzin	>1000 kg	38,96%	42,72%	45,53%	48,64%	51,13%	53,63%	55,76%	57,49%
Diesel	0-800 kg	0,12%	0,06%	0,05%	0,04%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%
Diesel	800-1000 kg	1,37%	1,18%	1,08%	0,93%	0,78%	0,57%	0,35%	0,20%
Diesel	>1000 kg	3,07%	3,56%	4,07%	4,58%	5,14%	5,65%	6,12%	6,54%
Total		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

I Tabel 5.2 er angivet sammensætningen af personbilbestanden i perioden 1998 til 2005. En af de vigtigste implikationer af denne udvikling er, at den, i kapitel 2, observerede udvikling, over mod tungere biler, i denne fremskrivning ser ud til at fortsætte. Det ses endda, at udviklingen bliver stærkere, end det ses i den historiske udvikling. Den vigtigste årsag til dette er en kraftig udvikling i indkomsten.

En bemærkning, der skal knyttes til denne fremskrivning, er, at der er anvendt en fast fordeling af nybilsalget. Der er ikke en individuel påvirkning fra de økonomiske parametre på salget. Dette kan muligvis vise sig at være en svaghed, men som nævnt tidligere er dette et af de forhold, der skal belyses i en senere videreudvikling af modellen.

Udvikling på aldersklasser

Det er sværere at give en fortolkning af udviklingen ved en opdeling på aldersklasser. Denne er angivet i Tabel 5.3. Det ses generelt, at andelen af nye biler bliver større og større, mens der bliver færre og færre af de gamle biler. Der kan give to forklaringer på dette. Den første er, at der generelt anskaffes flere og flere biler. Den anden forklaring, der her har større betydning, er, at den estimerede skrotning er overvurderet, hvorved der både kommer færre gamle biler, og at der beregnes for mange nye biler (disse regnes jo netop som residualbestemt, efter skrotningen er fundet). Igen skyldes en stor del af denne udvikling den kraftige udvikling i indkomsten som angivet i Tabel 5.1.

Tabel 5.3 Fordeling af bilparken på aldersklasser i perioden 1998 til 2005

Alder	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<5 år	40,50%	44,09%	46,51%	48,55%	49,07%	48,63%	45,38%	43,30%
5-10 år	21,16%	23,01%	24,69%	26,36%	28,85%	32,60%	36,28%	38,64%
10-15 år	28,62%	24,56%	20,32%	16,24%	14,25%	13,09%	14,85%	16,47%
15-20	6,17%	5,58%	6,37%	6,90%	6,06%	4,27%	2,63%	1,58%
>20 år	3,55%	2,75%	2,10%	1,95%	1,76%	1,41%	0,87%	0,02%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Der er i den viste kørsel på modellen både indikationer af en fornuftig beregning af vægt- og brændstokklasserne og knapt så tillidsvækkende beregninger på aldersklasserne. Dette antyder igen, at der kan være gevinster at hente, ved at foretage mere individuelle udvælgelser af forklarende variable i estimationerne af skrotningen.

Tabel 5.4 CO₂ emissioner i perioden 1998 til 2005. 1998=1.

Drivmiddel	Vægt	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Benzin	0-800 kg	1,00	0,83	0,67	0,51	0,37	0,25	0,15	0,09
Benzin	800-1000 kg	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,98
Benzin	>1000 kg	1,00	1,17	1,33	1,48	1,63	1,75	1,85	1,94
Diesel	0-1000 kg	1,00	0,85	0,77	0,66	0,47	0,28	0,14	0,10
Diesel	>1000 kg	1,00	1,17	1,36	1,55	1,75	1,94	2,10	2,26
Total		1,00	1,05	1,10	1,14	1,19	1,22	1,25	1,29

I Tabel 5.4 er angivet de resulterende CO₂ emissioner. Den samlede stigning frem til 2005 er på 29% fra 1998. Disse er logiske konsekvenser af omfordelingen af bilparken til de tungere biler, samt af den generelle udvikling i det gennemsnitlige trafikarbejde pr. personbil, der fra 1998 til 2005, ifølge Vejdirektoratets beregninger, er steget fra 19737 km til 20221 km.

Den meget store udvikling i emissionerne virker umiddelbart for stor. En del af udviklingen skal findes gennem væksten i bilparken, der er på 10,2% samt væksten i det gennemsnitlige trafikarbejde, der er på ca. 2,5% (se Tabel 5.1). Resten af udviklingen skyldes det nævnte skift mod tungere biler.

Bag disse tal ligger følgende udviklinger skjult. Skiftet mod yngre biler giver lavere emissioner grundet bedre emissionsfaktorer. Som modvægt til denne meget væsentlige faktor er skiftet mod tungere biler, der sammen med den generelle udvikling i bilparken opvejer de mindskede emissioner som følge af bedre emissionsnormer.

Beregningerne bekræfter de udviklinger, der er beskrevet i kapitel 2 omkring de kræfter, der påvirker udviklingen i emissionerne. Det er specielt skiftet i størrelserne på bilerne, der vil give problemer. Et instrument, der skal hjælpe til reduktion af emissionerne, skal derfor, ifølge de her beskrevne beregninger, virke mod netop skiftet mod større biler.

Analyser af betydningen af ændret indkomst og benzinpris indikerer, at dette ikke, gennem skrotningsmodellen, har den store betydning for de samlede emissioner. Dette skyldes den i forvejen fastsatte størrelse på bilparken og de tilbagelagte km. Der beskrives derfor ikke i denne rapport en egentlig følsomhedsanalyse på resultaterne af ændrede eksogene variable. Det skal dog anføres, at mht. indkomsten opfører modellen sig, som det kan forventes: lavere indkomst giver lavere emissioner. Til gengæld ses den modsatte effekt ved ændringer i benzinprisen: højere benzinpris giver større emissioner. Forklaringen på dette fænomen skal findes i de faste km. De øgede benzinpriser har større betydning for de mindre biler end for de store biler. Der skrottes således flere små biler end store biler ved øgede benzinpriser. Det betyder dermed, at de store biler vil tilbagelægge en større andel af det faste antal km.

5.5 Afsluttende bemærkninger

Det fremgår af beskrivelsen, at modellen ikke er bestemmende for den totale størrelse af bilparken. Denne bestemmes i de forskellige ALTRANS modelkørsler. Modellen her kunne godt udvikles til også, at have dette element inkluderet, således at f.eks. nybilsalget ikke bestemmes som en residual, men i stedet fremskrives separat vha. af de tilgængelige oplysninger.

Da fremskrivningsmodellen skal anvendes i forbindelse med ALTRANS modelberegninger, og da disse er funderet i adfærdsdata, er det valgt at lade ALTRANS være bestemmende for udviklingen af den totale bestand.

Det kunne yderligere være valgt, i stedet for nybilsalget, at lade

skrotningen fremstå som en residual. Dette ville betyde en begrænsning i den variation, der kan komme i modellen, idet skrotningen beregnes separat for både vægt og brændstofkategorier, men ikke mindst for forskellige aldersklasser.

Som det blev diskuteret i afsnittet om modellen, der fordeler nybilsalget, er det ikke muligt at lave ændringer i en lang række af de variable, der er betydende for valget af bil. Det angives dog at indkomsten selvfølgelig er en af de mest betydende faktorer for valget af bil Cowi (1998). Hvorledes effekten af dette er på størrelsen af bilen og på brændstoftypen, er ikke afklaret. Det kan således let forekomme, at denne effekt er så begrænset, at anvendelsen af denne særlige model til fordeling af nybilsalg, ikke bidrager med større variation end en fast fordeling.

Simplificerende antagelser

For at kunne foretage beregninger af emissionerne og energiforbruget, er det nødvendigt at foretage en række simplificerende antagelser. Bl.a. er det ikke muligt at skelne mellem forskellige typer af biler, når årskørslen bestemmes. Det betyder, at f.eks. diesel- og benzinbiler har samme årskørsel, selvom dieslbiler rent faktisk har en større årskørsel. Samme indvending gælder omkring størrelsen af bilerne. For en gennemgang af de yderligere forsimplinger, det har været nødvendigt at foretage, henvises til Winther (1999).

Et yderligere problem forbundet hermed er, at selvom en række informationer omkring hver enkelt tur kendes (bl.a. længde, holdetid og måned), kan disse informationer ikke direkte anvendes, da det ikke vides præcist hvilken bil, der har foretaget turen. Dog kendes fra TU-data bilens alder (og fra 1998 også bilens mærke, model og variant). Til beregninger i en udgangssituation vil sådanne informationer være særdeles relevante at kunne anvende. Et problem i ALTRANS er dog, at informationen om bilens alder ikke er en del af det output, der kommer fra modellen. Selvom det havde været tilfældet, ville det stadig være problematisk at anvende i forbindelse med de fremskrivninger, som personbilmodellen er specielt rettet imod. Problemet er, at det ikke er sikkert, at rejserne foretages i den samme type bil med samme alder. En fremskrivning vil i givet fald kræve, at det blev bestemt for hver enkelt individ, hvilken type bil (alder) vedkommende har i hvert af årene indtil det endelige prognoseår. Dette kan ikke lade sig gøre i praksis. Gennemsnitlig betragtet vil effekten af udviklingen, i sammensætningen af bilparken, kunne slå igennem i prognoserne.

Effekten af en simpel fremskrivning med modellen ses i den demonstrerede kørsel. Denne kørsel viser, at der stadig kan forbedres på modellens forudsigelsesevne. Det er specielt omkring fremskrivningen af skrotningerne, at der er muligheder som diskuteret i kapitlet. Et yderligere element, der er tvivl om, er beregningen af de kørte km. i de enkelte bilkategorier. Der anvendes et fast antal km. fordelt på bilernes alder som angivet af Vejdirektoratet. Dette vil i mange situationer føre til en overvurdering af de kørte km med unge biler jvf. den demonstrerede kørsel med modellen, hvor der sker et kraftigt skift mod yngre biler, der i modellen antages at køre længere end de ældre biler. Udviklingen, der forudsiger et faldende antal gamle biler, svarer ikke til den udvikling, der kan observeres i de historiske data som demonstreret i kapitel 2. Her antydes det, at alderen af bilerne skal stige, specielt også da der sker et skift mod større biler, der,

alt andet lige, lever længere. Denne overvurdering af trafikarbejdet med yngre biler betyder, alt andet lige, mindre emissioner, idet emissionsfaktorerne for yngre biler er mindre end for de ældre biler. Dette forhold vil blive mere udtalt jo længere tid, der fremskrives for.

I emissionsberegningerne ses denne udvikling dog ikke, da faldet, som skiftet mod yngre biler giver anledning til, opvejes af skiftet mod tungere biler. Derved er der en samlet meget kraftig udvikling i emissionerne. Det er i denne sammenhæng vigtigt at huske, at de beregnede udviklinger er baseret på Vejdirektoratets fremskrivninger af personbilparken samt trafikarbejdet. De fra denne fremskrivning anvendte forklarende variable er sammenfaldende med variablerne i skrotningsmodellen. Det angives ikke af Vejdirektoratet, hvordan de forklarende variable er fremskrevet. De kan derfor godt afvige fra den fremskrivning, der er valgt i skrotningsmodellen. Dette kan således godt være medvirkende til, at give de kraftige udviklinger i emissionerne.

6 Afrunding

I denne rapport er udviklingen af en model til fremskrivning af sammensætningen af bilparken beskrevet, samt hvorledes denne anvendes til at beregne energiforbrug og emissioner fra en given fremskrivning med ALTRANS adfærdsmodellen.

*Modellen en del af
ALTRANS modelkompleks*

Den beskrevne model indgår i ALTRANS modelkomplekset ved, at være en model der efterbehandler outputtet fra ALTRANS adfærdsmodellen. Specifikt fordeler modellen den estimerede bestand af personbiler og det estimerede trafikarbejde i ALTRANS ud på en række underkategorier af biler, defineret af aldersklasser, vægtklasser og brændstofklasser. Disse bilkategorier anvendes til at beregne de resulterende emissioner og energiforbrug.

I rapporten beskrives dels de grundlæggende data (øjebliksbilleder af bestanden af personbiler pr. 31.12 i årene 1991 til 1997), dels en metode til at generere yderligere informationer om bestanden fra årene 1977 til 1990. Desuden beskrives estimationen af en model, der bestemmer udviklingen af skrotningen over tid. Endelig beskrives, hvordan modellens enkeltdele kobles sammen til den endelige model for bilparkens udvikling.

*Væsentligt problem at få
koblet usammenhængende
informationer*

Et væsentligt element i modellen er beskrivelsen af, hvordan de, hver for sig, detaljerede oplysninger om de enkelte tures sammensætning og emissionsberegninger, ved bestemte forhold, for bestemte biltyper, skal sammenkobles. Problemet er, at der ikke er direkte overlap mellem de to uafhængige sæt af informationer. Forskellige metoder til at lave denne kobling er beskrevet i rapporten.

Den valgte metode er baseret på gennemsnitsberegninger, der således ikke fuldt kan udnytte den variation, der er på det detaljerede niveau. Ligeledes betyder den, at en række implicite simplificerende antagelser er gjort. Bl.a. antages det, at alle biler med en given alder kører et bestemt antal kilometer på et år, hvilket implicit betyder, at sliddet på katalysatorerne følger et fast forløb uafhængigt af de faktisk tilbagelagte kilometer. Antagelsen betyder endvidere, at alle typer af biler med en bestemt alder kører lige langt uanset, at dette højst sandsynligt ikke er tilfældet – f.eks. kører dieslbiler ofte længere end benzinbiler, og større biler kører længere end små biler. Til gengæld sikrer antagelsen, at der til dels tages højde for, at f.eks. nye biler kører længere end gamle biler.²³

Modellen sammenkobler desuden en række små delmodeller. En af disse modeller er udviklet af Cowi og beskriver en fordeling af et givet nybilsalg. Modellen er ikke en direkte integreret del af modelkomplekset og kræver uafhængige beregninger, men netop pga. modellens mange betydende variable, er den særdeles relevant at inddrage. Hvorvidt den giver bedre beskrivelser af nybilsalget i en fremskrivningssituation, hvor det ikke er muligt at inddrage udviklinger af alle de indgående variable, end en mere fast fordeling, er svært at afgøre.

²³ Variationen mellem firmabiler og privatejede biler beskrives heller ikke i modellen bl.a. fordi der ikke skelnes herimellem i TU og i ALTRANS.

Den i sig selv vigtigste delmodel er modellen til udvikling af skrotningen. Skrotningen fremskrives principielt uafhængigt af de andre modelberegnede størrelser og har således væsentlig indflydelse på sammensætningen af bilparken i en fremskrivning. Bl.a. da skrotmodellen er lavet som en tidsseriemodel med begrænset data, er det ikke muligt, i denne model, at have så rigt et udvalg af indflydende variable, som det f.eks. er tilfældet i Cowis model for valg af ny bil. Valget af tidsserie model er det oplagte valg, når modellen netop får sin primære anvendelse i forbindelse med videreudviklingen af ALTRANS til prognoseformål.

Mange muligheder for forbedringer

Udviklingen af den her beskrevne model til udviklingen af bilparken er ikke den optimale model. En række af elementerne i modellen kan forbedres. Det er oplagt, at en yderligere integration af modellen i ALTRANS adfærdsmodellen er et skridt i den retning. I ALTRANS beregnes således størrelsen af bilparken baseret på en adfærdsbeskrivelse. Denne beskrivelse er dog relativ simpel, idet mængden af information om hvilke biler der er til rådighed mv. ikke indgår. Efterhånden som mere detaljeret information omkring bilparken bliver tilgængelig²⁴, og oplysningerne i transportvaneundersøgelsen (TU) kommer til at indeholde flere oplysninger om bilerne²⁵, kan mere præcise fremskrivninger af emissioner og energiforbrug opnås. Det ligger dog ikke indenfor rammerne af projektet med videreudvikling af ALTRANS til en prognosemodel.

En helt oplagt og ikke konceptuelt anderledes forbedring af modellen vil være, at foretage individuelle vurderinger af hvilke variable der skal indgå i forklaringen af skrotningen i de individuelle kategorier af biler. Som angivet i rapporten er arbejdet hermed dog forholdsvis omfattende, idet der skal ses på minimum 120 forskellige kategorier.

En anden umiddelbar forbedring er at se mere detaljeret på udviklingerne af skrotningerne for de ældste biler. Det er således blevet anført, at specielt for de tungeste biler er det kun ca. halvdelen af bestanden, der er skrottet ved alderen 20 år.

Udover den egentlige modeludvikling ligger der yderligere et stykke arbejde i at få analyseret udviklingen i bilparken, samt at få givet forklaringer på de forskellige elementer, der kan observeres i udviklingen gennem 80'erne og 90'erne. Efterhånden som informationen om bilparken bliver udvidet med tal fra 1998 og 1999, bliver det således muligt at komme med bedre forklaringer på de helt specielle forhold omkring skrotningerne i 1996 og 1997.

²⁴ Der arbejdes i øjeblikket på Danmarks Statistik og hos Vejdirektoratet på føje detaljerede oplysninger om de enkelte bilvarianter til bestandsdatabasen. Dette er i første omgang oplysninger om motorstørrelser og energiforbrug.

²⁵ Fra 1998 spørges yderligere om, hvilken bil – mærke, model og variant – den interviewede har/bruger.

Den udviklede model er ikke afprøvet i forbindelse med egentlige fremskrivninger i Altrans adfærdsmodellen, da sådanne fremskrivninger ikke forelå. Til gengæld er modellen blevet anvendt på en fremskrivning foretaget af Vejdirektoratet (Ekman og Clausen, 1999). Resultaterne fra fremskrivningen viser, at modellen giver acceptable resultater. Dog tages forbehold for problemerne med at fremskrivningerne fra Vejdirektoratet og skrotningsmodellen ikke er konsistente, og formentlig ikke anvender de samme forventninger til inputvariablene (dvs. størrelserne for bestand og trafikarbejde i tabel 5.1 ikke er fundet vha. de udviklinger, der i samme tabel er angivet for indkomst, benzinpris og vedligeholdelsesomkostninger).

De endelige konsekvenser af en fremskrivning vil først kunne gives, når en egentlig fremskrivning fra adfærdsmodellen foreligger. Det vil da også være muligt at udtale sig om konsekvenserne af indkomststigninger og pris/omkostningsstigninger. Indtil da indikeres det, at modellen for bilparkens sammensætning giver acceptable resultater.

En fordel ved den udviklede model er, at den ikke er bundet til anvendelse alene i forbindelse med Altrans adfærdsmodellen. Eneste krav til en anvendelse i sammenhæng med andre fremskrivninger af bilparkens samlede størrelse og det samlede trafikarbejde er, at der anvendes de samme værdier for de forklarende variable *indkomst*, *benzinpris* og *vedligeholdelsesomkostninger*.

Referenceliste

Ahlvik, P. et al. (1997) COPERT II Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport – Methodology and Emissions Factors. Document EEA/1997, European Environment Agency, Copenhagen.

Ben-Akiva, M. (1987) Methods to Combine Different Data Sources and Estimate Origin-Destination Matrices. I Gartner og Wilson (eds.) (1987) Transportation and Traffic Theory. Elsevier.

Christensen, L. (1999a) ALTRANS En model for persontransport - oversigt og resultater. Faglig rapport nr. xx. Udkommer primo 2000.

Christensen, L. (1999b) ALTRANS Transportvaner og Kollektiv Trafikforsyning. Faglig rapport nr. xx. Udkommer primo 2000.

Cowi (1998) Personbilers energieffektivitet – Muligheder for forbedring gennem afgiftsstrukturen. Cowi, Lyngby.

Danmarks Statistik (1995) ADAM En model af dansk økonomi. Marts 1995. Danmarks Statistik.

Danmarks Statistik (1998) Nyregistrerede motorkøretøjer mv. december 1997. I serien Samfærdsel og Turisme. Vol. 1998:2. Danmarks Statistik.

Dargay, J. and Gatley, D.(1999) Income's effect on car and vehicle ownership worldwide: 1960-2015. Transportation Research A Vol. 33A pp. 101-138.

Dargay, J.(1998) Modelling car ownership in France and the UK: a pseudo-panel approach. Proceedings of the conference Economics and Institutions of Transport. Arranged by KFB Sweden. May 25-27 1998.

De Danske Bilimportører (1997) Vejtransporten i tal og tekst 1996. Lyngby.

Ekman, B. og Kristensen, H.L. (1998) Fremskrivning af personbilparken og personbiltrafikken til år 2030. Paper præsenteret ved Trafikdagene på AUC 24.-25. august 1998. Supplementsbind, Transportrådet.

Greene (1993) Econometric Analysis. Sec. ed. MacMillan, New York.

Hoel, P.G., Port, S.C. og Stone, C.J. (1971) Introduction to probability theory. Houghton Mifflin Company, Boston, USA.

Jensen, M. (1997a) Benzin i blodet. Kvalitativ del. Danmarks Miljøundersøgelser. 130 s. Faglig rapport fra DMU nr. 192.

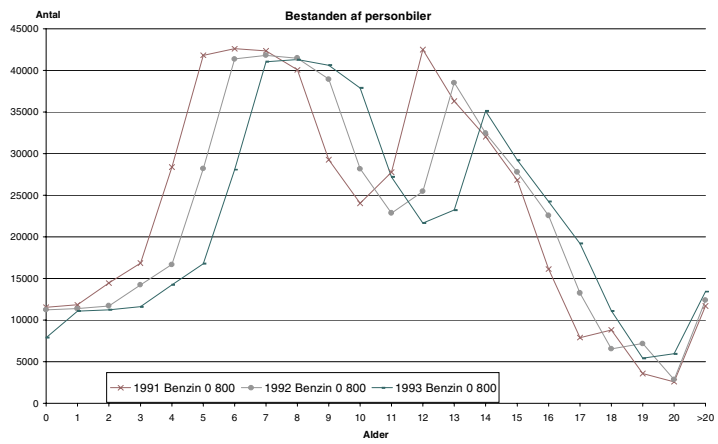
Jensen, M. (1997b) Benzin i blodet. Kvantitativ del. Danmarks Miljøundersøgelser 130 s. Faglig rapport fra DMU nr. 200.

- Jordal-Jørgensen, J. og Fosgerau, M. (1997) Weights in PETRA. Petra working paper no.3, COWI, Lyngby
- Keller, M., Evéquoz, R. Heldstab, J. og Kessler, H. (1995). Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950-2010. Schriftenreihe Umwelt Nr. 255 des BUWAL, Bern.
- Niederle, W. (1998) Samtale mellem M. Winther, Danmarks Miljøundersøgelser og Werner Niederle, UBA, Berlin d. 7/7 1998.
- Rich, J.H. (1999a) ALTRANS. Adfærdsmodel. Modelkoncepter. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig Rapport fra DMU nr. XX, udkommer efterår 1999.
- Rich, J.H. (1999b) ALTRANS. Adfærdsmodel. Kørselsrapport. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig Rapport fra DMU nr XX. Udkommer efterår 1999.
- Rich, J.H. og Kveiborg, O. (1998) Prototypical Sample Enumeration using Logtransformed QUAD optimisation. Norfa Research Network on Transport, Land-Use and the Environment. <http://www.infra.kth.se/tlenet/meet2/parnu981.html>
- Thorlacius, P. (1998) ALTRANS. Beregning af rejsetider for rejser med bil og kollektiv trafik. Danmarks Miljøundersøgelser, 51 s. Faglig Rapport fra DMU nr. 240.
- Transportrådet, 1995. Skrottingspræmien, - effekter for miljø og bilpark. Rapport 95-03, Transportrådet.
- Wilson, N.H.M. (1970) Entropy in Urban and Regional Modelling. Pion, London.
- Wilson, N.H.M. (1981) Geography and the Environment, System Analytical Methods. Wiley, London.
- Winther, M. (1999) Analyse af emissioner fra vejtrafikken, - Sammenligning af emissionsfaktorer og beregningsmetoder i forskellige modeller. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 265.
- Davidson, R. and MacKinnon, J.G. (1993) Estimation and inference in Econometrics. Oxford University Press, New York.

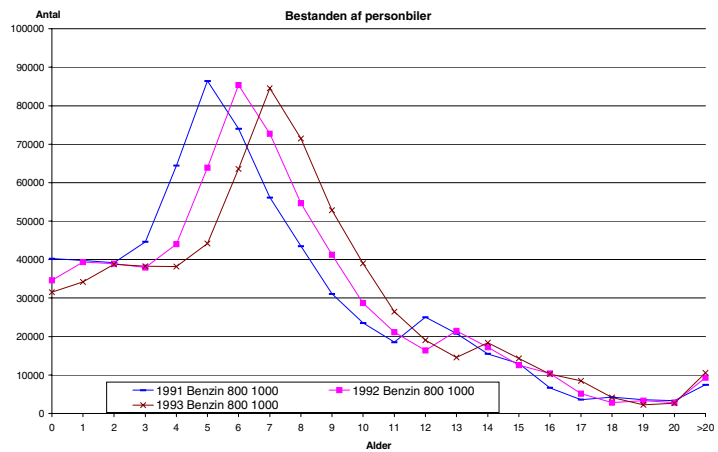
Appendiks A

Personbiler 1991 til 1993

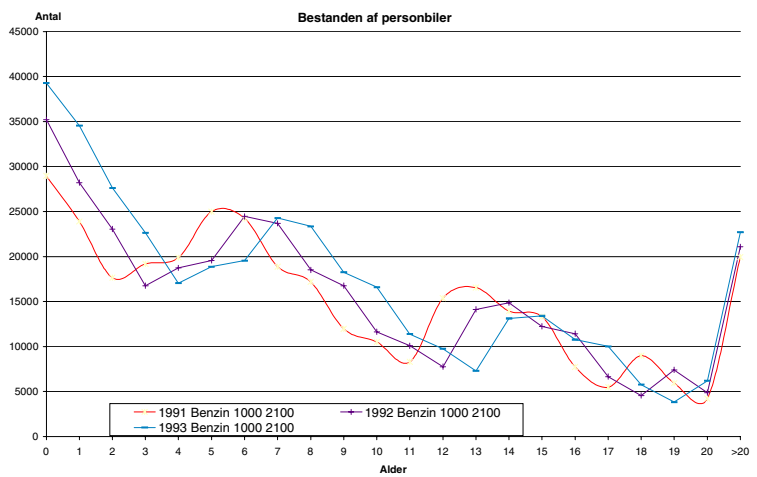
a)



b)



c)



Figur 5 Bestanden af benzinbiler med vægt fra a) 0 til 800 kg, b) 800-1000 kg samt c) fra 1000 kg. og opefter for årene 1991 til 1993.

Appendiks B

Fordeling af bilparken

Som grundlag for Figur 2.3 angives her både absolutte værdier for bestanden i de fire vægtkategorier samt deres relative andele.

Bilparken fordelt på vægtkategorier i de enkelte år.

Vægt fra	Til og med	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
0	800	526584	503867	484067	432089	414070	381917	354056
800	1000	697372	696029	699088	703432	728644	732910	749511
1000	1200	265386	278183	296575	333682	378128	411183	464534
1200-		109451	111031	117585	131011	150916	175711	212807
I alt		1598793	1589110	1597315	1600214	1671758	1701721	1780908

Bilparken opgjort som andele af den totale bestand fordelt på de enkelte år.

Vægt fra	Til og med	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
0	800	0,329363	0,317075	0,30305	0,27002	0,247685	0,22443	0,198806
800	1000	0,436187	0,437999	0,437664	0,439586	0,435855	0,430688	0,420859
1000	1200	0,165991	0,175056	0,185671	0,208523	0,226186	0,241628	0,260841
1200-		0,068459	0,06987	0,073614	0,081871	0,090274	0,103255	0,119494

Appendiks C

Sammenhæng mellem vægt og motorstørrelse

I tabellen er sammenhængen mellem personbilernes vægt og deres motorstørrelser angivet. Tabellen er baseret på en stikprøve af bestanden, hvor de mest solgte biler er valgt ud. Tabellen kan således give en indikation om, hvor den bedste opdeling i vægtklasser kan foretages. Det kan dog diskuteres, om der ville opnås en bedre opdeling ved at skille mellemklassen og den tunge kategori ved 1100 kg. fremfor ved 1000 kg. For analyserne i dette notat vil konklusionerne dog ikke ændres.

Vægt/Motorstr	≤1,4	1,5 - 1,9	2,0 -	I alt
0-700				0
700-800	37	2		39
800-900	30	19		49
900-1000	35	48	2	85
1000-1100	15	83	9	107
1100-1200	1	38	18	57
1275-1300		18	19	37
1375-1400			11	11
1400-			2	2
I alt	118	211	63	392

Appendiks D

Udledning af log-likelihood funktion til estimation af skrotning

I dette appendiks gennemgås udledningen af den likelihood funktion, der blev introduceret i kapitel 4. Udledningen tager udgangspunkt i ligningerne (4.10 til (4.13).

$$\begin{aligned} S_{ijk,t} &= \beta_{ijk} X_t + \varepsilon_{ijk,t} & e_{ijk,t} &\sim N(0, \sigma^2), & t &= 1992, \dots, 1997 \\ S_{..k,t} &= \beta_{..k} X_t + \varepsilon_{..k,t} \\ S_{.j,t} &= \beta_{.j} X_t + \varepsilon_{.j,t} & & & t &= 1978, \dots, 1991 \\ S_{i..t} &= \beta_{i..} X_t + \varepsilon_{i..t} \end{aligned}$$

hvor $S_{..k,t} = \sum_{ij} S_{ijk,t}$, $\beta_{..k} = \sum_{ij} \beta_{ijk}$ og $\varepsilon_{..k,t} = \sum_{ij} \varepsilon_{ijk,t}$ etc.

samt i likelihood funktionen

$$l(s_{ijkt}, \theta) = \log(L) = \log\left(\prod_{ijkt} f(y_{ijkt}, \theta)\right) = \sum_{ijkt} \log(f(y_{ijkt}, \theta))$$

Opgaven herfra er, at finde fordelingsfunktionen for de enkelte indgående led i likelihood funktionen. Log likelihood funktionen bliver derfor:

$$\begin{aligned} \ell &= \sum_{ijk}^{JK} \sum_{t=1992}^{1997} \log\left(f_{S_{ijk}}(S_{ijk})\right) \\ &+ \sum_{t=1978}^{1991} \left(\sum_i^I \log\left(f_{S_{i..}}(S_{i..t})\right) + \sum_j^J \log\left(f_{S_{.j..}}(S_{.j..t})\right) + \sum_t^{K(t)} \log\left(f_{S_{..k}}(S_{..k,t})\right) \right) \\ &= \ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_4 \end{aligned}$$

Det første led i likelihood funktionen er det sædvanlige for en normalfordeling:

$$\begin{aligned}
S_{ijk,t} &= \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{ijk} + \varepsilon_{ijk,t} \\
\Leftrightarrow \varepsilon_{ijk,t} &= S_{ijk,t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{ijk} \rightarrow S_{ijk,t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{ijk} \sim N(0, \sigma^2) \\
\rightarrow f_{S_{ijk,t}}(S_{ijk,t}) &= f_{\varepsilon_{ijk,t}}(S_{ijk,t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{ijk}) \left| \frac{\partial}{\partial S_{ijk,t}} (S_{ijk,t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{ijk}) \right| \\
&= f_{\varepsilon_{ijk,t}}(S_{ijk,t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{ijk}) \\
&= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(S_{ijk,t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{ijk})^2}{2\sigma^2}\right) \\
\Rightarrow \ell_1(S_{ijk,t}) &= \sum_{ijk} \sum_{t=1992}^{1997} -\log(\sqrt{2\pi\sigma^2}) - \frac{(S_{ijk,t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{ijk})^2}{2\sigma^2} \\
&= -N_1 IJK \log(\sqrt{2\pi\sigma^2}) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{ijk} (\mathbf{S}_{ijk} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}_{ijk})^T (\mathbf{S}_{ijk} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta}_{ijk})
\end{aligned}$$

Problemet er mere kompliceret når bidragene til likelihood funktionen fra ligningerne (4.16) til (4.17) skal findes. Beregningerne er ens for led 2 og 3, mens det sidste led afviger en anelse. De to udledninger gennemføres herunder.

$$\begin{aligned}
\sum_{jk}^{JK} \varepsilon_{ijk,t} &= S_{i..t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{i..} \sim N(0, \sigma^2 Jk(t)) \\
f_{S_{i..}}(S_{i..t}) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sqrt{Jk(t)\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(S_{i..t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{i..})^2}{2Jk(t)\sigma^2}\right) \\
\log f_{S_{i..}} &= -\log(\sqrt{2\pi Jk(t)\sigma^2}) - \frac{(S_{i..t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{i..})^2}{2Jk(t)\sigma^2} \\
\ell_2 &= \sum_i^I \sum_{t=1978}^{1991} \log(f_{S_{i..}}) = -N_2 I \log(\sqrt{2\pi J\sigma^2}) - I \sum_t \log \sqrt{k(t)} - \frac{1}{2J\sigma^2} \sum_i \sum_t \frac{(S_{i..t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{i..})^2}{k(t)} \\
&= A_2 - \frac{1}{2J\sigma^2} \sum_i \left(\frac{1}{\mathbf{k}} (\mathbf{S}_{i..} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{i..}) \right)^T (\mathbf{S}_{i..} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{i..}) \\
&\quad \text{I}
\end{aligned}$$

udledningen optræder størrelsen $k(t)$, der angiver, at antallet grupper, varierer med hvilket observationsår, t , der ses på. F.eks. er $k=1, \dots, 8$ for $t=1978$ og $k=1, \dots, 20$ for $t \geq 1989$, $k(t)$ er derfor lig 8 hhv. 20 i dette eksempel. $\mathbf{k} = \{k(1), k(2), \dots, k(N_2)\}^T$.

På tilsvarende vis udledes l_3 , mens udledningen af l_4 afviger en lille smule:

$$\sum_{ij}^I \varepsilon_{ijk,t} = S_{.k,t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{.k} \sim N(0, \sigma^2 I)$$

$$f_{S_{.k,t}}(S_{.k,t}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sqrt{IJ\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(S_{.k,t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{.k})^2}{2IJ\sigma^2}\right)$$

$$\log f_{S_{.k,t}} = -\log\left(\sqrt{2\pi IJ\sigma^2}\right) - \frac{(S_{.k,t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{.k})^2}{2IJ\sigma^2}$$

$$\ell_4 = \sum_k^K \sum_{t=k(t)}^{1991} \log(f_{S_{.k,t}}) = -K(t) \log\left(\sqrt{2\pi IJ\sigma^2}\right) - \frac{1}{2IJ\sigma^2} \sum_k \sum_{t=t(k)} (S_{.k,t} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\beta}_{.k})^2$$

$$= A_4 - \frac{1}{2IJ\sigma^2} \sum_k (\mathbf{s}_{.k} - \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}_{.k})^T (\mathbf{s}_{.k} - \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}_{.k})$$

$$K(t) = \sum_{t=1978}^{1991} k(t) = \sum_{k=1}^{20} N(k)$$

Med disse udledninger findes den samlede likelihood funktion som summen af de fire enkelte bidrag. Udover at estimere de ukendte parametre $\boldsymbol{\beta}_{ijk}$, skal variansen σ^2 også bestemmes. Måden, hvorpå

dette gøres, er at løse $\frac{\partial \ell}{\partial \sigma} = 0$

Det bliver en funktion af de resterende parametre i modellen. Det resulterende udtryk for σ indsættes i likelihood funktionen og frembringer således den kompakte likelihood funktion.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet. 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 og Sekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi
Afd. for Miljøkemi
Afd. for Systemanalyse*

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

*Afd. for Sø- og Fjordøkologi
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Vandløbsøkologi*

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

*Afd. for Landskabsøkologi
Afd. for Kystzoneøkologi*

Danmarks Miljøundersøgelser
Tagensvej 135, 4
2200 København N
Tlf.: 35 82 14 15
Fax: 35 82 14 20

Afd. for Arktisk Miljø

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

1999

- Nr. 267: Overvågning af fugle 1997-98, resultater fra feltstationerne. Af Laursen, K. (red.). 87 s., 70,00 kr.
- Nr. 268: Phtalates and Nonylphenols in Soil. A Field Study of Different Soil Profiles. By Vikelsøe, J., Thomsen, M., Johansen, E. & Carlsen, L. 126 pp., 50,00 DKK.
- Nr. 269: Tålegrænser for luftforurening. Anvendelse i strategisk miljøplanlægning. Integreret MiljøInformationsSystem IMIS-luftforurening. Af Bastrup-Birk, A., Tybirk, K., Wier, M. & Emborg, L. 123 s., 150,00 kr.
- Nr. 270: Produktion og forekomst af svovlbrinte i Mariager Fjord 1998. Af Fossing, H. & Christensen, P.B. 17 s., 40,00 kr.
- Nr. 271: Proceedings of the 12th Task Force Meeting in Silkeborg, Denmark, October 23-25, 1996. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Acidification of Rivers and Lakes. By Larsen, S.E., Friberg, N. & Rebsdorf, Aa. (eds.). 49 pp., 40,00 DKK.
- Nr. 272: Forbrug af økologiske fødevarer. Del 1: Den økologiske forbruger. Af Wier, M. & Calverley, C. 130 s., 120,00 kr.
- Nr. 273: Mink *Mustela vison* og ilder *M. putorius*. Mink- og ilderjagten i Danmark 1996/97 og problemer med de to arter i forhold til små fjerkræhold. Af Hammershøj, M. & Asferg, T. 54 s., 60,00 kr.
- Nr. 274: Modeller til bestemmelse af Naturkvalitet på udvalgte Naturtyper ved anvendelse af Neurale netværk. Af Mark, S. & Strandberg, M. 70 s., 60,00 kr.
- Nr. 275: Indpasning af rekreative aktiviteter i forhold til fugleliv og odder i Skjern Å Naturprojekt - en biologisk udredning. Af Madsen, J., Madsen, J.B. & Petersen, I.K. 38 s., 40,00 kr.
- Nr. 276: Grønlandske gåsebestande - en oversigt. Af Boertmann, D. & Glahder, C. 59 s., 60,00 kr.
- Nr. 277: Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1998. Af Johansen, P., Asmund, G. & Riget, F. 73 s., 100,00 kr.
- Nr. 278: Luftforurening ved en planlagt udvidelse af Billund Lufthavn. Undersøgelse udført af Danmarks Miljøundersøgelser for Billund Lufthavn. Af Berkowicz, R., Fenger, J. & Winther, M. 88 s., 100,00 kr.
- Nr. 279: Pesticider i drikkevand 2. Præstationsprøvning. Af Nyeland, B.A. 261 s., 80,00 kr.
- Nr. 280: Vurdering af effekten af en vindmøllepark ved Overgaard på forekomsten af fugle i EF-fuglebeskyttelsesområde nr. 15. Af Clausen, P. & Larsen, J.K. 31 s., 40,00 kr.
- Nr. 281: Control of Pesticides 1998. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T. & Petersen, K.K. 23 pp., 50,00 kr.
- Nr. 282: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 1998/99 i Danmark. Wing Survey from te 1998/99 Hunting Season in Denmark. Af Clausager, I. 47 s., 40,00 kr.
- Nr. 283: Krager, husskader og småvildt. En vurdering af prædationens effekt på småvildtbestande og muligheden for at begrænse effekten ved jagt og regulering. Af Asferg, T. 49 s., 60,00 kr.
- Nr. 284: Anskydning af vildt. Status for undersøgelser 1999. Af Noer, H., Hartmann, P., Christensen, T.K., Kanstrup, N. & Hansen, E.B. 61 s., 80,00 kr.
- Nr. 285: Naturkvalitet - kriterier og metodeudvikling. Af Nygaard, B., Mark, S., Baattrup-Pedersen, A., Dahl, K., Ejrnæs, R., Fredshavn, J., Hansen, J., Lawesson, J., Münier, B., Møller, P.F., Risager, M., Rune, F., Skriver, J., Søndergaard, M. 126 s., 130,00 kr. (i trykken).
- Nr. 286: Chlorerede, phosphorholdige og andre pesticider i drikkevand. Metodeafprøvning. Af Nyeland, B. & Kvamm, B.L. (i trykken).
- Nr. 287: The Danish CORINAIR Inventories. Time Series 1975-1996 of Emissions to the Atmosphere. By Winther, M., Illerup, J.B., Fenhann, J. & Kilde, N. (in press).
- Nr. 288: Mere og bedre natur i landbrugslandet - dokumenteret grundlag for en ekstra indsats. Reddersen, J., Tybirk, K., Halberg, N. & Jensen, J. (i trykken).

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

ISBN 87-7772-498-4
ISSN 0905-815x
ISSN (elektronisk) 1600-0048