

ZEITSCHRIFT FÜR VERKEHRSWISSENSCHAFT

INHALT DES HEFTES:

- Economic evaluation of road traffic safety measures Seite 271
By Herbert Baum, Cologne and Karl-Josef Höhnscheid, Bergisch Gladbach
- Verkehr und / oder Telekommunikation? – Eine Untersuchung Seite 305
zu physischen und virtuellen Raumüberwindungsprozessen
Von Dirk Vallée, Stuttgart und Stefan Köhler, Ravensburg
- Reaktionen des Freizeitverkehrs auf Kraftstoffpreisänderungen: Seite 333
empirische Ergebnisse
Von Martin Schmid, Stuttgart und Kay W. Axhausen, Zürich
- Modellierung von Mobilitätsdaten mit Methoden Seite 355
der Künstlichen Intelligenz
Von Joachim Hugo, Berlin

Manuskripte sind zu senden an die Herausgeber:
Prof. Dr. Herbert Baum
Prof. Dr. Rainer Willeke
Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln
Universitätsstraße 22
50923 Köln

Verlag – Herstellung – Vertrieb – Anzeigen:
Verkehrs-Verlag J. Fischer, Paulusstraße 1, 40237 Düsseldorf
Telefon: (0211) 9 91 93-0, Telefax (0211) 6 80 15 44
Einzelheft DM 28,50 – Jahresabonnement DM 98,00
zuzüglich MwSt und Versandkosten
Für Anzeigen gilt Preisliste Nr. 15 vom 1.1.1999
Erscheinungsweise: vierteljährlich

Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophotos u.ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Economic evaluation of road traffic safety measures

HERBERT BAUM, COLOGNE
KARL-JOSEF HÖHNSCHEID, BERGISCH GLADBACH

1. Introduction

The number of road traffic accidents is still very high although the number of fatalities in Germany and many other European countries is declining. In road traffic accidents with personal injuries, economic resources are destroyed and with that, the efficiency of the economy is impaired. The costs by traffic accidents represent the most important part in the sum of the economical costs of traffic. The knowledge of the effects of road accidents on the economy is essential; therefore measures to reduce road traffic accidents should be identified and introduced. Once an economic assessment of road safety measures has been made, work on improving safety in accordance with economic criteria can be organized as efficiently as possible. Therefore, it is necessary to select measures, which promise a high degree of success to avoid accidents. The effects of these measures have to be quantified and evaluated. The objective is to use available resources in such a way that the greatest possible benefit for society can be achieved. Even with a favorable trend in the incidence of road accidents, there is still a need for measures to increase road safety. Such measures can be introduced at different starting points of the accident (Figure 1).

Planning road safety measures is a complex task, because a wide range of technical and non-technical measures is available to improve road traffic safety:

- The potential of technical measures to improve road safety is not yet exhausted. In the past technical innovations increased road safety (e.g. airbag, strengthened passenger compartment, plastic fuel tank). However, active and passive safety can be improved still further by technical measures (e.g. telematics applications).
- Active safety can be improved by investments into the human factor. Education and training programs for road users can help to reduce individual traffic failures.

Contact:

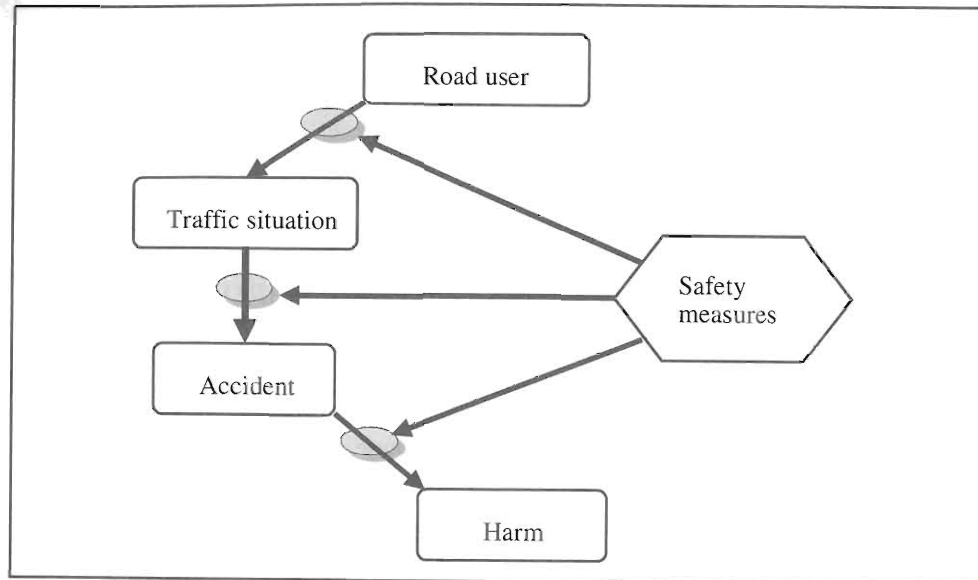
Prof. Dr. Herbert Baum
Institute for Transport Economics at the University of Cologne
Universitätsstrasse 22
50923 Köln
e-mail: h.baum@uni-koeln.de

Dr. K.-J. Höhnscheid
Federal Highway Research Institute
Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach

Paper presented at the 117th Round Table of the European Conference of Ministers of Transport (ECMT), Economic Evaluation of Road Traffic Safety Measures, Paris 26-27 October 2000 (revised version).

- Even in the context of the economic framework conditions, there still exist possibilities for increasing road safety. For example, changes in insurance tariffs can provide incentives for careful behavior on the roads.

Figure 1: Starting points of road traffic safety measures



Source: own diagram.

2. Evaluation methods – A critical review

A controversy exists over the choice of the correct way of evaluating road safety measures. The following distinguishes between cost-benefit analysis and alternative methodological approaches.

2.1 State of the art

The cost-benefit analysis is regarded as a sophisticated, objective evaluation instrument. The economic cost-benefit analysis goes back to the welfare theory. The increase of the overall economic production potential is used as a standard for evaluating a measure. The costs of the regarded measure are confronted with this overall economic effect. The benefits are defined as the savings of productive resources (“cost savings approach”). The result of the evaluation is obtained by comparing costs with benefits (difference or quotient rule). A measure is macro-economically profitable, if the difference between benefits and costs is greater than zero or the benefit-cost ratio is greater than one.

Economic evaluation of road safety measures using cost-benefit analysis is based on the costs incurred as a result of road accidents. Avoiding such costs represents the economic benefit of road safety measures. If the scale of these benefits is to be ascertained, the costs of road accidents must be worked out. The costs of safety measures cover implementation and maintenance costs. The benefit-cost ratio represents the economic advantage of the safety measures:

$$\text{Cost - benefit ratio} = \frac{\text{benefits}}{\text{costs}} = \frac{\text{reduction of accident costs}}{\text{costs of measures}}$$

According to a more widely held interpretation, the benefits of the measure encompass other reductions in costs, such as those resulting from emissions, noise, or losses of time. It should be borne in mind that road safety measures can also produce higher costs, which reduce then the overall benefits (e.g. losses of time due to speed limits).

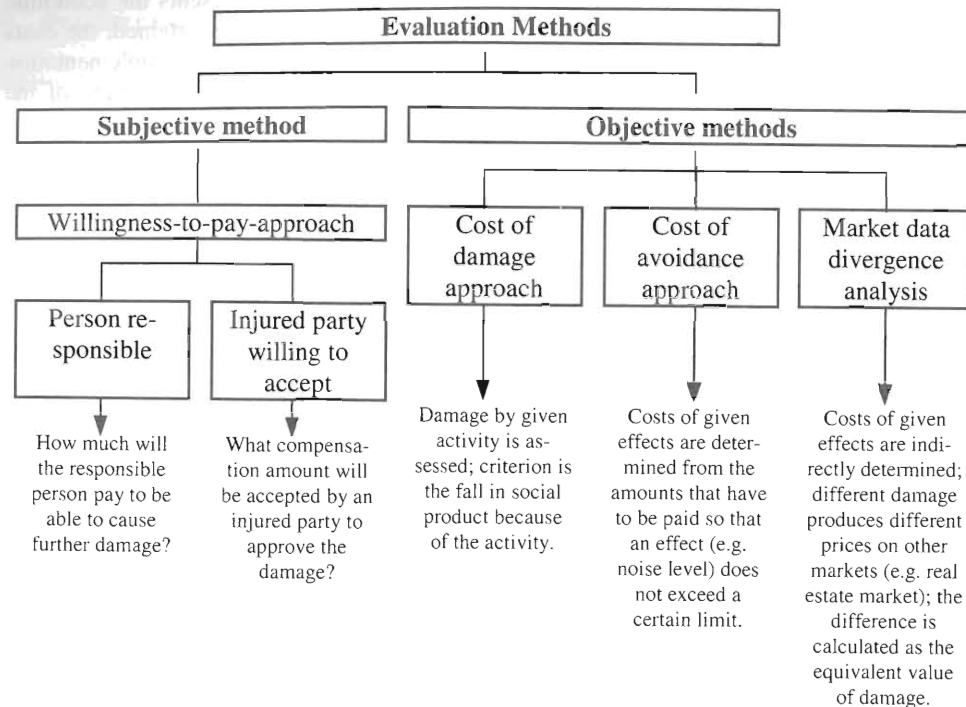
In addition to cost-benefit analysis, other methods are used to evaluate road safety measures:

- In **cost-effectiveness analyses** the costs of a measure are confronted with its effects. The effects of the measure are not expressed in monetary terms.
- **Multi-criteria processes** are “open” methods of evaluation. They have the lowest request in terms of data. The evaluation is based on (policy-orientated) goal-functions, which have to be established before the evaluation. It measures the extent to which objectives are met, and this is evaluated by using a point system.

With evaluation processes, which do not consider all relevant monetary values, the synthesis of the results is a serious problem. However, because they can be used more generally and their scope of application is broader, they are often preferred to cost-benefit analysis.

2.2 A true evaluation - mission impossible?

In the evaluation of road traffic accidents a dilemma exists because of the fact that different appraisal procedures supply different statements and estimated values. Moreover, the concentrated efforts of research toward the accident costs in the past did not lead to a comprehensively accepted level of knowledge. Estimates of the costs of accidents display considerable diversity. Different results are obtained depending on the method chosen for quantifying them. The question arises, which method of evaluation should be used. To determine the economic cost of road traffic accidents it is of prime importance to establish an appropriate value framework. For this a variety of concepts can be used (Figure 2).

Figure 2: Methods for calculating the cost of accidents

Source: own diagram.

The “cost of damage” method determines costs through direct assessment of the damage caused by accidents. By determining the actual damage this approach attempts to make an objective evaluation of the costs, based on economic factors. The “cost of damage” method has been used hitherto to calculate the cost of accidents, in Germany and the USA amongst other countries. Several objections have been made to this approach (INFRAS, IWW, 1995):

- It is argued that the “cost of damage” method, which is based on lost output, would send out the wrong signal with respect to welfare. Although a greater number of accidents leads to an increase in reproduction costs (e.g. repair of property damages, net product from hospital treatment, etc.), the social product will turn out to be higher, the greater the number of accidents. Against this argument, it can be objected that accidents cause a reduction in the productive factors of labor and real capital, which, according to the production function used, leads to a fall in social product. Losses of resources through road traffic accidents are accordingly reflected in a reduction and not an increase in social product. The argument that it causes an increase in social product could

therefore apply at most to the reproduction services, which are included in the statistical records of the national economy’s net product. However, it must also be noted that the factors of production used in reproduction services would have been used in other applications if no accident had occurred. The increase in the social product does not stem specifically from reproduction work following accidents but from the production potential of available resources.

- The “cost of damage” method does not cover all damage, but only such as represents a reduction in economic net product. This point seems reasonable, but then that is the whole purpose of the evaluation procedure. It is supposed to determine costs incurred through accidents, and these costs are derived from an economic assessment of accidents. Any damage that is not relevant to the market can also be taken into account in the assessment.
- The “cost of damage” method can lead to ethical problems in that injury may be assessed differently, depending on the individual injured and his/her contribution to production. For example, the value of a human life would be assessed differently depending on whether the victim of the accident was a full-time or part-time worker. It is possible to avoid the kind of value distinction that depends on working arrangements by establishing the individual’s potential productive value, i.e. what could be achieved with normal use of the factors of production.

Sometimes accidents costs need to be reassessed based on “willingness to pay”, so that a more accurate indication of the losses to the national economy resulting from road accidents may be obtained. The “willingness to pay” method is also used internationally for evaluating accidents costs, in Great Britain for example.

- The “willingness to pay” approach determines the extra financial burden a person is prepared to accept to refrain from harmful practice or the amount a person suffering the effects of such practice is prepared to pay to prevent it.
- The “willingness to accept” approach establishes the payments that must be made to induce a person responsible for harmful practice to stop or an injured party to tolerate such practice.

The following objections have been made to the “willingness to pay” approach (Baum, Esser, Höhnscheid, 1997):

- Willingness-to-pay analyses are conducted using surveys (“stated preference approach”). The results depend on the way the survey is designed and conducted. The extent to which the methods of evaluation are comparable in different cases is therefore questionable.

- In establishing their “willingness to pay”, false estimates may be made by the respondents. Expressing a willingness to pay is one thing, actually having to pay is another. Even on the question of human health, it is necessary to be aware of the danger that hypothetical and actual willingness-to-pay are at variance.
- The “willingness to pay” concept sets out to determine the cost of accidents in terms of the market price the road user would be prepared to pay to prevent accidents. In the “willingness to pay” analyses, however, only the evaluation of the demander is considered and there is no assessment of the price at which the supplier would provide certain services. If, however, the “willingness to pay” expressed in the survey is used as a basis for calculating costs; the costs in structural terms are overestimated. The “willingness to pay” approach goes further than the market price level approach as it includes an assessment of consumers’ incomes.

In this respect, even the “willingness to pay” approach to evaluating the cost of accidents is fraught with problems and disadvantages. The cost of accidents should be calculated by means of a completely objective process, geared to actual economic loss. The “cost of damage” approach best fulfils the claim to providing the most objective representation of costs. Investigations involving more subjective survey methods provide additional information, which increases what we already know of the complexity of calculating the costs of accidents. However, their disadvantages make them less suitable for planning purposes.

2.3 Are accident costs external or internal?

The economic costs of traffic can be subdivided into internal and external costs. This also applies to costs resulting from accidents, though in some calculations of traffic costs, all costs due to accidents are classified as external costs. The classification of the different costs due to accidents as internal and external is not uniform, however. Very often, the cost of loss of resources is classified as an external cost and the cost of reproduction as an internal cost. In order to get clear definitions; it is necessary to establish whether particular heads are to be included under external or internal costs. To discuss the externality of costs arising from accidents, those involved in the accident should be divided into those who cause and those who are victims of accidents. According to the definition of externality, costs arising from accidents are external when one person causes harm to another person involved in an accident, or to a third party, without providing appropriate compensation. Compensation for the harm suffered may be provided by the person who caused the accident or by an insurance company. The payment compensates the victim of the accident and requires the person responsible to pay the corresponding costs. They replace the price mechanism that is lacking in the case of externalities and are therefore an effective means of reallocation.

- The costs of reproduction where the victim was not the cause of the accident are borne through a “knock-for-knock” process by the person who caused the accident himself or by his vehicle- or third-party insurance. The third-party insurance system and the law on liability therefore internalize them. An exception is made in the case of accidents incurring costs more than the limit of liability laid down in the insurance policy.
- The cost of loss of resources to victims of accidents who were not responsible for them, are also borne by the third-party insurance of the person responsible or by that person himself. It is worked out based on the average income of the victim in the months preceding the accident.
- The costs of reproduction and loss of resources to the person responsible for the accident, which the latter bears himself, e.g. through loss of income, are internal costs.
- The reproduction costs of the person responsible for the accident, which are met by various types of insurance (e.g. health insurance), are borne by a group of insured parties, which does not fully correspond to the group of road users or the group covered by third party insurance. The costs of reproduction are external in that extra costs in the form of higher insurance premiums are incurred by those who do not use road transport.
- The human costs to victims who are not responsible for accidents and to their families are internalized by the payment of damages.
- Costs incurred outside the market (losses in the shadow economy and housework) to victims who are not responsible for accidents are not internalized through insurance and are therefore external.

These examples show that accident costs cannot generally be classified as internal or external, but that they need to be viewed with discernment. The separating of such costs into internal and external components from one country to another depends on the way their national insurance systems and laws on liability operate. However, in an evaluation of road safety measures, the total economic cost of road accidents involving casualties would normally be ascertained. The division into internal and external costs is therefore not usually relevant.

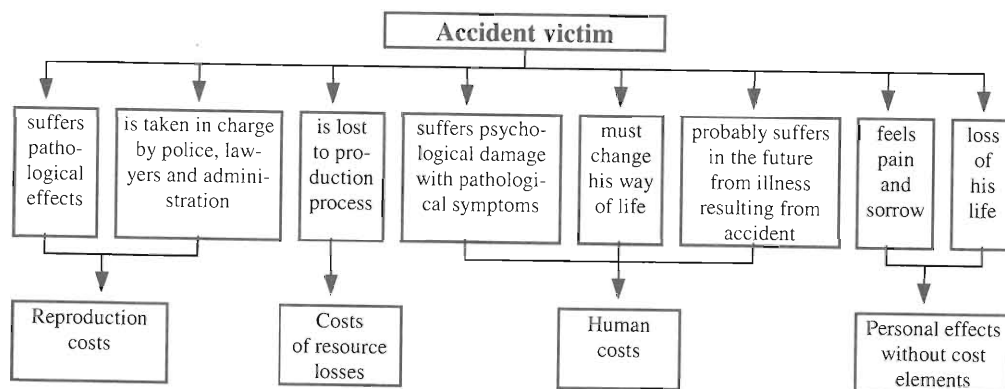
2.4 Additional heads: human and extra-market costs

Some consequences of accidents are not accounted for, or only partly, by the costs of reproduction and resource losses. These include, for example, the pain and suffering of the victim, psychological considerations, a diminished capacity to endure stress, and a fall in the quality of life. These consequences are described as human. These human costs are gaining

increasing importance in the evaluation of accident costs. They mainly cover damages paid for physical and psychological harm to the victim and his family, lower educational and professional opportunities, and loss of independence, amongst other things. An assessment is required of whether the human consequences can actually be quantified in monetary terms or whether they represent a payment that should not be taken into account for accounting purposes. The calculation of accident costs in some countries (e.g. Great Britain) involves an assessment of the human costs, which are added to the overall costs arising from an accident.

The human consequences of accidents may amount to the loss of productive human resources or a decline in their performance. It is therefore justified to regard human costs as a component part of the overall costs arising from accidents. Human consequences that do not lead to a loss of resources and entail no costs are not to be taken into account in the calculation of costs arising from accidents. Figure 3 shows the distinction.

Figure 3: Distinguishing consequences of accidents and assigning costs



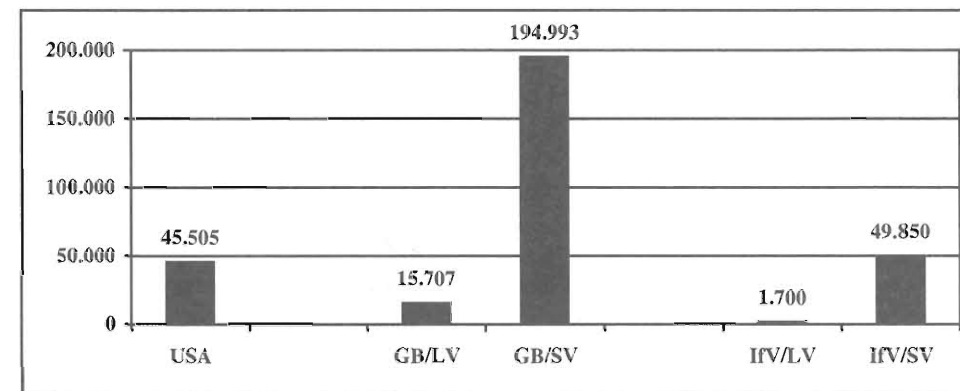
Source: own diagram.

An attempt is sometimes made in the literature to replace the “resources” approach with the “value of life” (*pretium vivendi*) approach (INFRAS, IWW, 1995). A comprehensive evaluation of human life (the “human” as well as the economic aspects) is thereby made. Such an attempt goes beyond establishing the contribution to economic output of the accident victim. It may be an appropriate way of highlighting the personal consequences of accidents, but it does not reveal the economic loss, which is the basis of the cost concept here. The “value of human life” concept should not therefore be pursued as a means of establishing the human cost.

An international comparison (Fig. 4) reveals very diverse findings with respect to human costs. The main causes of this diversity are the different assessment methods (“willingness

to pay” approach, “cost of damage” approach) used in different investigations. The results obtained from the “costs” approach used in Germany, based on the cost of damage approach, are the lowest (Baum, Höhnscheid, 1999). The American and British calculations use the “willingness to pay” method. The value for the USA was calculated as the average of the costs for individual injuries of different severity, weighted by the frequency of accidents.

Figure 4: International comparison of human costs (DM)



LV = Minor injury, SV = serious injury, IfV = costs for Germany.

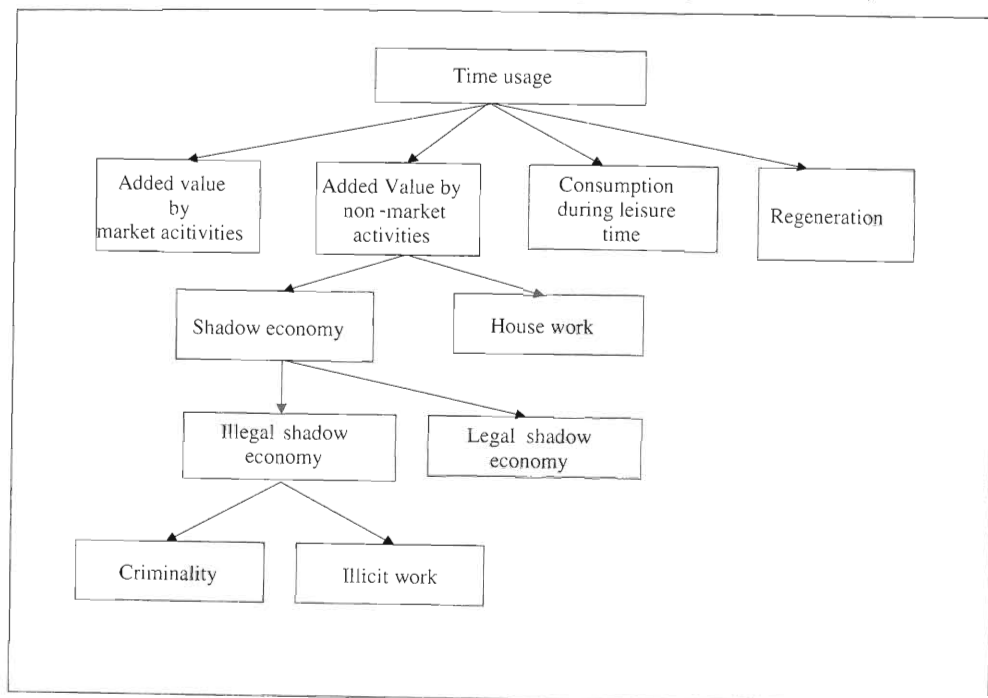
Sources: NHTSA, 1994; Department of Transport, 1996; own calculation.

Most calculations of accident costs include only the loss of net product in the markets resulting from accidents. In a national economy, over and above the net product from the market, this appears in the social product, other goods and services are produced outside the market, which do not contribute to the social product. Such extra-market costs must also be factored into the costs of road accidents. Extra-market economic activity is of increasing importance; the shadow economy alone accounts for the equivalent of 10 to 27% of the social product. In determining costs arising from accidents, the corresponding reduction in this part of the net product should also be taken into account. The extra-market activities of private economic players extend to the following areas:

- Housework is carried out in the individual’s own household and involves such activities as bringing up children or cleaning.
- The shadow economy covers all services (except housework) that ought to be, but are not included in the calculation of the official social product. The shadow economy may be legal or illegal.

Time is also spent in leisure activities, i.e. use of time that yields no net product (e.g. sporting activity). In determining costs arising from accidents, the legal shadow economy and leisure activities should not be taken into consideration. This is because of lack of information and practical considerations.

Figure 5: Added-value activities of private persons by their time usage



Source: own diagram.

On behalf of the Bundesanstalt für Straßenwesen, the Institute for Transport Economics at the University of Cologne is supplementing the evaluation of accident costs in Germany by factoring in human costs and extra-market net product losses (Baum, Höhnscheid, 1999). The results of the calculation are presented in Chapter 3.

2.5 Macroeconomic basis for the evaluation of accident costs

The economic costs of resource losses are based on the loss of net product by the accident victim. The overall national calculation provides different parameters from which the net product can be determined. As regards the evaluation of road traffic victims this gives rise to three questions:

- 1) What is the appropriate measurement of the overall contribution to output? Above all it must be decided whether gross or net output is to provide a basis for the evaluation of accident victims.
- 2) Should the assessment be made based on actual or potential output? Hitherto, road accidents costs have been calculated based on actual output values. Since the end of the sixties production potential has been used in macroeconomic analysis as an indicator of macroeconomic capacity. It is necessary to determine whether a corresponding use of production potential should also be used in evaluating road accidents.
- 3) To what extent should macroeconomic output performance be attributed to the factor labor or the factor capital? Until now overall productive performance has been ascribed to the factor labor and road accidents have been evaluated accordingly. If a production function is used, it is possible to take account of the different contributions to output of labor and capital.

2.5.1 Overall economic account indicators

The overall economic account determines several characteristic variables, which can be used as indicators of overall economic output:

- Gross net product corresponds to the sum of the output values of all economic sectors (= turnovers) minus their outlay;
- Gross domestic product at the market price is obtained from the gross net product, in that non-deductible turnover tax and import duties are added;
- Net domestic product at the market price is obtained by subtracting depreciation costs from gross domestic product;
- Net domestic product at factor cost (= national income) is obtained by taking net domestic product at market prices, subtracting indirect taxes and adding subsidies.

The production potential itself is not an element in the overall economic account, but is determined by special calculations. The production potential shows the production rate that can be achieved in a national economy with normal utilization of the factors labor and capital. The fact that it only indicates potential distinguishes it from actual output performance variables. In the evaluation of lost output due to road accidents it is necessary to decide which net product indicator should be used as a basis, since it will have a significant effect on the level of costs arising from loss of resources.

2.5.2 Actual output or output potential?

Since the end of the sixties, potential output (= production potential) rather than actual output has been used in some countries to measure the economic efficiency of an economy in quantitative terms. Thus, the European Commission and the OECD, for example, use production potential to indicate economic capacity.

The argument for production potential is based on the view that actual output depends on a variety of various circumstances, e.g. the influence of monetary or financial policy. In order to identify the actual production potential of an economy, it is necessary to consider its supply side. This depends on the availability of both factors labor and capital. The amount and the productivity of the factors determine what an economy can produce in terms of goods and services in a given period with normal utilization of resources, unaffected by economic policy measures. If actual output were a basic factor in the evaluation of road accidents, economic losses would vary depending on whether the economic climate was good or bad.

2.5.3 Evaluation of losses of labor and capital

The factor labor (i.e. the performance of the workforce) is often held fully responsible for down-times in terms of production. In fact, the social product is determined both by labor and by capital. It is therefore necessary to split the economic net product to reflect the different contributions of both factors labor and capital. The consequence of this correction would be a decrease of the resource loss costs. Leaving the factor capital out of consideration would to some extent prove that the accumulation of capital depends on the factor labor. Recent developments in growth theory, however, have emphasized the autonomy of the factor capital, so that a division of the output yield corresponding to both factors seems reasonable.

3. New evidence in accident costs

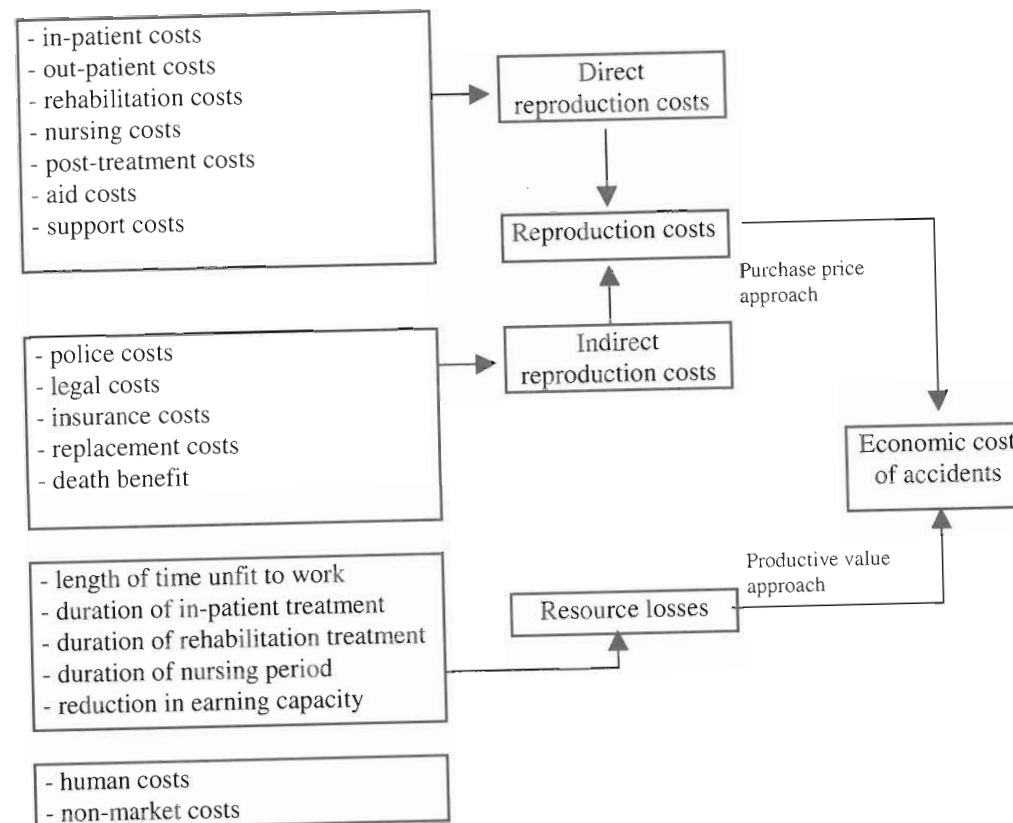
There is new research work, which is concerned with updating and developing the calculation of accident costs and which produces quantitative results. Figure 6 below shows the elements that make up an accident cost analysis and gives the results of the current analysis for Germany.

3.1 Elements of accident cost analysis

In economic analyses of road safety measures, it is important to assess costs arising from accidents – like investment costs. The calculation of the economic costs of road accidents take into account all the consequences of an accident that lead to a loss of net product. The

elements of accident cost analysis are presented in Figure 6. A comparable breakdown can be made for property damages.

Figure 6: Elements of accident cost analysis



Source: own diagram.

1. **Reproduction costs are incurred** where a situation equivalent to the one before the accident is brought about through recourse to medical, handicraft, legal, administrative and other measures.
 - Direct reproduction costs arise from the medical and professional rehabilitation of the accident victim. Medical rehabilitation comprises in-patient or out-patient treatment of the victim, provision of transport and after-care treatment. Professional rehabilitation consists of measures that enable the accident victim to resume his professional activity.

- Indirect reproduction costs arise from the attempt to settle legal matters (police costs, legal costs, and insurance claims).
2. **The costs arising from loss of resources** cover the reduction in economic net product resulting from the fact that persons injured or killed in an accident are no longer able to take part in the production process. The consequence of the death or injury of a person is thus to reduce social product in the future. Moreover, vehicles are damaged or destroyed in road accidents. These vehicles represent real capital. As a result of the damage caused by road accidents this real capital is available to the production process for a reduced period or is permanently disabled.

Furthermore, road accidents lead to losses other than the loss of net product in the markets. Loss of net product from housework and work in the shadow economy are not reflected in the official social product. Any calculation of the economic cost of accidents must ensure that these losses of net product are also included.

3. At least, do accidents have **human consequences** that lead to a loss of resources:
- An accident is an experience that can have harmful psychological effects on those involved and their families, for which no pathological symptoms can be identified. This may so limit their capacity to endure stress as to make them unfit for work, and this entails a loss in net product.
 - Many accident victims have to change their way of life because of their experience. This leads to a reduction in productivity.
 - Moreover, when assessing human costs it is necessary to consider the possibility of further unpredictable consequences. These include costs associated with the higher probability of future illness.

Where there is no loss of resources, the human consequences of accidents should not be taken into account in calculating the costs arising from accidents. These mental problems will only be factored in when costs are incurred. The emotional state caused by the experience of an accident (e.g. bereavement) cannot be evaluated in monetary terms.

The human costs are the basis for actual decisions to award damages. The most suitable approach to determining human costs is therefore based on the payment of damages to the accident victim.

3.2 Results of accident cost analysis – The case of Germany

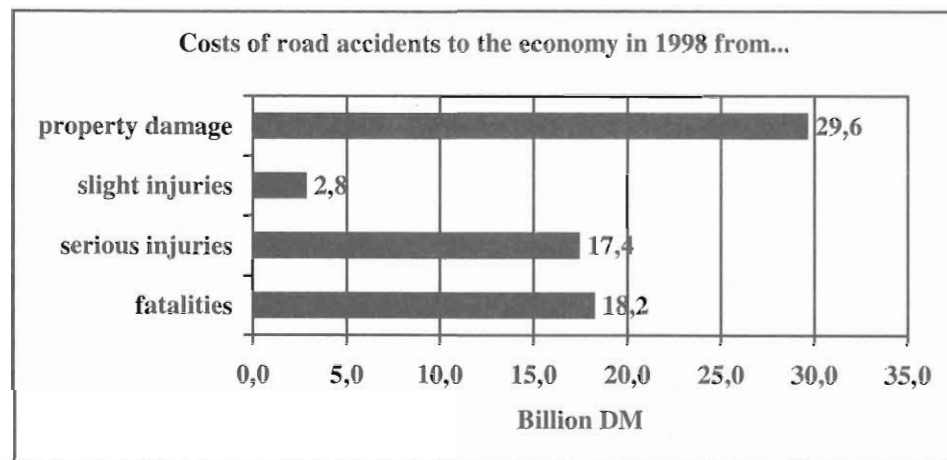
Table 1 shows the actual cost unit rates for personal injuries and property damages for Germany, established annually by the Bundesanstalt für Straßenwesen. By linking costs arising from accidents, grouped according to degree of severity, with the frequency with which they occur in the survey year, the cost to the economy of personal injuries sustained in road accidents can be worked out. The Bundesanstalt für Straßenwesen's computation model is used to determine accident costs, which are broken down according to the severity of the injury (fatal, severe, and slight). Persons killed in road accidents in 1998 accounted for the highest cost: more than 2.3 million DM, of which the costs arising from loss of resources – more than 1.5 million DM – represented the highest proportion. A basic factor in calculating the costs arising from property damages in road accidents is the police estimate of the repair costs. The following table shows the costs arising from personal injury in 1998, according to degree of severity, and from property damages according to the type of accident.

Table 1: Cost unit rates for personal injuries and property damages of road accidents 1998

	Cost unit rates (DM)
Personal injuries	
Fatal	2.333.989
Severe	159.856
Slight	7.139
Property damages	
Accidents with fatalities	49.575
Accidents with severe injuries	24.343
Accidents with slight injuries	17.970
Serious accidents only with damages	24.481
Other accidents with damages	10.981
Other alcohol accidents	8.546

Source: Höhnscheid, 1999; Baum, Höhnscheid, Höhnscheid, Schott, 2000.

The total cost of road accidents to the German economy in 1998 amounted to 68 billion DM (Figure 7).

Figure 7: Cost of road accidents to the German economy in 1998 (in billions of DM)

Source: Baum, Höhnscheid, 1999; Baum, Höhnscheid, Höhnscheid, Schott, 2000.

Personal injuries accounted for 56 per cent of the total costs in 1998 and property damages for 44 %. Total costs arising from personal injuries were more than 38 billion DM, the highest proportion of which were the costs arising from loss of resources, amounting to 26.84 billion DM (Table 2).

Table 2: Accident costs from personal injuries in 1998

	Costs (billion DM)
Reproduction costs	4,67
Resource losses	26,84
with:	
Direct resource losses	17,89
Shadow economy	2,09
Housework	6,86
Human costs	6,85
Personal injury costs (total)	38,37

Source: Baum, Höhnscheid, 1999; Baum, Höhnscheid, Höhnscheid, Schott, 2000.

As to the different categories, fatal injuries cost the economy over 18 billion DM. The overall costs arising from property damages are determined by adding the reproduction costs to the costs resulting from resource losses, as well as the loss of net product from extra-market activity. In 1998, they amounted to over 29.5 billion DM. Other accidents causing property damages accounted for 19,3 billion DM, the highest amount for any individual category.

The results of the analysis of costs arising from road accidents in Germany in 1998 are shown in Table 3.

Table 3: Accident costs by personal injuries and property damages in 1998 (in billions of DM)

Costs by personal injuries	Costs in billion DM
Fatal	18,19
Severe	17,41
Slight	2,77
Costs by property damages	
Accidents with fatalities	0,342
Accidents with severe injuries	2,158
Accidents with slight injuries	4,920
Serious accidents only with property damages	2,609
Other accidents with property damages	19,297
Other alcohol accidents	0,227

Source: Baum, Höhnscheid, 1999; Baum, Höhnscheid, Höhnscheid, Schott, 2000.

4. Empirical evaluation of road safety measures

The results of selected investigations into the effect on accidents of traffic measures are presented below. They cover a number of individual measures.

4.1 Identifying the causes of accidents

Road safety is affected by three factors: man, vehicle and infrastructure. The following table shows the most common causes of accidents involving personal injuries. It emerges that human error is a far more frequent cause than technical failure or the condition of the infrastructure.

Table 4: Causes of accidents with personal injuries in Germany (1997)

	Share (%)
Driver errors	85,4
of which:	
<i>Driving too fast</i>	16,0
<i>Right of way, traffic regulations</i>	11,8
<i>Turning, driving on/off, turning around</i>	11,8
<i>Driving too close</i>	9,3
<i>Driving under the influence of alcohol</i>	5,4
<i>Using the wrong lane</i>	6,1
<i>Overtaking, passing</i>	5,1
<i>Disregarding pedestrians</i>	3,7
<i>Other causes</i>	16,3
Vehicle failures	0,9
Pedestrian's failures	5,1
Road conditions	6,4
Other	2,1
Total	100,0

Source: Bundesministerium für Verkehr (Hrsg.), *Verkehr in Zahlen 1998, Bonn 1998, S.173ff.*

4.2 Case studies

4.2.1 Active and passive safety measures

The TÜV Rheinland has produced estimates of the potential of safety measures to reduce traffic accidents (Rompe, 1998). They are based on studies of the international literature, expert opinions, and test results. The estimates of the potential for reducing accidents relate to the European Union. This potential is not expressed in monetary terms.

Other possible ways of reducing accidents, which have yet to be quantified, include:

- Improving facilities in vehicles (e.g. driver-support systems, optimized headrests);
- Introduction of underrun protection systems at the sides and rear of trucks;
- Developing vehicle surveillance;
- Improving safety of buses and tanker lorries;
- Improving procedures in case of an accident (e.g. automatic distress call).

Table 5: Potential of vehicle safety measure to reduce road accidents

	Measures	Potential for reducing accidents
Active safety	Reduction of average speed on all roads (by 5 km/h)	25%
	Checking blood-alcohol level	8-16%
	Day-time running lights for passenger cars	2-7%
	ABS systems for all passenger cars	3-5%
	Day-time running lights for motorcycles	1%
	Reflective edges for trucks	1%
	Passive safety	Crash evaluation program
Higher degree of seat belt-using		15%
Driver and front seat passenger airbag		5-10%
Side airbag		3-5%
Front underrun protection for trucks		3%
100% usage of protective helmets		3%
Better protection for pedestrians		2-7%
Higher usage of child support systems	1%	

Source: Rompe, 1998.

4.2.2 Measures for transferring and reducing traffic under established economic framework conditions

Pischinger, Sammer, Schneider *et al.* have checked the effects on the environment of various measures. Their effect on the incidence of accidents was also evaluated. The potential for reduction applies to those injured and those killed. The investigation conducted in 1997 concerned Austria (Pischinger, *et al.*, 1997).

Table 6: Potentials for reducing accidents by 2005

Measures	Cost-benefit-difference* (in million Sch)	Injured	Killed
Speed surveillance	663	-5,2 %	-5,0 %
Speed limit	28.211	-21,3 %	-20,8 %
Parking space management	-906	-0,1 %	-0,1 %
Increasing fuel prices	149.183	-16 %	-16 %
Eco-bonus	144.887	-16 %	-15 %
Road pricing	118.789	-20 %	-19 %
Vehicle access restrictions, Pedestrian zones	-4.363	+0,1 %	+0,1 %

Table 6 (continued)

Measures	Cost-benefit-difference* (in million Sch)	Injured	Killed
Use of cycles ("cycle-friendly city")	42.111	+11,3 %	0 %
Extension of multi-modal transport	-22.071	-0,1 %	-0,1 %
Extension of rail passenger transport	-31.900	-1,8 %	-1,6 %
Extension of public transport	-17.122	-2,7 %	-1,7 %
Logistics	44.953	-0,3 %	-0,5 %
Road guidance systems	-15.307	-1,3 %	-1,2 %
Campaigns to increase awareness	11.208	-5,0 %	-5,0 %

* without CO₂-assessment

Source: Pischinger, et al., 1997.

4.2.3 Accident prevention measures

For Switzerland, the **Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu)** has made national assessments of 22 different safety measures (Eckhardt, Seitz, 1998). Of the 22 measures investigated, 12 have relevance for traffic:

- Two-phase model: three-year probationary period with further training for new drivers, additional instruction for those who fail probationary period;
- Random breath tests for alcohol level: police may carry out breath tests where driver shows no sign of drunkenness;
- Accident data recorder: fitted to all newly registered private cars and motor cycles;
- Speed warning device: fitted to all newly registered private cars.
- Distance warning device: fitted to all newly registered private cars;
- Design of local passages: reducing speed and increasing attentiveness through arrangements to ease traffic on main city center (roundabouts, traffic islands with shrubbery, center islands, etc.);
- Mandatory child support systems: tested restraint systems ensuring the safety of children up to 7 years old;
- Higher control degree: level of police control increased by 50 %;
- ADMAS point system: penalty points for certain traffic offences and temporary confiscation of license when a minimum number of points has been exceeded;

- Cycle and moped training courses: compulsory courses for young persons;
- Higher share of public transport: requirement that 10% of individual motorized transport is transferred to public transport;
- Obligation for cycling helmets: children obliged to wear cycling helmets.

Table 7 shows cost-benefit ratios and cost-benefit differences for the various traffic safety measures.

Table 7: Cost-benefit results of traffic safety measures

No.	Measure	Benefits (in million Fr./year)	Costs (in million Fr./year)	Cost- benefit ratio	Cost- benefit difference (in mill. Fr./year)
1	Two-phase model	109	66	1,6	43
2a	Random breathalyzer tests for alcohol level without blood-alcohol test	227	12	19	215
2b	Random breathalyzer tests for alcohol level with blood-alcohol test	227	14	17	213
3	Accident data recorder	49	83	0,6	-34
4	Speed warning devices	187	162	1,2	25
5	Distance warning devices	113	157	0,7	-44
6	Design of local passages	27	25	1,1	2
7	Mandatory child support systems	5	5	1,1	0,5
8	Higher control degree	26	5	5,5	22
9	ADMAS point system	524	26	20	498
10	Cycle and moped training courses	5	4	1,1	0,5
11	Higher share of public transport	1.122	61	18	1.061
12	Obligation for cycling helmets	40	9	4,7	32

Source: Eckhardt, Seitz, 1998.

4.2.4 Comprehensive traffic safety programs

For the USA, the current results of cost-effectiveness analyses of more than 550 different safety measures are available from Tengs, Adams, Pliskin and others (Tengs, *et al.*, 1995). Table 8 shows the range of costs for different categories of measures required to save one year of a person's life.

Table 8: Cost-effectiveness analyses for different groups of measures

	cost/life-year
Automobile design improvements	≤ \$ 0 – 450.000
Automobile occupant restraint systems	≤ \$ 0 – 360.000
Helmet promotion	≤ \$ 0 – 44.000
Highway improvement	\$ 29.000 – 420.000
Light truck design improvements	\$ 13.000 – 10.000.000
Light truck occupant restraint systems	\$ 14.000 – 67.000
School bus safety	\$ 150.000 – 4.900.000
Speed limit	\$ 6.600 – 510.000
Traffic safety education	≤ \$ 0 – 720.000
Vehicle inspections	\$ 1.500 – 1.300.000

Source: Tengs, et al., 1995

The following measures are particularly cost-effective; each of them amounting to less than \$100 for each year of life saved:

- Fitting windscreens using adhesive substance rather than rubber seal;
- Automatic rather than manual driver safety belt;
- Compulsory wearing of seat belts;
- Compulsory use of child restraint systems;
- Compulsory wearing of motor cycle helmets;
- Further training for incompetent drivers (rather than withdrawal of their licenses);
- Ban on the sale of three-wheel cross-country vehicles.

4.2.5 Telematics

The Institute of Transport Economics at the University of Cologne has analyzed the effect on safety of the use of telematics (Baum *et al.*, 1994). The results apply to Germany. The evaluation was made using a traffic simulation model.

Table 9: Road safety effects of telematic applications

	Cost-benefit ratio	Accident costs (in mill. DM)
Road guidance systems - Companion	1,1	-12,07
Road guidance - Integrated telematics system	1,6	-361,95
Driver assistance systems for coupling trucks electronically	4,37	-13,42

Source: Baum, et al., 1994.

4.2.6 Measures regarding infrastructure and organization

The Institute of Transport Economics at the University of Cologne has investigated the impact on road traffic safety of measures to improve infrastructure and organization in the context of various research projects (Baum *et al.*, 1994). These assessments were also made using a traffic simulation model.

Table 10: Effects of measures to improve safety on the road

	Cost-benefit ratio	Cost of accidents (in mill. DM)
Integration measures		
Combined transport (BVWP 92)	1,1	-46,73
Freight transport centers	1,9	-9,88
Park and Ride	2,5	-167,21
Organizational measures		
Replacement of own-account transport	8,6	-98,91
Increasing payload	6,4	-103,70
Cooperation (Alternative 1)	3,3	-23,30
Planning trips	1,9	-23,49
Satellite radio	2,6	-4,41
Transport exchange	3,7	-0,55
JIT avoidance	0,3 – 3,2	-50,03
Carpooling (Alternative 2)	1,7	-22,83
Road infrastructure		
Closing gaps	2,2	-88,80
By-pass (dual carriageway)	3,9 – 5,1	-209,49
Continuous building sites	3,4	-0,80
Daytime building sites	0,3	-9,47
Third lane on motorway	5,2	0
Hard-shoulders	0,5	-3,37

Source: Baum, et al., 1994.

4.2.7 Insurance incentives

The possibility of improving road safety by providing financial incentives through insurance systems has not so far been sufficiently exploited. If we consider the insurance systems that are currently found worldwide, two basic types can be identified (Table 11).

Table 11: Characteristics of third-party and no-fault insurance systems

	Third-party insurance	No-Fault insurance
Liability	Person responsible for the accident	No liability
Benefits	Parties injured by policy holder	Victim of accident (= Policyholder)

Source: Baum, Kling, 1997.

The existing motor insurance systems in Europe are based on several charging criteria, such as type of vehicle, licensing authority, and individual claims record (no-claims or bonus-malus system). It is generally agreed that road safety is promoted by the bonus-malus system, which punishes those responsible for accidents with higher premiums and rewards those who are not with lower ones.

A fundamentally different system applies in certain states in the USA and Canada. There, accident victims are compensated by private or public motor insurance institutions, whether or not they were responsible for the accident ("no fault"). At present, no-fault systems exist in 23 states in the USA. Under the system, the injured party loses his legal third party claims upon the person responsible for the accident. It appears that this limitation of liability on the part of the person who caused the accident tends to lead to a rise in the frequency of accidents. Studies that have attempted to identify the effect of the no-fault rule on the incidence of accidents, have concluded that the number of accidents and accident victims has risen (Sloan *et al.*, 1995, p. 72 ff.); furthermore, the number of fatal accidents has increased (Cummins, Weiss, 1991, p. 22).

To be able to estimate the effects of insurance schemes, a standardized expert survey was conducted as part of a study carried out by the Institute of Transport Economics at the University of Cologne. The respondents had to name the five instruments that in their opinion had the greatest effect on traffic safety. The answers to this question were very much in line with the assessments of the individual measures. The respondents as a whole ranked the instruments as follows (see Table 12).

All those surveyed felt that taking account of the points record when assessing tariffs had the most significant effect. After that came two instruments intended to achieve a more distinct, more individual liability, namely the closer identification of the driver of the vehicle and the excess motor insurance. At the lower levels were the different arrangements geared to kilometer performance and the general rise in premium levels.

Table 12: Ranking of safety measures in order of effectiveness

Ranking	Measures
1.	Taking points record into consideration
2.	Closer identification of the driver of the vehicle
3.	Self-participation in the insurance system
4.	Reimbursement of payment
5.	Money gratuities and special gifts for driving without accidents
6.	Savings scheme models
7.	Refusal to pay in cases of roughly negligent behavior
8.	Promotion of safety technologies
9.	Greater spread of the bonus-malus system
10.	Extension of possibility of compensation
11.	Greater differentiation of premiums
12.	Contracts based on annual vehicle-kilometers
13.	Variable insurance premiums
14.	General rise in premium levels

Source: Baum, Kling, 1997.

4.2.8 Local incentive schemes

In 1981, France set out to reduce the fatality rate by a third, from 45 to 30 deaths per billion vehicle-km, within five years. To this end, responsibility for road safety was to be largely transferred to those able to exert influence on the incidence of accidents at local level (Brühning, 1985, p. 30 ff.). Accordingly, two programs were initiated in 1982-83:

- "REAGIR" (Réagir par des Enquêtes sur les Accidents Graves et par des Initiatives pour y Remédier) provides for the investigation of every serious accident by a multidisciplinary commission. The concluding report, drawn up jointly, is supposed to reconstruct the accident as far as possible and offer suggestions in the light of presumed causes of the accident;
- With the program "MINUS 10%", the number of accidents involving personal injury was expected to fall by 10% per year. The state entered into agreements with larger municipalities (populations more than 50.000) and Departments, under which the latter undertook to improve road safety. The state provided the following grants for this purpose:
 - a one-off payment corresponding to 1 FF per inhabitant, regardless of success, amounting to at least 100.000 FF, and at most 500.000 FF;

- in the event of the -10% target being reached within a year, an award for each accident avoided of 20.000 FF in rural areas and small villages (competence of the gendarmerie) or 10.000 FF in other municipalities (competence of the police).

In the period 1983 to 1988, around 372 million FF were set aside, of which 12% was to pay participants and 88% to reward success. Table 13 shows that MINUS 10% proved to be a success.

Table 13: Success rates of "MINUS 10%" program in France

Year	Status	Administrative areas			Total
		Departments	Cities	Other	
1	Participating	90	79	23	192
	Target reached (1x)	71	74	21	166
	Success rate	79%	94%	91%	86%
2	Participating	70	74	21	165
	Target reached (2x)	20	45	10	75
	Success rate	29%	61%	48%	45%
3	Participating	19	41	9	69
	Target reached (3x)	2	19	4	25
	Success rate	11%	46%	44%	36%
4	Participating	1	15	3	19
	Target reached (4x)	0	3	1	4
	Success rate	-	20%	33%	27%

Source: Schlabbach, 1991.

Of the departments and local authorities taking part, one of them (Soissons) actually managed to achieve the 10% reduction level five times. The figures nevertheless show that longer-term programs – lasting several years – and substantial financial resources are required for significant improvements in road safety. It also emerges that the potential for improvement diminishes after the scheme has been in progress several years and “natural” limits to accident prevention seem to become apparent (Schlabbach, 1991, p. 146 ff.). In mid-1989 the MINUS 10% was abandoned and replaced with an information and training scheme.

Austria followed the French example and implemented a similar program (*Aktion Minus-10-Prozent weniger Verkehrsunfälle*), in which the district authorities were to participate. The Austrians, however, took the view that the commitment of those involved should not be bought with financial benefits and instead success was repaid with honors and distinctions, and with benefits in kind. The object was to reduce the number of accidents (from the average number for 1984 and 1985) by 10% per year. All 121 district authorities took part (Schlabbach, 1991). The results of the scheme are by no means clear. Although the

number of accidents fell by 4.1% in the first six months of the scheme (second half of 1986), the influence of “Minus 10%” could not be demonstrated. In the second year of the scheme, however, the number of accidents increased by 3.6% and fatalities by 13.1%.

4.2.9 Assessing the problems of dealing with organs

Since 1997, a new law on transplants, regulating the removal and transplanting of organs, has been in force in Germany. Amongst other things, this law forbids trade in organs. It is not certain how organ transplants and the law on transplants affect costs arising from accidents or whether the incidence of accidents has any effect on the cost of transplants (Baum, Höhnscheid, 1999). In road accidents causing serious personal injury the effects are two-fold:

- Injuries may be sustained that can only be treated by means of a transplant. In that case, accidents victims are demanders of organs; the corresponding costs must be considered as reproduction costs when the costs arising from the accident are calculated;
- In road accidents with fatal consequences, accident victims may end up as organ donors. Organ donations can save lives and the survival of the recipient can lead to a reduction in the costs due to loss of resources. Researchers need to determine whether this reduction of costs is to be regarded as a possible economic benefit of road accidents.

With the development of medical science, the transplantation of certain organs has now become a normal part of medical care. Organ transplants have different effects on costs resulting from accidents:

- There is considerable excess demand for organ transplants; i.e. the demand for replacement organs cannot be fully satisfied, or only after a long delay. This often results in higher treatment costs; regular dialysis is required, for example, until a replacement kidney becomes available (Table 14).

Table 14: Costs of dialysis and kidney transplants

	Costs
Dialysis, annual	45.000 - 90.000 DM
Kidney transplant, one time	50.000 DM
After-care costs, annual	15.000 - 20.000 DM

Source: Arbeitskreis Organspende, 1995.

- The effect of organ transplantation on the economic cost of accidents is relatively low. The injuries most often sustained in road accidents cannot be treated by means of a transplant. Table 15 shows the injuries from accidents that entail the highest economic costs.

Table 15: The most cost-intensive injuries (in mill. DM)

	Economic cost (mill. DM)
Closed fracture of the femur	214
Contusio cerebri	158
Closed fracture of the tibia	145
Fracture of the vertebrae	120
Closed fracture of the foot	89
Closed fracture of the shoulder joint/head of humerus	84
Open fracture of the tibia	84
Closed fracture of the elbow, forearm bones	64
Commotio cerebri	58
Torn knee	35

Source: Mattern, et al., 1988.

Transplants are not shown as a separate item on the list of reproduction costs owing to their minor significance in accident costs. They are accounted for under medical treatment costs.

Anybody killed in an accident is a potential organ donor. The organs from fatal accident victims represent an increase in supply, which could have the effect of lowering costs.

- With the greater supply of donated organs, there is an increase in the number of persons having organ transplants, who are thus able to survive. As a result, there is a fall in costs due to loss of human resources, i.e. of persons who would not have survived without the donated organs;
- An organ transplant may well entail lower reproduction costs than a protracted alternative treatment (e.g. dialysis);
- Today many organ transplants still present challenges to medical science. With the increase in the number of operations, made possible by accidents, staff carrying out operations and those conducting research are able to learn more.

The beneficial effects of accidents are, however, subject to various limitations:

- Not all those killed in accidents are potential organ donors. Only a certain number of accident victims may legally be used as organ donors. Of this number a further proportion of the fatally injured have to be ruled out, since their body parts have been so badly damaged in the accident that there can be no question of using them for transplantation purposes. It must nevertheless be recognized that even a small number of fatally injured persons with organs suitable for transplantation represent a significant increase in the organ supply, given the number of transplant operations carried out in Germany every year. Moreover, an accident victim might serve as a donor of different organs;
- Hitherto, certain types of organ transplantation have only guaranteed the short-term survival of the recipient. There is no certainty that he will become fit to work again. If the organ recipient remains unfit for work, the donation of organs does not lead to a fall in the costs arising from lack of resources;
- As regards the cost of treatment, it is not clear whether organ transplants lead to cost savings. The costs of after-care treatment of organ recipients have to be seen in relation to the cost of the very short courses of treatment that patients who have not received a new organ are often given throughout their lives.

Furthermore, there are serious ethical objections to interpreting the loss of a human life as a "benefit". The protection of human life is recognized as the highest ethical goal by society. Calculation of costs arising from accidents is not done for its own sake. Rather, these costs provide a source of information on which to base traffic policy, whose most important concern in the field of road safety is the protection of human life. To interpret death as beneficial therefore offends not only the common values of society, but also discredits the trend in research into accidents costs as the economic basis of road safety measures.

4.3 Comparability of road safety measures

The results of these case studies on the effectiveness of road safety measures cannot always be easily compared:

- Studies of the costs arising from road accidents reveal considerable differences in scope and composition. For example, property damages is often not taken into account in the calculation of accident costs, although they account for a considerable proportion – over 40% – of overall costs;
- Differences in accident cost levels also result from the fact that the cost components and evaluation procedures used in the calculations are not always the same. Assessments based on willingness-to-pay surveys normally lead to substantially higher valuations of casualties than other methods;

- The origin of data is not always clear from studies, which makes comparison and judgement difficult. The information available for assessing the measures is sometimes incomplete. The functional connections between traffic parameters (e.g. kilometer performance, speed) and the frequency and seriousness of accidents are not always apparent. These are, however, important factors in assessing the validity of the results;
- The studies and the results concern different countries. The extent to which the results obtained can be applied to other countries is open to question. In this connection, the comparability of situations should be checked and, where appropriate, weighting should be introduced to offset any differences. Examples of differences between countries are to be found *inter alia* in legal regulations (requirement to wear seat belt, helmet) or financial incentives in insurance arrangements.

The reductions shown in the studies should be understood as potential reductions, while the actual results of the reduction in accident numbers should be empirically investigated. Furthermore, the overall assessment of road safety measures must include effects that cannot be measured in terms of allocations (costs or benefits). These include in particular the distributive and social effects of road safety measures.

4.4 Conclusion

The many and varied international assessments show that the implementation of certain road safety measures could develop the potential for safety even further. This potential is associated with technological and legal measures, as well as those that address behavior:

- The introduction of a points register has produced one of the best cost-benefit results. This regulation is already being successfully applied in Germany. Moreover, further improvements can be expected from a link between the points record and insurance premium levels;
- As regards legal measures, the requirement to wear seat belts and helmets is proving to have a significant effect on road safety while also being more cost-effective;
- A further tightening of blood-alcohol tests is also regarded by many experts as an effective way of improving road safety;
- Various measures that increase the share in the modal split of less hazardous means of transport also show promise. These are mainly public transport systems. The problem lies in ensuring that the increase in safety is not offset by a fall in quality;
- If the accident reduction target alone is considered, we might expect speed restrictions to have a significant effect on road safety. Unfortunately, the available data on the cost-

effectiveness of speed restrictions are insufficient. Investigations carried out in the USA – the broader relevance of which is by no means certain – suggest that such a measure would lead to higher costs, resulting mainly from loss of time;

- Technological innovations also promise further improvements in road safety. This involves measures taken both inside and outside the vehicle. The critical point is that technological improvements are often associated with significant costs, which mean unsatisfactory cost-benefit ratios;
- Studies of the cost-effectiveness of measures that affect behavior are comparatively rare. Nevertheless, some studies of campaigns to increase awareness reveal positive results, showing a fall in the number of casualties as well as good cost-effectiveness. Particular stress is placed on the effectiveness of the special training given to incompetent drivers.

5. Prospects for further evaluation procedure

A modernized evaluation procedure has to meet different demands and address outstanding questions:

- 1) In all calculations of accident costs and economic assessments of road safety measures, it is essential that data should be highly transparent. Every stage in the calculation and assessment process must be comprehensible, so that, for example results from different countries can be compared.
- 2) Establishing a quantitative framework for reviewing accidents can still present serious problems. It is not always possible to quantify the connection between the effect of safety measures and the incidence of accidents. This is true *inter alia* of measures designed to influence behavior, whose effects on the incidence of accidents can seldom be isolated. However, these very measures are of increasing importance in the field of traffic policy. In particular, it is difficult to establish a clear relationship between the causes of accidents, the effects of accidents and the effects of road safety measures, because the incidence of accidents is due to a wide range of factors.
- 3) A further problem arises from the fact that the numbers of cases, whether those involving casualties or property damages, are often simply estimated. Therefore, the costs themselves are underestimated. False estimations may result from problems of definition or recording. In calculating the cost of accidents, an attempt should be made to keep the number of estimated figures as small as possible.
- 4) A great variety of cost accounting methods and assessment procedures are used across the world to provide answers to questions that arise in the context road safety. A greater

convergence and harmonization of the different procedures is definitely needed. This presupposes an international economic consensus on the most effective approaches.

- 5) The question of the extent to which human suffering should be taken into account in the economic evaluation meets with a different response in different countries. Whereas Germany consistently gears its evaluations to the question of resources, other countries also take account of the human consequences of accidents that are unrelated to any loss of resources.
- 6) In the case of resource losses caused by road accidents, a problem arises from the fact that casualties fall into different employment categories (full-time or part-time workers, unemployed persons and housewives). In face of the constant change in employment arrangements (e.g. part-time employment) or chronic unemployment, an assessment should be made of the extent to which the costs of accidents affect the situation in the labor market. A distinction should be made here between short-term, economic developments (e.g. short-time work, short-term part-time work, cyclical unemployment) and structural changes to the labor market (e.g. a rise in natural or structural unemployment, or a permanent increase in part-time work at the expense of full-time work).
- 7) An assessment of the resource losses is necessary when children and young people are the casualties. In some calculations they are included in the costs of upbringing and education. This means that the costs are underestimated. The evaluation must take into account the overall contribution of children and young people to net product if they had not been involved in accidents. The socio-demographic structure of casualties must be, however, reflected in the evaluation. An evaluation that ignores the age distribution of the accident victims leads to false signals for the transport policy.
- 8) Individuals cost items require constant updating and extrapolation. Costs should take into account the current state of relevant factors. If, for example, a long-term care insurance policy creates a new market for nursing services, which would presumably be accompanied by a greater demand for services, this would have to be considered in the reproduction costs. Other changes in reproduction costs result, for example, from measures to reduce costs in the health sector.
- 9) Environmental and congestion costs resulting from road accidents have not been considered so far. Congestion costs as element of the time costs, which arise for the other road users because of an accident, have to be calculated. Environmental costs arise, for example, where an accident involving vehicles with dangerous goods pollutes surface and ground water or damages flora and soil. Environmental costs also arise as a result of the extra emission when traffic is congested as a result of an accident. Time losses and damages of the environment because of accidents should also be considered in the assessment of road safety measures.

Bibliography

- Baum, H., Esser, K., Höhnscheid, K.-J. (1997), Volkswirtschaftliche Kosten und Nutzen des Verkehrs, Köln.
- Baum, H., Höhnscheid, K.-J. (1999), Volkswirtschaftliche Kosten der Personenschäden im Straßenverkehr, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, H. M 102, Bergisch Gladbach.
- Baum, H., Höhnscheid, H., Höhnscheid, K.-J., Schott, V. (2000), Ermittlung der volkswirtschaftlichen Kosten der Sachschäden im Straßenverkehr in Deutschland, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, H. M 119, Bergisch Gladbach.
- Baum, H., Kling, T. (1997), Verbesserung der Verkehrssicherheit durch Versicherungsanreize, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, H. M 82, Bergisch Gladbach.
- Baum, H., Maßmann, C., Pfau, G., Schulz, W. H. (1994), Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Rationalisierungsmaßnahmen im Straßenverkehr. Forschungsvereinigung Automobiltechnik, Schriftenreihe No 113, Frankfurt am Main.
- Brühning, E. (1985), Beim Nachbarn gesehen: Neue Wege in der Verkehrssicherheitspolitik in Frankreich, in: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, pp. 30-33.
- Bundesministerium für Verkehr (Eds.), Verkehr in Zahlen, verschiedene Jahrgänge.
- Cummins, J. D., Weiss, M. A. (1991), The Effects of No-Fault on Automobile Insurance Loss Costs, in: The Geneva Papers on Risk and Insurance, Vol. 16, pp. 20-38.
- Department of Transport (1996), 1995 Valuation of Road Accidents and Casualties, <http://www.open.gov.uk/dot/rvs/hen1-96.htm>
- Eckhardt, A., Seitz, E. (1998), Wirtschaftliche Bewertung von Sicherheitsmaßnahmen, bfu-Report 35, Bern.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1997), Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS-97), Köln.
- INFRAS, IWW (1995), Externe Effekte des Verkehrs, Karlsruhe, Zürich.
- Kling, T. (1997), Finanzielle Anreize im Versicherungssystem als Instrumente der Verkehrssicherheit, Köln.
- Mattern, R. et al. (1998), Verletzungsfolgekosten nach Straßenverkehrsunfällen, Frankfurt a. M..
- NHTSA (1994), The Economic Costs of Motor Vehicle Crashes, Washington.
- Niehus, K. (1992), Die monetäre Bewertung volkswirtschaftlicher Schäden durch Arbeits- und Wegeunfälle, dargestellt am Beispiel der Bundesrepublik Deutschland, Köln.
- Pischinger, R., Sammer, G., Schneider, F. et al. (1997), Volkswirtschaftliche Kosten-Wirksamkeitsanalyse von Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen des Verkehrs in Österreich, Graz, Linz, Wien.

- Rompe, K. (1998), Sicherheitsmaßnahmen an Kraftfahrzeugen und ihre Bewertung unter Kosten-Nutzen-Aspekten, in: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, pp. 104-107.
- Schlabbach, K. (1990), Erhöhung der Verkehrssicherheit nach Plan, in: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 36. Jg., pp. 146-155.
- Sloan, F.A., Reilly, B.A., Schenzler, C. (1995), Effects of tort liability and insurance on heavy drinking and drinking and driving, in: The Journal of Law and Economics, Vol. 28, 1995, pp. 49-77.
- Tengs, O. T., Adams, M. E., Pliskin, J. S. et al. (1995), Five-Hundred Life-Saving Interventions and Their Cost-Effectiveness, in: Risk Analysis, Vol. 15, No. 3.

Verkehr und/oder Telekommunikation? – Eine Untersuchung zu physischen und virtuellen Raumüberwindungsprozessen

VON DIRK VALLEE, STUTTGART UND STEFAN KÖHLER, RAVENSBURG

1. Einleitung

Die Entwicklung und zunehmende Verbreitung moderner Kommunikationsmedien übt einen immer stärkeren Effekt auf das aktionsräumliche Verhalten von Individuen aus. Damit wird es für die Verkehrswissenschaft und die Raumforschung zunehmend zur Aufgabe, die physischen und virtuellen Raumüberwindungsprozesse der Menschen zu untersuchen und erfassen, um sie dann nachvollziehen und abbilden zu können. In der Verkehrswissenschaft lagen anfangs die Schwerpunkte stärker auf Fragen des Schienenverkehrs und der Automobilität, später wurden dann der ÖPNV und letztlich dann auch der Fahrrad- und Fußgängerverkehr in wissenschaftliche Fragestellungen mit einbezogen. Jede dieser Forschungen hat das Verständnis der Entwicklungsprozesse im Mobilitätsverhalten von Individuen verbessert.

Mit der inzwischen fast flächendeckenden Verbreitung und zunehmend auch privaten Nutzung der Kommunikationsmedien, insbesondere Internet, e-mail, Telefax, Mobiltelefon, ist die Verkehrswissenschaft aufgefordert, diese Kommunikationsprozesse neben dem physischen Verkehr als virtuellen Verkehr mit einzubeziehen (vgl. Abb. 1).

Die in dieser Abhandlung vorgestellten Untersuchungsergebnisse sind Resultate eines Forschungsprojektes der Autoren zusammen mit dem Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe (Prof. Dr.-Ing. Dirk Zumkeller) im Auftrag der Landesarbeitsgemeinschaft Baden-Württemberg der Akademie für Raumforschung und Landesplanung /1/.

Anschriften der Verfasser:

Dr.-Ing. Dirk Vallée
Referent für Verkehrsplanung
Verband Region Stuttgart
Kronenstrasse 25
70174 Stuttgart
E-Mail: vallee@region-stuttgart.org

Dr.-Ing. Stefan Köhler
Verbandsdirektor
Regionalverband Bodensee-Oberschwaben
Hirschgraben 2
88214 Ravensburg
E-Mail: koehler@bodensee-oberschwaben.de

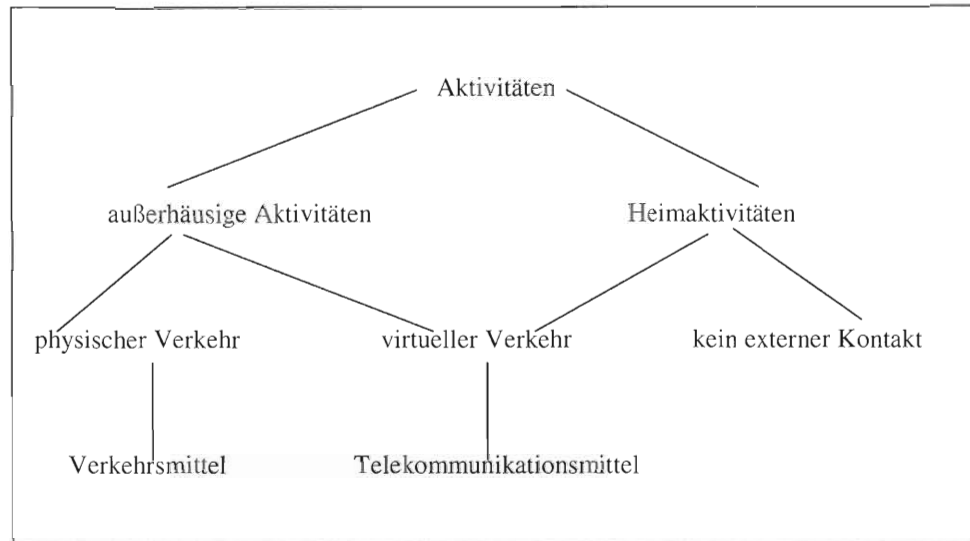


Abbildung I: Beschreibung von Aktivitäten und Raumüberwindungsprozessen

Wegen der immer stärker zutage tretenden Probleme des Verkehrssektors auf der einen und der rapiden Entwicklung des Kommunikationssektors auf der anderen Seite ist eine gesamthafte Betrachtung erforderlich. Nur über ein solches Vorgehen kann die Frage beantwortet werden, ob und inwieweit Zusammenhänge zwischen physischer und virtueller Mobilität bestehen. Zugleich soll geklärt werden, ob in Abhängigkeit der siedlungsstrukturellen Gegebenheiten Unterschiede im Mobilitäts- und Kommunikationsverhalten bestehen.

Weiterentwicklungen im Bereich der Informationstechnologie wie Datenautobahnen oder Multimedia ermöglichen einen massiven Informationsaustausch zwischen den Individuen, öffentlichen Institutionen und der freien Wirtschaft im Echtzeitmodus. Dieses dürfte sich sowohl in den Lebensgewohnheiten als auch in den Verhaltensmustern der Gesellschaftsmitglieder niederschlagen. Die aufgestellten Hypothesen über die Art und Weise einer solchen Beeinflussung lassen sich bislang jedoch noch nicht hinreichend quantifizieren. Somit besteht im Hinblick auf zukünftige verkehrsplanerische Aufgaben erheblicher Klärungsbedarf hinsichtlich der Wechselwirkungen zwischen physischem und virtuellem Verkehr. Tragen beispielsweise Dienste wie 'Telearbeit', 'Teleshopping' oder 'Teleconferencing' zur leichteren Überwindung räumlicher Zwänge und somit zu einer Dezentralisierung privater Wohn- und Arbeitsorte sowie öffentlichen Organisationen bei? Wird die zunehmende Akzeptanz von Telekommunikationsmitteln im privaten wie im geschäftlichen Bereich Auswirkungen auf die Freizeitaktivitäten der Gesellschaftsmitglieder haben, und wenn ja, in welche Richtung und in welchem Ausmaß?

2. Verfügbarkeit von Verkehrs- und Kontaktmedien für Haushalte und Personen

Um Art und Ausmaß einer Beeinflussung des Verkehrs- und Kommunikationssektors durch neue Telekommunikationsdienste modellieren zu können, ist fundiertes Wissen über die Charakteristik der Interaktion zwischen Verkehrs- und Kontaktmitteln erforderlich. Daher ist es sinnvoll, zunächst kombinierte Aktivitätenmuster basierend auf der in Abbildung 1 dargestellten Definition zu entwickeln. Eine Aktivität wird durch ihre Art (Zweck) sowie durch Raumelemente beschrieben. Das daraus resultierende Aktivitätenmuster bildet dann eine Aktivitätenkette, welche die jeweils genannten Informationen pro Aktivität umfasst.

Die Einbeziehung von kombinierten Wege-/Kontakte-Interaktionen ist also eine notwendige Voraussetzung für die Modellierung von Verkehrs- und Telekommunikationsmitteln.

Weder die amtliche Statistik noch verfügbare Daten aus Verkehrsuntersuchungen ermöglichen bislang befriedigende Aussagen über die Ausstattung von Haushalten mit Verkehrs- und Telekommunikationsmitteln einschließlich deren Nutzung. Daher wurde im Rahmen der Bearbeitung des Projektes zunächst im Frühjahr 1997 in ausgewählten Gemeinden im nördlichen Baden-Württemberg eine Haushaltsbefragung durchgeführt. Als Ziel stand dabei im Vordergrund, Daten über das Verhalten im physischen Verkehr und über die Nutzung von Telekommunikationsmitteln zu gewinnen. In die Untersuchung wurden unterschiedlich große Orte einbezogen, um gegebenenfalls einen Bezug zu Raumkategorien, z.B. Verdichtungsraum oder ländlicher Raum, herstellen zu können. Dabei stand die Frage im Vordergrund, ob in unterschiedlich strukturierten Räumen die Verfügbarkeit oder die Nutzungsgewohnheiten ähnlich oder eher unterschiedlich sind.

3. Auswertungen zum Verkehrs- und Telekommunikationsverhalten

Während in der Verkehrswissenschaft eine Ortsveränderung von einer Quelle zu einem Ziel als Weg bezeichnet wird, wird für einen Telekommunikationsvorgang der Begriff Kontakt verwendet. Wege und Kontakte bilden somit die elementaren Einheiten, die hier untersucht werden sollen.

Kontakte werden sowohl in aktiver (Sender) als auch passiver (Empfänger) Form erhoben, d.h., dass beispielsweise ein empfangenes Fax ebenso aufgezeichnet wurde wie ein versandtes. Dagegen werden Wege für gewöhnlich, so auch hier, nur in aktiver Form berücksichtigt. (Zum Verständnis: Besucht Herr A Frau B, dann entsteht dadurch ein Weg, der bezogen auf Frau B ein passiver Weg ist. Würde Frau B hingegen Herrn A besuchen, müsste Frau B sich aktiv auf den Weg machen.)

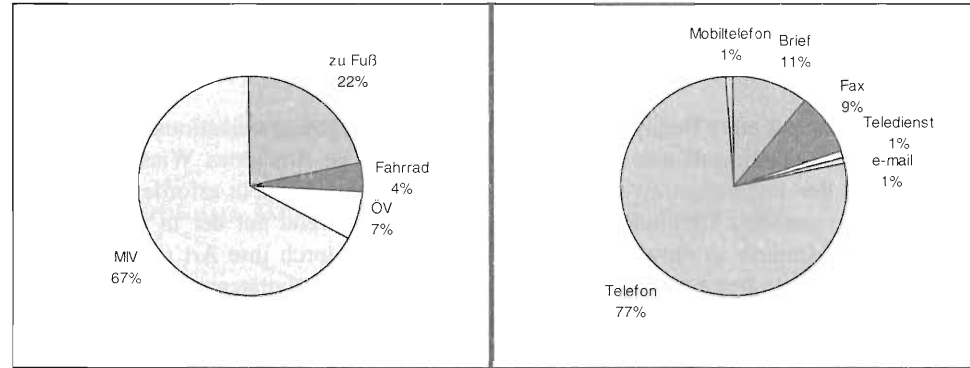


Abbildung 2 : Modal-Split der Wege und Kontakte

Für die nachfolgenden Untersuchungen stand somit ein Datensatz von 6675 Wegen und 5264 Kontakten zur Verfügung. Eine erste zu untersuchende Komponente ist die Verkehrs bzw. Kommunikationsbeteiligung, d.h., ob die betreffende Person am Stichtag überhaupt einen Weg bzw. Kontakt durchgeführt hat.

Die Verteilung der Wege und Kontakte auf die verschiedenen Verkehrs- bzw. Telekommunikationsmittel ist in Abbildung 2 dargestellt. Es wird deutlich, dass Wege größtenteils mit dem MIV und Kontakte größtenteils mit dem Telefon durchgeführt werden. Noch deutlicher wird die Bedeutung des Telekommunikationsmediums Telefon für den privaten Bereich (Abbildung 3); hier liegt der Anteil bei über 90%, während die übrigen Medien nur eine untergeordnete Rolle spielen. Schließlich sind auch die beiden klassischen Bürokommunikationsmittel Brief und Fax zu erkennen, die im beruflichen Bereich von über 15% erzielt werden. Teledienste hingegen werden eher zuhause genutzt als am Arbeitsplatz.

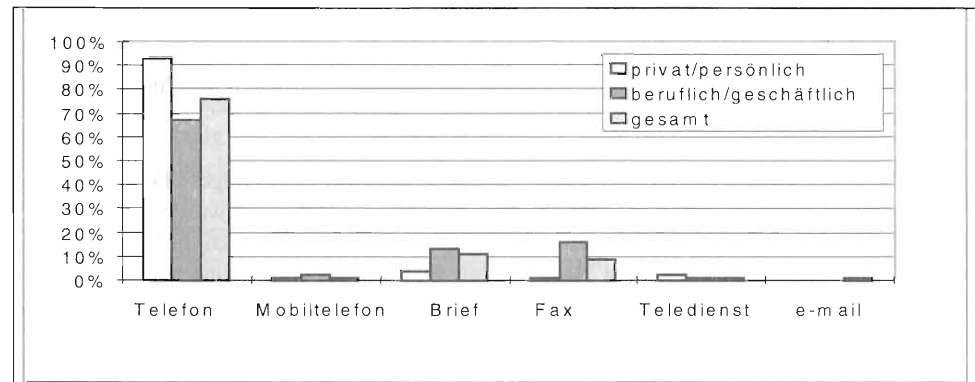


Abbildung 3: Telekommunikationsnutzung nach Zwecken

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Stichprobe für die physische Mobilität (Verkehrsteilnahme) und virtuelle Mobilität (Telekommunikationsbeteiligung) dargestellt. Sie zeigen hinsichtlich des Verkehrsverhaltens, also bei der physischen Mobilität, leicht erhöhte Werte bei den Anteilen an Führerscheinbesitzern bzw. solchen, die über einen Pkw verfügen sowie der Anzahl der zurückgelegten Wege als aus vergleichbaren Untersuchungen bekannt /2/. Die im Vergleich zur Verkehrsbeteiligung geringere Telekommunikationsbeteiligung macht sich im Durchschnitt auch in der geringeren Anzahl Kontakte (3,13 Kontakte zu 4,06 Wegen) bemerkbar. Die Vermutung, dass mit der Wegezahl auch die Anzahl der Kontakte steigt ist über alle Kategorien klar erkennbar. Noch deutlicher wird der Unterschied bei den Personen, die einen hohen Ausbildungsgrad aufweisen, voll berufstätig sind und in einem Angestelltenverhältnis stehen oder selbständig sind. In diesen Gruppen ist die Anzahl der Kontakte im Schnitt erheblich größer als der Durchschnittswert aller Personen.

Wege bzw. Kontakte pro Person und Tag		Wege	Kontakte
Alle Personen (ab 10 Jahre)		4,06	3,13
nach Geschlecht	Männer	4,29	3,69
	Frauen	3,83	2,56
nach Alter	10 - 17 Jahre	3,85	0,87
	18 - 30 Jahre	4,13	2,70
	31 - 45 Jahre	4,64	4,75
	46 - 60 Jahre	4,00	3,00
	61 Jahre und älter	3,26	2,26
nach Schulbildung	Abitur und höher	4,63	5,69
	kein Abitur	3,87	2,20
nach Berufstätigkeit	voll erwerbstätig	4,48	5,38
	teilweise erwerbstätig	4,24	3,56
	in Ausbildung	4,00	1,23
	Hausfrau / Rentner / arbeitslos	3,69	1,64
nach Stellung	Arbeiter	3,86	1,00
	Angestellter	4,37	6,19
	Beamter	4,65	3,59
	Selbständiger	5,22	7,16
	mithelfender Familienangehöriger	4,94	6,31
	nicht berufstätig	3,71	1,47
nach Wochentag	werktags (Mo - Fr)	4,35	3,90
	Wochenende (Sa, So)	3,39	1,31

Tabelle 1: Wege- bzw. Kontakte pro Person und Tag

Im folgenden sollen die Entfernungen genauer untersucht werden. Vergleicht man die Summenhäufigkeit der Wege- bzw. Kontaktentfernungen, ergibt sich das in Abbildung 4 dargestellte Bild. Die Abbildung zeigt, dass das virtuelle räumliche Aktionsfeld wesentlich größer ist als das physische. Während 62,9 % der Wege kürzer bzw. genau 5 km lang sind, wird bei den Kontakten ein ähnlich großer Prozentsatz (66,4 %) erst bei der Klasse „kleiner gleich 100 km“ erreicht. Fast alle Wege (98,8 %) lassen sich der Klasse „bis 100 km“ zuordnen, während bei den Kontakten über 30 % eine größere Entfernung als 100 km aufweisen. Der längste erfasste Kontakt hatte eine Länge von 11160 km. Es war festzustellen, dass die Entfernungsangaben bei den real zurückgelegten Wege besser abgeschätzt waren, als dies bei virtuellen Raumüberwindungen der Fall war. Diesem Umstand sollte bei zukünftigen Untersuchungen auf diesem Forschungsfeld Rechnung getragen werden und gegebenenfalls neue Methoden zur Aufzeichnung von Kontaktentfernungen ausgearbeitet werden.

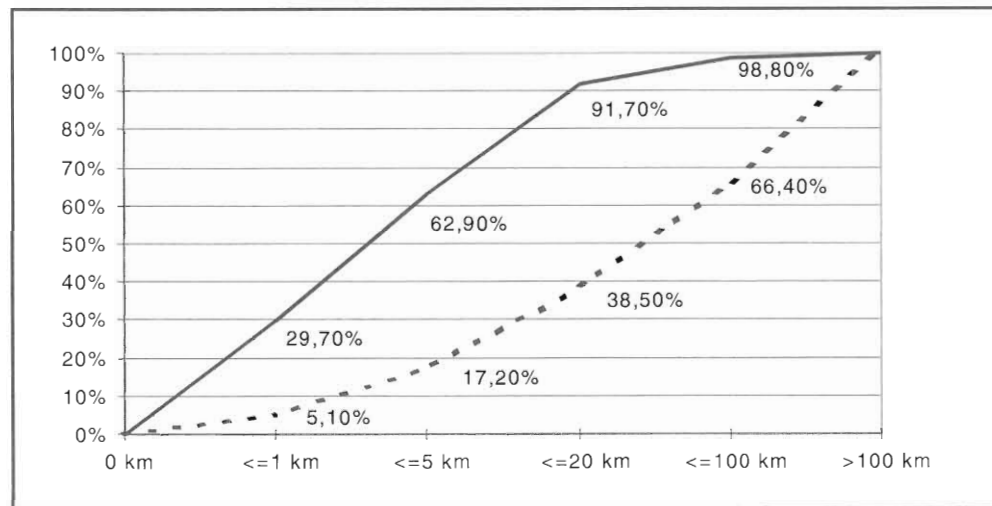


Abbildung 4: Summenhäufigkeiten der Wege- (durchgezogene Linie) und Kontaktentfernungen (gestrichelte Linie)

Aus Abbildung 5 geht hervor, dass durch Telekommunikation erheblich größere Distanzen überwunden werden als durch den physischen Verkehr. Beachtlich ist die durchschnittliche Entfernung, die durch Teledienste überwunden werden. Da die Preisgestaltung neuer Teledienste, die vor allem via Internet angeboten werden, unabhängig von der Entfernung des Zielortes ist (der Preis wird hauptsächlich von der Entfernung zum Provider bestimmt), dürften in Zukunft gerade durch neue aufkommende Teledienste immer größere Räume erschlossen werden.

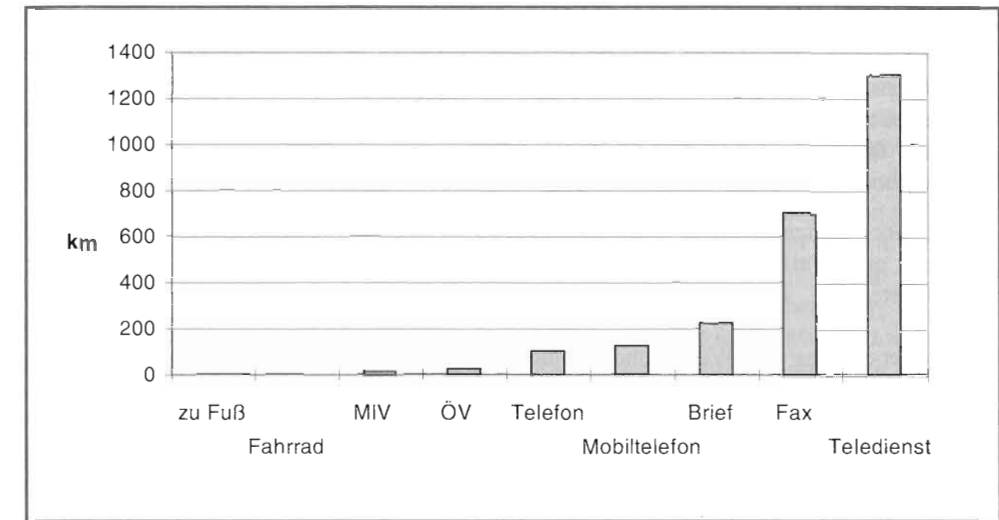


Abbildung 5: mittlere Entfernungen nach Verkehrs- und Telekommunikationsmitteln

Als Ergebnis bleibt festzuhalten, dass durch Telekommunikation der Aktionsradius der Personen erheblich ausgeweitet wird. Die Zahlen geben eine Einschätzung über den angesprochenen Aktionsradius in Abhängigkeit des benutzten Mediums. Im Schnitt ist die Kontaktleistung fünfmal größer als die Verkehrsleistung, wobei bei einer differenzierten Betrachtung folgende Beobachtungen zu machen sind:

- Die Verkehrsleistung ist bei Männern im allgemeinen höher als bei den Frauen (Faktor 1,7). Bei der Kontaktleistung hingegen ergeben sich kaum bemerkenswerte Unterschiede zwischen den Geschlechtern (Faktor 1,2).
- Ein hohes Ausbildungsniveau ist häufig ein Indiz für eine hohe Verkehrs- und Kontaktleistung. Bei einem hohem Ausbildungsniveau ist sowohl bei der Verkehrs- als auch bei der Kontaktleistung eine Verdoppelung gegenüber Personen mit einem niedrigen Ausbildungsniveau erkennbar.
- Bei der Auswertung nach „Berufstätigkeit“ ist festzustellen, dass mit wachsendem Beschäftigungsgrad die jeweiligen Leistungen ansteigen. Auffallend ist hierbei die vergleichsweise geringe Kontaktleistung der Personen, die sich gerade in Ausbildung befinden. Diese Tatsache lässt sich mit dem geringen Aktionsfeld begründen, das diese Personengruppe, die überwiegend aus Schülern besteht, aufzuweisen hat. Die entsprechenden Angaben der 10- bis 17jährigen Personen (7,5 Kontakt-km/Pers. Tag) bestätigen dies.

- Bei einer differenzierten Betrachtung nach der „Stellung im Beruf“ fallen zunächst die Arbeiter auf. Ihre geringe Verkehrsleistung könnte an ihrer Arbeitsform liegen, da sie meistens einen stationären Arbeitsplatz aufzuweisen haben. Zudem könnten geringe finanzielle Ressourcen eine Rolle spielen. Aber auch die „mithelfenden Familienangehörigen“ üben ihre Arbeit meist am selben Ort aus, so dass auch diese Personengruppe keine hohe Verkehrsleistung aufweist.
- Bei einer Differenzierung nach Werktagen und Wochenende ist überraschenderweise weder ein signifikanter Unterschied bei der Verkehrs-, noch bei der Kontaktleistung festzustellen.

Eine Untersuchung der Wege- und Kontaktdauern erscheint hier nicht angemessen. Die Zeit, die für einen Kontakt verwendet wird, impliziert sowohl die Zeit für den überwundenen Raum als auch die Zeit für die durchgeführte Aktivität, wobei die Zeit für die Raumüberwindung vernachlässigt werden kann. Demgegenüber wurde bei den Wegen nur die Dauer für die Durchführung des Weges und nicht die Dauer der damit verbundenen Aktivität erhoben. Dieser Punkt sollte in zukünftigen Untersuchungen auf diesem Forschungsfeld berücksichtigt werden.

Ein weiterer Aspekt ist die zeitliche Verteilung von Wegen und Kontakten innerhalb der betrachteten Stichprobe. Um mögliche Zusammenhänge zu untersuchen, wurden zunächst die Wege und Kontakte in die Bereiche „privat/persönlich“ und „beruflich/geschäftlich“ eingeteilt. Während bei den Kontakten diese Einteilung bereits bei der Erhebung erfolgte, musste bei den Wegen diese Differenzierung anhand der Wegezwecke durchgeführt werden. Nachhausewege wurden nicht berücksichtigt, da der Hauptzweck des Hinweges dann nicht eindeutig zugeordnet werden konnte, wenn der Nachhauseweg nicht unmittelbar nach dem Hinweg erfolgte. Wege mit dem Zweck „Arbeit“ und „dienstlich/geschäftlich“ wurden dem Bereich „beruflich/geschäftlich“ zugeordnet; demgegenüber dem Bereich „privat/persönlich“ Freizeit- und Einkaufswegen sowie Wege mit dem Zweck „private Erledigung“. Aus Gründen der Vergleichbarkeit werden hier (in Abweichung zur bisherigen Vorgehensweise) nur aktive Kontakte berücksichtigt. Eine Verteilung der untersuchten Wege und (aktiven) Kontakte auf beide Bereiche zeigt Tabelle 2. Es ist festzustellen, dass im privaten Bereich mehr Wege durchgeführt werden als im beruflichen Bereich. Dagegen stehen Kontakte eher mit beruflichen Zwecken in Zusammenhang.

Bereich	Wege	Kontakte
privat/persönlich	67,6 %	42,2 %
beruflich/geschäftlich	32,4 %	57,8 %

Tabelle 2: Wege und Kontakte nach Zweck

Abbildung 6 zeigt die Verteilung der Verkehrs- und Telekommunikationsaktivitäten an Werktagen. Es ist zu erkennen, dass Telekommunikationsaktivitäten mit privatem Charakter

sich relativ konstant über den gesamten Tag verteilen. Die entsprechenden Verkehrsaktivitäten steigen im Tagesverlauf an und fallen nach 20 Uhr stark ab. Offensichtlich wirken sich Pflichtaktivitäten, die in erster Linie kaum Raum für freiwillige Aktivitäten lassen, in der zeitlichen Flexibilität für die Telekommunikationsnutzung erheblich weniger restriktiv aus als Verkehrsaktivitäten. Private Gespräche lassen sich auch am Arbeitsplatz führen, dagegen bleibt für Freizeitaktivitäten mit einer notwendigen Ortsveränderung während der Ausübung einer Arbeit im allgemeinen zu wenig Zeit. Bei den Wegen und Kontakten mit beruflichem oder geschäftlichem Charakter zeigt sich ein anderes Bild. Man erkennt deutlich, dass Telekommunikationsvorgänge gegenüber Verkehrsvorgängen mit einem zeitlichen Versatz erfolgen: Die Befragten nutzten die Telekommunikation am Arbeitsplatz für berufliche Zwecke morgens zwischen 8 und 12 Uhr zunächst relativ gleichmäßig und auf hohem Niveau, danach ist der auf die Mittagspause zurückführende Einbruch deutlich zu erkennen. Nach der Mittagspause steigt die berufliche Telekommunikationsnutzung bis 15 Uhr an, ohne allerdings das Vormittagsniveau zu erreichen. Danach sinkt die Nutzung kontinuierlich ab. Vergleicht man den Verlauf des Niveaus der Telekommunikationsnutzung für berufliche und private Zwecke, so ist festzustellen, dass sowohl berufliche als auch private Zwecke bis zur Mittagspause auf einem vergleichbaren Niveau liegen, danach aber gegenüber den privaten Zwecken zum Teil sehr deutlich absinken. Berücksichtigt man zusätzlich das Wochenende, so erhöht sich das relative Niveau der privaten Wege bzw. Kontakte deutlich; der qualitative Kurvenverlauf bleibt jedoch erhalten.

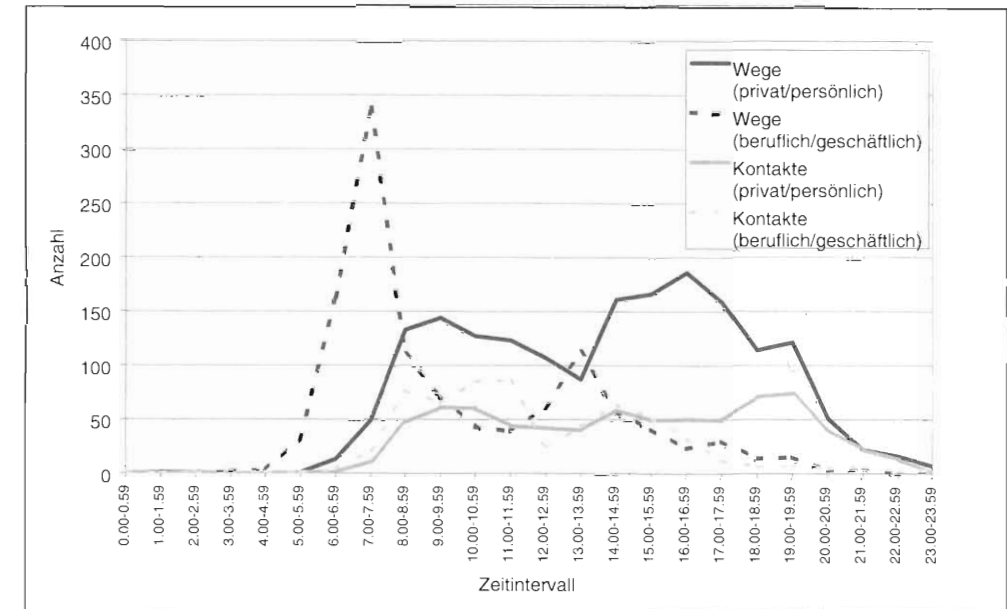


Abbildung 6: Zeitliche Verteilung der Verkehrs- und Telekommunikations-

aktivitäten an Werktagen

4. Nutzung von Verkehrs- und Telekommunikationsmitteln im Kontext des aktionsräumlichen Verhaltens

Die im vorangehenden Kapitel dargestellten Ergebnisse zum Verkehrs- und Telekommunikationsverhalten lassen sich aufgrund des Stichprobendesigns auch räumlich differenziert auswerten. Für die Beantwortung der Frage nach Unterschieden zwischen einzelnen Raumtypen wurde die Stichprobe in den in Abbildung 7 dargestellten Gemeinden im nördlichen Baden-Württemberg gezogen. Die Größe der Stichprobe erlaubt differenzierte Aussagen auf der Basis eines Signifikanzniveaus von über 95 %.

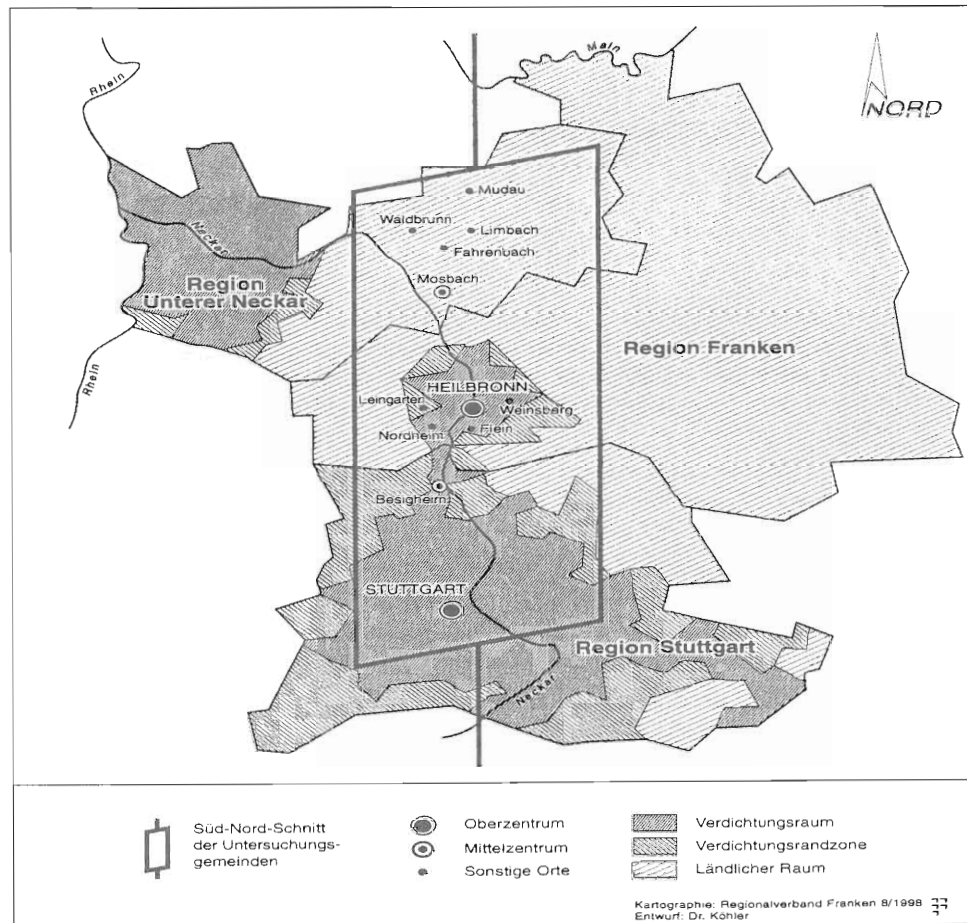


Abbildung 7: Räumliche Lage und Zuordnung der Untersuchungsgemeinden zu den Raumtypen

Vor allem soll der Frage nachgegangen werden, ob hinsichtlich der Nutzung von Verkehrs- und Telekommunikationsmitteln Unterschiede zwischen den Raumtypen oder unterschiedlich großen Orten erkennbar sind. So könnte z.B. vermutet werden, dass im ländlichen Raum aufgrund geringerer Aktivitätensmöglichkeiten und weiterer Wege eine intensivere Nutzung von Telekommunikationsmitteln erfolgt. Für die weiteren Darstellungen werden insbesondere die kleineren Gemeinden entsprechend ihrem Raumtyp zusammengefasst (vgl. Abbildung 8).

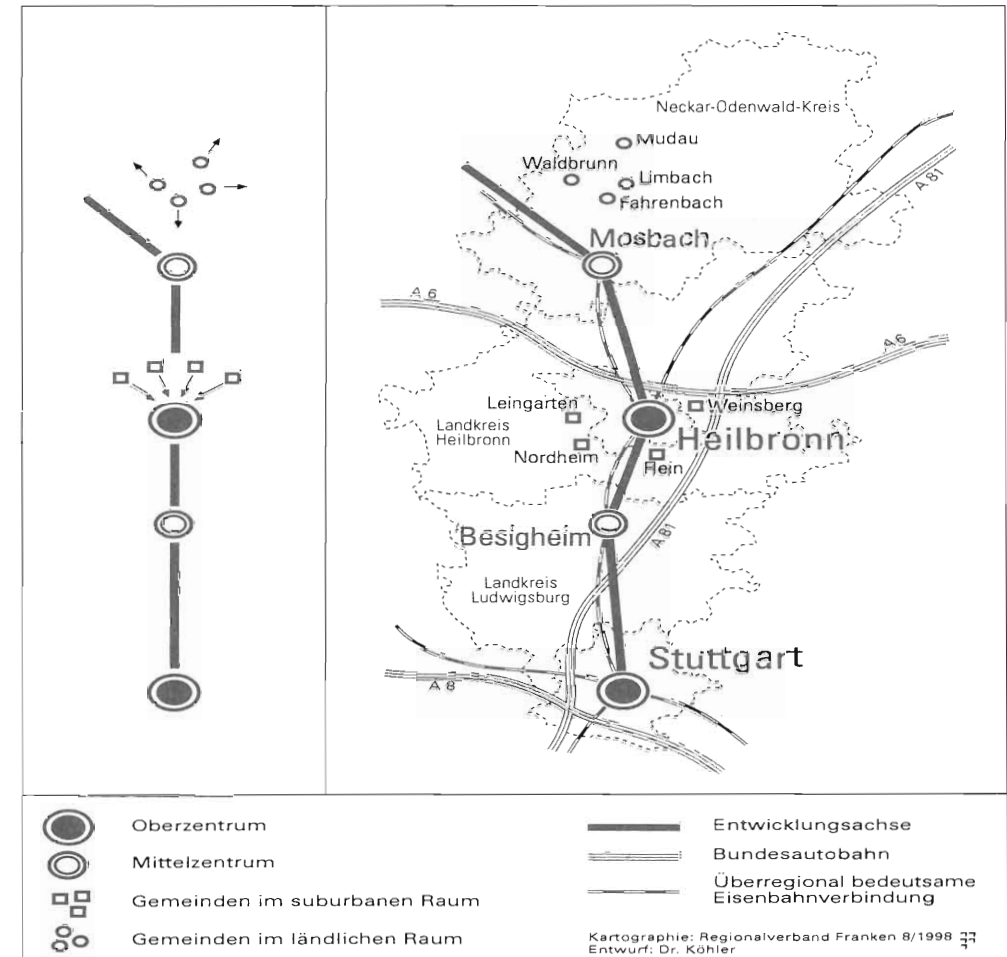


Abbildung 8: Lage der Untersuchungsgemeinden in Bezug zum System der

zentralen Orte und Entwicklungsachsen und zur überregionalen Verkehrsanbindung

Bei den Nutzungsmerkmalen wird nach der Nutzungshäufigkeit (Verkehrsteilnahme, Wegehäufigkeit und Kontakthäufigkeit), den durchschnittlichen Entfernungen der Wege und Kontakte sowie deren Verteilung und den dabei benutzten Modi (Verkehrsmittel- bzw. Telekommunikationsmittelwahl) unterschieden. Die nachfolgenden Auswertungen geben grundlegende Informationen zu den gängigen Basis-Indikatoren der Verkehrsforschung, wie beispielsweise „Anzahl der Wege im Verkehr je Person je Tag“ und stellen diesen, worüber bislang kaum Kenntnisse vorlagen, Basisindikatoren der Telekommunikationsnutzung gegenüber (z. B. Anzahl der Telefonkontakte je Person je Tag). Um den Überblick bei der Vielzahl der Merkmale und Auswertungen zu erleichtern, werden hier, da der Schwerpunkt dieses Beitrags auf der räumlichen Differenzierung der Aussagen liegt, bevorzugt solche Ergebnisse dargestellt, bei denen sich deutliche Unterschiede zwischen den Gemeindetypen und zwischen den Raumtypen ergeben.

Die Betrachtung der Nutzungsdaten bestätigt den bereits bei der Analyse der Ausstattungsmerkmale beschriebenen Umstand, dass die Zusammenfassung der Ergebnisse für die Oberzentren Stuttgart und Heilbronn sowie für die Mittelzentren Besigheim und Mosbach zu jeweils einer Gruppe aufgrund großer Parameterstreuung innerhalb der vermuteten zentralörtlichen Gemeinden bzw. Raumtypen nicht durchgängig haltbar ist. Deshalb werden auch hier in der Regel die Ergebnisse für diese vier Städte einzeln - gemäß dem bereits festgelegten Süd-Nord-Schnitt - dargestellt.

4.1 Beteiligung und Intensität des Verkehrs- und Kontaktverhaltens

In der nachfolgenden Tabelle zu den Grundparametern des Verkehrs- und Kontaktverhaltens sind zunächst die Verkehrsbeteiligung, in der Verkehrsforschung auch Außer-Haus-Anteil genannt, sowie die Anzahl von Wegen je Person und Tag, die Mobilität, aufgeführt. Analog dazu ist für die Kontakte die Kontaktbeteiligung, das heißt der Anteil der befragten Personen, die Kontakte (Telefonate, Faxe, Briefe oder Nutzung von Telediensten/e-Mail) am Stichtag hatten, sowie die Anzahl der Kontakte aufgeführt. Dabei ist bei der Anzahl der Kontakte nicht nach aktiven und passiven Kontakten unterschieden worden, also z. B. selber anrufen oder angerufen werden. Bei der Anzahl der Wege wurden dagegen nur die selber durchgeführten Wege erfasst.

Bei der räumlichen Differenzierung der Grundparameter des Verkehrs- und Kontaktverhaltens zeigt sich für die Verkehrsbeteiligung ein weitgehend ausgeglichenes Bild. Lediglich rund 8% der Befragten haben am Stichtag die Wohnung/das Haus nicht verlassen. Bei der Anzahl der Wege je Person und Tag fällt die mit abnehmender Siedlungsdichte steigende Anzahl von Wegen auf. Gewissermaßen entgegengesetzt ist jedoch die Tendenz bei der Anzahl Kontakte je Person und Tag. Hier zeigen die Einzelergebnisse eine deutlich höhere Anzahl von Kontakten pro Person und Tag in den dichter besiedelten Räumen, also den Ober- und Mittelzentren Stuttgart, Besigheim und Mosbach, während im suburbanen und im

ländlichen Raum deutlich weniger Kontakte pro Person und Tag als der Durchschnitt festzustellen sind. Auffällig hierbei ist der Wert für Heilbronn, wo mit 2,0 Kontakten pro Person und Tag eine deutlich unterdurchschnittliche Kontaktintensität vorliegt.







Gemeindetyp	Verkehrsbeteiligung [%]	Kontaktbeteiligung [%]	Anzahl Wege je Person und Tag	Anzahl Kontakte je Person und Tag	Verhältnis Wege zu Kontakten
 Ländliche Gemeinden	91,88	60,41	4,29	2,69	1,59
 Mosbach	93,22	67,23	4,23	4,89	0,86
 Suburbane Gemeinden	92,60	67,20	4,05	2,55	1,59
 Heilbronn	91,77	72,08	4,15	2,00	2,07
 Besigheim	89,30	65,24	3,78	4,22	0,89
 Stuttgart	95,45	66,23	3,55	4,07	0,87
Gesamt	92,27	65,67	4,06	3,13	1,30

Tabelle 3: Grundparameter des Verkehrs- und Kontaktverhaltens

Das Verhältnis von Wegen zu Kontakten ist in den dicht besiedelten Ober- und Mittelzentren kleiner 1, d.h. eine Person führt pro Tag mehr Kontakte als Wege durch, während in den dünner besiedelten Räumen eine Person pro Tag mehr Wege als Kontakte durchführt. Eine Ausnahme bildet hier die Stadt Heilbronn, wo das Verhältnis von Wegen zu Kontakten mit 2,07 deutlich mehr Wege als Kontakte je Person und Tag aufzeigt. Für das Gesamtergebnis mit einem niedrigen Verhältnis von Wegen zu Kontakten in den Verdichtungsräumen sowie umgekehrt in den dünner besiedelten Räumen können die hohe Dichte von kontaktintensiven Dienstleistungsarbeitsplätzen in den Verdichtungsräumen sowie die hohe Verfügbarkeit von Zweitwagen, die die Verkehrsteilnahme erheblich erleichtert, im suburbanen und vor allem ländlichen Raum eine Rolle spielen.

4.2 Entfernungen der Verkehrs- und Kontaktvorgänge

Als weitere wichtige Größe des Verkehrs- und Kontaktverhaltens sind die überwundene Entfernungen anzusehen, die in der nachfolgenden Tabelle für die Wege und die Kontakte dargestellt sind. Hier zeigt sich zunächst, wie auch aus der empirischen Verkehrsforschung bekannt, eine Tendenz zu weiteren Wegen in den dünner besiedelten suburbanen und ländlichen Räumen. Auffällig ist der hohe Wert der durchschnittlichen Wegeweite für Besigheim, der sich aber aus den starken Beziehungen mit dem Ballungsraum Stuttgart und insbesondere hier der Kernstadt Stuttgart erklären lässt. Der hohe Wert für Mosbach lässt sich aus der Lage im ländlichen Raum erklären, der niedrige für den suburbanen Raum aus der Nähe zu Heilbronn.







Gemeindetyp	durchschnittliche Wegeentfernung [km]	durchschnittliche Kontaktentfernung [km]	Median der Kontaktentfernung [km]	durchschnittliche Kontaktentfernung, nur Telefon dienstlich [km]	durchschnittliche Kontaktentfernung, nur Telefon privat [km]
 Ländliche Gemeinden	12,32	90,30	12,0	56,23	65,85
 Mosbach	9,44	80,86	7,0	68,58	80,94
 Suburbane Gemeinden	8,89	108,68	10,0	53,73	76,76
 Heilbronn	8,64	149,28	10,0	94,52	107,34
 Besigheim	11,08	222,26	20,0	183,01	67,67
 Stuttgart	7,23	227,30	12,0	196,46	114,56
Gesamt	9,87	139,66	10,0	100,29	88,16

Tabelle 4: Entfernungen von Wegen und Kontakten
(Maximalwerte wurden eliminiert, da Ausreißer)

Die Verteilung der Wegeweiten weist für die Ober- und Mittelzentren sehr viele Wege im Entfernungsbereich 1 bis 5 km auf, was offensichtlich durch die Vielzahl von Aktivitäten-gelegenheiten in direkter räumlicher Nähe begründet ist. Bei einer geschlechtsspezifisch differenzierten Betrachtung zeigt sich, dass bei den Frauen die kurzen Wege häufiger zu

verzeichnen sind als die weiten, diese Ausprägung verstärkt sich in den eher dünner besiedelten suburbanen und ländlichen Räumen.

Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Kontaktentfernungen ist zunächst vorweg zu schicken, dass die Varianzen und Standardabweichungen der Mittelwerte in allen Raumtypen sehr hoch sind. Die Ursachen hierfür sind unter anderem in einer geringen Anzahl von Kontakten über große Entfernungen zu sehen, z.B. nach Nordamerika oder Fernost. Teilweise wurden sie als Ausreißer eliminiert. Bei den Telediensten werden Probleme bei der Entfernungsabschätzung dadurch hervorgerufen, dass nicht klar abzugrenzen ist ob der nächstgelegene Netzeinwahlknoten oder der Diensteanbieter das Ziel darstellt. Auch hier wurden Ausreißer eliminiert, um Verbesserungen bei den Varianzen und Standardabweichungen zu bewirken.

In den dichter besiedelten Ober- und Mittelzentren sind durchschnittlich größere Kontaktentfernungen zu verzeichnen als in den dünner besiedelten suburbanen und ländlichen Räumen. Bei der Verteilung der Kontaktentfernungen fällt eine Häufung im Entfernungsbereich 5 bis 20 km im suburbanen und im ländlichen Raum auf, welches auf eine mögliche Abgrenzung von Einzugsbereichen für das tägliche Kontaktverhalten in diesem Entfernungsbereich hindeutet. Bei einer geschlechtsspezifisch differenzierten Betrachtung zeigt sich auch hier, dass bei den Frauen die kurzen Kontakte häufiger zu verzeichnen sind als die weiten, diese Ausprägung verstärkt sich in den dünner besiedelten suburbanen und ländlichen Räumen.

Aufgrund der geringen Fallzahlen bei der Nutzung der Teledienste, der Faxe und der Briefe, siehe auch weiter unten die Beschreibung der Modalwahl, wurde sodann für die Telefonate nach dienstlichen und privaten Gesprächen differenziert. Hier zeigen sich noch stärker die durchschnittlich größeren Entfernungen in den dicht besiedelten Ober- und Mittelzentren gegenüber den suburbanen und ländlichen Räumen, wobei die Unterschiede bei den privaten Telefonaten deutlich geringer sind. Zusammenhänge zwischen der Qualität der Telekommunikationsausstattung und der Kontaktentfernung konnten allerdings nicht festgestellt werden.

4.3 Soziodemographische Differenzierung

Bei einer soziodemographischen Differenzierung der Erhebungen zum Verkehrs- und Telekommunikationsverhalten wird nachfolgend zwischen Ländlichem Raum (Mosbach und die vier ländlich geprägten Gemeinden) sowie Verdichtungsraum (Stuttgart, Besigheim, Heilbronn und die vier Gemeinden im Suburbanen Raum) unterschieden. Untersucht werden dabei Verhaltensunterschiede nach Geschlecht und der Schulausbildung.

Eine Analyse aller Wege, die von den Befragten an den jeweiligen Stichtagen zurückgelegt wurden, ergibt eine annähernd gleiche Verteilung auf Männer und Frauen im ländlichen Raum. Im Verdichtungsraum hingegen werden von den Männern anteilmäßig etwas häufi-

sogar drei Viertel (75,8 %). Auch im Verdichtungsraum fallen mit 42,8 % überdurchschnittlich viele Kontakte bei Befragten mit Abitur/Hochschulabschluss an. Besonders markant sind aber die Unterschiede bei den Online-Kontakten, da hier 27,4 % der Befragten über 80 % aller Kontakte tätigen.

Festzuhalten ist somit, dass sich sowohl in geschlechts- wie auch ausbildungsspezifischer Differenzierung im Verkehrs- und im Kommunikationsverhalten Unterschiede in der Intensität ergeben. Dabei sind die Unterschiede in der Telekommunikation weitaus markanter als beim physischen Verkehr. „Höherwertige“ Verkehrsmittel, hier ausgedrückt durch den MIV, und „höherwertige“ Kommunikationsmittel, hier ausgedrückt durch die Nutzung von Online-Diensten, werden bevorzugt von Männern und bevorzugt von Personen mit höherem Schulabschluss genutzt.

Weitere soziodemographisch differenzierende Betrachtungen zeigen, dass ein höheres Bildungsniveau mit größeren durchschnittlichen Wegeweiten, vor allem hier im Berufsverkehr, einhergeht. Ebenso ist bei Personen, die über einen PC verfügen, eine größere durchschnittliche Wegeweite festzustellen, wobei bei diesen Personen auch das Bildungsniveau höher ist. Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal ist weiter das Alter. Daraus ergeben sich Hinweise, dass es sowohl im Verkehrs- als auch Kommunikationsverhalten Unterschiede nach der Stellung im Lebenszyklus als auch im Lifestyle geben dürfte.

4.4 Der Einfluss von Lebenszyklus/Lifestyle auf das Verkehrs- und Kontaktverhalten

Aus der soziodemographischen Differenzierung wurde bereits ersichtlich, dass vor allem männliche Befragte und Befragte mit höherem Schulabschluss überdurchschnittlich mobil sind. Hieraus ergeben sich Hinweise, dass vermutlich die Phase im Lebenszyklus und der Lifestyle der Befragten einen Einfluss auf die Intensität und die räumliche Ausdehnung der Mobilität haben. Nachfolgend werden ausschließlich männliche Personen mit einem Alter von 18 Jahren und darüber in den Kombinationen „Abitur und PC im Haushalt“, „kein Abitur und PC im Haushalt“, „Abitur und kein PC im Haushalt“, und „kein Abitur und kein PC im Haushalt“ betrachtet. In räumlicher Hinsicht wird in Ländlicher Raum und in Verdichtungsraum differenziert.

Bei dem physischen Verkehr zeigt sich bei der Wegeintensität (Wege pro Person und Tag) und der durchschnittlichen Entfernung der Wege, dass im Ländlichen Raum die jeweiligen Werte zwischen den Kategorien „Abitur/PC“, „kein Abitur/PC“, und „Abitur/kein PC“ dicht beieinander liegen und lediglich die Gruppe der Befragten, die weder ein Abitur bzw. Hochschulabschluss noch einen PC im Haushalt aufweisen, durch eine deutlich geringere Wegeintensität und durchschnittliche Wegeentfernung auffällt (vgl. Tabelle 8). Im Verdichtungsraum ist bei der durchschnittlichen Wegeentfernung ein ähnlicher Sachverhalt festzustellen. Anders als im Ländlichen Raum fällt hier die Wegeintensität bei der Gruppe der Befragten „Abitur/PC im Haushalt“ am höchsten aus.





Raumtyp		Abitur/PC im HH		kein Abitur/PC		Abitur/kein PC		kein Abitur/kein PC	
		N Wegeintens.	N Wege-Ø km	N Wegeintens.	N Wege-Ø km	N Wegeintens.	N Wege-Ø km	N Wegeintens.	N Wege-Ø km
	Ländlicher Raum	45 6,3	45 17,2	45 6,4	45 16,4	23 6,7	23 17,9	65 5,4	65 8,9
	Verdichtungsraum	75 7,4	75 12,0	70 6,7	70 14,5	57 6,2	57 14,1	132 5,2	132 8,6
	Gesamt	120 7,0	120 13,8	115 6,6	115 15,2	80 6,4	80 15,3	197 5,3	197 8,7

Tabelle 8: Wegeintensität und durchschnittliche Wegeentfernung nach Schulausbildung und PC-Verfügbarkeit im Haushalt

Weitaus größere Unterschiede zwischen den vier verschiedenen Teilgruppen von Befragten ergeben sich bei einer Analyse des Telekommunikationsverhaltens (Tabelle 9). So führen beispielsweise Befragte im Ländlichen Raum mit „Abitur/PC im Haushalt“ 16,8 Kontakte durch, während Befragte „kein Abitur/kein PC im Haushalt“ nur 2,1 Kontakte pro Tag haben. Dies ist ein Unterschied um den Faktor 8. Ähnlich markant sind die Unterschiede im Verdichtungsraum, in dem die Personen mit „Abitur/PC im Haushalt“ fünfmal so viele Kontakte wahrnehmen wie die Personen „ohne Abitur/ohne PC im Haushalt“.

Große Differenzen ergeben sich auch bei der jeweiligen Entfernung der Kontakte. Personen, die über eine höhere Schulausbildung und über einen PC im Haushalt verfügen, kommunizieren im Schnitt über weitaus größere Distanzen als Personen ohne Abitur und ohne PC im Haushalt. Anzumerken ist, dass im Ländlichen Raum die Häufigkeit der täglichen Kontakte über der im Verdichtungsraum liegt, während ein umgekehrtes Verhältnis bei der durchschnittlichen Kontaktentfernung vorliegt. Sie liegt im Verdichtungsraum über der im Ländlichen Raum.

Raumtyp		Abitur/PC im HH		kein Abitur/PC		Abitur/kein PC		kein Abitur/kein PC	
		N Kont.- Intens.	N Kont. ¹⁾ Ø km	N Kont.- intens.	N Kont. ¹⁾ Ø km	N Kont.- Intens.	N Kont. ¹⁾ Ø km	N Kont.- intens.	N Kont. ¹⁾ Ø km
	Ländlicher Raum	45 16,8	45 122	45 4,7	45 68	23 7,7	23 49	65 2,1	65 45
	Verdichtungsraum	75 9,5	75 146	70 5,2	70 119	57 5,7	57 70	132 1,9	132 67
Gesamt		120 12,2	120 139	115 5,0	115 100	80 6,4	80 66	197 2,0	197 60

¹⁾ Wegen einer schiefen Verteilung wurde bei jedem Raumtyp der Maximalwert eliminiert. Für den Gesamtwert wurden zwei Maximalwerte eliminiert.

Tabelle 9: Kontaktintensität und durchschnittliche Kontaktentfernung nach Schulbildung und PC-Verfügbarkeit im Haushalt

4.5 Modi des Verkehrsmittel- und Telekommunikationsmittelwahlverhaltens

Bei der Analyse des Verkehrsmittelwahlverhaltens ist zunächst vorwegzuschicken, dass in der Stichprobe alle Wege mit allen Längen erfasst sind, d. h. gegenüber den üblicherweise zum Vergleich zur Verfügung stehenden Daten der amtlichen Statistik, die in der Regel nur Wege des Nahverkehrs bis 50 km Länge umfassen, sind hier auch die Wege des Fernverkehrs enthalten. Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich die aus der empirischen Verkehrsforschung bekannte Tendenz zu hohen ÖV-Anteilen in dicht besiedelten, zentralen Bereichen mit gutem ÖV-Angebot auch in den Ergebnissen dieser Stichprobe wiederfindet. Für weitergehende Interpretationen wird der nichtmotorisierte Verkehr (NMV) in die Anteile des Fußgänger- und Fahrradverkehrs ausdifferenziert und kann dadurch im Vergleich zum ÖPNV und zum MIV betrachtet und interpretiert werden. Dieses ist sinnvoll, da beispielsweise die Topographie einen bekanntermaßen deutlichen Einfluss auf die Fahrradnutzung ausübt.


Gemeindetyp		Nichtmotorisierter Verkehr (NMV)		Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) (%)	Motorisierter Individualverkehr (MIV) (%)
		zu Fuß (%)	Fahrrad (%)		
	Ländliche Gemeinden	17,2	3,2	5,2	73,8
	Mosbach	20,1	1,0	4,0	74,7
	Suburbane Gemeinden	23,9	5,5	6,2	63,7
	Heilbronn	25,5	5,0	8,9	60,1
	Besigheim	18,0	4,9	9,0	67,7
	Stuttgart	36,6	4,7	16,3	42,3
Gesamt		22,4	4,2	7,2	65,7

Tabelle 10: Verteilung der Wege nach Verkehrsmitteln

Bei dem 3-fach-Split aus nichtmotorisiertem Verkehr (NMV), öffentlichem Personennahverkehr (ÖPNV) und motorisiertem Individualverkehr (MIV) zeigt sich, dass auch hier eher nach Orten im Verdichtungsraum (Stuttgart, Heilbronn, Besigheim) und denen im ländlichen Raum differenziert werden kann, was mit dem im allgemeinen besseren ÖPNV-Angebot im Verdichtungsraum erklärt werden kann. Auffällig dabei ist der vergleichsweise geringe Anteil des NMV in Besigheim, der jedoch wegen der bekannten starken Verflechtungen nach Bietigheim, Ludwigsburg und Stuttgart mit der großen mittleren Wegeweite erklärt werden kann. Die hohen Anteile des NMV in Stuttgart und Heilbronn werden durch die Vielzahl möglicher Fußwege infolge der räumlichen Ballung von Aktivitätenebenen möglich. Hieraus ergibt sich eine geringe Notwendigkeit der Nutzung motorisierter Verkehrsmittel (Tabelle 11).

Hinsichtlich der ÖV- und MIV-Anteile im Verhältnis zueinander ist die Tendenz zu hohen ÖV-Anteilen in Bereichen mit gutem bis sehr gutem ÖV-Angebot (Stuttgart, Heilbronn, Besigheim) klar erkennbar. Hier zeigt sich auch, dass das Mittelzentrum Mosbach hinsichtlich des ÖV-Anteils größere Affinität zum ländlichen Raum hat als zu zentralen Orten höherer Verdichtung.

Zusammenfassend lässt sich zum Verkehrsverhalten feststellen, dass die Ergebnisse der Stichprobe in den Kontext der aus der empirischen Verkehrsforschung bekannten Ergebnisse passen und keine besonderen Auffälligkeiten aufweisen. Allenfalls fallen die sehr niedrigen Anteile der Fahrradnutzung in Mosbach sowie im ländlichen Raum auf. Sie lassen sich jedoch aus der topographischen Situation erklären.

Gemeindetyp		Anteil der Medien an allen Kontakten in %		
		Telefon/Handy (mündlich)	Brief/Fax (schriftlich)	Teledienste/Email (Online)
	Ländliche Gemeinden	71,6	27,2	1,0
	Mosbach	69,2	24,2	6,6
	Suburbane Gemeinden	86,2	14,3	2,5
	Heilbronn	90,5	7,9	1,6
	Besigheim	79,7	19,9	0,4
	Stuttgart	70,7	27,6	1,8
Gesamt		77,7	19,9	2,4

Tabelle 11: Verteilung der Kontakte auf die Übertragungsmedien

Abschließend sei auf die Kontaktmodi eingegangen. Ihre Nutzungsverteilung ist in Tabelle 11 dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass die Nutzung von Telex wegen seiner nur noch geringen Verbreitung und der aus technischer Sicht möglichen Substitution durch Faxe schon im Fragebogen mit diesen zusammengefasst ist.

Es zeigt sich, dass das Telefon das dominierende Kontaktmedium ist und die Teledienste eine sehr untergeordnete Rolle spielen. Bei der Unterscheidung der mündlichen Kontakte (Telefonat) gegenüber den schriftlichen Kontakten (Brief + Fax) ist dieses Verhältnis naturgemäß analog. Insgesamt finden etwa $\frac{3}{4}$ aller Kontakte als mündliche Kontakte statt, wobei der hohe Wert für den suburbanen Raum und der niedrige für den ländlichen Raum besonders auffallen.

5. Interdependenzen zwischen Verkehr und Telekommunikation

Veränderungen im aktionsräumlichen Verhalten, die sich aus der Ausstattung bzw. Verfügbarkeit und der Nutzung von Telekommunikationstechniken ergeben, sind nur in Form von Zeitreihenanalysen bei Berücksichtigung des jeweils gleichen Personenkreises aufzudecken. Dennoch wird nachfolgend eine Analyse anhand der Parameter 'Handy im Haushalt' und 'On-line-Nutzung im Haushalt' vorgenommen, um zu prüfen, ob Haushalte mit hochwertiger Telekommunikationsausstattung besonders kommunikations- und wegeaktiv sind, oder ob sie bei hoher Kommunikationsintensität eher weniger Wege durchführen.

Raumtyp		Personen, mit Handy im HH		Personen, mit Teledienst im HH		Personen insges. (Gesamterhebung)	
		N	N	N	N	N	N
		Wegeintens.	Wege-Ø km	Wegeintens.	Wege-Ø km	Wegeintens.	Wege-Ø km
	Ländlicher Raum	51	51	45	46	571	571
		3,4	16,9	3,7	12,6	4,3	11,4
	Verdichtungsraum	83	83	102	102	1 072	1 072
		5,6	9,7	4,5	11,1	4,0	9,0
Gesamt		134	134	148	148	1 643	1 643
		4,8	11,7	4,2	11,6	4,1	9,9

Tabelle 12: Wegeverhalten in Abhängigkeit von der Kommunikationsausstattung der Haushalte

Aus Tabelle 12 wird ersichtlich, dass in Haushalten mit moderner Kommunikationsausstattung eine leicht überdurchschnittliche Quote im Vergleich zur Gesamterhebung wobei der Wegeintensität (Wege pro Person/Tag) und der durchschnittlichen Entfernung der Wege vorliegt. Bei einer Differenzierung nach Raumtypen zeigt sich jedoch, dass diese Aussage sich nur für den Verdichtungsraum bestätigen lässt. Im ländlichen Raum hingegen zeigt sich bei ebenfalls überdurchschnittlicher Wegeentfernung bei den Haushalten mit moderner Kommunikationsausstattung eine unterdurchschnittliche Wegeintensität. Diese etwas überraschende Abweichung ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass Haushalte mit Handy und/oder Teledienste auf PCs im Schnitt größer sind als jene ohne diese Ausstattungsmerkmale. Insofern handelt es sich hier oft um Familien, in denen die Frauen häufig nicht be-

rufstätig ist (was eher weniger Wege zur Folge hat) und viele Kinder im Haushalt sind (was ebenfalls eher weniger Wege zur Folge hat).

Zwischen den beiden Raumtypen ergeben sich insofern bemerkenswerte Unterschiede, als die Wegeintensität - anders als bei der Gesamterhebung - im Verdichtungsraum über der im Ländlichen Raum liegt. Bei der durchschnittlichen Wegeentfernung liegen die Werte im Ländlichen Raum sowohl bei Haushalten mit Handys als auch mit der Nutzung von Telediensten deutlich über denen im Verdichtungsraum.



Raumtyp		Personen, mit Handy im HH		Personen, mit Teledienst im HH		Personen insgesamt (Gesamterhebung)	
		N	N	N	N	N	N
		Kontaktintens.	Kontakt-Ø km	Kontaktintens.	Kontakt-Ø km	Kontaktintens.	Kontakt-Ø km
	Ländlicher Raum	51 7,3	51 49	46 6,1	46 47	571 3,4	571 87
	Verdichtungsraum	83 6,0	83 172	102 3,6	102 211	1 072 2,9	1 072 162
Gesamt		134 6,5	134 139	148 4,4	148 167	1 643 3,1	1 643 140

Tabelle 13: Kontaktverhalten in Abhängigkeit von der Kommunikationsausstattung der Haushalte

Bei einer Analyse der Kontakte wird deutlich, dass die Kontaktintensität bei den Haushalten, in denen ein Handy und/oder ein Teledienst genutzt wird, sowohl im Ländlichen Raum als auch im Verdichtungsraum deutlich höher ist als im Mittel der Gesamterhebung. Während die Kontaktintensität im Ländlichen Raum höher ausfällt als im Verdichtungsraum, verhält es sich bezüglich der durchschnittlichen Entfernung der Kontakte umgekehrt (Tabelle 13).

Auffallend ist bei der durchschnittlichen Kontaktentfernung, dass diese bei den Haushalten mit Handy und/oder Teledienst deutlich geringer ist als im Mittel der Gesamterhebung.

Festhalten lässt sich zusammenfassend, dass Personen in Haushalten mit moderner Kommunikationsausstattung - gegenüber dem Mittel der Gesamterhebung - überdurchschnittlich viele Wege und Kontakte aufweisen und dabei häufiger auch überdurchschnittlich große Distanzen überbrücken. Dies unterstützt die Annahme, dass auch die neueren Telekommunikationsdienste u. a. dazu dienen, verkehrliche Aktivitäten vorzubereiten und zu koordinieren. Damit verhält es sich mit den modernen Kommunikationstechniken kaum anders als mit dem traditionellen Telefon, bei dem erfahrungsgemäß rund ein Drittel aller Gespräche im Zusammenhang mit verkehrlichen Aktivitäten steht.

Es ist somit davon auszugehen, dass auch neuere Telekommunikationsanwendungen auf das Verhalten im physischen Verkehr wirken. Dies wird den einen oder anderen Wegezweck entbehrlich machen, aber auch Anlass für Ortsveränderungen sein, die bislang nicht erforderlich waren oder freiwillig getätigt wurden. Inwieweit in einer Bilanzierung Verkehr reduziert oder gar substituiert wird oder aber Verkehr - u. a. als Folge neu induzierten Verkehrs - zunimmt, kann mittels der vorliegenden Daten nicht aufgezeigt geschweige denn verifiziert oder falsifiziert werden.

	Verteilung der Telekommunikationsnutzung		
	im Haushalt mit Handy	im Haushalt mit Teledienst	in allen Haushalten
Telefon	70,7 %	69,3 %	77,7 %
Brief	16,5 %	9,9 %	10,5 %
Fax	8,6 %	6,9 %	9,4 %
Online (Teledienst / email)	4,2 %	14,8 %	2,4 %

Tabelle 14: Modal-Split der verwendeten Kommunikationsmittel in Abhängigkeit von der Ausstattung der Haushalte

Aus den Befragungsergebnissen ergeben sich aber eindeutige Hinweise dafür, dass die neueren telekommunikativen Anwendungsformen die „althergebrachten“, tradierten Anwendungen ergänzen und dann auch Schritt für Schritt verdrängen könnten. Dies zeigt eine Analyse der verwendeten Kommunikationsmittel bei Personen mit Haushalt mit Handy und insbesondere denen bei Personen mit Teledienstnutzungen (Tabelle 14). Insbesondere bei dem Personenkreis, der über Online Teledienste nutzt oder Emails austauscht, geht dies anteilmäßig auf Kosten von fernmündlichen oder schriftlichen (hier Fax) Kontakten. Zu erinnern ist hier aber daran, dass dies auf einer Ebene hoher Kontaktintensität erfolgt.

6. Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der Befragung zu Verkehrs- und Kommunikationsverhalten können Schlussfolgerungen und Planungsempfehlungen für die Raumordnung und insbesondere für die regionale Verkehrsplanung gezogen werden. Zu berücksichtigen ist dabei allerdings, dass die vorliegenden Daten aus einer Querschnittsbetrachtung stammen. Mit der empirischen Studie wurden erstmalig verkehrsplanerische Fragestellungen zum Verkehrsverhalten von Haushalten und deren Mitglieder mit dem Kommunikationsverhalten in der Telekommunikation verknüpft. Eine Verifizierung der Ergebnisse aus dieser Erhebung mit vergleichbaren Untersuchungen steht jedoch noch aus. In Ermangelung von Zeitreihenuntersuchungen, bevorzugt sogenannten 'Panels', und von flächendeckenden Erhebungen sind die nachfolgenden Schlussfolgerungen daher in den nachfolgenden Unterkapiteln thesenartig eher vorsichtig gefasst.

6.1 Verankerung von Telekommunikation in Verkehrsstatistik und Verkehrsplanung

In der Verkehrsplanung wie auch in der Verkehrsstatistik werden bisher insbesondere der motorisierte Verkehr mit Kraftfahrzeugen und Verkehre mit öffentlichen Verkehrsmitteln betrachtet und hinsichtlich ihrer Verkehrsleistung erfasst. Die Telekommunikation als Modus zur Raumüberwindung oder zur Kontaktierung wird bisher weder statistisch erfasst, zumindest nicht in öffentlich zugänglichen Quellen, noch - was weitaus gravierender ist - planerisch berücksichtigt. Um jedoch Beziehungen und Verknüpfungen zwischen Verkehr und Telekommunikation erfassen zu können sind, unbedingt Daten über die Telekommunikationsausstattung und deren Nutzung erforderlich.

6.2 Orientierung an bzw. Differenzierung nach Lifestyle-Typen

Eine differenzierte Auswertung nach soziodemographischen Gesichtspunkten hat zum einen große Unterschiede im aktionsräumlichen Verhalten im Verkehr und vor allem bei der Telekommunikation erbracht. Zum anderen konnten auch hier Unterschiede zwischen verdichteten und ländlich geprägten Räumen festgestellt werden.

Auffällig ist, dass die Unterschiede im Verkehrs- und Kommunikationsverhalten nach soziodemographischen Unterscheidungsmerkmalen im ländlichen Raum eher größer sind als im Verdichtungsraum. Es zeichnet sich ab, dass es ein bestimmter Personenkreis ist, der neue Anwendungsformen bevorzugt ausprobiert und nutzt. Dieser Lifestyle-Typ ist männlich, hochqualifiziert und hochmobil. Es erscheint lohnend, in Zukunft verstärkt zu untersuchen, inwiefern verschiedene Lifestyle-Typen existieren und durch welche Verhaltensweisen in Verkehr und Kommunikation sie charakterisiert werden können.

6.3 Erfordernis für ein nachhaltiges und ganzheitliches Mobilitätsmanagement

Für ein ganzheitliches Mobilitätsmanagement bedarf es bei der Betrachtung des Verkehrsverhaltens nicht nur der Analyse von Maßnahmen zur Veränderung der Verkehrsmittelwahl oder der Optimierung von Wegeketten, sondern auch der Betrachtung und Ausschöpfung der Möglichkeiten, die die verschiedenen Anwendungen der Telekommunikation hierzu bieten. Nur eine integrierte, ganzheitliche Betrachtung von physischem Verkehr und Telekommunikation lässt gegenseitige Abhängigkeiten und Beeinflussungsspielräume sowie vor allem die aufgrund der zunehmenden Umweltbelastung erwünschten Substitutionspotentiale und die Bewältigung neu entstehender Verkehre erkennen. Nur über ein Mobilitätsmanagement in diesem Sinne sind Mittel und Wege zu der Aktivierung und gezielten Einsetzung geeigneter Maßnahmen einer regionalen (Verkehrs-) Planung zu finden. Dazu ist es jedoch zu allererst erforderlich, die Telekommunikation im Rahmen der Verkehrsplanung überhaupt wahrzunehmen und zu berücksichtigen.

6.4 Interdependenzen zwischen Telekommunikation und Verkehr

Die sicherlich interessanten Fragen einer gegenseitigen Beeinflussung von Verkehr und Telekommunikation können allerdings aus der hier vorliegenden Querschnittsbetrachtung nicht zufriedenstellend und damit auch nicht abschließend beantwortet werden. Am deutlichsten sichtbar wird die Rolle der Telekommunikation als Instrument zur Gestaltung von Verkehr, vor allem hier der Vorbereitung einzelner Ortsveränderungen. Insofern ergeben sich hieraus auf der einen Seite Hinweise dahingehend, dass versucht wird, Ortsveränderungen effizienter zu gestalten, was mit einer Einsparung einzelner Fahrten/Wege oder mit kürzeren Wege/Fahrten einhergehen kann. Auf der anderen Seite ermöglicht es die Telekommunikation, Kontakte über gerade große Entfernungen zu halten (oder gar auszubauen), was zu anderen/späteren Zeitpunkten wiederum Wege/Fahrten nach sich ziehen kann. Zumindest rückblickend hat sich gezeigt, dass sich Verkehr und Telekommunikation ergänzen und damit zu einer Effizienzsteigerung verkehrlicher Aktivitäten führen. Im Saldo ist durch die Induktion zusätzlichen Verkehrs, auch als Folge von Telekommunikation, eine Erhöhung der Mobilität festzustellen.

6.5 (Keine) Substitution von physischem Verkehr durch Telekommunikation

Insbesondere die häufig angestellte Vermutung, dass eine Substitution im physischen Verkehr durch eine intensive Nutzung von Telekommunikation eintritt, kann mit dieser empirischen Studie (noch) nicht verifiziert werden. Andererseits gibt aber auch keinerlei Hinweise, dass von einer Falsifizierung der Substitutionsthese auszugehen ist. Es lassen sich immerhin einige Anhaltspunkte für eine Bestätigung der Vermutung finden, dass eine Substitution physischen Verkehrs nicht aus der alleinigen umfangreichen Ausstattung und intensiven Verwendung von Telekommunikationsmitteln abgeleitet werden kann. Somit ist mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass bezüglich der Interdependenzen zwischen Telekommunikation und Verkehr der bislang geltende Trend einer Zunahme der

Mobilität unverändert beibehalten wird. Sofern eine nennenswerte Reduzierung von Aktivitäten im physischen Verkehr erfolgen soll, sind unterstützende respektive begleitende Maßnahmen erforderlich. Weitere Untersuchungen zu diesem Thema erscheinen lohnend, sie sind angesichts der enormen Flächeninanspruchnahme und der Emissionen des motorisierten-Individual-Verkehrs (Lärm, Luftschadstoffe) schlichtweg erforderlich.

6.6 Distanzen in Aktionsräumen und Veränderungen in der Erreichbarkeit

Vor allem die festgestellten unterschiedlich großen Aktionsräume von physischem Verkehr und Telekommunikation haben aufgezeigt, dass der räumliche Aktionsradius der Telekommunikation weiter gefasst ist als der mit Hilfe von physischen Verkehrsmitteln. Aus der historischen Entwicklung der Erreichbarkeiten im Verkehr, vom Aktionsradius des Fußgängers über dessen Ausdehnung mit der Erfindung des Rades und motorisierter Fortbewegungsmittel, zeigt sich, dass der Wegeaufwand relativ konstant bei einer Stunde am Tag verharrt, die Entfernungen wegen der gestiegenen Geschwindigkeiten dagegen zugenommen haben. Die heute in Wirtschaft und Wissenschaft geforderte globale Präsenz lässt die Bedeutung des physischen Verkehrs wegen seiner begrenzten Möglichkeiten in einer Erhöhung der Geschwindigkeit sinken und kann nur durch die Nutzung der Telekommunikation ergänzt werden. Inwiefern dieses auch für die heutigen Gewohnheiten des täglichen Lebens denkbar ist, muss jedoch erst noch untersucht werden. Die zunehmende Beschleunigung einzelner Abläufe insbesondere im Dienstleistungsbereich zeigt jedoch, dass dieses vielfach nur unter Substitution von Wegen durch Telekommunikation möglich ist.

Abstract

Modern information technologies, such as internet, e-mail or mobile telephone, are nearly totally spreaded for business and in the meantime also for private use. This leads to rising effects on peoples spatial behaviour. Therefore transportation research is asked to include these communication processes as virtual transport next to the until now regarded physical transport. Before regarding and modelling of virtual transport and the interaction between physical and virtual transport are possible, a better data basis especially for virtual transport is needed. Therefore special interviews in some towns in northern Baden-Württemberg of different size, importance and transportation possibilities were made, to be able to compare physical and virtual transportation behaviour. The results of these interviews are described and give the basis for conclusions and recommendations for area planning and especially regional transportation planning.

Quellen

- /1/ Prof. Dr.-Ing. Dirk Zumkeller; Dr.-Ing. Stefan Köhler; Dr.-Ing. Dirk Vallée; et al.; *Verkehr und/oder Telekommunikation - Konzept, Methode und Quantifizierung*, Arbeitsmaterial Nr. 251 der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 1999.
- /2/ Chlond, Bastian; Lipps, Oliver; Zumkeller, Dirk; *Fortführung der Ausführung der Panel-Untersuchung zum Verkehrsverhalten, Schlussbericht, Unveröffentlichtes Manuskript im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr*, Universität Karlsruhe, 1998.

Reaktionen des Freizeitverkehrs auf Kraftstoffpreisänderungen: Empirische Ergebnisse

VON MARTIN SCHMID, STUTTGART UND KAY W. AXHAUSEN, ZÜRICH

1. Einleitung

In Deutschland scheint gegenwärtig der Umkehrschluss der List'schen Vorhersage einzutreten. Die zunehmenden Staus gefährden den "wohlfeilen, schnellen, sicheren und regelmäßigen Transport von Personen und Gütern" mit der Folge eines Rückschritts des Nationalwohlstandes und der Zivilisation (List, 1838). Die Grenze der Leistungsfähigkeit ist im Fernverkehrsnetz Deutschlands vielerorts bereits erreicht (siehe hierzu Verkehrsstärkenkarte 1995 (Verkehrsministerium Baden-Württemberg, 1996)) und eine Trendwende in der Verkehrsentwicklung ist nicht in Aussicht. Es ist deshalb konkret zu befürchten, dass sich der Wohlstand verringern wird, sofern es nicht gelingt, den Verkehr vor seinem eigenen Zusammenbruch zu bewahren. Dazu kommen die messbaren und nicht messbaren Wirkungen des Verkehrs auf die Umwelt, die in den letzten Jahren stark zugenommen haben und die stärker ins öffentliche Bewusstsein gekommen sind (siehe Quinet, 1998).

Eine Abnahme oder wenigstens eine Stagnation der Verkehrsleistungen ist unter den derzeitigen Verhältnissen nicht absehbar. Die anhaltende Dynamik des europäischen Binnenmarktes und der Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten stützen das Verkehrswachstum. Als Folge dieser stetig steigenden Verkehrsbelastungen wird die Leistungsfähigkeit vieler Straßenquerschnitte bereits heute häufig für kürzere oder längere Zeiten überschritten. Weitere Verkehrszunahmen lassen die zukünftigen Staustrecken leicht vorausbestimmen. Unter der Prämisse, daß die vorhandenen Straßenquerschnitte und damit die Kapazität der Straßen mit Ausnahme weniger Engpässe, aus gesellschaftspolitischen Gründen in Deutschland nicht mehr aufgeweitet werden können und Neubaustrecken, abgesehen von wenigen Ausnahmen, nicht realisierbar sind, sollten dringende Konsequenzen aus dieser sich abzeichnenden Situation gezogen werden (siehe zum Beispiel Bundesverkehrswegeplan 1992 (BMV, 1992) oder Generalverkehrsplan Baden-Württemberg (Verkehrsministerium Baden-Württemberg, 1995).

Anschrift der Verfasser:

Dr. Martin Schmid
Ministerium für Umwelt und Verkehr
Baden-Württemberg
Kernerplatz 9
70182 Stuttgart

Prof. Dr. Kay W. Axhausen
Institut für Verkehrsplanung und Transporttechnik,
Straßen- und Eisenbahnbau (IVT)
ETH Zürich
HIL F 32.3
CH-8093 Zürich

Danksagung: Dieser Aufsatz beruht in Teilen auf der Doktorarbeit des ersten Autors und der Dank gilt den Betreuern dieser Arbeit: Prof. Gerd Steierwald, Universität Stuttgart und Prof. Rudolf Fisch, Universität Speyer.

Ausgerichtet an den Zielvorstellungen

- Mobilitätserhaltung auf den Straßen und
- Verminderung der Umweltbelastungen

ist die Besteuerung der Kfz-Nutzung in Form der Mineralölsteuer eine geeignete Maßnahme. Sie vereint in einer Maßnahme die flächenhafte Fahrleistungsdämpfung im Individualverkehr mit der Reduzierung der Luftschadstoffe. Sie wirkt darüber hinaus fördernd auf die Entwicklung von innovativer Kraftfahrzeugtechnik mit dem Nebeneffekt der Wirtschaftsförderung. Unter Umweltgesichtspunkten erscheint die Beibehaltung der umweltkriterienabhängigen Kraftfahrzeugsteuer als Impulsgeber für ergänzende umweltfördernde Kraftfahrzeugentwicklungen ebenfalls sinnvoll.

Ergänzende Maßnahmen in Form von Stadtkordons können für die Verdichtungsräume und Stadtgebiete erforderlich werden und sind hierfür geeignet (Axhausen und Jones, 1991). Zusammen mit einer Parkraumbewirtschaftung und einem geeigneten Angebot des ÖPNV können sie zu einem lokalen Stadtverkehrskonzept entwickelt werden.

Da eine Absicherung der Wirkungsweise von hohen Kraftstoffpreisen bislang für die Bundesrepublik nicht vorliegt und die vorläufigen Maßnahmenbewertungen unter diesem Vorbehalt stehen, soll die Wirkungsweise der Kraftstoffbesteuerung auf die PKW-Fahrleistungen hier beispielhaft untersucht werden. Hierzu wird folgende Strategie der Aufgabenstellung am ehesten gerecht:

1. Auf die Frage, "Welche Faktoren spielen bei der Interaktion zwischen Kraftstoffpreis und den PKW-Fahrleistungen eine Rolle und wie wirken sie zusammen?" wird eine mögliche Antwort in Form eines beispielhaften Wirkungsnetzes für den Freizeitverkehr dargestellt.
2. Mit Hilfe einer geeigneten Befragung werden empirische Ergebnisse zur Wirkungsweise von großen Erhöhungen der Kraftstoffsteuer ermittelt.
3. Die Ergebnisse des Wirkungsnetzes werden mit den empirischen Ergebnissen verglichen.

Schwerpunkt dieses Aufsatzes ist der zweite Schritt dieses Ansatzes, während der erste und der dritte Schritt nur kurz dargestellt werden sollen (für eine ausführlichere Darstellung s. Schmid, 1996).

2. Wirkungsnetz und Simulationsmodell

Wirkungsnetze (*System dynamic models*) sind ein effektives Werkzeug zur Simulation von Gesamtsystemen auf aggregierter Ebene (siehe Rosnay, 1975 und Vester, 1978). Eine Vielzahl von Vorschlägen über Eingriffsmöglichkeiten in die PKW-Nutzung lassen erkennen, dass eine große Unsicherheit über die Zusammenhänge zwischen Ursachen und Wirkungen besteht. Lösungsansätze bietet bei solch komplexen und interdisziplinären Problemlagen die Systemdynamik, die sich zum vernetzten Denken weiterentwickelt hat (Dörner, 1981 und Gomez und Probst, 1987). Beispielhaft soll hier die Struktur solcher Wirkungsnetze am Beispiel des Freizeitverkehrs dargestellt werden. Im Zusammenhang der Gesamtuntersuchung heißt die Fragestellung: Welche Auswirkungen haben höhere Kraftstoffpreise auf die PKW-Fahrleistungen im Freizeitverkehr?

Um den wohl wichtigsten Einwand gegen vernetzte Systeme, die Subjektivität auszuschalten, wurde ein Workshop mit interdisziplinärer Gruppenarbeit eingerichtet. Hierbei konnten sukzessiv die Arbeitsschritte "Problemfeld abgrenzen", "Zielformulierung", "Ermittlung der Einflussfaktoren" durchlaufen werden mit dem Ergebnis, dass ein Wirkungsnetz mit den Beziehungen ausgearbeitet werden konnte. Über eine Einflussmatrix wurden die Wirkungsintensitäten zwischen den einzelnen Faktoren bewertet.

Über die Bildung von Teilwirkungsnetzen und Analyse der Wirkungsausbreitungen gelang es ein auf Plausibilität geprüftes Wirkungsnetz für den Freizeitverkehr aufzubauen. Abbildung 1 zeigt dieses Wirkungsnetz im Überblick.

Die Übertragung eines Wirkungsnetzes in ein Simulationsmodell setzt voraus, daß die Beziehungen der Faktoren untereinander – d.h. die Verknüpfungen des Wirkungsnetzes – mittels mathematischer Funktion abbildbar sein müssen. Im konkreten Fall wurden die aus Abbildung 1 ersichtlichen Beziehungen mit mathematischen Funktionen belegt.

Das zugehörige Flussdiagramm ist in Abbildung 2 dargestellt. Zur Berechnung mussten Annahmen getroffen werden, welche auf Plausibilität abgeprüft wurden. Die Durchführung des Rechengangs konnte mit einer Modellbildungssoftware bewältigt werden. Für die Funktionsbeziehungen im Einzelnen wird auf Schmid, 1996 verwiesen (siehe Anhang).

Die Simulationsläufe unterscheiden sich:

1. im realen Einkommenszuwachs und
2. in der Kfz-Technik.

Abbildung 1: Wirkungsnetz für den Freizeitverkehr

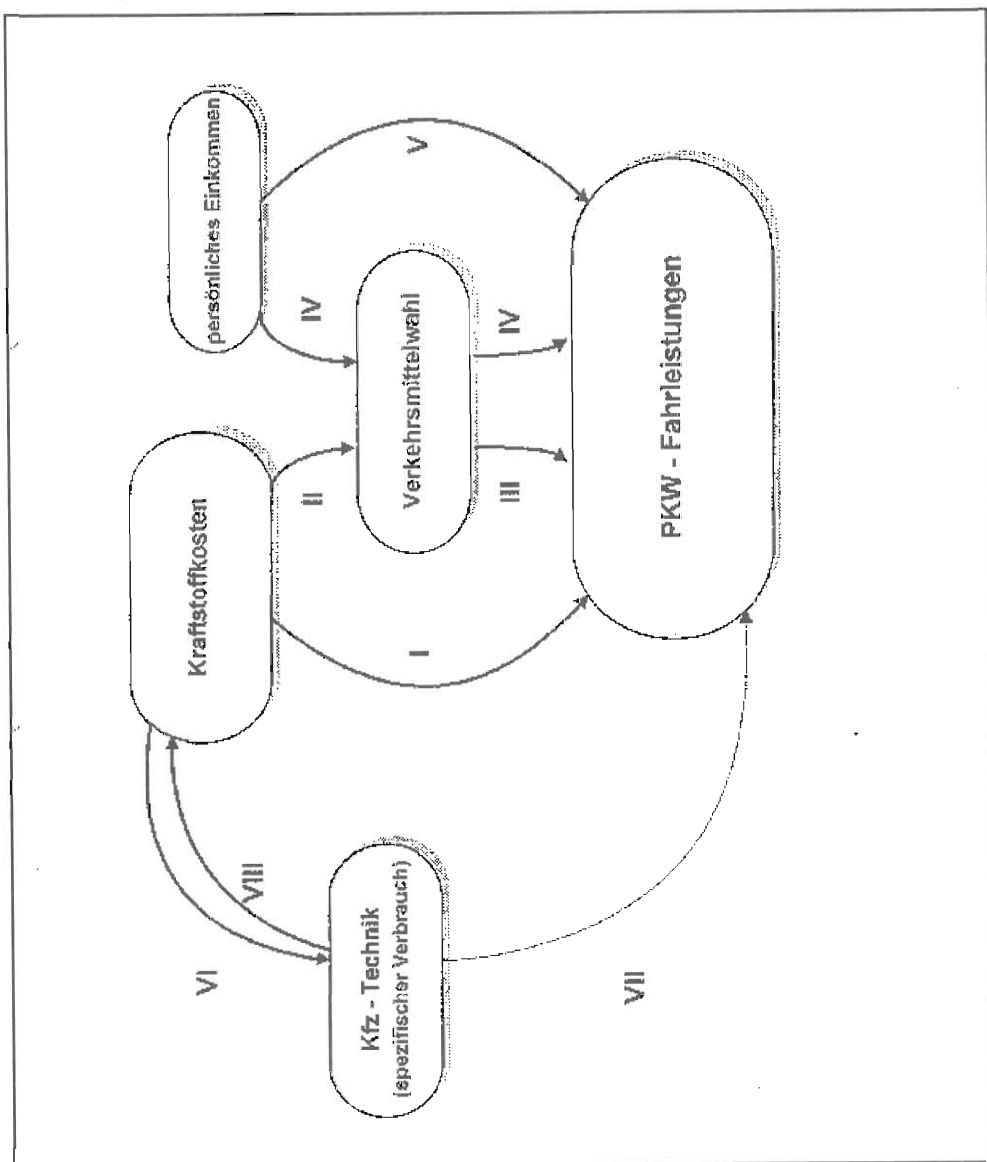
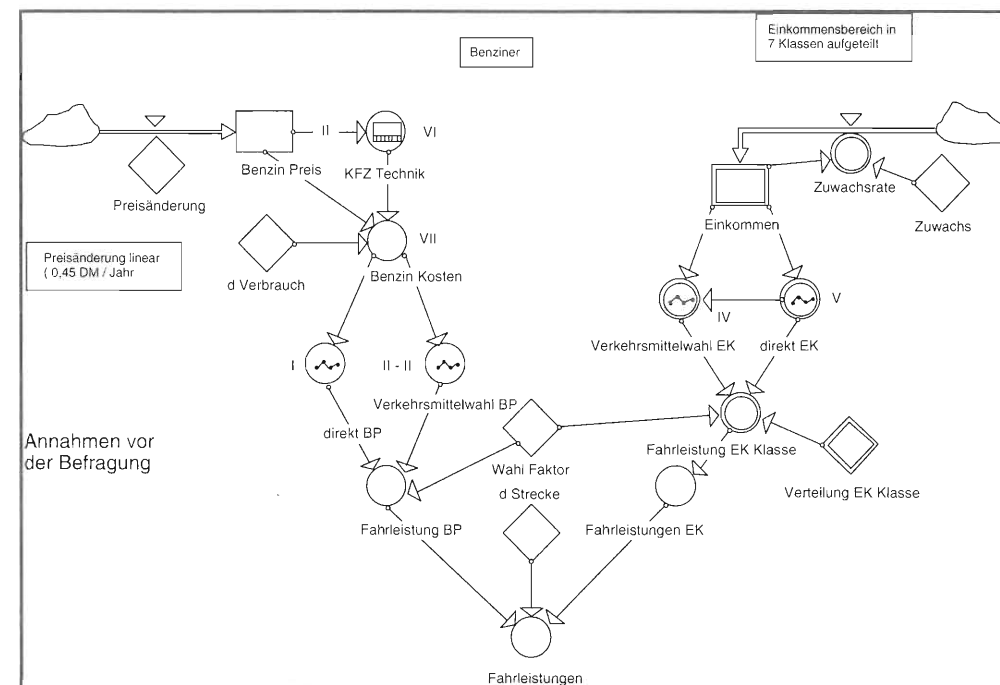


Abbildung 2: Flußdiagramm



Erste Experimente bestätigen die Plausibilität der Annahmen. Die höchste Fahrleistungsreduktion von 12.000 km auf 5.820 km wird erreicht, wenn die Realeinkommen nicht wachsen und die Kfz-Technik keine verbrauchsmindernden Motoren entwickelt. Die geringste Reduktion von 12.000 km auf 11.779 km stellt sich bei einem jährlichen Realeinkommenszuwachs von 3 % und einer verbrauchsmindernden Kfz-Technik von 4,4 l/100 km im Jahr 2005 ein.

3. Empirische Überprüfung

Die Notwendigkeit für eine eigenständige empirische Überprüfung des Wirkungsnetzes und seiner Annahmen ergab sich

1. aus den a-priori Annahmen, welche den Funktionen im Wirkungsnetz zugrundegelegt wurden,
2. aus der erstmaligen Anwendung dieser Technik in diesem Sachbereich,

3. aus den unbekanntem Preiselastizitäten für gravierende Kraftstoffpreisänderungen (Siehe Goodwin, 1992 oder Oum, 1992 für eine gründliche Literaturdurchsicht zum Thema).

Im Gegensatz zu anderen Verkehrsarten besteht im Urlaubs- und Freizeitverkehr weitgehende Entscheidungsfreiheit. Dies gilt sowohl hinsichtlich der Entscheidung für oder gegen eine Fahrt als auch für das auszuwählende Urlaubs- oder Freizeitziel. Wenn der Frage nachgegangen werden soll, welche Möglichkeiten zur Begrenzung oder Minderung des Verkehrszuwachses bestehen, so sind in erster Linie diese disponiblen Verkehrsarten zu untersuchen.

3.1 Auswahl des Befragungsverfahrens

Die in den Empfehlungen für Verkehrserhebungen 1991 (FGSV, 1991) zitierten Erhebungsmethoden beschränken sich auf die Beobachtung und Analyse von vollzogenem Verkehrsverhalten. Aussagen über potentielles zukünftiges Verhalten können hierbei nicht gewonnen werden. Für Befragungen mit hypothetischen Entscheidungssituationen eignen sich die aus der Betriebswirtschaftslehre bekannten Verfahren zur Bewertung nicht-marktlicher Güter (siehe Mühlkamp, 1994, Pommerehne, 1987, Mitchell und Carson, 1989 oder FGSV, 1995).

Die Bandbreite reicht von Laborexperimenten mit relativ kleinen, meist nicht repräsentativen Stichproben bis zu groß angelegten Repräsentativbefragungen. Die Bewertung der Präferenzen kann durch die Erfragung der individuellen *Zahlungsbereitschaft* für den Erhalt eines Vorteiles oder zur Vermeidung eines Nachteils erfolgen, als auch durch die Erfragung nach einem individuellen Ausgleichsbetrag, für einen verhinderten Vorteil oder die *Akzeptanz eines Nachteils*. Obgleich auch schwerwiegende Probleme bei Befragungen dieser Art bestehen, wie z.B. strategisches Antwortverhalten oder unbewußtes Abweichen von der wahren Wertschätzung, überwiegen die Stärken dieser Befragungsmethoden. Kein anderer Befragungsansatz ermöglicht hypothetische, zukunftsgerichtete Maßnahmen auf ihre Wirkung hin im Zusammenhang mit der persönlichen Wert- oder Nutzenschätzung zu testen. Damit können persönliche Einstellungen, ohne daß diese explizit in der Befragung angesprochen sind, in die Bewertung Eingang finden, ebenso wie die Bewertung losgelöst von einer tatsächlichen Inanspruchnahme des zu bewertenden Gutes zielführend ist.

Bei diesen Methoden soll der Versuchsplan der Untersuchung den Entscheidungsraum durch eine Folge von Entscheidungssituationen ausloten. Es sei darauf hingewiesen, dass die Methoden der Stated Preferences kein Instrument sind, um nicht vermutete Zusammenhänge zu finden. Sie dienen der Schätzung a priori angenommener Zusammenhänge. Als Auswertungsverfahren werden die lineare und logistische Regression sowie das Logit-Modell eingesetzt, mit denen sich Nutzenmodelle schätzen lassen (Ben Akiva und Lerman, 1985).

3.2 Konzeption der Befragung

Aus den möglichen Befragungsformen innerhalb dieser Methodengruppe wurde das Verfahren der *Stated-Preferences* (SP) ausgewählt, in dem die Befragten in einer radikal vereinfachten Situation eine Entscheidung aus einer vordefinierten Menge von Alternativen auszuwählen haben. Die einzelnen Schritte, die von jeder SP-Befragung zu durchlaufen sind:

- Definition des Befragungsgegenstandes und Festlegung der Verhaltensannahmen
- Festlegung der Rahmenbedingungen und Marktsegmente
- Auswahl der Befragungsform
- Erstellung des Versuchsplans
- Ermittlung der Ausprägungen
- Gestaltung des Fragebogens

Definition des Befragungsgegenstands und Festlegung der Verhaltensannahmen

Das Befragungsziel, der Befragungsgegenstand und die Hypothesen sind mit dem Wirkungsnetz festgelegt worden. Die empirische Frage ist, ob, und wenn ja, in welchem Umfang eine Erhöhung der Benzinpreise zu einer Reduktion der Fahrleistungen im Freizeitverkehr führt.

Dem Befragten stehen bei der Betrachtung einer Einzelfahrt vier wesentliche Reaktionsmöglichkeiten zur Verfügung:

- a) Umstieg auf andere Verkehrsmittel, Bildung von Fahrgemeinschaften oder bei kurzen Wegen auch zu Fuß gehen (Reduktion der vorherigen PKW-Freizeit-Kilometer auf 0 %).
- b) Verzicht auf die Fahrt (Reduktion von 100 % auf 0 %).
- c) Reduzierung der Fahrtweite durch Wahl eines näheren Zieles (Reduktion der vorherigen PKW-Freizeit-Kilometer um einen Prozentsatz zwischen 0 und 100).
- d) Beibehaltung der Freizeitfahrt mit dem PKW (keine Reduktion der Fahrkilometer).

Weitere Reaktionsmöglichkeiten, welche sich nicht auf die PKW-Fahrleistungen auswirken, wie Umverteilung im allgemeinen Haushaltsbudget, Erhöhung des verfügbaren Einkommens oder Einsatz von Vermögenswerten, sollen hier vernachlässigt werden.

Die der Befragung zugrunde gelegte Hypothese lautet wie folgt:

"Testen Sie in der Befragung, ob deutlich höhere Kraftstoffpreise zu einer spürbaren Reduzierung der PKW-Freizeitfahrleistungen führen. Unter sonstigen ceteris paribus-Bedingungen wird angenommen, dass vor allem das Einkommen, das Alter, der Familienstand, die Art und der Umfang der derzeitigen Freizeitaktivitäten, die Attraktivität des Freizeitziels, die Verfügbarkeit und der Kraftstoffverbrauch des PKWs sowie die Verfügbarkeit alternativer Verkehrsmittel das Verhalten determinieren."

Festlegung der Rahmenbedingungen und Marktsegmente

Es ist evident, dass Befragungsergebnisse wesentlich davon bestimmt werden, welche Gruppen befragt werden. Das Freizeitverhalten eines Zwanzigjährigen ist z.B. grundlegend verschieden von demjenigen eines Achtzigjährigen.

Als Zielgruppe wurde für die Befragung ausgewählt:

18-40jährige männliche und weibliche Probanden,
unabhängig von Einkommen und Beruf,
die im Besitz eines Führerscheins sind und über einen Pkw verfügen,
sich auf einer Freizeitfahrt mit dem PKW befinden
und eine Mindestfahrstrecke von 100 km vom Wohnort
zum Freizeitziel und zurück befahren.

Bei der Auswahl der Zielgruppe waren eine möglichst hohe Intensität der Freizeitaktivität und ein Mindestkraftstoffverbrauch von 5 Liter je Freizeitfahrt orientierungsgebend (Stein, 1977; Meuter, 1980).

Aus Kostengründen konnte in dieser Arbeit nur eine Zielgruppe befragt werden - und hierbei fiel die Wahl auf die aktivste Gruppe, die Gruppe der 18-40Jährigen. Eine Mindestfahrstrecke musste aus Plausibilitätsgründen festgesetzt werden. Da Kraftstoffpreiserhöhungen, die sich nur in Pfennigbeträgen auf die Einzelfahrt auswirken, keine nachvollziehbaren Veränderungen erwarten lassen.

Die Rahmenbedingungen für die Befragung sollen so realistisch wie möglich eingerichtet werden. Die besten Bedingungen ergeben sich aus der Heranziehung einer Fahrt, die der Befragte selbst durchgeführt hat (FGSV, 1995). Die situativen Rahmenbedingungen sprechen ebenso wie die empirischen Erfahrungen im vorliegenden Fall für eine mündliche Befragung am Zielort der Freizeitfahrt durch einen Interviewer.

Auswahl der Befragungsform

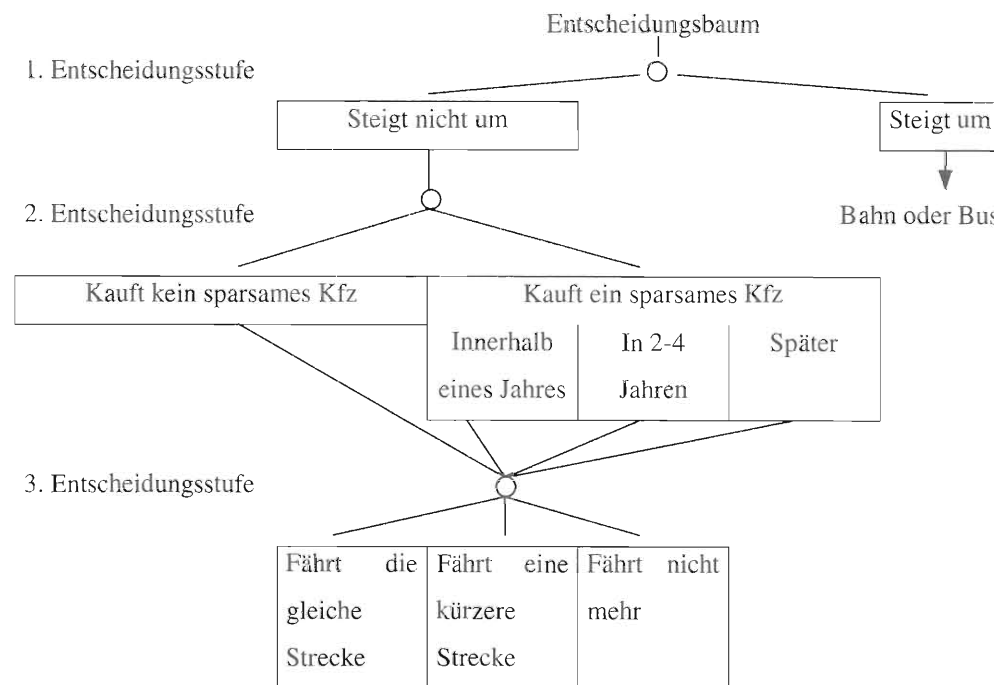
Als Antwortform wurde die *Stated-Choice*-Form wegen ihrer Klarheit und Einfachheit für die Befragten ausgewählt. Diese Antwortform erwartet vom Befragten eine Entscheidung zwischen vorgegebenen Alternativen und hat den Vorteil, dass sie vom Befragten als natürliche und einfache Antwortform empfunden wird.

Es wurde eine mündliche Befragung (Interview) am Zielort der Freizeitfahrt durchgeführt.

Erstellung des Versuchsplans und Ermittlung der Ausprägungen

Der Versuchsplan hängt von den vorherbeschriebenen Rahmenbedingungen, der Hypothese und im Falle von zahlreichen, unabhängigen Einflussgrößen von den verfügbaren Mitteln ab. Es wurde in diesem Fall nur eine Variable variiert, der Kraftstoffpreis, und mehr Aufmerksamkeit den möglichen Entscheidungsalternativen gewidmet, die in einem Entscheidungsbaum zusammengefasst wurden (siehe Abbildung 3).

Abbildung 3: Unterstellter Entscheidungsbaum



Von der Preisbasis von ca. 1,50 DM/l für Vergaserkraftstoff und 1,10 DM/l für Dieselkraftstoff ausgehend, sollte in einem ersten Schritt eine spürbare Verteuerung einsetzen. Dieser Wert wurde zwischen 2,50 DM/l und 3,00 DM/l veranschlagt, was einer ungefähren Verdoppelung der Preise gleichkommt. In einer zweiten Preisstufe sollten dann Kraftstoffpreise um 5,00 DM/l untersucht werden. Als Befragungsspanne wurden 4,50 DM/l bis 6,00 DM/l festgesetzt. Der obere Wert kommt einer Vervierfachung beim Vergaserkraftstoff und nahezu einer Versechsfachung beim Dieseldieselkraftstoff gleich. Eine weitere dritte Preisstufe im Bereich von 9 bis 10 DM/l wurde als zu realitätsfern angesehen und daher nicht zum Gegenstand der allgemeinen Befragung gemacht.

Zu Beginn des Interviews werden Fragen zur soeben durchgeführten Freizeitfahrt und zum Fahrzeug gestellt. Es folgen die Erläuterungen zur neuen, hypothetischen Situation mit den Randbedingungen für die erste Entscheidungssituation (Kraftstoffpreise von 2,50 und 3,00 DM pro Liter), um danach die vorstrukturierten Antwortmöglichkeiten aufzuzeigen.

Nach dem Antworteintrag geht der Interviewer auf die zweite Entscheidungssituation mit Kraftstoffpreisen zwischen 4,50 und 6,00 DM pro Liter über. Rahmenbedingungen, Frage- und Antwortmodus verändern sich nicht. Zur Abdeckung eines breiten Kraftstoffpreisspektrums bei nur zwei Entscheidungssituationen je Interview wurden 6 unterschiedliche Fragebögen mit 6 Kraftstoffpreiskombinationen wie folgt gewählt:

	Erste Entscheidungssituation	Zweite Entscheidungssituation
Fragebogen 1	2,50 DM	4,50 DM
Fragebogen 2	2,50 DM	5,00 DM
Fragebogen 3	2,50 DM	5,50 DM
Fragebogen 4	3,00 DM	5,00 DM
Fragebogen 5	3,00 DM	5,50 DM
Fragebogen 6	3,00 DM	6,00 DM

Die Kraftstoffpreissituationen wurden gezielt so gewählt, dass möglichst wenig Anklänge zu der allgemein geführten und emotional starke besetzten Diskussion um den Kraftstoffpreis von 5 DM/l gefunden werden sollten.

Um keine isolierte Betrachtung der Fahrtkosten mit der Gefahr einer Überbewertung aufkommen zu lassen, wurde die Frage nach der Relation zwischen den Gesamtkosten der Freizeitfahrt (Essen, Eintrittsgelder und Parkgebühren, Fahrtkosten und ggf. Übernachtung) und den reinen Fahrtkosten, Pkw oder Bahn gestellt, jeweils bei Berücksichtigung der Gruppengröße, und das Ergebnis dem Befragten bekannt gegeben. Anknüpfend daran wurde als weitere Fragestellung zur allgemeinen Einschätzung der Freizeitfahrt die Attraktivität des Zieles abgefragt. Eine große Bedeutung wurde der Einstellung und Kaufbereitschaft zu einem extrem (unter gegenwärtigen Rahmenbedingungen) sparsamen Fahrzeug beigemes-

sen. Für die zukünftige Fahrtentscheidung (die Umstiegsfrage auf andere Verkehrsmittel ging voraus) wurden 5 Alternativen zur Auswahl gestellt:

- Gleiches Ziel, gleich häufig
- Gleiches Ziel, weniger häufig,
- Näheres Ziel, neue Zielentfernung
- Fahrtverzicht
- Autoverzicht (Autoverkauf)

Am Ende des Interviews stehen die sozio-demographischen Fragen zur Person des Befragten. Die schwierige Befragung zu den Einkommensverhältnissen wurde mit einer Karte (Showcard) mit verschlüsseltem Buchstabencode vorbereitet, um die Angstschwelle vor der Preisgabe sehr persönlicher Daten abzusenken.

Die Befragung wurde in einem Vortest ausführlich getestet und danach, wo notwendig, verbessert.

3.3 Hauptbefragung

Die Auswahl der Befragungsorte entscheidet mit über die Zusammensetzung der Befragten genauso wie die Ortsnähe zum nächstgelegenen Bahnhof über die Umsteigemöglichkeiten. Um einen möglichst repräsentativen Querschnitt der weiträumigen Freizeitfahrten zu erfassen, wurde die Befragung an vier grundsätzlich verschiedenen Freizeitzielen durchgeführt.

Ort A : Wilhelma Stuttgart

Zoologischer und botanischer Garten in Stadtrandlage von Stuttgart.
Sehr attraktive Anbindung an Bundesbahn- und Stadtbahnnetz.
Bedienungshäufigkeit entspricht Großstadtstandard.

Ort B : Donautal bei Beuron

Bedeutendes Freizeitziel durch zahlreiche kulturhistorische Bauwerke in Verbindung mit landschaftlich reizvollem Flusstal.
Vorwiegende Freizeitaktivitäten:
- Besuch des Klosters Beuron
- Rad- und Wandertouren
- Klettern und Kajakfahren.
Anbindung an das Bahn- und Busnetz zwischen Tuttlingen und Sigmaringen.
Bedienungsstandard entsprechend dem ländlichen Raum.

Ort C: Bärenhöhle bei Reutlingen
Tropfsteinhöhle im Weißjura, zur Schauhöhle mit ständigen Führungen ausgebaut. Durch einen angegliederten Märchen- und Freizeitpark wurde die Bärenhöhle zu einem weitbekanntem Freizeitziel auf der Schwäbischen Alb. Der nächste Bahnhof liegt ca. 25 km entfernt, die Bushaltestelle ca. 4 km. Der Bedienungsstandard ist sehr schlecht.

Ort D: Unteruhldingen am Bodensee
Vielbesuchter Kurort am Bodensee, der durch den Bau einer Umgehungsstraße und eines Sammelparkplatzes am Ortsrand weitgehend autofrei wurde. Die Pfahlbauten, ein Strandbad sowie die Schifflande der weißen Flotte ziehen viele Tagestouristen an. Uhdlingen-Mühlhofen besitzt einen Bahnhof und wird über die Bodenseegürtelbahn Friedrichshafen-Überlingen-Radolfzell an das Fernbahnnetz angeschlossen. Der Bahnhof liegt ca. 2 Kilometer vom See entfernt. Die Busverbindung von Meersburg über Unteruhldingen nach Überlingen kann als gut bezeichnet werden.

Die Befragungen wurden an den Wochenenden durchgeführt mit vergleichbaren Witterungsverhältnissen sowie jahreszeitlich und tageszeitlich gleichen Randbedingungen. Die Interviews wurden in der Nähe der Parkplätze geführt. Dies erlaubte eine gezielte Ansprache der Interviewpartner.

Die Wahl der mündlichen Befragungsform am Zielort der Freizeitfahrt stellte sich als geeignet heraus. Die Ansprache der Interviewpartner gestaltete sich problemlos. Es kamen die Vorteile der mündlichen Befragung, wie Erläuterungsmöglichkeiten, gezieltes Nachfragen bei unklaren Antworten, oder die Ansprache sensibler Fragen zum Tragen.

Die Quote der Verweigerer war überraschend klein, sie lag bei 10 Prozent. Genauso überraschend war die überwiegend positive Bewertung des Befragungsgegenstandes. Abgebrochen werden mussten lediglich 2 Interviews, da Zweifel an der Ernsthaftigkeit bei den Befragten aufgetreten waren. Die dabei erhobenen Daten wurden nicht ausgewertet.

Durch die Wahl von vier grundsätzlich verschiedenartigen Freizeitzielen und der Ansprache der Interviewpartner nach dem Zufallsprinzip wurde im Rahmen der durch die Befragungsmethodik vorgegebenen Möglichkeiten versucht, eine möglichst breite und repräsentative Stichprobenauswahl zu treffen (siehe auch Tabelle 1).

Tabelle 1: Eigenschaften der Stichprobe

Eigenschaft	Ort				Alle
	Wilhelma	Donautal	Bärenhöhle	Bodensee	
Anzahl männlich	20	13	31	31	95
Anzahl weiblich	14	10	4	5	33
Mittleres Alter [Jahre]	32,8	37,8	35,0	36,6	35,4
Mittleres Einkommen [DM]	4.500	4.920	4.570	4.520	4.600
Mittlere Fahrtweite [km]	194	210	157	247	201

4. Befragungsergebnisse

Die Befragungsergebnisse bezogen auf die einzelnen Kraftstoffpreiskombinationen lassen einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Kraftstoffpreishöhe und der Fahrtreduktion erkennen (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Das Reaktionsspektrum verdichtet sich bei der Betrachtung der alleinigen Fahrtreduktion der PKW-Fahrer ohne Umsteiger nochmals deutlich gegenüber den Gesamtfahrleistungsreduktionen einschließlich des Umsteiger. Eine einfache lineare Regression ergibt für die aggregierten Daten mit den Umsteigern die Gleichung:

$$\text{Reduktion} = 10,79 * \text{Kraftstoffpreis} - 18,09$$

Mit einem $r = 0,88$ und signifikanten Parametern. Aus den Daten ergibt sich bei Annahme einer linearen Reaktion eine Kraftstoffpreiselastizität von $\epsilon_{\text{ges}} = -0,16$.

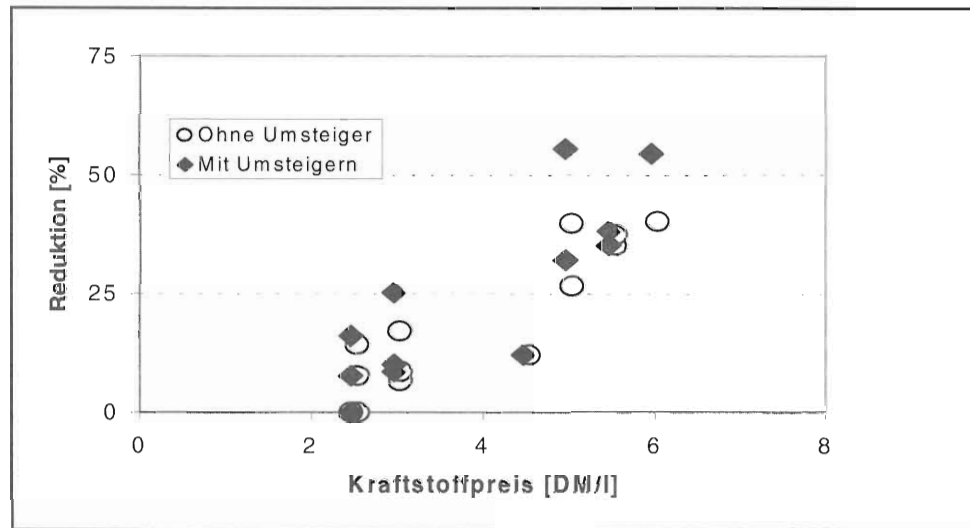
Das Reaktionsmaß für den Verzicht auf PKW-Fahrleistungen erreicht unter den gleichen Rahmenbedingungen ohne Berücksichtigung der durch Umstieg auf andere Verkehrsmittel entfallenden Fahrten bei einem Kraftstoffpreis von 6,00 DM/l Werte um 40 % der heutigen PKW-Fahrleistungen mit einer Elastizität von $\epsilon_{\text{PKW}} = -0,13$.

Die Annahme der Linearität wird durch die schwache Reaktion auf die Preiserhöhung auf DM 4,50/l in Zweifel gezogen. In diesem Zusammenhang darf die "Schallmauer" von 5,00 DM/l Kraftstoff, die sich in der öffentlichen Diskussion festgesetzt hat, nicht unterschätzt werden. Es ist psychologisch plausibel, dass die Reaktionen von einer solchen "Schallmauer" beeinflusst werden können. Die Befragungsergebnisse spiegeln hier ein Verhalten wider, das sich wie folgt beschreiben lässt:

- Kraftstoffpreise unter 5,00 DM/l sind vertretbar und verkraftbar. (Daraus resultiert eine unterdurchschnittliche Reaktion für den Preis von 4,50 DM/l.)

- Kraftstoffpreise größer gleich 5,00 DM/l werden als Schikane und Willkür empfunden. (Die Befragten reagieren überdurchschnittlich).

Abbildung 4: Reduktion der Fahrleistung als Funktion des Kraftstoffpreises

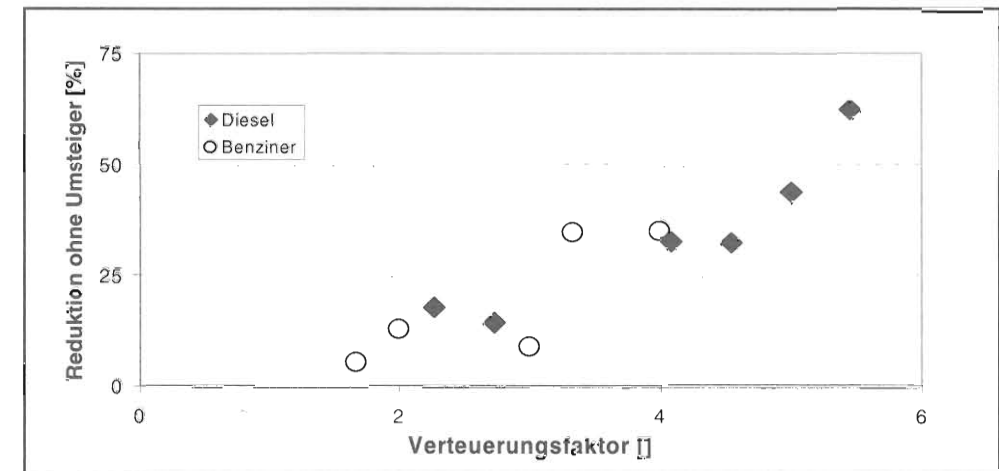


Tendenziell wurde bei getrennten Auswertungen deutlich, dass die Besitzer von Diesel-PKW stärker reagieren als die Besitzer von Benzin-PKW. Eine nochmals stärker ausgeprägte Reaktion wurde bei den Fahrern von Großraum-PKW und Kleinbussen ausgelöst. Plausibel dürfte die Trendaussage sein, da die Dieselfahrer, ausgehend von einem Preisniveau von 1,10 DM/l, eine prozentual und nominal größere Preiserhöhung erfahren als die Fahrer von Benzin-PKW.

Um diesen Effekt der prozentualen Kraftstoffverteuerung zu analysieren, wurden die Ergebnisse anstatt mit den absoluten mit relativen Werten dargestellt. Dabei wurde sichtbar, dass von plateauartigen Reaktionen gesprochen werden könnte. Die zuvor angestellte Vermutung einer psychologischen Schallmauer bei einem Kraftstoffpreis von 5,0 DM/l tritt hier noch schärfer hervor. Ein erstes Reaktionsplateau stellt sich zwischen den Verteuerungsfaktoren 2,0 - 3,0 ein (bei Fahrleistungsreduktionen in der Größenordnung von 15 %). Ein zweites Plateau wird zwischen den Faktoren 3,3 bis 4,5 deutlich (bei Fahrleistungsreduktionen von ungefähr 35 %). Kraftstoffverteuerungen mit Faktoren von 5,0 und darüber deuten eine steiler ansteigende Reaktionslinie an. Dieser nur aus der Diesel-PKW-Stichprobe errechenbare steilere Anstieg wird aus der Befragung der Benzin-PKW-Stichprobe nur insoweit bestätigt, als von dort Kraftstoffpreise zwischen 8 und 10 DM/l für noch weitergehende Fahrreduktionen benannt wurden. Die Unterstellung einer nichtlinearen Reaktion erscheint jedoch zu gewagt zu sein, da sich der hochgelegene Wert bei 6,0

DM/l, und damit der steilere Anstieg, lediglich auf 9 Befragungen mit Diesel-PKW abstützen kann (siehe Abbildung 5).

Abbildung 5: Reduktion der Fahrleistung als Funktion der relativen Verteuerung



Freizeitzielbezogene Auswertung

Bei der Analyse der Ergebnisse zeigt sich, daß die Reaktionsbereitschaft der Besucher der Wilhelma am stärksten ist. In den Umsteigereaktionen spiegeln sich die Nähe und der Bedienungsstandard der öffentlichen Verkehrsmittel zu den einzelnen Befragungsorten wieder. Die Fahrreduktion durch Umsteigen beträgt bei der Wilhelma (21,1%), während an den drei anderen Zielen die Werte zwischen 2,2% und 5,4% schwanken. Die Preiselastizitäten zeigen an den einzelnen Befragungsorten folgende Werte:

	Gesamt- elastizität ϵ_{ges}	PKW- elastizität ϵ_{PKW}	Umsteige- elastizität ϵ_u
Wilhelma	- 0,24	- 0,16	- 0,08
Donautal	- 0,15	- 0,13	- 0,02
Bärenhöhle	- 0,15	- 0,14	- 0,01
Bodensee	- 0,13	- 0,11	- 0,02
Über alle	- 0,16	- 0,13	- 0,03

Weiteres bedeutendes Kennzeichen der zielortbezogenen Auswertung ist die Unabhängigkeit von PKW-Fahrleistungsreduktion und Umsteigereaktion. Dies bedeutet, dass bei Kraftstoffpreiserhöhungen die Höhe des Umsteigepotentials sich nicht mindernd auf das Fahrre-

duktionspotential der PKW-Fahrer auswirkt. Damit kann von einer **Addition** der Wirkungen ausgegangen werden.

Einfluss der Einkommenshöhe

Im Interview wurde zusammen mit anderen soziodemographischen Daten auch nach dem Familiennettoeinkommen pro Monat gefragt. Die Ausprägungen fanden ihren Niederschlag in 7 Einkommensklassen, die jeweils mit Buchstaben gekennzeichnet wurden.

Klasse A	Einkommen bis 1800 DM
Klasse C	Einkommen zwischen 1800 und 3000 DM
Klasse E	Einkommen zwischen 3000 und 4000 DM
Klasse G	Einkommen zwischen 4000 und 5000 DM
Klasse D	Einkommen zwischen 5000 und 6000 DM
Klasse F	Einkommen zwischen 6000 und 7000 DM
Klasse B	Einkommen über 7000 DM

Bei der Auswertung der einzelnen Einkommensklassen zeigten sich signifikante Unterschiede. Die Klasse A mit Monatsnettoeinkommen bis 1800 DM zeigt die stärksten Reaktionen. Bereits in der ersten Entscheidungssituation werden 4mal stärkere Fahrleistungsreduktionen ermittelt als im Durchschnitt. Die Reduktionsquote steigt in der zweiten Entscheidungssituation auf 81 % an. Der Umsteigeranteil ist ebenfalls höher als in allen anderen Klassen. Die Erklärung dieser drastischen Reaktion liegt mit Sicherheit in der nicht möglichen Kompensation der Mehrkosten durch Einsparungen bei anderen Haushaltsausgaben.

Die Einkommensklassen C (1800-3000 DM) und E (3000-4000 DM) reduzieren ihre Freizeitfahrten unterdurchschnittlich. Trotz relativ niedrigem Einkommen sind diese Klassen bereit, auch bei hohen Kraftstoffpreisen relativ zahlreiche Freizeitfahrten durchzuführen. Die Vermutung, dass es sich um junge, freizeitaktive Personen handelt, wurde durch die sozio-demographische Analyse bestätigt. In der Klasse C sind vorwiegend Alleinstehende und kleine Familien erfasst, die statistische Haushaltsgröße umfasst 2,16 Personen. Das Durchschnittsalter liegt bei 32 Jahren. Die Vielfahrer der Klasse sind nochmals deutlich jünger, im Durchschnitt 28 Jahre alt. In der Einkommensklasse E ist die Familie statistisch deutlich größer, die Haushaltsgröße liegt bei 3,36 Personen im Durchschnitt. Das Durchschnittsalter der Befragten liegt hier bei 33 Jahren.

Die Einkommensklassen G (4000-5000 DM) und D (5000-6000 DM) sind ihrerseits wieder sehr ähnlich im Verhalten. Die Fahrtreduktionen sind in der ersten Entscheidungssituation unterdurchschnittlich, in der zweiten Entscheidungssituation aber 10 % über dem Durchschnitt. Es wird deutlich, dass mit steigendem Einkommen die Reaktionen auf eine Preiserhöhung von 2,5 bis 3,0 DM/l schwächer werden.

Die Klasse F (6000-7000 DM) reagiert bis 3 DM/l nicht und bis 6 DM/l unterdurchschnittlich mit lediglich 25,5 % Fahrtreduktionen. Die Klasse B (>7000 DM) liegt nicht im erwarteten Trend und ist einer gesonderten Untersuchung zu unterziehen. Die sozio-demographischen Werte ergaben, dass in dieser Klasse selbständige Haushaltsvorstände und unselbständige Jugendliche, die noch in der Familie leben, in derselben Stichprobe erfasst wurden. Die getrennte Bewertung zeigt auf, dass die Jugendlichen (B/2) ähnliche Verhaltensmuster aufweisen wie diejenigen Befragten in der Klasse A (bis 1800 DM). Die Haushaltsvorstände (B/1) gleichen sich der Klasse F an, wobei ein verstärkter Trend zum Umstieg erkennbar wird.

Einfluss von Gepäck und Sportgeräten

Größeres Gepäck, Fahrräder, Kajaks, Kinderwagen o.ä. wurden von 34 Befragten mitgeführt; dies entspricht 26,5 % der Gesamtstichprobe. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mitnahme von größerem Gepäck oder von Sportgeräten die Fahrleistungsreduktion bei Kraftstoffpreisen zwischen 4,50 DM/l und 6,00 DM/l um ca. 10 % gegenüber der Stichprobe ohne Gepäck vermindert. Dieses Reaktionsmuster liegt im erwarteten Bereich. Erstens erschweren Gepäck und Sportgeräte den Umstieg auf den öffentlichen Verkehr und zweitens wird durch die Mitnahme von Sportgeräten die Freizeit gezielter und bewusster gestaltet und entzieht sich zu einem Teil der freien Disposition für Änderungen.

Einfluss der Freizeitzielattraktivität

Die Befragung nach der Einschätzung der Freizeitzielattraktivität erbrachte bewertbare Ergebnisse. So konnte ein Zusammenhang zwischen der Gesamtattraktivität eines Freizeitziels und der durchschnittlichen Fahrtweite zum Freizeitziel festgestellt werden. Die Bewertung der Attraktivität entsprach der Notengebung im schulischen Bereich.

	Gesamt-Attraktivität	Durchschnittliche Fahrtweite (Hin- und Rückf.)
Bodensee	1,65	247 km
Wilhelma	1,84	194 km
Donautal	1,85	210 km
Bärenhöhle	2,20	157 km

Die Attraktivität des Bodensees kommt hier deutlich zum Ausdruck. Die subjektiven Einschätzungen der Befragten zur Attraktivität korrelieren mit den objektiv messbaren Fahrtweiten. Zum weniger attraktiven Ziel "Bärenhöhle" wird im Durchschnitt eine um 90 km geringere Wegstrecke zurückgelegt als zum attraktivsten Ziel.

Ob sich die persönlich empfundene Freizeitattraktivität ebenso auf die Reaktion von Kraftstoffpreiserhöhungen niederschlägt zeigen nachfolgende Berechnungen. Die Note 1 wurde für

die höchste Attraktivität vergeben. Die Note 6 für ein Ziel ohne Attraktivität. Die Note 5 und 6 traten in der Befragung nicht auf.

Attraktivität	Fahrleistungsreduktion einschl. Umstieg in der zweiten Entscheidungssituation
Note 1	36,1 %
Note 1,5 - 2,5	42,4 %
Note 3 - 4	51,5 %
Gesamtstichprobe	41,5 %

Die Auswertung zeigt, dass die persönliche Einschätzung der Attraktivität neben der Kraftstoffpreishöhe ein zusätzliches Kriterium bei der Beurteilung der Fahrtdisposition darstellt.

Einfluss der Fahrtweite

Als letzte Einflussgröße soll die Auswirkung der Fahrtweite zum Freizeitziel im Hinblick auf Fahrleistungsreduktionen analysiert werden. Die niedrigsten Fahrtweiten liegen in der Untersuchung zwischen 70 und 100 km, die überwiegende Anzahl der Fahrten liegt zwischen 100 und unter 300 km, 22 Fahrten liegen zwischen 300 und dem Maximum von 700 Kilometern. Die Vermutung, dass längere Fahrtstrecken bei hohen Kraftstoffkosten eher reduziert werden als kürzere Strecken, konnte nicht bestätigt werden.

5. Ergebnisübertrag in die Simulation

Durch die Befragungsergebnisse können die Hypothesen der Simulationsrechnung überprüft werden.

Funktionsbeziehung I:

Für die Simulationsberechnung wurde der Elastizitätswert hypothetisch mit $\epsilon = -0,17$ angesetzt. Die Befragungsergebnisse zeigen eine etwas unelastischere Nachfrage als angenommen. Der Anteil der Befragten, die für die Freizeitfahrt nicht auf ein anderes Verkehrsmittel umsteigen können, beträgt nur 30 % (39 von 128 Probanden).

Für die Simulationsrechnung nach der Befragung wird die Kurve I mit linearem Verlauf und dem Elastizitätswert $\epsilon = -0,13$ eingegeben.

Funktionsbeziehung II/III:

Korrekturbedürftig ist der Kurvenverlauf II/III ebenfalls. Entgegen der ersten hypothetischen Annahme der Elastizitätswerte $\epsilon = -0,05 + (-0,17)$ erbrachte die Befragung einen Elastizitätswert für das Umsteigen von $\epsilon_{\text{Umstieg}} = -0,08$ sowie einen Elastizitätswert für die Nichtumsteiger von $\epsilon_{\text{PKW}} = -0,13$.

Für die Simulationsrechnung nach der Befragung wird die Kurve II/III mit linearem Verlauf und den Elastizitätswerten $\epsilon = -0,08 + (-0,13)$ eingegeben. Die weiteren Funktionsbeziehungen werden von der ersten Simulation übernommen. Das Simulationsmodell mit Flussdiagramm wird nicht verändert. Die Startwerte der Simulation bleiben mit 1,50 DM/l und jährlichen Steigerungsraten von 45 Pf/l ebenso unverändert wie die Variationen der Simulationsläufe. (Einkommenszuwachs real: 0 %, 1 %, 2 % und 3 % jährlich; Kfz-Technik: Faktor 1, 1/2, und 0).

Ergebnisse

Die höchsten Fahrleistungsreduktionen treten bei einem Realeinkommenszuwachs von 0 % und keiner verbrauchsmindernden Kfz-Technik (Faktor 0) auf. Die Reduktion verläuft linear fallend von 12.000 km/a auf 6.060 km/a im Jahr 2005 bei einem Benzinpreis von 6,0 DM/l; dies entspricht einem Rückgang von 49,5%.

Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass der Startwert für die Jahresfahrleistungen von 12.000 Km/a sich nicht an den Fahrleistungen im Freizeitverkehr ausrichtet. Die Ergebnisse sind unabhängig von der absoluten Höhe der Jahresfahrleistungen.

Die geringste Reduktion von weniger als einem Prozentpunkt der ursprünglichen PKW-Fahrleistungen tritt bei einem jährlich dreiprozentigen Realeinkommenszuwachs und einer stark verbrauchsmindernden Kfz-Technik (Faktor 1) ein.

6. Ausblick

Die Auswirkungen der Kraftstoffbesteuerung auf die PKW-Fahrleistungen im Freizeitverkehr wurden vor dem Hintergrund der Mobilitätserhaltung auf den Straßen untersucht, da die prognostizierten Zuwächse im Personen- und Güterverkehr auf dem übergeordneten Straßennetz der Bundesrepublik Deutschland in absehbarer Zukunft nicht mehr aufgenommen werden können. Ausweitungen der Straßenkapazitäten sind durch politische Widerstände stark eingeschränkt und neue Techniken bieten ebenfalls keine Ansätze zur wesentlichen Erhöhung der Leistungsfähigkeit. Daher soll die Untersuchung die Frage beantworten, ob über eine Erhöhung der Kraftstoffbesteuerung das Knappheitsproblem einer marktwirtschaftlichen Lösung zugeführt werden kann.

Nach der Methode des Drei-Schritt-Verfahrens wurden zuerst Wirkungsnetze auf der Grundlage der Systemdynamik und des Vernetzten Denkens aufgebaut, um die wichtigsten Faktoren bei der Interaktion zwischen Kraftstoffpreis und Fahrleistungen zu finden. Daran schloss sich eine Simulation des Wirkungsnetzes zur Gewinnung von Zukunftsvorhersagen an. Im dritten Schritt wurden die Simulationsergebnisse über eine Befragung abgesichert.

Die Ergebnisse erlauben eine erste Abschätzung der Reaktionen bei Kraftstoffpreisen bis zu 6,0 DM/l. Die Fahrleistungen im PKW-Freizeitverkehr lassen unter den Randbedingungen einer mittleren Einkommens- und Technikentwicklung ein Reduktionspotential von ca. 30 % bei einem Kraftstoffpreis von nominal 6,0 DM/l erwarten. Dieses Ergebnis basiert auf einem mittleren realen Einkommenszuwachs von 1 % im Jahr, einer mittleren Verbrauchsreduktion der PKW um 2,2 Liter pro 100 km und einer stufenweisen Anhebung des Kraftstoffpreises um jährlich 0,45 DM über einen Zeitraum von 10 Jahren.

Die angewandte Methodik ermöglicht bei Kenntnis entsprechender Elastizitätswerte eine Anwendung auf weitere Fahrtzwecke und Verkehrsarten und ist geeignet, Veränderungen der wirtschaftlichen und technischen Entwicklung zu berücksichtigen. Eine Hochrechnung zur Abschätzung des Gesamtreduktionspotentials im PKW-Individualverkehr lässt eine Lösung des Knappheitsproblems über die Kraftstoffbesteuerung allein oder neben anderen Maßnahmen möglich erscheinen.

Abstract

Leisure travel is the fastest growing travel market segment in Germany. A system-dynamic model of the interactions between the demand and the various factors influencing it was developed to improve our understanding of the processes. One central variable of the model is the fuel price. There is little literature about the elasticity of leisure travel demand with respect to fuel price in Germany. The core of the paper reports the results of survey of leisure travellers about their responses to fuel price increases, which was undertaken to improve our understanding. The travellers were interviewed at different locations around Stuttgart using a transfer price approach, a specific stated preference survey technique. The results showed that the traveller response was inelastic (< 1), but that the willingness of the respondents depended both on the distance to home and on the quality of the leisure activity. The empirical results were used in various policy simulations to assess the impact of different fuel price scenarios on leisure travel demand.

Literaturverzeichnis

- Axhausen, K.W. und P.M. Jones (1991) Straßengebühren – Ein Instrument des Verkehrsmanagements, *Bauwelt*, **82** (12) S. 606 – 613.
- Ben-Akiva, M.E. und S.R. Lerman (1985) *Discrete Choice Analysis*, MIT Press, Cambridge.
- Bundesverkehrsministerium (1992) Bundesverkehrswegeplan 1992, Bundesverkehrsministerium, Bonn.
- Dörner, D. (1981) Über die Schwierigkeiten menschlichen Umgangs mit Komplexität, *Psychologische Rundschau*, **7** S. 163 – 179.
- FGSV (1991) *Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE 95)*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1995.

- FGSV (1995) *Hinweise zur Messung von Präferenzstrukturen - die Methoden der "Stated Preferences"*, Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen, Köln.
- Goodwin, P.G. (1992) A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects of price changes, *Journal of Transport Economics and Policy*, **26** (2) S. 155 – 169.
- Gomez, P., und G. Probst (1987) Vernetztes Denken im Management, Schweizerische Volksbank, Bern (*Die Orientierung*, **89**).
- List, F. (1838) *Deutschlands National-Transport-System in volks- und staatswirtschaftlicher Beziehung beleuchtet*, Hammerich, Altona und Leipzig.
- Meuter, H. (1980) Die Bedeutung der Wohnbedingungen für die Freizeit, *Schriftenreihe*, **5**, Lehrstuhl für Straßenwesen und Erdbau, TU Braunschweig.
- Mitchell, R. und R. Carson (1989) *Using Surveys to Value Public Goods - The Contingent Valuation Method*, Resources for the Future, Washington.
- Mühlenkamp, H. (1994) *Kosten-Nutzen-Analyse*, Oldenburg, Wien.
- Oum T. (1992) Alternative demands and their elasticity estimates, *Journal of Transport Economics and Policy*, **33** (2) S. 139 – 154.
- Pommerehne, W. (1987) *Präferenzen für öffentliche Güter*, J.C.B. Mohr, Tübingen.
- Quinet, E. (1998) Full social cost of transportation in Europe, in D.L. Greene, D.W. Jones und M.A. Delucchi (Hrsg.) *The Full Costs and Benefits of Transportation*, 69-112, Springer, Heidelberg.
- Rosnay, J de (1975), *Le macroscope: Vers une vision globale*, Editions du senil, Paris.
- Schmid, M. (1996) Auswirkungen der Kraftstoffbesteuerung auf die PKW-Fahrleistungen im Freizeitverkehr, *Schriftenreihe*, **21**, Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Stein, A. (1977) Bestimmungsgrößen für die Ausflugshäufigkeit sozio-ökonomisch differenzierter Bevölkerungsgruppen in der Wochenendfreizeit, *Bericht*, **B11**, Institut für Stadtbauwesen der RWTH Aachen, Aachen.
- Verkehrsministerium Baden-Württemberg (1995) Generalverkehrsplan Baden-Württemberg 1995, Verkehrsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart.
- Verkehrsministerium Baden-Württemberg (1996) Verkehrsstärkenkarte 1995, Ausgabe 1996, Verkehrsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart.
- Vester, F. (1978) *Unsere Welt - ein vernetztes System*, Klett, Stuttgart.

Anhang: Die Funktionsbeziehungen des Flussdiagramms

Funktionsbeziehung I: Sie beschreibt die Fahrleistungsreduktion des PKW-Freizeitverkehrs bei steigendem Kraftstoffpreis ($\epsilon = -0,17$ bzw. $\epsilon = 0,13$).

Funktionsbeziehung II: Es wird die Wirkung der Kraftstoffkosten auf die Verkehrsmittelwahl nachgebildet ($\epsilon = -0,05$ bzw. $\epsilon = -0,08$).

Funktionsbeziehung III: Die Beziehung zeigt den Zusammenhang zwischen der Verkehrsmittelwahl und den Fahrleistungen im Freizeitverkehr auf ($\epsilon = -0,05 + (-0,17)$ bzw. $\epsilon = 0,08 + (-0,13)$).

Funktionsbeziehung IV: Sie zeigt, welche Auswirkungen die Einkommenshöhe auf die Verkehrsmittelwahl hervorruft.

Funktionsbeziehung V: Hier wird der Zusammenhang zwischen der Einkommenshöhe und den PKW-Fahrleistungen aufgezeigt.

Funktionsbeziehung VI: Diese Funktion zeichnet die Wirkungsweise der Kraftstoffkosten auf die Kfz-Technik nach.

Funktionsbeziehung VII: Hier wird die Wirkung der Kfz-Technik auf die PKW-Fahrleistungen beschrieben.

Funktionsbeziehung VIII: Sie zeigt auf, wie sich eine verbrauchsmindernde Kfz-Technik auf die streckenbezogenen Kraftstoffkosten auswirkt.

Modellierung von Mobilitätsdaten mit Methoden der Künstlichen Intelligenz

VON JOACHIM HUGO, BERLIN

Im Rahmen dieser Arbeit wird der herkömmliche Ansatz zur Modellierung des Modal-Splits (Logit-Modelle) verglichen mit Ansätzen der Künstlichen Intelligenz. Dies sind neuronale Netzwerke, Fuzzy-Systeme sowie eine Kombination beider Methoden, Neuro-Fuzzy-Systeme. Es wird exemplarisch die Anwendbarkeit der Ansätze zur Modellierung von Veränderungen des Modal-Splits zugunsten öffentlicher Verkehrsmittel untersucht.

1. Einleitung

Mobilitätsbefragungen wie die KONTIV 1989 oder neuerdings das Haushaltspanel [ZUM98] bilden eine wichtige Datengrundlage zur Erstellung von Verflechtungsmatrizen des Personenverkehrs sowohl für den gegenwärtigen Zustand als auch darauf aufbauend für Prognosen des Personenverkehrs. Ein Bestandteil des den Prognosen zugrundeliegenden Vierstufenmodells sind Verkehrsmittelwahlmodelle, sogenannte Modal-Split-Modelle.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Anwendbarkeit von herkömmlichen Modal-Split-Modellen wie Logit-Modellen (als ein Beispiel für ein diskretes Entscheidungsmodell) verglichen mit Ansätzen, die in der Künstlichen Intelligenz (KI) entwickelt wurden und die bislang kaum auf verkehrswissenschaftliche Fragestellungen angewandt wurden. Dies sind neuronale Netzwerke, Fuzzy-Systeme sowie eine Kombination beider Ansätze, sogenannte Neuro-Fuzzy-Systeme.

Es wird geklärt, wie die Methoden der Künstlichen Intelligenz, deren Anwendungsbereich bislang fast ausschließlich auf technische Fragestellungen beschränkt ist, sich auf sozialwissenschaftliche Aufgaben anwenden lassen. Das Hauptunterscheidungsmerkmal von sozialwissenschaftlichen gegenüber technischen Aufgaben besteht in der Einbeziehung von irrationalen Elementen, die notwendigerweise mit menschlichen Entscheidungsprozessen verknüpft sind. Schwerpunkte der vergleichenden Bewertung sind die Abbildung nichtlinearer Effekte wie Verstärkungen, Synergien und Sättigungseffekte.

Die zugrundeliegende Datenbasis [BRÜ95], die 485 Personen umfaßt, ist Teil der „Münchener Umweltstudie 1993“, die am Institut für Soziologie der Ludwig-Maximilians-Universität

Anschrift des Verfassers:
Dr. Joachim Hugo
Rheinsberger Straße 48
10435 Berlin

München erhoben wurden. Erfragt wurde u.a. der Verkehrszweck zwischen Wohnort und Arbeitsplatz in Form von Haushaltsbefragungen.

2. Logit-Modelle, neuronale Netzwerke, Fuzzy-Systeme

2.1 Logit-Modelle

Die Aufgabe von Entscheidungsmodellen besteht darin, das Entscheidungsverhalten von Individuen (Agenten) unter Berücksichtigung der vorhandenen Alternativen zu beschreiben. In Abhängigkeit der Mischbarkeit der Alternativen lassen sich zwei extreme Ansätze unterscheiden: stetige und diskrete Entscheidungsmodelle. Während stetige Entscheidungsmodelle benutzt werden, wenn die Alternativen in beliebigen Mischungsverhältnissen gewählt werden können, liegt der Anwendungsbereich diskreter Entscheidungsmodelle bei Entscheidungssituationen, wo unter einer endlichen Anzahl klar unterscheidbarer Möglichkeiten gewählt werden kann und die Alternativen nicht in beliebigen Anteilen gemischt werden können [MAI90].

Eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung diskreter Entscheidungsmodelle spielten Untersuchungen der Verkehrsökonomie und der Verkehrsplanung. Ein Schwerpunkt waren Modal-Split-Modelle [LAV69, BEN77]. Hierauf aufbauend wurden diskrete Entscheidungsmodelle angewandt für Routenwahl- und Zielwahlmodelle [DOM75] sowie für allgemeinere Untersuchungen in der Stadtplanung. Dies bewirkte die Kombination mehrerer Modellierungsebenen der Verkehrsmittel- und der Routenwahl, teilweise unter Umständen unter Hinzunahme weiterer Komponenten [BEN77]. Dies können die von der Stadt- und Regionalökonomie untersuchten Fragen der Standortentscheidung sein (also der Entscheidung von Personen und Haushalten über ihren Wohnstandort bzw. die Wohnungsnachfrage im allgemeinen) [AUF86].

Zur Bewertung der diskreten Alternativen wird für jede Alternative eine Nutzenfunktion $U(a_{in})$ definiert. Für sie gilt:

$$U(a_{in}) = U(\mathbf{C}_{in}, \mathbf{S}_n)$$

Hierbei werden die verschiedenen diskreten Alternativen a_{in} (zusammengefaßt durch die Alternativenmenge $A_n = \{a_{1n}, \dots, a_{In}\}$) durch einen Vektor \mathbf{C}_{in} , der die Charakteristika der Alternativen i , und durch einen Vektor \mathbf{S}_n , der die sozioökonomischen Charakteristika des Entscheidungsträgers n beschreibt, dargestellt.

Kennt das Individuum seine Nutzenfunktion und die Charakteristika aller Alternativen, so wird es diejenige Alternative wählen, die den höchsten Nutzen verspricht.

$$a_{opt,n} = \{a_{in} | U(a_{in}) \geq U(a_{jn}), \quad j = 1, \dots, m, a_{in} \in A_n\}$$

Während im stetigen Fall die Entscheidung durch den Marginalkalkül bestimmt wird (die optimale Alternative ist dann erreicht, wenn durch eine kleine Änderung in der Zusammensetzung der Alternative keine verfügbare Alternative mit höherem Nutzen erreicht werden kann), kann bei diskreten Entscheidungsmodellen die Reaktion auf marginale Änderungen sehr unterschiedlich sein. Sie reicht von der Beibehaltung der bisherigen Nachfragestruktur bis zu einer sprunghaften Entscheidungsänderung. Einen Ausweg aus dem Dilemma bietet die Zufallsnutzentheorie („random utility theory“) [MAN73, MAN77].

Sie geht davon aus, daß die oben beschriebene Optimierung zwar vom Entscheider durchgeführt wird, vom beobachteten Analytiker jedoch nicht in allen Einzelheiten dargestellt werden kann. Für ihn stellt der Nutzen daher eine Zufallsvariable dar. Der unvollständige Einblick kann folgende Ursachen haben:

- der Analytiker kennt nicht alle relevanten Charakteristika der Alternativen
- er kennt nicht alle relevanten sozioökonomischen Charakteristika des Individuums
- er kann die Werte der Charakteristika, die er als relevant erkennt, nicht exakt messen
- manche der relevanten Charakteristika sind nicht direkt, sondern nur indirekt über Instrumentvariable zu messen

Um eine formal und numerisch praktikable Untersuchung der Zufallsnutzentheorie zu ermöglichen, separiert man die Nutzenfunktion in einen deterministischen Anteil V und in einen stochastischen Anteil $\tilde{\epsilon}_{in}$:

$$\tilde{U}_{in} = V(\mathbf{C}_{in}^*, \mathbf{S}_n^*) + \tilde{\epsilon}_{in}$$

Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Individuum n die Alternative i wählt, ist danach gleich der Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Alternative i den höchsten (Zufalls-) Nutzen aufweist:

$$P(a_{in} = a_{opt,n}) = \text{Prob}(U_{in} \geq U_{jn}, \quad j = 1, \dots, m, a_{in} \in A_n) \text{ bzw.}$$

$$P_{in} = \text{Prob}(V_{in} + \epsilon_{in} - V_{jn} \geq \epsilon_{jn}, \quad j = 1, \dots, I_n)$$

$$= \text{Prob}(V_{in} - V_{jn} \geq \epsilon_{jn} - \epsilon_{in}, \quad j = 1, \dots, I_n)$$

Im allgemeinen wird als deterministische Nutzenfunktion V eine in den Parametern β_k lineare Funktion verwendet:

$$V_{in} = \sum_k \beta_k X_{kin} \quad \text{mit} \quad X_{kin} = g_k(\mathbf{C}_{in}, \mathbf{S}_n)$$

Die Funktionen g dürfen keine zu schätzenden Parameter enthalten. Der lineare Ansatz ist beliebt, da für die zu schätzenden Parameter gilt:

$$\partial V_{in} / \partial \beta_k = X_{kin}$$

Diskrete Entscheidungsmodelle werden danach eingeteilt, welche Verteilungsfunktion die stochastische Nutzenkomponente $\tilde{\epsilon}_{in}$ besitzt.

Ist die stochastische Nutzenkomponente $\tilde{\epsilon}_{in}$ unabhängig identisch Gumbel-verteilt, so erhält man das Logit-Modell [JOH70, DOM75, BEN85]. Es ist das am häufigsten angewandte multinomiale (d.h. mehr als zwei Entscheidungsalternativen) diskrete Entscheidungsmodell, dem auch die Berechnungen dieser Arbeit zugrunde liegen. Die Gumbel-Verteilung ist durch folgende Verteilungsfunktion charakterisiert:

$$\text{Prob}(X \leq c) = F(c) = \exp[-e^{-\mu(c-\eta)}] \quad \mu > 0$$

Damit gilt für die Dichtefunktion

$$f(c) = \mu e^{-\mu(c-\eta)} \exp[-e^{-\mu(c-\eta)}] \quad \mu > 0$$

Aus der Verteilung der Gumbel-Verteilung ergibt sich für die Auswahlwahrscheinlichkeit:

$$P_{in} = \frac{e^{\mu V_{in}}}{\sum_{j \in A_n} e^{\mu V_{jn}}}$$

Das Maximum mehrerer Gumbel-verteilter Zufallsvariablen mit identischem Streuungsparameter ist wiederum Gumbel-verteilt. Bei der Maximierung des Nutzens ist dies eine wichtige Eigenschaft. Die Verteilung ist rechtsschief. Die Ursache hierfür liegt darin, daß sie die Verteilung des Maximums von Zufallsvariablen darstellt und bereits ein hoher Wert für einen hohen Wert des Maximums ausreicht.

Eine besondere Eigenschaft des Logit-Modells ist dessen Unabhängigkeit des Verhältnisses der Auswahlwahrscheinlichkeiten zweier Alternativen von der Verfügbarkeit und den Charakteristika anderer (ähnlicher) Alternativen. Es gilt:

$$\frac{P_{in|in \in A}}{P_{jn|j \in A}} = \frac{P_{in|in \in \tilde{A}}}{P_{jn|j \in \tilde{A}}} \text{ mit } A \subseteq \tilde{A}, \text{ da}$$

$$\frac{P_{in}}{P_{jn}} = \frac{\exp(\mu V_{in})}{\sum_{k \in A_n} \exp(\mu V_{kn})} / \frac{\exp(\mu V_{jn})}{\sum_{k \in A_n} \exp(\mu V_{kn})} = e^{\mu(V_{in}-V_{jn})} = \text{konst}$$

Die Eigenschaft ist gleichzeitig Stärke und Schwäche des Logit-Modells. Es ist zwar leicht möglich, die Auswirkung von Veränderungen der Anzahl der Alternativen ohne besondere Schwierigkeiten zu simulieren.

Problematisch ist jedoch die Einführung einer weiteren, sehr ähnlichen Alternative („red bus-blue bus-Paradoxon“). Als Beispiel diene folgende Situation: es stehen bei einer Verkehrsmittelwahlentscheidung ein Auto und ein (roter) Bus zur Auswahl. Der Einfachheit halber gelte: $P(\text{Auto}) = P(\text{Bus}) = 0,50$. Bei einer weiteren Alternative eines (blauen) Busses wird erwartet, daß die zusätzliche Alternative zu Lasten des (roten) Busses geht und man $P(\text{Auto}) = 0,50$ sowie $P(\text{blauer Bus}) = P(\text{roter Bus}) = 0,25$ erhält. Nach dem Logit-Modell hingegen gilt: $P(\text{blauer Bus}) = P(\text{roter Bus}) = P(\text{Auto}) = 0,33$.

Ursache des Problems ist die Annahme unabhängig verteilter Zufallsterme in der Nutzenfunktion der Wirtschaftssubjekte. Sie verbietet es, Ähnlichkeiten zwischen den Alternativen zu modellieren, wie dies mit einer expliziten Kovarianzstruktur der einzelnen Zufallsterme möglich wäre. Eine Möglichkeiten zur Überwindung der Schwächen des Logit-Modells wäre das Probit-Modell, dessen numerische Behandlung jedoch wesentlich aufwendiger ist.

2.2 Neuronale Netzwerke

Neuronale Netzwerke sind Systeme, die einige der im menschlichen Gehirn erkannten oder vermuteten Organisationsprinzipien ausnutzen [ECC90, ECC94]. Sie bestehen aus einer Vielzahl einfacher Prozessoren, den Neuronen, die über gewichtete Verbindungen miteinander Nachrichten austauschen.

Neuronale Netzwerke stehen für ein neues Paradigma in der Künstlichen Intelligenz (KI). Bisherige Systeme bildeten Wissen regelbasiert auf der Grundlage herkömmlicher Computer ab. Diese Art der Wissensrepräsentation wird als symbolisch bezeichnet. Im Gegensatz dazu wird Wissen in neuronalen Netzwerken über das ganze Netzwerk in Gewichten verteilt (subsymbolisch) gespeichert. Die Speicherung basiert auf der Modellierung assoziativer und intuitiver Vorgänge mit Hilfe selbstorganisierender Prozesse. Wissen muß in weiten Teilen nicht mehr formalisiert werden, sondern kann sich durch den Lernprozeß selbst herabilden. Formale Neuronen können als ein Addierer mit Schwellwert betrachtet werden, mit dem sich prinzipiell jede beliebige logische Funktion aufbauen läßt. Im einfachsten Fall berechnet das Modellneuron die resultierende Aktivität z formal als Skalarprodukt:

$$z(\mathbf{w}, \mathbf{x}) = \sum_j w_j x_j = \mathbf{w}^T \mathbf{x} - s$$

$$\text{mit } \mathbf{x} \rightarrow \mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T \text{ und } \mathbf{w} \rightarrow \mathbf{w} = (w_1, \dots, w_n)^T.$$

Die Aktivität y am Neuronenausgang wird bestimmt durch die Ausgabefunktion („activation function“) $y = S(z)$. Eine typische Funktionen $S(z)$ ist die sigmoide Ausgabefunktion (Fermi-

$$\text{Funktion) } S(z) = \frac{1}{1 + \exp(-kz)}.$$

Neuronen können zu einem neuronalen Netzwerk verschaltet werden. Sie verarbeiten ihre Eingaben vollständig parallel und unabhängig voneinander. Ein Hauptunterscheidungsmerkmal hinsichtlich ihrer Architektur sind Netze mit und ohne Rückkopplungen. Bei einem Netz ohne Rückkopplungen (einem feed-forward Netz), wie sie hier benutzt werden, unterscheidet man zwischen verschiedenen Schichten des Netzes. Verbindungen existieren nur zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schichten. Die Verbindungen sind gerichtet und laufen von einer unteren zu einer darüberliegenden Schicht. Derartige Netzwerke werden als Bottom-Up-Modelle bezeichnet.

Lernalgorithmen ermöglichen die adaptive Veränderung der Gewichtematrix W während der Lernphase. Sie stellen die interessanteste Komponente neuronaler Netze dar. Das Ziel des Lernvorgangs ist es, W so zu bestimmen, daß es auf eine bestimmte Eingabe mit einer gewünschten Ausgabe reagiert und auf diese Weise auch auf neue (unbekannte) Eingaben mit einer geeigneten Reaktion antwortet. Diese Fähigkeit wird als Generalisierung bezeichnet. Dazu muß das Netz während der Lernphase die signifikanten Merkmale der Eingabemuster extrahieren. Sie gestattet es neuronalen Netzwerken, auf gestörte, verrauschte oder unvollständige Muster in etwa so zu reagieren, als läge eine korrekte Eingabe vor. Dies gelingt jedoch nur, wenn sich das unbekannte Muster einem der gelernten Klassen zuordnen läßt. Zur Bestimmung von W wird die erhaltene mit der erwünschten Ausgabe verglichen. Dies erfordert die Einführung eines Ähnlichkeits- oder Fehlermaßes, das von der Netzwerkarbeit und vom Lernvorgang abhängt.

Die hier benutzten Backpropagation-Netzwerke besitzen die in Abbildung 1 dargestellte Architektur. Im konkreten Fall werden dem Netzwerk über die Neuronen der Eingangsschicht die Antworten der befragten Personen zu den Fragen des im Anhang dargestellten Fragebogens zugespielt. Die Neuronen der Ausgangsschicht beinhalten die verschiedenen wählbaren Verkehrsmittel. In der Trainingsphase werden dem Netzwerk sämtliche Daten einschließlich der Verkehrsmittelwahl präsentiert. In der nachfolgenden Testphase wird überprüft, inwieweit das Netzwerk in der Lage ist, unbekannte Datensätze einem Verkehrsmittel zuzuordnen.

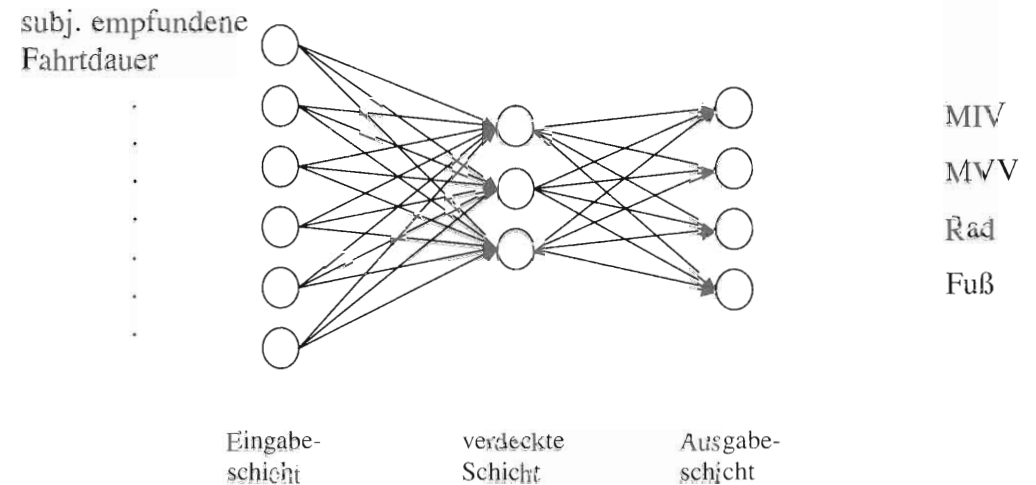


Abbildung 1: Schema des Backpropagation-Netzwerks, sämtliche Eingangsparameter des Netzwerks sind im Anhang aufgelistet

Der zu dem Netzwerk gehörende Lernalgorithmus wird als Backpropagation-Algorithmus bezeichnet [WER74]. Man versteht darunter die rückwärtige Ausbreitung eines Fehlersignals durch das Netzwerk. Der Grundgedanke der Regel besteht darin, nach der Ausbreitung des Musters durch das Netzwerk das erhaltene Ausgabemuster mit der erwünschten Ausgabe zu vergleichen. Das ermittelte Fehlersignal breitet sich rückwärts durch das Netz aus. Dies erlaubt nicht nur die Berechnung der Fehler jeder Ausgabeeinheit (und damit die Ermittlung der Fehler der Gewichte, die zu den Ausgabeeinheiten führen), sondern auch die Ermittlung der Fehler der zu den inneren Neuronen führenden Gewichte. Auf der Ermittlung der Fehlerbestimmung der inneren Neuronen beruht die besondere Leistung des Lernverfahrens.

2.3 Fuzzy-Systeme

Fuzzy-Systeme als ein Beispiel für Expertensysteme bestehen aus einer problemunabhängigen Komponente (dem Inferenzmechanismus) und einer problemabhängigen Komponente (der Wissensbasis). Häufig sind in beiden Komponenten große Mengen an Wissen zu integrieren. Eine zu große Menge an Wissen ist jedoch kritisch für den Erfolg eines Systems. Eine Möglichkeit der Bewältigung des Wissens besteht in einer Zunahme der Systemorganisation. Eine weitere Alternative ist die bewußte Einbeziehung der Reduktion des Präzisionsgrads der einfließenden Information unter Benutzung von Vagheits- und Unsicherheitsaspekten. Dies geschieht in Systemen mit Fuzzy-Logik [ZAD65, ZAD73]. Analog den herkömmlichen Expertensystemen werden auch in Fuzzy-Systemen Methoden der Wissensrepräsentation und -propagation benötigt.

Eine weitere Motivation von Fuzzy-Systemen besteht darin, daß komplizierte Steuerungsaufgaben häufig ohne die Kenntnis eines physikalisch-mathematischen Modells lösbar sind. So sind menschliche Bediener in der Lage, Fahrrad zu fahren, ohne die genauen mechanischen Gesetze zu kennen. Es bietet sich daher an, den Prozeß so zu modellieren und zu simulieren, wie ihn ein menschlicher Experte beschreibt. Dies wird als kognitive Analyse bezeichnet. Die Formulierung der Regeln geschieht durch linguistische Variablen („groß“, „schnell“).

Fuzzy-Systeme wurden ursprünglich im Bereich regelungstechnischer Anwendungen als Fuzzy-Control angewandt. Die Lösung einer regelungstechnischen Aufgabe besteht in der Angabe einer Kontrollfunktion $\varphi: X_1 \times \dots \times X_n \rightarrow Y$, die zu jedem Tupel von Meßwerten $(x_1, \dots, x_n) \in X_1 \times \dots \times X_n$ einen geeigneten Stellwert $y = \varphi(x_1, \dots, x_n)$ bestimmt. Ein Fuzzy-Regler muß demnach eine Interpolationsaufgabe lösen. Er ist dazu in der Lage, da er prinzipiell jede stetig differenzierbare Funktion approximieren kann. Fuzzy-Systeme können daher auch wie im Rahmen dieser Arbeit im Bereich der Mustererkennung eingesetzt werden.

Im Gegensatz zur klassischen Mengenlehre, wo Elemente entweder zu einer Menge gehören oder nicht, weisen die meisten Begriffe der Umgangssprache (linguistische Variable) keine derartigen Sprungstellen auf, sondern eher gleitende Übergänge zwischen einzelnen Extrema („jung-alt“). Mathematisch lassen sich gleitende Übergänge durch die Einführung gradueller Zugehörigkeitsgrade aus dem kompakten Intervall $[0,1]$ beschreiben. Derartige verallgemeinerte charakteristische Funktionen sind in der Lage, nicht nur scharfe klassische Mengen, sondern auch unscharfe Mengen (Fuzzy-Mengen) zur Darstellung linguistischer Variablen zu beschreiben. Eine Fuzzy-Menge μ läßt sich durch folgende Funktion beschreiben:

$$\mu: X \rightarrow [0,1]$$

Wissenspropagation in Fuzzy-Systemen geschieht durch die Inferenz (das Zusammenwirken) mehrerer Regeln (Implikationen), die zu einer Regelbasis zusammengefaßt werden. Die Regeln R_i besitzen folgende Form:

$$R_i: \text{if } X_1 \text{ is } \mu_{\alpha 1} \text{ and...and } X_n \text{ is } \mu_{\alpha n} \text{ then } Y \text{ is } \mu_{\beta}$$

Im Gegensatz zu herkömmlichen regelungstechnischen Methoden, bei denen der Prozeß modelliert wird, existiert die Möglichkeit, das Verhalten eines Menschen zu modellieren und zu simulieren, der diesen Prozeß regeln kann. Das Aufstellen eines Modells für das Verhalten eines „menschlichen Regelungsexperten“ wird als kognitive Analyse bezeichnet. Ein solches Modell setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

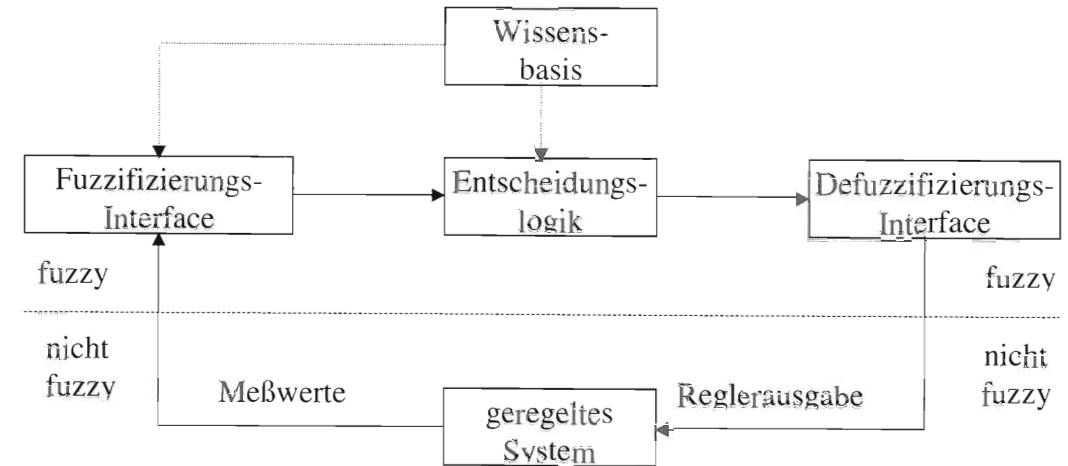


Abbildung 2: Architektur eines Fuzzy-Reglers

- das Fuzzifizierungs-Interface nimmt den aktuellen Meßwert auf und führt gegebenenfalls eine Transformation in einen geeigneten Wertebereich durch (u.a. in einen linguistischen Term oder in eine Fuzzy-Menge)
- die Wissensbasis setzt sich aus einer Daten- und aus einer Regelbasis zusammen. Die Datenbasis beinhaltet die Informationen über die Wertebereiche der Meß- und Stellgrößen, eventuelle Normierungen sowie die zu den Termen assoziierten Fuzzy-Mengen. Die Regelbasis beinhaltet die linguistischen Kontrollregeln
- die Entscheidungslogik stellt das Rechenwerk des Fuzzy-Reglers dar. Mit ihm werden aus den Meßgrößen mit Hilfe der Wissensbasis Informationen über die Stellgröße gewonnen
- das Defuzzifizierungs-Interface ermittelt aus der von der Entscheidungslogik gelieferten Information über die Stellgröße einen scharfen Stellwert

2.4 Neuro-Fuzzy-Systeme

Neuronale Netzwerke und Fuzzy-Systeme sind zwei Teilbereiche des Forschungsgebiets „Künstliche Intelligenz“ (KI). Sie lassen sich unter dem Begriff „Soft-Computing“ zusammenfassen. Man versteht darunter wissensbasierte Techniken, die in der Lage sind, mit unvollständigen, gestörten oder ungenauen Eingaben dennoch eine akzeptable Ausgabe zu liefern.

Beide Verfahren sind im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen der KI in der Lage, ihnen unbekannte Daten aufzunehmen und damit neue Fakten zu definieren. Sie besitzen die Fähigkeit, approximative Folgerungen ziehen zu können, die unabhängig von den mathematischen Modellen der Datenanalyse sind. Werden allerdings neuronalen Netzwerken bzw. Fuzzy-Systemen Daten präsentiert, deren Sachverhalt während des Lernvorgangs nicht angemessen berücksichtigt wurde bzw. nicht durch die Regelbasis definiert wurde, so kann dies zu einem Versagen beider Systeme führen. Die Flexibilität beschränkt sich daher bei beiden Systemen auf die Bildung von Analogieschlüssen.

Die Fähigkeit zur Bildung von Analogieschlüssen beider Alternativen kommt bei der Modellierung von Veränderungspotentialen des Modal-Splits zum Tragen. Es existiert bislang keine Formel, die alle Einflußfaktoren des Modal-Splits explizit darstellt. Statistische Methoden bieten einen Ausweg; problematisch wird dieser Weg jedoch bei zu vielen Einflußfaktoren. Es besteht dann die Gefahr, daß die Beziehungen nur sehr vage geschätzt werden können und die Statistik wegen zu vieler ungenauer Variablen nichtssagend wird [SPI93].

Die Stärken neuronaler Netzwerke liegen vor allem in deren Lernfähigkeit, ohne im herkömmlichen Sinne programmiert sein zu müssen. Daneben erlaubt ihre verteilte Struktur, auch hochgradig parallele Implementierungen und Hardware-Realisierungen zuzulassen. Sie liefern akzeptable Lösungen, auch wenn ein Teil ihrer Eingaben unvollständig, gestört oder ungenau ist.

Jedoch ist die Problemlösung bei neuronalen Netzwerken implizit in den Gewichten kodiert und nur in den seltensten Fällen in Form von Regeln sinnvoll interpretierbar. Man spricht daher von einem Black-Box-Verhalten des Netzwerks. Es erfüllt zwar eine gewünschte Funktion, läßt aber nicht erkennen, wie es diese ermittelt. Daraus folgt, daß sich weder bereits vorhandenes Wissen zur Initialisierung in ein Netzwerk integrieren noch daß sich (Teil-) Wissen extrahieren läßt.

Vorteilhaft an Fuzzy-Systemen ist deren Fähigkeit, Wissensdarstellung und Wissenspropagation durch die Verwendung einer Regelbasis transparent darstellen zu können. Durch die Trennung in eine problemunabhängige Komponente (den Inferenzmechanismus) und in eine problemabhängige Komponente (die Wissensbasis) läßt sich jederzeit Wissen integrieren bzw. extrahieren.

Fuzzy-Logik kann die Daten jedoch nur dann analysieren, wenn die Wissens- und die Regelbasis vollständig und ohne Widersprüche sind. Ist dies nicht der Fall, ist eine Nachbearbeitung der Regeln und/oder der linguistischen Werte der Zugehörigkeitsfunktionen („Fine-Tuning“) unumgänglich. Hierfür muß heuristisch vorgegangen werden, da keine formalen Methoden existieren. Bei komplizierteren Fuzzy-Systemen ist eine solche Anpassung bzw. Optimierung der Zugehörigkeitsgrade nahezu unmöglich. Werden neben dem Hinzufügen, Entfernen oder Ändern einzelner Regeln der Regelbasis weitere Verfahren wie zum Beispiel

die Gewichtung von Regeln eingesetzt, so wird die Semantik des Fuzzy-Systems aufgegeben [ALT92, KOS92].

Neuronale Netzwerke	Fuzzy-Logik
Vorteile	
<ul style="list-style-type: none"> - kein mathematisches Prozeßmodell notwendig - kein Regelwissen notwendig - verschiedene Lernalgorithmen 	<ul style="list-style-type: none"> - kein mathematisches Prozeßmodell notwendig - a-priori (Regel-) Wissen nutzbar - einfache Interpretation und Implementation
Nachteile	
<ul style="list-style-type: none"> - Black-Box-Verhalten - kein Regelwissen extrahierbar - heuristische Wahl der Netzparameter - Anpassung an veränderte Parameter ist eventuell schwierig und kann eine Wiederholung des Lernvorgangs erfordern - kein a-priori Wissen verwendbar - der Lernvorgang konvergiert nicht garantiert - unter Umständen lange Trainingsdauer 	<ul style="list-style-type: none"> - Regelwissen muß verfügbar sein - nicht lernfähig - keine formalen Methoden für „tuning“ - semantische Probleme bei der Interpretation „getunter“ Regler - Anpassung an veränderte Parameter eventuell schwierig - ein „Tuning“-Versuch kann erfolglos bleiben

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile von neuronalen Netzwerken und Fuzzy-Systemen [NAU96]

Da die artspezifischen Vorteile der neuronalen Netze gerade den Nachteilen von Fuzzy-Systemen entsprechen und umgekehrt, erscheint es sinnvoll, beide Systeme miteinander zu kombinieren. Es kann die Lernfähigkeit neuronaler Netze dazu genutzt werden, die Parameter eines Fuzzy-Systems in einem Adaptionprozeß an die gegebenen Anforderungen anzupassen. Derartige Systeme werden als neuronale Fuzzy-Systeme oder Neuro-Fuzzy-Systeme bezeichnet. Sie ermöglichen die Integration von Lernverfahren in Fuzzy-Systemen. Erlernen bedeutet hierbei die vollständige Erzeugung der Regelbasis bzw. der Zugehörigkeitsfunktionen.

Neuronale Netzwerke profitieren davon, da sich durch Fuzzy-Logik a-priori Wissen in das System integrieren läßt. Bereits bekannte Regeln und Zugehörigkeitsfunktionen können für eine Initialisierung des Systems genutzt werden, was eine erhebliche Verkürzung des Lernvorgangs bewirkt. Das Black-Box-Verhalten des neuronalen Netzwerks läßt sich vermeiden, da der Lernprozeß mit einer Anpassung der Zugehörigkeitsfunktionen bzw. der Regelbasis

endet, die weiterhin als Standard-Fuzzy-System interpretierbar sind [NAU92]. Auf diese Weise läßt sich dem System sogar neues Wissen entnehmen. Der Gewinn für Fuzzy-Systeme besteht darin, daß die Systeme lernfähig sind.

Die Architektur wird meist durch die Regeln und die unscharfen Mengen festgelegt [BER92, KRU92, NAU93]. Dadurch entfällt die heuristische Bestimmung von Netzparametern (wie der Anzahl der inneren Einheiten des neuronalen Netzwerks).

Jedoch läßt sich auch durch die Kombination beider Methoden nach wie vor kein Lernerfolg bzw. analog keine Verbesserung des Regelverhaltens durch Tuning garantieren.

3. Ergebnisse

Von der Befragtengruppe nutzten 41,0 % das Auto, 42,9 % den Münchner Verkehrsverbund (MVV), 9,3 % das Fahrrad als Verkehrsmittel, 6,8 % gingen zu Fuß zur Arbeit. Teilweise wurde eine Kombination verschiedener Verkehrsmittel genutzt. In diesem Fall wurde von den Befragten das anteilmäßig wichtigste Verkehrsmittel genannt. Abhängig von diversen Bestimmungsgrößen lassen sich zum Teil erhebliche Schwankungen der Verkehrsmittelwahl (des Modal-Split) feststellen. Derartige Parameter sind die Verfügbarkeit einer problemlosen Parkmöglichkeit am Arbeitsplatz, die Entfernung Wohnort-Arbeitsplatz, die Umsteigehäufigkeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln, das monatliche Nettoeinkommen sowie die subjektive Einschätzung der Zeit- (einschließlich der Umsteigehäufigkeit), Bequemlichkeits- und Kostenparameter der einzelnen Verkehrsmittel.

3.1 Darstellung der Veränderungspotentiale des Modal-Splits mit Logit-Modellen

Die Verkehrsmittelwahl läßt sich als ein zweistufiger Entscheidungsprozeß auffassen, der u.a. durch ein Nested Logit-Modell [MAI90] beschrieben werden kann. Auf der ersten Stufe entscheidet man zwischen einem motorisierten und einem unmotorisierten Verkehrsmittel. Hat man sich für ein motorisiertes Verkehrsmittel entschieden, so hat man auf der zweiten Stufe die Wahl zwischen dem Auto und dem Münchner Verkehrsverbund (MVV). Die Modellierung ist jedoch recht kompliziert.

Da die erste Entscheidung die im wesentlichen eingeschworene Benutzergruppe von Rad und Fuß betrifft und für verkehrspolitische Belange die erste Entscheidungsstufe weniger von Bedeutung ist, interessiert vor allem die Frage, wie und in welchem Umfang Änderungen des Verkehrsmittelwahlverhaltens zwischen Auto und MVV erhalten werden können. Beim Vorhandensein dieser Entscheidungsstruktur können die Parameter der zweiten Stufe auch ohne Beachtung der ersten Stufe unverzerrt geschätzt werden. Man benutzt als statistisches Analyseverfahren das Logit-Modell.

Zur Schätzung der Elastizitäten wird das Programmpaket LIMPED [GRE92] benutzt. Der deterministische Teil der Nutzenfunktion ist wie üblich linear, so daß die Elastizitäten Konstanten sind.

Als unabhängige Variablen werden die drei von jedem Individuum erhobenen subjektiven Kostenattribute sowie die Personenmerkmale (Geschlecht, Alter, Bildung, in Ausbildung befindlich, Einkommen, Umweltbewußtsein) berücksichtigt. Als zusätzliche Kontrollvariable dient die Frage, ob eine Person ein Auto besitzt.

Die Elastizitäten der Kostenattribute geben die Gewichtung an, mit denen die Einflußfaktoren in die Nutzenfunktion eingehen. Da ihre absolute Größen (wie generell üblich bei Elastizitäten) von der Skalierung abhängig sind, erlauben sie nur relative Aussagen über das Verhältnis zweier Größen. Der Bezugspunkt der ermittelten Effekte ist die Wahrscheinlichkeit der Wahl des Autos als Verkehrsmittel.

Variable	Modell 1	Modell 2
Zeitkosten		-0,50 (3,83)
Unbequemlichkeit		-0,75 (4,42)
Geldkosten		-0,42 (3,35)
Konstante	-2,72 (2,47)	-5,89 (3,25)
Frau	-0,22 (0,75)	-0,67 (1,45)
Alter in Jahren / 10	0,05 (0,38)	0,16 (0,82)
Mittlere Reife	0,25 (0,63)	0,66 (1,14)
(Fach-) Abitur	0,06 (0,16)	0,10 (0,19)
In Ausbildung	-1,54 (2,66)	-0,98 (1,18)
Einkommen in DM / 1000	0,09 (1,12)	0,08 (0,67)
Umweltbewußtsein	0,02 (0,36)	0,08 (1,11)
Person besitzt Auto	2,56 (5,45)	2,75 (4,05)
Pseudo R^2	19,7 %	57,8 %
Fallzahl	268	268

Tabelle 2: Konditionale Logit-Modelle der Verkehrsmittelwahl [BRÜ95]

Das Modell 1 enthält zur Erklärung des Verkehrsmittelwahlverhaltens nur Personenmerkmale. Es entspricht damit dem gewöhnlichen Logit-Regressionsmodell, wie es in sozialwissenschaftlichen Untersuchungen häufig benutzt wird. Allerdings ist der Erklärungsbeitrag der Personenmerkmale relativ gering, wie der Pseudo R^2 Wert von 19,7 % zeigt.

Werden hingegen wie in Modell 2 zusätzlich die subjektiven Kostenattribute (quantifiziert durch Schulnoten) aufgenommen, so steigt die Erklärungskraft des Modells erheblich. Die subjektiven Einstellungen zu den Verkehrsmitteln spielen demnach eine entscheidende Rolle.

Die negativen Vorzeichen der Kostenattribute zeigen, daß eine Kostenerhöhung den Nutzen einer Alternative senkt und damit auch deren Wahrscheinlichkeit. Die stärkste Abhängigkeit besteht beim Bequemlichkeitsparameter, die geringste beim Preis. Es kann daher erwartet werden, daß eine Senkung des Tarifs des MVV oder eine Erhöhung des Benzinpreises nur eine geringe Veränderung auf das Verkehrsmittelwahlverhalten ausüben werden. Um den Modal-Split zugunsten des MVV zu verschieben, haben Maßnahmen, die die Bequemlichkeit des MVV erhöhen, einen ungleich größeren Einfluß.

Von Interesse ist weiter, wie leicht oder schwer sich die getroffene Verkehrsmittelwahl verändern läßt. Das Zufallsnutzenmodell ermöglicht es, für jede Person den erwarteten Nutzen jeder Alternative zu errechnen. Je nach Höhe der Nutzendifferenz zwischen der Auto- und der MVV-Alternative erhält man Auskunft, wie festgefahren eine Entscheidung für ein Verkehrsmittel ist. Es zeigt sich, daß i.allg. die Nutzendifferenz der MVV-Nutzer näher am Nullpunkt liegt als die der Auto-Nutzer. Allerdings treten bei einem Teil der MVV-Nutzer sehr hohe Werte auf. Dies dürften Personen sein, die ein Auto nie benutzen (Personen unter 18 Jahre, Personen ohne Führerschein,...). Da die Mehrzahl der MVV-Nutzer dennoch näher am Nullpunkt liegt als die Auto-Nutzer, kann davon ausgegangen werden, daß bei einer Fahrpreiserhöhung eher eine Wanderung zum Auto hin stattfindet als umgekehrt bei einer Fahrpreiserhöhung eine Wanderung zum MVV.

3.2 Darstellung der Veränderungspotentiale des Modal-Splits mit neuronalen Netzwerken

Zur Modellierung des neuronalen Netzwerks wird das Programm NNU der Firma IBM benutzt [HUG98]. Wie üblich bei neuronalen Netzwerken, wird der insgesamt 485 Muster umfassende Datensatz in einen 400 Muster umfassenden Trainingsdatensatz und in einen 85 Muster umfassenden Testdatensatz aufgeteilt. Der Trainingsdatensatz klassifiziert 99 % der Muster richtig. Dies entspricht vier falsch zugeordneten Mustern. Beim Testdatensatz werden 62,4 % aller Muster richtig klassifiziert (dies entspricht 53 richtig klassifizierten Mustern). Die restlichen Muster wurden zu gleichen Anteilen entweder falsch klassifiziert oder sie konnten keinem der Verkehrsmittel zugeordnet werden.

Der Anteil von 62,4 % richtig klassifizierten Mustern erscheint sehr gering. Jedoch ist zu beachten, daß Verkehrsmittelwahlmodelle eine sozialwissenschaftliche Untersuchung sind und somit immer das irrationale menschliche Element berücksichtigt werden muß. Die meisten bisherigen Anwendungen neuronaler Netzwerke betrafen technische Systeme, die sich vollkommen rationell verhalten. Eine Folge davon ist, daß auch die Präsentation unbekannter Muster bestimmten nachvollziehbaren Situationen entspricht, die einen höheren Anteil richtig klassifizierter Testmuster bewirken.

Präsentiert man dem fertig trainierten Netz als erste Gütekontrolle den gesamten, 485 Muster umfassenden Datensatz, so wird durch das Netz folgender Modal-Split berechnet:

	Auto	MVV	Rad	Fuß
Ausgangsdatensatz	41,0 %	42,9 %	9,3 %	6,8 %
durch das trainierte Netz klassifiziert	42,8 %	43,0 %	7,6 %	6,6 %

Tabelle 3: erste Gütekontrolle des trainierten Netzes durch Präsentation des Ausgangsdatensatzes

Die Anteile der Verkehrsträger MVV und des zu Fußgehens werden nahezu identisch wiedergegeben (0,1 bzw. 0,2 % Abweichung). Hingegen liegt die Abweichung bei den Verkehrsträgern Auto bzw. Rad bei fast 2 %. Die Ursache hierfür sind die falsch bzw. gar nicht klassifizierten Muster des Testdatensatzes.

Zur Berechnung der Veränderungspotentiale des Modal-Splits werden dem fertig trainierten Netz, dessen Gewichtswerte sich nicht mehr ändern, modifizierte Formen des ursprünglichen (485 Muster umfassenden) Datensatzes präsentiert. Die Modifizierung kann sowohl die Veränderung einzelner Parameter (u.a. der subjektiv empfundenen Reisezeit des MVV) betreffen als auch das Zusammenwirken mehrerer Veränderungsmaßnahmen (Veränderung der subjektiv empfundenen Parameter Reisezeit und -bequemlichkeit des MVV). Je nach Stärke und Kombination der Abweichungen werden nichtlineare Effekte wie Verstärkungen, Sättigungen und Synergieeffekte erwartet.

Exemplarisch sei im folgenden (neben der Änderung eines Parameters, wie sie in der diesem Artikel zugrundeliegenden Dissertation durchgeführt wurde,) die Modifizierung des Modal-Splits bei gleichzeitiger Veränderung der Einschätzung von Fahrdauer und -bequemlichkeit des MVV sowie der Umsteigehäufigkeit dargestellt. Ein zusätzlicher bzw. eingesparter Umsteigevorgang entspricht einer Veränderung der Reisezeit um ± 5 min. Die Veränderungspotentiale werden derart kombiniert, daß eine um eine Note verbesserte Bewertung von Fahrdauer und -bequemlichkeit des MVV gemeinsam mit einem eingesparten Umsteigevorgang untersucht werden. Die Simulation wird unter der Bezeichnung „ein Punkt zugunsten MVV“ zusammengefaßt. Analog werden die übrigen Veränderungspotentiale zugunsten und zuungunsten des MVV dargestellt.

Es zeigt sich, daß mehrere Einflußfaktoren so kombiniert werden können, daß sie sich in ihrer Wirkung verstärken. Sie bewirken größere Verschiebungspotentiale als die separate Behandlung einzelner Einflußfaktoren. Bei einer Verbesserung um eine bzw. zwei Noten treten Verstärkungseffekte im Vergleich zur Simulation mit ausschließlich veränderter Fahrdauer und -bequemlichkeit auf. Allerdings treten wiederum Sättigungseffekte bei einer Veränderung um ± 3 Bewertungseinheiten auf. Dies deutet darauf hin, daß ein Anteil zwischen 65 und 70 % des MVV am Modal-Split des Berufsverkehrs ohne Beeinflussung des

Individualverkehrs einen gewissen Grenzwert darstellt. Vergleichbare Anteile des öffentlichen Verkehrs am Modal-Split werden derzeit in Zentren von Ballungsräumen beobachtet.

	Auto	MVV	Rad	Fuß
drei Punkte zugunsten MVV	15,5 %	69,8 %	9,7 %	5,0 %
zwei Punkte zugunsten MVV	22,2 %	64,6 %	7,8 %	5,3 %
ein Punkt zugunsten MVV	31,1 %	54,8 %	7,8 %	6,3 %
Ausgangsverteilung	42,8 %	43,0 %	7,6 %	6,6 %
ein Punkt zuungunsten MVV	54,0 %	31,3 %	5,7 %	9,0 %
zwei Punkte zuungunsten MVV	61,4 %	24,5 %	4,5 %	9,6 %
drei Punkte zuungunsten MVV	64,5 %	21,2 %	4,4 %	9,9 %

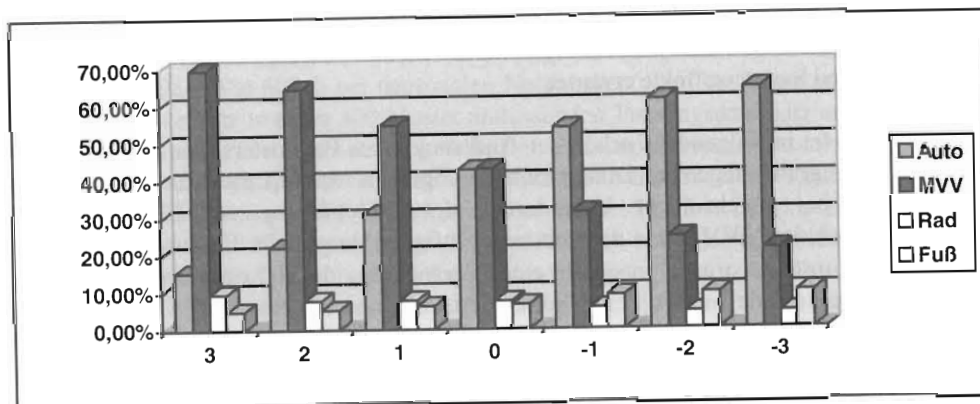


Abbildung 3: Abhängigkeit des Modal-Splits aus einer Kombination von subjektiv empfundener Fahrdauer und -bequemlichkeit sowie der Umsteigehäufigkeit

Ein Unsicherheitsfaktor neuronaler Netzwerke ist die Anzahl der nichtklassifizierbaren und die der falsch klassifizierten Muster. Der Anteil der falsch klassifizierten Muster des Trainings- und des Testdatensatzes beträgt zusammen 20 Muster. Dies entspricht 4,1 % aller Muster. Es kann davon ausgegangen werden, daß ihre Anzahl auch bei veränderten Eingangsmustern konstant bleibt, da sie auf den oben genannten irrationalen menschlichen

Verhaltensweisen beruhen. Sie stellen damit einen unvermeidlichen, aber konstanten Fehler dar. Da die Ausgangsmuster trotzdem weitgehend befriedigend klassifiziert wurden, wird diese mögliche Fehlerquelle als weitgehend vernachlässigbar angesehen und daher nicht mehr weiter untersucht.

Etwas anders ist die Lage bei den nicht klassifizierbaren Mustern. Während das Netz bei der Präsentation des ursprünglichen Datensatzes 25 Muster nicht klassifizieren kann (dies entspricht 5,1 % aller Muster), steigt der Anteil je nach Stärke der Veränderung der Präsentationsmuster auf bis zu 94 nichtklassifizierten Mustern an (dies entspricht 19,4 % aller Muster). Es kann hier also nicht angenommen werden, daß die nicht klassifizierbaren Muster eine konstante Fehlerquelle darstellen. Wengleich nicht davon ausgegangen werden kann, daß alle nichtklassifizierbaren Muster nur von einer Verkehrsart stammen, so relativiert sich die Aussagekraft der Simulationsergebnisse eher auf Abschätzungen denn auf Vorhersagen im Dezimalbereich. Diese Schwierigkeit wird allerdings dadurch relativiert, daß bei gleichzeitiger Änderung mehrerer Parameter um mehrere Größenordnungen derart große Veränderungen des Modal-Splits prognostiziert werden, wie sie derzeit ohnehin nicht denkbar sind.

Es hat sich darüber hinaus gezeigt, daß das neuronale Netzwerk nicht eines externen (menschlichen) Experten entbehrt, der überprüft, ob alle als wichtig vermuteten Einflußparameter in etwa gleichberechtigt vertreten sind. Ansonsten besteht die Gefahr, daß das Netzwerk einen Einfluß fälschlicherweise als unbedeutend erkennt.

Gegenüber Logit-Modellen, die i.allg. lineare Regressionsverfahren benutzen, erlauben neuronale Netzwerke deutlich weitergehende Analysen. Der Hauptvorteil neuronaler Netzwerke besteht darin, daß in Abhängigkeit der Stärke von Veränderungsszenarien Nichtlinearitäten dargestellt werden können. Es besteht die Möglichkeit, die Stärke der Veränderung des Modal-Splits in Abhängigkeit auch mehrerer Einflußfaktoren gleichzeitig nahezu stetig darzustellen. Statistische Modelle hingegen erlauben unter Verwendung der linearen Regression nur die Darstellung linearer Abhängigkeiten eines einzelnen Einflußfaktors. Es besteht die Möglichkeit, mittels nichtlinearer Regression gleichzeitig mehrere Parameter zu verändern. Im Vergleich zu neuronalen Netzwerken ist dieses Verfahren jedoch wesentlich umständlicher und es liefert Resultate, die weniger signifikant sind.

Neuronale Netzwerke erlauben i.allg. zuverlässige Vorhersagen, obwohl die Genauigkeitsanforderungen wesentlich höher sind als die an statistische Modelle. Während bei statistischen Modellen die Alternative als gewählt angenommen wird, deren Attraktivität den höchsten Wert aufweist, unabhängig von deren Betrag, wird bei neuronalen Netzwerken unter Verwendung eines Klassifikationsobjekts nur die Alternative als gewählt angesehen, deren Attraktivitätswert über 0,9 liegt (mögliche Attraktivitätswerte liegen zwischen 0 und 1).

Problematisch ist jedoch nach wie vor der mathematische Kontext neuronaler Netzwerke, der sich bislang durch deren Black-Box-Verhalten noch nicht allgemeingültig darstellen ließ. Besondere Anstrengungen wurden in jüngster Zeit unternommen, um zu klären, inwieweit neuronale Netze mit bekannten Methoden aus der Statistik korrespondieren und wie sich beide Verfahren ergänzen können [CHE93].

Eine Möglichkeit der Kombination besteht darin, mehrschichtige Backpropagation-Netzwerke als nichtlineare, nichtparametrische Regressionsverfahren aufzufassen [WHI91, GEM92]. Neuronale Netzwerke sind zwar nominell parametrische Modelle. Aufgrund ihrer Lernfähigkeit können sie jedoch tatsächlich als nichtparametrische Modelle angesehen werden. Um die Transparenz zu erhöhen, bietet es sich in diesem Zusammenhang an, vor der eigentlichen Informationsverarbeitung durch das Netzwerk eine lineare Regression des Datensatzes durchzuführen. Dem Netz bliebe nur noch die nichtlineare Regression.

3.3 Darstellung der Veränderungspotentiale des Modal-Splits mit Fuzzy-Systemen und Neuro-Fuzzy-Systemen

Fuzzy-Systeme lassen sich dann benutzen, wenn sich die Aufgabe durch wenige Regeln darstellen läßt und die Partitionierung der unscharfen Mengen eindeutig ist. In der konkreten Anwendung können die Partitionierungen der unscharfen Mengen jedoch nicht definiert werden (wann verdient der öffentliche Verkehr die Schulnote „gut“)? Aus diesem Grund können Fuzzy-Systeme nicht dazu herangezogen werden, Veränderungspotentiale des Modal-Splits zu modellieren.

Neuro-Fuzzy-Systeme können sowohl eine Regelbasis automatisch erzeugen als auch die Partitionierungen von Fuzzy-Mengen optimieren.

Bei der Präsentation des Datensatzes ermittelt das Programm NEFCLASS-PC (eine Beschreibung des Programms findet sich u.a. in [NAU96]) 125 Regeln zur Beschreibung des Verkehrsmittelwahlverhaltens. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird die Anzahl der Regeln auf 20 beschränkt, wobei diejenigen ausgewählt werden, die die meisten Entscheidungen erklären. Nach Beendigung des Trainings wurden 192 Muster falsch klassifiziert. Dies entspricht einem Anteil an richtig klassifizierten Mustern von 59,1 %. Dies entspricht etwa der Klassifikationsleistung des Testdatensatzes des neuronalen Netzwerks; damit besitzt das Neuro-Fuzzy-System eine deutlich schlechtere Klassifikationsleistung gegenüber dem neuronalen Netzwerk.

Ursächlich hierfür ist die Tatsache, daß Neuro-Fuzzy-Systeme (und damit auch Fuzzy-Systeme) dann eingesetzt werden können, wenn die Regeln möglichst separate Klassen (Cluster) darstellen. Im konkreten Fall hingegen findet eine vielfache unscharfe Überlagerung der einzelnen Klassen statt, da im Extremfall jede Person ihre eigene Regelbasis besitzt. Diese kann für sich genommen schon irrational oder widersprüchlich sein. Darüber

hinaus können die Regelbasen der verschiedenen Personen irrational oder widersprüchlich sein.

Es bleibt jedoch die Möglichkeit, durch die ermittelte Regelbasis die durch die neuronalen Netzwerke erhaltenen Ergebnisse zu veranschaulichen. So wurden trotz der deutlich schlechteren Klassifikationsleistung des Neuro-Fuzzy-Systems plausible Regelkonklusionen gebildet.

3.4 Vergleichende Bewertung der Simulationswerkzeuge

In den vorangegangenen Abschnitten konnte gezeigt werden, daß die Simulationsverfahren diskrete Entscheidungsmodelle, neuronale Netzwerke und Neuro-Fuzzy-Systeme unterschiedliche Systemeigenschaften besitzen und sich somit unterschiedliche Anwendungsschwerpunkte anbieten.

Fuzzy-Systeme und damit auch Neuro-Fuzzy-Systeme können dann benutzt werden, wenn sich die Aufgabe durch die Angabe weniger Regeln darstellen läßt. Um eine möglichst hohe Anzahl korrekt präsentierter Muster zu gewährleisten, sollten sich die einzelnen Regeln dabei möglichst wenig überlappen. Es kann daher davon ausgegangen werden, daß sich Neuro-Fuzzy-Systeme nicht zur Modellierung von sozialwissenschaftlichen Fragestellungen eignen, sondern i. allg. zur Modellierung (nichtlinearer) technischer Systeme.

Neuronale Netzwerke können auch bei hochdimensional nichtlinearen sozialwissenschaftlichen Fragestellungen eingesetzt werden. Da sozialwissenschaftliche Fragestellungen notwendigerweise irrationale Bewertungselemente enthalten, erreichen neuronale Netzwerke zwar nicht die hohe Generalisierungsfähigkeit (bewertet durch die Anzahl richtig klassifizierter Testmuster) wie bei technischen Anwendungen. Sofern die Art der Fragestellung eines Datensatzes jedoch alle möglichen Fälle ausreichend berücksichtigt, erfüllen neuronale Netzwerke die an sie gestellten Erwartungen als Analyse- und Prognoseinstrument. Insofern wiegt der Nachteil der mangelnden Transparenz weniger schwer, da die Regelbasis eines Neuro-Fuzzy-Systems, sofern sie überhaupt befriedigende Ergebnisse liefern würde, im Falle einer sozialwissenschaftlichen Fragestellung aufgrund der zu erwartenden hohen Regelanzahl unübersichtlich werden würde.

Neuronale Netzwerke erfüllen demnach die an sie gerichteten Erwartungen als Analyse- und Prognoseinstrument hochdimensionaler nichtlinearer Systeme. Sie sind in der Lage, Analogieschlüsse zu ziehen und nichtlineare Effekte wie Verstärkungen, Sättigungen und Synergien abzubilden. Im konkreten Fall eines Datensatzes mit 27 Eingabevariablen und vier Ausgabevariablen erfüllten sie die Erwartungen ohne zusätzliche Unterstützung. Häufig sind die Dimensionen der zu untersuchenden Systeme jedoch wesentlich höher. Damit geht ein starker Anstieg der unbestimmten Parameter (v.a. der Gewichte) einher. Die Anzahl der Präsentationsmuster steigt jedoch nicht dem Umfang. Zum Einsatz kommen in solchen Fällen Pruning-Verfahren [KUD96].

Simulationswerkzeug	Anwendungsbereich
Fuzzy-Systeme / Neuro-Fuzzy-Systeme	(nichtlineare) technisch-naturwissenschaftliche Systeme, deren Verhalten durch wenige Regeln beschreibbar ist
Neuronale Netze	(nichtlineare) technische und sozialwissenschaftliche Systeme
Neuronale Netze + Pruning-Verfahren	(nichtlineare) technische und sozialwissenschaftliche Systeme, deren Dimension jedoch so hoch ist, daß Pruning-Verfahren den Lernprozeß unterstützen

Tabelle 4: Vergleich der Einsatzgebiete von (Neuro-) Fuzzy-Systemen und von neuronalen Netzen

3.5 Weitere Fragestellungen

Künftige Aufgabenstellungen von neuronalen Netzwerken im Bereich der Verkehrswissenschaft sind vor allem in der Integration weiterer Einflußfaktoren zur Berechnung des Modal-Splits zu sehen. Dies ist zum einen die Einbeziehung stadt- und regionalplanerischer Überlegungen, zum anderen die Kombination von Verkehrsmittelwahlmodellen mit Routen- und Zielwahlmodellen. Schließlich kann die Dimensionierung der räumlichen Ebene geändert werden. Anstatt Fragen zur Stadt- oder zur Regionalplanung zu analysieren, kann der Untersuchungsgegenstand die gesamtstaatliche Planung sein. Wegen der deutlich erhöhten Dimension solcher Netze wird angenommen, daß Pruning-Verfahren unterstützend zur Trainingsleistung zum Einsatz kommen werden.

Hinsichtlich ihrer Prognosesicherheit müssen sich neuronale Netzwerke mit herkömmlichen statistischen Verfahren vergleichen lassen. Wegen des Black-Box-Verhaltens neuronaler Netzwerke ist dies bislang allerdings nur eingeschränkt möglich. Es gilt daher, Kombinationsverfahren neuronaler Netze mit statistischen Methoden zu entwickeln. Eine Möglichkeit besteht darin, den linearen Teil der Prognose durch lineare Regression zu ermitteln, um darauf aufbauend die nichtlinearen Korrekturen durch das neuronale Netzwerk abzubilden.

Analog der automatischen Optimierung der Regelbasis und der Partitionierung eines Fuzzy-Systems durch neuronale Netzwerke besteht die Möglichkeit der automatischen Optimierung der Architektur neuronaler Netzwerke durch genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien [SCH96]. Der zentrale Gedanke des Ansatzes besteht darin, den genetischen Algorithmus bzw. die Evolutionsstrategie nach einer optimalen Netzwerktopologie des Problems suchen zu lassen. Dadurch läßt sich eine der zentralen Schwierigkeiten neuronaler Netzwerke vermeiden, der heuristischen Bestimmung der Netzwerkparameter.

Abstract

In this paper four models to describe the modal split in the urban area are tested and evaluated. These models are: statistical models (logit models) and three models of the artificial intelligence (neural networks, fuzzy systems and a combination of neural networks and fuzzy systems (so called neuro fuzzy systems)). So far, models of the artificial intelligence are mainly used to solve problems in nature or in engineering sciences. In this paper, the models are applied to solve a problem of social sciences: the modal split in an urban area. The main difference between nature and social sciences is the occurrence of irrational decisions from the human beings in social sciences. It was shown that neural networks can be used in nature as well as in social sciences. Over and above that they provide more detailed information than statistical methods. Fuzzy systems can only be used in technical questions. Neuro fuzzy systems can be used to complete the information from neural networks.

Anhang: Die Fragen des Fragebogens

1. Bewertung des zeitlichen Aufwands mit Schulnoten von Auto, MVV und Rad
2. Bewertung der Bequemlichkeit mit Schulnoten von Auto, MVV und Rad
3. Bewertung der Kosten mit Schulnoten von Auto, MVV und Rad
4. Geschlecht der befragten Person
5. höchster allgemeiner Schulabschluß der befragten Person
6. Alter der befragten Person
7. Art der Erwerbstätigkeit der befragten Person (vollzeit, teilzeit, nebenher, Hausfrau/-mann, Rentner, arbeitslos, Schüler(in), Student(in), Wehr-/Zivildienstleistender, sonstiges)
8. berufliche Stellung der befragten Person (Angestellte(r), Arbeiter(in), Beamte(r), Selbständige(r), Auszubildende(r), mithelfende(r) Familienangehörige(r), sonstiges)
9. Höhe des monatlichen Nettoeinkommens des gesamten Haushalts
10. Familienstand der befragten Person
11. sechs Fragen zur Bewertung der Umweltsituation
12. Autoverfügbarkeit bei befragter Person
13. Entfernung Wohnort-Arbeitsplatz der befragten Person
14. Parkmöglichkeit an der Arbeitsstätte bei befragter Person
15. Umsteigehäufigkeit der öffentlichen Verkehrsmittel beim Weg Wohnort-Arbeitsplatz der befragten Person
16. Fahrtdauer der öffentlichen Verkehrsmittel beim Weg Wohnort-Arbeitsplatz der befragten Person überwiegend getroffene Verkehrsmittelwahl der befragten Person im letzten Monat

Literatur

- [ALT92] C. van Alrock, B. Krause, H. Zimmermann (1992). Advanced Fuzzy Logic Control Technologies in Automotive Applications. In: Proc. IEEE Conf. on Fuzzy Systems 1992, 835-842, San Diego.
- [AUF86] E. Aufhauser, M.M. Fischer, H. Schönhofer (1986). A Disaggregated Probabilistic Approach to a Regulated Housing Market with Emphasis on the Demand Side: The Vienna Case. Papers of the Regional Science Association, Vol. 60, 133-153.
- [BEN77] M. Ben-Akiva, T. Atherton (1977). Methodology for Short-Range Travel Demand Predictions. Journal of Transportation and Economic Policy, Vol. 26, 321-341.
- [BEN85] M. Ben-Akiva, S. Lerman (1985). Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. MIT-Press, Cambridge.
- [BER92] H.R. Berenji (1992). A Reinforcement Learning-Based Architecture for Fuzzy Logic Control. Int. J. Approximate Reasoning, 6: 267-292.
- [BRÜ95] J. Brüderl, P. Preisendörfer (1995). Der Weg zum Arbeitsplatz: Eine empirische Untersuchung zur Verkehrsmittelwahl, in: A. Diekmann, A. Franzen (Hrsg.): Kooperatives Umwelthandeln - Modelle, Erfahrungen, Maßnahmen. Rüegger, Zürich.
- [CHE93] B. Cheng, D.M. Titterton (1993). Neural Networks: A Review from a Statistical Perspective. Statistical Science 9(1), 2-54.
- [DOM75] T.A. Domencich, D. McFadden (1975). Urban Travel Demand - A Behavioral Analysis. North Holland, Amsterdam.
- [ECC90] J.C. Eccles (1990). Das Gehirn des Menschen. Piper, München.
- [ECC94] J.C. Eccles (1994). Die Evolution des Gehirns - die Erschaffung des Selbst. Piper, München.
- [GEM92] S. Geman, E. Bienenstock, R. Doursat (1992). Neural Networks and the Bias/Variance Dilemma. Neural Computation, 4, 1-58.
- [GRE92] W. Greene (1992). LIMPED, User's Manual and Reference Guide, Version 6.0. Econometric Software, New York.
- [HUG98] J. Hugo (1998). Untersuchung von neuronalen Netzwerken und von Neuro-Fuzzy-Systemen in den Sozialwissenschaften. Dissertation, Universität Stuttgart, Fakultät Physik.
- [JOH70] N.L. Johnson, S. Kotz (1970). Continuous Univariate Distributions. Boston: Houghton Mifflin.
- [KOS92] B. Kosko (1992). Neural Networks and Fuzzy Systems. Prentice Hall, Englewood Cliffs NJ.
- [KRU92] R. Kruse (1992). On the Semantic Foundations of Fuzzy Probability Theory and Fuzzy Statistics. In: H. Bandemer (Hrsg.), Modelling Uncertain Data, 131-135. Akademie Verlag, Berlin.
- [KUD96] F. Kudermann (1996). Optimierung eines neuronalen Netzwerks mittels Pruningverfahren. Diplomarbeit, Universität Stuttgart, Fakultät Physik.
- [LAV69] C.A. Lave (1969). A Behavioral Approach to Modal Split Forecasting. Transportation Research, Vol. 3, 463-480.
- [MAI90] G. Maier, P. Weiss (1990). Modelle diskreter Entscheidungen. Springer, Wien/New York.
- [MAN73] Manski, C.F. (1973). The Analysis of Qualitative Choice. Ph.D. Dissertation, Department of Economics, MIT, Cambridge, Mass.
- [MAN77] Manski, C.F. (1977). The Structure of Random Utility Models, Theory and Decision, Vol. 8, 229-254.
- [NAU92] D. Nauck, F. Klawonn, R. Kruse (1992). Fuzzy Sets, Fuzzy Controllers and Neural Networks. Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, R.Medizin, 41(4): 99-120
- [NAU93] D. Nauck, F. Klawonn, R. Kruse (1993). Combining Neural Networks and Fuzzy-Controllers. In: E.P. Klement, W. Slany (Hrsg.): Fuzzy Logic in Artificial Intelligence (FLAI93), 35-46. Springer, Berlin.
- [NAU96] D. Nauck, F. Klawonn, R. Kruse (1996). Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden.
- [SCH96] E. Schöneburg, F. Heinzmann, S. Feddersen (1996). Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien. Addison-Wesley, Bonn.
- [SPI93] M. Spies (1993). Unsicheres Wissen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- [WER74] P.J. Werbos (1974). Beyond regression: new tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. Ph.D. thesis, Harvard University, Cambridge MA.
- [WHI91] H. White (1991). Connectionist Nonparametric Regression: Multilayer Feed-forward can learn Arbitrary Mappings. Neural Networks 3, 535-550.
- [ZAD65] L.A. Zadeh (1965). Fuzzy Sets. Information and Control, 8: 338-353.
- [ZAD73] L.A. Zadeh (1973). Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. IEEE Trans. Systems, Man & Cybernetics, 3: 28-44.
- [ZUM98] D. Zumkeller (1998). Haushaltspanel 1997/98 – Auswertung. Schlußbericht zum Forschungsauftrag BMV FE 96524/97.

Heft

1996

- 1 *Willeke, Rainer*: Mit Knappheitspreisen an der Krise vorbei? Anmerkungen zum Grünbuch „Towards Fair and Efficient Pricing in Transport“
- 1 *Wink, Rüdiger*: Institutionelle Reformen der Verkehrsinfrastrukturpolitik
- 1 *Beuermann, Günter und Schneider, Jürgen*: Das Infrastrukturunternehmen der DBAG: Monopolistischer Gigant oder Partner für alle Schienenverkehrsbetreiber?
- 1 *Ginter, Dorothee und Schmutzler, Armin*: Die Aufteilung des Güterverkehrs auf Bahn, LKW und Schiff – eine dynamische Analyse
- 1 *Bongartz, Ulrich*: Der asiatische Luftverkehrsmarkt und die bedeutenden internationalen Airlines der Region – eine empirische Betrachtung
- 2 *Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr*: Bundesverkehrswegeplanung: Methodische Weiterentwicklung und Privatisierungsperspektiven
- 2 *Albers, Sönke*: Absatzplanung von ÖPNV-Ticketarten bei differenzierter Preispolitik
- 2 *Clever, Reinhard*: Schnelligkeit oder Häufigkeit: Überlegungen zur Einführung des Integralen Taktfahrplans im Fernverkehr der Eisenbahn
- 3 *Kruse, Jörn*: Engpässe in Verkehrs-Infrastrukturen
- 3 *Brandt, Eberhard und Schäfer, Peter*: Der alpenquerende Transitverkehr – auf der Suche nach „sustainable mobility“ –
- 3 *Gischer, Horst*: Markteintrittsbarrieren auf dem Europäischen Luftverkehrsmarkt: Zur Reformierung der Vergabe von Start- und Landerechten
- 3 *Hartmann, Harald*: Der Logistikeffekt in seinen Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit von Regionen und Unternehmen
- 4 *Baum, Herbert und Pesch, Stephan*: Car-Sharing als Ansatz zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in Städten
- 4 *Cerwenka, Peter und Hauger, Georg*: Neuverkehr – Realität oder Phantom?
- 4 *Herrmann, Andreas; Bauer, Hans, H. und Herrmann, Sabine*: Kundenorientierte Gestaltung des öffentlichen Personennahverkehrs

Heft

1997

- 1 *Wissmann, Matthias*: Verkehrspolitik für Wachstum und Beschäftigung
- 1 *Clement, Wolfgang*: Leitlinien für die Verkehrspolitik der Zukunft
- 1 *Teltschik, Horst*: Wettbewerbsfähigkeit und Wachstum der Wirtschaft als verkehrspolitische Herausforderung
- 1 *Baum, Herbert*: Der volkswirtschaftliche Nutzen des Verkehrs
- 1 *Willeke, Rainer*: Verkehrswissenschaft als Begleiter der Verkehrsentwicklung und Verkehrspolitik
- 2 *Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr*: Neue Wege zur Finanzierung und Nutzungsoptimierung für die Straßeninfrastruktur
- 2 *Knorr, Andreas*: Wettbewerb und Flugsicherheit – ein Widerspruch?
- 2 *Reinhold, Tom*: Zur Problematik der Monetarisierung externer Kosten des Verkehrslärms
- 3 *Klamer, Michael*: Bewertung von Maßnahmen zur Beschränkung des motorisierten Individualverkehrs in Städten
- 3 *Baum, Herbert*: Deregulierung und Sicherheit im Straßengüterverkehr
- 3 *Fox, Klaus-Peter*: Parkgebühren im Spannungsfeld juristischer und ökonomischer Betrachtung
- 4 *Cerwenka, Peter*: Die Berücksichtigung von Neuverkehr bei der Bewertung von Verkehrsweginvestitionen
- 4 *Storchmann, Karl-Heinz*: Europäische Umweltabgabe auf den Pkw-Verkehr? – Empirische Analyse der Kraftstoffnachfrage –
- 4 *Schöler, Klaus*: Die räumliche Trennung von Arbeiten und Wohnen – Kritik einer populären Kritik –

Heft

1998

- 1 *Maennig, Wolfgang und Thies, Carsten*: Markt- und Wettbewerbsversagen bei der Errichtung von Güterverkehrszentren
- 1 *Heine, Wolf-D.*: Mobilitätspsychologie – Psychologie für ein situationsangepasstes Mobilitätsverhalten
- 2 *Baum, Herbert und Kling, Thomas*: Steigerung der Verkehrssicherheit durch finanzielle Anreize im Versicherungssystem
- 2 *Bongartz, Ulrich*: Konzentration des Wettbewerbs im US-Luftverkehrsmarkt: Die Gesamtmarktenebene und die Bedingungen an ausgewählten Flughäfen
- 2 *Herrmann, Andreas*: Das Kundenzufriedenheitskonzept – Ein Ansatz für Betriebe des öffentlichen Personennahverkehrs
- 3 *Bjelcic, Borislav*: Der internationale Luftpostverkehr – Entwicklungstendenzen und ihre Auswirkungen auf Fluggesellschaften –
- 3 *Wöhler, Karlheinz*: Determinanten der Busnutzungsbereitschaft – eine empirische Studie zur Verlagerung des sekundären Ausflugsverkehrs vom Pkw auf den Bus
- 3 *Vieregg, Martin*: ICE und Transrapid im sich wandelnden Verkehrsmarkt – Hat Schienenpersonenfernverkehr noch eine Zukunft?
- 4 *Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesverkehrsministerium*: Probleme der Regionalisierung des ÖPNV und Ansatzpunkte für ihre Lösung
- 4 *Knapp, Frank*: Meßprobleme bei der Ermittlung der Wirkungen von Verkehr und Verkehrsinfrastruktur
- 4 *Reinhold, Tom*: Die Internalisierung externer Kosten des Verkehrslärms
- 4 *Jäckel, Klaus*: Wettbewerbsorientiertes Management von Streckennetzen als Erfolgsfaktor im Linienluftverkehr
- 4 *Schwarz, Oliver*: Die finanzielle Belastung von Berufspendlern durch Straßenbenutzungsgebühren
- 4 *Cerwenka, Peter und Klamer, Michael*: Optimalgeschwindigkeiten für Personenkraftwagen unter Berücksichtigung von Neuverkehr

Heft

1999

- 1 *Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln und Bundesverband Deutscher Omnibusunternehmer e.V. (Ido), Bonn*: Probleme der Rationalisierung des ÖPNV und Ansatzpunkte für ihre Lösung – Entgegnung auf die Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesverkehrsministerium
- 1 *Willeke, Rainer*: Aufrucht im Sommerloch – wie frei ist die DB AG?
- 1 *Diekmann, Achim*: Verkehr als Wertschöpfungsträger und Nachfragegröße
- 1 *Jung, Christian*: Strategische Allianzen in der Verkehrswirtschaft
- 2 *Müntefering, Franz*: Mobilität als Grundlage für Innovation und Beschäftigung
- 2 *Steinbrück, Peer*: Mobilität für 18 Millionen Menschen: Verkehrspolitische Leitlinien für Nordrhein-Westfalen und Grenzen des Verkehrswachstums
- 2 *Goetschalk, Bernd*: Der Automobilverkehr als Wirtschafts- und Wachstumsfaktor
- 2 *Ludewig, Johannes*: Die Position der Deutschen Bahn im Verkehrsmarkt
- 2 *Baum, Herbert*: Beschäftigungswirkungen des Verkehrs – Eine quantitative Abschätzung
- 3 *Storchmann, Karl-Heinz*: Nulltarife im Öffentlichen Personennahverkehr als Second-Best-Lösung – Theoretisches Konzept und Implikationen für die Bundesrepublik Deutschland
- 3 *Hahn, Wulf*: Das Verkehrsverhalten am ländlichen Raum am Beispiel Angelburgs und Stiefenbergs im Landkreis Marburg-Biedenkopf unter Verwendung eines sozialpsychologischen Verkehrsmittelwahlmodells
- 3 *Kunz, Martin*: Entbündelter Zugang zu Flughäfen: Zur Liberalisierung der Bodenverkehrsdienste auf europäischen Flughäfen
- 4 *Fichert, Frank*: Flughafenmärkte in Europa: Potentiale wettbewerblicher Selbststeuerung und Anforderungen an einen geeigneten staatlichen Ordnungsrahmen
- 4 *Hennighausen, Axel*: Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe – Verkehrsverlagerung oder Steuerexport
- 4 *Schnippe, Christian*: Bestimmung wechselseitiger Verhaltenserwartungen von Kunden und Mitarbeitern als Beitrag zur Kundenorientierung: Vergleich von zwei aus Fremdbeschreibung gewonnenen Idealbildern am Beispiel des öffentlichen Personennahverkehrs