



FORSCHUNG
MOBILITÄT
TRANSPORT
VERKEHR

progtrans



STEINBEIS-TRANSFERZENTRUM
ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE
(STASA)

Schlussbericht zum
Forschungsprojekt Nr. 96.0756/2002/

***Analyse von Änderungen des Mobilitätsverhaltens
- insbesondere der Pkw-Fahrleistung -
als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise***

des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Heinz Hautzinger
Karin Mayer

Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V. (IVT)
Heilbronn / Mannheim (Federführung)

Maja Helms
Christine Kern
Marc Wiesenhütter

ProgTrans AG,
Basel

Günter Haag
Jan Binder

Steinbeis-Transferzentrum Angewandte Systemanalyse (STASA)
Stuttgart

Heilbronn, den 15. Juni 2004

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen	.....	VII
Teil I: Grundlagen der Studie	.....	1
1 Aufgabenstellung	.....	1
2 Konzeptueller Rahmen der Untersuchung	.....	3
2.1	Motorisierter Individualverkehr als Nachfrage der privaten Haushalte nach Eigenbeförderungsleistungen	3
2.2	Der Kraftstoffpreis aus angebots- und nachfragetheoretischer Sicht	4
2.3	Spektrum der Reaktionsmöglichkeiten privater Haushalte bei variierenden Kraftstoffpreisen	6
3 Die Elastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage: Stand der empirischen Forschung	.....	8
3.1	Definition und Ermittlung von Elastizitäten.....	8
3.2	Kraftstoffpreis- und Einkommenselastizität von Kraftstoffnachfrage und Pkw- Fahrleistungen: Überblick über die internationale Literatur	11
3.3	Fazit der Literaturanalyse.....	19
4 Forschungsdesign und Datengrundlagen der Studie	.....	21
4.1	Genereller Untersuchungsansatz.....	21
4.2	Zeitreihenanalytische Untersuchungen auf Makroebene zu kraftstoffpreisbedingten Änderungen des Kraftstoffabsatzes sowie Änderungen von Umfang und Struktur des Pkw-Bestands.....	21
4.3	Mikroökonomische Analysen zu kraftstoffpreisbedingten Änderungen der Pkw- Fahrleistungen privater Haushalte	23
4.4	Mikroanalysen zu kraftstoffpreisbedingten Änderungen des Mobilitätsverhaltens von Personen mittels neuronaler Netze	25
5 Methodik der Datenanalyse	.....	29
5.1	Das klassische Regressionsmodell für Zeitreihendaten als Instrument für die Makroanalyse	29
5.2	Mikroökonomische Modelle als Instrumente zur Analyse von Paneldaten.....	32

5.2.1	Allgemeine Charakterisierung von Panelmodellen	32
5.2.2	Modell mit festen Effekten.....	33
5.2.3	Modell mit zufälligen Effekten	33
5.2.4	Statistische Schätzung von Nachfrageelastizitäten	34
5.2.5	Software für die statistische Analyse von Paneldaten	35
5.3	Neuronale Netze als Instrument der Datenanalyse	36
5.3.1	Grundprinzipien von Feed-forward-Netzwerken	36
5.3.2	Ermittlung von Nachfrageelastizitäten mittels Modellrechnung (Simulation)...	41
Teil II:	Empirische Analysen zum Komplex „Kraftstoffpreise und Mobilität“	44
6	Makroanalysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf Kraftstoffabsatz und Pkw-Bestand.....	44
6.1	Der Kraftstoffabsatz als Indikator der Pkw-Verkehrsnachfrage auf Makroebene	44
6.1.1	Problematik der Fahrleistung als Variable	44
6.2	Hypothesen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf den Kraftstoffabsatz sowie auf Größe und Struktur des Pkw-Bestands.....	45
6.3	Beschreibende Analyse der Zusammenhänge zwischen Kraftstoffpreisen und ausgewählten Indikatoren der Pkw-Verkehrsnachfrage	47
6.3.1	Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreisen und Kraftstoffabsätzen.....	48
6.3.2	Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreisen und Pkw-Bestandsentwicklung..	52
6.3.3	Analyse weiterer mobilitätsbezogener Variablen.....	56
6.4	Regressionsanalytische Untersuchungen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf den Kraftstoffabsatz	66
6.4.1	Einfache lineare Regression	66
6.4.2	Multiple Regressionsanalyse	80
6.4.3	Fazit der quantitativen Analyse aggregierter Daten	88
7	Mikroanalysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Pkw-Fahrleistungen privater Haushalte.....	89
7.1	Entwicklung ausgewählter Merkmale der Nutzung von Pkw in privaten Haushalten im Zeitraum 1995-2002	89
7.1.1	Anzahl und Art der Pkw im Haushalt	89
7.1.2	Pkw-Fahrleistungen	90
7.1.3	Tankvorgänge	93

7.1.4	Kraftstoffpreise und Ausgaben für Kraftstoffe.....	93
7.1.5	Getankte und verbrauchte Kraftstoffmengen im Berichtszeitraum.....	96
7.1.6	Spezifischer Kraftstoffverbrauch.....	97
7.2	Beschreibende Darstellungen des Zusammenhangs zwischen Kraftstoffpreisen und Fahrleistungen von Pkw.....	99
7.2.1	Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreisen und Pkw-Fahrleistungen.....	99
7.2.2	Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreis- und Fahrleistungsänderungen.....	102
7.3	Statistische Analysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Pkw-Fahrleistungen: Klassische lineare Regressionsmodelle.....	108
7.4	Statistische Analysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Pkw-Fahrleistungen: Panelmodelle mit festen Effekten.....	111
7.4.1	Modellansatz.....	111
7.4.2	Analysen auf Fahrzeugebene.....	112
7.4.3	Analysen auf Haushaltsebene.....	113
7.5	Statistische Analysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Pkw-Fahrleistungen: Panelmodelle mit zufälligen Effekten.....	114
7.5.1	Modellansatz.....	114
7.5.2	Analysen auf Haushaltsebene.....	119
7.6	Zur Problematik des Fehlens von Einkommens- und Vermögensangaben im Mobilitätspanel.....	122
7.6.1	Berücksichtigung der fehlenden Einkommensvariablen in den individuenspezifischen Effekten der Panelmodelle.....	122
7.6.2	Sensitivitätsrechnungen unter Einbeziehung einer künstlichen Einkommensvariablen.....	123
7.6.3	Sensitivitätsrechnungen unter Verwendung einkommensbereinigter Kraftstoffpreise.....	124
8	Mikroanalysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf das individuelle Mobilitätsverhalten.....	125
8.1	Entwicklung der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen von Personen im Zeitraum 1995-2002.....	125
8.1.1	Gesamtbetrachtung.....	125
8.1.2	Geschlechtsspezifische sowie haushalts- und raumtypspezifische Betrachtungen.....	129

8.2	Ermittlung der Struktur des neuronalen Netzes zur Modellierung der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen von Personen.....	141
8.2.1	Spezifizierung der Output-, Input- und Hidden-Layer	141
8.2.2	Verlauf und Ergebnis des Trainings des Netzes.....	147
8.2.3	Verlauf und Ergebnis des Nachtrainings des geprunten Netzes	151
8.3	Analyse der Veränderungen der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen von Personen infolge von Kraftstoffpreisänderungen: Modellrechnungen mit Hilfe des geprunten neuronalen Netzes	152
8.3.1	Gesamtbetrachtungen zu den Wirkungen von Kraftstoffpreisänderungen.....	152
8.3.2	Geschlechtsspezifische Wirkungen	157
8.3.3	Haushaltstypspezifische Wirkungen	163
8.3.4	Raumtypspezifische Wirkungen	167
8.4	Analyse der kraftstoffpreisbedingten Veränderungen der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen auf Haushaltsebene	171
Teil III:	Umsetzungsorientierte Aufbereitung der Analyseergebnisse	176
9	Mobilitätseffekte von Kraftstoffpreisänderungen: Zusammenfassung der empirischen Ergebnisse	176
9.1	Ergebnisse der Analysen auf Makroebene: Kraftstoffpreise und Kraftstoffabsatz sowie Pkw-Bestand	176
9.1.1	Kurz- und mittelfristige Effekte von Kraftstoffpreisänderungen	176
9.1.2	Längerfristige Effekte von Kraftstoffpreisänderungen	177
9.2	Ergebnisse der Analysen auf Mikroebene: Kraftstoffpreise und Pkw-Fahrleistungen..	179
9.2.1	Die Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage privater Haushalte ..	179
9.2.2	Stärke des Preiseffektes im Vergleich zum Einfluss anderer Bestimmungsfaktoren der Pkw-Verkehrsnachfrage	180
9.2.3	Keine Wechselwirkungen des Faktors Kraftstoffpreis mit anderen Bestimmungsgrößen der Pkw-Verkehrsnachfrage.....	182
9.2.4	Unabhängigkeit des spezifischen Kraftstoffverbrauchs von den Kraftstoffpreisen	183
9.3	Ergebnisse der Analysen auf Mikroebene: Kraftstoffpreise und Verkehrsmittelwahl ...	184
9.3.1	Der Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Verkehrsmittelwahl.....	184
9.3.2	Gruppenspezifische Betrachtung der Wirkungen von Kraftstoffpreisänderungen auf die Verkehrsmittelwahl	185

10	Schwellenwerte und Gültigkeitsbereiche	186
10.1	Begriffsabgrenzungen	186
10.1.1	Schwellenwerte des Preises	186
10.1.2	Gültigkeitsbereiche der Preiselastizität.....	188
10.2	Erkenntnisse zu Schwellenwerten und Gültigkeitsbereichen aus den mikroanalytischen Untersuchungen	188
10.2.1	Möglichkeiten und Grenzen der Quantifizierung der Kraftstoffpreiselastizität.	188
10.2.2	Zur Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fälle extremer Kraftstoffpreisänderungen.....	189
10.3	Erkenntnisse zu Schwellenwerten und Gültigkeitsbereichen aus den makroanalytischen Untersuchungen.....	190
10.4	Ergebnisse der Literaturanalyse im Hinblick auf Schwellenwerte und Gültigkeitsbereiche.....	191
10.5	Fazit.....	191
11	Staatliche Einflussnahme auf die Kraftstoffpreise: Stellenwert eines umstrittenen verkehrspolitischen Aktionsparameters aus Sicht der Mobilitätsforschung	192
11.1	Zur Beeinflussbarkeit der Pkw-Fahrleistungen über die Kraftstoffpreise.....	192
11.2	Zum Spektrum der Reaktionsmöglichkeiten motorisierter Haushalte im Fall steigender Kraftstoffpreise	194
11.3	Profitiert der Öffentliche Verkehr von einer Verteuerung des Autofahrens?.....	196
11.4	Gesellschafts- und sozialpolitische Aspekte einer staatlichen Einflussnahme auf die Kraftstoffpreise	197
12	Resümee und Ausblick	201
	Literatur.....	203
	Impressum.....	208

Anhang I.....	209
Aufbereitung verfügbarer Makrodaten zum Themenkomplex „Kraftstoffpreise, Pkw-Bestand und Pkw-Verkehr“	210
1 Vorbemerkungen	210
1.1 Kraftstoffpreise	211
1.2 Kraftstoffabsätze	216
1.3 Pkw-Bestände	222
1.4 Gesetzesänderungen und besondere politische Ereignisse.....	226
Anhang II.....	230
Die Tankbuchdaten des Mobilitätspanels als Mikrodaten zum Themenkomplex „Kraftstoffpreise und Pkw-Fahrleistungen“	231
1 Das Mobilitätspanel 1994-2002 im Überblick.....	231
1.1 Gegenstand und Methodik der Tankbucherhebung.....	232
1.2 Art, Umfang und Struktur der Tankbuchdaten	237
1.3 Aufbereitung der Tankbuchdaten für die Zwecke der Untersuchung	242
Anhang III.....	247
Die Wegetagebuchdaten des Mobilitätspanels als Mikrodaten zum Themenkomplex „Kraftstoffpreise und Mobilitätsverhalten“	248
1 Art, Umfang und Struktur der Daten der Wegetagebuch-Erhebung	248
1.1 Ergänzung der Wegetagebuchdaten um die Merkmale Kraftstoffpreis und spezifischer Kraftstoffverbrauch.....	252

Vorbemerkungen

Der vorliegende Bericht wurde von den Forschungspartnern

- Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V. (IVT)
Heilbronn / Mannheim (Federführung)
- Prograns AG,
Basel
- Steinbeis-Transferzentrum Angewandte Systemanalyse (STASA)
Stuttgart

erstellt. Die Zuständigkeit für die einzelnen Kapitel und Abschnitte geht aus dem Impressum auf Seite 208 hervor.

Teil I: Grundlagen der Studie

1 Aufgabenstellung

Die in den letzten Jahren zu beobachtenden starken Schwankungen der Kraftstoffpreise, die teils vom Markt, teils aber auch von staatlichen Interventionen herrühren, haben das Interesse an der Frage, wie die privaten Haushalte in ihrem Mobilitätsverhalten auf geänderte Kraftstoffpreise reagieren, neu entfacht. In der kontrovers geführten Diskussion wird allerdings immer wieder deutlich, dass es für die Bundesrepublik Deutschland keine aktuellen und empirisch hinreichend abgesicherten Erkenntnisse zu den kausalen Zusammenhängen zwischen Kraftstoffpreisänderungen und den Nachfrageentscheidungen der Haushalte gibt. Dies gilt insbesondere für die Effekte der Einführung und schrittweisen Erhöhung der Ökosteuer. Auch wurden hier die für derartige Analysen geradezu prädestinierten Daten des deutschen Mobilitätspanels noch nicht genutzt.

Kurz- und längerfristige Reaktionen der Nachfrage auf Einkommens- oder Preisänderungen lassen sich, wie oben angedeutet, besonders gut mit Hilfe sogenannter „Paneldaten“ untersuchen, also mit Daten, die durch wiederholte Befragung derselben Haushalte oder Individuen zu denselben Sachverhalten gewonnen werden (BALTAGI, 1995). Mit dem seit 1994 laufenden „Mobilitätspanel“, einer schriftlichen Haushaltsbefragung, stehen solche Daten für die Bundesrepublik Deutschland zur Verfügung (CHLOND et. al., 1996). Es sind dies zum einen für das gesamte Panel die Wegetagebuchdaten zur *Alltagsmobilität* gleicher Personen an jeweils 7 aufeinanderfolgenden Tagen (Berichtsperiode jeweils 1 Woche im Herbst) in bis zu 3 aufeinanderfolgenden Jahren und zum anderen für eine Unterstichprobe von Panelhaushalten die Tankbuchdaten zu *Kraftstoffverbrauch und Pkw-Fahrleistungen*, die sich auf einen etwa zweimonatigen Zeitraum (Berichtsperiode jeweils April/Mai) beziehen. Auch in der Tankbucherhebung wird vom jeweiligen Haushalt für bis zu 3 Jahre berichtet.

Neben den Mikrodaten des Mobilitätspanels eignen sich auch bestimmte Makrodaten der amtlichen und halbamtlichen Wirtschafts- und Verkehrsstatistik als Grundlage für Untersuchungen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Verkehrsnachfrage. Gegenüber den Paneldaten haben die Zeitreihendaten des Statistischen Bundesamtes und der Wirtschaftsverbände den Vorzug, dass damit wesentlich längere Zeiträume abgedeckt werden. Allerdings begrenzt das hohe Aggregationsniveau dieser Daten ihre Aussagekraft und Nutzbarkeit.

Auf dieser Datengrundlage, bestehend aus einander ergänzenden Individualdaten und Aggregatdaten zu Kraftstoffpreisen und Verkehrsnachfrage, werden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung schwerpunktmäßig folgende Forschungsfragen behandelt:

- a) Lassen sich in Folge geänderter Kraftstoffpreise veränderte Entscheidungsmuster bei der Anschaffung von Fahrzeugen und bei deren Nutzung - speziell im Hinblick auf die Fahrleistung - feststellen?
- b) Sind Änderungen im Mobilitätsverhalten insgesamt (Häufigkeit von Ortsveränderungen, Verkehrsmittelwahl, zurückgelegte Distanzen) nachweisbar?
- c) Wie hat sich gegebenenfalls das Verkehrsnachfrageverhalten unterschiedlicher Teilgruppen von Personen bzw. Haushalten verändert?
- d) Sind eventuell eingetretene Verhaltensänderungen vorübergehender oder nachhaltiger Natur?

Vom Forschungsansatz her handelt es sich bei der vorliegenden Untersuchung um eine Nachfrageanalyse nach dem Konzept der *Revealed Preferences*: Über einen mehrjährigen Untersuchungszeitraum wird das faktische Mobilitätsverhalten von Personen und Haushalten im Kontext der Kraftstoffpreise betrachtet, denen sich die Nachfrager gegenübergestellt sehen. Es versteht sich, dass dabei neben den Kraftstoffpreisen auch noch weitere Determinanten der Verkehrsnachfrage berücksichtigt werden. In methodischer Hinsicht knüpft die Arbeit, was die Analyse der Mikrodaten des Mobilitätspanels betrifft, an eine vorbereitende Methodenstudie im Auftrag des BMVBW an (HEIDEMANN et al., 2000).

Die empirischen Ergebnisse und die zu ihrer Gewinnung entwickelten Modelle und Verfahren werden abschließend auf ihre Umsetzbarkeit bzw. Verwertbarkeit in Verkehrspolitik und Verkehrsplanung hin untersucht. Insbesondere geht es dabei um die Frage, ob der staatlichen Einflussnahme auf die Kraftstoffpreise tatsächlich die ihr oft zugeschriebene Bedeutung als verkehrspolitischer Aktionsparameter zukommt.

2 Konzeptueller Rahmen der Untersuchung

Im Folgenden werden einige theoretische Rahmenkonzepte vorgestellt, an denen sich die empirischen Teile dieser Arbeit orientieren. Wenn dabei von „Verkehrsnachfrage“ die Rede ist, so ist damit immer die Personenverkehrsnachfrage der privaten Haushalte gemeint. Diese umfasst alle aus privatem Anlass durchgeführten Ortsveränderungen der Haushalte bzw. der darin lebenden Personen (einschließlich der Wege zwischen Wohnung und Arbeitsstätte). Ortsveränderungen im Wirtschaftsverkehr werden durch diese Definition ausgeschlossen, obwohl durchaus auch Verkehrsmittel der privaten Haushalte im Wirtschaftsverkehr eingesetzt werden. Der Ausschluss dienstlich-geschäftlich motivierter Ortsveränderungen ist im vorliegenden Zusammenhang naheliegend, da die Kosten derartiger Fahrten vom Haushalt in aller Regel beim Arbeitgeber abgerechnet werden können, d.h. das Haushaltsbudget nicht belasten. Im empirischen Teil der Arbeit kann dann aber nicht immer der private Personenverkehr vom Wirtschaftsverkehr mit Pkw aus Privathaushalten getrennt werden.

2.1 Motorisierter Individualverkehr als Nachfrage der privaten Haushalte nach Eigenbeförderungsleistungen

Als Verkehrsnachfrage wird üblicherweise der Teil des gesamten Mobilitätsbedarfs von Individuen oder Haushalten bezeichnet, der durch die Inanspruchnahme angebotener Beförderungsleistungen oder durch Eigenbeförderung, Letzteres vor allem mit Pkw, aber auch zu Fuß oder mit dem Fahrrad, gedeckt wird. Der z.B. wegen fehlender Kaufkraft oder fehlendem Verkehrsangebot nicht befriedigte Mobilitätsbedarf wird demgegenüber „latente“ Verkehrsnachfrage genannt. Näheres vgl. HAUZINGER (1996).

Im Unterschied zu vielen anderen Konsumbereichen wird im Bereich Verkehr der ganz überwiegende Teil der nachgefragten Dienstleistungen von den Nachfragern nicht am Markt gekauft (Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel), sondern vielmehr in einem Haushaltsproduktionsprozess von den Haushaltsmitgliedern selbst erstellt (Eigenbeförderung im Rahmen des Individualverkehrs). Soweit es um den motorisierten Individualverkehr geht, kann man sagen, dass in diesem Leistungserstellungsprozess mit Hilfe von Kapital (Pkw), Kraftstoff und Arbeit (Fahrzeit) das letztlich nutzenstiftende Gut „Mobilität“ erzeugt wird (FLAIG, 1988, S. 56). Diese Sichtweise ist auch im Einklang mit der Vorstellung, dass die Verkehrsnachfrage eine aus dem Wunsch bzw. der Notwendigkeit zur Ausübung von Aktivitäten (Arbeiten, Einkaufen usw.) abgeleitete Nachfrage ist. Eine allgemeine Darstellung des Haushalts-Produktionsfunktions-Ansatzes findet sich bei BECKER (1982), S. 145-166.

Bei etwas differenzierterer Betrachtung lässt sich dies noch dahingehend präzisieren, dass durch die Vorhaltung des Betriebsmittels Pkw das nutzenstiftende immaterielle Gut „Mobilitätspotential“ bzw. „Mobilitätschance“ und durch den Einsatz des Pkw im Prozess der Erstellung von Beförderungsleistungen die nutzenstiftende Dienstleistung „faktische Mobilität“ bzw. „Raumüberwindung“ hervorgebracht wird. Von der Nachfrageseite her betrachtet gibt es eine Zahlungsbereitschaft nicht nur für faktische Raumüberwindung, sondern auch für potentielle Raumüberwindung, d.h. für die bloße Möglichkeit, mobil zu sein. Vor diesem Hintergrund wird nun im Folgenden die Rolle des Kraftstoffpreises näher betrachtet.

2.2 Der Kraftstoffpreis aus angebots- und nachfragetheoretischer Sicht

Im Rahmen eines Haushaltsproduktionsprozesses bestimmt der Preis p für den Inputfaktor Kraftstoff (Euro/Liter) zusammen mit der Kraftstoffverbrauchsmenge V (Liter) sowie den Kosten C (Euro) für die Fahrzeughaltung und den Einsatz der weiteren Inputfaktoren die Kosten

$$K = pV + C \quad [2.2-1]$$

des Haushalts für die Erstellung der Eigenbeförderungsleistung

$$L = V / s, \quad [2.2-2]$$

wobei s den spezifischen Kraftstoffverbrauch (Liter/Pkw-Kilometer) der eingesetzten Fahrzeuge angibt und die Outputvariable L die Dimension Pkw-Kilometer besitzt. Bezeichnet man mit k die mittlere Sitzplatzkapazität der eingesetzten Pkw, so kann das Angebot an vom Haushalt selbst erstellten Verkehrsleistungen im motorisierten Individualverkehr außer durch die Summe L der Fahrzeugkilometer auch durch die Summe

$$P = kL \quad [2.2-3]$$

der Platzkilometer gemessen werden.

Das Gesamtvolumen Y der vom Haushalt nachgefragten Beförderungsleistung mit haushaltseigenen Pkw (Dimension: Personenkilometer) setzt sich additiv aus den Komponenten Y_f und Y_m , den Personenkilometern der Fahrer und der Mitfahrer (genauer: Inanspruchnahme der angebotenen Fahrer- und Mitfahrer-Platzkilometer) zusammen. Da die vom Haushalt hergestellte Menge L der Pkw-Kilometer gleich der nachgefragten Menge Y_f ist

und der Haushalt als Nachfrager nur für Fahrer-Personenkilometer, nicht aber für Mitfahrer-Personenkilometer bezahlen muss, kann man die Kosten K der Verkehrsleistungserstellung den Ausgaben A des Haushalts für die Inanspruchnahme der Eigenbeförderungsleistung gleichsetzen:

$$A = K = pV + C . \quad [2.2-4]$$

Wegen $V = sL = sY_f$ kann die Ausgabengleichung [2.2-4] wie folgt dargestellt werden:

$$A = psY_f + C , \quad [2.2-5]$$

wobei C jetzt die fixen (fahrleistungsunabhängigen) Ausgaben des Haushalts umfasst, die bei gegebenem Einkommen vor allem von der Zahl und Art der im Haushalt befindlichen Pkw abhängen (weitere fahrleistungsabhängige Ausgaben wie z.B. Ausgaben für Wartung werden hier zunächst vernachlässigt). Bezeichnet man das Verhältnis $b = Y/Y_f$ wie üblich als mittleren Pkw-Besetzungsgrad, so kann man die Haushaltsausgaben für das Gesamtvolumen Y der nachgefragten Eigenbeförderungsleistungen im motorisierten Individualverkehr folgendermaßen darstellen:

$$A = psY/b + C . \quad [2.2-6]$$

Für den Haushalt als Nachfrager sind die Ausgaben pro nachgefragtem Personenkilometer Eigenbeförderungsleistung durch

$$A/Y = ps/b + C/Y \quad [2.2-7]$$

gegeben, d.h. der Preis $\pi = A/Y$ (Euro/Personenkilometer) für die Inanspruchnahme des vom Haushalt selbst vorgehaltenen Eigenbeförderungsangebots wächst linear mit dem Preis p des Inputfaktors Kraftstoff. Bei gegebener Nachfrage nach Eigenbeförderungsleistungen Y und gegebenen fixen Ausgaben C ist die kraftstoffpreisbedingte Zunahme des Personenkilometerpreises umso stärker, je höher der durchschnittliche spezifische Kraftstoffverbrauch s und je niedriger der mittlere Besetzungsgrad b ist. Der Kraftstoffpreis ist so gesehen also zusammen mit dem spezifischen Kraftstoffverbrauch s , dem mittleren Pkw-Besetzungsgrad b und den vor allem von der Pkw-Ausstattung des Haushalts bestimmten fahrleistungsunabhängigen Ausgaben C eine Determinante des Preises des nachgefragten Gutes. Wie Gleichung [2.2-7] weiterhin zeigt, ist der Preis eines Personenkilometers nicht konstant, sondern sinkt mit der vom Haushalt nachgefragten Menge. Zusätzliche Personenkilometer mit dem Haushalts-Pkw werden also immer billiger.

2.3 Spektrum der Reaktionsmöglichkeiten privater Haushalte bei variierenden Kraftstoffpreisen

Da die gesamten Konsumausgaben des Haushalts (Summe über alle Konsumbereiche) durch das monetäre Haushaltsbudget beschränkt sind, werden durch die Gleichungen [2.2-5] und [2.2-6] auch bereits die grundsätzlichen Reaktionsmöglichkeiten des Haushalts im Fall steigender Kraftstoffpreise deutlich:

Bei steigenden Kraftstoffpreisen kann der Haushalt die Zunahme der Ausgaben für Mobilität im motorisierten Individualverkehr kompensieren durch

- Einsparungen in anderen Konsumbereichen, d.h. durch Neuaufteilung des Haushaltsbudgets bei unveränderter Pkw-Haltung und Pkw-Nutzung
- *kurzfristige* Nachfragereaktionen im Mobilitätsbereich wie
 - Reduzierung der nachgefragten Fahrer- und damit Fahrzeugkilometer bei Verringerung der gesamten Nachfrage im motorisierten Individualverkehr durch Mobilitäts- bzw. Aktivitätsverzicht oder Wechsel von der Pkw-Nutzung zu preisgünstigeren Arten der Fortbewegung wie Zufußgehen oder Radfahren
 - Reduzierung der nachgefragten Fahrer- und damit Fahrzeugkilometer bei unveränderter Summe der Personenkilometer im motorisierten Individualverkehr durch Erhöhung des Besetzungsgrades (Substitution von Alleinfahrten durch Mitfahrten, Zusammenlegung von Fahrten)
 - Reduzierung der fahrleistungsunabhängigen Mobilitätsausgaben durch Einschränkungen im Bereich Wartung, Reparatur, Versicherung u.ä.
 - Senkung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs der eingesetzten Fahrzeuge durch wirtschaftlichere Fahrweise, verbesserte Motoreinstellung u.ä.
- *längerfristige* Reaktionen (technologische Anpassungen) im Mobilitätsbereich wie
 - Senkung der fahrleistungsabhängigen Ausgaben durch Wahl eines sparsameren Pkw bei der Ersatzanschaffung
 - Senkung der fahrleistungsabhängigen Ausgaben durch Wechsel des Wohnstandorts oder des Arbeitsplatzes

- Senkung der fahrleistungsunabhängigen Ausgaben durch Verschiebung des Pkw-Ersatzzeitpunkts
- Senkung der fahrleistungsunabhängigen Ausgaben durch Abschaffung eines eventuell vorhandenen Zweit- oder Drittwagens.

Das Spektrum der Reaktionsmöglichkeiten privater Haushalte im Fall steigender Kraftstoffpreise ist, wie man sieht, überaus breit. Die aus dem obigen Haushalts-Produktionsfunktions-Ansatz abgeleiteten Optionen und Handlungsparameter der privaten Haushalte decken sich im Übrigen weitgehend mit den Befunden entsprechender sozialwissenschaftlicher Analysen (vgl. Dix, 1986).

Welche Reaktionsweise(n) ein Haushalt tatsächlich an den Tag legt, hängt von seiner Präferenzstruktur ab. Mit Blick auf die obige Unterscheidung kurzfristiger und längerfristiger Anpassungen der Haushalte wird es für das gezeigte Verhalten auch wichtig sein, ob Preisänderungen als episodentartige Schwankungen um einen konstanten Mittelwert wahrgenommen werden oder ob die Konsumenten langfristige Veränderungen des Kraftstoffpreiseniveaus erwarten bzw. konstatieren.

Die in Frage kommenden Reaktionsformen werden im Rahmen der vorliegenden Studie, soweit möglich, auf der Mikro- und Makroebene eingehend untersucht. Im Vorfeld dieser empirischen Analysen wird im Folgenden zunächst zusammengefasst, was bisherige Untersuchungen zum Thema „Kraftstoffpreise und Mobilität“ ergeben haben.

3 Die Elastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage: Stand der empirischen Forschung

3.1 Definition und Ermittlung von Elastizitäten

Für die Verkehrsplanung und Verkehrspolitik sind Nachfrageelastizitäten wichtige Kenngrößen, mit denen die Reaktion der Verkehrsnachfrage (als abhängige Variable) auf die Veränderung von nachfragebeeinflussenden Faktoren (als unabhängige Variable) beschrieben wird. Von besonderem Interesse ist hier die Preiselastizität der Verkehrsnachfrage.

Einleitend wird ein Überblick über den internationalen Forschungsstand zum Verhalten von Pkw-Nutzern bei Kraftstoffpreisänderungen gegeben, sowie eine Spannbreite von relevanten Einkommens- und Preiselastizitäten aufgezeigt. Neben einer Vielzahl von Studien aus europäischen Ländern und den USA, welche die unterschiedlichsten Analysemethoden verwenden, wurden einige zum Teil aufwendige Metaanalysen zur Preiselastizität der Kraftstoffnachfrage herangezogen. Nach einer kurzen Einführung über den Begriff der Elastizität und den zur Berechnung üblichen Datengrundlagen wird eine chronologische Übersicht über exemplarische Arbeiten zu diesem Thema gegeben.

Der Begriff der *Elastizität* geht auf den britischen Ökonomen ALFRED MARSHALL¹ zurück und bezeichnet das Verhältnis der relativen Änderung einer (abhängigen) Variablen zur relativen Änderung einer Einflussgröße. Im Zusammenhang mit dem Mobilitätsverhalten interessiert z.B. die Preiselastizität der Verkehrsnachfrage: Sie gibt grob gesprochen an, um wieviel Prozent die Verkehrsnachfrage sinkt, wenn der Preis um ein Prozent steigt. Eine Elastizität von -0,5 bedeutet beispielsweise, dass eine Kraftstoffpreiserhöhung um 1 % einen Nachfragerückgang um 0,5 % bewirkt.

Formal bedeutet dies:

$$\varepsilon = \frac{\frac{N_2 - N_1}{N_1}}{\frac{U_2 - U_1}{U_1}} = \frac{N_2 - N_1}{U_2 - U_1} \cdot \frac{U_1}{N_1}, \quad [3.1-1]$$

1 Alfred Marshall: „Principles of economics“, Macmillan and Co., Ltd. 1920 (Erstveröffentlichung 1890).

wobei ε für die Elastizität der Nachfrage steht, die Variable N für die Nachfragegröße (z.B. Kraftstoffabsatz in Liter oder gefahrene Kilometer) und die Variable U für die verursachende Größe (z.B. Preis je Liter Kraftstoff). Der Index „1“ wird dabei für den Zustand vor und der Index „2“ für den Zustand nach der Variablenänderung verwendet.

Je nach dem Wert der errechneten Elastizität spricht man entweder von elastischer oder unelastischer Nachfrage. Betragsmäßig kleine Elastizitäten ($|\varepsilon| < 1$) implizieren relativ schwache Reaktionen auf eine Variablenänderung, d.h. die Nachfragegröße verändert sich schwächer als die verursachende Größe - man spricht auch von unelastischer Nachfrage. Elastizitätswerte größer eins deuten auf eine überproportionale Reaktion und somit eine elastische Nachfrage hin. Ein Elastizitätswert von betragsmäßig exakt eins bedeutet, dass sich die Nachfrage in genau demselben Maße ändert wie die verursachende Größe, dass also zum Beispiel eine 10 %ige Preiserhöhung einen Nachfragerückgang um 10 % bewirkt.

Geht man von der Betrachtung endlicher Differenzen zur Betrachtung „unendlich kleiner“ Änderungen (Differenziale) über, so ergibt sich aus Gleichung [3.1-1] die Form

$$\varepsilon = \frac{dN}{dU} \cdot \frac{U}{N}. \quad [3.1-2]$$

Besonders gebräuchlich sind Nachfragefunktionen mit konstanter Elastizität ε , die wie folgt geschrieben werden können:

$$N = cU^\varepsilon. \quad [3.1-3]$$

Man kann (neben dem Preis) eine Vielzahl von Einflussgrößen bei der Berechnung der Verkehrsnachfrage berücksichtigen (siehe Gleichung [3.1-4] unten). Unterschieden wird zwischen nachfrage- und angebotsseitigen Faktoren, welche die Nachfrage mitbestimmen.

Nachfrageseitige Faktoren sind die Eigenschaften der Verkehrsteilnehmer z.B.

- Autobesitz
- Einkommen
- berufliche Stellung
- Reisezweck

- Gewohnheiten etc.

Im Gegensatz dazu beziehen sich angebotsseitige Faktoren auf die Eigenschaften des nachgefragten Gutes (im betrachteten Fall, die Pkw-Nutzung) wie z.B.

- Preis
- Preisunterschied zu anderen Verkehrsmitteln
- Reisezeit
- Zeitersparnis im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln
- Parkmöglichkeit
- Siedlungsstruktur etc.

Nach CERWENKA (2002) sind neben dem Preis insbesondere die Reisezeit t und das Einkommen E relevante Variablen bei der Betrachtung multikausaler Zusammenhänge des Mobilitätsverhaltens. Unter Berücksichtigung dieser Variablen wird der Ansatz erweitert zu folgender Nachfragefunktion:

$$N = c \cdot p^{\varepsilon_p} \cdot E^{\varepsilon_E} \cdot t^{\varepsilon_t} \quad [3.1-4]$$

Die Indizierung der Exponenten dient hier der Unterscheidung von Preiselastizität (ε_p), Einkommenselastizität (ε_E) und Reisezeitelastizität (ε_t). Mit Hilfe regressionsanalytischer Methoden können nach Logarithmierung des obigen Ansatzes die Elastizitäten statistisch geschätzt werden. Die Nachfragefunktion [3.1-4] ist eine in der Praxis der empirischen Wirtschaftsforschung häufig verwendete (sog. „loglineare“) Funktion. Zu beachten ist, dass Elastizitäten häufig nur unter Berücksichtigung von ein oder zwei unabhängigen Variablen berechnet werden, was dazu führt, dass in den berechneten Elastizitäten noch viele andere beeinflussende Variablen „versteckt“ sind, d.h. die Werte verzerrt sein können. Es können niemals alle die Nachfrage beeinflussenden Variablen berücksichtigt werden, da ein Modell die Wirklichkeit nie vollständig abbildet. Somit handelt es sich bei den errechneten Elastizitätswerten immer um Schätzungen, die Gefahr laufen, verzerrt zu sein.

Neben direkten Preiselastizitäten werden auch sogenannte Kreuzpreiselastizitäten berechnet. Die Kreuzpreiselastizität der Nachfrage ist das Verhältnis zwischen der relativen Änderung der Nachfrage nach einem Gut A und der relativen Änderung des Preises eines zweiten Gutes B . Eine Kreuzelastizität der Pkw-Nachfrage bezüglich des Preises für öffentliche Verkehrsmittel

von 0,1 bedeutet z.B., dass auf eine Preiserhöhung im öffentlichen Verkehr um 10 % eine Zunahme der Nachfrage nach Pkw-Nutzung (in Fahrzeugkilometern) um 1 % folgt.

3.2 Kraftstoffpreis- und Einkommenselastizität von Kraftstoffnachfrage und Pkw-Fahrleistungen: Überblick über die internationale Literatur

Zur Berechnung von Elastizitäten kommen eine Vielzahl von Datengrundlagen in Betracht, welche zumeist nicht gezielt zur Berechnung von Elastizitäten erhoben wurden. Verwendet werden Zeitreihen-, Querschnitts- und Paneldaten, Vorher-Nachher-Datenbestände sowie Mischformen. Die jeweilige Datengrundlage kann Auswirkungen auf die erhaltenen Werte haben. Man unterscheidet weiterhin zwischen „stated preferences“ und „revealed preferences“ Daten. Erstere entstammen hypothetischen Befragungen von Konsumenten, letztere werden aus berichtetem bzw. gemessenem Verbraucherverhalten ermittelt. Es zeigt sich, dass bei der Erhebung von Preiselastizitäten mittels „stated preferences“ tendenziell zu hohe Elastizitätswerte ermittelt werden, da Verbraucher zur Übertreibung neigen.

In der Literatur werden verschiedene Nachfrageelastizitäten ermittelt. Wie bereits erwähnt, sind die Einflussgrößen *Preis* und *Einkommen* besonders interessant. Elastizitäten werden nicht nur auf die Gesamtverkehrsnachfrage, sondern auch auf verschiedene Verkehrsmittel (z.B. Pkw, Bahn, Bus, Flugzeug), verschiedene Verkehrsräume (städtische Zentren, Länder, Verkehrskorridore), sowie verschiedene Formen der Nachfrage (Personen-, Güterverkehr) bezogen. Aufgrund der Aufgabenstellung der vorliegenden Studie konzentrieren wir uns im Folgenden auf die Preis- und Einkommenselastizitäten der Pkw-Fahrleistung bzw. der Kraftstoffnachfrage. Um für die Makroanalyse (Kapitel 5) vergleichbare Werte zu erhalten, wurden verstärkt Nachfrageelastizitätswerte aus Untersuchungen für Deutschland betrachtet – es werden aber auch Ergebnisse aus anderen europäischen Ländern herangezogen.

Preiselastizitäten der Pkw-Fahrleistung bzw. der Kraftstoffnachfrage wurden in diversen Publikationen behandelt; Grundlage bildet Datenmaterial aus verschiedenen Ländern. In annähernd chronologischer Reihenfolge wird eine Auswahl wichtiger Studien vorgestellt. Die jeweils verwendete Methodik, die Qualität der zugrundeliegenden Datenbasis sowie die Wahl der berücksichtigten Variablen resultieren in einer relativ großen Spannweite der Elastizitätswerte.

Frühe Übersichtsartikel von DROLLAS (1984) und BLUM et al. (1988) geben Werte älterer Verkehrsmodellierungen wieder. Zu dieser Zeit wurde nicht immer zwischen kurz- und

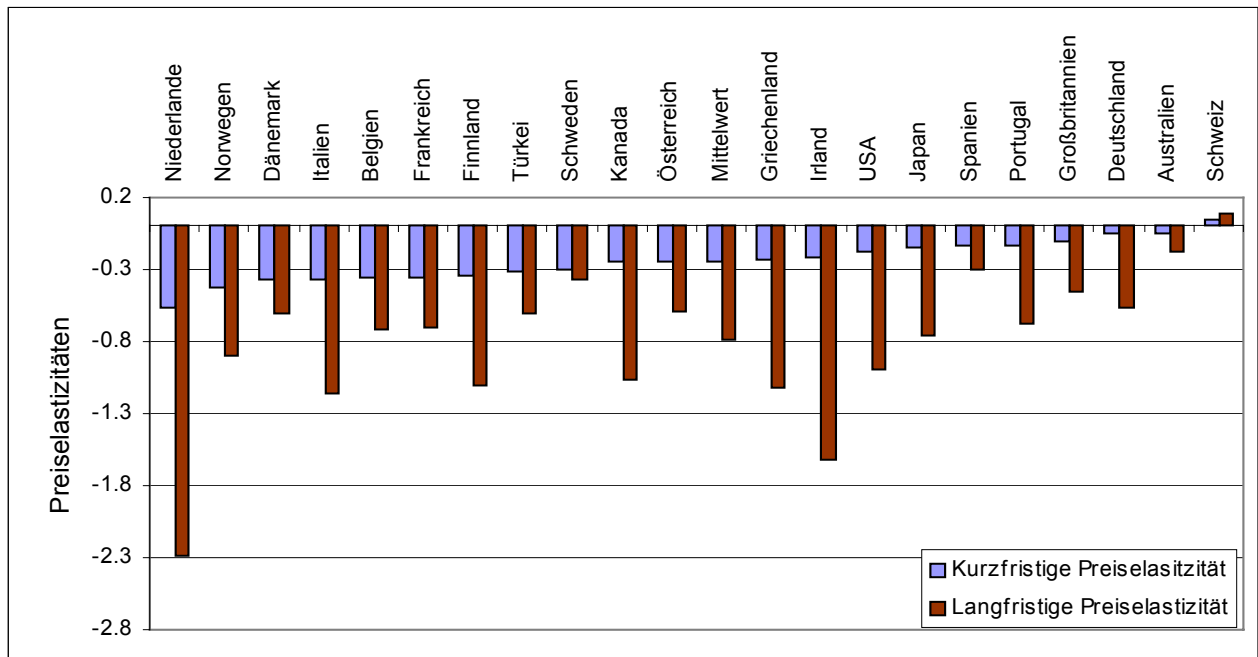
langfristigen Elastizitäten unterschieden. DROLLAS gibt einen langfristigen Preiselastizitätswert von -0,6 für Großbritannien an, während er für Westdeutschland den Wert -1,2 errechnete. Die entsprechenden kurzfristigen Elastizitätswerte liegen bei -0,26 bzw. -0,53. BLUM et al. betrachten mehrere aggregierte Zeitreihen für Westdeutschland und Österreich. Die erhaltenen Werte für kurzfristige Preiselastizitäten liegen im Bereich von -0,25 bis -0,83. BLUM et. al diskutieren auch die Werte von FOOS (1986) welche für Deutschland eine Preiselastizität von -0,28 und eine Einkommenselastizität von 0,25 ermittelte. Der relativ niedrige Wert für die Einkommenselastizität wird durch die hohe Anzahl von Variablen und die Einbeziehung von Variablen der wirtschaftlichen Aktivität erklärt. Werden derlei Variablen nicht mitberücksichtigt, wird die Einkommenselastizität generell überschätzt.

Ein häufig zitierter Artikel von STERNER (1992)² listet Kraftstoffpreiselastizitäten für 21 OECD-Länder auf, die durch die Anwendung dynamischer Verkehrsmodelle auf Datenmaterial von 1960-1985 ermittelt wurden. Seine Ergebnisse sind in Abbildung 3-1 dargestellt. Die Mittelwerte liegen nach dieser Studie für kurzfristige Elastizitäten bei -0,24 (0,09)³ und für langfristige Preiselastizitäten bei -0,79 (0,29). Für Deutschland ermittelt der Autor Werte von -0,05 (0,07) und -0,56 (0,82) für die kurzfristigen bzw. langfristigen Preiselastizitäten der Kraftstoffnachfrage. Es ist erkennbar, dass die Elastizitäten nationale Unterschiede aufweisen.

² Sterner, T.; und Dahl, C. (1992): Modelling transport fuel demand. In: T. Sterner (ed.) International Energy Economics, Chapman and Hall, London, S. 65-79 [45].

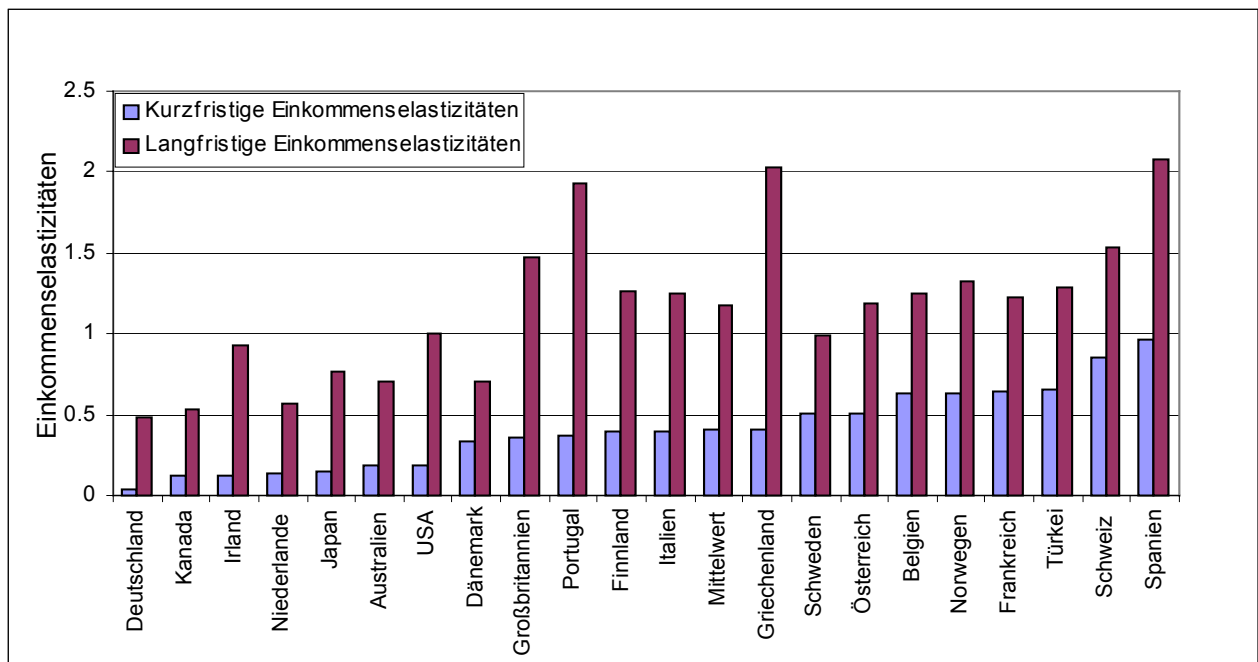
³ Die Werte in Klammern beziehen sich auf die Standardabweichung.

Abbildung 3-1: Preiselastizitäten (1960-1985) für verschiedene OECD-Staaten nach STERNER (1992)



Quelle: GRAHAM et. al. (2002) [23].

Abbildung 3-2: Einkommenselastizitäten (1960-1985) für verschiedene OECD-Staaten nach STERNER (1992)



Quelle: GRAHAM et. al. (2002) [23]

Hierbei verwundert, dass Länder mit ähnlichem Wohlstand und vergleichbaren Siedlungsmerkmalen gänzlich verschiedene Elastizitätswerte aufweisen, wie z.B. die Niederlande und Deutschland. Länder, die sich in diesen Eigenschaften eher unterscheiden, haben dagegen vergleichbare Elastizitäten, z.B. die Türkei und Finnland. Deutschland hat vergleichsweise geringe Preiselastizitäten. In Abbildung 3-2 sind STERNERS Ergebnisse für die Einkommenselastizitäten der Kraftstoffnachfrage dargestellt. In diesem Fall sind die größten langfristigen Elastizitätswerte bei den vergleichsweise ärmeren Ländern Griechenland, Portugal und Spanien zu finden. Kleine Einkommenselastizitäten weisen Deutschland (kurzfristig 0,04 (0,16)⁴, langfristig 0,48 (1,92)) sowie Kanada, Irland und die Niederlande auf. Auffallend sind die großen Werte für die Standardabweichungen, dies impliziert eine hohe Unsicherheit der Ergebnisse.

OUM et al. (1992) vergleichen über 60 Studien zu Preiselastizitäten der Verkehrsnachfrage. Die Studien stammen aus verschiedenen Ländern und betrachten verschiedene Verkehrsmittel. In Tabelle 3-1 sind Schätzungen für Preiselastizitäten der Pkw-Nachfrage aus sieben Studien zusammengefasst; es handelt sich dabei sämtlich um „Single-Mode“-Studien, die ihre Daten aus Haushaltsbefragungen ermittelten und in den Jahren 1985-1990 veröffentlicht wurden. Die Werte liegen zwischen -0,09 und -0,52 und zeigen, dass die Pkw-Nutzung relativ preisunelastisch ist.

Tabelle 3-1: Preiselastizitäten der Pkw-Nutzung

Untersuchungsgebiet	Kurzfristige Elastizitäten	Langfristige Elastizitäten	Nicht definierte Zeiträume
USA	-0,23	-0,28	-0,13 bis -0,45
Australien	-0,09 bis -0,24	-0,22 bis -0,31	-0,22 bis -0,52
UK	-	-	-0,14 bis -0,36

Quelle: OUM et al. (1992)

Anmerkung: Ohne Angabe des Mittelwertes oder der Standardabweichungen, aufgrund der kleinen Anzahl an Studien.

OUM gibt in seinem Aufsatz auch Werte für die Elastizitäten der Nachfrage des städtischen Durchgangsverkehrs an, wobei die Werte im Bereich von -0,01 bis -0,7 liegen.

Die Unterschiede in den Untersuchungszeiträumen und der spezielle methodische Ansatz können einen erheblichen Einfluss auf die errechneten Elastizitäten haben, wie auch GOODWIN (1992) hervorhebt. Er gibt als Durchschnitt von 120 Studien über Kraftstoffpreiselastizitäten

⁴ Standardabweichung in Klammern.

einen Wert von -0,48 an. Analog zu OUM werden Studien mit kurzfristigen (< 1 Jahr), langfristigen (5-15 Jahre) und nicht definierten Zeiträumen getrennt betrachtet. Außerdem differenziert GOODWIN nach Datentypen und unterscheidet zwischen Zeitreihen- und Querschnittsanalysen. Der jeweilige Mittelwert aller von GOODWIN untersuchten Studien ist in Tabelle 3-2 wiedergegeben.

Tabelle 3-2: Elastizitäten des Kraftstoffverbrauchs in Bezug auf den Kraftstoffpreis

Datentyp	Kurzfristige Elastizitäten	Langfristige Elastizitäten	Nicht definierte Zeiträume
Zeitreihen	-0,27 (0,18 / 51)	-0,71 (0,41 / 45)	-0,53 (0,47 / 8)
Querschnitte	-0,28 (0,13 / 6)	-0,84 (0,18 / 8)	-0,18 (0,10 / 5)

Quelle: GOODWIN (1992)

Anmerkungen: Standardabweichungen und Anzahl der einbezogenen Studien in Klammern.

Da zu vermutet ist, dass sich das Verkehrsaufkommen proportional zum Kraftstoffverbrauch verhält, hat GOODWIN auch diesen Zusammenhang untersucht (vgl. Tabelle 3-3).

Tabelle 3-3: Elastizitäten des Pkw-Verkehrsaufkommens in Bezug auf den Kraftstoffpreis

Datentyp	Kurzfristige Elastizitäten	Langfristige Elastizitäten	Nicht definierte Zeiträume
Zeitreihen	-0,16 (0,08 / 4)	-0,33 (0,11 / 4)	-0,46 (0,4 / 5)
Querschnitte	-	-0,29 (0,06 / 2)	-0,5 (- / 1)

Quelle: Goodwin (1992)

Anmerkung: Standardabweichungen und Anzahl der einbezogenen Studien in Klammern.

Der Vergleich von Tabelle 3-2 und Tabelle 3-3 verdeutlicht, dass Verbraucher bei steigenden Kraftstoffpreisen ihren Kraftstoffdurchschnittsverbrauch vermehrt mit anderen Reaktionen zu senken versuchen, anstatt ihre Fahrleistung zu reduzieren. Dies gelingt z.B. über gleichmäßiges Fahren im unteren Drehzahlbereich sowie über die Anschaffung verbrauchsgünstiger Fahrzeuge.

Die Wahl des Modellansatzes hat ebenfalls Einfluss auf die Höhe der Elastizitäten, beispielsweise haben DARGAY und GOODWIN (1995) die Implementierung von dynamischen anstelle von statischen Modellen für die Abschätzung von Elastizitäten untersucht. Sie kommen zu dem

Ergebnis, dass die Verwendung statischer Elastizitäten zu fehlerhaften Abschätzungen führt. Diese Fehler sind jedoch im Falle kleiner Preisänderungen klein.

ROUWENDAL und DEVRIES (1999) analysieren mit Hilfe von Paneldaten der Niederlande die Reaktionen von Pkw-Fahrern auf Änderungen des Kraftstoffpreises. Hypothese der Studie ist, dass Verbraucher auf unerwartete Preisänderungen anders reagieren als auf langfristig angekündigte Kraftstoffpreisänderungen (z.B. durch Steuererhöhungen). Die verwendeten Daten stammen aus den Jahren 1986 und 1991. In beiden Jahren fanden spürbare Kraftstoffpreisänderungen in den Niederlanden statt, 1991 wurden die Mineralölsteuersätze angehoben. Die Autoren verwenden zwei Regressionsmodelle zur Berechnung der Elastizitäten - zum einen ein Modell mit zufälligen Effekten (REM), zum anderen ein Regressionsmodell mit festen Effekten (FEM). Das REM beinhaltet verstärkt die „innere Dimension“ der Daten, d. h. die Unterschiede im Verhalten der verschiedenen Individuen (Querschnitt), während der Fokus des FEM eher auf der Verhaltensänderung eines Individuums im Laufe der Zeit liegt (Längsschnitt). Unter Einbeziehung oder Vernachlässigung verschiedener Variablen (Trennung von beruflichen und privaten Fahrten, saisonale Effekte etc.) werden folgende Spannbreiten der Elastizitäten für die betrachteten Jahre angegeben:

Tabelle 3-4: Kraftstoffpreiselastizitäten des Modells mit festen Effekten (FEM) und des Modells mit zufälligen Effekten (REM) in den Niederlanden 1986 und 1991

Jahr	FEM	REM
1986	0 bis -0,37	-0,44 bis -0,5
1991	Keine Signifikanz	-0,63 bis -0,65

Quelle: ROUWENDAL und DEVRIES (1999)

Die Modelle liefern verschiedene Ergebnisse; die Elastizitätswerte des REM liegen allgemein höher. Die Gründe dafür liegen z.B. in der Trennung von Fahrten mit geschäftlichen und privaten Zwecken, die beim FEM nicht möglich war. Die Werte des FEM liegen auch deswegen niedriger, weil die Paneldaten eines Individuums jeweils nur über einen Zeitraum von drei Monaten erhoben wurden. Langfristige Reaktionen wurden dementsprechend nicht erfasst. Dies erklärt auch, weshalb für dieses Modell mit den Daten von 1991 kein signifikantes Ergebnis erzielt wurde. Die Erhöhung der Mineralölsteuer war den Verbrauchern lange im Voraus bekannt, so dass Reaktionen zum Zeitpunkt der Steuererhöhung möglicherweise schon stattgefunden hatten. Zudem traf die Steuererhöhung mit einer Phase sinkender Marktpreise zusammen, so dass die eigentliche Preiserhöhung wohl eher geringer ausfiel als von den Verbrauchern erwartet worden war. Die Autoren konstatieren, dass psychologische Effekte eine wichtige Rolle spielen. So führt eine Erhöhung der Kraftstoffpreise auf einen historisch noch nie

erreichten Wert zu gänzlich anderen Reaktionen als die betragsmäßig gleiche Erhöhung des Preises nach einer vorausgegangenen Preissenkung.

Einige neuere Studien beschäftigen sich mit der Untersuchung von Kraftstoffeffizienzsteigerungen und der Kfz-Technologie von Neuwagen. In älteren Studien wurden Fortschritte in der Effizienz von Pkw zumeist vernachlässigt. Eine Analyse der Zusammenhänge zwischen Kraftstoffpreisen, Einkommen, Mineralölsteuer und technischem Fortschritt bezüglich der Pkw-Fahrleistung liefert ESPEY (1996). Die Studie umfasst acht Länder (darunter auch Deutschland) und einen Zeitraum zwischen 1975 und 1990. Für eine mittlere Kraftstoffeffizienz der Pkw-Flotte errechnet sie eine Preiselastizität von 0,20. Einer Preiserhöhung um 10 % folgt demnach eine Effizienzsteigerung (gefahrte Kilometer pro Liter Kraftstoff) von 2 %. JOHANSSON und SCHIPPER (1997) untersuchen den Einfluss steigender Kraftstoffeffizienz in Deutschland und weiteren elf OECD-Staaten. Die Ergebnisse bestätigen die Vermutung, dass der stetige technologische Fortschritt eine wichtige Rolle in der Kraftstoffnachfrageentwicklung spielt. Die langfristige Preiselastizität der Nachfrage wird von den Autoren mit -0,7 angegeben, wobei ca. 60 % dieses Wertes durch Änderungen in der Effizienz von Kraftstoffen begründet sind.

In einer ausführlichen Studie versucht ESPEY (1998) der immer wieder auftauchenden Frage nach der Vergleichbarkeit der verschiedensten Elastizitätswerte auf den Grund zu gehen. Sie führt hierzu eine Metaanalyse internationaler Elastizitäten der Kraftstoffnachfrage durch. ESPEYs Studie basiert auf einer Vielzahl von Aufsätzen aus den Jahren 1966-1997. Es werden insgesamt 1.230 verschiedene Abschätzungen für kurz- bzw. langfristige Elastizitäten bzgl. Preis- oder Einkommensänderungen mit einbezogen. Die zugrundeliegende Hypothese ist, dass die Unterschiede in den Schätzwerten für Elastizitäten durch Nachfrageeigenschaften, Datencharakteristika, „Umfeld“-Eigenschaften sowie die Schätzmethode erklärt werden können. ESPEYs Ergebnis legt nahe, dass die Abschätzung der Elastizitäten empfindlich bezüglich einer Reihe von verschiedenen Aspekten der Modellstruktur ist. Beispielsweise führt die zusätzliche Einbeziehung der Variablen „Pkw-Besitz“- und „Kraftstoffeffizienz“ zu betragsmäßig kleineren Schätzwerten für kurzfristige Preiselastizitäten. Statische Modelle produzieren gegenüber dynamischen Ansätzen tendenziell größere kurzfristige und kleinere langfristige Elastizitäten (siehe dazu auch DARGAY und GOODWIN). Dagegen wurden keine signifikanten Unterschiede für verschiedene dynamische Modellspezifikationen gefunden, ebensowenig bezüglich der Datenstruktur (Querschnittsdaten vs. Zeitreihen). Die Metaanalyse zeigt außerdem, dass die Elastizitäten mit der Zeit Veränderungen unterliegen. Kurzfristige Elastizitäten haben sich seit den Anfängen (in den 1970er Jahren) der Elastizitätenberechnung im Verkehrssektor stark verringert, während langfristige Elastizitäten tendenziell größer wurden. Dieser Effekt könnte auf zunehmende Kraftstoffeffizienz zurückzuführen sein (technologischer Fortschritt im

Fahrzeugsektor). Daher sind laut der Autorin Preiselastizitäten der 1970er und 1980er Jahre nicht auf die Gegenwart übertragbar.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgen auch KREMERS et al. (2002). Durch ein von den Autoren eingeführtes Gleichgewichtsmodell werden verschiedene Studien mit unterschiedlichen ceteris paribus⁵-Annahmen vergleichbar gemacht. Unterschiedliche Elastizitäten erhält man auch bei der Verwendung kommunaler anstelle nationaler Daten. Die Preiselastizitäten bezüglich der Pkw-Nutzung sind dabei signifikant kleiner, was auf das Vorhandensein alternativer Transportmöglichkeiten in Städten zurückzuführen ist.

Einen umfassenden und aktuellen Überblick über die vorhandenen Literatur zur Elastizität der Kraftstoffnachfrage liefern GRAHAM et. al. (2002). Erweiterte und interpretierte Ergebnisse ihrer Arbeit finden sich in GRAHAM et al. (2002a). Es wurden 113 Studien der Jahre 1966-2000 mit 1.274 Kraftstoffnachfrageelastizitäten einbezogen. Tabelle 3-5 gibt die erhaltenen statistischen Kennzahlen für die kurz-, mittel-, und langfristigen Preiselastizitäten wieder.

Tabelle 3-5: Zusammenfassende Statistik der Preiselastizitäten

Zeitbezug	Anzahl	Maximum	Minimum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Kurzfristig	387	0,59	-2,13	-0,25	-0,21	0,24
Mittelfristig	52	0,28	-0,88	-0,35	-0,35	0,27
Langfristig	213	0,85	-22,00	-0,77	-0,55	1,65

Quelle: GRAHAM et. al (2002)

Bemerkenswert ist die große Spannweite, z.B. bei kurzfristigen Preiselastizitäten von 0,59 bis -2,13. Für die langfristigen Elastizitäten ergeben sich Werte zwischen 0,85 und -22,0. Dies verdeutlicht, dass in beiden Fällen auch positive Werte für Preiselastizitäten zu finden sind (was intuitiv nicht sinnvoll erscheint). Die Werte der Standardabweichung zeigen, dass langfristige Elastizitäten eine höhere Varianz haben als kurzfristige. Die Verteilung der kurzfristigen Preiselastizitäten offenbart allerdings einen Hang zum Cluster: 57 % der Werte liegen zwischen -0,41 und -0,13. Nur 14 % der Werte sind betragsmäßig größer als -0,41. Für die langfristigen Preiselastizitäten fällt auf, dass nur 5 % der Werte kleiner als -1,5 sind, die Mehrheit der Elastizitäten liegt unterhalb des Mittelwertes von -0,77.

⁵ (lat.) unter sonst gleichbleibenden Bedingungen.

Tabelle 3-6 zeigt die zugehörigen Werte für Einkommenselastizitäten. Kritisch anzumerken ist, dass Unterschiede in den Studien nicht beachtet wurden (z.B. die zeitliche Veränderung der Elastizitäten, wie sie von ESPEY angemerkt wurde), sondern ein direkter Mittelwert gebildet worden ist. Dadurch werden schwer vergleichbare Elastizitätswerte unterschiedlichster Herkunft als gleichwertig behandelt. Die Clusterung der Werte rechtfertigt diese Vorgehensweise teilweise.

Tabelle 3-6: Zusammenfassende Statistik der Einkommenselastizitäten

Zeitbezug	Anzahl	Maximum	Minimum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Kurzfristig	377	1,71	-0,71	0,39	0,40	0,35
Mittelfristig	48	2,42	0,03	1,19	1,31	0,50
Langfristig	198	2,68	-4,47	0,35	0,72	1,25

Quelle: GRAHAM et. al. (2002)

3.3 Fazit der Literaturanalyse

Die Literaturanalyse ergab, dass eine Vielzahl von verschiedenen Modellen zur Ermittlung von Nachfrageelastizitäten existiert. Die Studien geben zumeist Werte für kurz- und langfristige Elastizitäten an, wobei verschiedene nachfragebeeinflussende Faktoren untersucht werden; die wichtigsten sind Kraftstoffpreis und Einkommen.

Problematisch bei der Mittelwertbildung über die verschiedenen Studien hinweg ist die geringe Vergleichbarkeit der Werte, da sie für verschiedene Länder unter gänzlich verschiedenen Annahmen und mit verschiedener Methodik zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt wurden. Vor der Verwendung von Mittelwerten wird daher gewarnt. Die Angabe einer Spannweite von Elastizitätswerten erscheint dagegen sinnvoller, da trotz der Verschiedenheit der Studienmethoden, Datengrundlagen und den nationalen Besonderheiten des Verkehrsverhaltens die Ergebnisse doch zumeist eine Tendenz zeigen.

Langfristige Preiselastizitäten liegen typischer Weise zwischen -0,6 und -0,8, während kurzfristige Preiselastizitäten in etwa zwischen -0,2 und -0,4 betragen, d.h. kurzfristige Reaktionen der Verbraucher bewegen sich in der Größenordnung von 30 bis 50 % der langfristigen Reaktion auf eine Preisänderung. Die genannten Werte implizieren, dass die kurzfristigen Reaktionen einem eher unelastischen Nachfrageverhalten entsprechen, während auf längere Sicht eine durchaus bedeutende Reaktion der Verbraucher zu erwarten ist.

In Bezug auf Einkommenselastizitäten können Werte zwischen 0,5 und 1,5 auf lange Sicht und Werte zwischen 0,35 und 0,55 für kurze Zeiträume angenommen werden. Die Streuung der Werte für die Einkommenselastizitäten ist wesentlich höher als bei den Preiselastizitäten.

Wie die Literaturübersicht gezeigt hat, sind Elastizitätsuntersuchungen bisher nur ganz selten auf der Basis von Paneldaten durchgeführt worden. Auch hat sich gezeigt, dass die Schätzung von Elastizitäten im Fall nicht beobachteter oder nicht beobachtbarer erklärender Variablen problematisch ist. Dieses letztgenannte Problem lässt sich durch die Verwendung von Paneldaten in Verbindung mit speziellen Panelmodellen wesentlich entschärfen. Nicht zuletzt darin liegt der besondere Wert der hier vorliegenden Studie.

4 Forschungsdesign und Datengrundlagen der Studie

4.1 Genereller Untersuchungsansatz

Ausgehend von den in Kapitel 1 formulierten Fragestellungen und Zielen der vorliegenden Studie und vor dem Hintergrund des in Kapitel 3 zusammengefassten aktuellen Standes der Forschung zum Themenkomplex „Kraftstoffpreiselastizität der Personenverkehrsnachfrage“ wird im Folgenden ein Untersuchungsansatz entwickelt, der sich auf den konzeptuellen Rahmen gemäß Kapitel 2 stützt und ein breites Spektrum vorhandener empirischer Daten nutzt.

Dabei werden für die Analysen sowohl Makro- als auch Mikrodaten zur Nachfrage im Personenverkehr herangezogen. Auch im Hinblick auf die anzuwendenden Analyseverfahren wird auf Vielfalt, d.h. einen Methodenmix gesetzt: Neben klassischen Regressionsmodellen für aggregierte Zeitreihendaten kommen bei der Analyse von Mikrodaten zur Mobilität neuere Multi-Level-Modelle der Mikroökonomie (Panelmodelle für Pkw-Fahrleistungen) und Methoden der Künstlichen Intelligenz (neuronale Netze⁶ für die verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen von Personen) zum Einsatz.

4.2 Zeitreihenanalytische Untersuchungen auf Makroebene zu kraftstoffpreisbedingten Änderungen des Kraftstoffabsatzes sowie Änderungen von Umfang und Struktur des Pkw-Bestands

Mit Hilfe von Makrodaten der amtlichen Statistik und weiterer Quellen, deren themenspezifische Aufbereitung im Anhang I näher dargestellt ist, kann die langfristige zeitliche Entwicklung von

- Kraftstoffpreisen
- Kraftstoffabsatz
- Pkw-Bestand

⁶ Mit neuronalen Netzen ist eine simultane Betrachtung der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen von Personen auf vergleichsweise einfache Art und Weise möglich. Deshalb wurde für dieses multivariate Analyseproblem den Methoden der Künstlichen Intelligenz der Vorzug vor ökonomischen Methoden gegeben.

- Pkw-Neuzulassungen
- Pkw-Besitzumschreibungen
- Pkw-Löschungen und
- durchschnittlichen Kraftstoffverbräuchen

beschrieben und analysiert werden. Dabei steht die Frage im Vordergrund, ob sich beobachtete Änderungen beim Kraftstoffabsatz (als dem zentralen Indikator der Pkw-Verkehrsnachfrage auf aggregierter Ebene) auf Änderungen der Kraftstoffpreise zurückführen lassen. Da der gesamte Kraftstoffabsatz außer vom Kraftstoffpreis noch von weiteren makroökonomischen Faktoren wie z.B. Pkw-Bestand und verfügbares Einkommen abhängt, sind multiple (log-)lineare Regressionsmodelle in unterschiedlicher Spezifikation das geeignete Analyseinstrument (vgl. Abschnitt 5.1).

Mit den oben genannten Zeitreihen ist es möglich, ein ganzes Spektrum von Reaktionsmöglichkeiten auf geänderte Kraftstoffpreise zu untersuchen. Neben möglichen Anpassungen im Bereich des mengenmäßigen Kraftstoffverbrauchs (und damit der Pkw-Fahrleistungen) sind dies auch Reaktionen im Hinblick auf Zahl und Art der Pkw privater und gewerblicher Halter sowie Verhaltensänderungen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Fahrweise.

Die Literaturanalyse zu Preiselastizitäten der Verkehrsnachfrage hat gezeigt, dass Verkehrsteilnehmer des Pkw-Verkehrs ihr Verhalten in gewissem Umfang an die Kraftstoffpreisentwicklung anpassen. Da die Ergebnisse aus der Elastizitätenanalyse teilweise breit streuen, ist es sinnvoll, auf der Basis von Makrodaten für Deutschland den Zusammenhang zwischen Preisen und Mobilitätsverhalten der Verkehrsteilnehmer tiefergehend zu untersuchen. Hierzu bieten sich Zeitreihenanalysen an, die über kürzere oder längere Zeiträume die Entwicklung bzw. die Veränderung charakteristischer Variablen des Verbraucherverhaltens hinsichtlich ihrer Abhängigkeiten vom Kraftstoffpreis untersuchen.

Für diesen Zweck herangezogen wurden neben den Preisen für die unterschiedlichen Kraftstoffqualitäten (Normalbenzin, Superbenzin und Dieselmotorkraftstoff) vor allem die Kraftstoffabsätze und die Pkw-Bestandsstatistiken. Des Weiteren wurden sozioökonomische Daten als zusätzliche erklärende Variablen in die Analyse einbezogen (BIP, Verbraucherindex, Mehrwertsteuersatz). Um die Zeitreihenwerte der Variablen besser zu verstehen, ist es sinnvoll, besondere politische und wirtschaftliche Ereignisse im Zeitablauf zu erfassen, die einen spürbaren Einfluss auf Preis- und Nachfragevariablen haben. Dazu zählen Gesetzesänderungen ebenso wie Rezessionen, Kriege und Erdölkartelle.

Im bereits erwähnten Anhang I wird ein Überblick über die aufbereiteten Datensätze und Informationen gegeben, welche für die Makroanalyse von Interesse sind. Neben einer Übersicht über die Entwicklung zentraler Größen werden auftauchende Probleme bei der Aufbereitung der einzelnen Datenreihen diskutiert. Da nicht alle Datensätze in monatlichen Reihen vorlagen, reichte es für die Makroanalyse nicht aus, allein den Zeitraum ab 1995 zu wählen - in Analogie zu den Daten des Mobilitätspanels, die in der Mikroanalyse verwendet werden. Insofern wurden als Ergänzung auch Langfristzeitreihen mit Jahresdaten untersucht, wobei das Anfangsjahr 1970 als der „kleinste gemeinsame Nenner“ identifiziert wurde.

4.3 Mikroökonomische Analysen zu kraftstoffpreisbedingten Änderungen der Pkw-Fahrleistungen privater Haushalte

Die Wirkungen von Kraftstoffpreisänderungen auf die Pkw-Verkehrsnachfrage lassen sich besonders genau mit Hilfe von Mikrodaten, also Daten auf der Ebene des einzelnen Haushalts oder des einzelnen Fahrzeugs untersuchen. Mit der „Tankbucherhebung“ im Rahmen des Mobilitätspanels stehen solche Daten für den Zeitraum 1995-2002 zur Verfügung. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über das Mobilitätspanel (kurz MOP) gegeben, das seit 1994 vom Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe und NFO Infratest, München, erhoben wird.

Beim Mobilitätspanel handelt es sich um ein sogenanntes rotierendes Panel, in dessen Rahmen die Mitglieder eines Haushaltes in bis zu drei aufeinanderfolgenden Jahren zu ihrem Verkehrsverhalten mit Hilfe eines Wegetagebuchs befragt werden. In diesen drei Berichtsjahren werden die Daten einer Kohorte erfasst, wobei in jedem Kalenderjahr die Datenerfassung einer neuen Kohorte beginnt. Neben weiteren soziodemografischen und wohnumfeldspezifischen Merkmalen werden auch Merkmale der Ausstattung des Haushalts mit Fahrzeugen erhoben. Ein Teil der Panelhaushalte mit Pkw erhält zusätzlich noch ein Tankbuch für jeden Personenkraftwagen. In dieses Tankbuch sind über einen Zeitraum von etwa 2 Monaten die getätigten Tankvorgänge einzutragen.

Das Mobilitätspanel teilt sich also in einen Datenbestand „Alltagsmobilität“, dessen Kern die Wegeprotokolle der Teilnehmer sind und in einen Datenbestand „Kraftstoffverbrauch und Kfz-Fahrleistung“, die auf den Tankbucherhebungen basieren. Eine Übersicht über die Struktur der MOP-Datenbestände zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 4-1: Struktur der Datenbestände des Mobilitätspanels

Datenbestände des Mobilitätspanels	
Datenbestand Wegetagebucherhebung	Datenbestand Tankbucherhebung
- Haushaltsmerkmale	- Fahrzeugmerkmale
- Personenmerkmale	- Merkmale der Tankvorgänge (Berichts-
- Wegemerkmale (7 Berichtstage)	zeitraum ca. 6 bis 8 Wochen)

Die Befragung zur Alltagsmobilität und die Tankbucherhebung werden zeitlich getrennt durchgeführt. Die Befragung einer neuen Kohorte beginnt jeweils im Herbst eines Jahres (September/Oktober) mit der Erhebung zur Alltagsmobilität. Im darauffolgenden Frühsommer (Mai/Juni) folgt dann die Tankbucherhebung. Diese zeitliche Abfolge wiederholt sich für jede Kohorte in den darauffolgenden zwei Jahren. Die oben genannten Datenbestände und die Arbeiten zu deren Aufbereitung für die Zwecke der vorliegenden Studie werden im Anhang II detailliert beschrieben.

Grundlage der empirischen Untersuchungen zur Abhängigkeit der Fahrleistungen von Pkw aus Privathaushalten vom Niveau der Kraftstoffpreise bilden die Tankbuchdaten der Erhebungsjahre 1995 bis 2002. Alles in allem wurden in diesem Zeitraum von den insgesamt 990 verschiedenen Panelhaushalten, die an der Tankbucherhebung bisher teilgenommen haben, $n = 2.475$ verwertbare Tankbücher ausgefüllt. Unter den „Tankbuch-Haushalten“ im Panel sind 593 Haushalte, die in mindestens zwei Berichtsjahren das Tankbuch geführt haben; insgesamt gibt es 1.490 „Haushaltsjahre“ von Wiederholer-Haushalten im Tankbuchdatenbestand.

Bei vielen Analysen auf Fahrzeugebene konnten nur die 328 Wiederholer-Haushalte ab der Kohorte 1997 einbezogen werden, weil erst ab diesem Jahr der im Hinblick auf Fahrleistung und Kraftstoffpreis wichtige Faktor Antriebsart des Pkw (Ottomotor, Dieselmotor) in geeigneter Form erfasst worden ist. Von diesen 328 Haushalten liegen 1.038 Beobachtungen auf Fahrzeugebene („Fahrzeugjahre“) im Tankbuchdatenbestand vor.

Auf der Grundlage der Tankbuchdaten wird unter Verwendung von statistisch-ökonomischen Modellen, die speziell für Paneldaten entwickelt wurden, geprüft, ob Kraftstoffpreisänderungen zu Änderungen der Pkw-Fahrleistung führen. Der Einflussfaktor Kraftstoffpreis wird dabei stets zusammen mit weiteren Bestimmungsfaktoren der Pkw-Fahrleistung wie z.B. dem Typ des Haushalts, aus welchem das Fahrzeug stammt, betrachtet. Die betreffenden Regressionsmodelle, auch Multi-Level-Modelle genannt, berücksichtigen die Tatsache, dass bei Paneldaten die aus verschiedenen Jahren stammenden, zum selben Haushalt gehörenden

Beobachtungen nicht voneinander unabhängig sind. Hinzu kommen auf der Fahrzeugebene Abhängigkeiten zwischen Pkw, die zum selben Haushalt gehören.

Die Analysen zur Kraftstoffpreiselastizität der Nachfrage nach Pkw-Eigenbeförderungsleistungen - letztere gemessen durch die Summe der vom einzelnen Fahrzeug oder vom Haushalt als Ganzes gefahrenen Pkw-Kilometer - werden mittels

- Panelmodellen mit festen Effekten sowie
- Panelmodellen mit zufälligen Effekten

durchgeführt. Bei den Modellen mit zufälligen Effekten wird auf die Ergebnisse eines früheren BMVBW-Forschungsprojekts zur Analyse des Mobilitätspanels zurückgegriffen (HEIDEMANN u.a., 2000). Weitere Einzelheiten zur Analysemethode finden sich in Abschnitt 5.2 der vorliegenden Arbeit.

4.4 Mikroanalysen zu kraftstoffpreisbedingten Änderungen des Mobilitätsverhaltens von Personen mittels neuronaler Netze

Änderungen der Kraftstoffpreise können Auswirkungen nicht nur auf die Pkw-Nutzung, sondern auch auf die Nachfrage nach anderen Formen der Fortbewegung von Personen haben. Die Frage, ob z.B. bei steigenden Kraftstoffpreisen Eigenbeförderungsleistungen mit dem Pkw durch Fahrten mit öffentlichen Verkehrsmitteln substituiert werden, kann nur auf der Grundlage von Daten zum gesamten Mobilitätsverhalten von Personen bzw. Haushalten empirisch untersucht werden.

Die „Wegetagebucherhebung“ im Rahmen des Mobilitätspanels liefert Mikrodaten der oben genannten Art. Im Wegetagebuch einer Person werden, wie bereits erwähnt, für 7 aufeinander folgende Tage alle Ortsveränderungen erfasst. Da in den Wegetagebuchdaten der jeweils gezahlte Kraftstoffpreis nicht enthalten ist, war für die Zwecke der vorliegenden Studie eine Ergänzung des Datenbestandes auf Haushaltsebene um das Merkmal Kraftstoffpreis notwendig. Näheres hierzu findet man im Anhang III.

Zur Untersuchung des Mobilitätsverhaltens der Bevölkerung bei veränderten Kraftstoffpreisen werden zusätzlich zu den Haushalts- und Personenmerkmalen die mit Hilfe des Wegetagebuchs erfassten Wegemerkmale verwendet. Zu jedem durchgeführten Weg einer befragten Person liegt der Wegezweck, das (vorwiegend) verwendete Verkehrsmittel, die

Wegedauer in Minuten und die Wegelänge in km vor. Seit 1994 wurden im Mobilitätspanel über 270.000 Einzelwege erfasst. Über die Haushalts- und Personennummer können Variablen aus der Haushalts-, Personen- und Tankbuchdatei in die Wegedatei mit aufgenommen werden.⁷

Tabelle 4-2: Anzahl der Datensätze der Haushalts-, Personen- und Wegedatei des Mobilitätspanels

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Total
Haushalte	239	385	748	746	764	1012	837	1116	5847
Personen mit Wegetagebuch	517	744	1487	1523	1500	1887	1618	2009	11285
Wege	12380	16816	37233	38259	36769	46386	38262	49594	275699

Zur Untersuchung des Mobilitätsverhaltens von Personen wurden die Angaben zur Wegelänge auf tägliche Verkehrsleistungen (Personenkilometer pro Tag) - untergliedert nach vorwiegend verwendetem Verkehrsmittel - aggregiert. Hierbei wurden die in der Wegedatei verwendeten Gewichte berücksichtigt⁸. Man erhält dadurch für jede Person im Panel die durchschnittliche tägliche Verkehrsleistung in km (Durchschnitt über die 7 Berichtstage) differenziert nach den folgenden Verkehrsmitteln:

- (1) Zu Fuß
- (2) Fahrrad
- (3) Mofa, Moped, Motorrad
- (4) Pkw als Fahrer
- (5) Pkw als Mitfahrer
- (6) Bus
- (7) U- und/oder S-Bahn
- (8) Zug

⁷ Die Personentagedatei ist in der Wegedatei enthalten. Die Kinderdatei ist für die Untersuchung des Mobilitätsverhaltens nicht relevant.

⁸ Folgende Gewichte wurden verwendet: Wegelängengewichtung, Attritionsgewichtung (Berücksichtigung der Berichtsmüdigkeit und weitere Gewichtungselemente zum Ausgleich unterschiedlicher Berichtszeiträume). Detaillierte Informationen zu den Gewichtungselementen befinden sich in der Panelauswertung 2001 (IfV der Universität Karlsruhe, 2001, BMW-Projekt FE 70.0684/ 2001).

- (9) Flugzeug und
- (10) sonstige Verkehrsmittel.

Zur Untersuchung des Mobilitätsverhaltens wurden die verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen wie folgt zusammengefasst:

- (1) zu Fuß/Fahrrad,
- (2) Auto: Pkw-Nutzung als Fahrer⁹
- (3) Auto: Pkw-Nutzung als Mitfahrer
- (4) ÖPNV: Bus, U-Bahn, S-Bahn und Zug

Die Verkehrsmittel Mofa, Moped und Motorrad wurden nicht berücksichtigt, da Mobilitätsmuster dieser Verkehrsmittel zu heterogen sind. Auch die Benutzung von Flugzeugen und sonstigen Verkehrsmitteln fand innerhalb der Untersuchung des Mobilitätsverhaltens keine Berücksichtigung, da nur vereinzelt Datensätze zu diesen Verkehrsmitteln vorhanden und diese damit nicht repräsentativ für die Bevölkerung sind. Die verwendete Analysedatei enthält somit 11.285 personenbezogene Datensätze. Diese Mobilitätsdatei wurde mit weiteren Variablen aus der Haushaltsdatei (gewichtet) und Personendatei (gewichtet) verknüpft. Damit ist es möglich, den (verkehrsleistungsbezogenen) Modal Split und Pkw-Besetzungsgrad zu errechnen und mit anderen Quellen zu vergleichen (z.B. VIZ 2002). Analysen zur Pkw-Anschaffung sind aufgrund der Datensituation der Herbstbefragung des Mobilitätspanels auf Mikroebene derzeit noch nicht möglich.

Zur Analyse des Einflusses der Kraftstoffpreise auf die Nachfrage nach verschiedenen Formen der Personenbeförderung - jeweils gemessen durch die entsprechende Summe der Personenkilometer - wird ein neuronales Netz entwickelt, bei dem die verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen von Personen Output-Größen darstellen, die vom Kraftstoffpreis und weiteren Input-Größen abhängig sind. Nach Ermittlung der optimalen Struktur des zu verwendenden neuronalen Netzes kann die direkte Elastizität und die Kreuzpreiselastizität mittels geeigneter Modellrechnungen (Simulationen) bestimmt werden. Im Hinblick auf die Methodik wird auch hier an das oben erwähnte BMVBW-Projekt angeknüpft.

⁹ Diese Variable entspricht nicht der Pkw-Fahrleistung, da ein und das selbe Fahrzeug durch verschiedene Haushaltsangehörige benutzt werden kann und auch nicht haushaltseigene Pkw von den Haushaltsmitgliedern gefahren werden. Nur in Einzelfällen stimmt diese Verkehrsleistung mit der Pkw-Fahrleistung überein.

Weitere Einzelheiten zur Analysemethodik findet man in Abschnitt 5.3 des vorliegenden Berichts.

5 Methodik der Datenanalyse

5.1 Das klassische Regressionsmodell für Zeitreihendaten als Instrument für die Makroanalyse

Zur Auswertung der Makrodaten zum Komplex „Kraftstoffpreise, Pkw-Bestand und Pkw-Verkehr“ werden klassische Regressionsmodelle eingesetzt. In der Regressionsanalyse wird der Einfluss einer (oder mehrerer) unabhängiger Variablen x_i auf eine abhängige Variable Y untersucht. Das einfachste mathematische Modell ist linear und lautet (im Fall von nur einer unabhängigen Variable x):

$$Y = \beta_1 + \beta_2 x + U \quad [5.1-1]$$

Neben den bereits bekannten Variablen x und Y tritt in dieser Gleichung noch die Fehler- bzw. Residualvariable U auf, welche alle im Modell nicht explizit enthaltenen Einflüsse auf die abhängige Variable repräsentieren soll.

Mit Hilfe der Statistik-Software SPSS¹⁰ werden verschiedene lineare Modellansätze geprüft. Ziel der Regressionsanalyse ist die Schätzung der Koeffizienten, also die Quantifizierung der (linearen) Beziehung zwischen der abhängigen Variablen und den verschiedenen Einflussvariablen mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate¹¹. Die Methode der linearen Regression ist unter folgenden Prämissen anwendbar:

- Der Zusammenhang zwischen der erklärten und den erklärenden Variablen ist linear¹².
- Die Residuen sind unkorreliert.
- Die Residuen sind normalverteilt.
- Unabhängige Variable und Streuung der Residuen sind nicht korreliert (Homoskedastizität).
- Unabhängige Variablen sind untereinander nicht linear abhängig (keine Multikollinearität).

Ist eine oder mehrere dieser Prämissen verletzt, können die Ergebnisse der Analyse in ihrer Aussagekraft eingeschränkt sein. Für die Bewertung der durchgeführten Regressionsanalysen

¹⁰ Version: SPSS 11.0 für Windows.

¹¹ Die Koeffizienten der Regressionsgeraden werden so bestimmt, dass die Summe der quadrierten Abstände der vorhandenen Datenpunkte von der Regressionsgerade minimal ist.

¹² Es genügt, wenn die Regressionsfunktion linear in den Parametern ist.

wurden jeweils vier Prüfmaße benutzt: Bestimmtheitsmaß (R^2), F-Test des Gesamtmodells, Signifikanz der berechneten Koeffizienten (t-Test), sowie Durbin-Watson-Statistik.

Das Bestimmtheitsmaß R^2 gibt an, wie stark der Einfluss aller unabhängigen Variablen (Regressoren) auf die abhängige Variable (Regressand) ist. Der Wert des Bestimmtheitsmaßes liegt immer zwischen Null und Eins. Ein Wert von z.B. 0,3 bedeutet, dass 30 % der gesamten Streuung der abhängigen Variablen auf die erklärende(n) Variable(n) und 70 % auf in der Regressionsgleichung nicht erfasste Einflüsse zurückzuführen sind.

Mit Hilfe des F-Tests und des t-Tests lassen sich Rückschlüsse von der Datengrundlage (Stichprobe) auf die unbekannte Grundgesamtheit ziehen. Der (totale) F-Test ist ein Verfahren zur Prüfung der Regressionsfunktion als Ganzes. Die zugrunde liegende Nullhypothese besagt, dass keiner der Regressoren den Regressanden beeinflusst. Beim Test wird hier generell von der Irrtumswahrscheinlichkeit 5 % ausgegangen. Der t-Test dient der Prüfung der einzelnen Regressionskoeffizienten. Die Nullhypothese lautet in diesem Fall, dass der betrachtete Regressor keinen zusätzlichen Einfluss auf den Regressanden hat. Als Faustregel gilt, dass ein empirischer t-Wert größer als 2 auf einen auf dem 5%-Niveau signifikanten (d.h. von Null verschiedenen) Koeffizienten hindeutet.

Das wohl häufigste Problem bei Regressionen mit Zeitreihen ist die Autokorrelation der Residuen¹³. Mit dem Durbin-Watson-Test (Werte der Prüfgröße liegen zwischen null und vier) kann die Nullhypothese der Unkorreliertheit der Residuen geprüft werden. Als Faustregel gilt, dass Werte der Prüfgröße zwischen 1,5 und 2,5 hinreichend unkorrelierte Residuen nahelegen. Gründe für autokorrelierte Residuen sind:

- Fehlende erklärungsrelevante Variablen
- Fehlerhafte funktionale Form (z.B. linearer statt nichtlinearer Zusammenhang)
- Nachwirkung von Strukturbrüchen bzw. Strukturverschiebungen
- Systematischer Erhebungsfehler in den Daten

Liegen autokorrelierte Residuen vor, so liefert die verwendete Schätzmethode zwar nach wie vor erwartungstreue und konsistente Schätzer (für die Koeffizienten), allerdings sind diese nicht

¹³ Autokorrelierte Residuen bedeuten, dass eine lineare Beziehung zwischen einem Fehler und z.B. seinem Vorgänger besteht (Autokorrelation 1. Ordnung).

mehr effizient¹⁴. Aus verzerrten Standardfehlern der Regressionskoeffizienten folgen verzerrte t- und F-Tests, d.h. es können keine Aussagen gemacht werden über die Güte des errechneten Modells. Zur Behebung des Problems kann eine Transformation der Variablen durchgeführt werden. Die üblichen klassischen Verfahren (Prais-Winsten-Methode, Cochrane-Orcutt-Methode) sind als Funktionalität in der Statistik-Software SPSS-Trends enthalten. Die erhaltenen Ergebnisse sind jedoch methodisch zu hinterfragen, da die Existenz von autokorrelierten Residuen bereits (siehe oben) auf methodische Schwächen des Regressionsansatzes hinweist.

Bei Regressionen mit mehreren erklärenden Variablen (multiple Regression) erhöht sich im Allgemeinen der Erklärungsgehalt und damit das Bestimmtheitsmaß. Dies kann allerdings auch zufällig bedingt sein, daher wird in diesem Fall ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß als Maß für die Güte der Regression verwendet. Das korrigierte Bestimmtheitsmaß steigt nur noch dann an, wenn der durch die zusätzlichen Variablen ausgelöste Anstieg in R^2 den Verlust an Freiheitsgraden kompensiert.

Bei der multiplen Regression muss darauf geachtet werden, dass keine Multikollinearität zwischen den unabhängigen Variablen vorliegt. Sind zwei erklärende Variablen kollinear, ist die Schätzung der Koeffizienten nicht mehr verwendbar. Konsequenzen von Multikollinearität sind:

- Standardfehler der Regressionskoeffizienten werden größer und damit deren Schätzung unzuverlässiger.
- Signifikantes Bestimmtheitsmaß trotz nichtsignifikanter Koeffizienten.
- Bei Aufnahme einer weiteren Variable können sich die bisherigen Regressionskoeffizienten stark verändern.

Die Messung der Multikollinearität erfolgt über die Bestimmung des sog. Toleranzwertes. Toleranzwerte nahe Null deuten auf Multikollinearität hin. Variablen mit niedrigen Toleranzwerten müssen aus der Regressionsgleichung entfernt werden. Ein Toleranzwert größer 0,1 kann akzeptiert werden.

Die Anzahl der Beobachtungen (Stichprobenumfang) bei der multiplen Regression muss genügend groß sein, damit signifikante Einflüsse festgestellt werden können. Als Faustregel gilt,

¹⁴ Effiziente (wirksame) Schätzer besitzen in einer Klasse erwartungstreuer Schätzer (hier: Klasse der linearen Schätzer) die minimale Varianz.

dass die Anzahl der Beobachtungen mindestens fünfmal so groß sein sollte wie die Anzahl der zu schätzenden Parameter.

5.2 Mikroökonomische Modelle als Instrumente zur Analyse von Paneldaten

5.2.1 Allgemeine Charakterisierung von Panelmodellen

Mit den Daten des Mobilitätspanels können die zeitlichen Veränderungen des Verkehrsverhaltens von Personen und Haushalten erfasst und auf Veränderungen der verhaltensbeeinflussenden Faktoren zurückgeführt werden. Für die betreffenden Abhängigkeitsanalysen werden spezielle Regressionsmodelle, sogenannte Modelle für Paneldaten (kurz Panelmodelle), benötigt. Würde man die Daten des Mobilitätspanels mit klassischen Regressionsmodellen auswerten, so wäre dies in zweifacher Hinsicht falsch: Erstens ist bei Paneldaten die Annahme der Unabhängigkeit der Residuen nicht gerechtfertigt, da die Beobachtungen gruppenweise zu bestimmten Haushalten, Personen oder Fahrzeugen gehören und zweitens würde man die Vorzüge, die Paneldaten gegenüber reinen Querschnittsdaten besitzen, bei der Datenanalyse überhaupt nicht ausnutzen.

Von klassischen Regressionsmodellen für Querschnittsdaten unterscheiden sich Modelle für Paneldaten vor allem dadurch, dass im Modellansatz sogenannte „individuen-spezifische Effekte“ berücksichtigt werden. Was darunter zu verstehen ist, kann an einem einfach gehaltenen Beispiel, bei dem die Pkw-Fahrleistung (Y) eines Haushalts als Funktion des Kraftstoffpreises (x) im Untersuchungszeitraum betrachtet wird, erläutert werden.

Beim Mobilitätspanel werden - wie bei jeder anderen Erhebung auch - nicht alle Faktoren erfasst, die zur Erklärung des Mobilitätsverhaltens notwendig sind. Dies kann daran liegen, dass auf die Erfassung des betreffenden Merkmals mehr oder weniger bewusst verzichtet wurde oder dass das Merkmal - jedenfalls mit dem gewählten Erhebungsverfahren - gar nicht erhoben werden kann. Ein Beispiel für eine solche fehlende Variable ist im Mobilitätspanel das Merkmal Haushaltseinkommen. Wenn solche fehlenden Variablen relativ zeitinvariant sind, wie z.B. das Haushaltseinkommen, so kann deren Einfluss auf das Verhalten (hier: Pkw-Fahrleistung) in Panelmodellen durch sogenannte „individuen-spezifische“ Faktoren berücksichtigt werden. Dies ist von enormer theoretischer und praktischer Relevanz, da hierdurch Verzerrungen bei der Schätzung der Koeffizienten der im Regressionsmodell enthaltenen Erklärungsvariablen vermieden werden können. Im vorliegenden Beispiel heißt dies, dass die Schätzung des Koeffizienten des Faktors Kraftstoffpreis – und damit die

Schätzung der Preiselastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage der Haushalte - durch das Fehlen der Variablen Haushaltseinkommen (und weiterer zeitinvarianter Merkmale des Haushalts und der Personen im Haushalt) nicht ungebührlich stark beeinträchtigt wird.

In statistische Panelmodelle werden diese individuenspezifischen Effekte einbezogen, um, wie man sagt, die „Heterogenität“ zwischen den Individuen (hier: Haushalten) zu berücksichtigen. Hierfür wurden in der mikroökonomischen Forschung zwei verschiedene Ansätze entwickelt, die nachfolgend kurz skizziert werden. Näheres hierzu findet man z.B. bei RONNING (1991) oder BALTAGI (1995).

5.2.2 Modell mit festen Effekten

Das Modell mit *festen Effekten* ist durch

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta x_{it} + U_{it} \quad (i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T) \quad [5.2-1]$$

gegeben, wobei i die Untersuchungseinheit (hier: Haushalt) und t den Erhebungszeitraum (hier Monat) bezeichnet. U_{it} ist die übliche Störvariable. Der feste, aber unbekannt Parameter α_i spiegelt die individuenspezifischen Effekte wider: Hat der Haushalt z.B. eine Vorliebe für weite Urlaubsreisen mit dem Auto, so wird α_i einen relativ hohen Wert haben; verfügt der Haushalt nur über ein geringes Einkommen, so wird α_i relativ klein sein. Mit dem Beobachtungsumfang n wächst die Anzahl der individuenspezifischen Parameter α_i , was bei der Parameterschätzung berücksichtigt werden muss, sofern die Zahl T der wiederholten Beobachtungen der Pkw-Fahrleistungen klein ist. Man erhält die Schätzung des eigentlichen interessierenden Modellparameters β (dieser Parameter spiegelt hier den Einfluss des Kraftstoffpreises wider) in diesem Fall durch die Bildung erster Differenzen, einer Modellumformung, die man auch „differencing out“ nennt. Dieses Verfahren ist im Fall mehrerer Einflussgrößen ganz entsprechend anwendbar.

5.2.3 Modell mit zufälligen Effekten

Alternativ kann man *stochastische Effekte* unterstellen:

$$Y_{it} = \alpha + \beta x_{it} + U_{it} \quad [5.2-2]$$

$$\text{mit } U_{it} = \lambda_i + \varepsilon_{it} \quad (i = 1, \dots, n; \quad t = 1, \dots, T) \quad [5.2-3]$$

Dabei gilt für die Zufallsvariablen λ_i und ε_{it} :

$E(\lambda_i) = E(\varepsilon_{it}) = 0$, $\text{var}(\lambda_i) = \sigma_\lambda^2$ und $\text{var}(\varepsilon_{it}) = \sigma_\varepsilon^2$. Ferner sind alle λ_i und ε_{it} untereinander unkorreliert. Für die Gesamtvarianz σ^2 von U_{it} gilt dann

$$\sigma^2 = \sigma_\lambda^2 + \sigma_\varepsilon^2, \quad [5.2-4]$$

weshalb man hier auch von einem Varianzkomponenten- oder Fehlerkomponenten-Modell spricht. Als Kovarianz der Störvariablen U_{it} und U_{is} erhält man für $t \neq s$

$$\text{cov}(U_{it}, U_{is}) = \sigma_\lambda^2, \quad [5.2-5]$$

d.h. die Beobachtungen der Pkw-Fahrleistungen für einen bestimmten Haushalt i sind über die Zeit hin korreliert. Die gewöhnliche Methode der kleinsten Quadrate ist zur Schätzung von β nicht mehr geeignet. An ihre Stelle tritt eine Methode, die als „feasible generalized least-squares (FGLS)“-Methode bezeichnet wird und in verschiedenen Varianten vorliegt.

5.2.4 Statistische Schätzung von Nachfrageelastizitäten

Wie die Elastizität der Nachfrage Y in Bezug auf den Preis x zu schätzen ist, hängt von der funktionalen Form des verwendeten Regressionsmodells¹⁵ ab. Ist die Beziehung zwischen x und Y linear, d.h. von der Form

$$Y = \alpha + \beta x + U, \quad [5.2-6]$$

so ist die Preiselastizität der Nachfrage gleich

$$\eta = \beta x / (\alpha + \beta x + U). \quad [5.2-7]$$

Die Preiselastizität ist hier wegen der Störvariablen U eine zufallsabhängige Größe. Man schätzt den Erwartungswert der Elastizität, indem man die unbekannt Parameter α und β durch ihre Schätzwerte ersetzt, U gleich Null setzt und die Nachfragefunktion an der Stelle $x = \bar{x}$ betrachtet. Näheres siehe GREENE (2000), S. 359f.

¹⁵ Die Ausführungen gelten für klassische Regressionsmodelle und Panelmodelle.

Geht man, was in der empirischen Wirtschaftsforschung sehr gebräuchlich ist, von einem Ansatz der Form

$$Y = e^{\alpha} x^{\beta} e^U, \quad [5.2-8]$$

aus, der auch als loglineares Modell

$$\ln Y = \alpha + \beta \ln x + U, \quad [5.2-9]$$

geschrieben werden kann, so ist die Preiselastizität η der Nachfrage durch

$$\eta = \beta, \quad [5.2-10]$$

gegeben. Eine Schätzung für die hier vorliegende konstante Elastizität erhält man, wenn man β durch den entsprechenden Schätzwert (gewöhnlicher oder verallgemeinerter Kleinstquadrat-Schätzer, je nach Spezifikation des Fehlerterms) ersetzt.

Konfidenzintervalle für Elastizitäten sind beim log-linearen Modell einfach zu berechnen und auch Tests von Hypothesen über die Elastizität können problemlos durchgeführt werden, da der (geschätzte) Standardfehler des Schätzers für β von jeder üblichen Statistik-Software ermittelt wird. Je nach Stichprobenumfang sind die benötigten kritischen Werte aus einer Tabelle der t -Verteilung oder der Standardnormalverteilung zu entnehmen.

Im Fall des linearen Zusammenhangs zwischen Nachfrage und Preis sind Konfidenzintervalle für die Preiselastizität der Nachfrage erheblich schwieriger zu berechnen (vgl. GREENE (2000), S. 359f).

5.2.5 Software für die statistische Analyse von Paneldaten

Bei der Auswertung von Paneldaten kann und muss die Heterogenität zwischen den Individuen berücksichtigt werden. Dafür stehen, wie eben dargestellt, spezielle statistisch-ökonomische Analysemodelle für Paneldaten zur Verfügung. Wertet man Paneldaten mit „herkömmlichen“ Regressionsmodellen aus, so sind die Ergebnisse verfälscht: Stärke und Richtung des Einflusses der Bestimmungsfaktoren werden im Signifikanzniveau und in den Parameterschätzwerten nicht korrekt wiedergespiegelt, da die Korrelation zwischen den Beobachtungen, welche sich auf dieselben Untersuchungseinheiten beziehen, nicht berücksichtigt wird.

Nicht nur die Entwicklung statistisch-ökonomischer Panelmodelle hat in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte gemacht. Inzwischen steht für derartige statistische Modelle auch leistungsfähige Standard-Software zur Verfügung, beispielsweise in Form der Programmsysteme SAS und LIMDEP. Für die Panelanalyse wurden in der vorliegenden Studie die SAS-Prozeduren GLM (Modell mit festen Effekten) und MIXED (Modell mit zufälligen Effekten) benutzt.

5.3 Neuronale Netze als Instrument der Datenanalyse

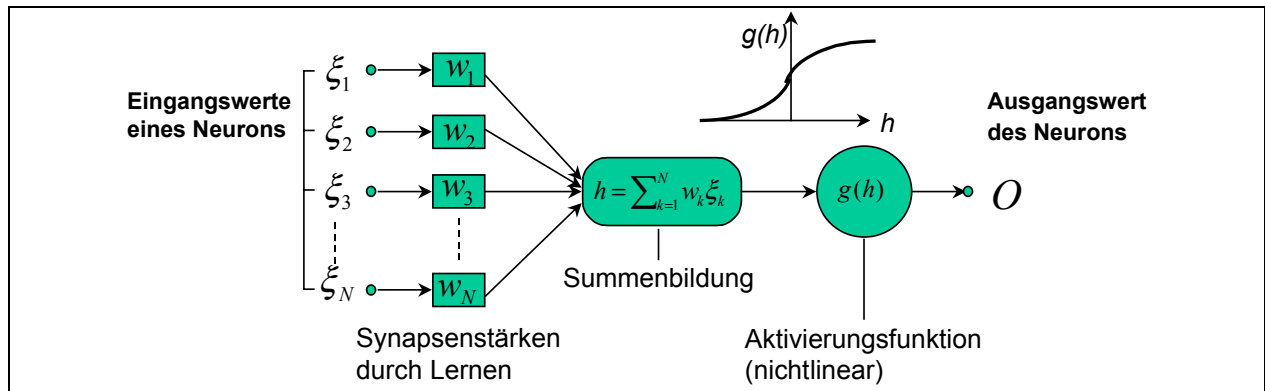
5.3.1 Grundprinzipien von Feed-forward-Netzwerken

Im Rahmen der methoden- und ergebnisorientierten Pilotstudie „Erprobung und Evaluierung von Modellen der Statistik und der künstlichen Intelligenz als Instrumente zur Analyse des Mobilitätspanels“ (BMVBW, FE-Nr. 70.594/1998) zeigte sich, dass neuronale Netzwerke als Analyseinstrument, neben statistischen Modellen der Panelanalyse, geeignete Werkzeuge darstellen. Dies wird in der Literatur in zahlreichen weiteren Anwendungen bestätigt (FISCHER, LEUNG 2001, ROJAS 1993).

Es liegt daher nahe, neuronale Netzwerke im Mobilitätsbereich auch zur Analyse von Verhaltensänderungen als Folge von Kraftstoffpreisänderungen einzusetzen. Ein weiterer Grund, feed-forward Netzwerke zu verwenden, ergibt sich aus den zu untersuchenden Fragestellungen.

Die Analyse von Veränderungen in den Verkehrsleistungen (gemessen in Personenkilometern) einzelner Personen beruht auf der Hypothese eines Ursache–Wirkungs-Zusammenhangs. Feed-forward Netzwerke eignen sich besonders zur Darstellung derartiger Wirkungszusammenhänge. Insbesondere die Fähigkeit neuronaler Netze, auch bei untereinander korrelierten Daten wesentliche Systemeigenschaften durch eine interne Datentransformation (Hauptkomponenten) herauszufiltern (BALDI, HORNIK 1989), macht dieses Verfahren besonders zur Auswertung von Paneldaten geeignet.

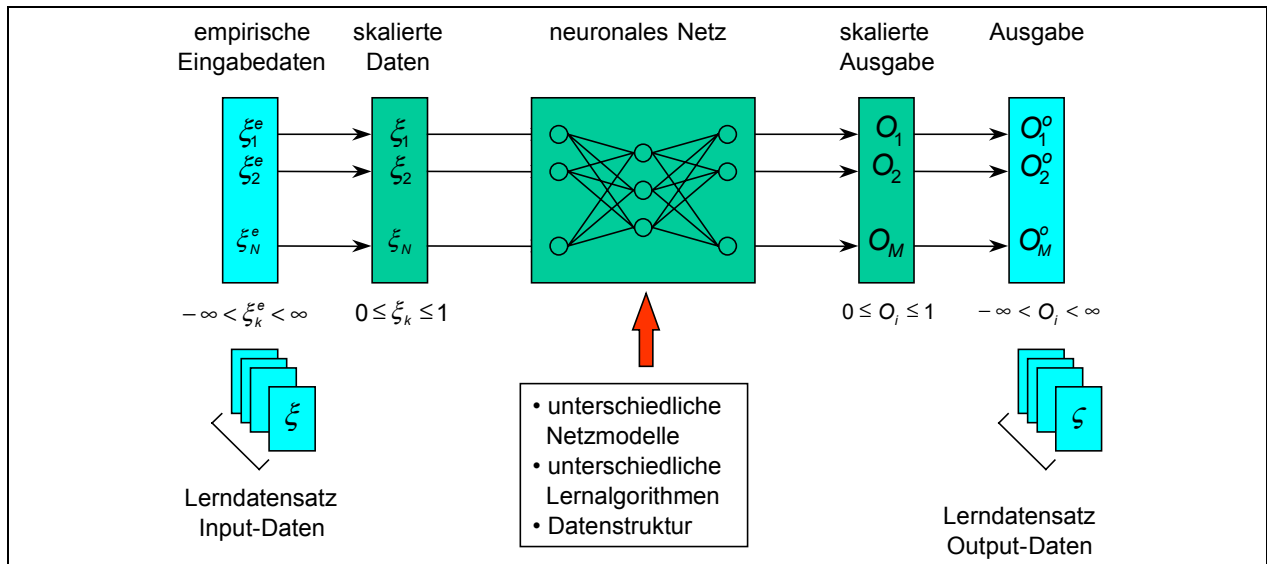
Abbildung 5-1: Grundstruktur eines einzelnen Neurons



Als Hauptstrukturen sind eine Ansammlung vieler „einfacher“ Neuronen oder Units, verknüpft mit adaptiven Verbindungen (Gewichten oder Synapsen), zu nennen. Die Neuronen gewichten ihre Eingangswerte ξ_k mittels „erlernter“ statistischer Faktoren w_k (Synapsenstärken) und summieren diese gewichteten Eingangswerte. Übersteigt die aufsummierte Erregung h einen bestimmten Schwellwert s , feuert das Neuron, d.h. das Neuron gibt ein Ausgangssignal weiter. Dieses Verhalten wird durch eine nichtlineare Transferfunktion $g(h)$ nachgebildet, welche einen Outputwert O oder eine Aktivierung (Abbildung 5-1) in Abhängigkeit von der eingehenden Erregung h erzeugt. Dieser Outputwert wird dann zu mit diesem Neuron verknüpften Neuronen weitergeleitet. Die Verknüpfungen w_k werden adaptiv genannt, weil sie während des Trainings des neuronalen Netzwerks allmählich angepasst werden.

Der derzeit in den Anwendungen am weitesten verbreitete Netzwerktyp ist das feed-forward Netzwerk, das in Abbildung 5-2 skizziert ist (HERTZ, KROGH, PALMER 1991, ZIMMERMANN 1994, ZELL 1994). Feed-forward Netzwerke bilden ebenfalls die Basis für die Analyse des Mobilitätspanels.

Abbildung 5-2: Prinzipieller Aufbau eines feed-forward Netzwerks



Eine Besonderheit der meisten neuronalen Netzwerk-Algorithmen liegt in der Tatsache, dass sie Daten benötigen, die in einem Intervall skaliert sind, beispielsweise zwischen 0 und 1 oder zwischen -1 und +1. Aus diesem Grund müssen die Rohdaten zunächst mittels entsprechender (linearer oder nichtlinearer) Filter vorverarbeitet werden. Eine anschließende Rücktransformation ist ebenfalls erforderlich. Die Datenaufbereitung stellt einen wesentlichen Modellierungsschritt dar. Die Trainingsdatei besteht dann aus P Input/Output-Paaren $\{\xi_k^\mu, \zeta_i^\mu\}, \mu = 1, \dots, P$ reeller Vektoren ($k=1, \dots, N; i=1, \dots, M$), wobei N/M jeweils die Zahl der Input/Output-Units angibt. Dabei entspricht P der Anzahl der verwendeten individuellen Datensätze für den Netzwerk-Adaptionsprozess.

Das Ausgangsmodell (Abbildung 5-2) besteht aus einem Satz von N Input-Units (I), welche die zu analysierenden Daten aufnehmen, einer intermediären Schicht (H), welche die Transformation der Eingangsdaten durchführt und einem Satz von M Output-Units, welche die Ausgabe des Netzwerks auf die jeweilige Input-Situation repräsentieren.

Die Größe des Input-Datensatzes (Anzahl und Art der Merkmale und deren Ausprägungen) bestimmt die Zahl der Units in der Eingabeschicht. Die Eingabeschicht ist vollständig mit der nächsten Schicht verbunden. Neuronen einer Schicht sind untereinander nicht verbunden. Die Funktion der verdeckten Schicht besteht darin, die Eingangsdaten zu transformieren (ähnlich einer Hauptkomponententransformation) und die transformierten Daten an die Neuronen der nachfolgenden Ausgabeschicht weiterzuleiten. Aus diesem Grunde sind neuronale Netzwerke

insbesondere auch dann einsetzbar, wenn einzelne Inputvariablen untereinander teilweise korreliert sind. Die Anzahl der Units M des Ausgabevektors ist in der Regel kleiner als die Anzahl der Units N des Eingabevektors. Das Netz nimmt daher, bei entsprechend dimensionierten verdeckten Schichten (H Units), sowohl eine Datenreduktion als auch eine Merkmalsextraktion vor.

Die Ausgabeschicht unterscheidet sich von einer verdeckten Schicht nur dadurch, dass ihre Aktivierungen als Ausgabe-Daten des Netzwerks gewertet werden. Als Aktivierungs- oder Transferfunktion $g(h)$ hat sich die logistische Funktion

$$g(h) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta h)} \quad [5.3-1]$$

bewährt, welche eine Datenskalierung zwischen 0 und 1 bedingt. Der Pseudotemperaturparameter β wird entsprechend gesetzt, so dass irrelevante Nebenminima vermieden werden ($\beta = 1$). Die Größe h stellt dabei die „Erregung“ dar, die sich durch Multiplikation aus der Gewichtsmatrix \bar{w} und den Eingabedaten ergibt.

Der Informationsfluss ist bei feed-forward Netzen strikt in Richtung der Ausgabedaten gerichtet. Aus einem Eingabevektor I , der einen bestimmten Datensatz repräsentiert, wird ein Ausgabevektor O , berechnet. Die Vernetzung der einzelnen Neuronen untereinander erfolgt mittels der Gewichtsmatrix \bar{w} . Das neuronale Netz stellt also eine Abbildung dar:

$$F: I \rightarrow O \quad O = F(I, w)$$

Diese Abbildung ist aufgrund der im Allgemeinen nichtlinearen Aktivierungsfunktion ebenfalls nichtlinear.

Dem Netzwerk werden nun nacheinander sämtliche zu lernenden Muster (z.B. Personendaten zum Verkehrsverhalten, bezogen auf eine bestimmte Fragestellung) vorgelegt. Die errechneten Ausgabevektoren werden mit den Sollausgabe-Vektoren verglichen und anhand der dabei erhaltenen Fehlerinformation die Gewichte des Netzes (Verbindungen) so angepasst, dass der Gesamtfehler des Netzes immer kleiner wird. Dieser Lernprozess wird solange durchgeführt, bis der Fehler für alle Muster minimiert ist. Der hier beschriebene Lernalgorithmus entspricht einem Gradientenabstiegsverfahren.

Dieses als error-backpropagation bezeichnete Lernverfahren basiert auf einer Fehlerfunktion:

$$E(\bar{w}) = \frac{1}{2} \sum_{\mu,i} [\zeta_i^\mu - O_i^\mu(\bar{w})]^2. \quad [5.3-2]$$

Die Größe ζ_i^μ stellt dabei einen aus dem Panel bekannten Wert der Ausgabe Komponente i eines Ausgabevektors dar, z.B. dem von einer Person mit dem Pkw zurückgelegten Weg. Es bezeichnet dabei μ einen bestimmten Datensatz der Auswertung. Zur Berechnung der Komponenten $O_i^\mu(\bar{w})$ des Ausgabevektors \mathbf{O} werden die einzelnen Merkmale und deren Ausprägungen ξ_k^μ mit den Komponenten der Gewichtsmatrix multipliziert. Die Gewichtsmatrizen w_{jk} werden zunächst mittels betragsmäßig kleiner Zufallszahlen vorbesetzt, damit die Linearität des Ausgangsnetzes gegeben ist. Durch das Lernverfahren wird die Gewichtsmatrix anschließend systematisch modifiziert, so dass die Fehler- bzw. Kostenfunktion gleichzeitig minimiert wird. Dabei werden in jedem Lernschritt die Gewichte neu angepasst.

Bei der gewählten Lernfunktion handelt es sich um eine Verallgemeinerung der Standard-spezifikation von RUMELHART und MCCLELLAND (1986) und RUMELHART, HINTON und WILLIAMS (1986a, 1986b)

$$\Delta w_{ij}(t+1) = -\eta \frac{\partial E(w)}{\partial w_{ij}^{(l)}} + \alpha \Delta w_{ij}(t), \quad [5.3-3]$$

wobei η die Lernschrittweite angibt und α den Einfluss des „Impulsterms“ beschreibt. Der Index t beschreibt die sequentielle Abfolge der einzelnen Lernschritte. Der Impulsterm bewirkt, in Analogie zur Trägheit eines Teilchens in einem Potential, eine Beschleunigung der Gewichtsänderung in weiten Plateaus und ein Abbremsen in stark zerklüfteten Fehlerflächen.

Der Informationsfluss innerhalb des Netzwerks führt daher bei einem vorgegebenen Datensatz μ über die Gewichtsmatrizen w_{jk} von Schicht zu Schicht zum Ausgabevektor \mathbf{O} . Über die Berechnung des zugehörigen Netzfehlers werden in umgekehrter Schicht-Reihenfolge die zugehörigen Gewichtsänderungen berechnet.

Danach wird ein anderer Datensatz per Zufallszahlengenerator ausgewählt, dem neuronalen Netz präsentiert und eine weitere Gewichts Anpassung durchgeführt. Wurden sämtliche zur Verfügung stehenden Datensätze einmal dem Netz präsentiert, ist eine „Lern“-Epoche abgeschlossen. Die Anzahl der für den Lernvorgang durchzuführenden Lern-Epochen hängt vom Lernfortschritt und der vorgegebenen Fehlertoleranz ab.

Während und nach Abschluss des Netzwerk-Trainings werden bestimmte Güteindikatoren des Netzes ermittelt. Aussagen über die Generalisierungsleistung des Netzes erhält man, indem

dem Netz bislang noch nicht vorgelegte Muster (Datensätze) präsentiert werden und daraufhin das Netzwerk bezüglich seiner Generalisierungsleistung mit entsprechenden statistischen Tests bewertet wird.

Zur Bewertung eines neuronalen Netzes wird nach jedem vorgelegten Muster der mittlere quadratische Fehler E_μ der Output-Neuronen berechnet

$$E_\mu = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} (S_i^\mu - O_i^\mu)^2} \quad [5.3-4]$$

wobei M die Zahl der Output-Units bedeutet. Dieser Fehler wird kumulativ über die Epoche zum Gesamtnetzfehler E gemittelt aufsummiert

$$E = \frac{1}{P} \sum_{\mu=0}^{P-1} E_\mu, \quad [5.3-5]$$

wobei wieder P die Zahl der Lernmuster angibt. Für Lern- und Validierungsmuster wird dieser Fehler getrennt berechnet.

Meist stehen bei Problemen, die mit neuronalen Netzen untersucht werden sollen, nur wenige Lernmuster, die zudem mit einem Rauschanteil versehen sind, einer großen freien Parameterzahl (Gewichtswerte) des Netzwerks gegenüber. Dies ist bei den verwendeten Paneldaten und den zu bearbeitenden Fragestellungen jedoch nicht der Fall. Die Zahl der Lern-Datensätze ist durch die Anzahl der vorliegenden Personendaten abzüglich der für Testzwecke verwendeten Datensätze vorgegeben. Demgegenüber steht die Zahl der freien Parameter/Gewichte des neuronalen Netzwerks fest, die a priori nicht zu klein gewählt werden sollte, um die Erkennung hochdimensionaler nichtlinearer Strukturen in den Daten zu ermöglichen.

5.3.2 Ermittlung von Nachfrageelastizitäten mittels Modellrechnung (Simulation)

Bei neuronalen Netzen können die "Elastizitäten" nicht wie bei einer multiplen Regression einfach als Koeffizienten der erklärenden Variablen ermittelt werden. Vielmehr sind die Änderungen der Ausgabevariablen als Reaktion auf vorgegebene Änderungen einzelner oder mehrerer erklärender Variablen mittels Simulation des Netzes zu errechnen. Dies beinhaltet jedoch keine wesentliche Schwierigkeit.

Da die Simulationsergebnisse auf den Angaben der befragten Personen des Mobilitätspanels basieren, erfolgt die Hochrechnung auf die Bundesrepublik Deutschland mittels des Personenhaushaltsgewichtes¹⁶ des Panels.

Nachträglich lassen sich die Elastizitäten aus den Simulationsergebnissen des neuronalen Netzes über eine einfache Trendermittlung bestimmen. Die in den entsprechenden Ergebnistabellen aufgeführten Elastizitäten beziehen sich dabei auf einen Veränderungsbereich der Kraftstoffpreise um -20% und $+20\%$. Innerhalb dieses Bereichs sind die ermittelten Zusammenhänge weitgehend linear von der simulierten Preisänderung abhängig. Bei größeren Kraftstoffpreisänderungen treten nichtlineare Wirkungen deutlich hervor.

Die Elastizitäten wurden wie folgt bestimmt:

$$E^{Mode} = \frac{1}{2 \cdot \tau + 1} \cdot \sum_{t=-\tau}^{+\tau} \frac{\Delta VKL_t^{Mode} - \Delta VKL_{t+1}^{Mode}}{\Delta KP_t - \Delta KP_{t+1}} \quad [5.3-6]$$

mit den prozentualen Veränderungen der mittleren Verkehrsleistungen VKL Deutschlands

$$\Delta VKL_t^{Mode} = \frac{VKL^{Mode}(KP_t) - VKL^{Mode}(KP_{t=0})}{VKL^{Mode}(KP_{t=0})} \quad [5.3-7]$$

und den prozentualen Veränderungen des Kraftstoffpreises KP

$$\Delta KP_t = \frac{KP_t - KP_{t=0}}{KP_{t=0}} \quad [5.3-8]$$

¹⁶ Dieser Gewichtungsfaktor dient zur Hochrechnung von über das Mobilitätspanel erhaltenen Ergebnissen auf die Ebene der Bundesrepublik Deutschland. Der Faktor wurde in Abhängigkeit des Raumtyps, der Haushaltsgröße, des Pkw-Besitzes des Haushaltes sowie differenziert nach Alter und Geschlecht errechnet.

Über die Größe $\tau = 20$ wird der Wertebereich zur Abschätzung der Elastizitäten festgelegt. Die ermittelten Elastizitäten geben somit an, um wie viel Prozent sich die entsprechenden Mobilitätsverhaltensmerkmale ändern, falls sich der Kraftstoffpreis um 1 % erhöht.

Teil II: Empirische Analysen zum Komplex „Kraftstoffpreise und Mobilität“

6 Makroanalysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf Kraftstoffabsatz und Pkw-Bestand

6.1 Der Kraftstoffabsatz als Indikator der Pkw-Verkehrsnachfrage auf Makroebene

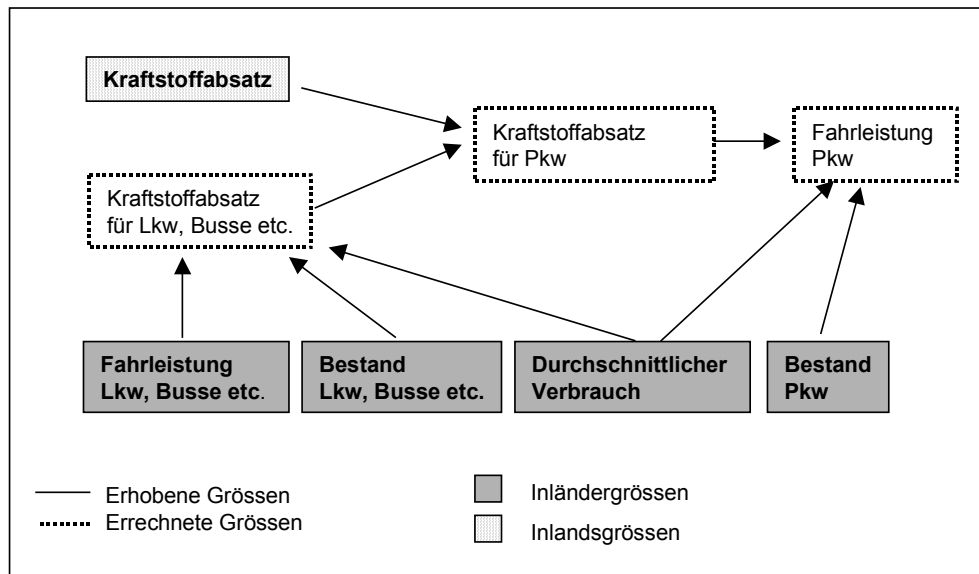
Die Kraftstoffpreise bestimmen direkt die variablen Kosten der Haushalte für die Pkw-Nutzung, indirekt können sie aber auch Einfluss auf die Pkw-Haltung bzw. auf die damit verbundenen fixen und variablen Folgekosten haben. Da die gesamten Ausgaben für die Pkw-Nutzung außer vom Kraftstoffpreis vor allem von der Intensität der Fahrzeugnutzung - insbesondere der Kilometerleistung - abhängen, sind im Falle von Kraftstoffpreissteigerungen Verkehrsnachfragerückgänge möglich. Die Nachfragegröße, die am besten als Maß für das Mobilitätsverhalten geeignet wäre, ist daher die Fahrleistung. Die Fahrleistung liegt allerdings nicht aus laufenden empirischen Erhebungen vor, sondern wird vom DIW modellmäßig berechnet.

6.1.1 Problematik der Fahrleistung als Variable

Die Fahrleistung von Pkw wird jährlich vom DIW aus den folgenden Eingangsdaten berechnet:

- Absatzzahlen für Kraftstoffe
- Fahrleistungen für Lkw und Busse, sowie deren durchschnittlicher Verbrauch (berichtete Größe)
- durchschnittlicher Verbrauch von Pkw je 100 km.

Aus diesen Daten wird nach dem in Abbildung 6-1 wiedergegebenen Schema der Totalwert der Jahresfahrleistung von Pkw ermittelt. Dabei wird getrennt (aber nach gleichem Muster) die Fahrleistung von Pkw mit Ottomotor und Pkw mit Dieselantrieb berechnet.

Abbildung 6-1: Berechnung der Fahrleistung (nach DIW)

Quelle: ProgTrans AG 2003, Angaben aus DIW Wochenbericht 12/2002.

Es versteht sich, dass dieses Berechnungsverfahren auf einer ganzen Reihe von Annahmen beruht und die ermittelten Fahrleistungen nicht den Charakter empirisch erhobener Größen haben. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, bei Analysen auf der Makroebene nicht die Fahrleistung, sondern den aus Erhebungen bekannten Kraftstoffabsatz als Nachfragekenngröße zu verwenden.

6.2 Hypothesen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf den Kraftstoffabsatz sowie auf Größe und Struktur des Pkw-Bestands

Die Datenreihen von Kraftstoffpreisentwicklung und Kraftstoffabsätzen sollen im Rahmen der Makroanalysen auf folgende Hypothesen hin untersucht werden:

1. Hypothese: *Es gibt Reaktionen auf geänderte Kraftstoffpreise, die sich im Kraftstoffabsatz niederschlagen.*

In einer ersten deskriptiven Untersuchung soll eruiert werden, welche Reaktionen auf geänderte Kraftstoffpreise sich im Kraftstoffabsatz niederschlagen. Dazu sollen jährliche Datensätze ab 1970 untersucht werden, um mehrere Phasen von Kraftstoffpreiserhöhungen abzudecken. Detailliert soll dann ein ökonometrisches Modell aufgestellt werden, um folgende Hypothese zu prüfen:

2. Hypothese: *Zwischen Kraftstoffpreis und Kraftstoffabsatz besteht ein statistischer Zusammenhang.*

Durch eine einfache Regressionsanalyse soll untersucht werden, ob ein statistischer Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreis und -absatz besteht. Aus einer solchen Beziehung soll dann eine Kraftstoffpreiselastizität ermittelt werden. Nach der ökonomischen Theorie sollte ein steigender Kraftstoffpreis eine sinkende Nachfrage nach sich ziehen, von daher sind negative Werte für die kurz- bzw. langfristigen Preiselastizitäten zu erwarten. Bei der Spezifikation des ökonometrischen Modells könnte als zu erklärende Größe auch der Absatz von Kraftstoff bezogen auf den Pkw-Bestand herangezogen werden.

3. Hypothese: *Ein Nachfragerückgang (sinkender Kraftstoffabsatz) setzt erst einige Zeit nach der Kraftstoffpreiserhöhung ein.*

Unter der Hypothese einer allmählichen Anpassung der Bevölkerung können die Zeitreihen auf verzögerte Reaktionen hin untersucht werden. Zum Beispiel könnte ein erhöhter Kraftstoffpreis die Verbraucher erst nach einiger Zeit (einigen Monaten oder Jahren) zu Verhaltensänderungen bewegen. Dies kann durch eine Korrelationsanalyse mit verschiedenen time lags untersucht werden.

4. Hypothese: *Neben dem Kraftstoffpreis gibt es weitere Größen, welche den Kraftstoffabsatz beeinflussen.*

Durch eine multiple Regressionsanalyse sollen neben den Kraftstoffpreisen weitere Variablen gefunden werden, welche den Kraftstoffabsatz erklären. Geklärt werden soll, in welchem Maße der Kraftstoffpreis den Absatz erklärt, oder ob es nicht andere Größen (z.B. sozioökonomische Variablen wie z.B. BIP, verfügbares Einkommen etc.) gibt, die einen stärkeren Einfluss auf die Nachfrage nach Kraftstoffen haben.

Neben den Veränderungen im Kraftstoffabsatz sollen weitere Reaktionen der Bevölkerung auf geänderte Kraftstoffpreise identifiziert und soweit möglich quantifiziert werden. Hypothesen zu weiteren Reaktionen sind:

5. Hypothese: *Es gibt eine Tendenz zu dieselbetriebenen Pkw. Gründe für diese Tendenz sind neben der Kraftstoffpreisentwicklung der technische Fortschritt, die Kfz-Steuergesetzgebung und die Entwicklung der Neuwagenpreise.*

Mit steigenden Kraftstoffpreisen und einer steuerlichen Besserstellung von Dieselmotoren wird es für die Bevölkerung zunehmend rentabler, zu Diesel-Pkw überzugehen, da Dieselmotoren billiger sind und Pkw mit Dieselmotoren in der Regel sparsamer im Verbrauch sind.

6. Hypothese: *Als Reaktion auf steigende Kraftstoffpreise tendieren Fahrzeughalter zu kleineren, energiesparenden Pkw.*

Um diese Hypothese zu prüfen, soll versucht werden, zwischen dem Kraftstoffpreis und dem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch eines Pkw (im Fahrzeugbestand bzw. unter den Neuzulassungen) einen Zusammenhang zu finden. Neben dem durchschnittlichen Verbrauch können auch Zeitreihen über die Entwicklung der Bestände je Hubraumklasse hilfreich zur Prüfung dieser These sein.

7. Hypothese: *Die Entwicklung der Neuzulassungszahlen wird maßgeblich durch den Kraftstoffpreis (bzw. die Preisdifferenz zwischen den Qualitäten bzw. Kraftstoffarten) und die Kfz-Steuerlegislation bestimmt.*

Bei der Prüfung dieser These muss beachtet werden, dass die Dieselmotoren erst seit einiger Zeit überhaupt eine Alternative zu Vergasermotoren darstellen, da erst seit Anfang der 1980er Jahre die Entwicklung soweit fortgeschritten ist, dass Pkw mit Dieselmotoren konkurrenzfähig sind. Untersucht werden kann hier, ob die Kraftstoffpreise eine erklärende Größe für die Anzahl bzw. Art der Neuzulassungen sind.

8. Hypothese: *Bei stark steigenden Kraftstoffpreisen gehen die Besitzumschreibungen zurück.*

In Zeiten hoher Kraftstoffpreise könnten Altfahrzeuge mit typischerweise spezifisch höherem Verbrauch weniger gefragt sein als Neufahrzeuge. Vermutet werden kann aber auch, dass der Gebrauchtwagenmarkt durch die gesamtwirtschaftliche Lage und andere Faktoren beeinflusst wird.

6.3 Beschreibende Analyse der Zusammenhänge zwischen Kraftstoffpreisen und ausgewählten Indikatoren der Pkw-Verkehrsnachfrage

Die Analyse der Makrodaten wird auf zwei Arten durchgeführt. Im vorliegenden Abschnitt 6.3 werden mittels deskriptiver Methoden Zusammenhänge zwischen den zur Verfügung stehenden Variablen des Mobilitätsverhaltens und dem Kraftstoffpreis dargestellt. Dies geschieht unter

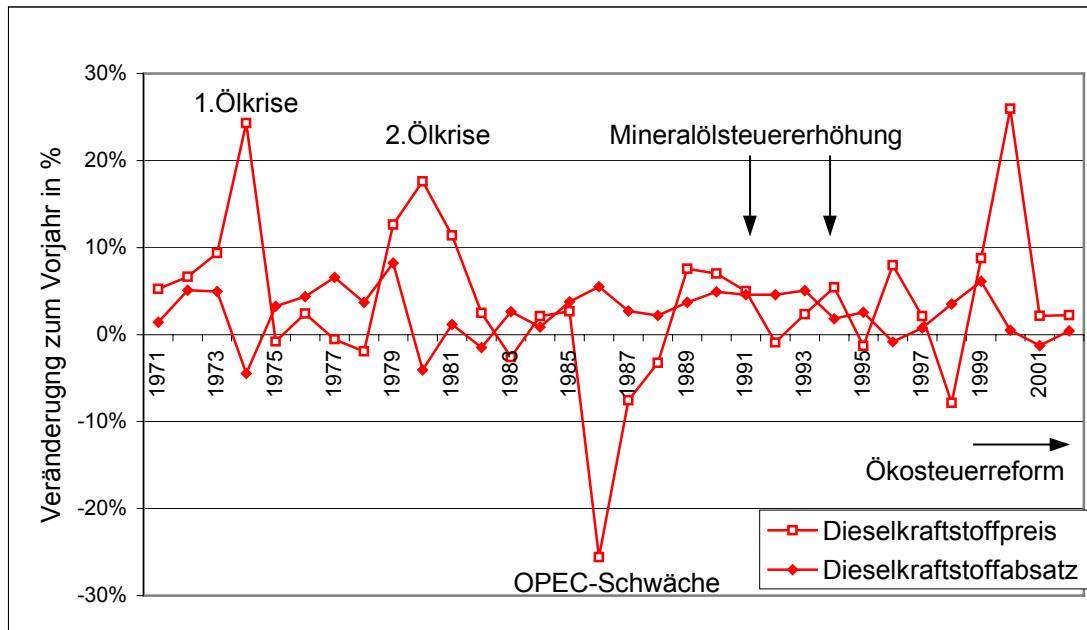
Einbeziehung der politischen und weltwirtschaftlichen Ereignisse sowie der Entwicklungen der deutschen Kfz-Steuer­gesetzgebung¹⁷. Im darauffolgenden Abschnitt 6.4 wird dann mittels analytischer Methoden ein statistisches Modell des Zusammenhangs zwischen Kraftstoffpreisen, Kraftstoffabsatz und weiteren Variablen gesucht. Ergebnis der quantitativen Analyse ist eine Schätzung für den Wert der Preiselastizität der Verkehrsnachfrage.

6.3.1 Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreisen und Kraftstoffabsätzen

In diesem Abschnitt sollen mittels direktem Vergleich der Zeitreihen von Kraftstoffabsatz und Kraftstoffpreis nach Möglichkeit Reaktionen der Verbraucher auf Kraftstoffpreisänderungen identifiziert werden. Schwerpunktmäßig wird der Absatz von Vergaserkraftstoffen im Zusammenhang mit der Veränderung der Normalbenzinpreise betrachtet, da der Dieselabsatz durch die fehlende Trennung von Personen- und Güterverkehr keine geeignete Größe zur Beschreibung der Entwicklung des Mobilitätsverhaltens darstellt. Die folgenden Abbildungen zeigen die prozentualen Veränderungen von Kraftstoffpreisen und -absätzen, getrennt für Diesel- und Vergaserkraftstoff.

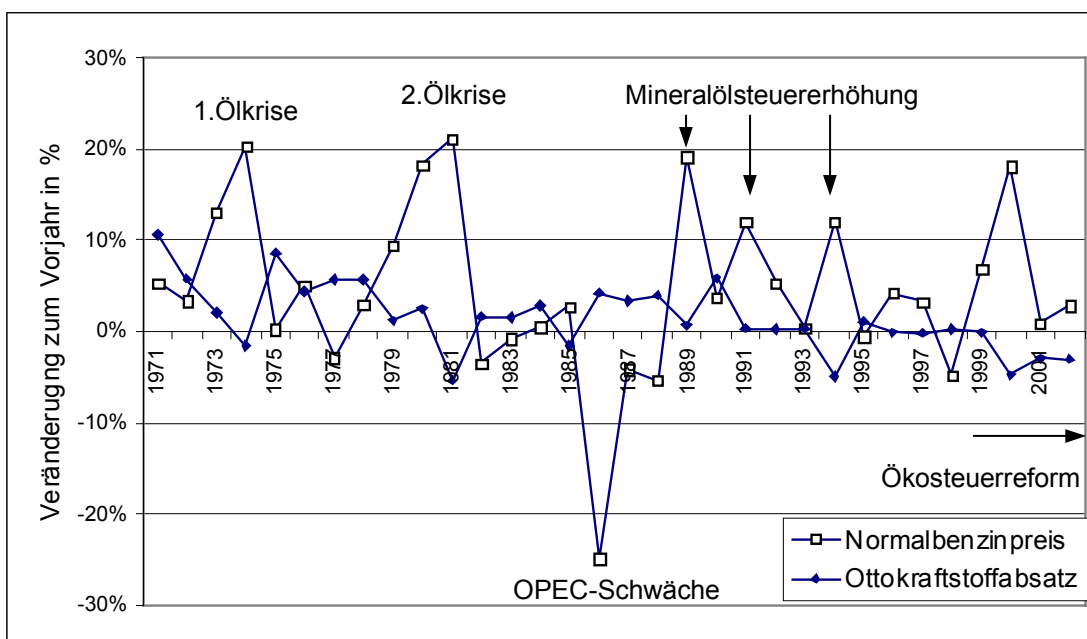
¹⁷ Siehe Tabellen in Anhang I.

Abbildung 6-2: Vergleich der prozentualen Veränderung von Kraftstoffpreis und Kraftstoffabsatz bei Dieseldieselfuelstoff 1971-2002



Quelle: Mineralölwirtschaftsverband 2001, Prognos AG 2003

Abbildung 6-3: Vergleich der prozentualen Veränderungen von Kraftstoffpreis und Kraftstoffabsatz bei Vergaserkraftstoff 1971-2002



Quelle: Mineralölwirtschaftsverband 2001, Prognos AG 2003

Die Ausschläge der Wachstumsraten der Kraftstoffpreise in Abbildung 6-2 und Abbildung 6-3 können verschiedenen politischen und weltwirtschaftlichen Ereignissen zugeordnet werden. Dazu gehören die beiden Ölkrisen in den siebziger Jahren bzw. Anfang der achtziger Jahre mit darauffolgenden überdurchschnittlichen Preiserhöhungen für Kraftstoffe ebenso wie die Schwäche des OPEC-Kartells ab 1986, infolge derer ein starker Preisverfall stattfand. Deutlich erkennbar (besonders bei Vergaserkraftstoff) sind die Erhöhungen der Mineralölsteuer 1989, 1991 und 1994 und einige Stufen der Ökosteuer auf Otto- und Dieselmotorkraftstoffe 1999 und 2000, wobei auch nichtsteuerliche Einflüsse von Bedeutung sind. Die Wachstumsraten der Kraftstoffabsätze und -preise zeichnen ein überwiegend gegenläufiges Bild. Große Preissteigerungen werden von sinkenden Absätzen begleitet, wenn auch mit wesentlich geringerem Ausmaß. Die Wachstumsraten des Kraftstoffabsatzes variieren weit weniger als die Wachstumsraten der Kraftstoffpreise.

Ein Vergleich der Qualitäten zeigt, dass der Absatz von Dieselmotorkraftstoffen bis auf die Jahre der Ölkrise nahezu kontinuierlich zunimmt, während der Vergaserkraftstoffabsatz seit Anfang der neunziger Jahre überwiegend stagniert, seit 2000 sogar fallende Tendenz zeigt.

Den Preiserhöhungen während der Ölkrise stehen für beide Qualitäten Einbrüche beim Kraftstoffabsatz gegenüber. Diese Absatzrückgänge sind jedoch nur bei erheblichen Preissteigerungen zu beobachten (1974 und 1980/1981). Rückläufige Dieselmotorkraftstoffabsätze in dieser Zeit deuten auf ein verringertes Gütertransportaufkommen im Rahmen wirtschaftlicher Eintrübung hin. Demgegenüber sind Absatzrückgänge bei Vergaserkraftstoffen ein Indikator für geändertes Mobilitätsverhalten der Bevölkerung. Dem überdurchschnittlichen Preiseinbruch im Jahr 1986 steht ein mäßiger Anstieg des Absatzwachstums gegenüber.

Ab Mitte der achtziger Jahre sind die Entwicklungen bei Dieselmotorkraftstoff und Vergaserkraftstoff unterschiedlich. Während beim Dieselmotorkraftstoffabsatz zumeist positive Wachstumsraten vorliegen, wächst der Absatz von Vergaserkraftstoffen nur mäßig bzw. geht zurück. Bei Vergaserkraftstoffen führt eine Erhöhung der Mineralölsteuer zu deutlichen Preissprüngen, die beim Dieselmotorkraftstoff ausbleiben bzw. deutlich schwächer ausfallen. Dies korrespondiert mit stark wachsenden Dieselmotorkraftstoffabsätzen und schwach wachsender bzw. rückläufiger Benzinnachfrage.

Die Preisentwicklung der Qualitäten verläuft seit Mitte der neunziger Jahre wieder parallel¹⁸, wobei der Diesekraftstoffpreis immer deutlich unterhalb des Preises für Vergaserkraftstoffe liegt. Dies könnte auch eine Erklärung für die höheren Wachstumsraten des Dieselabsatzes sein, wobei hier wiederum der von dem Gang der Wirtschaft dominierte Güterverkehr die zweifellos gewichtigere Rolle spielt. Mit Einsetzen der Ökosteuerreform zeigt sich auch beim Dieselabsatz eine rückläufige Tendenz, die jedoch bei Vergaserkraftstoffen schärfer ausgeprägt ist. Für diese Jahre ist unklar, inwieweit die Ökosteuer den bremsenden Effekt, welchen die rezessive Tendenz der Wirtschaft auf die Kraftstoffverbräuche ausübt, noch weiter verstärkt.

Zusammenfassend wird festgestellt:

- Ein negativer Zusammenhang zwischen Nominalpreisen und Kraftstoffabsatz ist bei beiden Qualitäten erkennbar. Dieser Zusammenhang ist jedoch nur schwach und nicht einheitlich. Bei Diesekraftstoff ist der Zusammenhang schwächer ausgeprägt.
- Es bedarf erheblicher Preiserhöhungen, um einen Absatzrückgang zu bewirken (z.B. 1974, 1981 und 2000).
- Erstaunlich ist, dass nicht bei allen erheblichen Preiserhöhungen (>10 %) ein Absatzrückgang festzustellen ist. So z.B. in den Jahren 1989 und 1991 bei Vergaserkraftstoff, in denen die Absätze weiter wachsen, wenn auch nur schwach.
- Anhand der Zeitreihe kann die These aufgestellt werden, dass erst Preissteigerungen von über 15 % zu Reaktionen bei den Verbrauchern führen, bzw. es mehrerer Preiserhöhungen bedarf, bis eine Reaktion ausgelöst wird (z.B. führen die drei Mineralölsteuererhöhungen der Jahre 1989, 1991 und 1994 erst 1994 zu einem Absatzrückgang).
- Die Absätze reagieren nur relativ kurzfristig auf Preisänderungen der Kraftstoffqualitäten.
- Stark fallende Preise führen nicht zwingend zu besonders stark steigenden Absätzen - im Jahr 1986 führt die Preissenkung um über 20 % zwar zu einer Steigerung des Absatzes, dieser ist aber im Rahmen üblicher Absatzsteigerungen. Die Preisrückgänge im Jahr 1998 führen nicht zu Absatzsteigerungen.

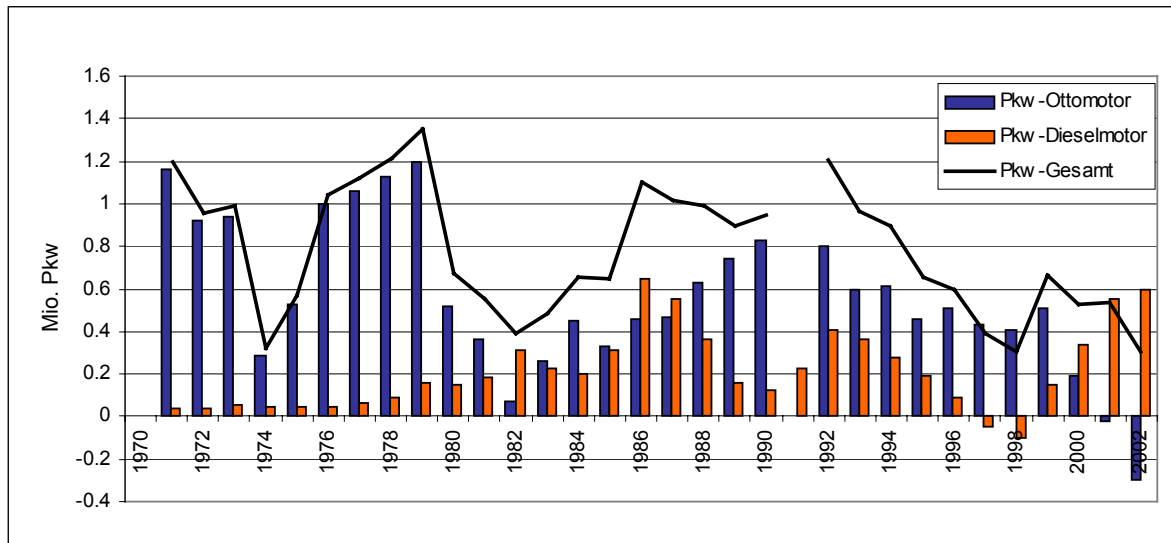
Die nachfolgende quantitative Analyse muss klären, inwiefern der Zusammenhang zwischen Preis und Absatz gegeben ist. Die hier vorgenommenen beschreibenden Darstellungen zeigen ihn nur undeutlich. Betrachtet man starke Preiserhöhungen (Ölkrisen, Ökosteuer) mit den zugehörigen Absatzrückgängen, so legt das Verhältnis (20 % zu ca. 5 %) eine Preiselastizität in der Größenordnung von ungefähr -0,25 nahe.

¹⁸ Vergleiche auch Nominalpreisentwicklung, z.B. in Abbildung 6-5.

6.3.2 Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreisen und Pkw-Bestandsentwicklung

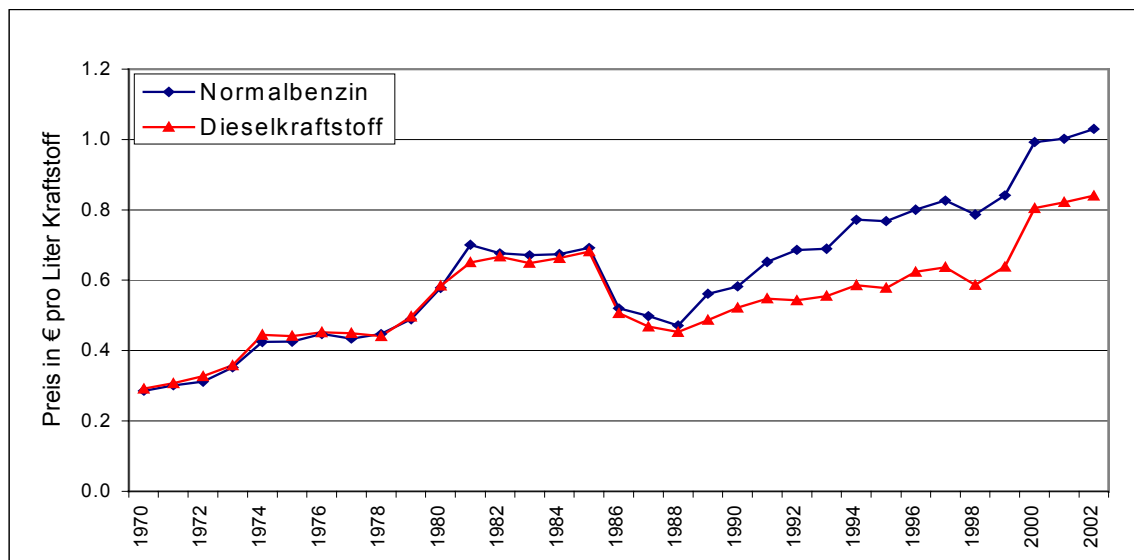
Im Anhang I wird in der Pkw-Bestandsentwicklung ein Trend zu dieselbetriebenen Pkw aufgezeigt. Diese Entwicklung könnte auf Preisunterschiede der Kraftstoffqualitäten, technologischen Fortschritt oder die Kfz-Steuer Gesetzgebung zurückzuführen sein.

Nachfolgend werden auffällige Entwicklungen bei den Pkw-Beständen dargestellt und durch Vergleich mit den Zeitreihen der Kraftstoffpreise und den verkehrspolitischen bzw. (welt-) wirtschaftlichen Ereignissen die Gründe der Entwicklung benannt. Abbildung 6-4 zeigt die Veränderungen im Pkw-Bestand (in Mio. Pkw) aufgegliedert nach Antriebsarten. Zum Vergleich ist nochmals die Kraftstoffpreisentwicklung in Abbildung 6-5 dargestellt.

Abbildung 6-4: Veränderung des Pkw-Bestandes 1971-2002

Quelle: ProgTrans AG 2003

Anmerkung: Der Bestandszuwachs für Benzinmotoren und Pkw-Gesamt wurde für das Jahr 1991 aus Maßstabsgründen entfernt (starker Zuwachs durch die deutsche Wiedervereinigung).

Abbildung 6-5: Verbraucherpreise für Kraftstoffe

Quelle: Mineralölwirtschaftsverband 2001

Die Bestandszuwächse zeigen einen zyklischen Verlauf, welcher für die Antriebsarten nicht parallel ist. Bei wechselnder Vorteilslage (für Diesel- oder Vergasermotor) tendieren die Käufer zu einem Antriebswechsel beim Neukauf. Dies hat eine wellenförmige Bestandsänderung der Antriebsarten zur Folge.

In den Jahren 1971-1980 wurden Diesel-Pkw aufgrund des höheren Anschaffungspreises und wegen ihrer Nutzungseigenschaften hauptsächlich von Vielfahrern (z.B. Taxi) bevorzugt. Ihr Anteil am Bestand und die jährlichen Zuwächse blieben bis 1980 gering. Der Bestandszuwachs zeigt in diesem Jahrzehnt zwei Einbrüche, die mit gestiegenen Kraftstoffpreisen korrespondieren (Ölkrise).

Die Weltrezession 1982 und ein hohes Kraftstoffpreisniveau dämpfen die Bestandszuwächse in den frühen 1980er Jahren. Mitte der 80er Jahre fallen die Kraftstoffpreise bedingt durch die Schwäche des OPEC-Kartells, gleichzeitig steigen die Bestandszuwächse an.

Die Bestandsentwicklung zeigt 1985/1986 eine deutlich erhöhte Zunahme dieselbetriebener Pkw. Eine neue Kfz-Steuer-Regelung vom 1.7.1985 bevorzugte Pkw mit Dieselantrieb gegenüber Vergasermotoren. Pkw mit Ottomotor ohne G-Kat wurden wegen ihrer höheren Stickoxid-Emissionen lufthygienisch bedenklicher als Pkw mit Dieselantrieb bewertet. Infolgedessen wurden 1985 und 1986 mehr Fahrzeuge mit Diesel- als mit Ottomotor als schadstoffarm oder bedingt schadstoffarm anerkannt und entsprechend günstiger steuerlich eingestuft. Gleichzeitig erweiterte die Automobilindustrie das Angebot an Diesel-Fahrzeugen. Kraftstoffpreisdifferenzen können zu diesem Zeitpunkt keine Rolle bei der Antriebswahl gespielt haben, da die Preise für die Qualitäten auf gleichem Niveau lagen. Allerdings galt auch bereits zu dieser Zeit, dass Diesel-Pkw deutlich niedrigere Kraftstoffverbräuche aufwiesen als gleichwertige Fahrzeuge mit Vergasermotor.

1986-1990 ist bei gleichmäßigen Gesamtbestandszuwächsen (ca. eine Mio. Pkw pro Jahr) eine gegenläufige Entwicklung bei der Antriebswahl offensichtlich. Da die Kraftstoffpreise auf gleichem Niveau verlaufen, kann dafür nur die staatliche Förderung von Pkw mit Vergasermotoren verantwortlich gemacht werden (Partikel-Emissions-Diskussion).

Zwischen 1992 und 1998 sinken die Bestandszuwächse kontinuierlich, während die Kraftstoffpreise steigen. Trotz der Preisvorteile bei Dieselmotoren sinkt der Zuwachs bei Pkw mit Dieselantrieb stärker als bei Pkw mit Ottomotor. Verursacht wird dies durch die sukzessiv erhöhte Kraftfahrzeugsteuer (1989, 1991, 1994) für Diesel-Pkw, wodurch die Fixkostenanteile des Dieselfahrzeugs überproportional stiegen. Dies verringerte nach und nach seine Attraktivität für breitere Käuferschichten, da - bezogen auf durchschnittliche Neufahrzeuge - das Dieselauto jährlich etwa 12.000 km gefahren werden musste, um allein die mittlere Differenz in der Kraftfahrzeugsteuer von ca. 500 DM auszugleichen. 1997 und 1998 geht der Bestand an Pkw mit Dieselmotoren sogar zurück. Grund dafür ist die ab Januar 1997 eingeführte Besteuerung nach der Euro-Schadstoffnorm. Die eingeführten Steuerbefreiungsbeträge für Diesel-Pkw sind zwar nominal doppelt so hoch wie für Pkw mit Vergasermotoren, bezogen auf die für Diesel-

Pkw ca. zweieinhalbfach höhere Kfz-Steuer sind jedoch diese schnell aufgezehrt. Schadstoffarme Dieselfahrzeuge werden seither weniger stark gefördert als entsprechende „Benziner“. Die Abnahme der Dieselfahrzeuge im Jahr 1996 könnte auch durch einen hohen Anteil von Altfahrzeugen mit Erstzulassung im Jahre 1985/1986 erklärt werden, welche 1996/1997 gerade über 11 Jahre alt sind und zunehmend verschrottet werden. Ihre Besitzer tendieren zum Kauf von Pkw mit Ottomotoren, was durch die damalige Kostenstruktur (Kfz-Steuerregelung) trotz höherer Preise für Vergaserkraftstoff günstiger erscheint. In den neunziger Jahren mag also der Kraftstoffpreis weniger die Entscheidung für eine Antriebsart beeinflusst haben als die Kfz-Steuergesetzgebung.

Mit dem Inkrafttreten der Ökosteuerreform 1999 stieg der Diesel-Pkw-Bestand exponentiell an. Gründe dafür sind vermutlich nicht nur der gegenüber Benzin günstigere Preis von Dieselmotoren, sondern auch der geringere Durchschnittsverbrauch von Fahrzeugen mit Dieselmotoren. Da der Benzinpreis die nie vorher erreichte 2 DM bzw. Ein-Euro-Marke überschritten hat, könnte hier eine psychologische Reaktion der Verbraucher vorliegen. Der steigende Kraftstoffpreis und die damit verbundene Verschiebung der Pkw-Kosten-Anteile hin zum Kraftstoff als dem immer wichtigeren Kostenfaktor bedingt, trotz Kfz-steuerlicher Benachteiligung der Dieselantriebe, eine Tendenz der Fahrzeughalter zum Dieselfahrzeug. Die Verfügbarkeit von Diesel-Pkw auf dem Fahrzeugmarkt und der sich verringende Unterschied der Anschaffungskosten der beiden Antriebsarten sind von Bedeutung für die zunehmende Beliebtheit von Dieselfahrzeugen. Innovationen im Dieselsegment machen den Diesel-Pkw in seinen Fahreigenschaften erst Ende der 90er Jahre überhaupt mit Ottomotor-Pkw vergleichbar.

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

- Der Gesamtbestandszuwachs bei Pkw wird von extremen Preissteigerungen lediglich gedämpft (Ölkrisen, Ökosteuer). Die Bestandszuwächse scheinen eher konjunkturellen Zyklen zu folgen.
- Für die Entscheidung bezüglich der Antriebsart des Pkw war die Kfz-Steuergesetzgebung lange Zeit maßgeblich verantwortlich. Erst in den letzten Jahren ist vermehrt auch eine Entwicklung beobachtbar, die im Rahmen der Kfz-Steuergesetzeslage nicht erklärbar ist.

- Verantwortlich für den jüngsten Trend zum Dieselantrieb könnten neben dem günstigeren Kraftstoffpreis auch die Verfügbarkeit von Pkw mit Dieselmotor, sowie der tendenziell niedrigere Kraftstoffverbrauch auf 100 km¹⁹ sein.

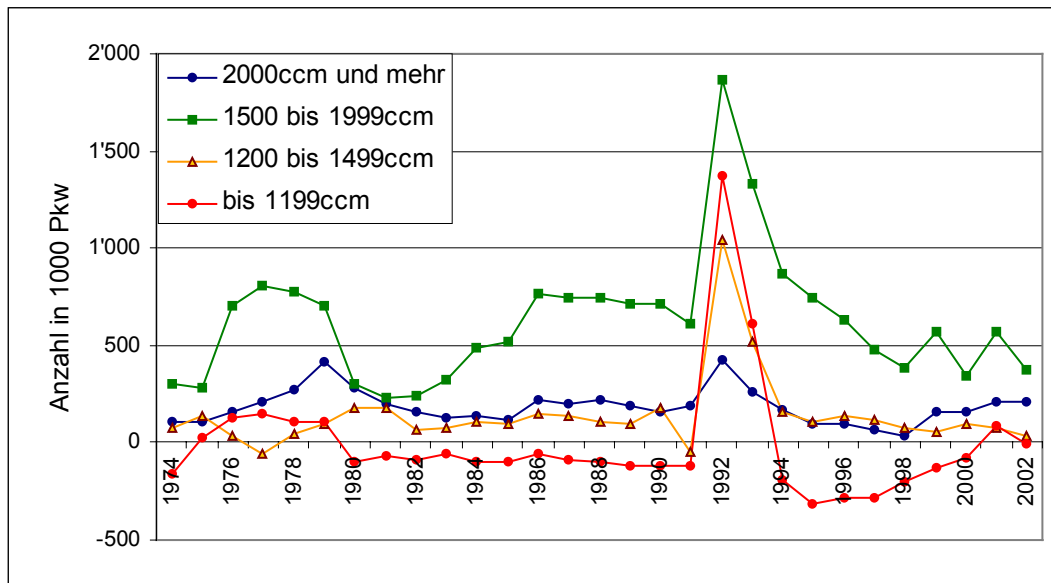
6.3.3 Analyse weiterer mobilitätsbezogener Variablen

Bestände nach Hubraumklassen

Im Hinblick auf Änderungen im Mobilitätsverhalten der Bevölkerung sind weitere Disaggregationen der Pkw-Bestände hilfreich, z.B. nach Hubraumklassen. Abbildung 6-6 zeigt die Veränderung des Pkw-Bestandes disaggregiert nach Hubraumklassen im Vergleich zum Vorjahr. Die Interpretation dieser Bestandsentwicklung in Bezug auf den Kraftstoffpreis ist schwierig.

¹⁹ INFRAS stellte für die Schweiz fest, dass der Benzinverbrauch beim Autokauf eher eine unbedeutende Rolle spielt. Die wichtigsten Kriterien sind demzufolge: Komfort/Platz/Ausstattung und die Sicherheit sowie die Leistung des Fahrzeugs. Nach Meinung von INFRAS hat der steigende Kraftstoffpreis am ehesten den Verkauf von Dieselfahrzeugen beeinflusst, wobei die Nachfrage nach Diesel-Pkw bereits vor der Preiserhöhung deutlich angestiegen war. Der steigende Kraftstoffpreis hat diesen Boom lediglich unterstützt. Vergleiche: INFRAS (2002): Evaluation kurzfristiger Benzinpreiserhöhungen, Zürich, S. 64.

Abbildung 6-6: Veränderungen des Pkw-Bestands gegenüber dem Vorjahr nach Hubraumklassen



Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt, ProgTrans AG 2003

Anmerkung: Werte 2000/2001 für die Hubraumklassen 1500-1999 ccm sowie 1200-1499 ccm geschätzt, da vom KBA nicht getrennt berichtet.

Die allgemeine Tendenz hin zu Wagen mit Hubräumen von 1500-1999 ccm ist deutlich durch die stets positiven prozentualen Veränderungen sichtbar. Die Bestände mit kleinem Hubraum (bis 1199 ccm) nehmen dagegen beständig ab (bis 2000). Dies verdeutlicht einen allgemeinen „upsizing“-Trend. Die Pkw-Klasse mit großem Hubraum (2000 ccm und mehr) zeigt die Tendenz zu stetig steigenden Beständen. Es fällt auf, dass diese Klasse, auch bei steigenden Kraftstoffpreisen, stärker wächst als zuvor, so z.B. in den Zeiten der Ölkrisen und auch in jüngster Zeit. Dies deutet darauf hin, dass es sich um Fahrzeuge des höheren Preissegments handelt, deren Besitzer weniger preissensibel sind. Insbesondere in den letzten Jahren zeigt diese Klasse verstärkt Zuwächse. Dies wird auch durch den gegenwärtigen Nachfragetrend zu sogenannten SUV²⁰-Fahrzeugen mit großem Hubraum veranschaulicht.

Als weitere markante Entwicklungen (vgl. Abschnitt 6.3.2) sind erkennbar:

- 1973/74 und 1980/81: Zeitgleich mit den beiden Ölkrisen sind insgesamt niedrige Bestandszuwächse zu vermerken; allein die Hubraumklasse 1200-1499 ccm hat in diesem Zeitraum steigende Zuwächse zu verzeichnen.

²⁰ SUV = Sports Utility Vehicle

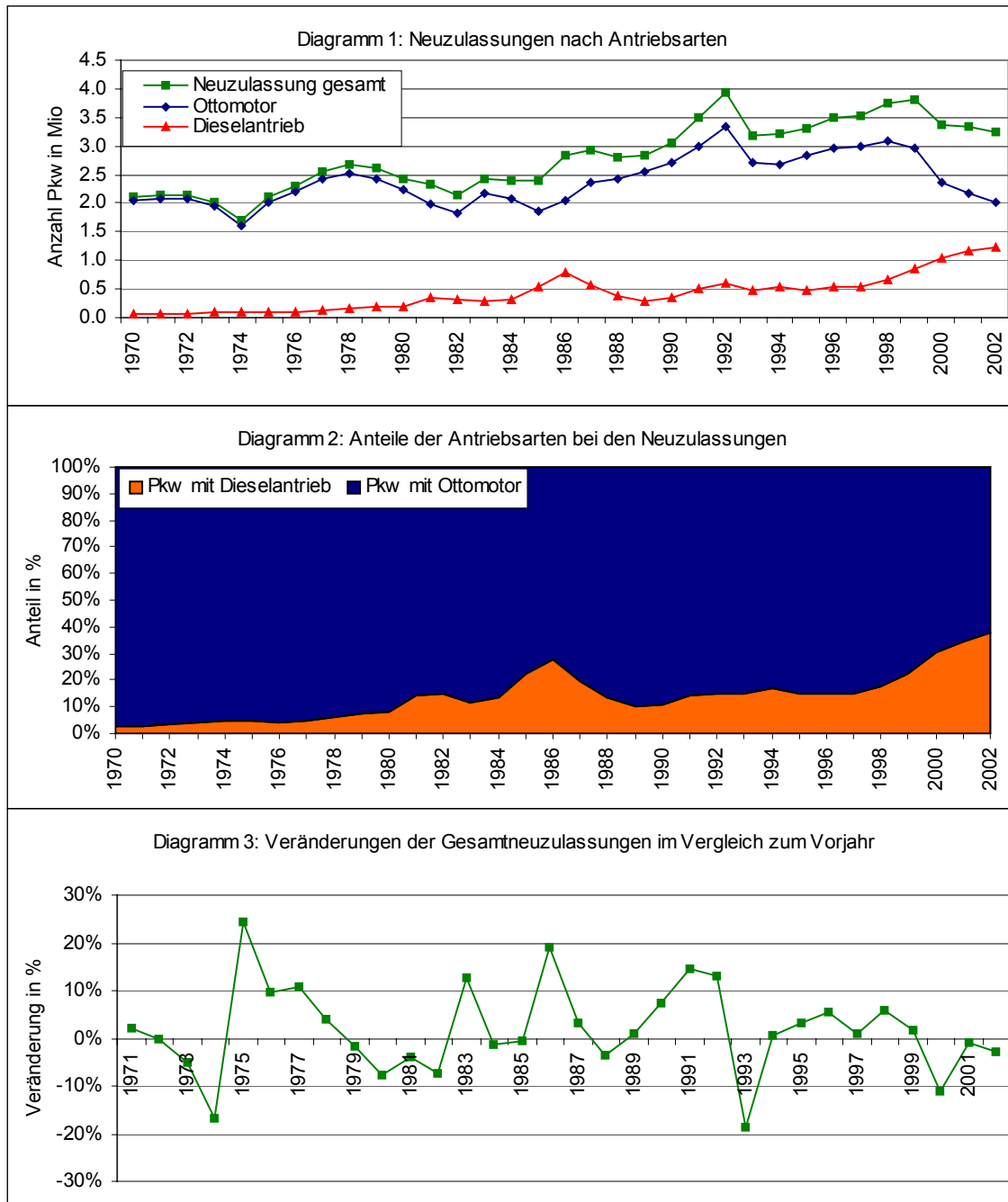
- 1993: Deutlich erkennbar ist der Strukturbruch der Wiedervereinigung, der hier erst im Jahr 1992 eingearbeitet wurde (davor Werte der alten Bundesländer, danach Gesamtdeutschland). Erkennbar ist auch die starke Zunahme der Fahrzeuge mit kleinem Hubraum. Dies leuchtet ein, wenn man bedenkt, dass die ostdeutschen Fahrzeuge zum größten Teil nur einen Hubraum von um die 600 ccm hatten. Der Bestand dieser Fahrzeuge nimmt danach jedoch kontinuierlich ab – die ostdeutschen Wagen werden nach und nach substituiert.
- Die untere Hubraumklasse zeichnet sich im beobachteten Zeitraum (abgesehen von dem oben genannten Wiedervereinigungseffekt) durch eine häufig negative Bestandsentwicklung aus. Allein in den Zeiten zwischen den beiden Ölkrisen (1976-1980) sowie seit 2001 nahm der Bestand dieser Klasse zu. Der Trend zu Kleinwagen mit geringem Hubraum kann als verzögerte Reaktion der Verbraucher auf die starken Kraftstoffpreissteigerungen der Jahre 1999/2000 gedeutet werden oder als Tendenz zu kleinen Zweitwagen.

Eine Disaggregation nach Antriebsarten wäre hier wünschenswert, eine solche Zeitreihe liegt allerdings lediglich für die Jahre 1993-2001 vor. Dieser Zeitraum ist selbst für eine deskriptive Analyse zu kurz.

Entwicklung bei den Neuzulassungen

Kraftstoffpreisänderungen und Neuerungen in der Kfz- oder Mineralölsteuergesetzgebung haben nur langsame und „geglättete“ Strukturveränderungen beim Pkw-Bestand zur Folge. Entsprechende Tendenzen dürften im Bereich der Neufahrzeuge kräftiger und akzentuierter ausfallen. Bei der Betrachtung der Neuzulassungen ist insbesondere die Aufgliederung nach Antriebsarten von Interesse.

Abbildung 6-7: Entwicklung der Pkw-Neuzulassungen 1970-2002



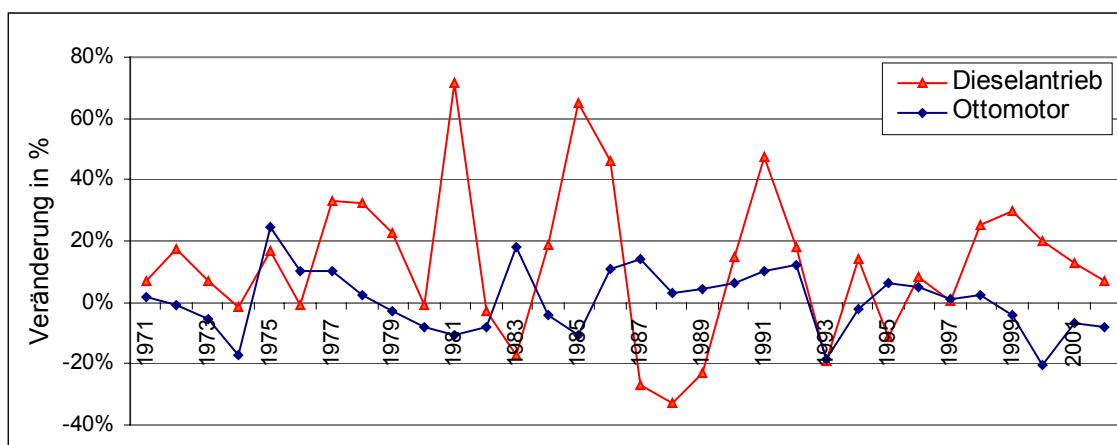
Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen Reihe 3, ProgTrans AG 2003

In Abbildung 6-7 sind die Entwicklungen der Pkw-Neuzulassungen insgesamt sowie nach Antriebsart aufgegliedert dargestellt. Erkennbar sind deutliche Schwankungen der Neuzulassungen. Erneut soll versucht werden, die Entwicklungen mit Kraftstoffpreisveränderungen und verkehrspolitischen sowie wirtschaftlichen Ereignissen in Zusammenhang zu bringen.

Nach einem Neuzulassungs-Tiefpunkt 1974, der durch die erste Ölkrise und die damit zusammenhängende Kraftstoffpreissteigerung sowie die wirtschaftliche Krise erklärt werden kann, folgten einige Jahre mit steigenden Neuzulassungen. Eventuell ist hier ein gewisser Nachholbedarf zu erkennen. Mit der zweiten Ölkrise sind abermals sinkende Neuzulassungen zu bemerken, welche in einem Tiefpunkt 1982 enden. Danach steigen die Neuzulassungszahlen bis zu einem absoluten Maximum im Jahr 1992 an (ab hier Zahlen für Gesamtdeutschland), wobei aber auch in diesem Zeitraum immer wieder Schwankungen feststellbar sind.

Auffällig ist die starke Zunahme der Diesel-Neuzulassungen in den Jahren 1985/1986, sie kann durch die veränderte Kfz-Steuer Gesetzgebung sowie die Mineralölsteuerspreizung (siehe Erklärung bei den Bestandsentwicklungen) erklärt werden. In den Zeitreihen der Neuzulassungen hat sich dieser Trend der Bestandsentwicklung deutlich stärker ausgebildet. Allerdings wurden die Vorteile für den privaten Fahrzeughalter in den folgenden Jahren mehr und mehr abgebaut (steigende Kfz-Steuern für Dieselfahrzeuge 1989, 1991 und 1994), somit gingen auch die Diesel-Neuzulassungen zurück. Seit Ende der 1990er Jahre ist ein Rückgang der Neuzulassungen bei den Pkw mit Ottomotor festzustellen, was auch zu rückläufigen Zahlen der Gesamtneuzulassungen führt. Im Gegensatz dazu sind die Neuzulassungen bei Diesel-Pkw seit 1998 stark ansteigend, was ein weiterer Hinweis dafür ist, dass die Fahrzeughalter bei Substitution ihres Fahrzeugs vermehrt zu Dieselantrieben tendieren.

Abbildung 6-8: Veränderungen der Neuzulassungen nach Antriebsarten 1971-2002



Quelle: ProgTrans AG 2003

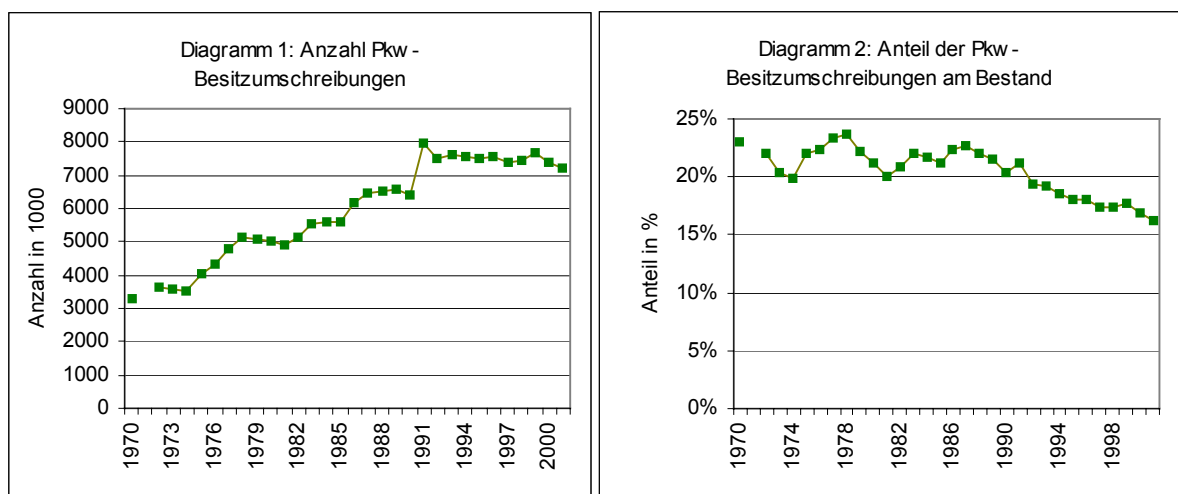
Abbildung 6-8 zeigt genau wie Abbildung 6-4 einen deutlichen Trend in der Bestandsentwicklung: In Jahren mit deutlichen politischen Signalen zugunsten einer Antriebsart gibt es die Tendenz der Käufer zum Antriebswechsel, besonders ist dies, bedingt durch die Ökosteuer, in jüngster Vergangenheit (seit 1999) eingetreten, aber auch Anfang der 1980er

Jahre (1981 bzw. 1985). Eventuell können Nachholbedarfsphasen nach Jahren mit rückläufigen Neuzulassungen ausgemacht werden, wenn Fahrzeugbesitzer eine Neuanschaffung hinauszögern, was besonders in Phasen mit schwacher gesamtwirtschaftlicher Konjunktur der Fall ist. Beispiele für diesen Effekt sind die Jahre 1975/1976, 1983 und 1995, was auch Abbildung 6-8 deutlich macht. Der Nachholbedarf an Pkw ist auch in den letzten Jahren (seit ca. 2000) stetig gestiegen²¹.

Besitzumschreibungen

In diesem Abschnitt soll untersucht werden, inwiefern veränderte Kraftstoffpreise Auswirkungen auf Besitzumschreibungen haben können. Abbildung 6-9 zeigt die Entwicklung der Besitzumschreibungen seit 1970.

Abbildung 6-9: Entwicklung der Besitzumschreibungen 1970-2001



Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt Reihe 3, ProgTrans AG 2003

Leider liegen seit 1970 keine Disaggregationen nach Antriebsarten vor. Deutlich erkennbar ist die steigende Gesamtanzahl von Umschreibungen, wie sie anhand der Bestandsentwicklung auch zu erwarten ist. Auch fällt auf, dass in den Jahren der Ölkrise die Besitzumschreibungen eher stagnieren. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Verbraucher in Zeiten hoher bzw. steigender Kraftstoffpreise bei der Anschaffung eines Wagens eher zurückhalten sind (analog zu den Neuzulassungen). Eine weitere Stagnationsphase der Besitzumschreibungen ist im Jahr 1986 festzustellen. Erklärt werden könnte dies durch die Änderungen in der Kfz-Steuer-

²¹ Vgl.: Mittelfristprognosen der Prognos AG, Basel.

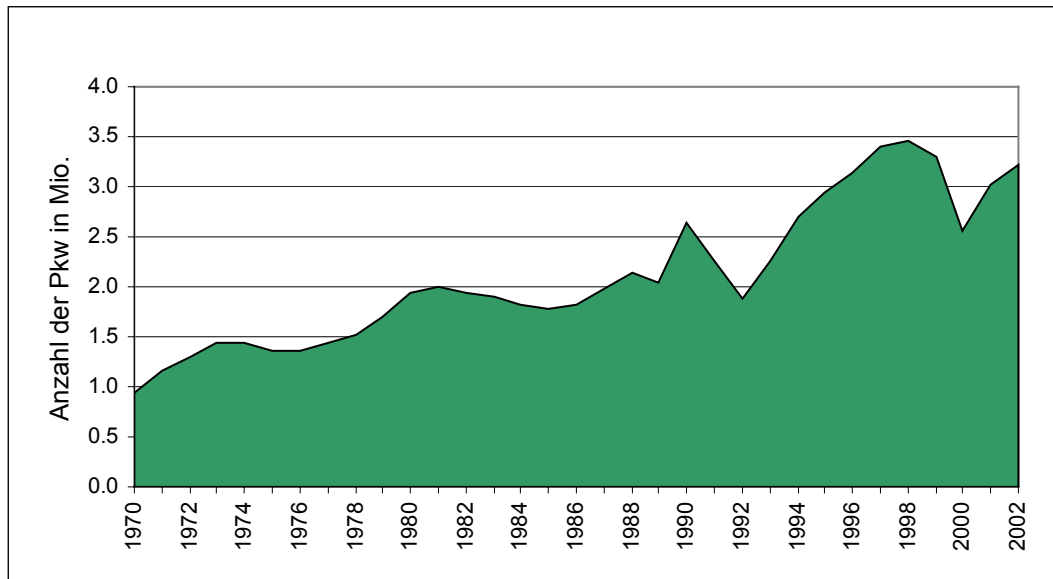
Gesetzgebung. Durch die neuen Regelungen tendierten die Verbraucher dazu, einen (möglichst schadstoffarmen und damit steuerbegünstigt eingestuften) Neuwagen zu kaufen, statt auf einen Gebrauchtwagen zurückzugreifen.

Weiterhin ist der „Wiedervereinigungsknick“ ganz deutlich im Jahre 1991 zu erkennen, hier stiegen die Besitzumschreibungen stark an. Danach scheint der Gebrauchtwagenmarkt zu stagnieren. Mit einigen Schwankungen bleibt er relativ konstant, ab 1999 scheint es sogar zu rückläufigen Tendenzen bei den Umschreibungen zu kommen. Dies könnte erneut als Reaktion der Verbraucher auf die Ökosteuerreform interpretiert werden. Im rechten Diagramm von Abbildung 6-9 ist der Prozentsatz der Besitzumschreibungen am Gesamtbestand aufgetragen. Hier werden die rückläufigen Anteile während der Ölkrise noch deutlicher. 1973/1974 sinkt der Anteil auf unter 20 %, ebenso im Jahre 1981. Ein gewisser Einbruch stellt sich auch im Jahre 1986 ein. Bemerkenswert ist, dass in den 1990ern – abgesehen von einer kurzen Hochphase nach der Wiedervereinigung – die Anteile der Besitzumschreibungen am Gesamtbestand stetig fallend sind. Dies könnte einen Hinweis auf eine generelle Trendumkehr sein. Gründe dafür sind eventuell die neuen Verkaufsstrategien von Neuwagenhändlern (kostengünstige Ratenzahlungen, Inzahlungnahme der Altfahrzeuge und Verkauf dieser Fahrzeuge ins Ausland) oder aber steigende Kraftstoffpreise, die den Kauf eines verbrauchsärmeren Neuwagens interessanter machen.

Die zur Verfügung stehenden Daten zur Besitzumschreibungen lassen keine differenzierten Aussagen über diesbezügliche Veränderungen des Mobilitätsverhaltens der Bevölkerung zu.

Löschungen

Die Zahl der Löschungen liegt nur als Gesamtzahl der gelöschten Pkw vor. Abbildung 6-10 zeigt die Entwicklung der Löschungen seit 1970.

Abbildung 6-10: Entwicklung der Pkw-Löschungen 1970-2002

Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen Reihe 3

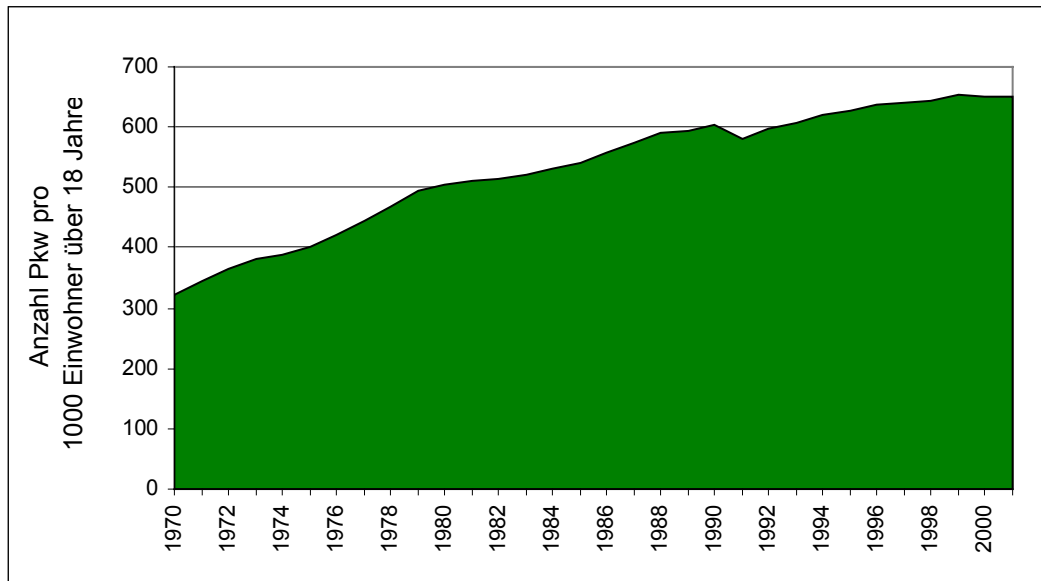
In der Abbildung sind folgende Tendenzen zu identifizieren:

- Bis ca. 1988 zeigt die Löschungsstatistik ein langsames Wachstum - im Durchschnitt wurden jährlich 1,5 bis 2 Millionen Pkw aus dem Bestand gelöscht. Phasen mit vergleichsweise hohen Löschungszahlen sind während der beiden Ölkrisen zu verzeichnen.
- Im Jahre 1991 ist eine deutliche Spitze bei den Löschungen zu finden, im Jahre 1993 sinken die Löschungen dafür deutlich ab.
- Ab 1993 steigen die Löschungen wieder an, sinken im Jahre 2000 (bedingt durch die veränderte Stilllegungsfrist) aber deutlich ab.

Die Löschungszahlen deuten darauf hin, dass bei steigenden Kraftstoffpreisen auch die Löschungen ansteigen. Zusammen mit den für diese Phasen typischerweise sinkenden Neuzulassungszahlen, impliziert dies bei den Pkw-Haltern einen stetig steigenden Ersatzbedarf.

Motorisierungsgrad

Der Motorisierungsgrad wurde ermittelt als Quotient aus dem Pkw-Gesamtbestand (bereinigt um veränderte Stilllegungsfristen) und der Bevölkerung über 18 Jahre in 1000 (potentiell fahrfähig). Abbildung 6-11 zeigt die so ermittelte Datenreihe.

Abbildung 6-11: Entwicklung des Motorisierungsgrades 1970-2001

Quelle: Statistisches Bundesamt, KBA, ProgTrans AG 2003

Anmerkung: ab 1991 neuer Gebietsstand

Es wird deutlich, dass der Motorisierungsgrad seit 1970 kontinuierlich angestiegen ist. Ein leichter Rückgang im Motorisierungsgrad ist 1991 erkennbar, er kann als Wiedervereinigungseffekt interpretiert werden. Seit Ende der 1990er Jahre ist eine Stagnation zu vermuten.

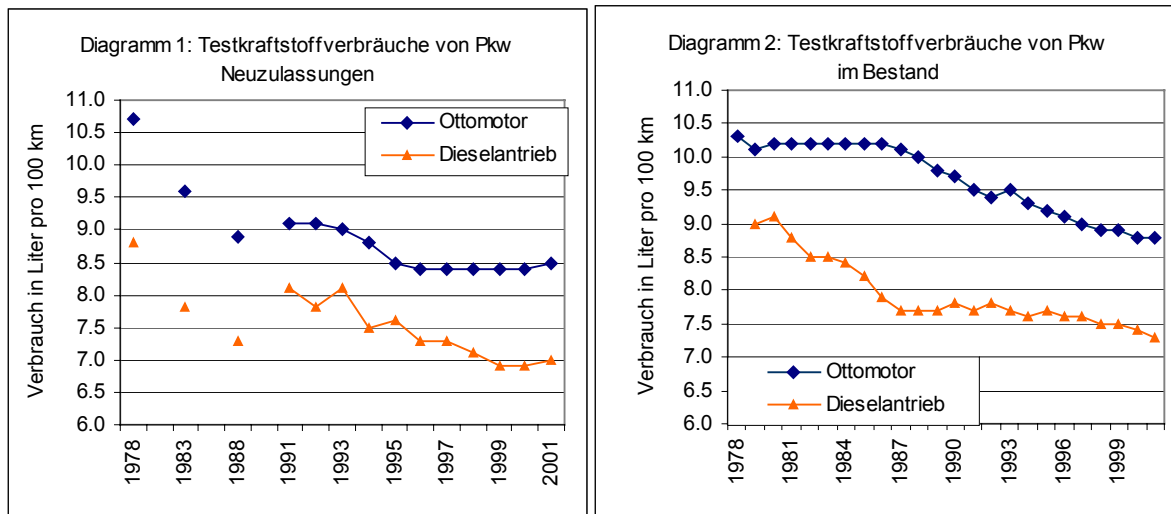
Durchschnittliche Kraftstoffverbräuche

Der Kraftstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen wird von einer Vielzahl von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst, z.B.

- Einsatzbedingungen des Fahrzeugs (Geschwindigkeit, Straßenart, -zustand und -führung, Wetterbedingungen, Fahrerverhalten)
- Fahrzeugtechnik (Motorkonzept, Gewicht, Aerodynamik, Zusatzausstattung)
- Größe des Fahrzeugs.

Vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) wurden Kraftstoffverbrauchswerte nach Normverbräuchen (DIN-Verbräuche) und Testkraftstoffverbrauchswerte berichtet. Für den tatsächlichen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch auf 100 km sind die Testkraftstoffverbräuche die geeignetere, da realistischere Größe. Abbildung 6-12 zeigt letztere für Pkw-Neuzulassungen und Pkw im Bestand.

Abbildung 6-12: Durchschnittliche Testkraftstoffverbräuche von Pkw-Neuzulassungen und Pkw im Bestand 1978-2001²²



Quelle: DIW Wochenbericht, 12/2003.

Lange Zeit stieg der Verbrauch der Pkw an (bis ca. 1975²³), da die Pkw vor den Ölkrisen immer größer und leistungsstärker wurden. Erst mit den Ölkrisen wurde der Verbrauch eines Fahrzeugs zum Verkaufsargument. Bis in die 80er Jahre war der Kraftstoffverbrauch eines neuzugelassenen Pkw überwiegend höher als der eines entsprechenden Pkw im Bestand²⁴, im Laufe der Jahre änderte sich dies durch kraftstoffsparende technische Verbesserungen. Mittlerweile liegt der Verbrauch der Neuzulassungen je nach Antriebsart und Hubraumklasse um 2 % bis 9 % unter dem Vergleichswert für den Bestand. Diesem Trend der technisch bedingten Kraftstoffeinsparung läuft die Verschiebung zu immer größeren Fahrzeugen („upsizing“) diametral entgegen.

Deutlich erkennbar liegen die durchschnittlichen Verbräuche von Ottomotoren um ca. 2,5 bis 3 Liter je 100 km über den Kraftstoffverbräuchen von Pkw mit Dieselmotor.

²² Bis 1991 Gebietsstand vor dem 3.10.1990, ab 1992 an Gebietsstand seit dem 3.10.1990.

²³ siehe DIW-Wochenbericht 12/2002, Daten hierzu nicht verfügbar.

²⁴ Besonders deutlich wird dies beim Vergleich der durchschnittlichen Verbrauchswerte einer Hubraumklasse. Vgl. dazu: DIW Wochenbericht 12/2002.

6.4 Regressionsanalytische Untersuchungen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf den Kraftstoffabsatz

6.4.1 Einfache lineare Regression

Jahresdaten

Mit den jährlichen Datensätzen werden folgende ökonometrische Modelle getestet:

$$\text{Modell 1: } \text{Kraftstoffabsatz} = \beta_1 \cdot \text{Kraftstoffpreis} + \beta_2 \quad [6.4-1]$$

$$\text{Modell 2: } \text{LOG}(\text{Kraftstoffabsatz}) = \beta_1 \cdot \text{LOG}(\text{Kraftstoffpreis}) + \beta_2 \quad [6.4-2]$$

$$\text{Modell 3: } \Delta \text{Kraftstoffabsatz} = \beta_1 \cdot \Delta \text{Kraftstoffpreis} + \beta_2, \quad [6.4-3]$$

β_1 und β_2 sind Koeffizienten, die es mit Hilfe der vorhandenen Zeitreihen zu schätzen gilt. Alle drei Modelle werden häufig zur Untersuchung ökonometrischer Fragestellungen verwendet. Modell 1 beinhaltet einen einfachen linearen Zusammenhang zwischen Kraftstoffabsatz und Kraftstoffpreis, es ermöglicht die Berechnung von Elastizitätswerten am Mittelwert der Variablen. Modell 2 beinhaltet die Annahme konstanter Elastizitätswerte. Der große Vorteil dieses Modells liegt darin, dass der Koeffizient des logarithmierten Kraftstoffpreises direkt als Elastizität interpretiert werden kann²⁵. Die Wahl von Wachstumsraten statt absoluter Werte der Variablen (Modell 3) hat eine methodische und eine theoretische Begründung: Methodisch verhindert die Verwendung von Wachstumsraten meist eine Autokorrelation der Fehlerterme, was (wie erwähnt) zu verzerrten Schätzungen führen kann. Theoretisch kann die Verwendung von Wachstumsraten dadurch untermauert werden, dass Verbraucher verstärkt auf Preisveränderungen, weniger auf das absolute Preisniveau des Kraftstoffes reagieren. Zugrunde liegt hier die Annahme eines Gewöhnungseffektes. Die Verwendung von Modell 3 führt in der Regel zu wesentlich kleineren Bestimmtheitsmaßen. In Modell 3 kann der Parameter der Variablen „Wachstumsrate des Kraftstoffpreises“ näherungsweise als Preiselastizität interpretiert werden.

Für eine Analyse des Mobilitätsverhaltens sollten obige Modelle für die verschiedenen Kraftstoffqualitäten (Diesel- bzw. Vergaserkraftstoff) getrennt betrachtet werden. Während der

²⁵ Vergleiche: ECKEY / STOCK (2000): „Verkehrsökonomie – eine empirisch orientierte Einführung in die Verkehrswissenschaften“, Gabler, Wiesbaden, S. 209ff.

Vergaserkraftstoffabsatz eine rein Pkw-bezogene Nachfragegröße ist, ist die Interpretation der Diesellabsätze nicht unproblematisch:

- Die Entwicklung der Dieselnachfrage von Pkw ist schwer separierbar. Die Dieselnachfrage von Lkw hat einen größeren Einfluss auf den Gesamtabsatz von Dieselmotorkraftstoff²⁶.
- Erhöhte Kraftstoffpreise können vom Güterverkehrsgewerbe eventuell weitergegeben werden, so dass direkte Reaktionen auf geänderte Kraftstoffpreise ausbleiben.

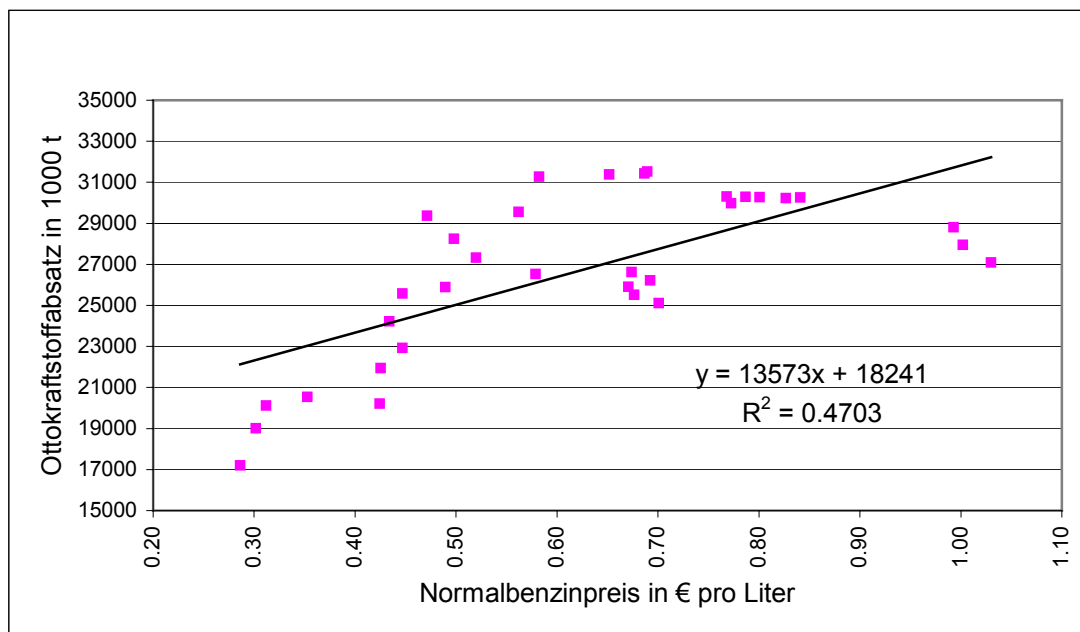
Es gibt somit keine Primärinformation zu dem auf den Pkw-Verkehr entfallenen Anteil des Dieselmotorkraftstoffabsatzes. Aufgrund dieser Problematik sind Dieselmotorkraftstoffdaten nur bedingt interpretierbar. Im Folgenden werden daher nur die Ergebnisse für Vergaserkraftstoffe vorgestellt.

Modell 1

Abbildung 6-13 zeigt das Ergebnis der Regressionsanalyse der jährlichen Daten unter Annahme von Modell 1. Die erhaltenen Werte sowie die Ergebnisse der statistischen Tests gibt Tabelle 6-1 wieder. Die in der Abbildung eingefügte Regressionsgerade verdeutlicht den linearen Zusammenhang zwischen Vergaserkraftstoffabsatz und dem Normalbenzinpreis. Der Wert des Bestimmtheitsmaßes ist mit 0,47 recht hoch, was dem vorhandenen linearen Zusammenhang entspricht, der auch optisch gut erkennbar ist. Die positive Steigung der erhaltenen Geraden gibt allerdings zu denken: Im Prinzip bedeutet dies, dass die Nachfrage nach Kraftstoff mit steigendem Kraftstoffpreis zunimmt. Die Berechnung des Elastizitätswertes am Mittelwert dieser Datenpunkte ergibt einen Wert von $\epsilon = 0,33$. Diese Beobachtungen stellen das Modell stark in Frage, da eine positive Preiselastizität schwer begründbar ist²⁷. Die Werte sind auch statistisch nicht abgesichert, da der Durbin-Watson-Test autokorrelierte Residuen nahe legt. Tatsächlich ist das simple Modell 1 vollständig unbrauchbar, da es wichtige Faktoren wie z.B. die Zunahme des Pkw-Bestands nicht berücksichtigt.

²⁶ Siehe Schätzungen des DIW: Verkehr in Zahlen 2002/2003, S. 284: Kraftstoffverbrauch, Kraftstoffpreise, Fahrleistung im Straßenverkehr. Anteil des Güterverkehrs am Gesamtdieselmotorkraftstoffverbrauch 2001 ca. 60 %.

²⁷ Ein steigender Preis sollte theoretisch die Nachfrage nach einem Gut drosseln, daher sollte der Elastizitätswert negativ sein, ebenso wie die Steigung der Gerade.

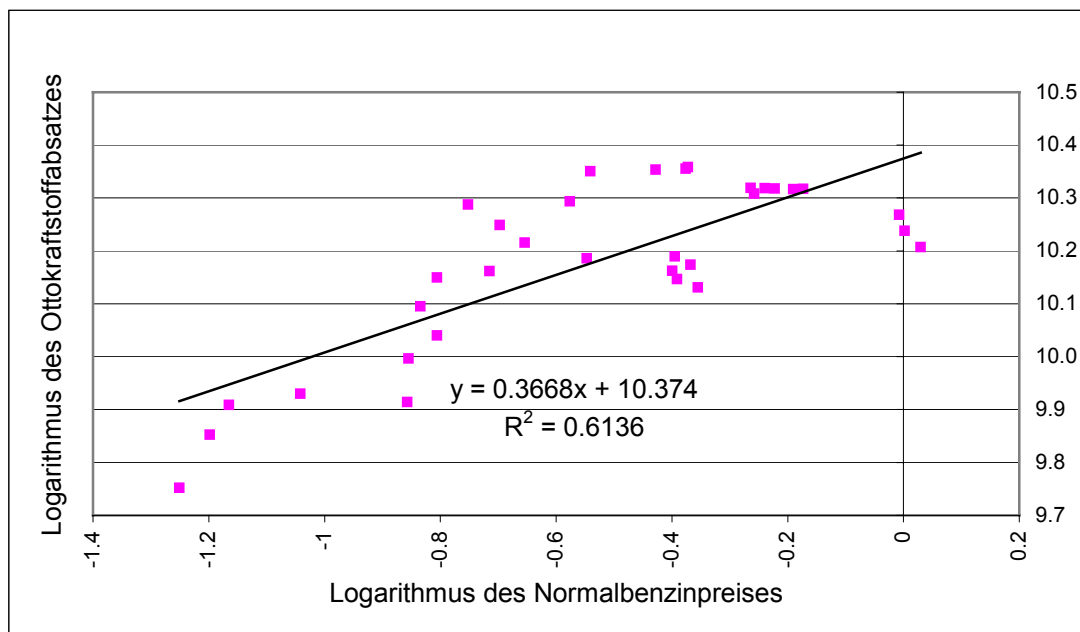
Abbildung 6-13: Streudiagramm für Normalbenzin (1970-2002, Modell 1)

Quelle: ProgTrans AG

Die eingefügte Gerade ist das Ergebnis der durchgeführten linearen Regressionsanalyse, die Gleichung der Gerade sowie das Bestimmtheitsmaß (R^2) sind angegeben.

Modell 2

Abbildung 6-14 zeigt das Ergebnis von Modell 2 für Normalbenzin, Tabelle 6-1 enthält die Werte im Einzelnen. Die Steigung der Geraden kann direkt als Kraftstoffpreiselastizität interpretiert werden, der Wert liegt mit $\epsilon = 0,37$ in der Nähe des mit Modell 1 errechneten Wertes. Wie bereits Modell 1 ist auch Modell 2 ungeeignet.

Abbildung 6-14: Streudiagramm Normalbenzin (1970-2002, Modell 2)

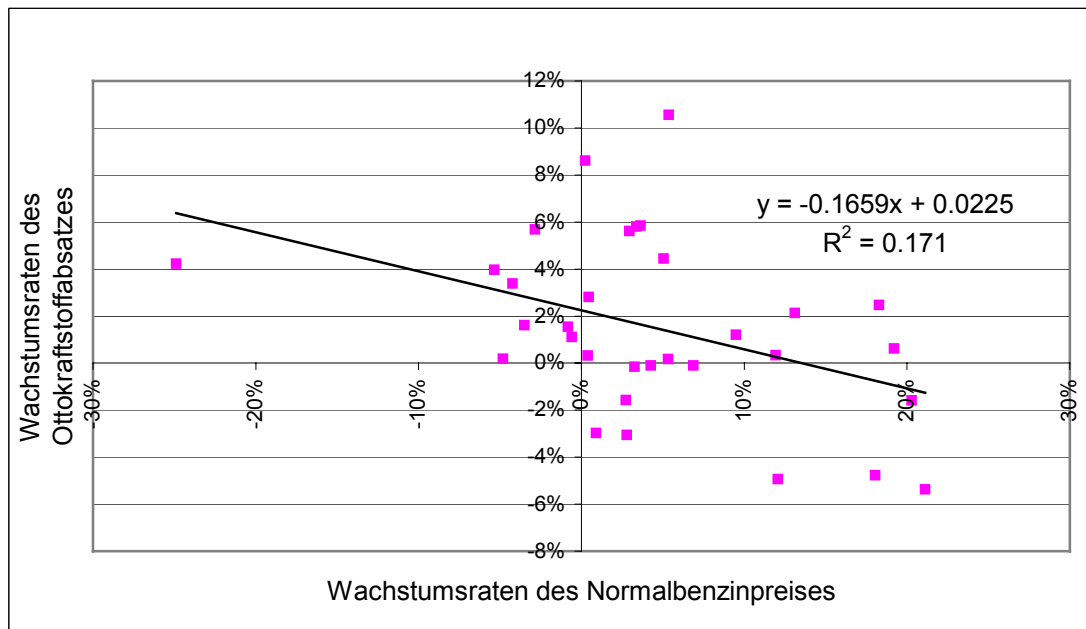
Quelle: ProgTrans AG 2003

Die eingefügte Gerade ist das Ergebnis der durchgeführten linearen Regressionsanalyse. Die Gleichung der Gerade sowie das Bestimmtheitsmaß (R^2) sind angegeben.

Modell 3

Der Übergang zu den Wachstumsraten führt zu einem erheblichen schwächeren linearen Zusammenhang aus (siehe Abbildung 6-15 und Tabelle 6-1). Das Bestimmtheitsmaß ist mit 0,17 deutlich kleiner als bei den anderen Modellen und auch optisch ist kein deutlicher linearer Zusammenhang zu erkennen. Allerdings ist die Steigung der Regressionsgerade negativ, was auf das Greifen der verbesserten Methode hinweist.

**Abbildung 6-15: Streudiagramm der Wachstumsraten von Normalbenzin
(1970-2002, Modell 3)**



Quelle: ProgTrans AG 2003

Die eingefügte Gerade ist das Ergebnis der durchgeführten linearen Regressionsanalyse. Die Gleichung der Gerade sowie das Bestimmtheitsmaß (R^2) sind angegeben.

Die folgende Tabelle 6-1 gibt eine Übersicht über die durchgeführten einfachen Regressionsanalysen und die Ergebnisse der statistischen Tests für Preis und Absatz von Normalbenzin.

Tabelle 6-1: Ergebnisse der linearen Regressionsanalysen der jährlichen Datenreihen für Normalbenzin (1970-2002)

Modell 1			
		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	13573 (2587)	5,3
	Konstante	18241 (1678)	10,8
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,47	Gute Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	32		
Durbin-Watson	0,25	Problem mit autokorrelierten Residuen	
F-Test	27,93	F- und t-Test wegen Autokorrelation verzerrt	
Preiselastizität	0,33	Am Mittelwert der Daten berechnet	
Wegen positiver Elastizität ist das Modell nicht glaubwürdig (Fehlspezifikation)			
Modell 2			
		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	0,37 (0,05)	7,0
	Konstante	10,37 (0,03)	312,4
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,62	Gute Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	32		
Durbin-Watson	0,34	Problem mit autokorrelierten Residuen	
F-Test	49,8	F- und t-Test ist wegen Autokorrelation verzerrt	
Preiselastizität	0,37	Koeffizient kann direkt als Elastizität interpretiert werden	
Wegen positiver Elastizität ist das Modell nicht glaubwürdig (Fehlspezifikation)			
Modell 3			
		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-0,17 (0,07)	-2,5
	Konstante	0,02 (0,01)	3,3
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,17	Geringe Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	31		
Durbin-Watson	0,746	Problem mit autokorrelierten Residuen	
F-Test	6,19	F-Test und t-Test wegen Autokorrelation verzerrt	
Preiselastizität	-0,17	Näherungswert	
Problem mit Autokorrelation, außerdem nur schwacher Zusammenhang zwischen den Variablen.			

Quelle: ProgTrans AG 2003, Regressionsanalysen wurden mit SPSS 11.0 für Windows durchgeführt.

Das Ergebnis der einfachen Regressionsanalyse kann wie folgt zusammengefasst werden: Die Modelle 1 und 2 sind unbrauchbar, da sie neben den auftretenden autokorrelierten Residuen positive Koeffizienten ergeben, was nicht realistisch ist. Aus diesem Grund wurde bei diesen Datenreihen auch davon abgesehen, mit Hilfe autoregressiver Methoden die Autokorrelationen zu beseitigen. Allein die Verwendung von Wachstumsraten führt bei den jährlichen Datenreihen zu einem realistischen (negativen) funktionalen Zusammenhang. Die Preiselastizität der Kraftstoffnachfrage liegt bei diesem Modell in der Größenordnung von $-0,2$.

Insgesamt sind einfache Regressionsanalysen mit jährlichen Daten wenig befriedigend:

- Es gibt weitere Variablen, die den Kraftstoffabsatz stärker beeinflussen als es durch den Kraftstoffpreis geschieht²⁸. So liegt eine allgemeine Wohlstandssteigerung vor (Variablen: z.B. BIP, verfügbares Einkommen), die eine wachsende Motorisierung sowie Änderungen in der Siedlungsstruktur hervorrufen. Eine detailliertere Untersuchung mit mehreren Einflussvariablen wird in Abschnitt 6.4.2 durchgeführt.
- Fraglich ist auch, ob die Annahme eines linearen funktionalen Zusammenhangs gerechtfertigt ist. Als erste Näherung ist diese Annahme zulässig, die autokorrelierten Fehler deuten aber darauf hin, dass das Modell nicht korrekt spezifiziert wurde. Da im Streudiagramm keine deutliche Funktionsform erkennbar ist, wurde auf eine weitere Analyse verzichtet.
- Abschließend muss erwähnt werden, dass die Regressionsanalyse mit trendbelasteten Zeitreihen immer Schwierigkeiten bereitet²⁹. Typischerweise treten autokorrelierte Residuen auf. Eine Lösung könnte sein, die Zeit als Prädiktor in das Modell einzubringen. Hierdurch wurden jedoch keine verbesserten Ergebnisse erzielt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die quantitative Analyse der jährlichen Datenreihen keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefert. Die Regressionsanalyse mit nur einem Regressor kann bei dieser hohen Aggregation keine vernünftigen funktionalen Zusammenhänge liefern.

Monatsdaten

Die monatlichen Zeitreihen für 1995-2002 wurden nach demselben Schema auf funktionale Zusammenhänge untersucht. Angenommene ökonometrische Modelle sind:

²⁸ Vergleiche: Vereinigte Schweizerische Verkehrsingenieure, SVI (2002): „Evaluation kurzfristiger Benzinpreiserhöhungen“, INFRAS Zürich.

²⁹ Siehe: Hautzinger (1986): „Regression analysis of aggregate accident data: Some methodological considerations and practical experiences.“ In: *Accid. Anal. & Pred.* Vol.18, No.2, S. 95-102.

$$\text{Modell 4: } \text{Kraftstoffabsatz} = \beta_1 \cdot \text{Kraftstoffpreis} + \beta_2 \quad [6.4-4]$$

$$\text{Modell 5: } \text{LOG}(\text{Kraftstoffabsatz}) = \beta_1 \cdot \text{LOG}(\text{Kraftstoffpreis}) + \beta_2 \quad [6.4-5]$$

$$\text{Modell 6: } \Delta \text{Kraftstoffabsatz} = \beta_1 \cdot \Delta \text{Kraftstoffpreis} + \beta_2, \quad [6.4-6]$$

Modell 6 bezieht sich auf Wachstumsraten bezüglich des Vorjahresmonates. Bei den Monatsdaten ergibt sich das Problem der Absatzschwankungen mit dem Jahresgang. Eine Autokorrelationsanalyse ergab, dass in 12. Ordnung eine signifikante Autokorrelation vorliegt³⁰. Dies bestätigt die Annahme einer Saisonkomponente. Es kann vermutet werden, dass in den Wintermonaten (bedingt durch die Witterung) deutlich weniger gefahren wird, wodurch die Absätze sinken. Deutlich ist auch erkennbar, dass die Anzahl der Tage eines Monats beim Verbrauch eine Rolle spielt. Hohe Absätze sind vor allem bei Monaten mit 31 Tagen zu finden. Diese saisonalen Schwankungen sind in der Amplitude höher als eventuelle Schwankungen als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. Wegen der starken saisonalen Schwankung ist bei diesen Datensätzen zuerst einmal kein Reaktionsmuster erkennbar. Als Lösung wird sowohl die Veränderung zum Vorjahresmonat untersucht (Modell 6) als auch eine multiplikative Saisonbereinigung inkl. Glättung durchgeführt. Dadurch werden die periodischen wiederkehrenden Schwankungen eliminiert. Die nachfolgende Tabelle 6-2 zeigt die Ergebnisse diverser Regressionsanalysen. Die Streudiagramme der Originaldatensätze sind mit ihrer Regressionsgeraden in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

³⁰ Das bedeutet, dass der Kraftstoffverbrauch eines Monats t vom Verbrauch im gleichen Monat des Vorjahres positiv beeinflusst wird. Dieser Einfluss ist eindeutig stärker, als der des Vormonats oder eines beliebigen anderen Monats.

Tabelle 6-2: Ergebnisse der lineare Regressionsanalyse monatlicher Absatzreihen für Normalbenzin (Originaldaten, 1995-2002)

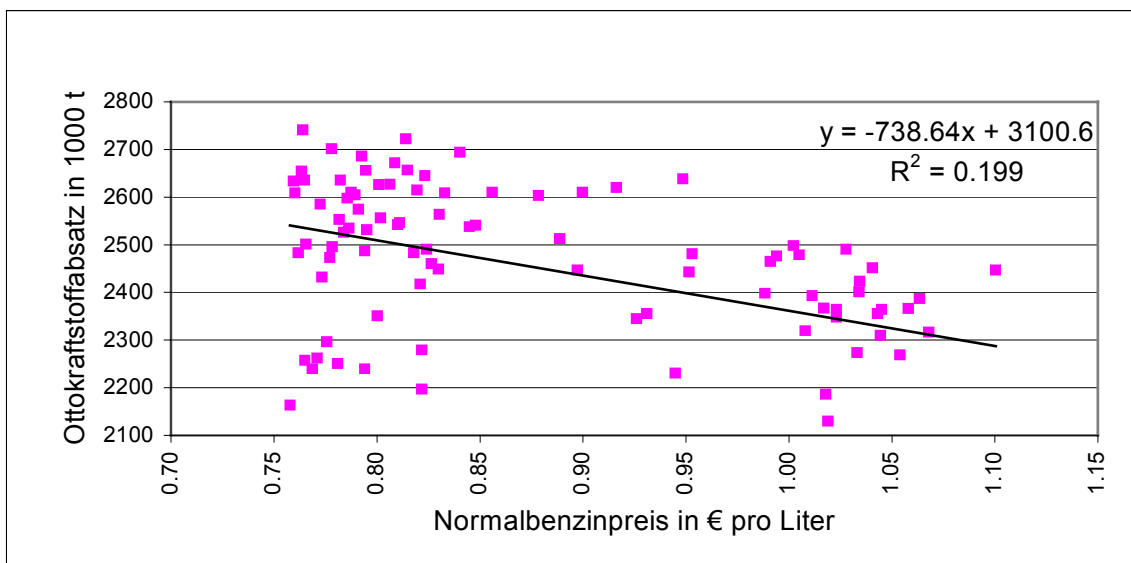
Modell 4		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-739 (152)	-4,8
	Konstante	3101 (135)	22,9
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,20	Geringe Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	96		
Durbin-Watson	1,24	Problem mit autokorrelierten Residuen	
F-Test	23,5	F- und t-Test wegen Autokorrelation verzerrt	
Preiselastizität	-0,27	Am Mittelwert der Daten berechnet	
Wegen autokorrelierter Residuen ist der Elastizitätswert nur bedingt verwendbar. Saisonbereinigung notwendig. Autoregressive Methoden (Prais-Winsten) korrigieren den Elastizitätswert auf -0,26.			
Modell 5		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-0,27 (0,06)	747,1
	Konstante	7,76 (0,01)	-4,69
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,19	Geringe Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	96		
Durbin-Watson	1,27	Problem mit autokorrelierten Residuen	
F-Test	22,0	F- und t-Test wegen Autokorrelation verzerrt	
Preiselastizität	-0,27	Koeffizient kann direkt als Elastizität interpretiert werden	
Wegen autokorrelierter Residuen ist der Elastizitätswert nur bedingt verwendbar. Saisonbereinigung notwendig. Autoregressive Methoden (Prais-Winsten) korrigieren den Elastizitätswert auf -0,22.			
Modell 6		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-0,16 (0,04)	-3,7
	Konstante	-0,008 (0,004)	-1,9
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,15	Geringe Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	95		
Durbin-Watson	1,93	Unkorrelierte Residuen	
F-Test	13,9	F-Test und t-Test zeigen signifikante Koeffizienten	
Preiselastizität	-0,16	Näherungswert	
Nur schwacher Zusammenhang zwischen den Variablen.			

Quelle: ProgTrans AG 2003, Regressionsanalysen wurden mit SPSS 11.0 für Windows durchgeführt.

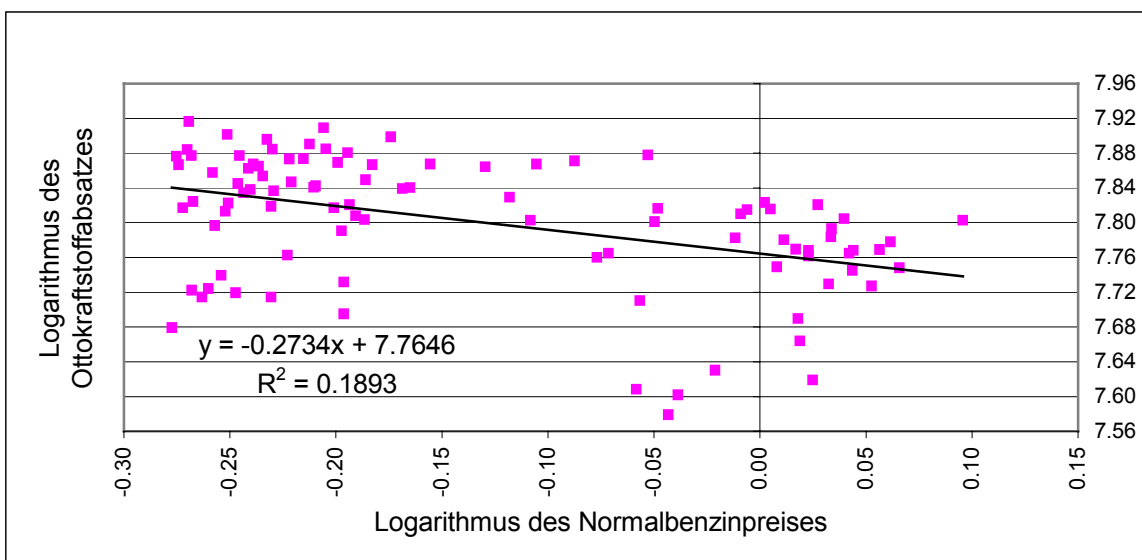
Tabelle 6-3: Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse monatlicher Absatzreihen für Normalbenzin (saisonbereinigt, 1995-2002)

Modell 4			
		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-0,36 (0,02)	-19,8
	Konstante	8,12 (0,02)	498
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,81	Gute Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	96		
Durbin-Watson	0,27	Problem mit autokorrelierten Residuen	
F-Test	411	F- und t-Test wegen Autokorrelation verzerrt	
Preiselastizität	-0,32	Am Mittelwert der Daten berechnet	
Wegen autokorrelierter Residuen ist der Elastizitätswert nur bedingt verwendbar. Autoregressive Methode erbringen keine Verbesserung des Durbin-Watson-Tests.			
Modell 5			
		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-0,32 (0,02)	-19,3
	Konstante	7,76 (0,003)	2588
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,80	Gute Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	96		
Durbin-Watson	0,21	Problem mit autokorrelierten Residuen	
F-Test	372	F- und t-Test wegen Autokorrelation verzerrt	
Preiselastizität	-0,32	Koeffizient kann direkt als Elastizität interpretiert werden	
Wegen autokorrelierter Residuen ist der Elastizitätswert nur bedingt verwendbar. Autoregressive Methoden erbringen keine Verbesserung des Durbin-Watson-Tests			

Quelle: ProgTrans AG 2003, Regressionsanalysen wurden mit SPSS 11.0 für Windows durchgeführt. Es wurden multiplikativ saisonbereinigte und geglättete Kraftstoffabsätze verwendet.

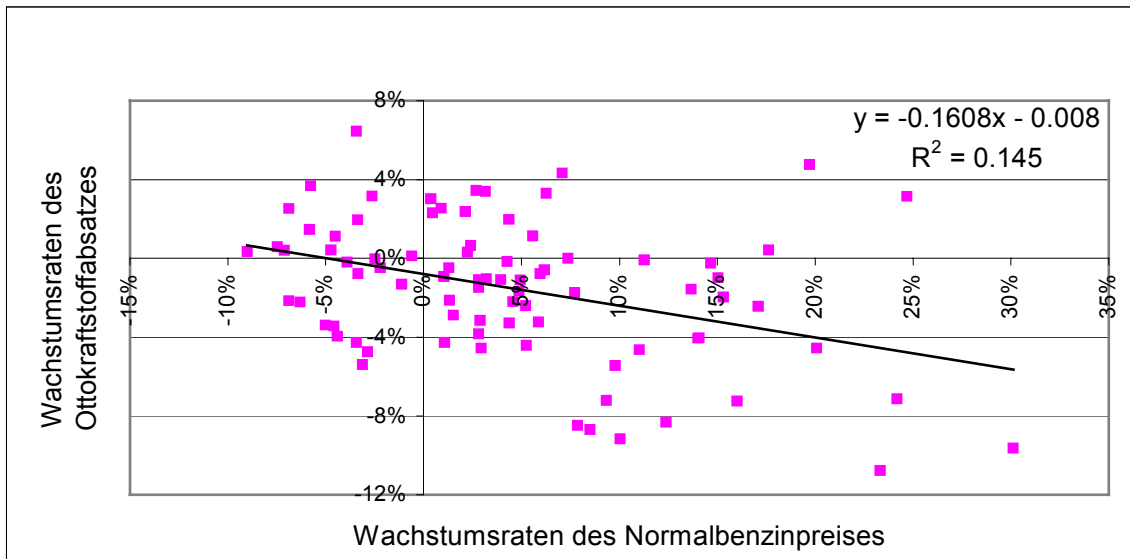
Abbildung 6-16: Streudiagramm Normalbenzin (Originaldaten 1995-2002, Modell 4)

Quelle: ProgTrans AG 2003

Abbildung 6-17: Streudiagramm Normalbenzin (Originaldaten 1995-2002, Modell 5)

Quelle: ProgTrans AG 2003

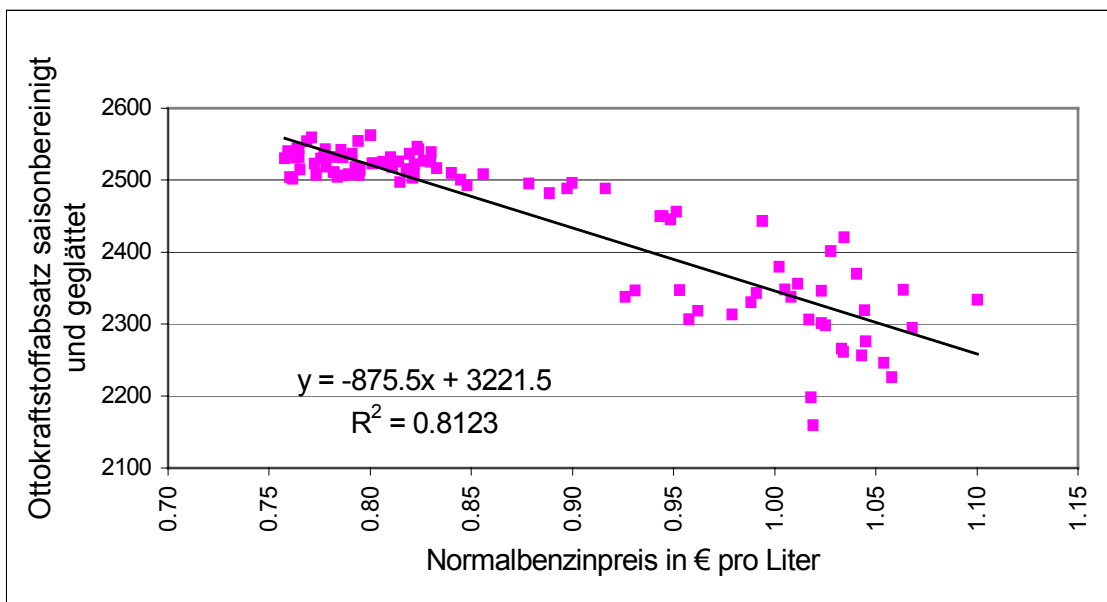
Abbildung 6-18: Streudiagramm Normalbenzin (Originaldaten, 1996-2002, Modell 6)



Quelle: ProgTrans AG 2003

Die eingefügten Geraden sind Ergebnisse der durchgeführten linearen Regressionsanalysen; die Gleichungen der Geraden sowie das Bestimmtheitsmaß (R^2) sind angegeben.

Abbildung 6-19: Streudiagramm Normalbenzin (Daten saisonbereinigt und geglättet, 1995-2002, Modell 4)



Quelle: ProgTrans AG 2003

Anders als im Falle der jährlichen Datenreihen ergeben sich bei der quantitativen Betrachtung der monatlichen Zeitreihen negative Koeffizienten und Elastizitätswerte für den Normalbenzinpreis. Dies macht eine nähere Betrachtung der erhaltenen Werte lohnender. Jedoch ergeben sich - abgesehen von Modell 6 - in allen Untersuchungen Probleme mit autokorrelierten Residuen. Die Anwendung von autoregressiven Methoden konnte dieses Problem nur bei Verwendung der Originaldaten verbessern. Bei diesen Datensätzen ist das Bestimmtheitsmaß jedoch gering, d.h. der funktionale Zusammenhang nur bedingt gegeben. Jedoch zeigt sich, dass alle erhaltenen Elastizitätswerte in einem Bereich von -0,2 und -0,3 liegen. Dies kann als grobe Schätzung zumindest einen Hinweis auf die Größenordnung der Kraftstoffpreiselastizität geben. Die durchgeführte multiplikative Saisonbereinigung führt in der Regel zu einer Erhöhung des Bestimmtheitsmaßes, allerdings sind autokorrelierte Residuen ermittelt worden. Diese Autokorrelation konnte auch mit autoregressiven Methoden nicht behoben werden.

Ansatz unter Einbeziehung der Pkw-Bestände

Der sinkende Absatz von Vergaserkraftstoff muss nicht auf eine sinkende Fahrleistung zurückzuführen sein. Möglich wäre, dass ein Wechsel der Verbraucher auf Pkw mit Dieselantrieb den Vergaserkraftstoffabsatz senkt. Dies soll analysiert werden, indem der Vergaserkraftstoffabsatz auf den Pkw-Bestand mit Ottomotor³¹ bezogen wird. Dazu wurden die Pkw-Bestände auf monatliche Bestände umgerechnet (linearer Zuwachs zwischen Jan/Juli bzw. Juli/Jan.-Werten vorausgesetzt) und bereinigt. Der folgende Modellansatz wurde überprüft:

$$\text{Modell 7: } \frac{\text{Kraftstoffabsatz}}{\text{Bestand}} = \beta_1 \cdot \text{Kraftstoffpreis} + \beta_2 \quad [6.4-7]$$

Die Regressionsanalyse zeigt, dass die Preiselastizität im Rahmen des neuen Modells höher ausfällt (Preiselastizität liegt bei ca. -0,4) als bei den bisher verwendeten Modellen. Dies bedeutet, dass der Vergaserkraftstoffabsatz pro Fahrzeug bei einer Preissteigerung stärker sinkt als der Absatz als Originärgröße. Als Erklärung dafür kann der steigende Motorisierungsgrad (siehe Abschnitt 6.3.3) herangezogen werden. Der sinkende Kraftstoffabsatz pro Pkw kann in diesem Zusammenhang auch auf einen steigenden Anteil an Zweit- und Drittwagen hindeuten. Zu beachten ist, dass in diesem Modell, ebenso wie bei der Berechnung der Fahrleistung, die Inlandsgröße des Kraftstoffabsatzes auf die Inländergröße

³¹ Für Dieselfahrzeuge wurde dieser Ansatz wegen der bekannten fehlenden Trennung zwischen Personen- und Güterverkehr nicht durchgeführt.

des Pkw-Bestandes bezogen wird. Diese methodische Unsicherheit relativiert den hier ermittelten Elastizitätswert. Jedenfalls kann der Wechsel der Verbraucher von Pkw mit Ottomotoren auf Pkw mit Dieseltechnologie nicht allein für den Rückgang der Absätze bei Vergaserkraftstoffen verantwortlich gemacht werden.

Zeitverzögerte Reaktionen

Zur Prüfung einer eventuell zeitverzögerten Reaktion der Verbraucher wurde eine Kreuzkorrelation³² zwischen Kraftstoffpreisen und -absätzen durchgeführt. Bei dieser Methode wird geprüft, ob höhere Korrelationswerte erreicht werden, wenn die beiden Zeitreihen gegeneinander verschoben werden. Hier war allein die Korrelation ohne Verschiebung (timelag = 0) signifikant, d.h. es ist keine zeitverzögerte Reaktion der Verbraucher nachweisbar. In Anbetracht der langen Ankündigung der Ökosteuerreform ist dies nicht verwunderlich.

Kreuzpreiselastizität

Als Hypothese soll auch geprüft werden, ob ein Zusammenhang zwischen Dieselkraftstoffabsatz und Normalbenzinpreis besteht (Berechnung der Kreuzelastizität). Die grundlegende Annahme hierbei ist, dass Verbraucher bei steigendem Normalbenzinpreis auf Dieselkraftfahrzeuge wechseln, also ein steigender Normalbenzinpreis einen steigenden Dieselkraftstoffabsatz nach sich zieht. Ein erster Ansatz, den Dieselkraftstoffabsatz durch die Differenz zwischen Benzin- und Dieselpreis zu erklären, führte zu keinem Ergebnis. Allerdings konnte mittels eines logarithmischen Modellansatzes eine Abschätzung für eine Kreuzpreiselastizität ermittelt werden. Zugrunde liegt folgendes Modell:

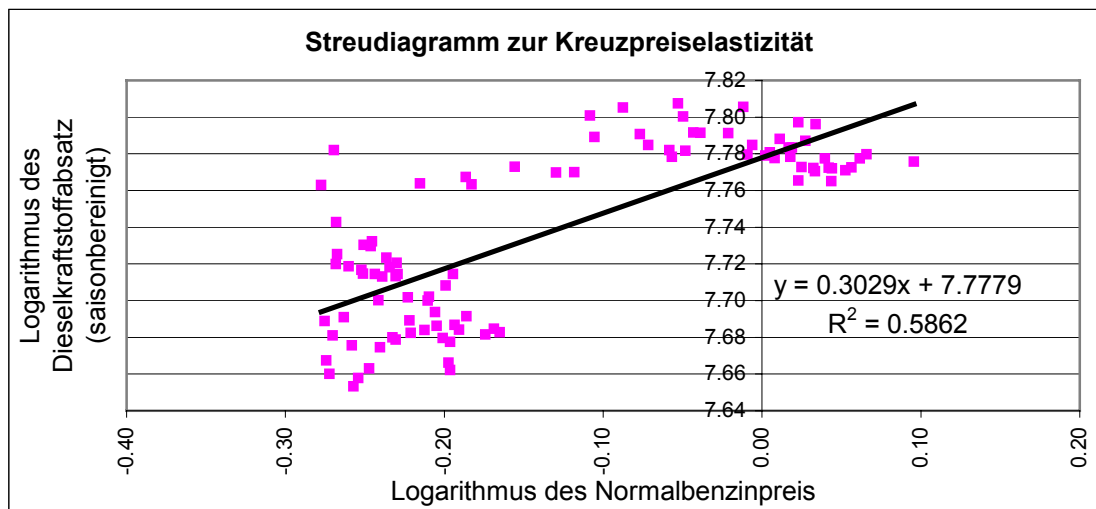
$$\text{Modell 8: } \text{LOG}(\text{Dieselkraftstoffabsatz}) = \beta_1 \cdot \text{LOG}(\text{Normalbenzinpreis}) + \beta_2 \quad [6.4-8]$$

Abbildung 6-20 zeigt das Streudiagramm dieser Datenreihen. Der Koeffizient der Regressionsgeraden kann direkt als Kreuzpreiselastizität interpretiert werden. Der Wert von 0,3 bedeutet, dass bei 10 %iger Preiserhöhung bei Normalbenzin der Dieselabsatz sich um ca. 3 % erhöht. Allerdings ist dies nur eine grobe Schätzung, da auch bei diesem Modell autokorrelierte

³² Werden zwei Zeitreihen gleichzeitig betrachtet, kann sich das Phänomen der zeitverzögerten Korrelation auch zwischen den Zeitreihen ergeben. Es besteht dann eine Korrelation zwischen den Beobachtungen einer Zeitreihe und den jeweils um eine oder mehrere Perioden vorausgehenden Beobachtungen der anderen Zeitreihe. In einem solchen Fall spricht man von Kreuzkorrelation.

Residuen das Modell nur bedingt verwendbar machen und zudem der Dieselabsatz wie erwähnt keine reine Pkw-Nachfragegröße darstellt.

Abbildung 6-20: Streudiagramm zur Kreuzpreiselastizität (Normalbenzinpreis vs. Dieselkraftstoffabsatz, saisonbereinigte Absätze, 1995-2002)



Quelle: ProgTrans AG 2003

6.4.2 Multiple Regressionsanalyse

Bei der quantitativen Analyse der jährlichen Zeitreihen mit einfachen Regressionsmodellen wurden positive Zusammenhänge zwischen Kraftstoffabsatz und Kraftstoffpreisen identifiziert. Dies war ein deutlicher Hinweis auf den Einfluss weiterer Variablen, die im einfachen Regressionsmodell nicht berücksichtigt worden sind. Ein Grund für steigenden Kraftstoffabsatz trotz steigender Preise ist vermutlich der steigende Wohlstand im Laufe der Zeit. Als Variablen für die Erfassung dieser Entwicklung wurden bereits das Bruttoinlandsprodukt, das verfügbare Einkommen bzw. der Motorisierungsgrad identifiziert. Mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse sollen die Einflüsse dieser sozioökonomischen Variablen quantifiziert werden. Verwendete ökonometrische Modelle sind:

$$\text{Modell 9: } \text{Kraftstoffabsatz} = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 \quad [6.4-9]$$

$$\text{Modell 10: } \text{LOG}(\text{Kraftstoffabsatz}) = \beta_1 \text{LOG}(x_1) + \beta_2 \text{LOG}(x_2) + \beta_3 \quad [6.4-10]$$

$$\text{Modell 11: } \Delta \text{Kraftstoffabsatz} = \beta_1 \Delta x_1 + \beta_2 \Delta x_2 + \beta_3 \quad [6.4-11]$$

Die Variablen x_i stehen für weitere Einflussgrößen. Die Koeffizienten β stehen für Konstanten. Je nach Wahl des Modells werden zwei oder mehr erklärende Variable aufgenommen. In

Modell 11 werden die Wachstumsraten verwendet. Da die meisten sozioökonomischen Variablen nur als Jahreswerte vorliegen, handelt es sich auch bei den Kraftstoffabsätzen und Kraftstoffpreisen um jährliche Werte des Zeitraums 1970-2002. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Analyse zeigen die folgenden Tabellen.

Tabelle 6-4: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse, Datensätze 1970-2002, Teil A

Modell 9		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-1519 (4769)	-0,3
	BIP	6,43 (1,6)	4,0
	Konstante	20362 (1580)	12,8
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,70	Gute Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	32		
Durbin-Watson	0,16	Problem mit autokorrelierten Residuen	
F-Test	33	F- und t-Test wegen Autokorrelation verzerrt	
Toleranzwert	0,2	Variablen sind hinreichend linear unabhängig	
Preiselastizität	-	Nicht berechenbar	
Autokorrelierte Residuen, Koeffizient für den Preis ist nicht signifikant.			
Modell 10		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-0.10 (0,18)	-1,3
	BIP	0,36 (0,05)	6,7
	Konstante	3,36 (0,08)	18,3
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,86	Gute Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	32		
Durbin-Watson	0,24	Problem mit autokorrelierten Residuen	
F-Test	92	F- und t-Test ist wegen Autokorrelation verzerrt	
Toleranzwert	0,17	Variablen sind hinreichend linear unabhängig	
Preiselastizität	-0,10	Koeffizient nicht signifikant	
Autokorrelierte Residuen, Koeffizient für den Preis ist nicht signifikant, daher Elastizität nicht verwendbar. Autoregressive Methoden führen zu einem signifikanten Koeffizienten für den Kraftstoffpreis. (Wert: -0,21), wobei die Autokorrelation nicht komplett behoben werden konnte.			

Quelle: ProgTrans AG 2003, Regressionsanalysen wurden mit SPSS 11.0 für Windows durchgeführt.

Tabelle 6-5: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse, Datensätze 1970-2002, Teil B

Modell 11		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoff- absatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-0,22 (0,05)	-4,4
	BIP	0,87 (0,17)	5,3
	Konstante	-0,02 (0,01)	-2,3
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,54	Gute Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	31		
Durbin-Watson	2,0	Residuen unkorreliert	
F-Test	19,6	F- und t-Test bestanden	
Toleranzwert	0,96	Variablen sind linear unabhängig	
Preiselastizität	-0,22	Näherungswert	
Statistische Test werden bestanden, Koeffizienten sind signifikant			
Modell 11		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoff- absatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-0,18 (0,05)	-3,6
	BIP	0,59 (0,2)	3,0
	Motorisierungsgrad	0,52 (0,25)	2,1
	Konstante	-0,02 (0,01)	-2,1
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,58	Gute Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	31		
Durbin-Watson	2,2	Residuen unkorreliert	
F-Test	14,8	F- und t-Test bestanden	
Toleranzwerte	0,6 bis 0,82	Variablen sind linear unabhängig	
Preiselastizität	-0,18	Näherungswert	
Statistische Test werden bestanden, Koeffizienten sind signifikant			

Quelle: ProgTrans AG 2003, Regressionsanalysen wurden mit SPSS 11.0 für Windows durchgeführt.

Tabelle 6-6: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalysen, Datenreihen 1970-2002, Teil C

Modell 11		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-0,14 (0,05)	-2,7
	Verfügbares Einkommen	0,72 (0,16)	4,4
	Konstante	-0,01 (0,01)	-1,3
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,47	Gute Erklärung der abhängigen Variablen durch das Modell	
Anzahl Daten	31		
Durbin-Watson	1,73	Residuen unkorreliert	
F-Test	14,7	F- und t-Test bestanden	
Toleranzwert	0,99	Variablen sind linear unabhängig	
Preiselastizität	-0,14	Näherungswert	
Statistische Test werden bestanden, Koeffizienten sind signifikant (abgesehen von der Konstante).			

Quelle: ProgTrans AG 2003, Regressionsanalysen wurden mit SPSS 11.0 für Windows durchgeführt.

Unter anderem wurden Zeitreihen für das verfügbare Einkommen, das Bruttoinlandsprodukt, den Motorisierungsgrad und die Pkw-Bestände verwendet. Hier ergab sich vielfach das Problem von Multikollinearitäten, so dass der Pkw-Bestand entfernt werden musste. Zudem erbrachte nur das Modell 11 sinnvolle Ergebnisse, allerdings mit relativ niedrigen Elastizitäten.

Die Ergebnisse der multiplen Regressionen zeigen steigende Bestimmtheitsmaße³³, d.h. die Erklärungsgüte des Modells steigt durch die zusätzliche Berücksichtigung der sozioökonomischen Einflussgrößen. In Tabelle 6-4 sind die Ergebnisse der Analyse von Modell 9 und 10 wiedergegeben. Hierbei ergeben sich in beiden Fällen keine signifikanten Koeffizienten für den Kraftstoffpreis. Die Koeffizienten der zusätzlichen Variable (BIP) sind jedoch signifikant. Trotz der Probleme mit autokorrelierten Residuen gibt dies bereits einen Hinweis darauf, dass die Variable Kraftstoffpreis zumindest bei der Untersuchung der jährlichen Datenreihen keinen nachweisbaren Einfluss hat, d.h. der Parameter dieser Größe kann anhand der Stichproben nicht als von Null verschieden angesehen werden. Dies passt auch zu den positiven Koeffizienten, die in der einfachen Regressionsanalyse bereits auf eine falsche Spezifikation des Modells hinwiesen.

³³ Angegeben sind die korrigierte Bestimmtheitsmasse, wie in Abschnitt 5.1 erläutert.

Die Ergebnisse der Analyse des Modells mit Wachstumsraten (Modell 11 mit verschiedenen Variablen) zeigen, dass der Normalbenzinpreis in diesen Modellen einen signifikanten Einfluss hat, wenn er auch jeweils geringer ist als der von Bruttoinlandsprodukt oder verfügbarem Einkommen. Der Koeffizient liegt in allen Modellen in der Nähe von etwa $-0,2^{34}$. Diese Konsistenz deutet bereits auf die Güte dieser Schätzung hin. Die Vernachlässigung von Variablen der sozioökonomischen Entwicklung zeigt sich als zentrale Schwäche der einfachen Regression. Die multiple Regression verdeutlicht, dass die Wohlstandssteigerung als zentraler Faktor für die Entwicklung der Kraftstoffabsätze verantwortlich ist. Sie drückt sich in allen drei verwendeten Variablen in verschiedener Weise aus. Die Verwendung von Bruttoinlandsprodukt oder verfügbarem Einkommen erweist sich hierbei als gleichwertig – das Bruttoinlandsprodukt ist wegen der geringeren Anzahl an statistischen Brüchen jedoch vorzuziehen. Daher wird im Folgenden eine detaillierte Untersuchung mit quartalsweisen Daten unternommen.

Quartalsweise Datensätze

Da das Bruttoinlandsprodukt quartalsweise vorliegt, wurden in einer letzten Regressionsanalyse noch quartalsweise Datensätze untersucht.

Zugrunde gelegte Modelle:

$$\text{Modell 12: } \text{Kraftstoffabsatz} = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 \quad [6.4-12]$$

$$\text{Modell 13: } \text{LOG}(\text{Kraftstoffabsatz}) = \beta_1 \text{LOG}(x_1) + \beta_2 \text{LOG}(x_2) + \beta_3 \quad [6.4-13]$$

Als Variablen x_i wurden der Normalbenzinpreis und das Bruttoinlandsprodukt eingesetzt. Betrachtet werden konnte der Zeitraum von 1995-2002.

Das Ergebnis der multiplen Regressionsanalysen zeigt die folgende Tabelle 6-7. Hierbei wird deutlich, dass nun jeweils der Parameter für das Bruttoinlandsprodukt nicht signifikant ist. Dies verdeutlicht den geringen Einfluss dieser Größe im Fall von quartalsweisen Daten. Im untersuchten Zeitraum scheint der Kraftstoffpreis die entscheidendere Einflussgröße auf den Absatz von Vergaserkraftstoffen zu sein. Die erhaltenen Elastizitäten sind jedoch so nicht verwendbar, da die nichtsignifikanten t-Tests der Variable BIP auf eine Fehlspezifikation des Modells hinweisen.

³⁴ Dieser Wert entspricht näherungsweise der Preiselastizität, da im ökonometrischen Modell die Niveaunkonstante annähernd gleich Null ist.

Tabelle 6-7: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse, quartalsweise Daten, 1995-2002

Modell 12		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-3996 (1015)	-3,9
	BIP	6,83 (3,6)	1,9
	Konstante	7537 (1112)	6,8
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R ²	0,39	Begrenzte Erklärungsgüte des Modells	
Anzahl Daten	32		
Durbin-Watson	1,89	Unkorrelierte Residuen	
F-Test	10,8	F-Test ist signifikant	
Toleranzwert	0,31	Variablen sind hinreichend linear unabhängig	
Preiselastizität	-0,47	Am Mittelwert der Daten berechnet	
Koeffizient des BIP ist nicht signifikant, Elastizitätswert ist nicht verwendbar.			
Modell 13		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-0,49 (0,13)	-3,9
	BIP	0,47 (0,24)	2,0
	Konstante	5,9 (1,5)	4,0
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R ²	0,38	Begrenzte Erklärungsgüte des Modells	
Anzahl Daten	32		
Durbin-Watson	1,9	Unkorrelierte Residuen	
F-Test	10,5	F- Test ist signifikant	
Toleranzwert	0,31	Variablen sind hinreichend linear unabhängig	
Preiselastizität	-0,49	Koeffizient kann direkt als Elastizität interpretiert werden	
Autokorrelierte Residuen, Koeffizient für das BIP ist nicht signifikant, daher Elastizität nicht verwendbar.			

Quelle: ProgTrans AG 2003, Regressionsanalysen wurden mit SPSS 11.0 für Windows durchgeführt.

Da die Variable Bruttoinlandsprodukt nicht signifikant war, wurde das Modell nochmals in einfacher Regression untersucht. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 6-8 zusammengefasst.

Verwendete Modelle:

$$\text{Modell 14: } \text{Kraftstoffabsatz} = \beta_1 \cdot \text{Kraftstoffpreis} + \beta_2 \quad [6.4-14]$$

$$\text{Modell 15: } \text{LOG}(\text{Kraftstoffabsatz}) = \beta_1 \cdot \text{LOG}(\text{Kraftstoffpreis}) + \beta_2 \quad [6.4-15]$$

Tabelle 6-8: Ergebnisse der einfachen Regressionsanalyse, quartalsweisen Daten 1995-2002

Modell 14			
		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-2376 (586)	-4,1
	Konstante	9444 (520)	18,2
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,35	Begrenzte Erklärungsgüte des Modells	
Anzahl Daten			
Durbin-Watson	2,1	Unkorrelierte Residuen	
F-Test	16,4	F-Test ist signifikant	
Preiselastizität	-0,28	Am Mittelwert der Daten berechnet	
Alle statistischen Tests bestanden. Brauchbares Modell.			
Modell 15			
		Koeffizienten (Standardabweichung)	t-Test
Abhängige Variable	Vergaserkraftstoffabsatz		
Unabhängige Variable	Normalbenzinpreis	-0,29 (0,01)	-3,9
	Konstante	8,8 (0,07)	680
Statistische Tests			
Bestimmtheitsmaß R^2	0,35	Begrenzte Erklärungsgüte des Modells	
Anzahl Daten	2,1		
Durbin-Watson	32	Unkorrelierte Residuen	
F-Test	15,8	F- Test bestanden	
Preiselastizität	-0,29	Koeffizient kann direkt als Elastizität interpretiert werden	
Alle statistischen Tests werden bestanden. Brauchbares Modell.			

Quelle: ProgTrans AG 2003, Regressionsanalysen wurden mit SPSS 11.0 für Windows durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser letzten Regressionsanalyse sind gut interpretierbar, da sämtliche statistischen Tests bestanden werden und keine korrelierten Fehlerterme vorliegen. Die erhaltenen Werte der Kraftstoffpreiselastizität liegt mit $-0,28$ bzw. $-0,29$ in der zuvor für die monatlichen Datenreihen ermittelten Größenordnung.

6.4.3 Fazit der quantitativen Analyse aggregierter Daten

Bereits in der Literaturanalyse zu Preiselastizitäten (Abschnitt 3.1) wurde auf die Schwierigkeiten bei der Ermittlung und Interpretation von Preiselastizitäten hingewiesen. Die quantitative Analyse zeigte nun, wie viele Tücken die Schätzung von Preiselastizitäten enthält. Die verwendete Methodik ist entscheidend für die Glaubwürdigkeit der Elastizitätswerte. Werden nur wenige unabhängige Variable berücksichtigt, führt dies dazu, dass in den berechneten Elastizitätswerten noch viele andere Einflussgrößen versteckt sind. Bezieht man zu viele Variable in das Modell ein, erhält man Multikollinearitäten.

Die obigen Angaben von Elastizitätswerten können nur als erste grobe Schätzungen von Nachfragereaktionen betrachtet werden. Die Probleme der hohen Aggregation der Zeitreihen, die im Hinblick auf den Dieselabsatz fehlende Trennung zwischen Personen- und Güterverkehr sowie der Mangel an laufenden empirischen Erhebungen zur Fahrleistung zeigen die Grenzen der Verwendbarkeit dieser Elastizitätswerte deutlich auf. Das Hauptproblem ist darin zu sehen, dass die benutzte Datenbasis nicht speziell für die Ermittlung von Preiselastizitäten geschaffen wurde, weiterführende Ergebnisse muss hier die Mikroanalyse liefern.

Trotzdem konnte in zahlreichen Analysen ein Zusammenhang zwischen dem Kraftstoffpreis und einer Veränderung des Kraftstoffabsatzes identifiziert werden. Die Preiselastizitäten liegen für Vergaserkraftstoffe im Zeitraum 1995-2002 meist zwischen $-0,2$ und $-0,3$, d.h. eine Preissteigerung von 10 % führte zu einem Rückgang des Kraftstoffabsatzes in Höhe von 2 bis 3 %. Die multiple Regressionsanalyse verdeutlichte, dass nicht allein der Preis den Kraftstoffabsatz beeinflusst, sondern dass langfristig gesehen die Entwicklung von sozio-ökonomischen Größen einen stärkeren Einfluss hat. Für den besonders betrachteten Zeitraum von 1995-2002 ist jedoch der Einfluss des Bruttoinlandsproduktes nicht signifikant.

7 Mikroanalysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Pkw-Fahrleistungen privater Haushalte

7.1 Entwicklung ausgewählter Merkmale der Nutzung von Pkw in privaten Haushalten im Zeitraum 1995-2002

Nach der oben dargestellten Analyse von Makrodaten werden nunmehr mit den in der Tankbucherhebung gewonnenen Mikrodaten verschiedene Kenngrößen der Pkw-Haltung und Pkw-Nutzung ermittelt und - soweit möglich - mit entsprechenden makroökonomischen Indikatoren aus anderen Quellen verglichen. Die betreffenden Kennzahlen werden im Folgenden für die Berichtsjahre 1995 bis 2002 des Mobilitätspanels dargestellt.

7.1.1 Anzahl und Art der Pkw im Haushalt

Die folgende Tabelle zeigt für die Berichtsjahre 1995 bis 2002 die Zahl der in die Tankbucherhebung einbezogenen Haushalte zusammen mit der Anzahl der Kraftfahrzeuge, für die im entsprechenden Berichtsjahr ein Tankbuch geführt wurde. Die sich daraus ergebende mittlere Anzahl der Pkw im Haushalt ist ebenfalls dargestellt. Wie man sieht, ist bei den motorisierten Haushalten des Mobilitätspanels der Pkw-Besitz im Zeitverlauf keinen nennenswerten Änderungen unterworfen. Im Durchschnitt über alle 8 Erhebungsjahre ergibt sich ein Mittelwert von 1,28 Pkw/Haushalt.

Tabelle 7-1: Anzahl der Haushalte und der Pkw in der Tankbucherhebung

Jahr	Anzahl Haushalte ¹⁾	Anzahl Pkw ²⁾ in den Haushalten	Anzahl Pkw pro Haushalt
1995	106	134	1,26
1996	193	232	1,20
1997	241	316	1,31
1998	260	339	1,30
1999	255	332	1,30
2000	295	369	1,25
2001	291	374	1,29
2002	346	444	1,28

1) Nur Haushalte mit Pkw

2) Nur in die Tankbucherhebung einbezogene Fahrzeuge

Die Verteilung der Fahrzeuge in den Panelhaushalten nach Hubraumklasse und Alter des Fahrzeugs stellt sich in den einzelnen Erhebungsjahren wie folgt dar:

Tabelle 7-2: Fahrzeuge in der Tankbucherhebung gegliedert nach Alters- und Hubraumklassen

Jahr	Anzahl Pkw nach Altersklassen (Jahre)				Durchschnittsalter (Jahre)	Anzahl Pkw nach Hubraumklassen (ccm)				Durchschnittshubraum (ccm)	Standardabweichung des Hubraums (ccm)
	0-3	4-6	7-9	10+		bis 1399	1400-1599	1600-1999	2000+		
1996	59	78	42	53	6,31	56	53	84	39	1634,96	454,65
1997	103	88	78	47	7,23	94	61	107	53	1621,16	419,60
1998	124	84	72	59	7,40	106	73	116	44	1680,28	436,74
1999	85	99	68	80	6,64	99	75	117	41	1686,32	447,90
2000	89	102	78	100	6,73	112	83	127	47	1707,31	445,04
2001	86	114	60	114	6,22	118	94	118	44	1719,55	465,45
2002	146	126	79	93	7,05	128	95	161	60	1708,50	491,30

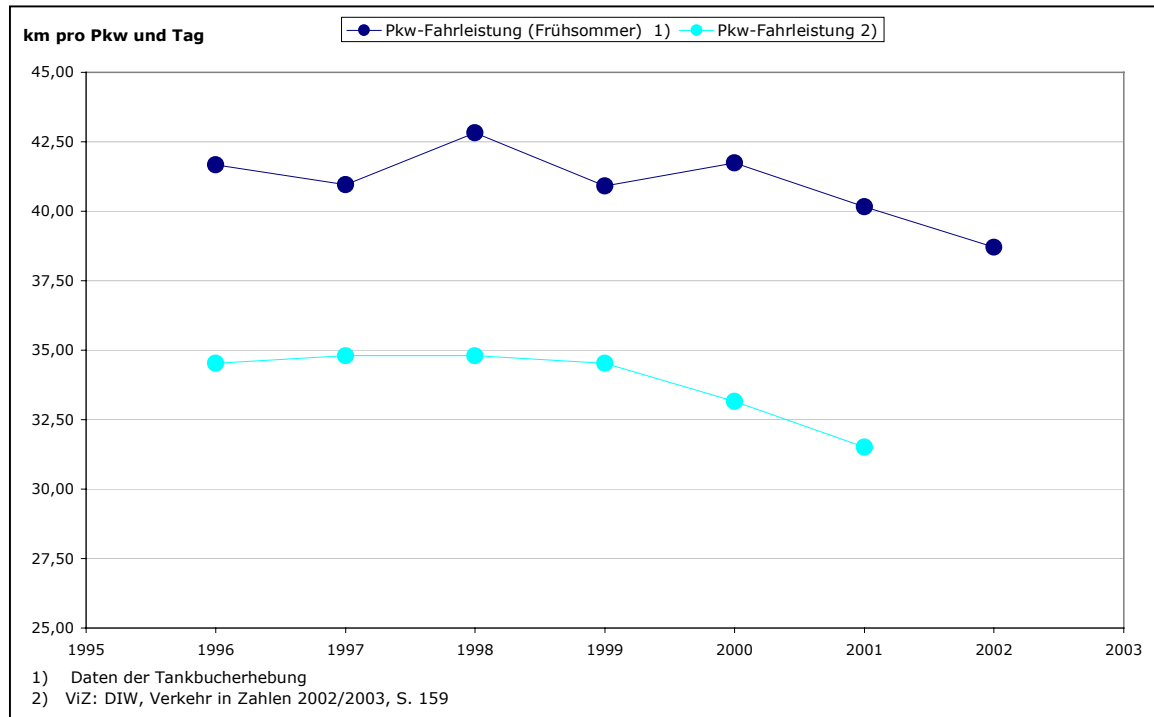
Das Durchschnittsalter der Pkw schwankt im Erhebungszeitraum zwischen gut 6 Jahren und etwas mehr als 7 Jahren, ohne dass ein Trend oder ein Zusammenhang mit der Entwicklung z.B. der Neuzulassungen auf Bundesebene erkennbar wäre. Insofern dürfte es sich hier um zufällige Schwankungen um einen mittelfristig konstanten Durchschnittswert des Alters der „Panel-Flotte“ handeln.

Der Hubraum der Fahrzeuge - und im Übrigen auch ihre KW-Leistung - ist im Zeitverlauf größer geworden. Es fällt auf, dass mit dem Mittelwert des Hubraums sich auch die Standardabweichung dieses Merkmals erhöht hat. Die Unterschiede (im Hinblick auf die Hubraumgröße) innerhalb der gesamten Fahrzeugflotte der Panelhaushalte haben also zugenommen. Das angesprochene Wachstum der Hubraumgröße ist auch für die Jahre ab 2000, also die Zeit nach dem sprunghaften Anstieg der Kraftstoffpreise, feststellbar, die betrachteten Daten liefern so gesehen keine Hinweise auf eventuelle kurzfristige „technologische Anpassungen“ der Haushalte an gestiegene Kraftstoffpreise im Sinn der Anschaffung kleinerer Fahrzeuge.

7.1.2 Pkw-Fahrleistungen

Die Pkw-Fahrleistungen werden im Rahmen der vorliegenden Studie auf Fahrzeug- und Haushaltsebene betrachtet. Hierbei wird für jedes Fahrzeug in der Tankbucherhebung pro

Abbildung 7-1: Mittlere tägliche Pkw-Fahrleistung 1996 – 2002 gemäß Tankbucherhebung und DIW-Kraftstoffverbrauchsrückrechnung



Sowohl in den Mikrodaten der Tankbucherhebung als auch bei den Ergebnissen der DIW-Modellrechnungen ist am aktuellen Rand der Zeitreihe eine sinkende Tendenz der durchschnittlichen täglichen Pkw-Fahrleistung erkennbar: Seit Ende der neunziger Jahre kam es danach zu einer Verringerung der durchschnittlichen täglichen Pkw-Fahrleistung um ca. 3 km. Die Frühsommer-Fahrleistung von Pkw aus privaten Haushalten ist gemäß Tankbucherhebung im Berichtsjahr 2002 auf ein Niveau von 38,7 km/Tag gesunken (der höchste Wert wurde mit 42,8 km/Tag im Erhebungsjahr 1998 ermittelt).

Der Panel-Fahrleistungsmittelwert 2002 von 38,7 km/Tag passt im Übrigen recht gut zum Ergebnis der bundesweiten Erhebung „Krafffahrzeugverkehr in Deutschland (KiD 2002)“. Dort wurde für Pkw privater Halter für die Erhebungsperiode Mai/Juni/Juli ein Mittelwert von 37,3 km/Tag festgestellt. In der vorliegenden Studie geht es im Kern um die Frage, ob die im Mobilitätspanel registrierte Abnahme der mittleren Pkw-Fahrleistung als signifikant zu betrachten ist und eine Folge gestiegener Kraftstoffpreise darstellt.

7.1.3 Tankvorgänge

Im Anhang II wird aufgezeigt, dass bei der Tankbucherhebung in den Jahren 1995 bis 2001 die Länge des Berichtszeitraums beträchtlich von Fahrzeug zu Fahrzeug variiert. Im Jahr 2002 dagegen hat als Folge des veränderten Fragebogendesigns die ganz überwiegende Zahl der Fahrzeuge einen einheitlichen Berichtszeitraum der Länge 61 Tage.

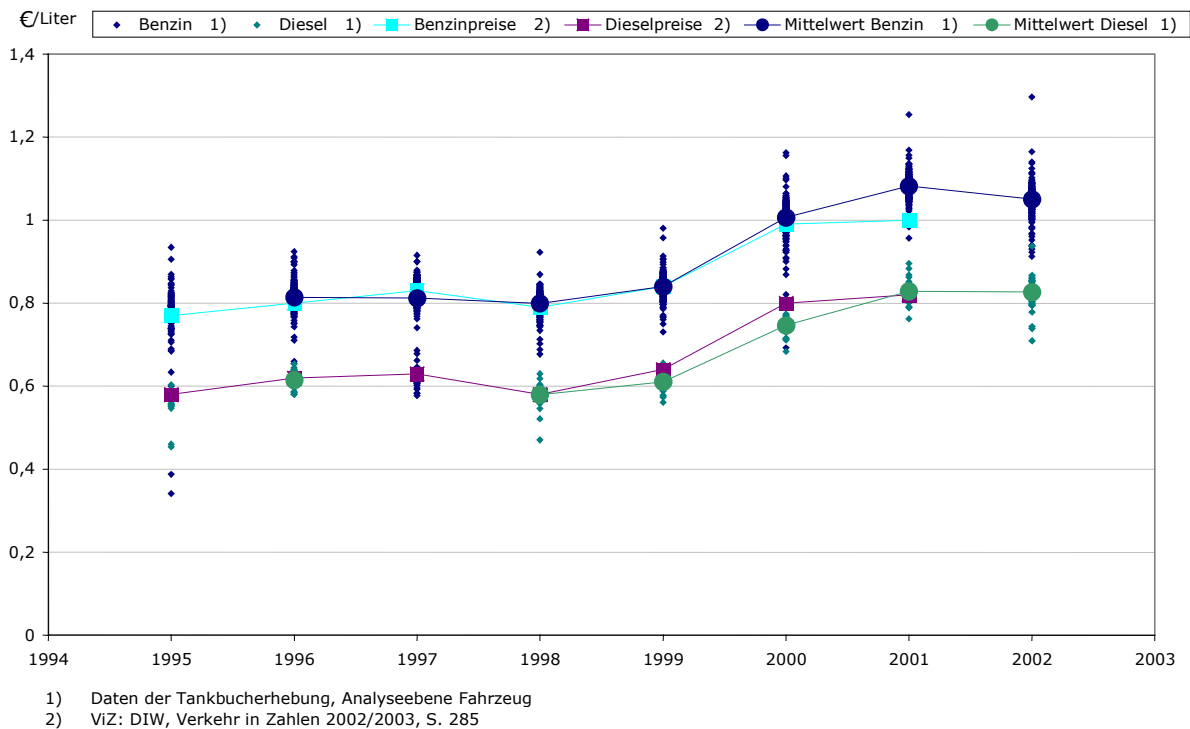
Betrachtet man nur Fahrzeuge mit mindestens 2 Tankvorgängen im Berichtszeitraum, so schwankt die Zahl der Tankvorgänge pro Fahrzeug und Berichtsperiode zwischen 2 und 24. Das arithmetische Mittel der Zahl der Tankvorgänge liegt in allen Erhebungsjahren im Bereich von 5 bis 6 Betankungen des Fahrzeugs während des Berichtszeitraums.

Durch Summation über alle Tankvorgänge eines Fahrzeugs während der Berichtsperiode können die gesamten Kraftstoffausgaben und die insgesamt getankte Kraftstoffmenge pro Fahrzeug und pro Haushalt ermittelt werden. Division durch die Länge des Berichtszeitraums ergibt dann die Kraftstoffausgaben und die getankte Kraftstoffmenge pro Tag. Bezieht man pro Fahrzeug bzw. Haushalt die gesamten Kraftstoffausgaben auf die insgesamt getankte Menge, so erhält man für das betreffende Fahrzeug bzw. den betrachteten Haushalt den im Durchschnitt gezahlten Kraftstoffpreis in Cent/Liter. Die Entwicklung der Kraftstoffpreise und der Kraftstoffausgaben wird im nachfolgenden Abschnitt dargestellt.

7.1.4 Kraftstoffpreise und Ausgaben für Kraftstoffe

Wie aus der nachfolgenden Tabelle 7-4 hervorgeht, war der je Erhebungsperiode im Durchschnitt über alle Tankvorgänge eines Fahrzeugs bzw. Haushalts gezahlte Kraftstoffpreis im Zeitraum 1995 bis 2002 beträchtlichen Schwankungen unterworfen. So liegen auf der Haushaltsebene die mittleren Kraftstoffpreise im Bereich zwischen 73,1 und 104,8 Cent/Liter, wobei diese Durchschnittswerte sich aus der Betankung von Pkw mit Diesel- und Ottomotoren ergeben. Die Einzelwerte des Kraftstoffpreises je Haushalt und Erhebungsperiode variieren sogar zwischen 34,1 und 129,7 Cent/Liter. Für Analysen zur Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Fahrleistungen ist dies von der Datenlage her eine günstige Voraussetzung.

Abbildung 7-2: Entwicklung der gezahlten Kraftstoffpreise 1995 – 2002 gemäß Tankbuchehebung im Vergleich zu den durchschnittlichen Tankstellenabgabepreisen



Im Schaubild ist vom Jahr 1999 auf das Jahr 2000 ein deutlicher Anstieg der Kraftstoffpreise (Zeitraum jeweils Mai/Juni) zu erkennen, hier erhöhte sich gemäß Tankbuchehebung der durchschnittliche Kraftstoffpreis (mit den getankten Mengen gewogener Mittelwert der bei den einzelnen Tankvorgängen im Berichtszeitraum gezahlten Preise) gegenüber dem Vorjahr um etwa 16 Cent/Liter bei Benzin und 13 Cent/Liter bei Dieselmotorkraftstoff. Das Kraftstoffpreisniveau stieg etwas verlangsamt im Jahr 2001 nochmals an. Im Jahr 2002 fiel der Benzinpreis wieder leicht, während der Preis für Dieselmotorkraftstoff nahezu konstant blieb. Wegen dieser beträchtlichen Variation der Kraftstoffpreise sind die Daten des Mobilitätspanels für Analysen der Preiselastizität der Nachfrage nach Beförderungsleistungen im motorisierten Individualverkehr, wie bereits erwähnt, gut geeignet.

Aus den Tankbucheintragen lassen sich die gesamten Ausgaben für Kraftstoffe im jeweiligen Berichtszeitraum ermitteln. Da die Länge des Berichtszeitraums von Fahrzeug zu Fahrzeug variiert, müssen zur Normierung die Ausgaben pro Tag bzw. pro Monat (30 Tage) berechnet werden. Näheres zur Berechnung findet man in Abschnitt 7.1.6. Für den Untersuchungszeitraum der Tankbuchehebung ergeben sich pro Haushalt folgende monatliche Ausgaben für Kraftstoffe:

Tabelle 7-5: Monatliche Kraftstoffausgaben pro Haushalt 1996 – 2002

Jahr	Kraftstoffausgaben pro Haushalt in € / Monat	
	Mittelwert	Standard- abweichung
1995	118,34	96,47
1996	103,79	69,64
1997	111,74	72,87
1998	107,51	74,92
1999	107,66	75,98
2000	127,18	67,87
2001	129,15	95,24
2002	134,87	118,36

Anm.: Ab 2002 neues Erhebungsformular

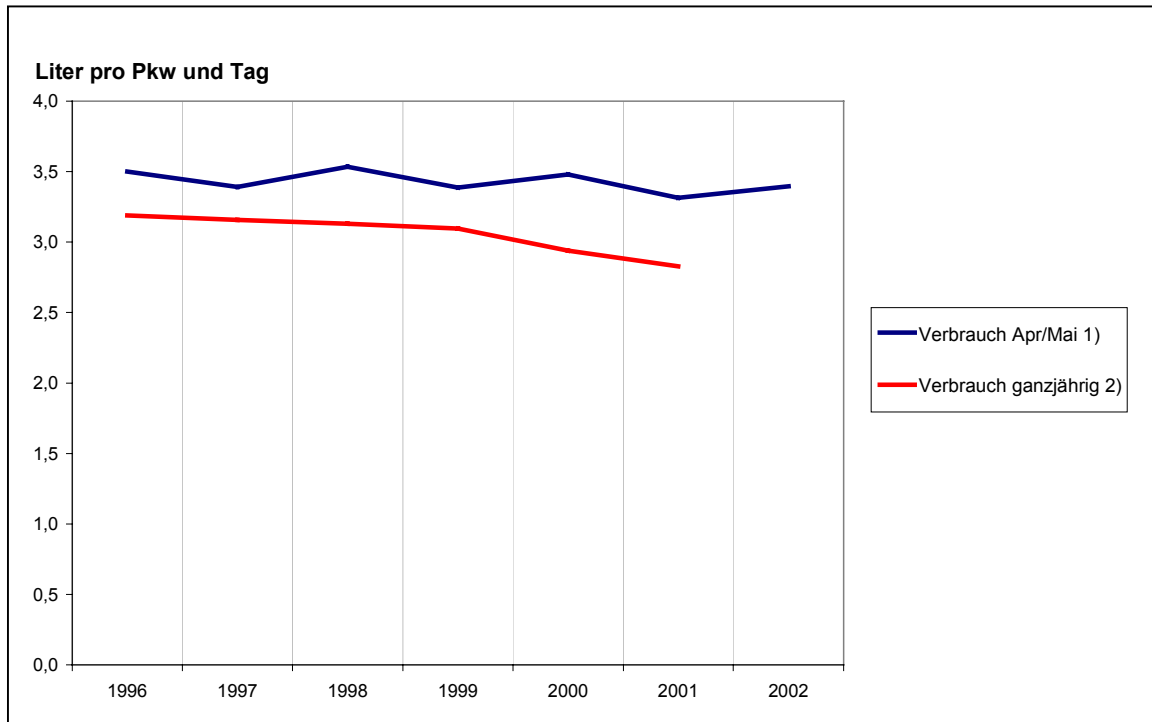
Der sprunghafte Anstieg der mittleren monatlichen Kraftstoffausgaben pro Haushalt im Jahr 2000 gegenüber dem Vorjahr entspricht ungefähr dem Anstieg der Kraftstoffpreise.

Nicht ungewöhnlich ist der Anstieg der Standardabweichung der Kraftstoffausgaben der Haushalte nach der drastischen Kraftstoffpreis- und Kraftstoffausgabenerhöhung im Jahr 2000. Bei höherem Ausgabenniveau ist offensichtlich auch die Streuung der Ausgaben (Ausgabenunterschiede zwischen den Haushalten) größer.

7.1.5 Getankte und verbrauchte Kraftstoffmengen im Berichtszeitraum

Als Konsequenz aus den nicht genau zu bestimmenden Berichtszeiträumen in den Erhebungsjahren 1995 bis 2001 wird bei der Berechnung des Verbrauches je Tag und des fahrzeugspezifischen Verbrauches je gefahrenem Kilometer der letzte Tankvorgang nicht berücksichtigt. Somit wurde lediglich diejenige Menge Kraftstoff in die Berechnung einbezogen, die bis zum Datum des letzten Tankvorganges getankt und verbraucht wurde. Die Bezugsperiode bei der Berechnung des Verbrauches je Tag umfasst den Zeitraum zwischen dem ersten und letzten Tankvorgang. Die getankten Liter Kraftstoff, die für den letzten Tankvorgang berichtet wurden, gehen somit nicht in die Berechnung des Verbrauches ein.

Der so aus der Tankbucherhebung für die Monate April/Mai errechnete Verbrauch ist in der folgenden Abbildung für die Jahre 1996 bis 2002 dargestellt. Parallel dazu wird der durchschnittliche tägliche Kraftstoffverbrauch je Pkw - berechnet auf der Basis von DIW-Kennzahlen - für das jeweilige Erhebungsjahr insgesamt dargestellt.

Abbildung 7-3: Getankte und verbrauchte Kraftstoffmenge pro Pkw und Tag

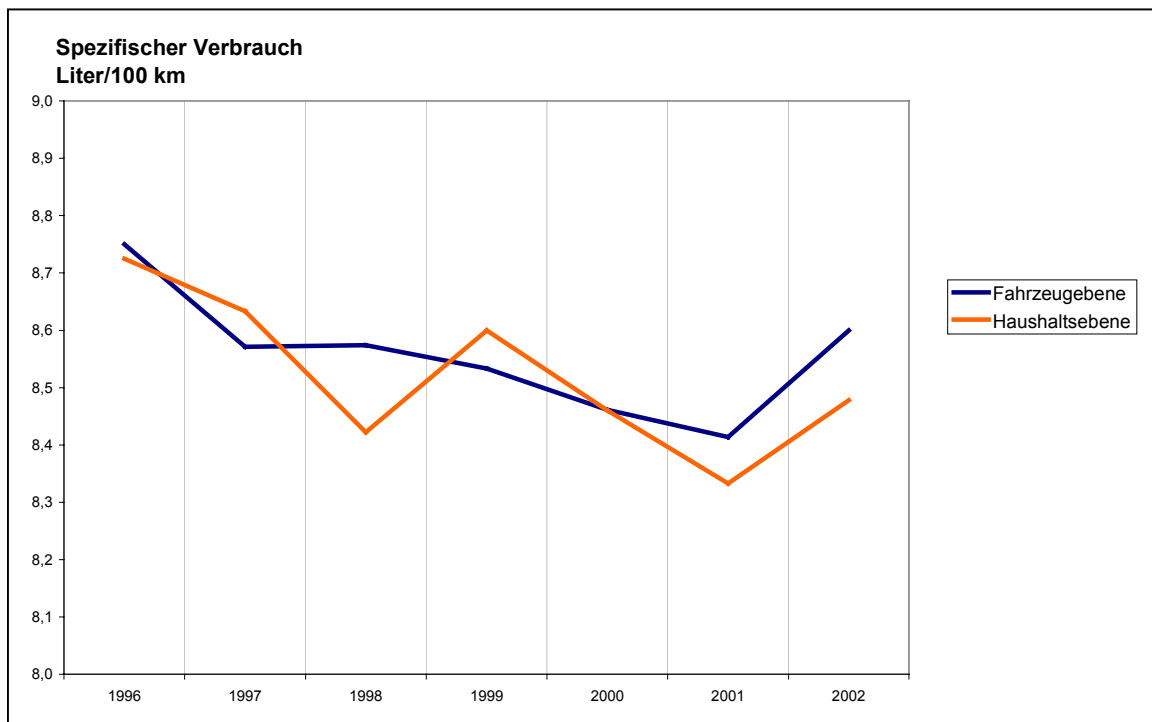
1) Mobilitätspanel, Daten aus der Tankbucherhebung.

2) ViZ: Eigene Berechnungen aus den Daten des DIW, Verkehr in Zahlen 2002/2003, S. 159, 141.

Der durchschnittliche tägliche Kraftstoffverbrauch der Pkw aus Privathaushalten ist gemäß Mobilitätspanel in den zurückliegenden Erhebungsjahren weitgehend konstant geblieben, es lässt sich lediglich eine leicht abnehmende Tendenz erkennen. Die Niveauunterschiede zwischen den Verbrauchswerten aus der Tankbucherhebung und den Daten des DIW lässt sich zumindest teilweise mit den unterschiedlichen Bezugszeiträumen erklären. Die Daten der Tankbucherhebung stammen jeweils aus dem Frühjahr eines Jahres, während sich die Daten des DIW auf das gesamte Jahr beziehen.

7.1.6 Spezifischer Kraftstoffverbrauch

Bei der Berechnung des spezifischen Verbrauchs wurde die zurückgelegte Distanz als Differenz aus dem Kilometerstand zum Zeitpunkt des letzten Tankvorgangs und dem Kilometerstand beim ersten Tankvorgang ermittelt. Es handelt sich also um die Distanz, die im Bezugszeitraum zurückgelegt wurde. Auch bei der Berechnung des spezifischen Verbrauches wurde die beim letzten Tankvorgang berichtete Menge nicht mit einbezogen.

Abbildung 7-4: Spezifischer Kraftstoffverbrauch

Am arithmetischen Mittel und am Median des spezifischen Kraftstoffverbrauchs kann man ablesen, dass diese Kenngröße im Zeitraum 1995 bis 2002 keinen nennenswerten Veränderungen unterlegen ist und allenfalls geringfügig abgenommen hat. Daraus darf allerdings nicht geschlossen werden, dass der spezifische Verbrauch nicht vom Kraftstoffpreis abhängt, da andere Bestimmungsfaktoren des spezifischen Verbrauchs wie Hubraum und Motorleistung der eingesetzten Fahrzeuge sich im Untersuchungszeitraum ebenfalls verändert haben.

7.2 Beschreibende Darstellungen des Zusammenhangs zwischen Kraftstoffpreisen und Fahrleistungen von Pkw

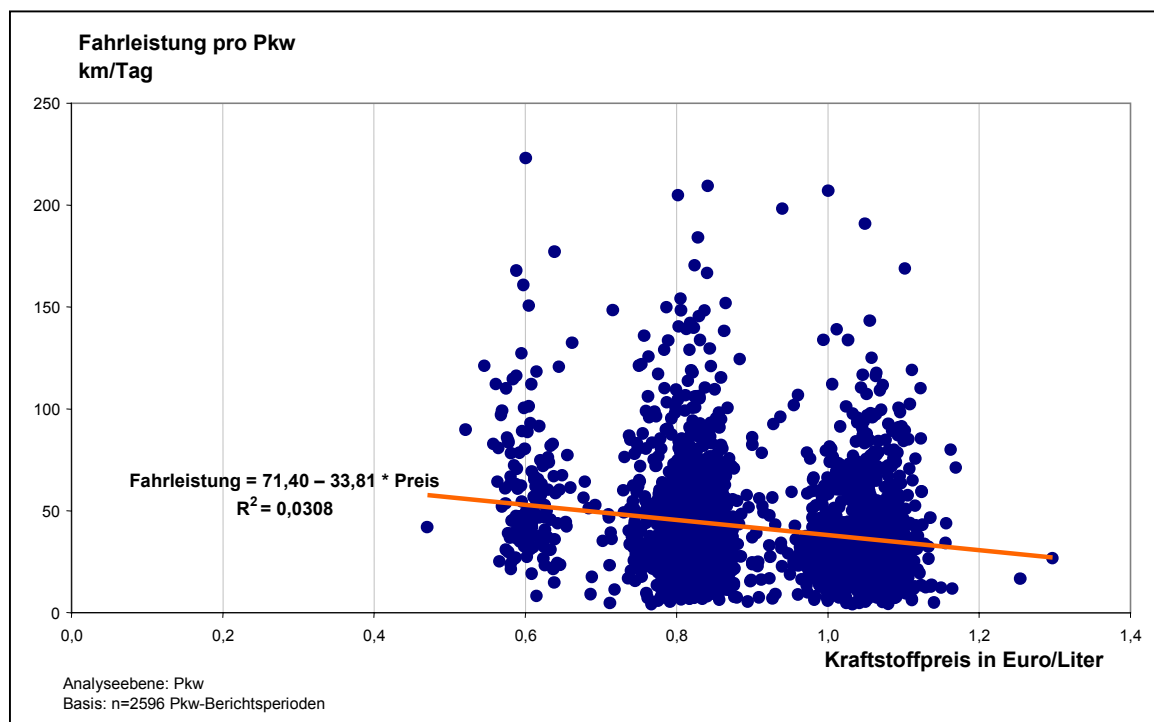
7.2.1 Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreisen und Pkw-Fahrleistungen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse einer eher beschreibenden und explorativ orientierten Datenanalyse vorgestellt. Hierbei handelt es sich um ein Vorgehen, das nicht darauf abzielt, Hypothesen zu Verhaltensreaktionen zu testen, sondern solche Hypothesen zu gewinnen, d.h. Hinweise auf eventuell vorhandene Zusammenhänge zwischen Kraftstoffpreisen und Pkw-Fahrleistungen zu erhalten.

Analysen auf Fahrzeugebene

Zunächst werden Pkw-Fahrleistungen auf der Fahrzeugebene betrachtet. Das folgende Streudiagramm zeigt für den Untersuchungszeitraum 1995 - 2002 die gemeinsame Verteilung der Merkmale „Mittlere Pkw-Tagesfahrleistung in der Berichtsperiode“ und „Mittelwert der gezahlten Preise für Kraftstoffkäufe in der Berichtsperiode“. Man erkennt eine Häufung der Beobachtungen (jeder Punkt im Streudiagramm entspricht einer Kombination von Pkw und Berichtsperiode) um bestimmte Preisniveaus, was sich durch die einzelnen Preiserhöhungsschritte im Zeitverlauf erklären lässt. Insgesamt entsteht der Eindruck einer sehr starken Streuung, gleichwohl deutet sich aber ein negativer Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreisen und Pkw-Fahrleistungen an.

**Abbildung 7-5: Gemeinsame Verteilung von Kraftstoffpreis und Pkw-Fahrleistung
- Analyse auf Fahrzeugebene -**



Würde man bereits auf der Basis dieser ersten elementaren Analyse einen Schätzwert für die Kraftstoffpreiselastizität der Fahrleistung von Pkw aus Privathaushalten ermitteln, so erhielte man unter Berücksichtigung des Schätzwertes für den Regressionskoeffizienten des Kraftstoffpreises (-33,81) sowie der Mittelwerte der Kraftstoffpreise (0,903 Euro/Liter) und der Pkw-Fahrleistungen (40,87 km pro Pkw und Tag) das Resultat

$$\eta = -33,81 (0,903 / 40,87) = -0,75 . \quad [7.2-1]$$

Beschreibt man die Lage der Punkte im Streudiagramm durch eine nichtlineare Regressionsfunktion des Typs [5.2-8], so erhält man für den Regressionskoeffizienten des Faktors Preis - und damit für die Kraftstoffpreiselastizität - den mit [7.2-1] praktisch übereinstimmenden Schätzwert $-0,74$.

Wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen, wäre dies allerdings eine deutlich verzerrte Schätzung der Nachfrageelastizität, da hier nicht berücksichtigt wird, dass die Fahrleistung von Pkw außer vom Kraftstoffpreis noch von vielen weiteren Faktoren abhängt.

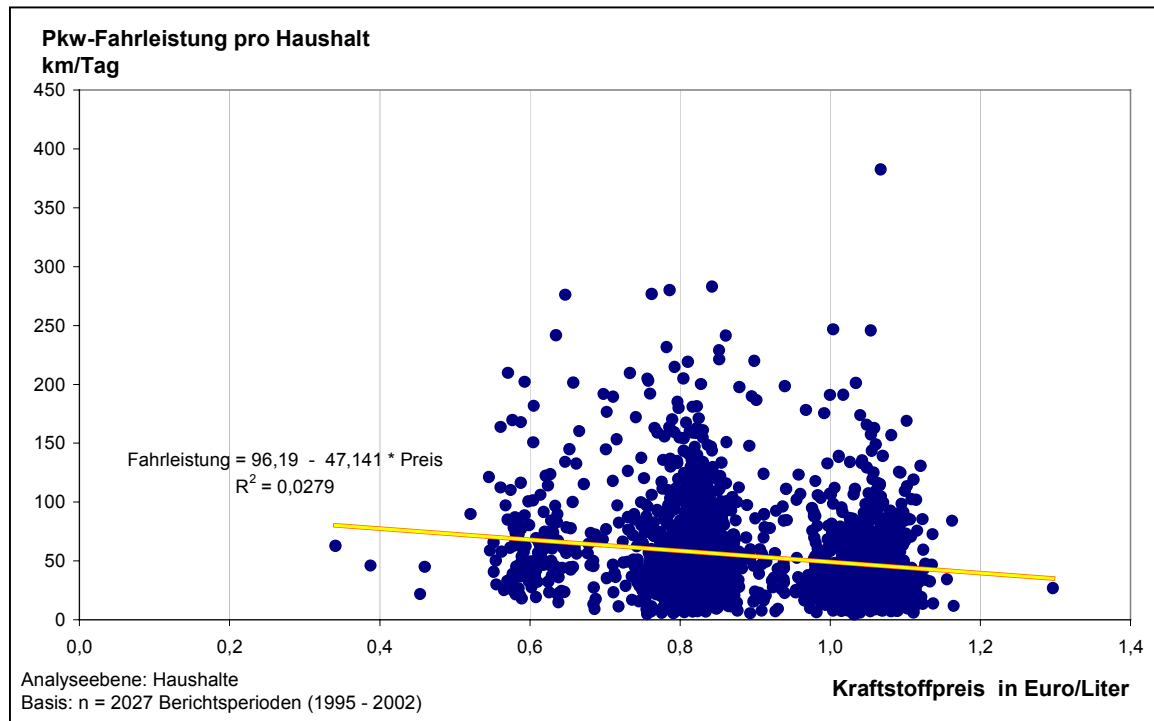
Analysen auf Haushaltsebene

Auch auf der Haushaltsebene kann der Zusammenhang zwischen Pkw-Fahrleistungen und Kraftstoffpreisen untersucht werden. Hierbei wird für jeden Haushalt und jede Berichtsperiode

- die von den Haushalts-Pkw insgesamt pro Tag zurückgelegte Entfernung (in Kilometer) und
- der vom Haushalt in der Berichtsperiode im Durchschnitt gezahlte Kraftstoffpreis (in Euro pro Liter)

ermittelt und es werden die betreffenden Wertepaare (die Zahl der Beobachtungen ist gleich der Zahl der Haushalts-Berichtsperioden in der Stichprobe) in einem Streudiagramm graphisch dargestellt. Aus Abbildung 7-6 geht hervor, dass auch bei dieser Betrachtungsweise sich ein negativer Zusammenhang zwischen der täglichen Pkw-Kilometersumme von Haushalten und dem Kraftstoffpreisniveau andeutet.

**Abbildung 7-6: Gemeinsame Verteilung von Kraftstoffpreis und Pkw-Fahrleistung
- Analyse auf Haushaltsebene -**



Würde man hier analog zu oben die Kraftstoffpreiselastizität der Haushaltsnachfrage nach Pkw-Kilometern ermitteln, so erhielte man das Resultat

$$\eta = -47,14 (0,893 / 54,11) = -0,78 \quad [7.2-2]$$

Verwendet man anstelle einer linearen Regressionsfunktion eine Funktion mit konstanter Elastizität gemäß Gleichung [5.2-8], so erhält man mit $\eta = -0,75$ im Wesentlichen dasselbe Ergebnis. Die oben bereits geäußerten Vorbehalte gegen diese Resultate (Überschätzung der Preiselastizität) gelten natürlich auch hier.

7.2.2 Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreis- und Fahrleistungsänderungen

Bildung erster Differenzen

Unter Ausnutzung des Panelcharakters der Daten der Tankbucherhebung kann die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen gezahlten Kraftstoffpreisen und realisierten Pkw-Fahrleistungen dadurch verfeinert werden, dass man nicht die Absolutwerte dieser beiden

Größen, sondern deren Veränderung von einer Periode zur nächsten, d.h. erste Differenzen, betrachtet. Solche Analysen des Zusammenhangs der ersten Differenzen von Kraftstoffpreisen und Pkw-Fahrleistungen kann man auf Fahrzeug- und auf Haushaltsebene durchführen. Soweit Pkw (genauer: Pkw-Berichtsperioden) Untersuchungseinheiten sind, wird innerhalb des Haushalts das Fahrzeug mit der Ordnungsnummer 1 (analog für Ordnungsnummer 2 usw.) im Hinblick auf erbrachte Fahrleistung und gezahltem Kraftstoffpreis über die Zeit verfolgt. Dabei muss es sich beim Fahrzeug mit der Ordnungsnummer 1 in aufeinanderfolgenden Jahren nicht notwendigerweise um physisch das selbe Fahrzeug handeln, maßgeblich ist vielmehr die „Rolle“ eines Fahrzeugs (gemäß Angaben der Befragten) innerhalb des Haushalts. Der Vorzug der Analyse erster Differenzen liegt darin, dass durch die Differenzenbildung die Einflüsse nicht beobachteter bzw. nicht explizit betrachteter zeitinvarianter fahrzeug- und haushaltsspezifischer Faktoren kontrolliert und der „reine“ Einfluss des Preises auf die Fahrleistung von Pkw zuverlässiger beschrieben werden kann.

Ob sich Kraftstoffpreisänderungen in Änderungen der Pkw-Fahrleistung niederschlagen, lässt sich untersuchen, indem man für die in der Tankbuchehebung erfassten Pkw bei den Variablen „Fahrleistung pro Tag“ (Y) und „mittlerer Kraftstoffpreis“ (P) jeweils die Differenz der Variablenwerte für aufeinanderfolgende Berichtsperioden bildet:

$$\Delta Y(i, t) = Y(i, t) - Y(i, t-1) \quad [7.2-3]$$

$$\Delta P(i, t) = P(i, t) - P(i, t-1) \quad [7.2-4]$$

Hierbei ist i der Index der Fahrzeuge in der Tankbuchehebung und t der Index der Berichtsperioden ($t = 1996, \dots, 2002$). Da es sich beim Mobilitätspanel um ein rotierendes Panel handelt, liegen die Werte der Variablen Y und P bei jedem Fahrzeug i immer nur für höchstens 3 aufeinanderfolgende Perioden t vor. Für jedes Fahrzeug können also höchstens 2 Differenzgrößen ΔY und ΔP gebildet werden. Insgesamt gibt es in der Tankbuchehebung 1.102 Beobachtungen der Veränderungsgröße ΔP (Preisänderung) und 1.091 Beobachtungen der Veränderungsgröße ΔY (Fahrleistungsänderung).

Häufigkeit des Auftretens positiver und negativer Änderungen der Pkw-Fahrleistungen und der Kraftstoffpreise

Es ist aufschlussreich, zunächst einmal ganz einfach die empirischen Verteilungen der Änderungsgrößen ΔY und ΔP zu betrachten, die ja positive und negative Werte annehmen können. Dabei zeigt sich für die hier möglichen insgesamt 7 Jahresvergleiche 1995/1996 bis 2001/2002,

- dass 61 % der beobachteten Preisänderungen positiv und nur 39 % negativ oder Null sind.

Im Untersuchungszeitraum hat es im Vergleich mit dem jeweiligen Vorjahr also ganz überwiegend Preisänderungen nach oben gegeben. Demgegenüber stellt man für den gleichen Zeitraum fest,

- dass bei den beobachteten Fahrleistungsänderungen nur 52 % aller Werte negativ oder Null sind und 48 % ein positives Vorzeichen aufweisen.

Betrachtet man einzelne Fahrzeuge im Zeitverlauf, so halten sich also Änderungen der Fahrleistung nach unten und nach oben annähernd die Waage. Daraus darf man den Schluss ziehen, dass der vermutete negative Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreis und Fahrleistung wohl kaum sehr stark ausgeprägt sein kann. Wäre dies nämlich der Fall, dann müsste es angesichts der Tatsache, dass überwiegend Preissteigerungen vorlagen, deutlich mehr Fahrleistungsabnahmen gegeben haben.

Auch wenn man die einzelnen Erhebungsjahre und ihre jeweiligen Vorjahre getrennt betrachtet, erkennt man, dass es beim einzelnen Pkw über die Zeit zu Zu- und Abnahmen der mittleren Tagesfahrleistung kommt, ohne dass sich dies klar auf Veränderungen der Kraftstoffpreise zurückführen ließe: Unabhängig davon, ob Preissteigerungen oder Preissenkungen überwiegen, halten sich bei den Pkw-Fahrleistungen in jedem Jahr positive und negative Änderungen gegenüber dem Vorjahr weitgehend die Waage, wie Tabelle 7-7 zeigt. So wurden bei den Vergleichen 2000/2001 und 2001/2002 jeweils bei etwas mehr als der Hälfte aller Pkw eine Abnahme der Fahrleistung registriert (56 % bzw. 54 %), obwohl in den beiden betrachteten Fällen gänzlich andere Preissituationen vorgelegen haben: Während im Vergleich 2001 gegenüber 2000 für 95 % aller Pkw die Zahlung *höherer* Kraftstoffpreise berichtet wurde, haben sich im Jahr 2002 gegenüber 2001 für 80 % aller Pkw *niedrigere* Kraftstoffpreise ergeben.

**Tabelle 7-7: Häufigkeit von Kraftstoffpreiserhöhungen und Fahrleistungs-
verminderungen im Untersuchungszeitraum**

Vergleichszeitraum	Bei ... % der Pkw wurde ...	
	Erhöhung der gezahlten Kraftstoffpreise festgestellt	Reduzierung der erbrachten Fahrleistungen festgestellt
1995 / 1996	85 %	59 %
1996 / 1997	59 %	51 %
1997 / 1998	9 %	47 %
1998 / 1999	93 %	54 %
1999 / 2000	96 %	46 %
2000 / 2001	95 %	56 %
2001 / 2002	20 %	54 %
Insgesamt	61 %	52 %

Streuung der Änderungen von Pkw-Fahrleistungen und Kraftstoffpreisen

Die Fahrleistung eines einzelnen Fahrzeugs unterliegt im zeitlichen Verlauf aus einer Vielzahl von Gründen beträchtlichen Schwankungen. In der Tankbuchehebung wurden dementsprechend bei der mittleren Tagesfahrleistung der einzelnen Pkw in der Stichprobe (Mittelwert über die Tage des meist 6- bis 8-wöchigen Berichtszeitraums) von einer Berichtsperiode zur nächsten ebenfalls erhebliche Variationen festgestellt. Bei ziemlich genau der Hälfte aller Pkw (51 %) unterscheidet sich die mittlere Tagesfahrleistung in einer Berichtsperiode um höchstens 10 km vom Vorjahreswert. Bei immerhin aber 10 Prozent aller Fälle ist die Veränderung der mittleren (!) Pkw-Tagesfahrleistung von einem Jahr auf das nächste größer als +30 km/Tag oder kleiner als -30 km/Tag. Die Intensität der Nutzung desselben Fahrzeugs in verschiedenen Jahren kann also sehr unterschiedlich sein.

Auch bei den durchschnittlichen Preisen, die beim Tanken in einer Berichtsperiode gezahlt werden, treten pro Pkw beim Vergleich zwischen der aktuellen und der vorausgegangenen Periode beträchtliche Unterschiede zu Tage. In knapp 95 Prozent aller Fälle liegt die Veränderung des im Durchschnitt gezahlten Kraftstoffpreises zwischen -10 Cent/Liter und +20 Cent/Liter.

In Tabelle 7-8 sind ausgewählte Quantile der Verteilung der Kraftstoffpreis- und Fahrleistungsänderungen dargestellt. Man sieht, dass bei einem Vergleich aufeinanderfolgender Jahre beim „unteren“ Viertel aller Beobachtungen Fahrleistungsabnahmen um 10,3 km/Tag oder mehr vorgelegen haben, beim „oberen“ Viertel Fahrleistungszunahmen um 9,2 km/Tag oder mehr. Angesichts einer mittleren Fahrleistung von

40,9 km pro Pkw und Tag sind die zeitlichen Schwankungen der Fahrleistung einzelner Pkw also beträchtlich und dabei von einer Fülle von situativen Merkmalen abhängig, die bei Mobilitätshebungen nur schwer oder gar nicht erfasst werden können.

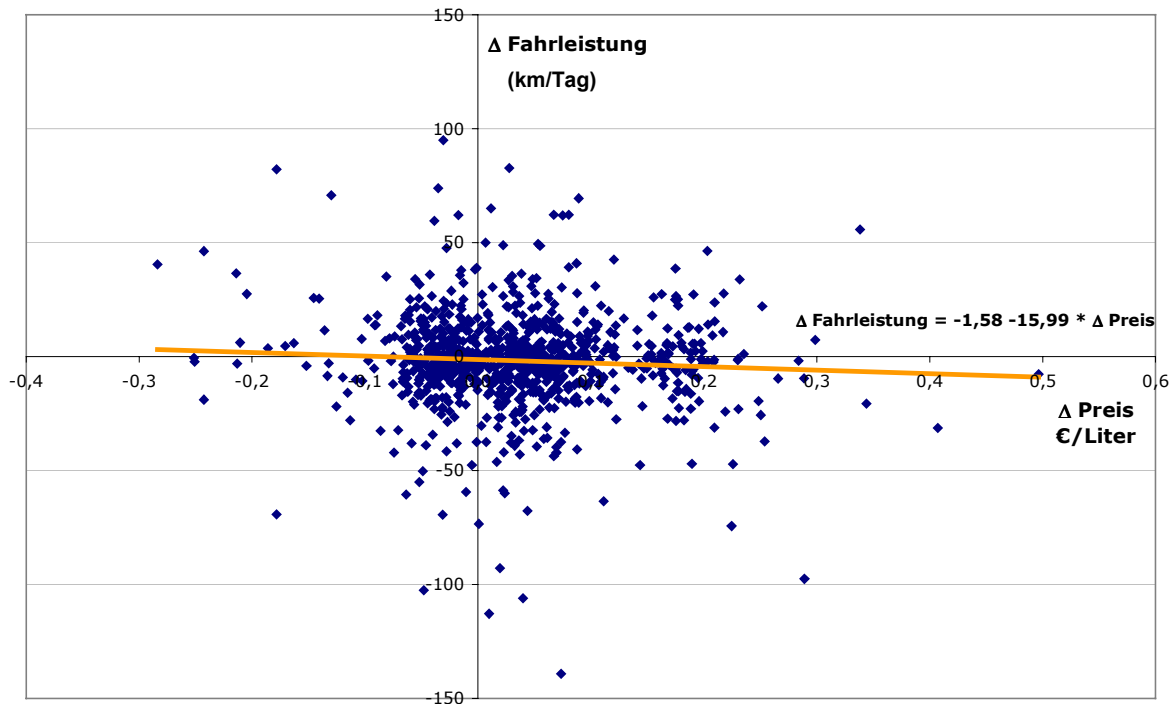
Tabelle 7-8: Ausgewählte Quantile der Verteilung der Kraftstoffpreis- und Pkw-Fahrleistungsänderung

Kennzahl	Kraftstoffpreisänderung (Cent pro Liter)	Pkw-Fahrleistungsänderung (km pro Tag)
Unterer Quartilswert	-2,5	-10,3
Median	2,3	-0,8
Oberer Quartilswert	8,4	9,2
Quartilsabstand	10,9	19,5

Beschreibung des Zusammenhangs auf Fahrzeugebene

Die folgende Grafik zeigt auf Fahrzeugebene nun die gemeinsame Verteilung von Pkw-Fahrleistungsänderung und Kraftstoffpreisänderung in Form eines Streudiagramms. Jeder der rund 1.100 Punkte im Diagramm entspricht gemäß der obigen Ausführungen einer Kombination von zwei aufeinanderfolgenden Pkw-Berichtsperioden.

Abbildung 7-7: Gemeinsame Verteilung von Kraftstoffpreisänderung und Pkw-Fahrleistungsänderung (Änderung jeweils gegenüber dem Vorjahr)



Ein Blick auf die Daten des Streudiagramms verstärkt die Vermutung, dass bei Pkw aus Privathaushalten die Änderung der Fahrleistung von einer Berichtsperiode zur nächsten keine sonderlich starke Abhängigkeit von der entsprechenden Änderung der Kraftstoffpreise aufweist. Bei den Pkw in der Stichprobe kommt es im Zeitverlauf zu Zunahmen bzw. Abnahmen der Tagesfahrleistung weitgehend unabhängig davon, ob sich die Kraftstoffpreise erhöht, verringert oder gar nicht verändert haben.

Passt man den Daten im obigen Streudiagramm eine einfache lineare Regressionsfunktion an, so erhält man für den Parameter der Einflussgröße „Preisänderung“ (ΔP) einen Schätzwert von $-14,45$ (Regression durch den Ursprung) bzw. $-15,99$ (Regression mit Absolutglied). Wäre dieses Modell gültig, so würde eine Kraftstoffpreiserhöhung um 10 Cent/Liter zu einer Abnahme der mittleren Tagesfahrleistung um ca. 1,5 km führen. Im Vergleich zum Modell für die Ausgangsdaten entspricht dies mehr als einer Halbierung des partiellen Regressionskoeffizienten. Die Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Fahrleistungen beträgt bei dieser Betrachtung lediglich

$$\eta = -0,35.$$

[7.2.5]

Geht man von einem nichtlinearen Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreis- und Fahrleistungsänderung, d.h. von Gleichung [5.2-8] aus, so ergibt sich auf Fahrzeugebene ebenfalls der Schätzwert $\eta = -0,35$.

Beschreibung des Zusammenhangs auf Haushaltsebene

Beschreibt man den Zusammenhang zwischen der Änderung der Pkw-Fahrleistungen und der Änderung der Kraftstoffpreise auf Haushaltsebene, so führt dies auf eine Kraftstoffpreiselastizität der Fahrleistung in Höhe von $\eta = -0,38$. Auch bei dieser Betrachtungsweise erweist sich also die Nachfrage als relativ unelastisch.

Zwischenfazit zur Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Fahrleistung

Die bisherigen Abhängigkeitsanalysen waren rein bivariat: Es wurde die Pkw-Fahrleistung ausschließlich als Funktion des Kraftstoffpreises betrachtet. Wegen des Panelcharakters der Daten war es aber auch hier bereits möglich, durch Differenzenbildung den Einfluss zeitinvarianter³⁵ fahrzeug- und haushaltsspezifischer Variablen (z.B. Hubraum) auf die Pkw-Fahrleistung zu kontrollieren. Nutzt man auf diese Weise die Möglichkeiten der Paneldaten aus, so kommt man zu dem Ergebnis, dass der Faktor Preis einen eher geringen Einfluss auf die Nachfrage nach Eigenbeförderungsleistungen mit dem Pkw hat. Die Elastizität der Nachfrage liegt nach diesen Ergebnissen im Bereich zwischen -0,4 und -0,3.

Wirklich zuverlässige Aussagen sind aber nur möglich, wenn zusätzlich zum Kraftstoffpreis weitere Bestimmungsgrößen in die Regressionsanalyse einbezogen werden. Dies geschieht in den nachfolgenden Untersuchungen, die auf multiplen Regressionsmodellen für die Pkw-Fahrleistung beruhen.

7.3 Statistische Analysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Pkw-Fahrleistungen: Klassische lineare Regressionsmodelle

Nach den vorausgegangenen beschreibenden und explorativ orientierten Darstellungen des Zusammenhangs zwischen Kraftstoffpreisen und Pkw-Fahrleistungen wird nunmehr der

³⁵ Viele mobilitätsrelevante Strukturmerkmale des Haushalts sind zwar nicht völlig aber doch in den meisten Fällen zeitinvariant. Beispielhaft kann man hier den Haushaltstyp und den siedlungsstrukturellen Typ des Wohnortes nennen.

Kraftstoffpreis im Kontext aller übrigen Determinanten der Pkw-Verkehrsnachfrage analysiert. Hierbei wird auf vorhandene Erkenntnisse zu den Bestimmungsfaktoren der Fahrleistung von Pkw aus Privathaushalten aufgebaut, wie sie unter anderem aus den bundesweiten Fahrleistungserhebungen vorliegen (HAUTZINGER, HEIDEMANN und KRÄMER, 1996). Zur Analyse der (simultanen) Abhängigkeit der Pkw-Fahrleistungen von den Kraftstoffpreisen und den weiteren Faktoren werden, wie oben erwähnt, multiple Regressionsmodelle eingesetzt.

Im vorliegenden Abschnitt werden kurz die Ergebnisse dargestellt, die man bei Verwendung des klassischen linearen Modells erhält. Die beiden nachfolgenden Abschnitte enthalten dann die Resultate von Panelmodellen, die gegenüber dem klassischen Modell dadurch verallgemeinert bzw. realitätsnäher sind, dass die nicht beobachtbaren oder nicht beobachteten Bestimmungsfaktoren der Fahrleistung durch individuen-spezifische (hier: fahrzeug- bzw. haushaltsspezifische) „Effekte“ berücksichtigt werden.

Um einen ersten Eindruck von der *relativen* Bedeutung des Einflussfaktors Kraftstoffpreise für die Pkw-Fahrleistungen zu erhalten, kann man das in Abschnitt 7.2.1 und 7.2.2 dargestellte einfache lineare Regressionsmodell um zusätzliche erklärende Variable erweitern, welche als Bestimmungsfaktoren der Pkw-Fahrleistung in Frage kommen. Die betreffenden Modelle sind dann von folgender Form:

$$Y_{it} = \alpha + \beta p_{it} + \gamma_1 x_{1it} + \dots + \gamma_m x_{mit} + U_{it} \quad [7.3-1]$$

wobei p_{it} den Kraftstoffpreis bezeichnet und die Störvariablen U_{it} als unabhängige normalverteilte Zufallsvariable mit konstanter Varianz betrachtet werden. Die Variablen x_{1it}, \dots, x_{mit} sind Merkmale des Fahrzeugs bzw. des Haushalts, die zusammen mit dem Kraftstoffpreis einen Einfluss auf die Pkw-Fahrleistung Y_{it} haben. Neben linearen Modellen kommen auch loglineare Modelle in Betracht, bei denen Y_{it} durch $\log Y_{it}$ ersetzt wird und auch die erklärenden Variablen – soweit diese wie der Kraftstoffpreis metrisches Skalenniveau besitzen - logarithmiert werden.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Parameterschätzung für ein lineares Modell auf Fahrzeugebene. Neben dem Bestimmtheitsmaß R^2 ist dort noch der t -Wert des jeweiligen Parameters und der p -Wert des zugehörigen Signifikanztests angegeben. Während das Bestimmtheitsmaß eine Kennzahl für die Anpassungsgüte des Modells an die zugrundeliegenden Daten ist, zeigen der t -Wert und der p -Wert an, ob ein Parameter signifikant von Null verschieden ist und damit, ob die zugehörige Variable in einem systematischen Zusammenhang mit der Pkw-Fahrleistung steht. Im allgemeinen kann dann von

einem signifikanten Zusammenhang gesprochen werden, wenn der t -Wert größer als 2 ist und damit der p -Wert entsprechend klein (kleiner als 0,05) wird.

Tabelle 7-9: Schätzung eines klassischen linearen Regressionsmodells der Pkw-Fahrleistung in Abhängigkeit vom Kraftstoffpreis und ausgewählten Fahrzeug- und Haushaltsmerkmalen

Ergebnisse der Parameterschätzung			
Abhängige Variable: Fahrleistung pro Pkw und Tag (in km)			
Erklärende Variable	Parameter	t -Wert	p -Wert
Niveaunkonstante	51,297	11,48	< 0,01
Kraftstoffpreis (Euro/Liter)	-34,881	-9,31	< 0,01
Haushaltsgröße	0,937	1,59	0,11
Anzahl Kinder im Haushalt	-0,375	-0,40	0,69
Anzahl Pkw im Haushalt	1,803	2,07	0,04
Alter des Pkw (Jahre)	-0,930	-7,60	< 0,01
Hubraum des Pkw (ccm)	0,013	11,14	< 0,01
Anzahl Beobachtungen: $n = 2.596$ Pkw-Berichtsperioden			
Bestimmtheitsmaß: $R^2 = 0,11$			

Man sieht, dass Merkmale des Fahrzeugs (Hubraum, Alter) deutlich stärker mit der Pkw-Fahrleistung korrelieren als Strukturmerkmale des Haushalts, aus welchem das Fahrzeug stammt. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da ja bei der Anschaffung eines Fahrzeugs darauf geachtet wird, dass die Merkmale des Fahrzeugs zu der geplanten Art seiner Verwendung (u.a. also auch zur beabsichtigten Intensität der Fahrzeugnutzung) passen. Es mag zunächst überraschen, dass die Tagesfahrleistung von Pkw um so größer ist, je mehr Pkw es in dem Haushalt gibt, aus welchem das betrachtete Fahrzeug stammt. Erklärbar ist dies vor allem dadurch, dass (motorisierte) Rentnerhaushalte in der Regel nur 1 Pkw besitzen und - wie entsprechende Datenanalysen zeigen - die Nutzungsintensität dieser Pkw weit unterdurchschnittlich ist.

Das Modell mit seinen wenigen Erklärungsvariablen weist mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,11 oder 11 Prozent einen für Individualdaten durchaus hohen Wert auf (der Kraftstoffpreis allein „erklärt“ die Pkw-Fahrleistung zu 3,6 Prozent). Die Schätzergebnisse deuten darauf hin, dass mit steigendem Kraftstoffpreis die Tagesfahrleistung von Pkw aus privaten Haushalten sinkt. Wäre das Modell gültig, so würde ein Preisanstieg um 10 Cent pro Liter zu einer

Abnahme der Fahrleistung um ca. 3,5 km/Tag führen. Dies entspricht einer direkten Preiselastizität von -0,76 (1-prozentige Preissteigerung führt zu einem Fahrleistungsrückgang um knapp 0,8 Prozent). Im Kern stimmt dies mit der Elastizitätsschätzung [7.2-1] aus dem einfachen linearen Modell überein. Eine ganze Reihe weiterer Analysen mittels klassischer Regressionsmodelle auf Fahrzeug- und Haushaltsebene führte zu ähnlichen Ergebnissen, was den Parameter des Bestimmungsfaktors Kraftstoffpreise (und damit die Preiselastizität der Pkw-Fahrleistung) angeht. Im Folgenden wird nun gezeigt, dass die Elastizitätsschätzung betragsmäßig deutlich niedriger ausfällt, wenn man dem Panelcharakter der Daten Rechnung trägt.

7.4 Statistische Analysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Pkw-Fahrleistungen: Panelmodelle mit festen Effekten

7.4.1 Modellansatz

Bei den in Abschnitt 7.3 verwendeten Analysemodellen sind alle Modellparameter als feste, nicht individuenspezifische Größen zu interpretieren, die unbekannt sind, jedoch auf der Grundlage von Stichprobendaten statistisch geschätzt werden können. Dies gilt auch für die Niveaunkonstante, die ein für alle Fahrzeuge bzw. Haushalte *einheitliches* absolutes Niveau der Pkw-Fahrleistung unterstellt, von dem die einzelnen Fahrzeuge bzw. Haushalte unter Berücksichtigung ihrer individuellen Merkmale (einschließlich des Merkmals gezahlter Kraftstoffpreis) nach oben oder unten abweichen.

Da hier Paneldaten für die Modellschätzung zur Verfügung stehen, kann das Regressionsmodell für die Pkw-Fahrleistungen durch Einführung individuenspezifischer (also fahrzeug- bzw. haushaltsspezifischer) Niveaunkonstanten wesentlich realitätsnäher spezifiziert werden:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta p_{it} + \gamma_1 x_{1it} + \dots + \gamma_m x_{mit} + U_{it} \quad [7.4-1]$$

Der Parameter α_i , der als fest, aber unbekannt betrachtet wird, ist eine für das i -te Fahrzeug bzw. den i -ten Haushalt charakteristische Niveaunkonstante, in der sich die Einflüsse der nicht beobachteten bzw. nicht beobachtbaren Merkmale des betreffenden Fahrzeugs bzw. Haushalts auf die Pkw-Fahrleistung widerspiegeln. Hier wird also die „Heterogenität“ der Fahrzeuge bzw. Haushalte explizit berücksichtigt.

Obwohl es mit Paneldaten grundsätzlich möglich ist, die individuenspezifischen Parameter α_i (die sogenannten „festen Effekte“) zu schätzen, kann hier darauf verzichtet werden, da man sich im vorliegenden Kontext nicht für einzelne Fahrzeuge oder Haushalte aus der Stichprobe interessiert³⁶. Von Interesse sind vielmehr nur die Parameter $\beta, \gamma_1, \dots, \gamma_m$ der im Modell enthaltenen Bestimmungsfaktoren der Pkw-Fahrleistungen. Im Parameter β drücken sich dabei Richtung und Stärke des Einflusses der Kraftstoffpreise aus. Durch Hinzunahme von Interaktionen zwischen der Variablen Kraftstoffpreis und weiteren erklärenden Variablen kann erforderlichenfalls dem Umstand Rechnung getragen werden, dass die Preissensibilität bei verschiedenen Teilgruppen von Fahrzeugen bzw. Haushalten unterschiedlich ist.

Wenn die individuenspezifischen Parameter α_i nicht geschätzt werden müssen, kann man ein auf dem Verfahren der „Teilschätzung“ von Elementen des Parametervektors basierendes Verfahren anwenden (vgl. RONNING (1991), S. 191ff). Der entsprechende Schätzer wird in der englischsprachigen Literatur „Within“-Schätzer genannt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden nach diesem Verfahren loglineare Modelle der Pkw-Fahrleistung, d.h. Modelle mit konstanter Elastizität, geschätzt.

7.4.2 Analysen auf Fahrzeugebene

Bei Analysen auf Fahrzeugebene führen diese Modelle zu dem Ergebnis, dass die Fahrleistung von Pkw aus Privathaushalten von den bereits bekannten Fahrzeug- und Haushaltsmerkmalen beeinflusst wird und außerdem in statistisch signifikanter Weise vom gezahlten Kraftstoffpreis abhängt. In die Analysen wurden nur solche Pkw einbezogen, die mindestens 2 Jahre im Panel verblieben sind. Diese „Wiederholer“ unterscheiden sich strukturell nicht von der Gesamtheit aller Pkw in der Tankbucherhebung. Von den Wiederholern liegen $n = 1.673$ Beobachtungen (Pkw-Berichtsperioden) in der Stichprobe vor.

Für die Kraftstoffpreiselastizität liefert das Panelmodell mit festen Effekten den Schätzwert

$$\eta = -0,30 \quad [7.4-2]$$

³⁶ Dies könnte eventuell bei einer Totalerhebung der Fall sein, würde aber auch dort voraussetzen, dass pro Fahrzeug bzw. Haushalt eine hinreichend große Zahl von wiederholten Beobachtungen vorliegt, was bei der Tankbucherhebung nicht der Fall ist.

Dieser Schätzwert entspricht weitgehend den Resultaten der beschreibenden (bivariaten) Analyse, bei denen nicht die Absolutwerte, sondern die Änderungen der Fahrleistung und des Kraftstoffpreises betrachtet worden sind. Dort wurden durch die Bildung erster Differenzen die Einflüsse der nicht in der Regressionsfunktion enthaltenen fahrzeugspezifischen Faktoren kontrolliert, hier geschieht dies nun durch die fahrzeugspezifischen Niveaukonstanten. Durch diese Berücksichtigung der Heterogenität schrumpft die Elastizität (im Vergleich zum klassischen Regressionsmodell) deutlich zusammen: Eine 1-prozentige Preiserhöhung führt nach dieser Modellanalyse zu einer Abnahme der Pkw-Fahrleistung um lediglich 0,3 Prozent.

Der Standardfehler der Elastizitätsschätzung wird im Rahmen des Modells mit festen Effekten auf 0,1051 geschätzt. Zur Berechnung eines approximativen 95-Prozent-Konfidenzintervalls muss der Standardfehler verdoppelt und vom Elastizitätsschätzwert subtrahiert bzw. zu diesem hinzuaddiert werden. Als Ergebnis erhält man das Intervall

-0,51 bis -0,09.

[7.4-3]

Die Breite des Intervalls macht die ganz beträchtliche (stichprobenbedingte) Unsicherheit der Elastizitätsschätzung deutlich. Man kann nach diesem Ergebnis aber davon ausgehen, dass

- der Kraftstoffpreis die Fahrleistung von Pkw negativ beeinflusst und
- die Preiselastizität der Nachfrage im Bereich zwischen $-0,5$ und $-0,1$ liegt.

Im Folgenden wird der Sachverhalt nochmals auf Haushaltsebene betrachtet.

7.4.3 Analysen auf Haushaltsebene

Wenn es um die Nachfrage nach Pkw-Fahrleistungen im privaten Sektor geht, ist der Haushalt als Untersuchungseinheit gut geeignet. Die Mitglieder des Haushalts nutzen - soweit sie über eine Pkw-Fahrerlaubnis verfügen - den oder die Wagen, die im Haushalt vorhanden sind, um sich selbst und gegebenenfalls auch andere Personen (Mitfahrer) zu den gewünschten Zielorten zu befördern. Ein negativer Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Nachfrage manifestiert sich in dieser Situation darin, dass bei steigenden Preisen die Zahl der Kilometer, die mit dem bzw. den im Haushalt befindlichen Pkw gefahren werden, zurückgeht. In dieser Kilometersumme der Haushalts-Pkw sind selbstverständlich auch die Strecken enthalten, bei denen gegebenenfalls eine nicht zum Haushalt gehörende Person am Steuer gesessen hat.

Auf der Haushaltsebene erhält man einen etwas höheren Schätzwert für die Elastizität der Nachfrage, nämlich

$$\eta = -0,45 \quad [7.4-4]$$

wobei wegen des ebenfalls recht breiten Konfidenzintervalls

$$-0,68 \text{ bis } -0,34 \quad [7.4-5]$$

der Unterschied zum Modell auf Fahrzeugebene allerdings nicht statistisch signifikant ist.

Insgesamt ist nach Ergebnissen der Panelmodelle mit festen Effekten also festzuhalten, dass die Haushaltsnachfrage nach Pkw-Verkehrsleistungen relativ unelastisch ist, d.h. dass private Haushalte in ihrer Pkw-Nutzung nicht sehr empfindlich auf Kraftstoffpreiserhöhungen reagieren. Der Kraftstoffpreis ist zwar ein signifikanter Bestimmungsfaktor der Pkw-Fahrleistungen, die Stärke seines Einflusses ist aber eher gering. Zudem bleibt festzuhalten, dass mit den verwendeten Paneldaten eine Schätzung der Preiselastizität nur mit sehr begrenzter Genauigkeit möglich ist.

7.5 Statistische Analysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Pkw-Fahrleistungen: Panelmodelle mit zufälligen Effekten

7.5.1 Modellansatz

In der ökonometrischen Literatur zur Panelanalyse (HSIAO (1986), S. 41ff) wird empfohlen, neben Modellen mit festen Effekten auch Modelle mit zufälligen Effekten für die Datenanalyse zu verwenden, da vielfach nicht eindeutig entschieden werden kann, welcher Modellspezifikation der Vorzug zu geben ist. Meist wird dazu geraten, Panelmodelle mit zufälligen Effekten zu verwenden, wenn – wie im vorliegenden Fall – eine Stichprobe untersucht wird, die Ergebnisse jedoch auf die Grundgesamtheit verallgemeinert werden sollen.

Für die Modellspezifikation bedeutet dies, dass die zufällige Störvariable U_{it} des linearen bzw. loglinearen Modells in zwei (zufällige) Komponenten zerlegt wird:

$$U_{it} = \lambda_i + \varepsilon_{it} \quad [7.5-1]$$

Die Einführung der individuenspezifischen Zufallsvariablen λ_i zusammen mit den individuen- und zeitspezifischen Zufallsvariablen ε_{it} führt dazu, dass die stochastischen Fehlervariablen U_{it} und U_{is} des Regressionsmodells für beliebige Zeitpunkte t und s mit konstantem Korrelationskoeffizienten korreliert sind. Diejenigen Beobachtungen, die zum selben Individuum,

d.h. zum selben Fahrzeug bzw. Haushalt gehören, sind also voneinander abhängig, was zweifellos eine realitätsnahe Annahme ist (die im Übrigen auch getestet werden kann). Soweit Analysen auf Fahrzeugebene durchgeführt werden, wird die individuenspezifische Komponente nochmals hierarchisch in eine Haushaltskomponente und eine in diese geschachtelte Fahrzeugkomponente zerlegt. So lassen sich Korrelationen zwischen den zum selben Haushalt gehörenden Fahrzeugen berücksichtigen.

Für die statistische Schätzung der Modellparameter - einschließlich einer allgemeinen Niveaunkonstanten - wurde unter Verwendung der Prozedur MIXED des Softwaresystems SAS die „Restricted-Maximum-Likelihood“-Methode eingesetzt (vgl. BALTAGI (1995), S. 36ff). Dabei wurden wieder nur solche Fahrzeuge bzw. Haushalte berücksichtigt, die mindestens zweimal an der Tankbuchehebung teilgenommen haben, da nur für diese die individuelle Fahrleistung unter verschiedenen Kraftstoffpreisbedingungen beobachtet worden ist. Die „Wiederholer“ unterscheiden sich, wie erwähnt, im Hinblick auf die wichtigsten Strukturmerkmale nicht wesentlich von der Gesamtheit aller Fahrzeuge bzw. Haushalte, wie entsprechende Vergleiche zeigen.

Nach den Erfahrungen mit den zuvor beschriebenen Modellen mit festen Effekten wurde für die Modelle mit zufälligen Effekten generell die loglineare Spezifikation gewählt. Dies ist im Einklang mit der ökonometrischen Praxis (GREENE, 2000, S. 214f) und gleichbedeutend mit der Annahme einer konstanten (vom Preisniveau unabhängigen) - dabei aber eventuell gruppenspezifischen - Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Fahrleistungen.

Analysen auf Fahrzeugebene

Modelle der Pkw-Fahrleistung, die auf Fahrzeugebene formuliert sind, haben den Vorzug, dass Preisentwicklungen, die je nach Kraftstoffart unterschiedlich sind, in ihren Effekten genauer abgebildet werden können. Beim hier gewählten Modellansatz kann auch der Haushaltskontext explizit berücksichtigt werden und zwar in Form der haushaltsspezifischen Varianzkomponente sowie durch die Strukturmerkmale des Haushalts, aus welchem das betrachtete Fahrzeug stammt. Eventuelle Substitutionseffekte zwischen den einzelnen Fahrzeugen mehrfach motorisierter Haushalte sind in gewissem Umfang durch die oben angesprochene Varianzzerlegung berücksichtigt³⁷. In Modellen, die auf Haushaltsebene formuliert sind, wird

³⁷ Korrelationen zwischen den beobachteten Fahrleistungen von Fahrzeugen desselben Haushalts werden durch die Spezifikation der zufälligen Effekte berücksichtigt (haushaltsspezifische Komponente, fahrzeugspezifische Komponente innerhalb des Haushalts, Restkomponente).

demgegenüber explizit die Gesamtreaktion des Haushalts abgebildet, wobei dann aber der Einflussfaktor Kraftstoffpreis bei Haushalten, die sowohl Dieselfahrzeuge als auch Fahrzeuge mit Ottomotor besitzen, etwas an Aussagekraft verliert, da er in diesem Fall als gewogener Durchschnitt zu interpretieren ist.

Aus datentechnischen Gründen können bei Analysen auf Fahrzeugebene nur die Kohorten ab 1998 einbezogen werden. Der Grund hierfür liegt darin, dass das mit der Pkw-Fahrleistung hoch korrelierte Merkmal „Antriebsart (Dieselfahrzeug ja/nein)“ in den Daten der Tankbucherhebung erst ab dem Berichtsjahr 1998 zuverlässig codiert ist. Insgesamt stehen dadurch nur 1.038 (statt 1.756) Beobachtungen für die Abhängigkeitsanalysen zur Verfügung. Die genannte Zahl von Beobachtungen (Pkw-Berichtsperioden) stammt dabei von insgesamt 328 verschiedenen Panel-Haushalten. Ein Verzicht auf die Variable Antriebsart zugunsten einer größeren Fallzahl ist angesichts der Stärke des Einflusses dieser Variablen auf die Pkw-Fahrleistung und der Tatsache, dass der Preis für Diesel- und Vergaserkraftstoff erhebliche Unterschiede aufweist, nicht vertretbar.

Als Ergebnis einer großen Zahl von Modellschätzungen, bei denen Modelle mit und ohne Interaktionen untersucht wurden, erwiesen sich folgende Merkmale als signifikante Bestimmungsgrößen der Fahrleistung³⁸ von Pkw aus Privathaushalten:

- Einsatz des Pkw für Urlaubsfahrten im Berichtszeitraum
- bei der Betankung des Pkw gezahlter Kraftstoffpreis³⁹
- Antriebsart des Pkw
- Alter des Pkw
- Hubraumklasse des Pkw
- Typ des Haushalts, aus welchem der betrachtete Pkw stammt

Weitere untersuchte Merkmale, die jedoch die Fahrleistung von Pkw nicht wesentlich beeinflussen, sind

³⁸ Gemeint ist die durchschnittliche tägliche Fahrleistung im Berichtszeitraum Mai/Juni eines Jahres.

³⁹ Durchschnitt über alle Tankvorgänge im Berichtszeitraum.

- Gesamtzahl der Pkw im zugehörigen Haushalt
- Erhebungsjahr
- siedlungsstruktureller Raumtyp
- Interaktionen zwischen Kraftstoffpreis und weiteren Merkmalen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Schätz- und Testergebnisse:

Tabelle 7-10: Schätz- und Testergebnisse für das Modell mit zufälligen Effekten (Fahrzeugebene)

Ergebnisse der Parameterschätzung				
Abhängige Variable: Fahrleistung in km pro Pkw und Tag (logarithmiert)				
Erklärende Variable	Parameter	Standardfehler	<i>t</i> -Wert	<i>p</i> -Wert
Niveaunkonstante	4,2516	0,1174	36,20	< 0,0001
Kraftstoffpreis in Euro (log.)	-0,3364	0,1482	-2,27	0,0235
Fahrzeugalter in Jahren (log.)	-0,1176	0,0277	-4,24	< 0,0001
Haushaltstyp				
- 1-2 Pers. mit Berufstätigen	-0,0355	0,0797	-0,45	0,6564
- 1-2 Pers. ohne Berufstätige	-0,1840	0,0821	-2,24	0,0254
- 3+ Pers. mit Kindern u. 18	-0,0207	0,0800	-0,26	0,7961
- 3+ Pers. ohne Kinder	0	•	•	•
Urlaubsfahrt im Berichtszeitraum				
- nein	-0,2862	0,0366	-7,81	< 0,0001
- ja	0	•	•	•
Hubraumklasse (ccm)				
- unter 1.400	-0,2323	0,0725	-3,20	0,0014
- 1.400 - 1.599	-0,1658	0,0733	-2,25	0,0239
- 1.600 - 1.999	0,0211	0,0662	0,32	0,7501
- 2.000 und mehr	0	•	•	•
Antriebsart				
- Ottomotor	-0,1818	0,0747	-2,43	0,0152
- Dieselmotor	0	•	•	•
Anzahl Beobachtungen: $n = 1.038$ (nur Wiederholer)				
Varianzkomponenten: haushaltsspezifisch		0,0347	$(p = 0,0802)$	
fahrzeugspezifisch		0,1498	$(p < 0,0001)$	
Rest		0,1378	$(p < 0,0001)$	

Wie man sieht, ist die Fahrleistung von Pkw umso höher, je größer der Hubraum und je geringer das Alter des Fahrzeugs ist. Signifikant niedriger als bei der jeweiligen Bezugsgruppe ist die Fahrleistung von Fahrzeugen aus Rentnerhaushalten sowie von Fahrzeugen, die im Berichtszeitraum nicht für Urlaubsreisen verwendet worden sind.

Für die Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Fahrleistung erhält man den Schätzwert

$$\eta = -0,336.$$

Der Standardfehler der Elastizitätsschätzung ist 0,1482, d.h. das 95-Prozent-Konfidenzintervall reicht von

-0,627 bis -0,046.

Trotz des relativ großen Stichprobenumfangs von $n=1.038$ kann die Elastizität also nur mit recht begrenzter Genauigkeit geschätzt werden. Insgesamt sprechen die Ergebnisse dafür, dass die Nachfrage nach Pkw-Kilometern in Bezug auf den Kraftstoffpreis relativ unelastisch ist.

Ergänzend sei noch angemerkt, dass die haushaltsspezifische Streuungskomponente immerhin auf dem 8-Prozent-Niveau signifikant ist und die fahrzeugspezifische Komponente der Streuung der Fehlervariablen größer ist als die reine Zufallskomponente. Das gewählte Varianzkomponentenmodell wird hierdurch bestätigt.

7.5.2 Analysen auf Haushaltsebene

Auf der Basis von $n = 1.490$ Beobachtungen (Haushaltsberichtsperioden) von Haushalten, die mindestens zweimal an der Tankbuchehebung teilgenommen haben, wurde nach einer Vielzahl von Modellanalysen ein Ansatz identifiziert, der die Summe der gefahrenen Pkw-Kilometer eines Haushalts durch die folgenden Faktoren erklärt:

- Zahl der Pkw im Haushalt
- bei der Betankung der Haushalts-Pkw gezahlter Kraftstoffpreis
- Zahl der Haushalts-Pkw, die im Berichtszeitraum für Urlaubsreisen genutzt werden
- Durchschnittsalter der Pkw im Haushalt
- Haushaltstyp
- Fuhrparkstruktur in Bezug auf den Hubraum der Pkw im Haushalt
- siedlungsstruktureller Raumtyp des Wohnorts des Haushalts.

Im Gegensatz dazu erwies sich, dass die folgenden Merkmale keinen signifikanten Einfluss auf die Pkw-Fahrleistung des Haushalts als Ganzes haben:

- Erhebungsjahr

- Fuhrparkstruktur in Bezug auf die Antriebsart der Pkw im Haushalt
- Interaktionen zwischen Kraftstoffpreis und weiteren Merkmalen.

Wie man erwarten konnte, entsprechen die Determinanten der Haushaltsfahrleistung weitgehend den Faktoren, welche die Fahrleistung auf der Fahrzeugebene erklären. Im Gegensatz zum Modell auf Fahrzeugebene ist hier noch der Raumstruktureffekt signifikant, allerdings nur insoweit als Haushalte, die in den Kerngebieten der Großstädte wohnen, eine *ceteris paribus* etwas geringere Pkw-Fahrleistung als die übrigen Haushalte aufweisen. In nachfolgender Tabelle sind die Schätz- und Testergebnisse für das Modell auf Haushaltsebene zusammengefasst:

Tabelle 7-11: Schätz- und Testergebnisse für das Modell mit zufälligen Effekten (Haushaltsebene)

Ergebnisse der Parameterschätzung				
Abhängige Variable: Pkw-Fahrleistung in km pro Haushalt und Tag (logarithmiert)				
Erklärende Variable	Parameter	Standardfehler	<i>t</i> -Wert	<i>p</i> -Wert
Niveaunkonstante	3,9406	0,9265	42,53	
Kraftstoffpreis (log.)	-0,5514	0,0930	-5,93	< 0,0001
Anzahl Pkw im Haushalt (log.)	1,0469	0,0461	16,33	< 0,0001
Pkw-Durchschnittsalter (log.)	-0,1011	0,0220	-4,60	< 0,0001
Haushaltstyp				
- 1-2 Pers. mit Berufstätigen	-0,0655	0,0608	-1,08	0,2819
- 1-2 Pers. ohne Berufstätige	-0,2457	0,0644	-3,82	0,0001
- 3+ Pers. mit Kindern u. 18	-0,0241	0,0616	-0,39	0,6960
- 3+ Pers. ohne Kinder	0	•	•	•
Anzahl Pkw mit Urlaubsfahrt im Berichtszeitraum				
- 0 Pkw	-0,2250	0,0262	-8,60	< 0,0001
- 1+ Pkw	0	•	•	•
Fuhrparkstruktur des Haushalts				
- kein Pkw über 1.600 ccm	-0,1309	0,0328	3,99	< 0,0001
- alle Pkw über 1.600 ccm	0	•	•	•
- übrige Haushalte	-0,0297	0,0550	-0,54	0,5890
Raumtyp				
- über 100.000 Einw., Kern	-0,1185	0,0618	-1,92	0,0553
- über 100.000 Einw., Rand	-0,0538	0,0707	-0,76	0,4465
- 20.000 – 100.000 Einw.	-0,0567	0,0726	-0,78	0,4351
- 5.000 – 20.000 Einw.	0,0331	0,0702	0,47	0,6371
- unter 5.000 Einw.	0	•	•	•
Anzahl Beobachtungen: <i>n</i> = 1.490 (nur Wiederholer)				
Varianzkomponenten: haushaltsspezifisch 0,1599; Rest 0,1154 (jeweils <i>p</i> < 0,0001)				

Für die Kraftstoffpreiselastizität der Haushaltsnachfrage nach Pkw-Fahrleistungen ergibt sich die Schätzung

$$\eta = -0,551$$

mit einem geschätzten Standardfehler von 0,093. Wechselwirkungen sind auch hier nicht signifikant.

Für die Kraftstoffpreiselastizität ergibt sich bei der Analyse auf Haushaltsebene ein 95-Prozent-Konfidenzintervall von

–0,733 bis –0,369,

d.h. eine Überlappung mit dem entsprechenden Intervall gemäß Analyse auf Fahrzeugebene. Im Folgenden wird von den Ergebnissen des Modells auf Fahrzeugebene ausgegangen, da dort wegen des stärker disaggregierten Niveaus der Daten eine insgesamt realitätsnähere Spezifikation der Modellvariablen vorliegt.

7.6 Zur Problematik des Fehlens von Einkommens- und Vermögensangaben im Mobilitätspanel

In der Wirtschaftstheorie sind die Preise der Güter und das Einkommen der Haushalte die zentralen Bestimmungsfaktoren der Nachfrage. Wenn in einem Nachfragemodell die Erklärungsvariable Einkommen fehlt, weil sie nicht erhoben wurde (wie dies im Mobilitätspanel der Fall ist) oder nicht erhoben werden konnte, so kann diese fehlende Variable zu Verzerrungen bei der Schätzung der Preiselastizität führen. Wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen, ist die Gefahr der Verzerrung im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch als gering einzustufen.

7.6.1 Berücksichtigung der fehlenden Einkommensvariablen in den individuenspezifischen Effekten der Panelmodelle

Wenn man davon ausgeht, dass über den Zeitraum der Panelzugehörigkeit von zwei bis drei Jahren die Einkommens- und Vermögenslage der meisten Haushalte in der Stichprobe weitgehend stabil ist, so fehlt in den Regressionsmodellen also eine Variable, die im Wesentlichen individuenspezifisch (und nicht zugleich auch noch zeitabhängig) ist. Hier kommen nun gerade die Vorzüge von Paneldaten und Panelmodellen zum Tragen: Der Einfluss des Einkommens und Vermögens auf die Pkw-Fahrleistungen ist in den individuenspezifischen festen Effekten α_i bzw. zufälligen Effekten λ_i der Panelmodelle enthalten. Insoweit ist bei der Schätzung des Regressionskoeffizienten β des Faktors Kraftstoffpreis, der im loglinearen Modell ja gleich der Preiselastizität ist, das Wirken des Faktors Einkommen/Vermögen schon berücksichtigt.

7.6.2 Sensitivitätsrechnungen unter Einbeziehung einer künstlichen Einkommensvariablen

Einen weiteren Hinweis darauf, dass das Problem der fehlenden Einkommensvariablen wohl nicht zu gravierend ist, liefert die statistisch-ökonomische Theorie: Die Schätzung des Parameters einer Variablen x_1 hängt nach dem Satz über orthogonal partitionierte Regression (vgl. GREENE (2000), S. 232ff) dann nicht von einer weiteren Variablen x_2 ab, wenn die beiden Variablen voneinander unabhängig (orthogonal) sind. Die Schätzung der Preiselastizität in einem Modell ohne Einkommensvariable wäre demnach dieselbe wie in einem Modell mit Einkommensvariable, wenn die Merkmale gezahlter Kraftstoffpreis und Einkommen voneinander unabhängig sind.

Auf den ersten Blick gibt es keinen Grund zu der Annahme, dass die Merkmale Haushaltseinkommen und gezahlter Kraftstoffpreis voneinander abhängig sein könnten, da die Angebotspreise der Kraftstoffanbieter ja für alle Nachfrager - unabhängig von deren Einkommen - gelten. Nun ist es aber so, dass Haushalte mit höherem Einkommen häufiger als diejenigen mit niedrigem Einkommen Dieselfahrzeuge besitzen. Wegen des Preisunterschieds zwischen Diesel- und Vergaserkraftstoff, der bei ca. 20 Cent pro Liter liegt, könnte es demnach doch eine negative Korrelation zwischen Einkommen und gezahltem Kraftstoffpreis geben. Um dies im Hinblick auf die Elastizitätsschätzung untersuchen zu können, wurde jedem Haushalt aus der Tankbucherhebung ein hypothetischer Einkommenswert zugeordnet (sog. „Imputation“ von Einkommensdaten).

Aus den Daten der Erhebung „Mobilität in Deutschland“ (MiD 2002) kann die Verteilung der Haushalte nach dem Haushaltsnettoeinkommen (8 Klassen) ermittelt werden. Die Ermittlung dieser Häufigkeitsverteilung ist nicht nur für die Haushalte insgesamt, sondern auch für Teilgruppen von Haushalten möglich. Für die Zwecke der vorliegenden Studie erstellte das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) im Rahmen einer MiD-Sonderauswertung die oben genannte Nettoeinkommensverteilung für insgesamt sechs Teilgruppen von Haushalten, die nach der Zahl der Pkw insgesamt (1, 2, 3+) und der Zahl der darunter befindlichen Dieselpkw (0, 1+) gebildet wurden. Analog zur MiD-Stichprobe wurden auch die Haushalte der Tankbucherhebung in sechs Teilgruppen untergliedert. Jedem Tankbuch-Haushalt wurde dann entsprechend seiner Gruppenzugehörigkeit nach einem reinen Zufallsverfahren (Monte-Carlo-Simulation) ein Einkommenswert zugeordnet.

Durch dieses Verfahren wurden die Tankbuchdaten künstlich um eine Einkommensvariable angereichert und zwar so, dass die Einkommensverteilung innerhalb jeder Teilgruppe von

Tankbuch-Haushalten der Verteilung entspricht, die für die betreffende Gruppe aus den MiD-Daten ermittelt worden war.

Nach Einfügung der künstlichen Einkommensvariablen in den Tankbuchdatenbestand wurde das in Tabelle 7-10 beschriebene Regressionsmodell für die Fahrleistung von Pkw aus Privathaushalten um die genannte Einkommensvariable erweitert und neu geschätzt. Als Schätzwert für die Kraftstoffpreiselastizität ergab sich ein Wert von $-0,338$. Der Unterschied zur Elastizität von $-0,336$ für den Fall ohne Einkommensvariable ist also zu vernachlässigen. Aus dem Ergebnis dieser ergänzenden Betrachtungen kann man die Schlussfolgerung ableiten, dass die Korrelation zwischen Haushaltsnettoeinkommen und gezahltem Kraftstoffpreis nicht so stark ist, dass durch das Fehlen der Einkommensvariablen in den Daten des Mobilitätspanels die Schätzung der Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage gravierend verzerrt sein könnte.

7.6.3 Sensitivitätsrechnungen unter Verwendung einkommensbereinigter Kraftstoffpreise

Von 1998 bis 2002 stieg in der Bundesrepublik Deutschland das verfügbare Einkommen je Einwohner um rund 12 %. Unter Verwendung jährlicher Zuwachsraten des verfügbaren Pro-Kopf-Einkommens wurden die von den Panelhaushalten berichteten nominalen Kraftstoffpreise um den Einkommenseffekt bereinigt. Dadurch steigt im genannten Zeitraum das korrigierte Kraftstoffpreisniveau z.B. bei Vergaserkraftstoff von 80,3 Cent/Liter nicht auf 104,8, sondern lediglich auf 93,3 Cent/Liter.

Auf die Punktschätzung der Kraftstoffpreiselastizität wirkt sich dies praktisch nicht aus. Man erhält beim Modell auf Fahrzeugebene mit zufälligen Effekten statt $-0,336$ den Elastizitätsschätzwert $-0,323$. Bei Verwendung der korrigierten Kraftstoffpreise nimmt wegen des engeren Wertebereichs der Preisvariablen allerdings der Standardfehler der Schätzung auf 0,1894 zu, so dass das 95-Prozent-Konfidenzintervall jetzt den Nullpunkt überdeckt. Die korrigierte Kraftstoffpreisvariable ist nur noch auf dem Niveau 8,9 % signifikant. Insgesamt liefert aber auch diese Rechnung keine Hinweise auf Verzerrungen wegen fehlender Einkommensangaben. Eher macht sie deutlich, mit welchen stichprobenbedingten Unsicherheiten die hier durchgeführten Elastizitätsschätzungen behaftet sind.

8 Mikroanalysen zum Einfluss der Kraftstoffpreise auf das individuelle Mobilitätsverhalten

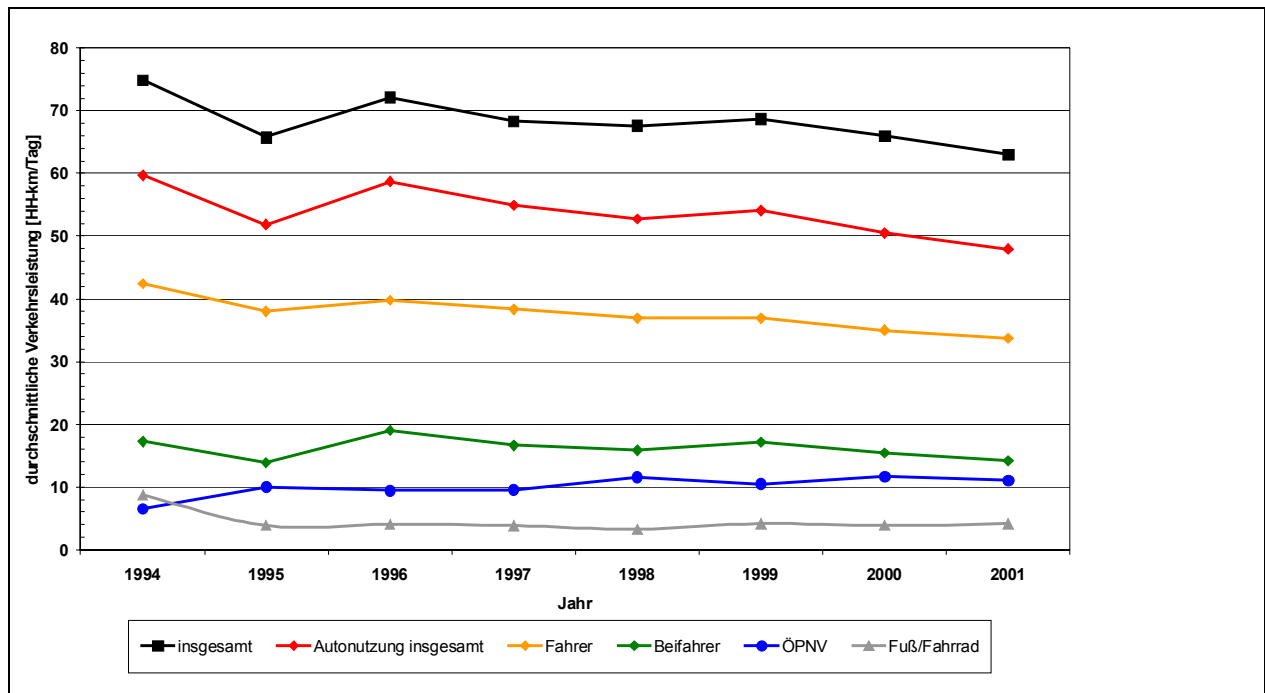
8.1 Entwicklung der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen von Personen im Zeitraum 1995-2002

8.1.1 Gesamtbetrachtung

Die Verkehrsleistungen auf Haushaltsebene aus der Wegetagebucherhebung sind für die verschiedenen Verkehrsmittel in Abbildung 8-1 dargestellt. Die Ergebnisse wurden hochgerechnet auf die Bevölkerung in den alten Bundesländern zwischen 1994 und 1998 und ab 1999 bezogen auf die Bevölkerung der gesamten Bundesrepublik⁴⁰. Insbesondere in den Jahren 1994 und 1995 sind große Abweichungen zu den anderen Jahren zu erkennen, was sicherlich noch auf die Einführungsphase des Mobilitätspanels zurückzuführen ist.

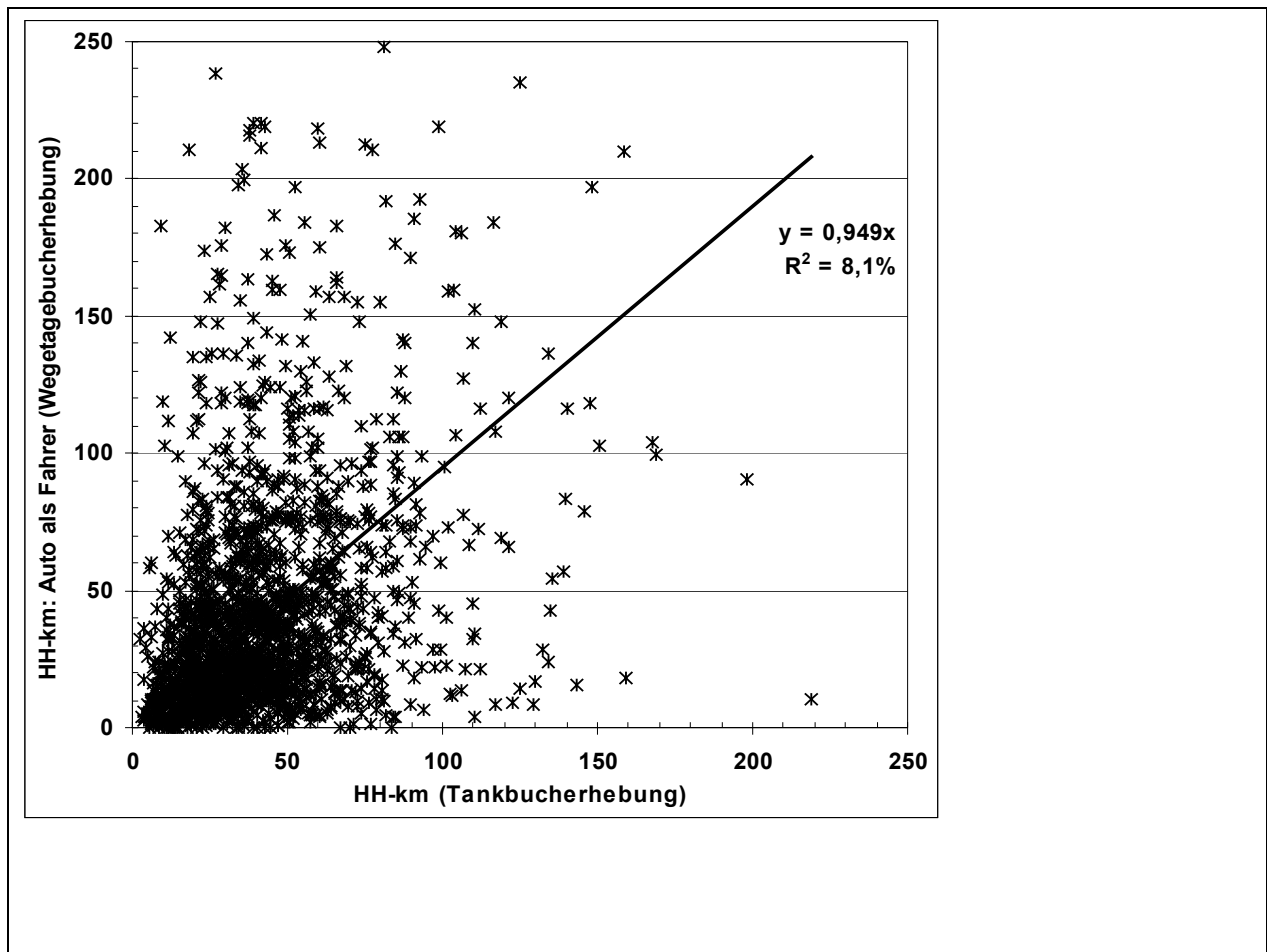
⁴⁰ Zur Hochrechnung auf die gesamte Bevölkerung der Bundesrepublik wurde ein kombinierter Gewichtungsfaktor verwendet. Dieser Gewichtungsfaktor wurde in Abhängigkeit des Verdichtungsraums, der Haushaltsgröße und des Pkw-Besitzes des Haushaltes errechnet. (Datensatzbeschreibung zum Panel).

Abbildung 8-1: Verkehrsleistung der Haushalte (Haushalts-km pro Tag) für unterschiedliche Verkehrsmittel



Vergleicht man die gefahrenen Pkw-Kilometer der Haushalte aus der Tankbuchehebung mit der Verkehrsleistung der Haushalte (Pkw-Nutzung als Fahrer) aus der Wegetagebuchehebung des Mobilitätspanels, zeigt sich eine starke Streuung um die Diagonale (Abbildung 8-2).

Abbildung 8-2: Vergleich der Verkehrsleistung der Haushalte aus der Tankbucheherhebung und der Wegetagebucheherhebung (Autobenutzung als Fahrer)



Befunde auf der Personenebene

Die folgenden Mobilitätsanalysen beziehen sich auf die Personenebene. Die Verkehrsleistung pro Person, Verkehrsmittel und Tag ist in Abbildung 8-3 dargestellt. Über alle Verkehrsmittel betrachtet bleibt die Verkehrsleistung nahezu konstant.

Abbildung 8-4 zeigt den verkehrsleistungsbezogenen Modal Split. Es ist ein leichter Rückgang der Verkehrsleistung für den MIV und ein leichter Anstieg der ÖPNV-Verkehrsleistung festzustellen. Dies führt zu einer Veränderung des Modal Split zugunsten des ÖPNV. Der Rückgang der Verkehrsleistung des MIV verteilt sich gleichermaßen auf Rückgänge der Einzelverkehrsleistung der Fahrer und Mitfahrer. Daher bleibt der errechnete Pkw-Besetzungsgrad (Abbildung 8-5) über die Jahre hinweg annähernd konstant. Die Verkehrsbeteiligungsarten zu Fuß/Fahrrad bewegen sich ebenfalls auf einem nahezu konstanten Niveau.

Abbildung 8-3: Entwicklung der Verkehrsleistung (Pkm/Tag) für unterschiedliche Verkehrsmittel (MOP)

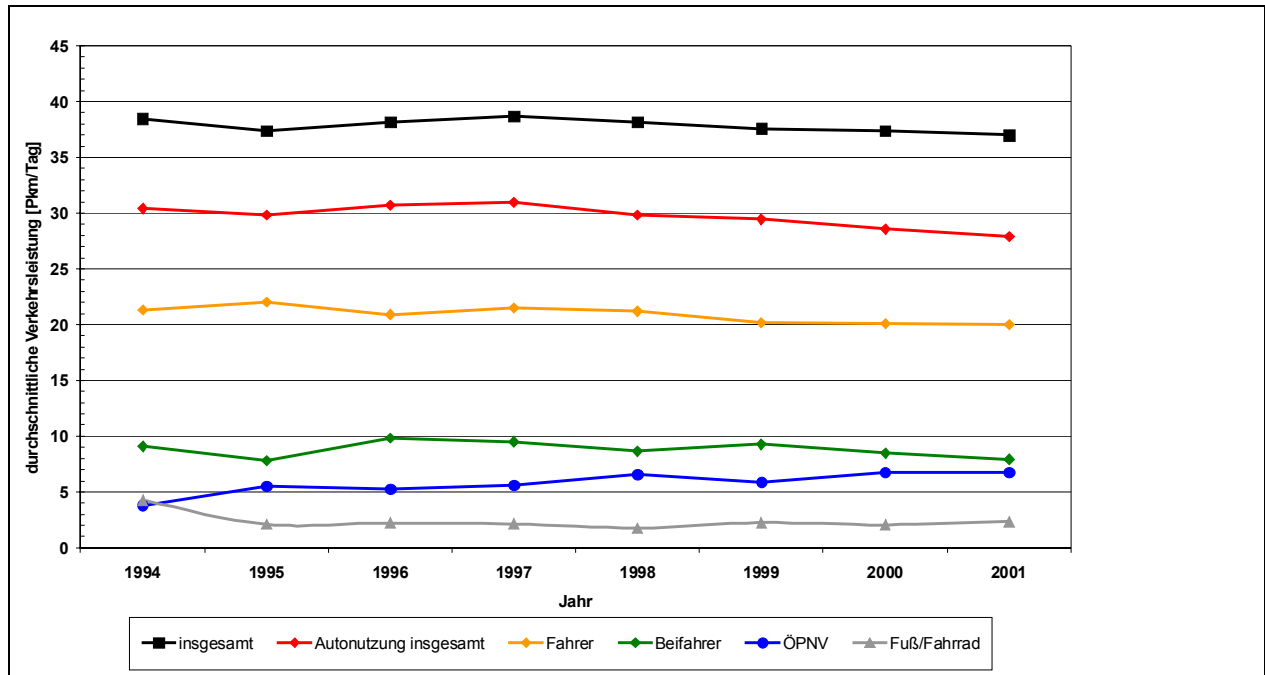


Abbildung 8-4: Entwicklung des Modal Splits (MOP)

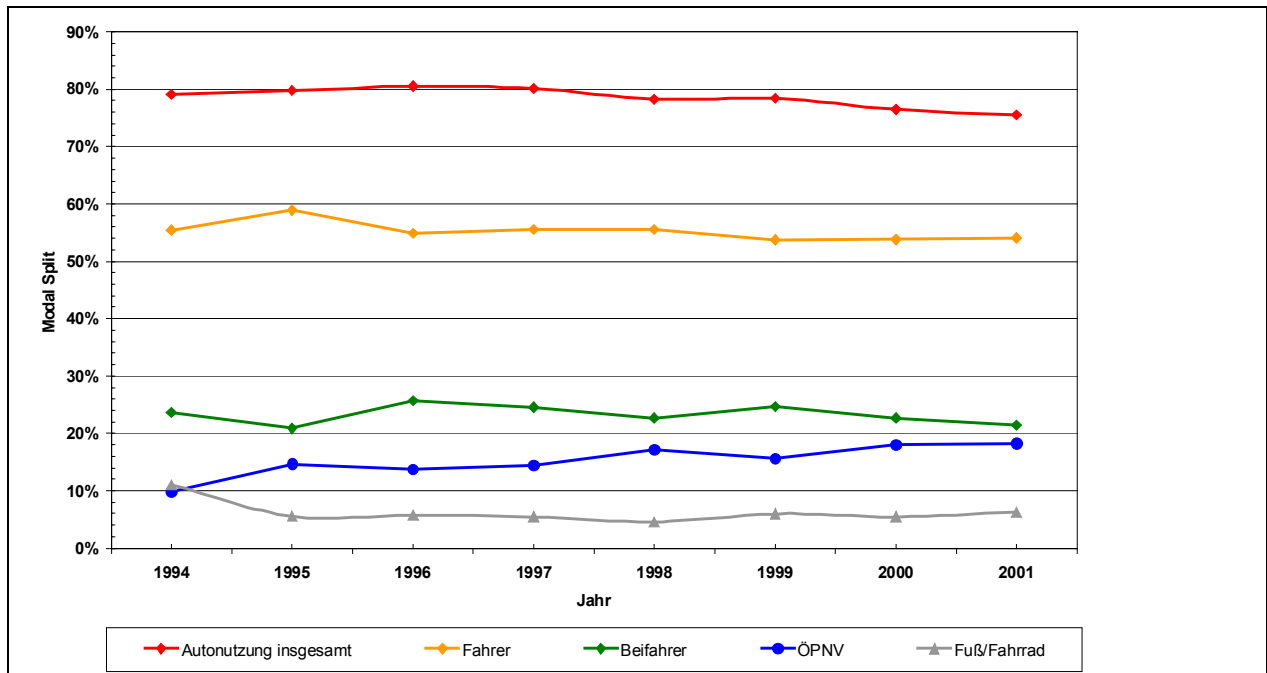
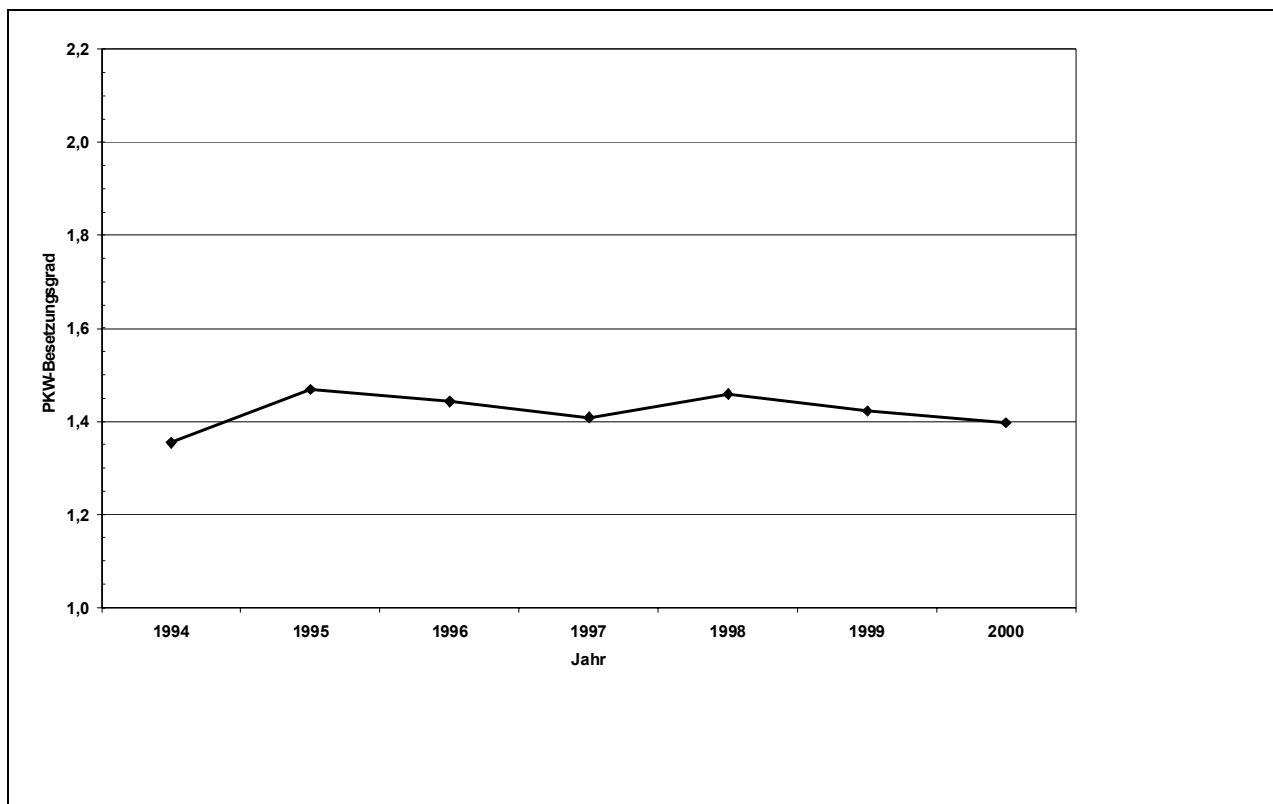


Abbildung 8-5: Entwicklung des errechneten Pkw-Besetzungsgrads (MOP)

8.1.2 Geschlechtsspezifische sowie haushalts- und raumtypspezifische Betrachtungen

Die tägliche Verkehrsleistung pro Person ist untergliedert nach Geschlecht in Abbildung 8-6 dargestellt. Insgesamt gesehen kann man einen gewissen Rückgang der Autonutzung insgesamt bei Frauen ab dem Jahr 1997 erkennen. Zeitgleich dazu steigt die ÖPNV-Verkehrsleistung der Frauen leicht an. Bei Männern ist ein vergleichbares Verhalten nicht zu beobachten. Ob dies auf Veränderungen in den Kostenstrukturen der Mobilität zurückzuführen ist, wird im Folgenden untersucht.

Die geschlechtsspezifischen Unterschiede in den Verkehrsleistungen zeigen sich selbstverständlich in entsprechenden Unterschieden im verkehrsleistungsbezogenen Modal Split (Abbildung 8-7). Während bei Männern seit 1994 fast unverändert rd. 80 % der Verkehrsleistung mit dem Pkw erbracht wird, ging seit dem Jahr 1997 der Pkw-Verkehrsleistungsanteil bei Frauen kontinuierlich von 80 % auf rd. 70 % im Jahr 2001 zurück. Verbunden damit hat die ÖPNV-Verkehrsleistung der Frauen um rd. 10 % zugenommen. Erstaunlich ist, dass auch der Mitfahreranteil der Frauen seit 1996 um ca. 5 % zurückging.

Abbildung 8-6: Verkehrsmittelspezifische Verkehrsleistungen (Pkm/Tag) von Männern und Frauen

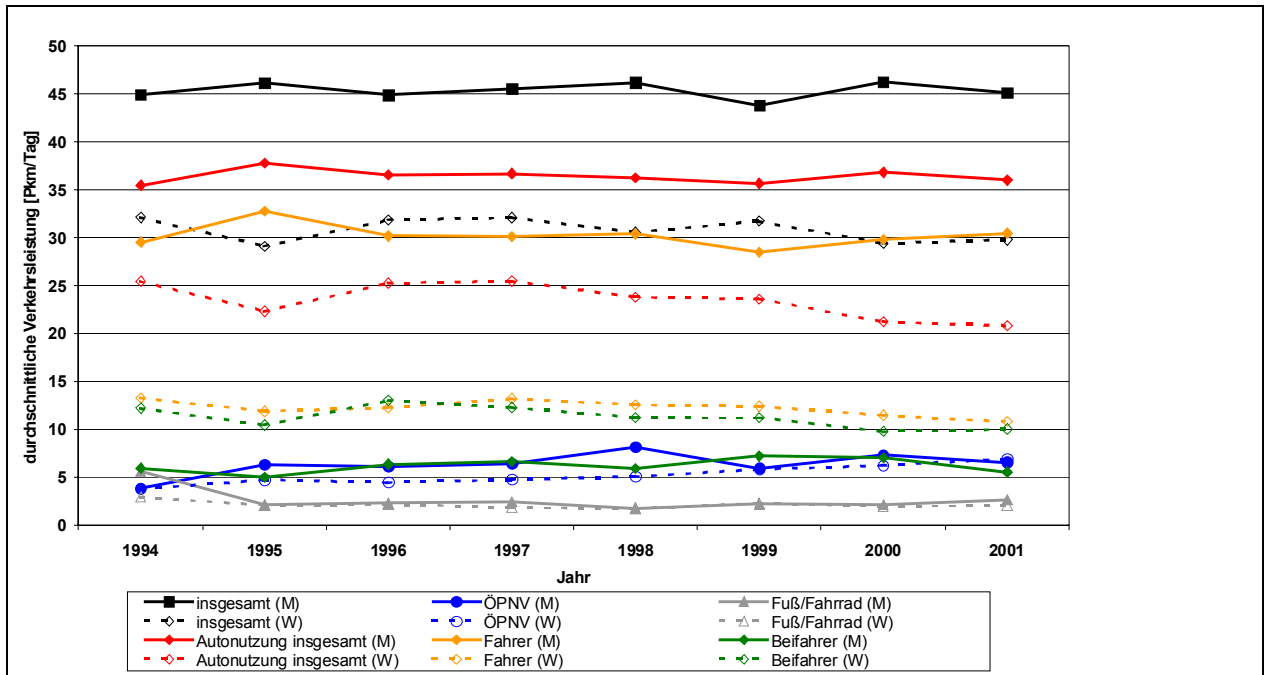


Abbildung 8-7: Entwicklung des Modal Splits für Männer und Frauen

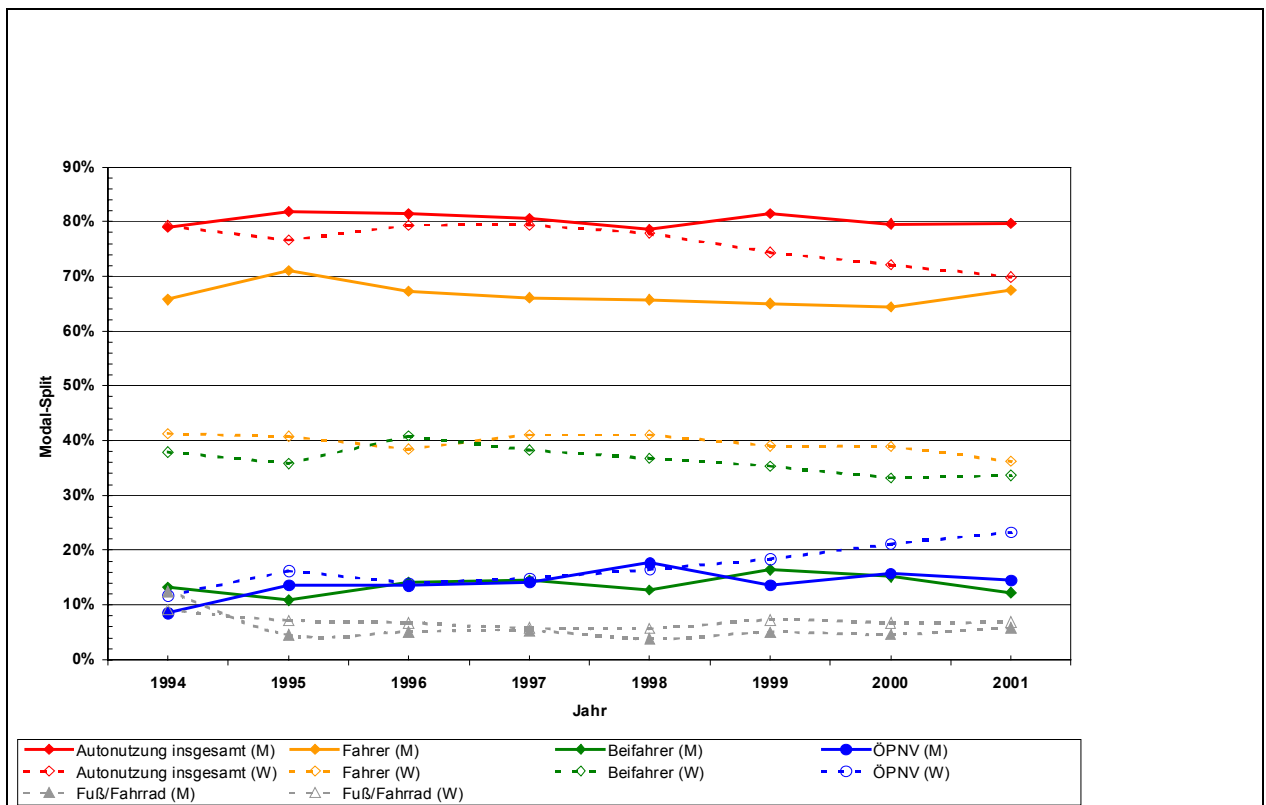
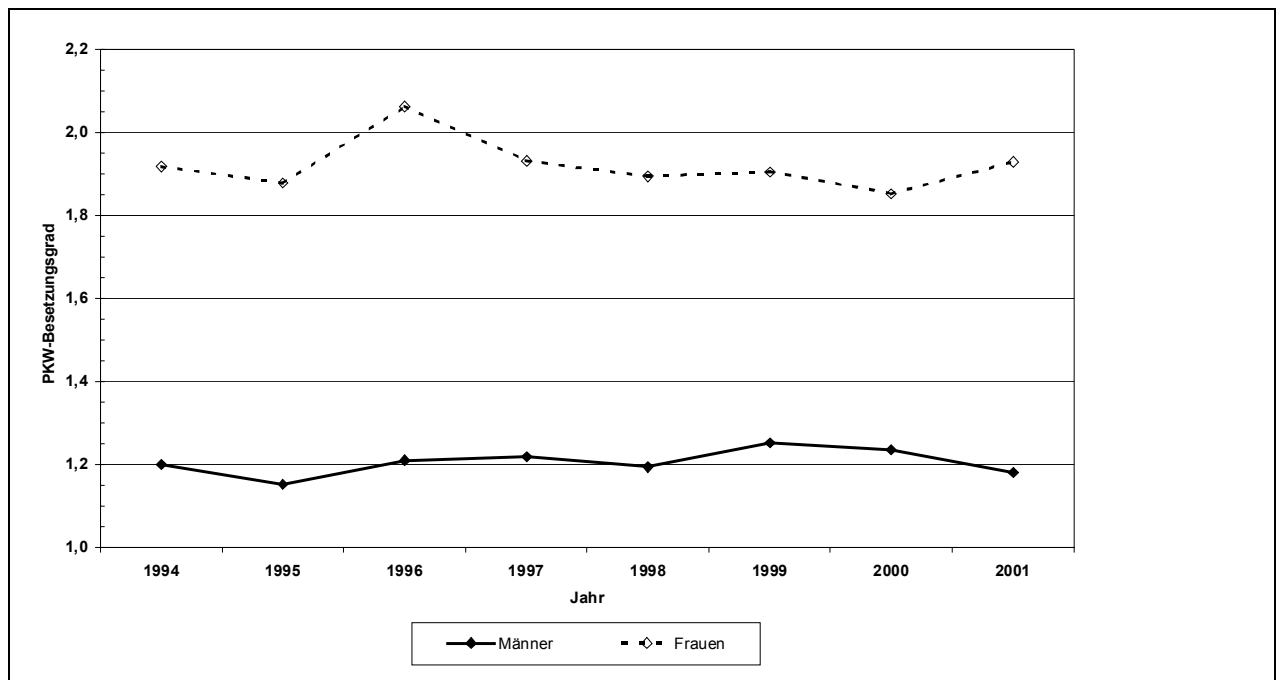


Abbildung 8-8: Entwicklung des errechneten Pkw-Besetzungsgrads für Männer und Frauen



Der über das Mobilitätspanel errechnete Pkw-Besetzungsgrad zeigt ebenfalls geschlechtsspezifische Unterschiede (Abbildung 8-8), die auf die teilweise sehr unterschiedlichen Nutzungsarten der Fahrzeuge zurückzuführen sind. So übernehmen in den Familien vielfach Frauen die Aufgabe, die Kinder oder auch Gruppen von Kindern und Jugendlichen an diverse Orte zur Ausübung ihrer Aktivitäten zu transportieren. Demgemäss ist der Besetzungsgrad der Pkw bei Frauen im Durchschnitt ca. 58 % höher als bei Männern.

Haushaltstypspezifische Unterschiede in der Verkehrsleistung

Es ist bekannt, dass das Mobilitätsverhalten stark vom Haushaltstyp geprägt wird. Die Verkehrsleistungen pro Person, Verkehrsmittel und Tag für die Haushaltstypen

- (HHTyp=1) Kleinhaushalt mit Berufstätigen (1-2 Personen)
- (HHTyp=2) Kleinhaushalt ohne Berufstätige (1-2 Personen, Rentner)
- (HHTyp=3) Haushalt mit Kindern unter 18 Jahren
- (HHTyp=4) Haushalt ohne Kinder, 3 und mehr Erwachsene

sind in der Abbildung 8-9 dargestellt.

Bei Kleinhaushalten (HHTyp=1 und HHTyp=2) ist die Verkehrsleistung pro Person wie zu erwarten am größten. Die gegenläufige zeitliche Entwicklung der Verkehrsleistungen der Haushaltstypen 1 und 2 deutet auf eine mögliche Korrelation mit der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung hin. Nach der Rezession im Jahr 1994 stieg bei den Kleinhaushalten mit Berufstätigen die Verkehrsleistung parallel zur wirtschaftlichen Entwicklung an und ging im Jahr 1998 wieder annähernd auf den Stand des Jahres 1994 zurück. Ab dem Jahr 1999 ist ein deutlicher Rückgang in der Pkw-Verkehrsleistung bei den Typen 1 und 4 zu verzeichnen, während die Pkw-Verkehrsleistung der Kleinhaushalte des Typs 2 (z.B. Rentner) deutlich zunimmt. Dies könnte so gedeutet werden, dass die Rentnerhaushalte weniger stark von den konjunkturellen Entwicklungen und den Kraftstoffpreisentwicklungen abhängig sind als die übrigen HHTypen. Bei Haushalten mit Kindern unter 18 Jahren ist die Pkw-Verkehrsleistung seit 1997 um ca. 24 % deutlich zurückgegangen und verbleibt seit dem Jahr 1999 auf einem annähernd konstanten Niveau. Dies deutet darauf hin, dass gerade diese Haushalte von Kostensteigerungen besonders betroffen sind.

Die ÖPNV-Verkehrsleistung nimmt lediglich beim Haushaltstyp 1 ab dem Jahr 2000 leicht ab, während sie für alle anderen Haushaltstypen eher konstant bleibt oder leicht zunimmt.

Abbildung 8-9: Entwicklung der Verkehrsleistung (Pkm/Tag) für unterschiedliche Haushaltstypen

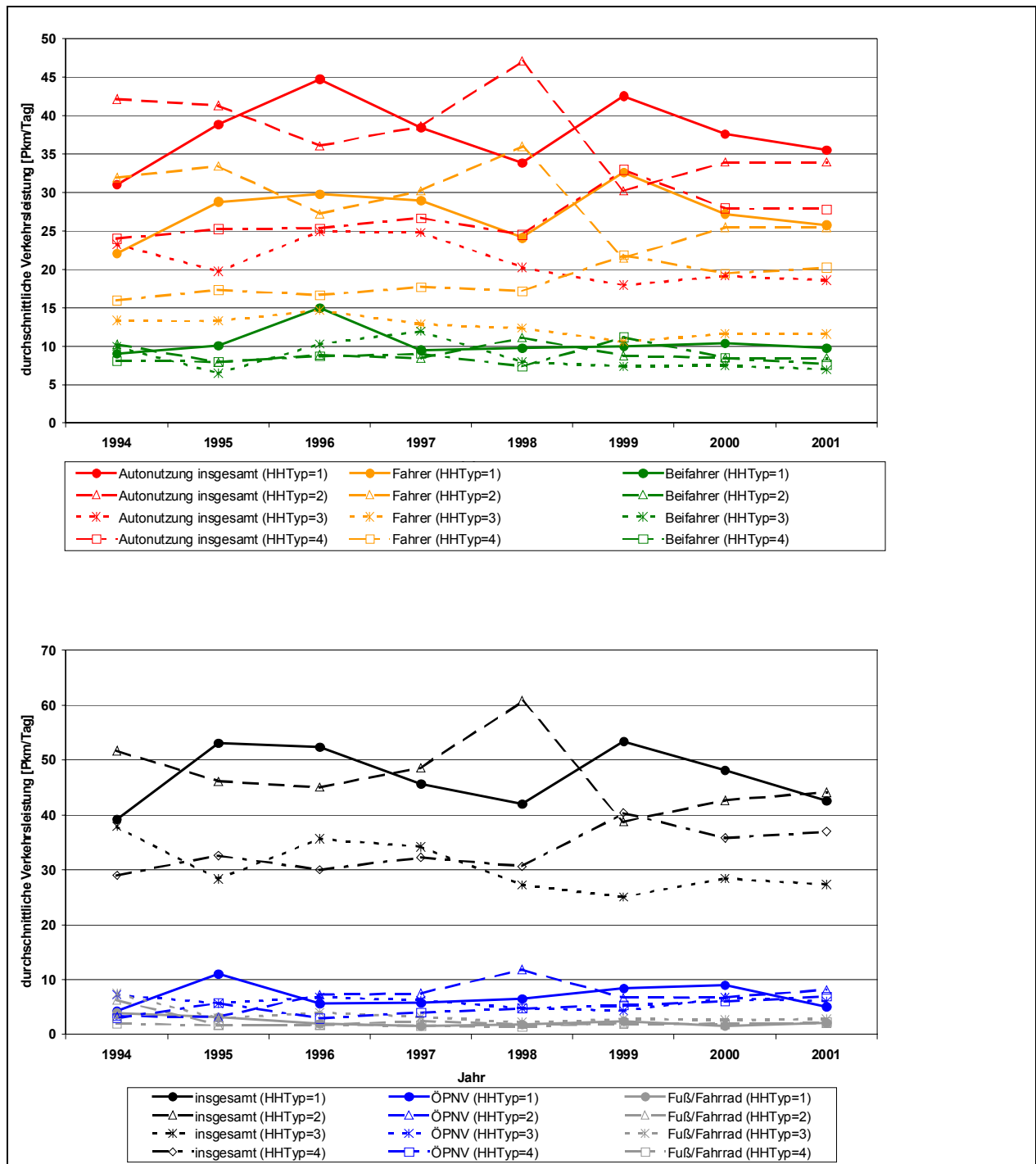


Abbildung 8-10 zeigt den verkehrsleistungsbezogenen Modal Split. Gerade bei Familien mit Kindern (HHTyp=3) ist der ÖPNV-Verkehrsleistungsanteil, ausgehend von einem über die Jahre konstanten Niveau von ca. 19 %, ab 1999 auf ca. 22 % gewachsen. Die Verkehrsleistung zu Fuß/Fahrrad blieb mit rd. 10 % konstant. Die Haushaltstypen 2, 3 und 4 zeigen dagegen eine

leichte Abnahme in ihren Pkw-Verkehrsleistungen. Anders verhält sich der Haushaltstyp 1, der nach einem langsamen Rückgang in der Pkw-Verkehrsleistung ab dem Jahr 1996 und einer gleichzeitigen langsamen Zunahme der ÖPNV-Verkehrsleistung mit dem Jahr 2000 eine Trendwende im Modal Split aufweist. Dies deutet darauf hin, dass diese Kleinhaushalte ohne Kinder weniger durch Kostenerhöhungen belastet werden als die anderen Haushaltstypen.

Abbildung 8-10: Entwicklung des Modal Split für unterschiedliche Haushaltstypen

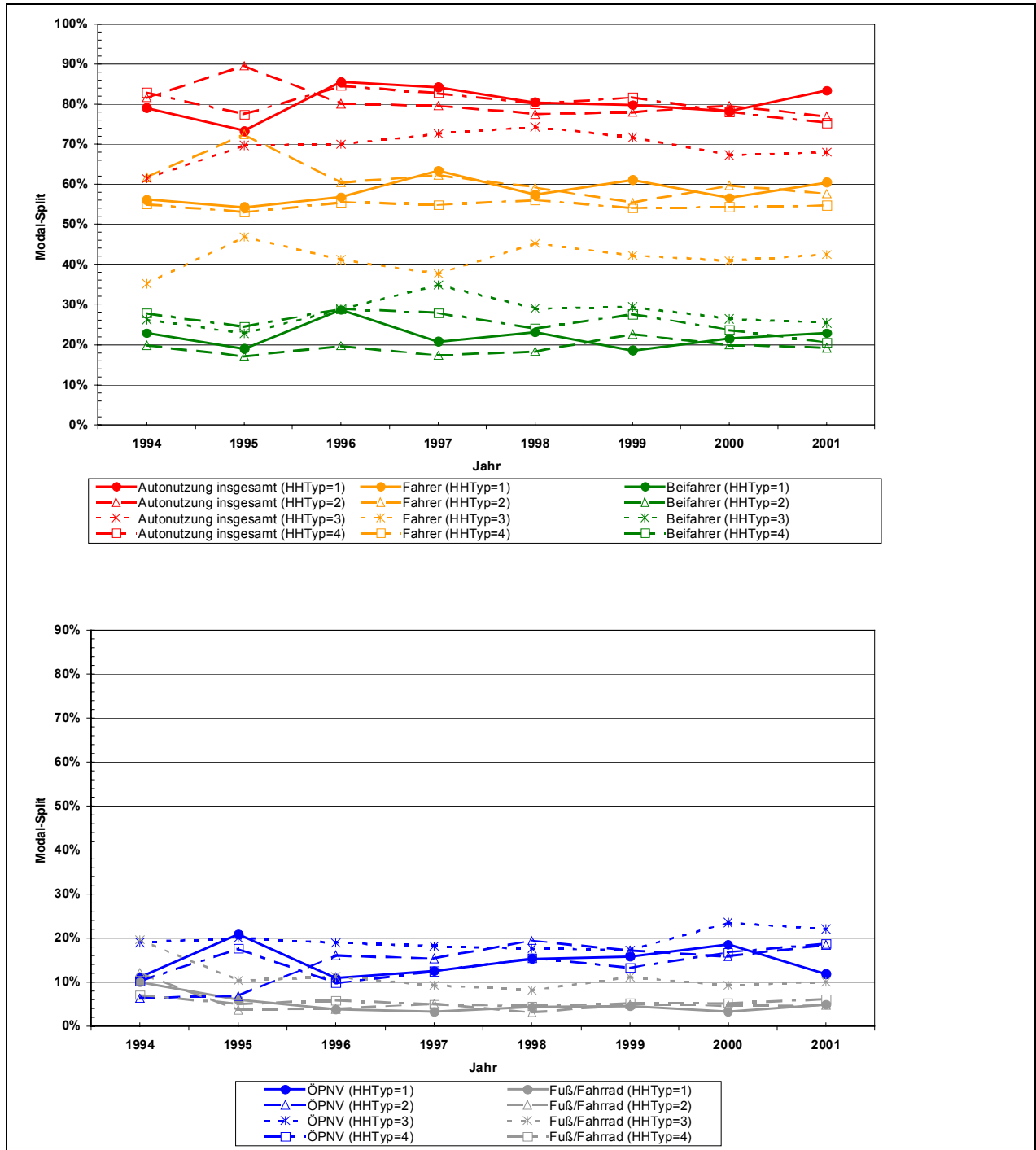
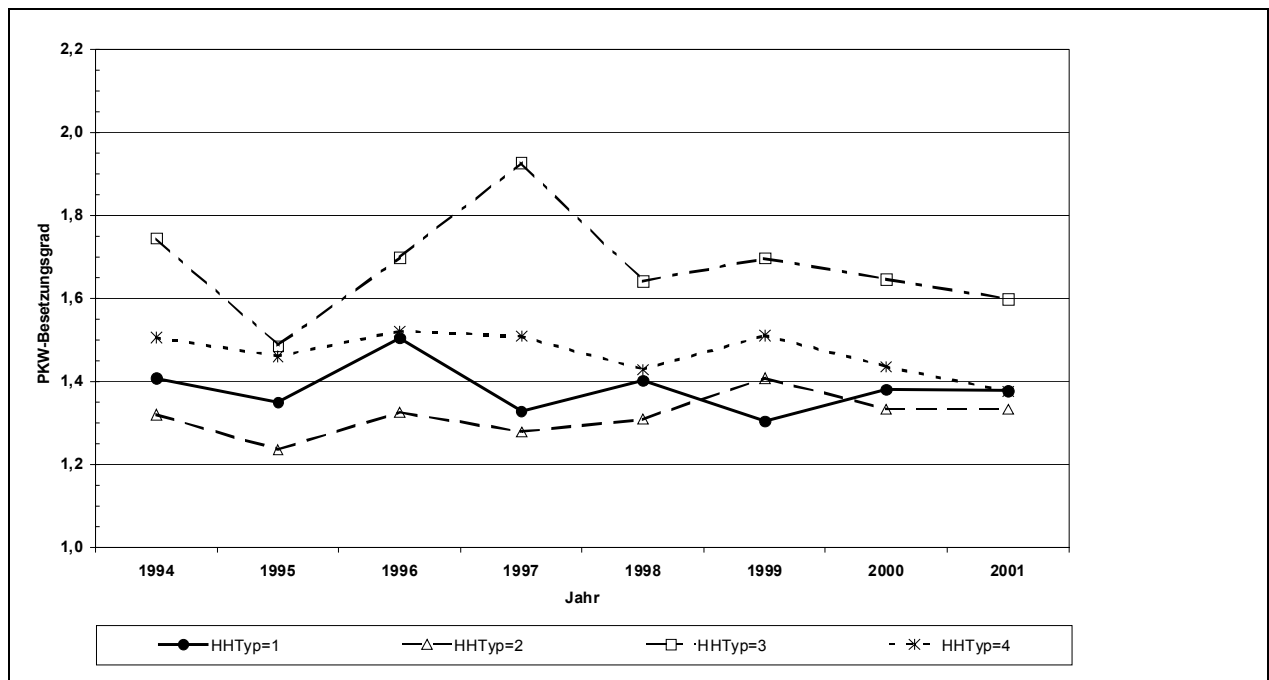


Abbildung 8-11: Darstellung des errechneten PKW-Besetzungsgrads (MOP) für unterschiedliche Haushaltstypen



Der über das Mobilitätspanel verkehrsleistungsbezogen berechnete Pkw-Besetzungsgrad ist in Abbildung 8-14 dargestellt. Unsicherheiten in den Einzelkomponenten aufgrund kleiner Fallzahlen wirken sich deutlich im zeitlichen Verlauf des Pkw-Besetzungsgrads aus. Insbesondere die zeitlichen Schwankungen bei den Haushaltstypen 1 und 3 dürften hieraus resultieren. Eine Trendbewertung ist deshalb relativ schwierig. Tendenziell sieht es aber danach aus, dass der Pkw-Besetzungsgrad bei Kleinhaushalten ohne Kinder zwischen 1994 und 2001 leicht abgenommen hat. Bei Haushalten mit Kindern (HHTyp=3) besteht ebenfalls eine leichte Tendenz in diese Richtung, während bei Haushalten mit mehreren Erwachsenen eher eine leichte Zunahme im Pkw-Besetzungsgrad zu verzeichnen ist.

Raumtypspezifische Unterschiede in der Verkehrsleistung

Die Verkehrsleistungen pro Person, Verkehrsmittel und Tag unterschieden nach den BIK-Raumtypen

- (RTyp=1) mehr als 100.000 Einwohner, Lage im Kern
- (RTyp=2) mehr als 100.000 Einwohner, Lage am Rand
- (RTyp=3) 20.000 - 100.000 Einwohner
- (RTyp=4) 5.000 - 20.000 Einwohner
- (RTyp=5) unter 5.000 Einwohner

sind in Abbildung 8-12 dargestellt. Abbildung 8-13 zeigt den verkehrsleistungsbezogenen Modal Split. Der errechnete Pkw-Besetzungsgrad ist in Abbildung 8-14 dargestellt. Insgesamt ist festzustellen, dass zumindest bis zum Jahr 1998 starke Schwankungen in den raumtypspezifischen Unterschieden der Verkehrsleistung festzustellen sind, die im geringen Datenumfang des MOP bei einzelnen Raumtypen begründet sein dürften. Eine Interpretation der zeitlichen Entwicklung dieser Verkehrsleistungen vor dem Jahr 1998 ist daher nicht angemessen. Die zeitliche Entwicklung der Verkehrsleistung nach 1998 zeigt deutliche raumtypspezifische Unterschiede, wobei eine nähere Betrachtung der zeitlichen Entwicklung aus den genannten Gründen entfällt.

Nach Abbildung 8-12 zeigt sich, dass die Autonutzung (Pkw-Verkehrsleistung) bei den Bewohnern des Zentrums einer Großstadt (RTyp=1) am geringsten ausfällt. Dies ist durch eine bessere ÖPNV-Versorgung begründet und passt zu der gegenüber anderen Raumtypen höheren ÖPNV-Verkehrsleistung. Am Rande einer Großstadt (RTyp=2) und im ländlichen Raum (RTyp=5) ist bei den betreffenden Einwohnern eine erheblich höhere Pkw-Verkehrsleistung festzustellen.

Abbildung 8-12: Entwicklung der Verkehrsleistung (Pkm/Tag) für unterschiedliche Raumtypen

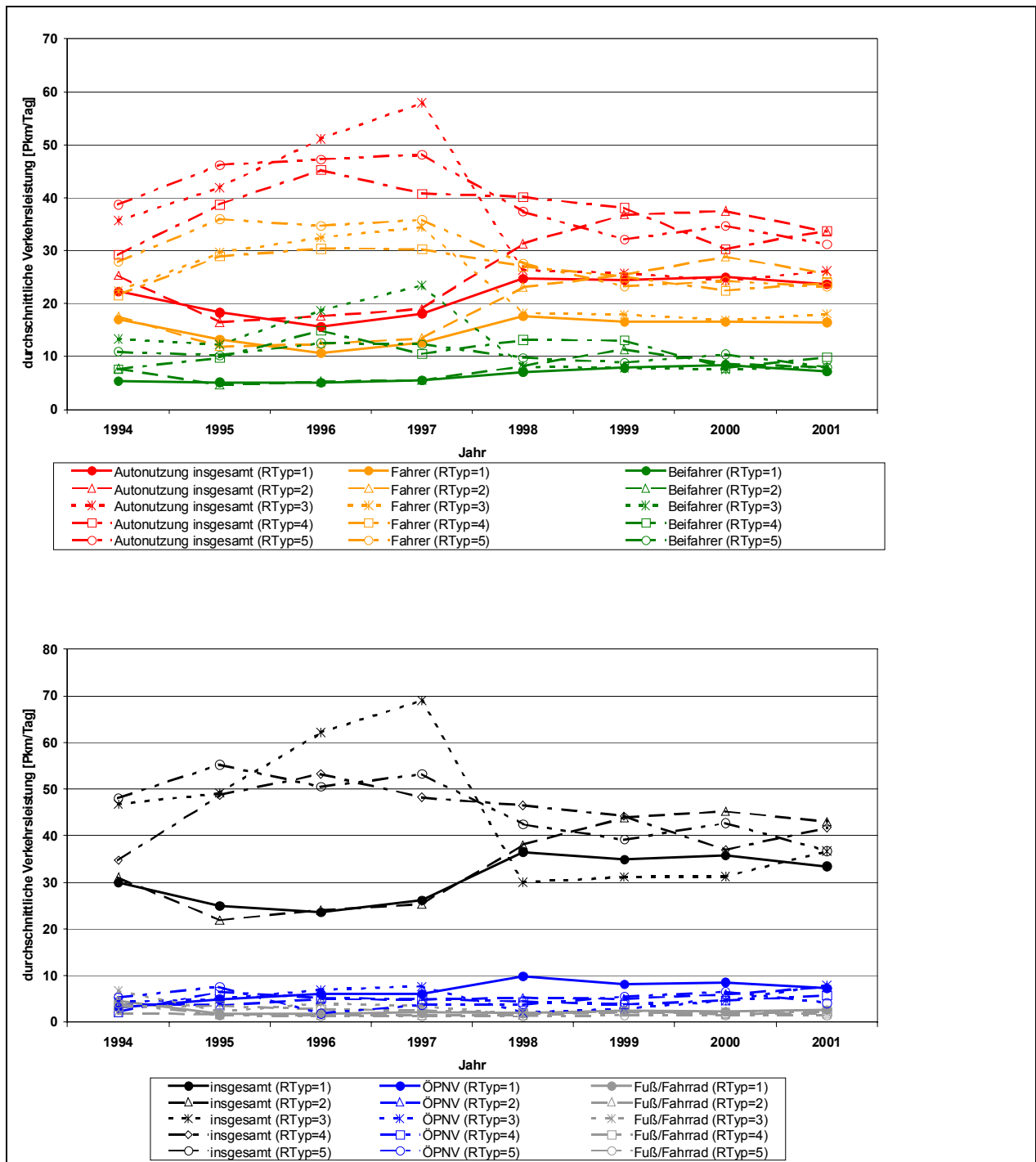


Abbildung 8-13: Entwicklung des Modal Splits für unterschiedliche Raumtypen

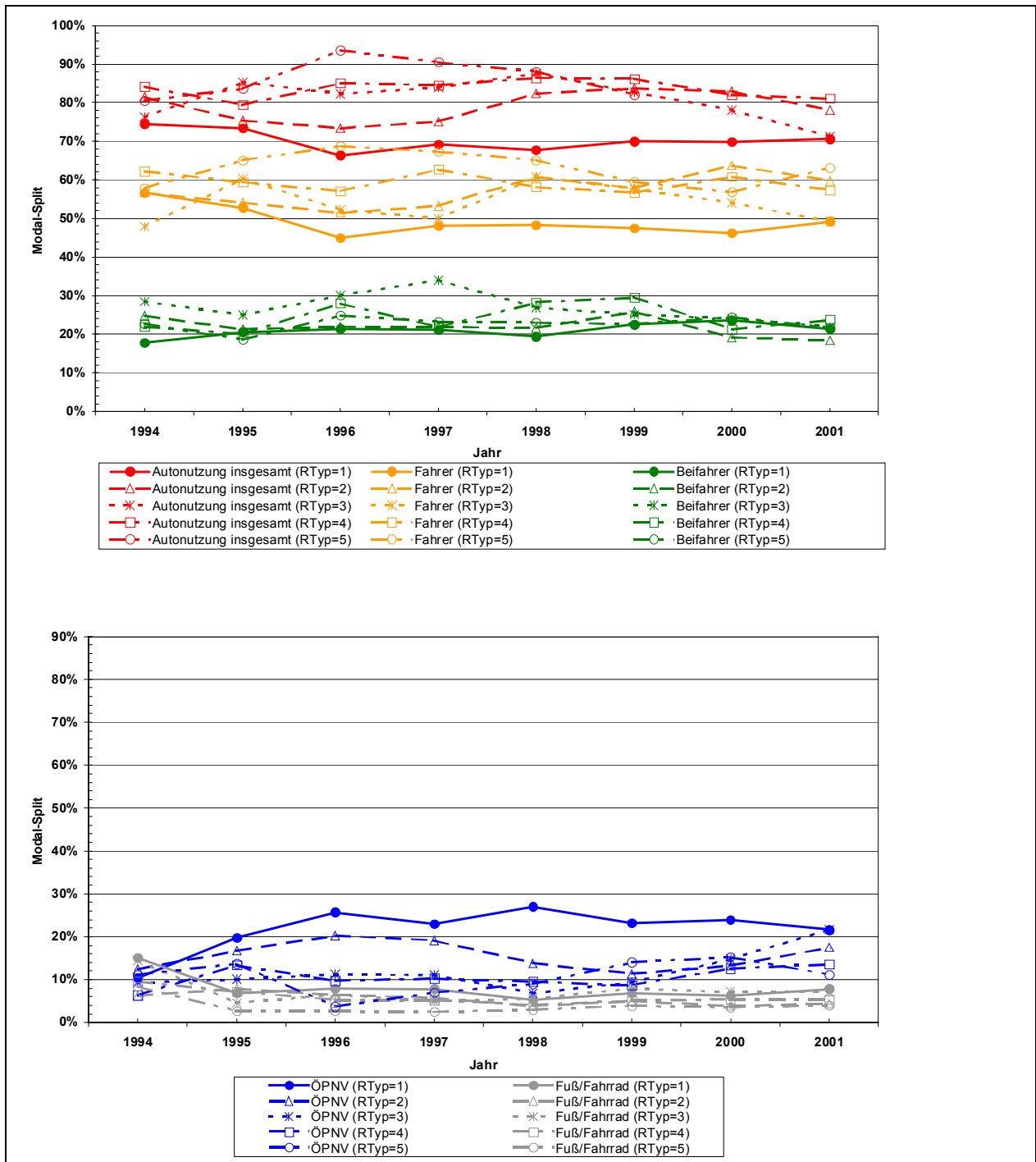
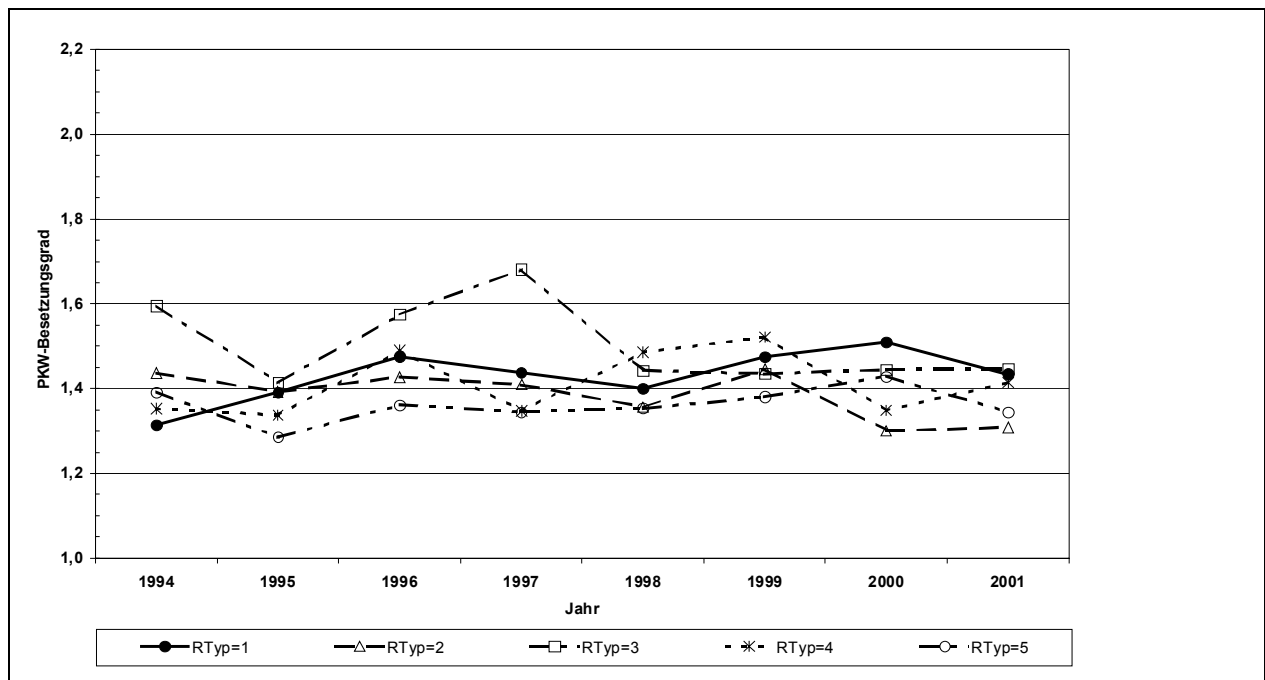


Abbildung 8-14: Entwicklung des errechneten Pkw-Besetzungsgrads für unterschiedliche Raumtypen



Bezüglich des Pkw-Besetzungsgrads können aus (Abbildung 8-14) keine raumtypspezifischen Entwicklungsunterschiede abgeleitet werden.

Die Befunde aus der Wegetagebuchehebung zeigen, dass auf der Personenebene sowohl geschlechtsspezifische und haushaltstypspezifische als auch in geringerem Maße raumtypische Unterschiede festzustellen sind. Das individuelle Mobilitätsverhalten der Personen wird jedoch durch eine Vielzahl weiterer Einflussgrößen mitbestimmt. Die Suche nach möglichst einfachen erklärungsrelevanten Ursache-Wirkungszusammenhängen ist ein wissenschaftliches Anliegen. Rückkopplungen, wie diese in sozio-ökonomischen Systemen immanent vorhanden sind, brechen jedoch die einfachen Ursache-Wirkungszusammenhänge auf. Die Erfassung derartiger Zusammenhänge in Modellen wird damit erschwert. Verhaltensbasierte Modellierungsansätze (WEIDLICH, HAAG 1983, HAAG 1989, WEIDLICH 2001) wie auch neuronale Netzwerke (HUGO 1997, HEIDEMANN et al 2000) können hier zumindest partiell weiterhelfen.

Die Analyse des Mobilitätsverhaltens auf Personenebene mittels eines neuronalen Netzwerks bietet sich hier an, da eine Vielzahl von Merkmalen auf der Personenebene und der Haushaltsebene als potenzielle erklärende Variable des Mobilitätsverhaltens direkt einbezogen werden können und die Selektion der relevanten Merkmale, bezogen auf eine bestimmte Analysevariable, aus einer Menge potenzieller Merkmale mittels Pruningverfahren weitgehend modellfrei erfolgen kann. Dies ist ein Vorteil neuronaler Netzwerke. Daher eignen sich

neuronale Netze sowohl zur Modellentwicklung als auch zur Hypothesenüberprüfung (adaptive modellfreie Funktionsschätzung (FISCHER 1992, FISCHER, LEUNG 2001)).

Ein Vorteil von Regressionsanalysen ist darin zu sehen, dass die interessierenden Elastizitäten meist einfach auf Basis der Regressionskoeffizienten zu gewinnen sind und wie auch die Modellgüte über statistische Tests abgesichert werden können. Neuronale Netzwerke erfordern demgegenüber ein anderes Vorgehen. So werden die „Elastizitäten“ grundsätzlich über Simulationen des Netzes gewonnen, wobei Änderungen im Mobilitätsverhalten der Personen auf vorgegebene Merkmalsänderungen unter Zugrundelegung der ermittelten Netzstruktur ermittelt werden. Die Netzarchitektur selbst ergibt sich aus einer Anpassung der Netzparameter an die empirischen Datensätze.

8.2 Ermittlung der Struktur des neuronalen Netzes zur Modellierung der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen von Personen

Grundlage für die durchgeführten Auswertungen zu Änderungen im Mobilitätsverhalten infolge veränderter Kraftstoffpreise sind die in ihrem Design hier näher erläuterten neuronalen Netzwerkarchitekturen. Die Analysen und Berechnungen der neuronalen Netzwerke werden mit Hilfe des Softwarepakets SNNS⁴¹ durchgeführt.

8.2.1 Spezifizierung der Output-, Input- und Hidden-Layer

Paneldaten haben gegenüber Querschnittsdaten den Vorteil, dass damit Verhaltensänderungen von Personen direkt erfasst und in ihrer zeitlichen Abfolge diese Verhaltensänderungen mit Merkmalsänderungen der Personen und externen Einflüssen, wie Änderungen des Kraftstoffpreises, in Zusammenhang gebracht werden können. Es ist davon auszugehen - und dies stellt eine grundlegende Hypothese in den Verkehrswissenschaften dar -, dass die Dynamik derartiger Veränderungen auf der Mikroebene, d.h. bei den einzelnen Personen, sich auch auf der Makroebene - beispielsweise in Änderungen der Verkehrsleistungen - zeigt.

Änderungen im Mobilitätsverhalten zeigen sich über Veränderungen in den Verkehrsleistungen auch im Modal Split. Die Analyse des Modal Split bildet den Schwerpunkt dieses Abschnitts. Es

⁴¹ SNNS: Abkürzung für Stuttgart Neural Network Simulator. Dieses Softwarepaket wurde an der Universität Stuttgart entwickelt, Universität Stuttgart, SNNS Version 4.2, Stuttgart, 2000.

ist hierbei jedoch nicht das Ziel, lediglich den „klassischen“ Modal Split zu betrachten, d.h. den Anteil des öffentlichen Verkehrs am Gesamtverkehr, sondern insbesondere auch die

- a) individuelle Verkehrsleistung: zu Fuß/Fahrrad
- b) individuelle Verkehrsleistung: Autonutzung als Fahrer⁴²
- c) individuelle Verkehrsleistung: Autonutzung als Mitfahrer
- d) individuelle Verkehrsleistung: ÖPNV

der jeweils im Mobilitätspanel berücksichtigten Personen mit zu erfassen und zu bewerten. Als Analysevariable werden daher die individuellen Verkehrsleistungen, gemessen in Personenkilometern [PKm], untersucht. Aus den Verkehrsleistungsanteilen a) bis d) und deren Veränderungen können sowohl die Veränderung des Modal Split,

$$\Delta \text{Modalsplit} = f(\text{Kraftstoffpreis}, \text{Merkmale des Haushalts}, \text{der Person}, \dots),$$

als auch der jeweilige Besetzungsgrad⁴³ der Personenkraftwagen

$$\left(\frac{\text{Fahrer} + \text{Mitfahrer}}{\text{Fahrer}} \right) = f(\text{Kraftstoffpreis}, \text{Merkmale des Haushalts}, \text{der Person}, \dots)$$

berechnet werden.

Output-Layer des neuronalen Netzes

Da für die Verkehrsmittel ÖPNV und zu Fuß/Fahrrad im Mobilitätspanel nur wenige Datensätze bislang zur Verfügung stehen, zeigten Pretests, dass es günstiger ist, auf die folgenden Outputvariablen überzugehen:

- (1) Autonutzung als Fahrer

⁴² Diese Outputvariable entspricht nicht der Pkw-Fahrleistung, da ein und das selbe Fahrzeug auch noch durch andere Haushaltsangehörige der betrachteten Person benutzt werden könnte. Nur in Einzelfällen stimmt diese Verkehrsleistung mit der Fahrleistung überein.

⁴³ Der aus dem Mobilitätspanel berechnete Pkw-Besetzungsgrad wird über die Verkehrsleistung der Fahrer und Mitfahrer ermittelt und weicht daher von dem über eine Fahrzeuginsassenzählungen je Fahrt ermittelten Pkw-Besetzungsgrad ab.

- (2) Autonutzung insgesamt (als Fahrer und Mitfahrer)
- (3) Autonutzung insgesamt + ÖPNV
- (4) Autonutzung insgesamt + ÖPNV + zu Fuß/Fahrrad

Über Differenzbildung lassen sich die Verkehrsleistungen der einzelnen Verkehrsmittel a) – d) errechnen.

Input-Layer des neuronalen Netzes

Als mögliche Einflussvariable wurden einzelne Merkmale aus der Haushalts-, Personen- und Tankbuchdatei ausgewählt, wobei auch die Ergebnisse der Makroanalyse bezüglich möglicher Einflussgrößen mitverwendet wurden.

Die einzelnen potenziellen Einflussvariablen (Inputvariable) sind in Tabelle 8-1 mit einer Kurzbeschreibung aufgeführt. Der Variablentyp gibt an, ob die entsprechende Inputvariable als Real- oder Binär-Variable (0/1-Variable) in den Netzaufbau eingeht.

Tabelle 8-1: Inputvariable des neuronalen Netzes (Input-Layer)

Neuron	Variable	Beschreibung	Ausprägung	Typ
1	LAGE	Lage des HH (Selbsteinschätzung)	Lageziffer: 1 – 6, 9	real
2	RAUMTYP	Raumtyp des HH nach BIK (zusammengefasst)	Raumziffer: 1-5:	real
3	HHTYP_1	Haushaltstyp	Kleinhaushalt mit Berufstätigen (1-2 Personen)	binär
4	HHTYP_2	Haushaltstyp	Kleinhaushalt ohne Berufstätige (1-2 Personen, Rentner)	binär
5	HHTYP_3	Haushaltstyp	Haushalt mit Kindern	binär
6	HH_GRO	Haushaltsgröße	Anzahl Personen	real
7	PKWHH	Anzahl der im HH vorhandener Pkw	Anzahl Pkw	real
8	HALTBUS	Bushaltestelle zu Fuß zu erreichen	ja / keine Angabe	binär
9	HALTZUG	Bahnhof zu Fuß zu erreichen	ja / keine Angabe	binär
10	HALTÖV	sonstige ÖPNV-Haltestellen zu Fuß zu erreichen	ja / keine Angabe	binär
11	OEFFZUF	Zufriedenheit mit der Anbindung öffentlicher Verkehrsmittel	ja / nein / keine Angabe	real
12	EINK1	Einkaufsmöglichkeiten für den täglichen Bedarf (z.B. Lebensmittel)	in Umgebung vorhanden / nicht vorhanden	binär
13	EINK2	Einkaufsmöglichkeiten für andere Dinge (z.B. Kleidung)	in Umgebung vorhanden / nicht vorhanden	binär
14	KINO	Kino / Theater oder ähnliches	in Umgebung vorhanden / nicht vorhanden	binär
15	KNEIPE	Kneipe / Cafe oder ähnliches	in Umgebung vorhanden / nicht vorhanden	binär
16	SPORT	Sportstätten oder ähnliches	in Umgebung vorhanden / nicht vorhanden	binär
17	PREIS	Mittlerer Kraftstoffpreis im Herbst	EURO / Liter	real
18	VERB_100	Mittlerer Kraftstoffverbrauch der Pkw-Flotte des HH	Liter / 100 km	real
19	SEX	Geschlecht	männlich / weiblich	binär
20	SCHULAB	Höchster Schulabschluss	Abitur / Realschule / Hauptschule	real
21	BERUF_1	Angabe zur Berufstätigkeit	voll berufstätig: ja / nein	binär
22	BERUF_2	Angabe zur Berufstätigkeit	Teilzeitbeschäftigt: ja / nein	binär
23	BERUF_3	Angabe zur Berufstätigkeit	zur Zeit arbeitslos: ja / nein	binär
24	BERUF_4	Angabe zur Berufstätigkeit	in der Schule / Hochschule: ja / nein	binär
25	BERUF_5	Angabe zur Berufstätigkeit	in der Berufsausbildung / Lehre: ja / nein	binär
26	BERUF_6	Angabe zur Berufstätigkeit	Hausfrau: ja / nein	binär
27	BERUF_7	Angabe zur Berufstätigkeit	Rentner: ja / nein	binär

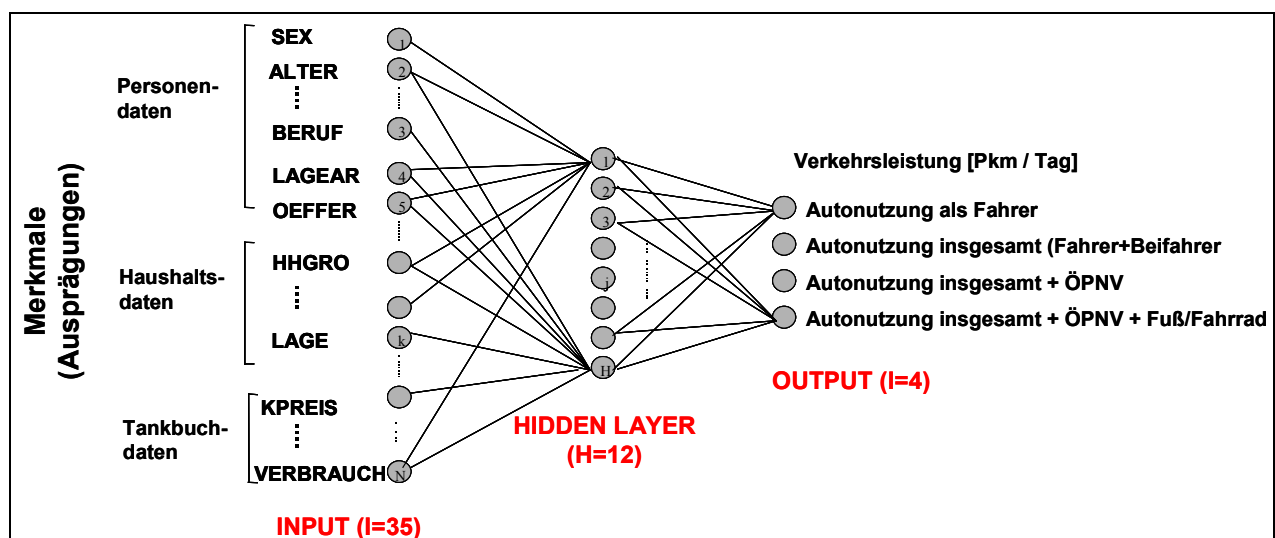
Neuron	Variable	Beschreibung	Ausprägung	Typ
28	BERUF_9	Angabe zur Berufstätigkeit	keine Angabe: ja / nein	binär
29	LAGEARB	Lage des Arbeitsplatzes Ausbildungsplatzes / Schule usw.	Lageziffer: 1-6, 9	real
30	OEFFERR	Erreichbarkeit des Arbeitsplatzes / Ausbildungsplatzes / Schule mit ÖV	Index: 1-5, 9	real
31	FSPKW	Führerscheinbesitz Klasse 2 oder 3	ja / nein	binär
32	PKWVERF	Allgemeine Pkw-Verfügbarkeit	Index: 1-3, 9	real
33	ZEITOPNV	Besitz einer ÖPNV-Zeitfahrkarte	ja / nein	binär
34	ZWEIRAD	Zweiradbesitz	ja / nein	binär
35	ALTER	Alterseinteilung in Klassen	Klassen: 0-7	real

Hidden-Layer des neuronalen Netzes

Es wurden mehrere neuronale Netze mit einer unterschiedlichen Anzahl von Neuronen im Hidden-Layer (6, 12, 24, 35 und 70 Neuronen) getestet. Hierbei hat sich während des Trainings gezeigt, dass das neuronale Netz bereits mit 12 Hidden-Neuronen zur modellmäßigen Abbildung der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen hinreichend gut geeignet ist.

Die Struktur des neuronalen Netzwerkes, die bei der Analyse der Verhaltensänderungen infolge veränderter Kraftstoffpreise verwendet wurde, ist in Abbildung 8-15 dargestellt.

Abbildung 8-15: Struktur des neuronalen Netzes



Wie bei allen statistischen Modellen können auch beim neuronalen Netz (NN) extreme Datensätze des Mobilitätspanels wie auch Datenfehler zu Parameteranpassungen führen, die mit der Realität wenig zu tun haben und verworfen werden müssen. Die Generalisierbarkeit eines Modells wird dadurch stark eingeschränkt. Um dieser Gefahr vorzubeugen, wurden extreme Datensätze unter den folgenden Kriterien herausgefiltert und in der NN-Analyse nicht berücksichtigt:

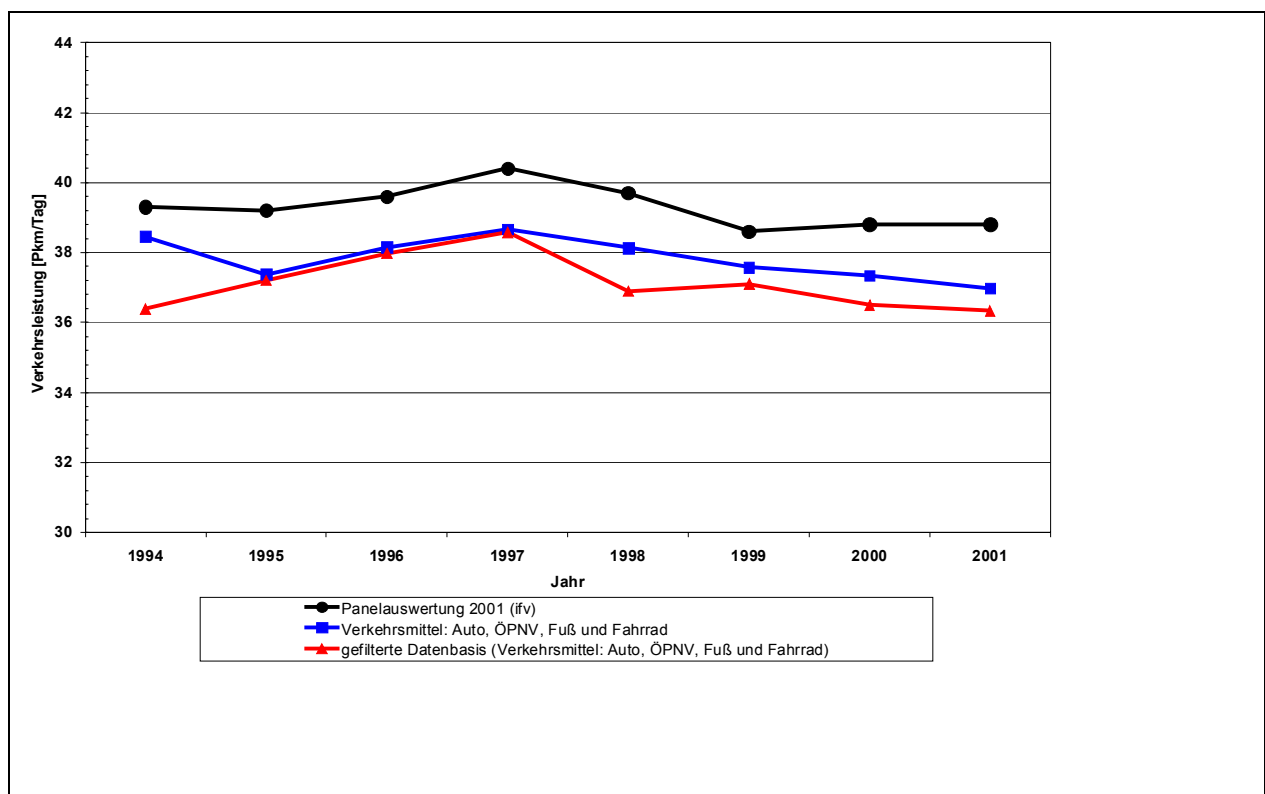
- (1) Personen, die trotz Wegetagebuch nicht mobil waren bzw. Verkehrsmittel verwendeten, die nicht analysiert wurden (Flugzeug, sonstige Verkehrsmittel und keine Angabe eines Verkehrsmittels) (18 Personen)
- (2) Personen, die innerhalb einer Woche mehr als 50 km pro Tag zu Fuß bzw. mit dem Fahrrad unterwegs sind (5 Personen)
- (3) Personen, die innerhalb einer Woche mehr als 300 km pro Tag als Fahrer eines Pkw bzw. mehr als 250 km pro Tag als Mitfahrer im Pkw unterwegs sind (8 bzw. 3 Personen)
- (4) Personen, die innerhalb einer Woche mehr als 250 km pro Tag mit dem ÖPNV unterwegs sind (4 Personen)
- (5) Personen aus Haushalten, deren Pkw einen höheren bzw. niedrigeren Kraftstoffverbrauch als 19 l pro 100 km bzw. 3 l pro 100 km hat (5 bzw. 3 Personen)
- (6) Personen aus Haushalten, die Kraftstoff mit einem Preis von weniger als 0,45 € pro l bzw. mehr als 1,20 € pro l erworben haben (6 bzw. 2 Personen)
- (7) Personen aus Haushalten, die bereits aus der Tankbuchdatei herausgefiltert wurden (25 Personen).

Nach dem Filterprozess waren noch 11.230 Personendatensätze verfügbar (Tabelle 8-2). In Abbildung 8-16 ist die Entwicklung der Verkehrsleistung mit und ohne Daten-Filterung dargestellt. Die mittleren täglichen Verkehrsleistungen sind um ca. 10 % niedriger als die bei Panelauswertungen bisher ermittelten Verkehrsleistungen, da nicht alle Verkehrsmittel erfasst sind.

Zur weitgehenden Eliminierung der Anlaufschwierigkeiten des Mobilitätspanels wurden ferner die Personen des Berichtsjahres 1994 nicht berücksichtigt. Insgesamt wurden daher 10.728 Datensätze mittels des neuronalen Netzwerks analysiert.

Tabelle 8-2: Stichprobenentwicklung im Panel (Personen mit Wegetagbuch)

Jahr	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Summe
Personen	517	744	1.487	1.523	1.500	1887	1.618	2.009	11.285
Anzahl Personen nach Filterung	502	743	1.485	1.519	1.496	1882	1.604	1.999	11.230
Verwendete Personen für die NN-Analyse		743	1.485	1.519	1.496	1882	1.604	1.999	10.728

Abbildung 8-16: Entwicklung der Verkehrsleistungen 1994 bis 2001

8.2.2 Verlauf und Ergebnis des Trainings des Netzes

Während des Trainings- und Pruning-Prozesses wird durch Tests mit Mustern, die dem Netzwerk unbekannt sind, darauf geachtet, dass die Güte des neuronalen Netzes beim Entfernen von Variablen sich nicht signifikant verschlechtert.

Die im neuronalen Netz verbliebenen Inputvariablen stellen eine Kombination von subjektiven und objektiven Merkmalen dar.

Neben den objektiven Merkmalen wie beispielsweise Raumtyp des Haushalt (RTYP), Anzahl der vorhandenen Pkw (PKWHH), Haushaltsgröße (HH_GRO), Geschlecht (SEX), höchster Schulabschluss (SCHULAB), Führerscheinbesitz (FSPKW) und Alter (ALTER) bestimmen subjektive Variable wie Selbsteinschätzungen der Lage des Haushalts (LAGE) und des Arbeitsplatzes (LAGEARB), der Erreichbarkeit einer Bushaltestelle (HALTBUS), von Einkaufsmöglichkeiten (EINK2), Kino oder Theater und von Sportstätten maßgeblich die Verhaltensmuster der Personen. Wichtig ist dabei auch die subjektive Beurteilung der Erreichbarkeit des Arbeitsplatzes, des Ausbildungsplatzes oder der Schule (OEFFERR) mit öffentlichen Verkehrsmitteln, wie auch die allgemeine Pkw-Verfügbarkeit (PKWVERF).

In HUGO (1997) und BRÜDERL & PREISENDÖRFER (1995) wurden weitere subjektive Variable, wie beispielsweise die Bequemlichkeit eines Verkehrsmittels, die subjektiv empfundene Fahrtdauer in die Analyse des Modal Split aufgenommen. Die Nutzung der jeweils vorhandenen Verkehrsmittel (Pkw, ÖPNV, zu Fuß/Fahrrad) und damit der Modal Split hängt auch entscheidend von der zurückzulegenden Entfernung ab. Dies steht im Einklang mit den Erwartungen. Auf weitere Differenzierungen dieser Art wird in der vorliegenden Studie verzichtet.

Die aus den Tankbuchdaten gewonnenen Variablen mittlerer Kraftstoffpreis im Herbst (PREIS) und mittlerer Kraftstoffverbrauch der Pkw-Flotte des Haushalts (VERB_100) wurden ebenfalls durch das Pruningverfahren nicht entfernt. Der Kraftstoffpreis ist damit eine relevante Variable zur Erklärung der Verkehrsleistungen der einzelnen Verkehrsmittel bzw. Verkehrsmittelkombinationen. Kraftstoffpreis, Verbrauch pro 100 km und Pkw-Verkehrsleistung bestimmen in vielen Haushalten wesentlich das Mobilitätsbudget. Von daher ist verständlich, dass der mittlere Verbrauch pro 100 km (VERB_100) ebenfalls als signifikante Variable identifiziert wurde.

Bei den Merkmalen zur Berufstätigkeit erwies sich lediglich die Variable (BERUF_1) mit den Ausprägungen voll berufstätig: ja/nein, als signifikant. Eine weitergehende Differenzierung bezüglich der Berufstätigkeit erwies sich als nicht erforderlich. In ähnlicher Weise zeigt lediglich der Haushaltstyp 1 (Kleinhaushalt mit Berufstätigen (1-2 Personen: ja/nein) Auswirkungen auf das betrachtete Mobilitätsverhalten.

Die Eliminierung der Merkmale Bahnhof zu Fuß zu erreichen (HALTZUG), sonstige ÖPNV-Haltestelle zu Fuß zu erreichen, Zufriedenheit mit der Anbindung öffentlicher Verkehrsmittel und Besitz einer ÖPNV-Zeitfahrkarte (ZEITOPNV) kann dadurch erklärt werden, dass durch die Berücksichtigung der ÖPNV-Erreichbarkeit (OEFFERR) bereits die zur Unterscheidung des

Mobilitätsverhaltens der Personen wesentlichen Informationen im neuronalen Netzwerk enthalten sind.

Die subjektiven Merkmale (EINK1): Einkaufsmöglichkeiten für den täglichen Bedarf und (KNEIPE): Kneipe, Cafe oder ähnliches in Umgebung vorhanden, entfallen ebenfalls. Im Fall des Merkmals KNEIPE deutet dies auf eine sehr geringe Bedeutung dieser Variable für die Erklärung der Verkehrsleistungen hin. Die Variable EINK1 könnte dadurch geprunt worden sein, dass Einkaufsmöglichkeiten für den täglichen Bedarf bei nahezu allen befragten Personen weitgehend gleich eingeschätzt wurden und somit keine Differenzierung durch das neuronale Netzwerk möglich wurde.

Tabelle 8-3: Die verbleibenden Inputvariablen des neuronalen Netzes nach dem Pruning

Neuron	Variable	Beschreibung	Ausprägung	verbleibt im Netz
1	LAGE	Lage des HH (Selbsteinschätzung)	Lageziffer: 1 – 6, 9	ja
2	RAUMTYP	Raumtyp des HH nach BIK (zusammengefasst)	Raumziffer: 1-5:	ja
3	HHTYP_1	Haushaltstyp	Kleinhaushalt mit Berufstätigen (1-2 Personen)	ja
4	HHTYP_2	Haushaltstyp	Kleinhaushalt ohne Berufstätige (1-2 Personen, Rentner)	nein
5	HHTYP_3	Haushaltstyp	Haushalt mit Kindern	nein
6	HH_GRO	Haushaltsgröße	Anzahl Personen	ja
7	PKWHH	Anzahl der im HH vorhandener Pkw	Anzahl Pkw	ja
8	HALTBUS	Bushaltestelle zu Fuß zu erreichen	ja / keine Angabe	ja
9	HALTZUG	Bahnhof zu Fuß zu erreichen	ja / keine Angabe	nein
10	HALTÖV	sonstige ÖPNV-Haltestellen zu Fuß zu erreichen	ja / keine Angabe	nein
11	OEFFZUF	Zufriedenheit mit der Anbindung öffentlicher Verkehrsmittel	ja / nein / keine Angabe	nein
12	EINK1	Einkaufsmöglichkeiten für den täglichen Bedarf (z.B. Lebensmittel)	in Umgebung vorhanden / nicht vorhanden	nein
13	EINK2	Einkaufsmöglichkeiten für andere Dinge (z.B. Kleidung)	in Umgebung vorhanden / nicht vorhanden	
14	KINO	Kino / Theater oder ähnliches	in Umgebung vorhanden / nicht vorhanden	ja
15	KNEIPE	Kneipe / Cafe oder ähnliches	in Umgebung vorhanden / nicht vorhanden	nein
16	SPORT	Sportstätten oder ähnliches	in Umgebung vorhanden / nicht vorhanden	ja
17	PREIS	Mittlerer Kraftstoffpreis im Herbst	EURO / Liter	ja
18	VERB_100	Mittlerer Kraftstoffverbrauch der PKW-Flotte des HH	Liter / 100 km	ja
19	SEX	Geschlecht	männlich / weiblich	ja
20	SCHULAB	Höchster Schulabschluss	Abitur / Realschule / Hauptschule	ja
21	BERUF_1	Angabe zur Berufstätigkeit	voll berufstätig: ja / nein	ja
22	BERUF_2	Angabe zur Berufstätigkeit	Teilzeitbeschäftigt: ja / nein	nein
23	BERUF_3	Angabe zur Berufstätigkeit	zur Zeit arbeitslos: ja / nein	nein
24	BERUF_4	Angabe zur Berufstätigkeit	in der Schule / Hochschule: ja / nein	nein
25	BERUF_5	Angabe zur Berufstätigkeit	in der Berufsausbildung / Lehre: ja / nein	nein

Neuron	Variable	Beschreibung	Ausprägung	verbleibt im Netz
26	BERUF_6	Angabe zur Berufstätigkeit	Hausfrau: ja / nein	nein
27	BERUF_7	Angabe zur Berufstätigkeit	Rentner: ja / nein	nein
28	BERUF_9	Angabe zur Berufstätigkeit	keine Angabe: ja / nein	nein
29	LAGEARB	Lage des Arbeitsplatzes Ausbildungsplatzes / Schule usw.	Lageziffer: 1-6, 9	ja
30	OEFFERR	Erreichbarkeit des Arbeitsplatzes / Ausbildungsplatzes / Schule mit ÖV	Index: 1-5, 9	ja
31	FSPKW	Führerscheinbesitz Klasse 2 oder 3	ja / nein	ja
32	PKWVERF	Allgemeine Pkw-Verfügbarkeit	Index: 1-3, 9	ja
33	ZEITOPNV	Besitz einer ÖPNV-Zeitfahrkarte	ja / nein	nein
34	ZWEIRAD	Zweiradbesitz	ja / nein	nein
35	ALTER	Alterseinteilung in Klassen	Klassen: 0-7	ja

8.2.3 Verlauf und Ergebnis des Nachtrainings des geprunten Netzes

Das nach dem Pruning-Prozess auf die wesentlichen Strukturen ausgedünnte neuronale Netz wird anschließend mit der gesamten Datenbasis nachtrainiert, damit der Informationsgehalt des Datensatzes möglichst vollständig ausgeschöpft werden kann. Dazu wird ein zusätzliches Abbruchkriterium benötigt, da in diesem Falle keine Testdatensätze zur Netzbewertung zur Verfügung stehen.

Hierzu wurden die 10.728 Datensätze in 4 gleich große Teildatensätze unterteilt. Aus diesen Teildatensätzen lassen sich durch Addition von je drei Datensätzen insgesamt 4 unterschiedliche Lerndatensätze von je 8.046 Daten gewinnen. Der jeweils verbleibende vierte Datensatz mit 2.682 Daten dient als zugehöriger Testdatensatz. Mit den so erhaltenen 4 unterschiedlich aus den Paneldaten zusammengesetzten Datensätzen werden 4 sogenannte Slave-Netze trainiert, die zur Bestimmung des Abbruchkriteriums des Master-Netzes dienen. Das Master-Netz entspricht dabei dem geprunten Netz.

Die statistischen Kennzahlen des trainierten geprunten neuronalen Netzes zeigen, dass die Korrelation zwischen den über das neuronale Netz ermittelten Verkehrsleistungen und den tatsächlichen (angegebenen) Verkehrsleistungen zwischen 0,42 und 0,57 liegt. Die erklärten Varianzanteile der entsprechenden Verkehrsleistungen auf Grundlage der ermittelten Einflussgrößen liegen im Bereich zwischen 18 % (Pkw-Nutzung insgesamt, ÖPNV, zu Fuß/Fahrrad) und 32 % (Pkw-Nutzung als Fahrer). Die Generalisierbarkeit des neuronalen Netzwerks ist aufgrund des ausgezeichneten Daten-zu-Parameter-Verhältnisses von 40:1 als

sehr gut zu bezeichnen. Das entwickelte neuronale Netzwerk eignet sich daher zur Bestimmung der gewünschten Elastizitäten mittels Simulation von Verhaltensänderungen der im Mobilitätspanel erfassten Personen.

8.3 Analyse der Veränderungen der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen von Personen infolge von Kraftstoffpreisänderungen: Modellrechnungen mit Hilfe des geprunten neuronalen Netzes

8.3.1 Gesamtbetrachtungen zu den Wirkungen von Kraftstoffpreisänderungen

Da bei neuronalen Netzen nicht wie bei einer multiplen Regression die „Elastizitäten“ einfach als Koeffizienten der erklärenden Variablen ermittelt werden können, sind die Änderungen der Ausgabevariablen als Reaktion auf vorgegebene Änderungen einzelner oder mehrerer erklärender Variablen mittels Simulation des Netzes zu errechnen. Dies beinhaltet jedoch keine wesentliche Schwierigkeit.

Da die Simulationsergebnisse auf den Angaben der befragten Personen des Mobilitätspanels basieren, erfolgt die Hochrechnung auf die Bundesrepublik Deutschland mittels des Personenhaushaltsgewichtes⁴⁴ des Panels.

Nachträglich lassen sich die Elastizitäten aus den Simulationsergebnissen des neuronalen Netzes über eine einfache Trendermittlung bestimmen. Die in den folgenden Tabellen aufgeführten Elastizitäten beziehen sich dabei auf einen Veränderungsbereich der Kraftstoffpreise von –20 % bis +20 %. Innerhalb dieses Bereichs sind die ermittelten Zusammenhänge weitgehend linear von der simulierten Preisänderung abhängig. Bei größeren Kraftstoffpreisänderungen treten nichtlineare Wirkungen deutlich hervor. Die Elastizitäten wurden nach dem in Abschnitt 5.3.2 beschriebenen Verfahren bestimmt.

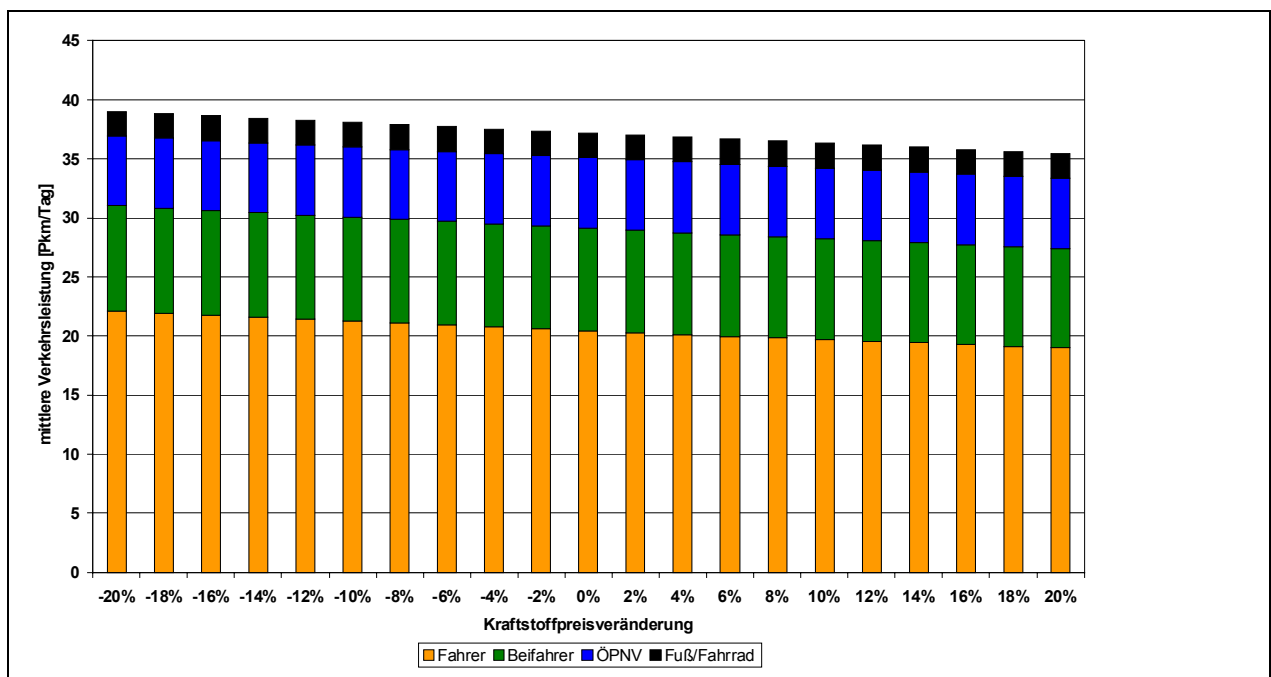
⁴⁴ Dieser Gewichtungsfaktor dient zur Hochrechnung von über das Mobilitätspanel erhaltenen Ergebnissen auf die Ebene der Bundesrepublik Deutschland. Der Faktor wurde in Abhängigkeit des Raumtyps, der Haushaltsgröße, des Pkw-Besitzes des Haushaltes sowie differenziert nach Alter und Geschlecht gebildet.

Im Folgenden wird das Mobilitätsverhalten infolge veränderter Kraftstoffpreise auf Basis des erstellten neuronalen Netzwerks auf Personenebene, Haushaltsebene sowie nach geschlechts-, haushaltstyp- und raumtypspezifischen Gesichtspunkten analysiert. Die entsprechenden Elastizitäten werden dabei über Simulationen des neuronalen Netzwerks gewonnen.

Mobilitätsänderungen auf Personenebene infolge einer Kraftstoffpreisänderung

Die Entwicklungen der Verkehrsleistungen, des Modal Split und des Pkw-Besetzungsgrades infolge veränderter Kraftstoffpreise auf Personenebene sind in Abbildung 8-17, Abbildung 8-18, Abbildung 8-19 und Abbildung 8-20 zusammengefasst.

Abbildung 8-17: Entwicklung der Verkehrsleistung auf Personenebene infolge Kraftstoffpreisänderung



Deutlich ist aus Abbildung 8-17 ersichtlich, dass sich Kraftstoffpreisänderungen auf die unterschiedlichen Anteile der Verkehrsleistung auswirken. Eine Erhöhung bzw. Senkung des Kraftstoffpreises bewirkt wie erwartet eine Abnahme bzw. Zunahme der mittleren Verkehrsleistung (insgesamt).

Die Entwicklung der betrachteten Verkehrsleistungsanteile zeigt Abbildung 8-18. Demgemäss bewirkt eine Abnahme des Kraftstoffpreises um 20 % eine Zunahme der Autonutzung um

6,5 %, während bei einer Erhöhung des Preises um 20 % eine Abnahme der Pkw-Verkehrsleistung (insgesamt) um 5,9 % erwartet werden kann. Die mit der Autonutzung als Mitfahrer verbundene Verkehrsleistung zeigt ein analoges Verhalten. Damit verbunden ergeben sich relativ geringe Änderungen im Pkw-Besetzungsgrad entsprechend Abbildung 8-20.

Die personenspezifische ÖPNV-Verkehrsleistung nimmt infolge einer Kraftstoffpreiserhöhung um 20 % absolut gesehen nur geringfügig zu, so dass von einer Kreuzpreiselastizität nahe Null auszugehen ist (Tabelle 8-4). Die Verkehrsleistung der Verkehrsbeteiligungsart zu Fuß/Fahrrad zeigt selbst bei größeren Kraftstoffpreiserhöhungen ebenfalls nur marginale Reaktionen (unelastisches Verhalten).

Abbildung 8-18: Änderung der Verkehrsleistung auf Personenebene infolge Kraftstoffpreisänderung

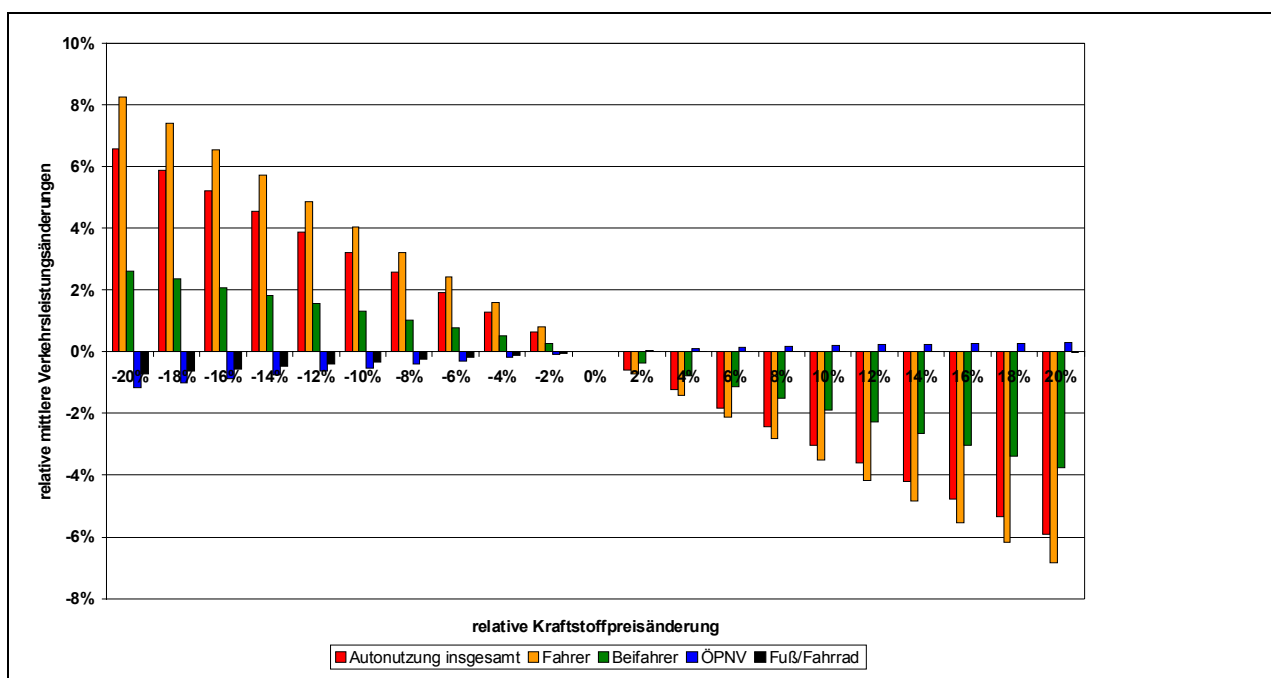


Tabelle 8-4: Kraftstoffpreiselastizitäten der Verkehrsleistung auf Personenebene

	Elastizitäten aus Wegetagebuchdatei (Anzahl Datensätze)	Elastizitäten⁴⁵ aus Tankbuchdatei (Anzahl Datensätze)
Autonutzung insgesamt	-0,31 (10.053)	-0,30 (3.815)
Autonutzung als Fahrer	-0,38 (7.590)	-0,36 (2.978)
Autonutzung als Mitfahrer	-0,16 (7.013)	-0,16 (2.616)
ÖPNV	0,04 (3.367)	0,13 (1056)
Zu Fuß / Fahrrad	0,02 (8.669)	0,04 (3113)

Die aus der Wegetagebuchdatei errechneten Preiselastizitäten (Tabelle 8-4) der Pkw-Verkehrsleistung liegen im Bereich der kurzfristigen Elastizitätswerte, die in der Literaturobwertung sowie bei den Makroanalysen und den Mikroanalysen mittels Panelmodellen gefunden wurden. Einer Preiserhöhung um 10 % folgt demnach ein Rückgang der Pkw-Verkehrsleistung um rd. 3,1 %, während gleichzeitig die ÖPNV-Verkehrsleistung nur marginal um rd. 0,4 % zunehmen würde.

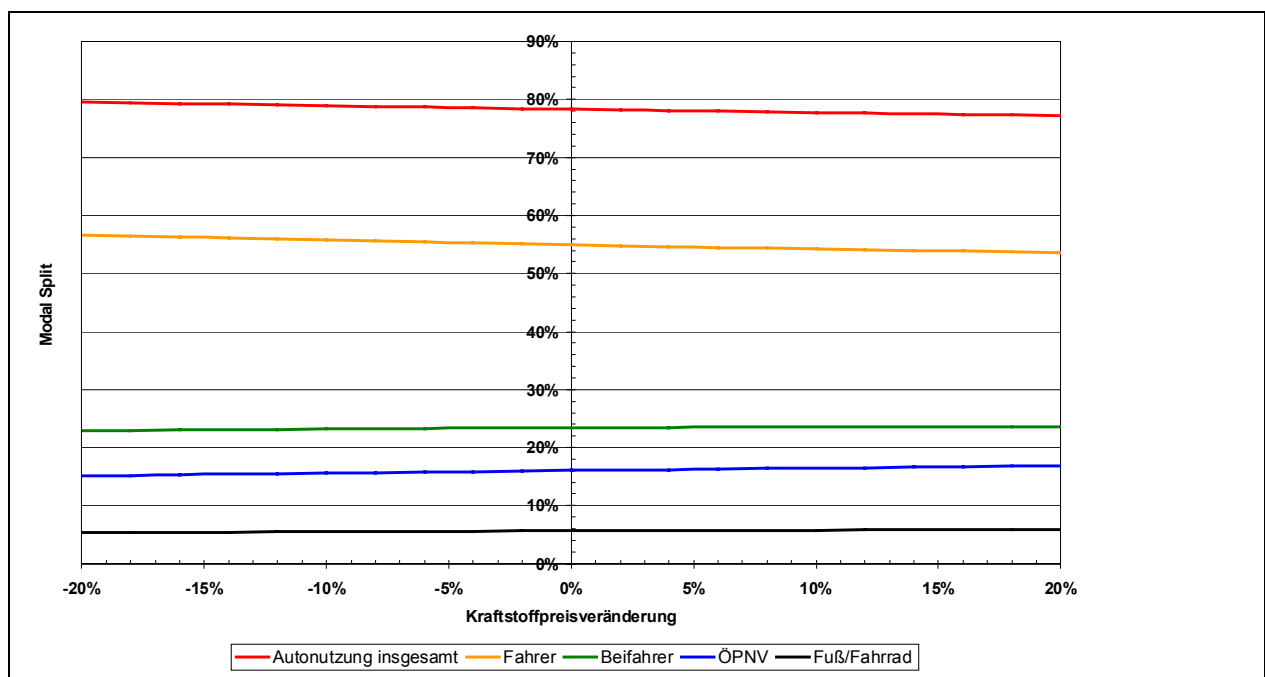
Zusätzlich sind in Tabelle 8-4 die Elastizitäten berechnet über die Personendatensätze der Tankbuchdatei aufgeführt. Dies hat zur Folge, dass etwa die Häufigkeit der Wege im Vergleich zur Wegetagebuchdatei nicht richtig gewichtet wird. Verhaltensänderungen der Pkw-Nutzer werden jedoch durch Nicht-Pkw-Nutzer nicht so stark in ihren Änderungen relativiert. Daher erscheint insbesondere der Vergleich der Elastizitäten, berechnet über die Wegetagebuchdatei und die Tankbuchdatei, sinnvoll. Es zeigt sich, dass bezogen auf die Pkw-Nutzung die errechneten Elastizitätswerte weitgehend dieselben sind, die Personen aus motorisierten Haushalten auf eine Kraftstoffpreiserhöhung aber eher mit einer verstärkten ÖPNV-Nutzung (+0,13) reagieren als die Personen insgesamt. Eine Erhöhung des Kraftstoffpreises um 10 % hätte demnach eine Steigerung der ÖPNV-Nutzung um 1,3 % zur Folge. Dieser Wert erscheint realistisch.

⁴⁵ Die Elastizitäten wurden ebenfalls über das neuronale Netzwerk errechnet. Die Inputdaten dieses Netzwerks stimmen dabei mit den Inputdaten des Netzwerks auf Basis der Wegetagebuchdatei überein. Als Simulationsdaten wurden jedoch lediglich Daten von Personen aufgenommen, die auch in der Tankbuchdatei registriert sind.

Die erhaltenen geringen Preiselastizitäten der ÖPNV-Nachfrage und der Nachfrage im nichtmotorisierten Verkehr, errechnet über die Wegetagebuchdatei, beruhen auf den Kraftstoffpreisänderungen innerhalb des Berichtszeitraums 1994 – 2001 und den im Mobilitätspanel erfassten Verhaltensänderungen. Größere Preisänderungen als die in der Vergangenheit beobachteten können durchaus deutlichere Verhaltensänderungen bewirken, insbesondere wenn dadurch das den Personen zur Verfügung stehende Budget stärker betroffen wird. Aus den bislang erhobenen Paneldaten lassen sich derartige stärkere Wirkungen aber nicht extrahieren.

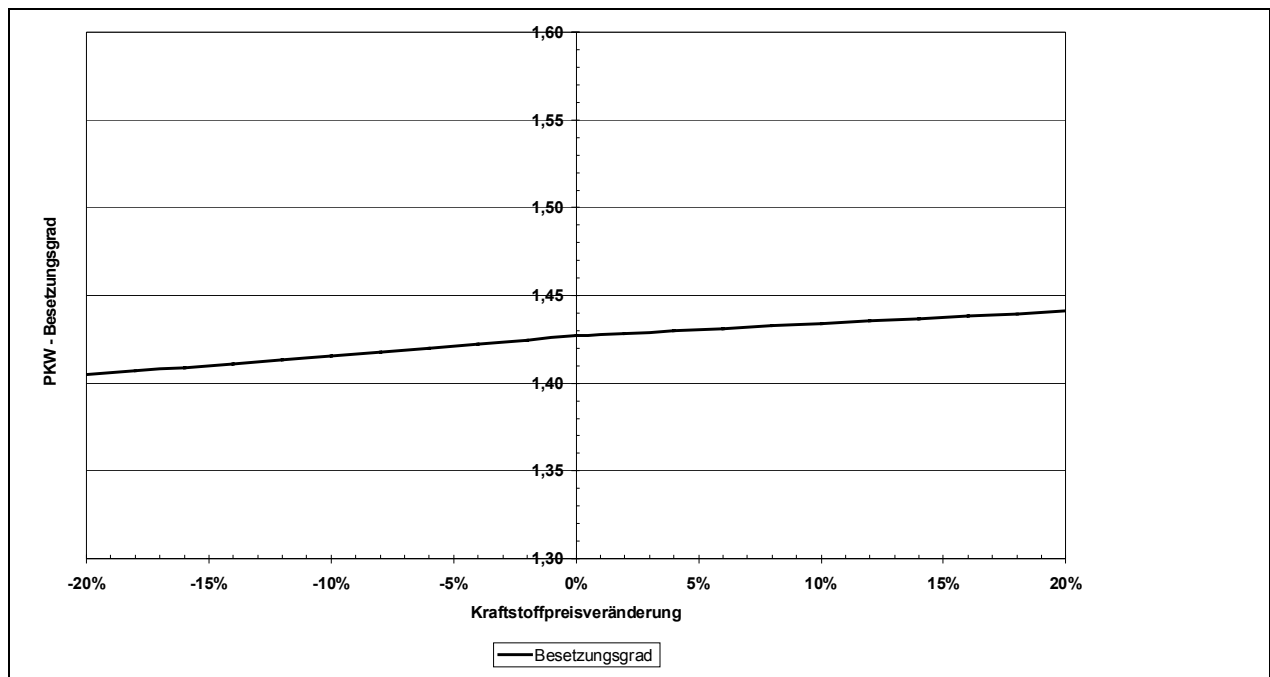
In Abbildung 8-19 ist die Entwicklung des über die Verkehrsleistung errechneten Modal Split graphisch dargestellt. Die Veränderungen im Modal Split insgesamt – ohne dass weitere Merkmale direkt betrachtet werden – sind relativ gering.

Abbildung 8-19: Entwicklung des Modal Split infolge Kraftstoffpreisänderung



Dies gilt entsprechend Abbildung 8-20 auch für Änderungen des über die Verkehrsleistungen errechneten Pkw-Besetzungsgrads in Abhängigkeit vom Kraftstoffpreis. Durch eine Steigerung des Besetzungsgrads der Fahrzeuge können die Verbraucher Kostenerhöhungen teilweise abfangen. Diese volkswirtschaftlich erwünschte Verhaltensänderung zeigt sich in kleinerem Umfang in Abbildung 8-20.

Abbildung 8-20: Entwicklung des errechneten Pkw-Besetzungsgrades auf Personenebene infolge Kraftstoffpreisänderung

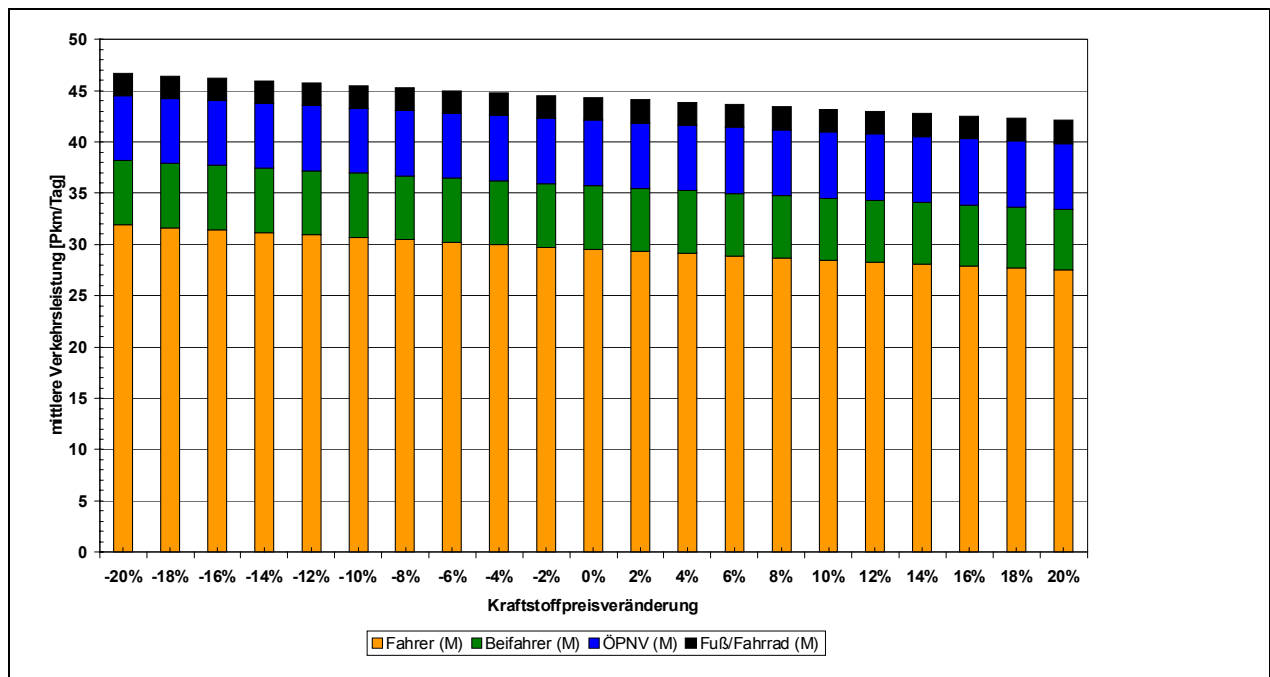


8.3.2 Geschlechtsspezifische Wirkungen

Inwieweit es geschlechtsspezifische Unterschiede in der Reaktion auf Kraftstoffpreisänderungen gibt, wird nachfolgend untersucht.

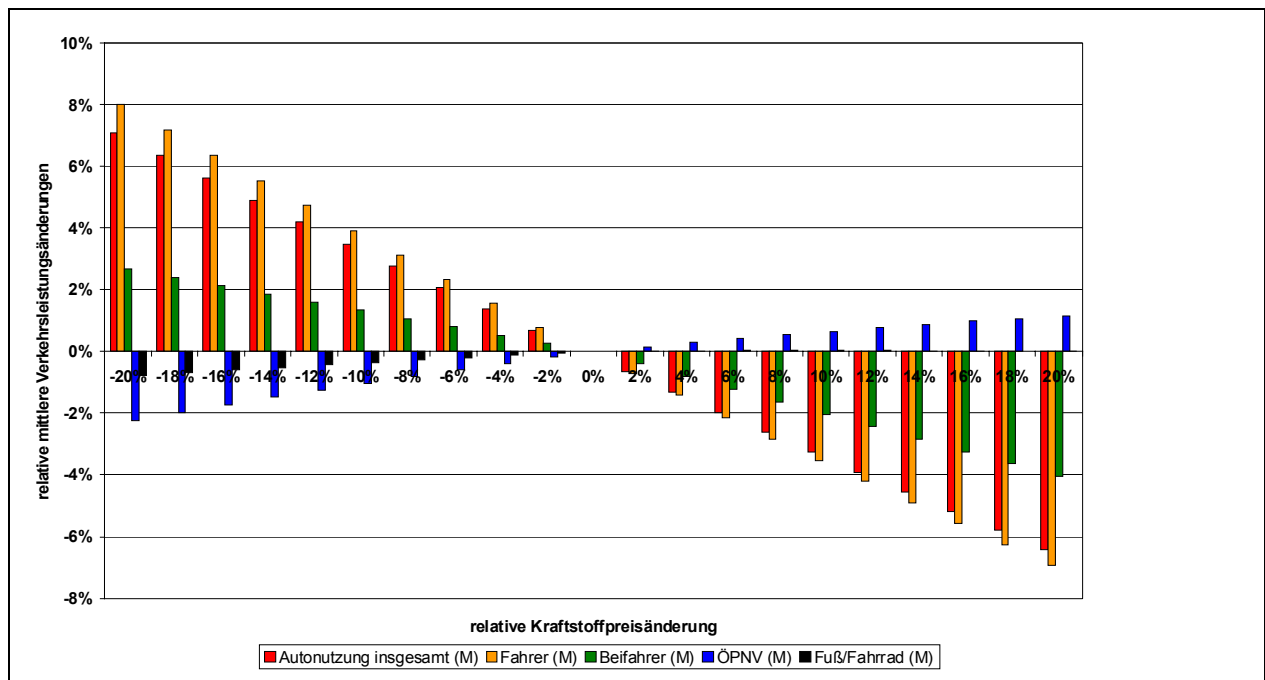
Die Entwicklung der Verkehrsleistungen für Männer als Reaktion auf eine Kraftstoffpreisänderung ist in Abbildung 8-21 und Abbildung 8-22 dargestellt. Die Reaktion der Frauen zeigt die Abbildung 8-23 und die Abbildung 8-24.

Abbildung 8-21: Entwicklung der Verkehrsleistung von Männern infolge Kraftstoffpreisänderung



Nach Abbildung 8-21 und Abbildung 8-22 geht die Pkw-Verkehrsleistung bei Männern um ca. 6,8 % bei einer 20-prozentigen Kraftstoffpreiserhöhung zurück. Die Verkehrsleistung der männlichen Mitfahrer geht weniger stark, aber doch um rd. 4 % zurück. Die ÖPNV-Verkehrsleistung der Männer nimmt bei dieser Betrachtung um ca. 1,2 % zu. Hierbei treten nichtlineare bzw. asymmetrische Effekte auf. Eine Kraftstoffpreissenkung lässt demnach die Pkw-Verkehrsleistung der Männer prozentual deutlich stärker zunehmen als eine prozentual gleiche Erhöhung zu einer Verringerung der Verkehrsleistung beiträgt.

Abbildung 8-22: Änderung der Verkehrsleistung von Männern infolge Kraftstoffpreisänderung



Gemäß Abbildung 8-23 und Abbildung 8-24 sind bei Frauen gegenüber den Verhaltensreaktionen von Männern deutliche Unterschiede feststellbar.

Abbildung 8-23: Entwicklung der Verkehrsleistung von Frauen infolge Kraftstoffpreisänderung

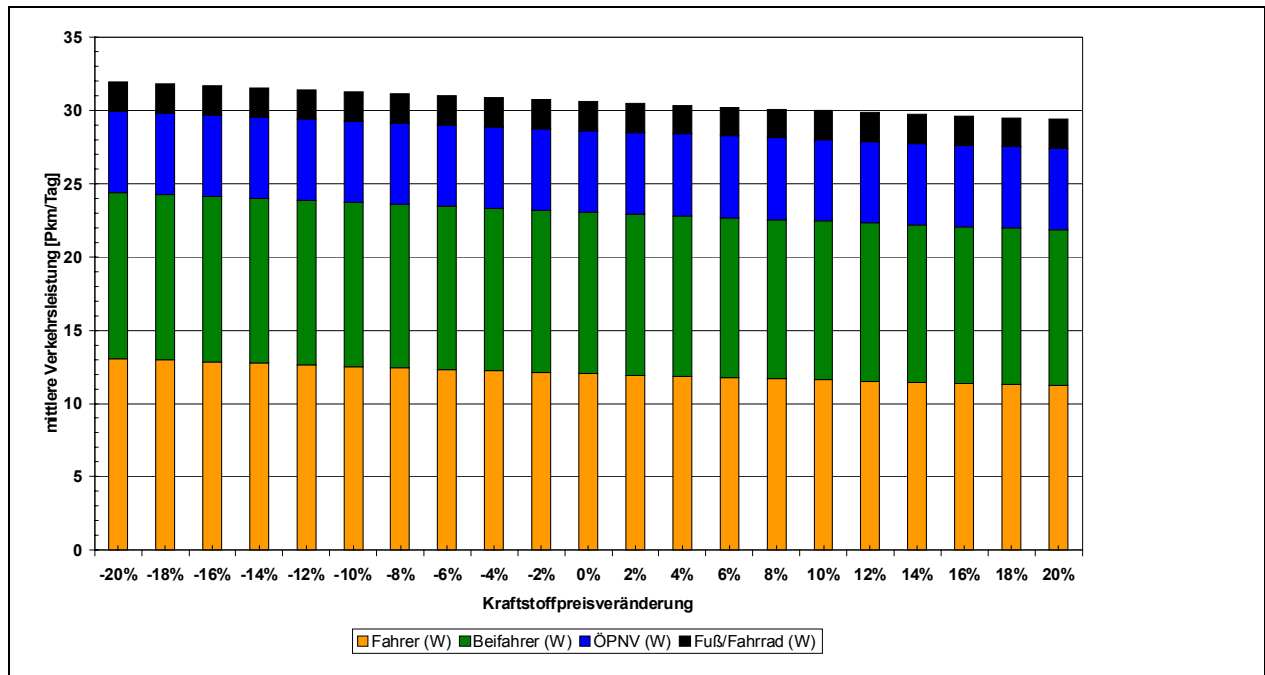
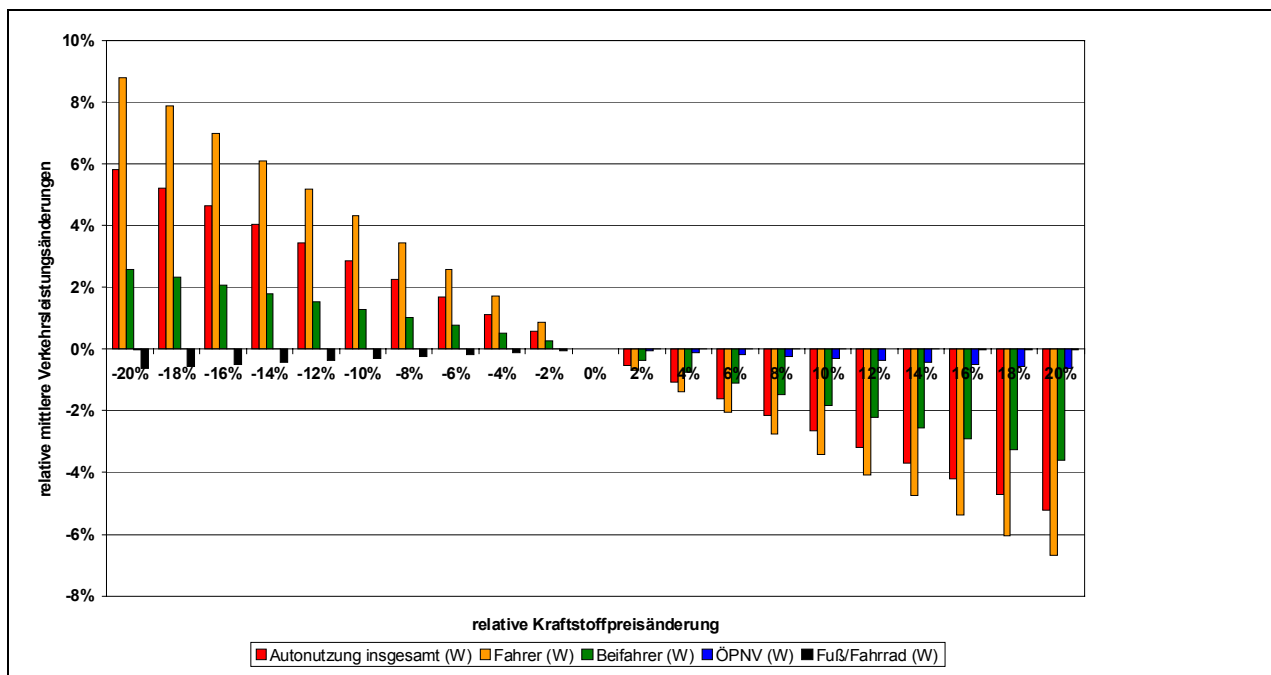


Abbildung 8-24: Änderung der Verkehrsleistung von Frauen infolge Kraftstoffpreisänderung



So geht die Pkw-Verkehrsleistung (als Fahrer und Mitfahrer) bei Frauen als Reaktion auf eine 20-prozentige Kraftstoffpreiserhöhung zwar im gleichen Maße wie bei Männern um rd. 6,5 % zurück, deutlich geringer ist jedoch der Rückgang der Pkw-Verkehrsleistung bei Frauen als Fahrer mit rd. 5 % gegenüber rd. 6,2 % bei Männern. Die Verkehrsleistung von Frauen als Mitfahrer geht im Vergleich zu Männern ebenfalls geringfügig stärker zurück. Diese Reaktionsunterschiede deuten darauf hin, dass Frauen durch ihre Aktivitäten weniger in der Lage oder weniger bereit sind, ihr Mobilitätsverhalten aufgrund einer Kraftstoffpreisänderung zu verändern.

Kritisch ist allerdings die über das neuronale Netzwerk ermittelte Verhaltensreaktion der Frauen bezüglich der Verkehrsmittel zu Fuß / Fahrrad und ÖPNV zu sehen. Sicherlich kann man nicht davon ausgehen, dass eine Kraftstoffpreiserhöhung zu einer, wenn auch geringfügigen Verringerung der ÖPNV-Verkehrsleistung führt. Eine Erklärung könnte in der relativ geringen Fallzahl liegen (1.894 Datensätze, siehe Tabelle 8-5), die dem neuronalen Netz zur Ermittlung der Verhaltensreaktion im Vergleich zur Autonutzung als Fahrer oder Mitfahrer zur Verfügung stehen.

Tabelle 8-5: Geschlechtsspezifische Kraftstoffpreiselastizitäten der Verkehrsleistung

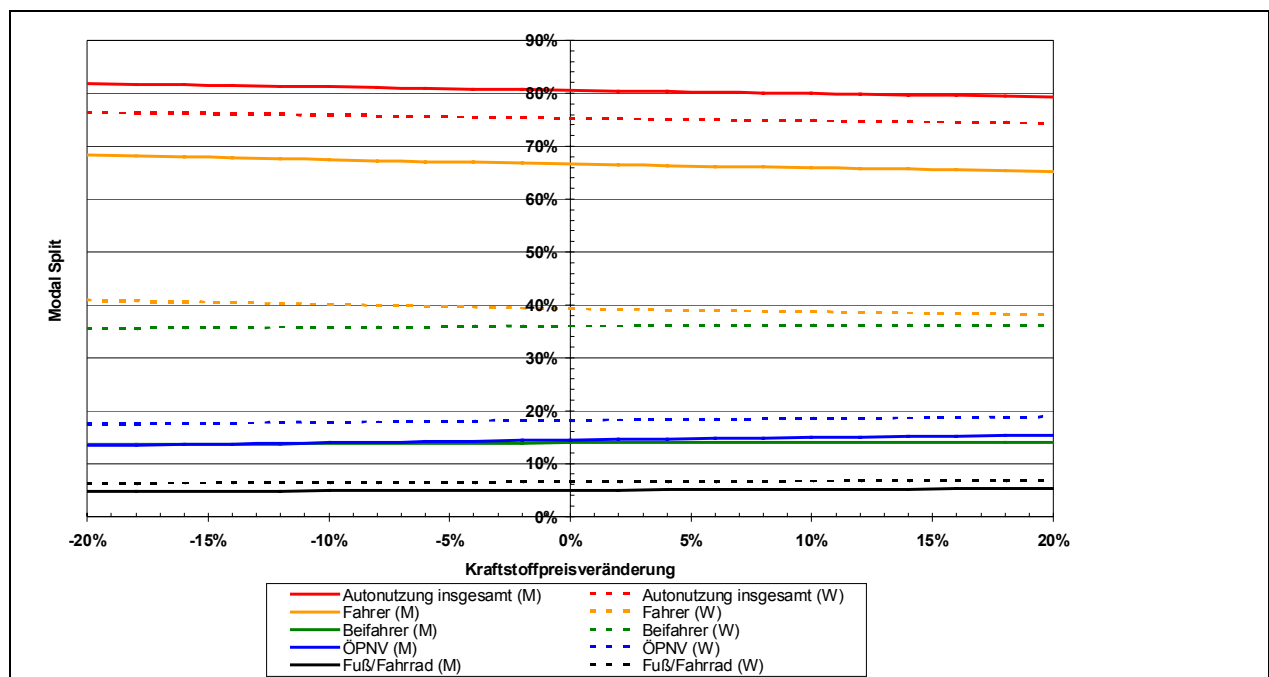
	Elastizität (Anzahl der Datensätze)		
	Insgesamt	Männer	Frauen
Autonutzung insgesamt	-0,31 (10053)	-0,34 (4869)	-0,28 (5184)
Autonutzung als Fahrer	-0,38 (7590)	-0,37 (4149)	-0,39 (3441)
Autonutzung als Mitfahrer	-0,16 (7013)	-0,17 (2727)	-0,16 (4286)
ÖPNV	0,04 (3367)	0,08 (1473)	-0,01 (1894)
Zu Fuß / Fahrrad	0,02 (8669)	0,02 (3982)	0,02 (4687)

In Tabelle 8-5 sind die geschlechtsspezifischen Preiselastizitäten der Verkehrsleistung aufgeführt. Wie erwähnt, zeigen sich gewisse Unterschiede in der Preiselastizität der Pkw-Verkehrsleistung bei Männern (-0,34) und Frauen (-0,28), obwohl die Preiselastizitäten bei

Autonutzung als Fahrer und Mitfahrer annähernd gleich sind. Dies lässt sich durch die unterschiedlichen Pkw-Nutzungsarten (Abbildung 8-26) von Männern und Frauen erklären⁴⁶. So fahren nahezu 59 % mehr Frauen im Vergleich zu Männern als Mitfahrer. Dies führt über die unterschiedlichen Einzelelastizitäten für Fahrer und Mitfahrer auf den jeweiligen Wert der geschlechtsspezifischen Preiselastizität.

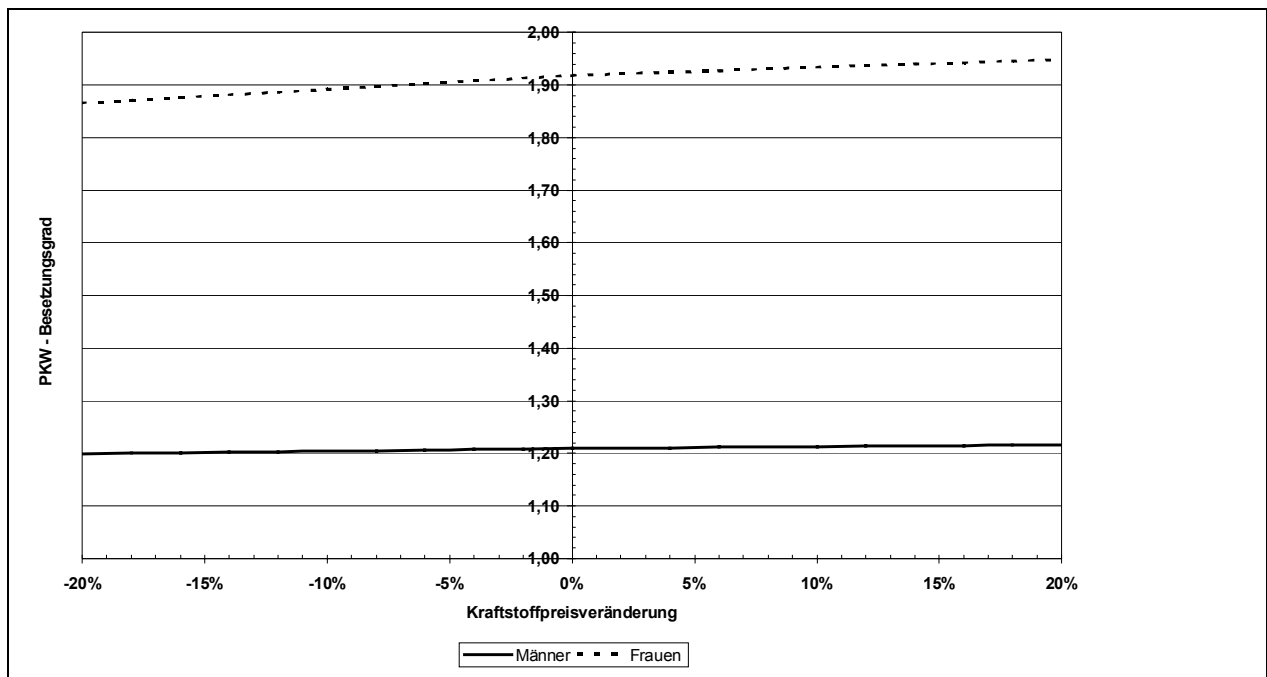
Die Entwicklung des Modal Split für Männer (durchgezogene Linien) und Frauen (gestrichen dargestellte Linien) infolge Kraftstoffpreisänderungen ist Abbildung 8-25 zu entnehmen. Der Modal Split zeigt dabei im Hinblick auf Änderungen des Kraftstoffpreises ein unelastisches Verhalten. Deutliche geschlechtsspezifische Unterschiede (Frauen zu Männer) zeigen sich lediglich in den Anteilen der einzelnen Verkehrsmittel, insbesondere in den Anteilen der ÖPNV-Nutzung (18 % zu 15 %), dem Mitfahreranteil (36 % zu 15 %), dem Fahreranteil (40 % zu 66 %) und dem Verkehrsleistungsanteil zu Fuß/Fahrrad (5 % zu 6 %).

Abbildung 8-25: Entwicklung des Modal Split für Männer und Frauen infolge Kraftstoffpreisänderung



⁴⁶ Wenn von „geschlechtsspezifischem Besetzungsgrad“ die Rede ist, so ist damit das Verhältnis zwischen der Summe aus Fahrer- und Mitfahrerverkehrsleistung und der Fahrer-Verkehrsleistung bei Männern und Frauen gemeint.

Abbildung 8-26: Entwicklung des errechneten Pkw-Besetzungsgrades für Männer und Frauen infolge Kraftstoffpreisänderung



Gemäß Abbildung 8-26 reagieren Frauen auf Kraftstoffpreiserhöhungen mit einer leichten Erhöhung des errechneten Pkw-Besetzungsgrads, d.h. mit häufigerem Mitfahren im Pkw (statt Selbstfahren), während Männer den Mitfahreranteil nicht verändern, sondern statt dessen eher ÖPNV-Angebote nutzen.

8.3.3 Haushaltstypspezifische Wirkungen

Die Entwicklungen der Verkehrsleistungen für berufstätige 1-2-Personen-Haushalte bei Kraftstoffpreisänderungen sind in Abbildung 8-27 und für sonstige Haushaltstypen in Abbildung 8-28 dargestellt. Die zugehörigen Preiselastizitäten sind in Tabelle 8-6 zusammengefasst. Kleinhaushalte mit Berufstätigen reagieren bezüglich der Pkw-Nutzung (als Fahrer und als Mitfahrer) bei einer Kraftstoffpreisänderungen etwas elastischer (-0,39 und -0,18) als die sonstigen Haushalte (-0,35 und -0,10). Bezüglich der ÖPNV-Verkehrsleistung und der Verkehrsleistung der Verkehrsbeteiligungsarten zu Fuß/Fahrrad weisen dagegen die sonstigen Haushalte eine geringfügig höhere Preiselastizität (+0,04 und 0,06) auf als die Kleinhaushalte (+0,03 und 0,00). Dies steht im Einklang mit den Erwartungen.

Abbildung 8-27: Änderung der Verkehrsleistung (Kleinhaushalt mit Berufstätigen (1-2 Personen) infolge Kraftstoffpreisänderung

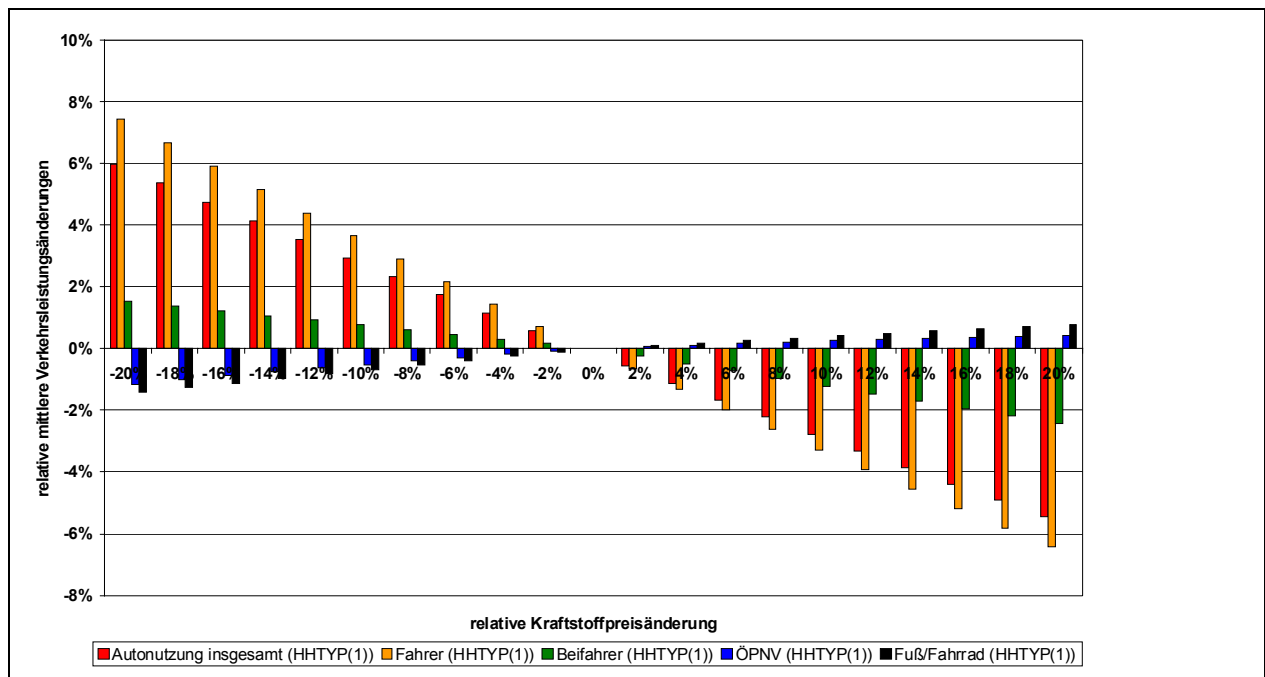


Abbildung 8-28: Änderung der Verkehrsleistung (sonstige Haushaltstypen) infolge Kraftstoffpreisänderung

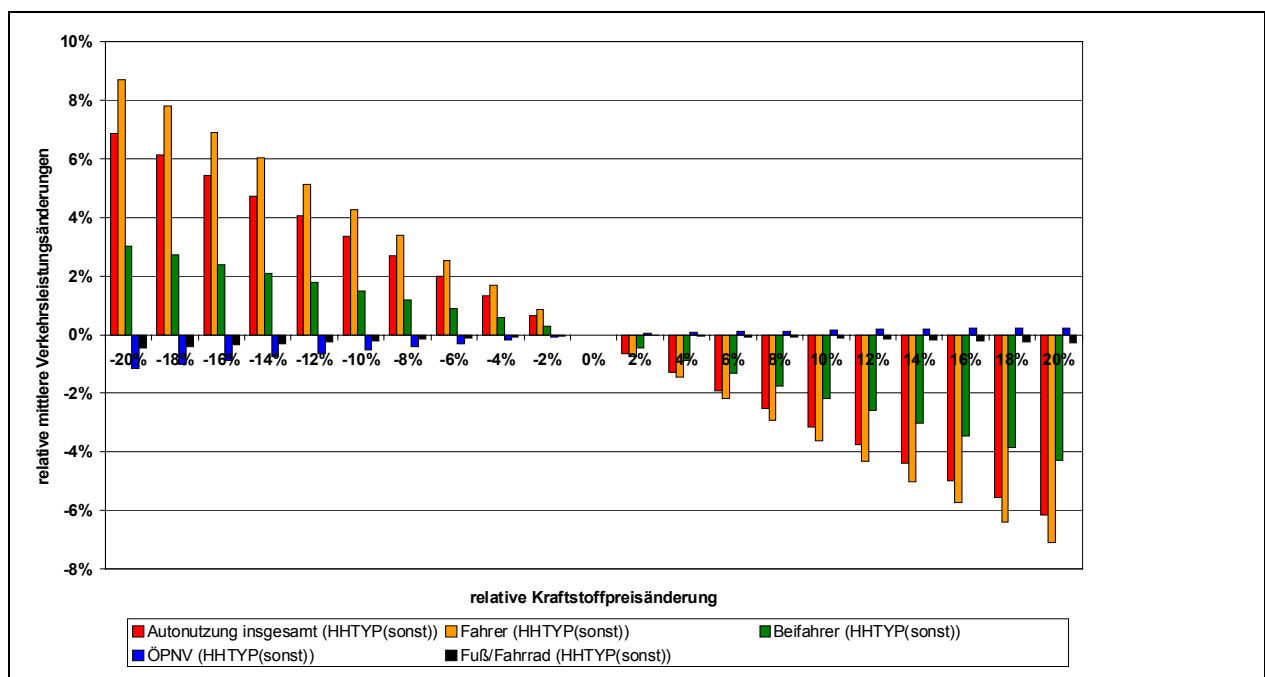
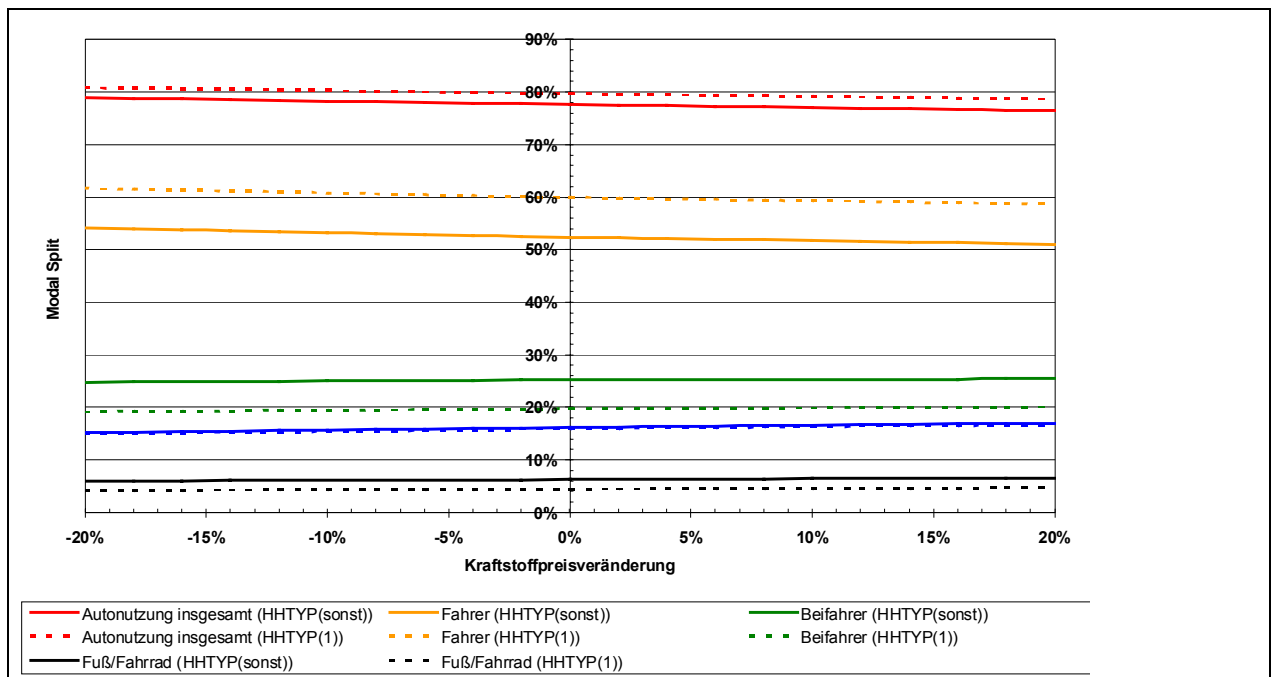


Tabelle 8-6: Haushaltstypspezifische Kraftstoffpreiselastizitäten der Verkehrsleistung

	Elastizität (Anzahl der Datensätze)	
	Kleinhaushalt mit Berufstätigen (1-2 Personen)	Sonstige Haushalte
Autonutzung insgesamt	-0,33 (2797)	-0,29 (7256)
Autonutzung als Fahrer	-0,39 (2343)	-0,35 (5247)
Autonutzung als Mitfahrer	-0,18 (1811)	-0,10 (5202)
ÖPNV	0,03 (863)	0,04 (2504)
Zu Fuß / Fahrrad	0,00 (2312)	0,06 (6357)

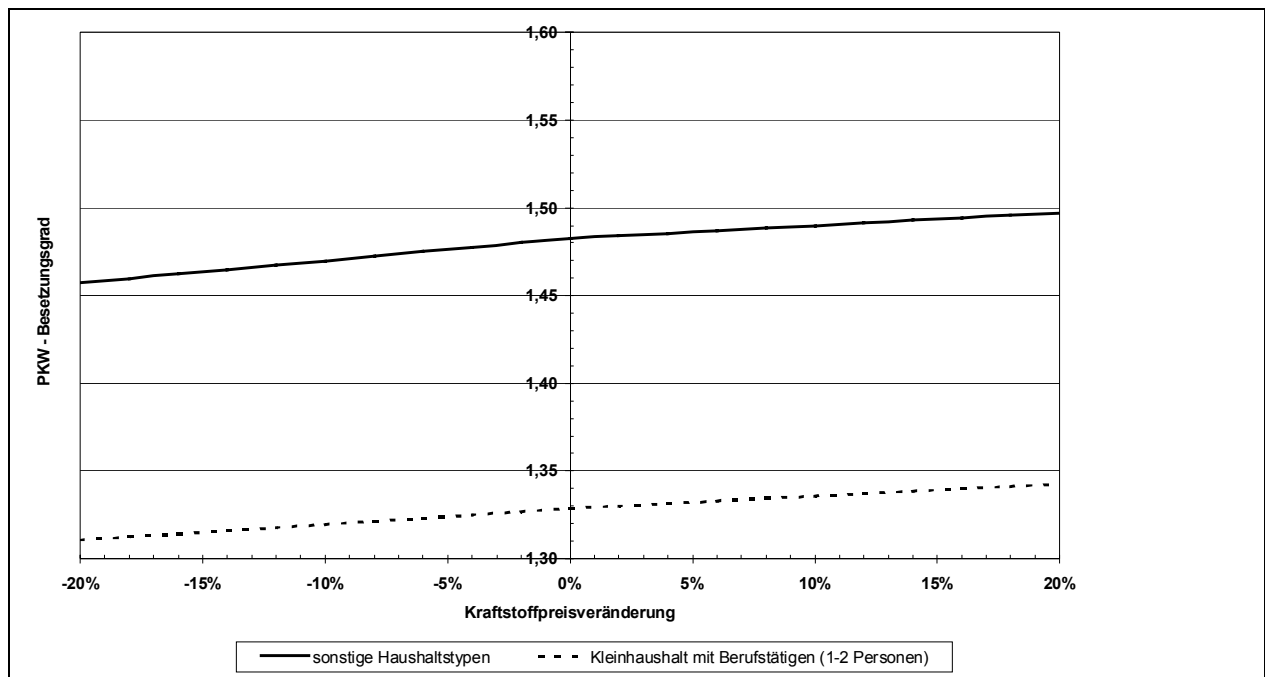
Die Entwicklungen des Modal Splits und des Besetzungsgrades für Kleinhaushalte mit Berufstätigen und sonstige Haushaltstypen bei Kraftstoffpreisänderungen sind in Abbildung 8-29 und Abbildung 8-30 dargestellt. Die Niveaus der einzelnen Komponenten des Modal Split werden durch den Haushaltstyp mitbestimmt. Die kraftstoffpreisbedingten Veränderungen des Modal Split sind jedoch nicht vom Haushaltstyp abhängig und insgesamt nur marginal (unelastisches Verhalten).

Abbildung 8-29: Entwicklung des Modal Split für unterschiedliche Haushaltstypen infolge Kraftstoffpreisänderung



Im Einklang mit den Erwartungen ist auch der Pkw-Besetzungsgrad bei Personen, die in Kleinhaushalten leben, mit durchschnittlich 1,33 deutlich geringer als bei den übrigen Haushalten mit 1,48. Dies gilt auch für die in beiden Gruppen geringfügige Zunahme des Besetzungsgrads um 0,10 (Kleinhaushalte) bzw. 0,05 (sonstige Haushalte) infolge einer Kraftstoffpreiserhöhung um 10 %. Auch hier sind also keine haushaltstypspezifischen Reaktionen feststellbar.

Abbildung 8-30: Entwicklung des errechneten Pkw-Besetzungsgrades für unterschiedliche Haushaltstypen infolge Kraftstoffpreisänderung



8.3.4 Raumtypspezifische Wirkungen

Die Entwicklung der Mobilität steht in engem Zusammenhang mit der räumlichen Siedlungsstruktur. Disperse Siedlungsstrukturen, wie sie häufig als städtebauliche Ideale in der Nachkriegszeit (nach 1945) propagiert wurden (Charta von Athen, Le Corbusier), begünstigen im Allgemeinen den Pkw als Verkehrsmittel.

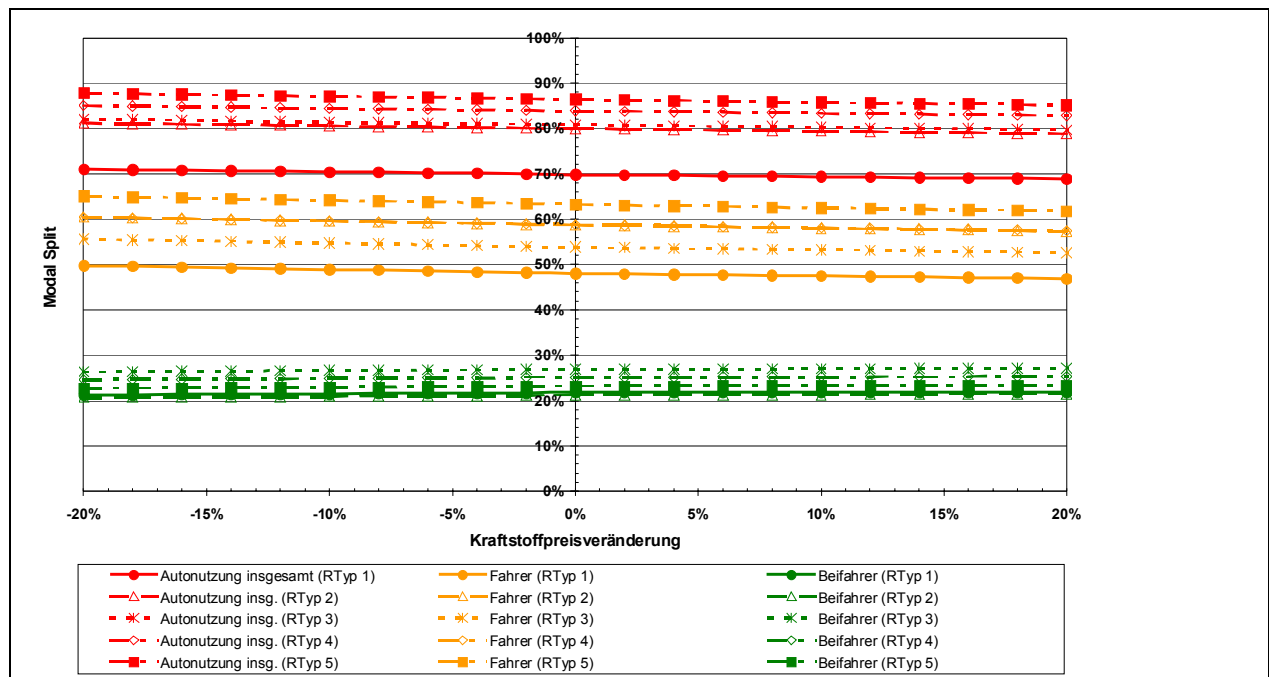
Die für den ÖPNV erhaltenen Ergebnisse zur Kreuzpreiselastizität der Nachfrage stehen nicht im Einklang mit den Erwartungen. Gemäß Panel reagiert die ÖPNV-Verkehrsleistung in den Raumtypen 1 – 3 weitgehend unelastisch auf Kraftstoffpreisänderungen. Die bei den Raumtypen 4 und 5 erhaltenen höheren Kreuzpreiselastizitäten wären verkehrspolitisch sicher wünschenswert, sie sind jedoch wegen der geringen Fallzahlen in Frage zu stellen. Tendenziell scheint eine Zunahme der Kreuzpreiselastizität vom hochverdichteten Raum in Richtung ländlichem Raum feststellbar. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass im ländlichen Raum im Durchschnitt größere Strecken zu überwinden sind und damit Kraftstoffpreiserhöhungen die monatlichen Kraftstoffausgaben deutlich erhöhen und das zur Verfügung stehende Budget belasten. Dies könnte bei bestehender ÖPNV-Anbindung zu einer stärkeren ÖPNV-Nachfrage und einer Erhöhung von Park-and-Ride-Nutzung führen.

Die Nachfrage im Hinblick auf die Verkehrsbeteiligungsarten zu Fuß / Fahrrad muss als unelastisch innerhalb des beobachteten Preisintervalls eingestuft werden. Bezogen auf den Raumtyp 5 erscheint die Elastizität ebenfalls betragsmäßig zu groß.

Tabelle 8-7: Raumtypspezifische Kraftstoffpreiselastizitäten der Verkehrsleistung

	Elastizität (Anzahl der Datensätze)				
	Raumtyp 1	Raumtyp 2	Raumtyp 3	Raumtyp 4	Raumtyp 5
	mehr als 100.000 Einwohner, Lage im Kern	mehr als 100.000 Einwohner, Lage am Rand	20.000 bis 100.000 Einwohner	5.000 bis 20.000 Einwohner	unter 5.000 Einwohner
Autonutzung insgesamt	-0,30 (4500)	-0,32 (1505)	-0,31 (1508)	-0,31 (1658)	-0,33 (1332)
Autonutzung als Fahrer	-0,37 (2947)	-0,38 (1182)	-0,39 (1132)	-0,37 (1265)	-0,38 (1064)
Autonutzung als Mitfahrer	-0,14 (2774)	-0,16 (1039)	-0,17 (1109)	-0,17 (1163)	-0,17 (928)
ÖPNV	-0,05 (2007)	0,05 (438)	0,09 (343)	0,14 (315)	0,24 (264)
Zu Fuß / Fahrrad	-0,03 (3768)	0,05 (1227)	0,00 (1303)	0,04 (1390)	0,21 (981)

Abbildung 8-31: Entwicklung des Modal Split für unterschiedliche Raumtypen infolge Kraftstoffpreisänderung



Die Veränderungen des Modal Split und des Pkw-Besetzungsgrades infolge Kraftstoffpreisänderungen sind für die einzelnen Raumtypen in Abbildung 8-31, Abbildung 8-32 und Abbildung 8-33 dargestellt.

Mikroanalytische Determinanten der Entwicklung des Modal Split sind in Tabelle 8-3 dargestellt. Neben dem Raumtyp des Wohnortes, der Lage des Arbeitsplatzes, der ÖPNV-Erreichbarkeit, z.B. des Arbeitsplatzes oder der Schule, gehen die Pkw-Verfügbarkeit und die Erreichbarkeit von Einkaufsmöglichkeiten, Kino und Sportstädten signifikant ein. Diese erklärenden Variablen bestimmen im Wesentlichen das jeweilige Niveau der einzelnen Verkehrsmittelanteile. Der über die Verkehrsleistungen errechnete Modal Split reagiert auf Kraftstoffpreisänderungen innerhalb des hier betrachteten Bereichs von +/- 20 % jedoch kaum.

Abbildung 8-32: Entwicklung des Modal Split für unterschiedliche Raumtypen infolge Kraftstoffpreisänderung

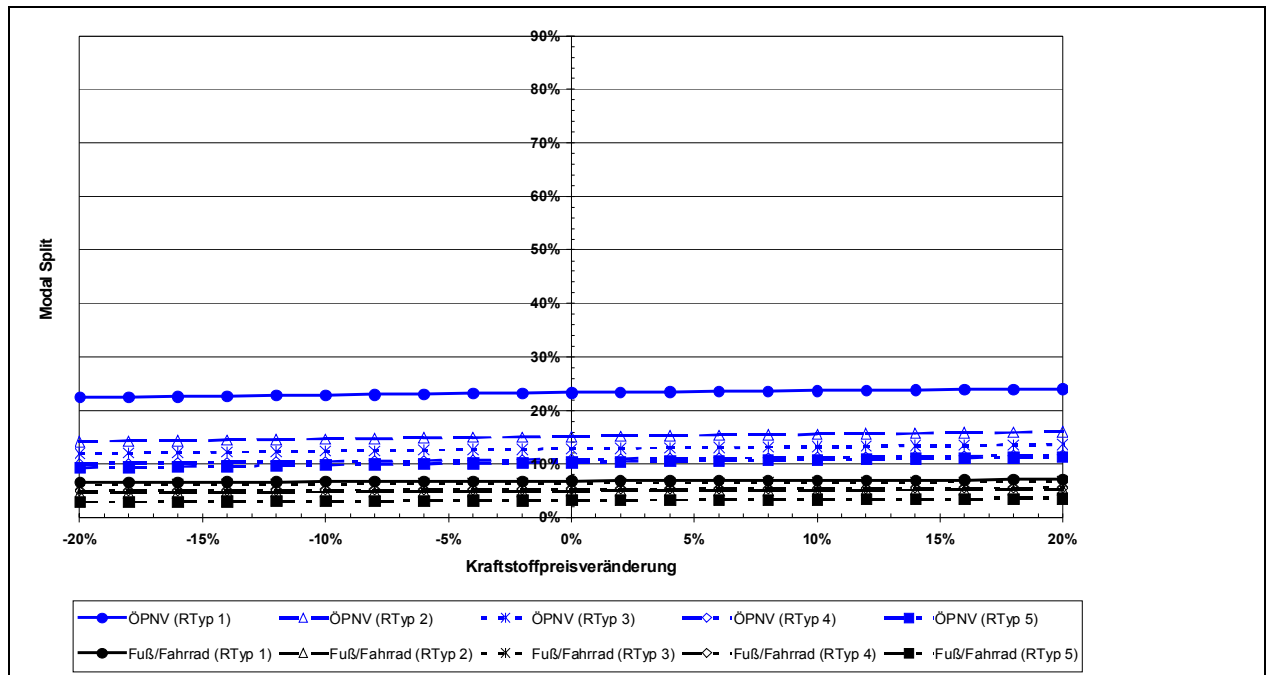
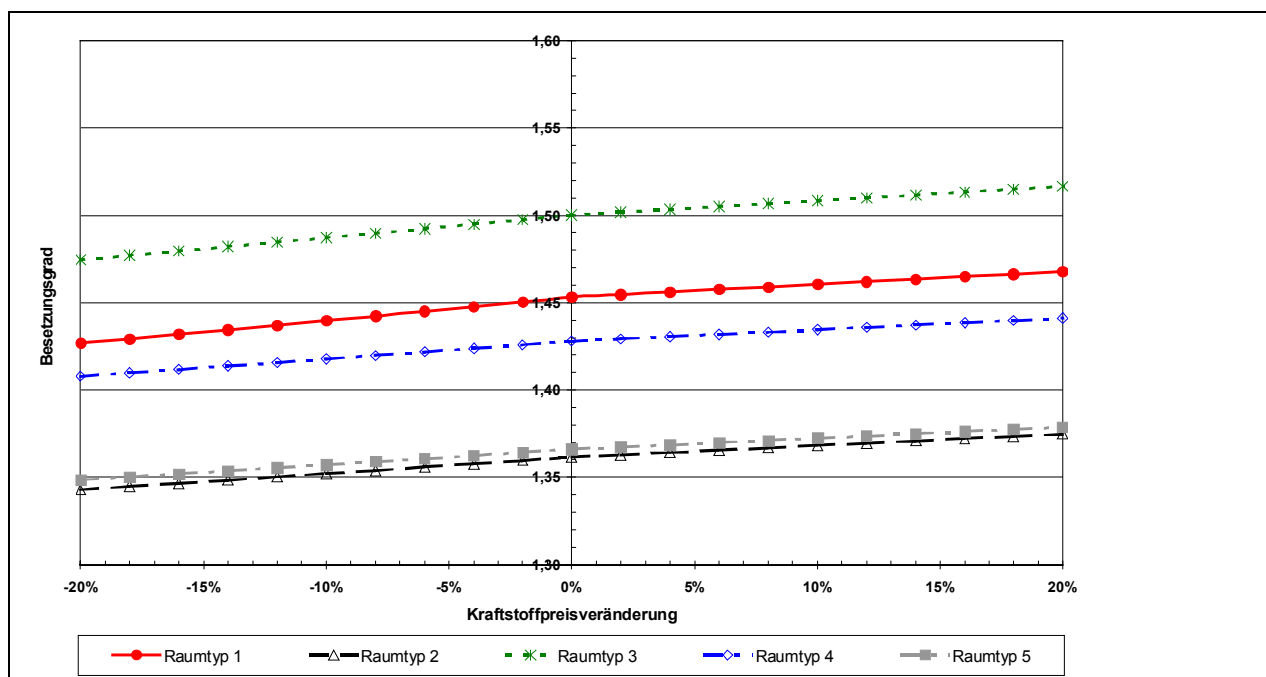


Abbildung 8-33: Entwicklung des errechneten Pkw-Besetzungsgrades für unterschiedliche Raumtypen infolge Kraftstoffpreisänderung



8.4 Analyse der kraftstoffpreisbedingten Veränderungen der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsleistungen auf Haushaltsebene

Die Entwicklungen der Verkehrsleistungen als Folge einer Kraftstoffpreisänderung sind aggregiert für Haushalte in Abbildung 8-34 und Abbildung 8-35 dargestellt. Die ermittelten Verhaltensänderungen und die errechneten Elastizitäten (Tabelle 8-8) entsprechen den Erwartungen und sind konsistent mit den bisherigen Ergebnissen.

Abbildung 8-34: Entwicklung der Verkehrsleistung für Haushalte infolge Kraftstoffpreisänderung

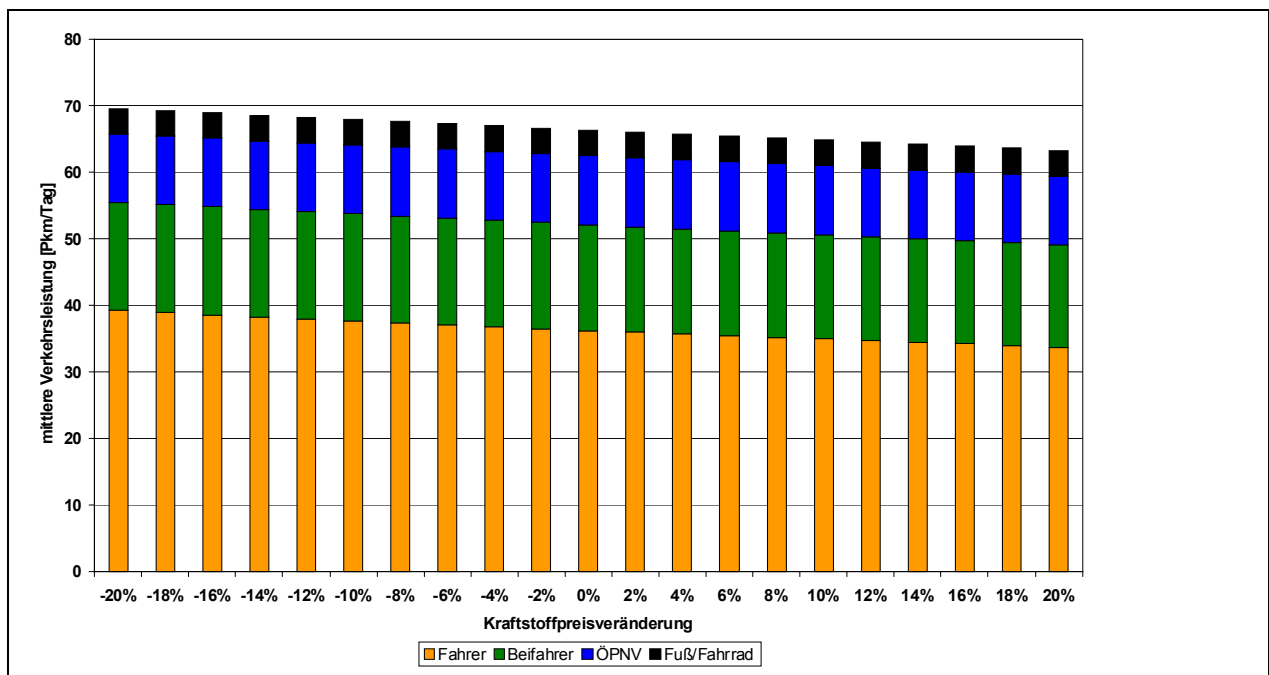
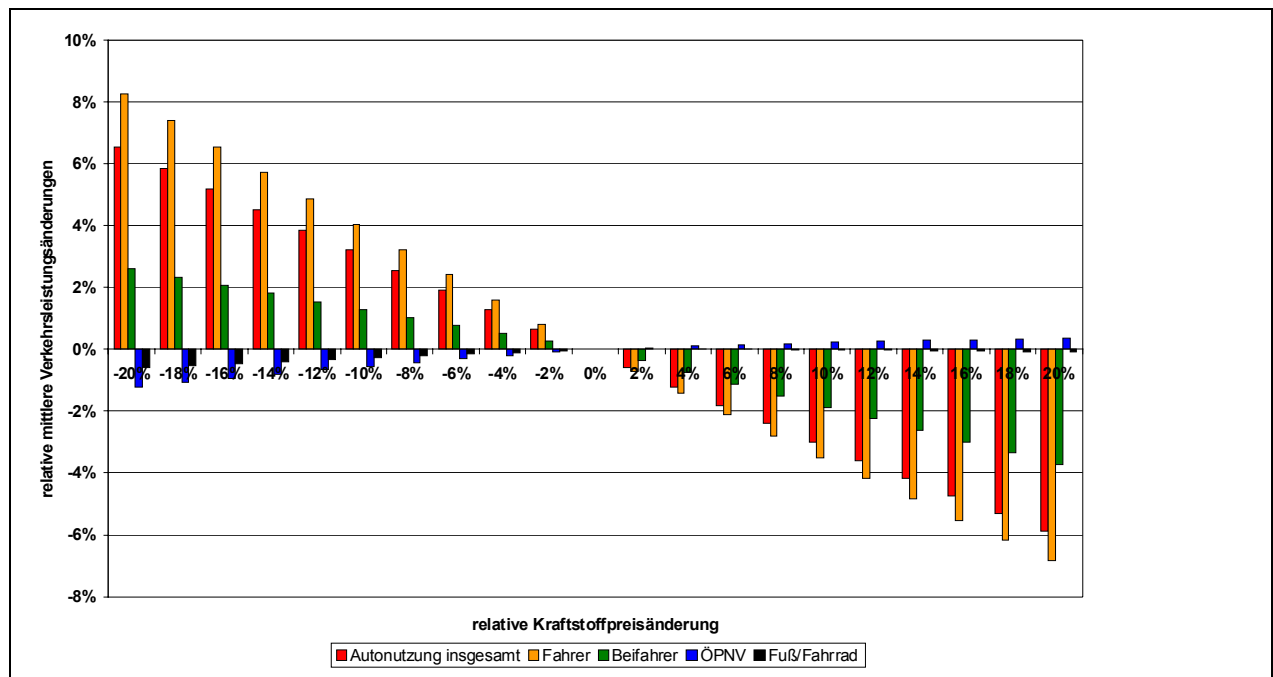


Abbildung 8-35: Änderung der Verkehrsleistung für Haushalte infolge Kraftstoffpreisänderung



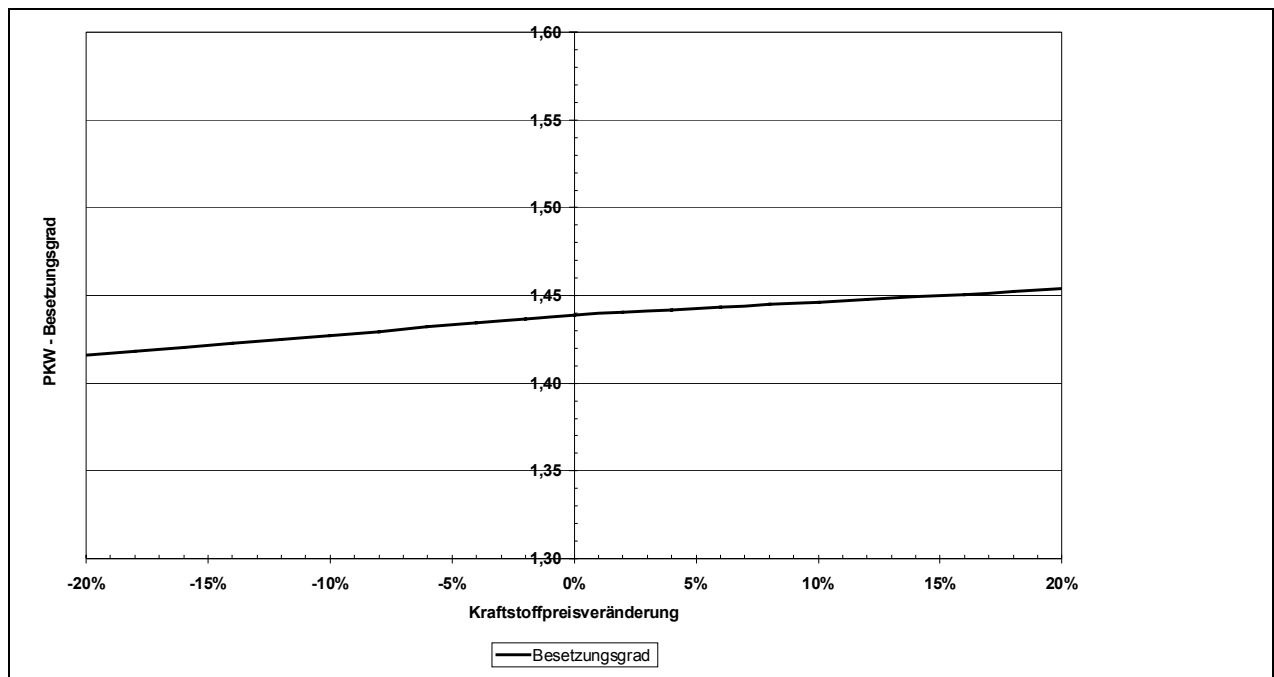
Eine Kraftstoffpreiserhöhung um 10 % bewirkt demnach eine Abnahme der Pkw-Verkehrsleistung der Haushalte um rd. 3 %. Die Fahrer-Verkehrsleistung (-0,38) reagiert erwartungsgemäß stärker als die Mitfahrer-Verkehrsleistung (-0,16) auf Preiserhöhungen.

Tabelle 8-8: Kraftstoffpreiselastizitäten der Verkehrsleistung auf Haushaltsebene

	Elastizität (Anzahl der Datensätze) Verkehrsleistung Haushalte
Autonutzung insgesamt	-0,31 (5847)
Autonutzung als Fahrer	-0,38 (5081)
Autonutzung als Mitfahrer	-0,16 (4506)
ÖPNV	0,04 (2524)
Zu Fuß / Fahrrad	0,01 (5181)

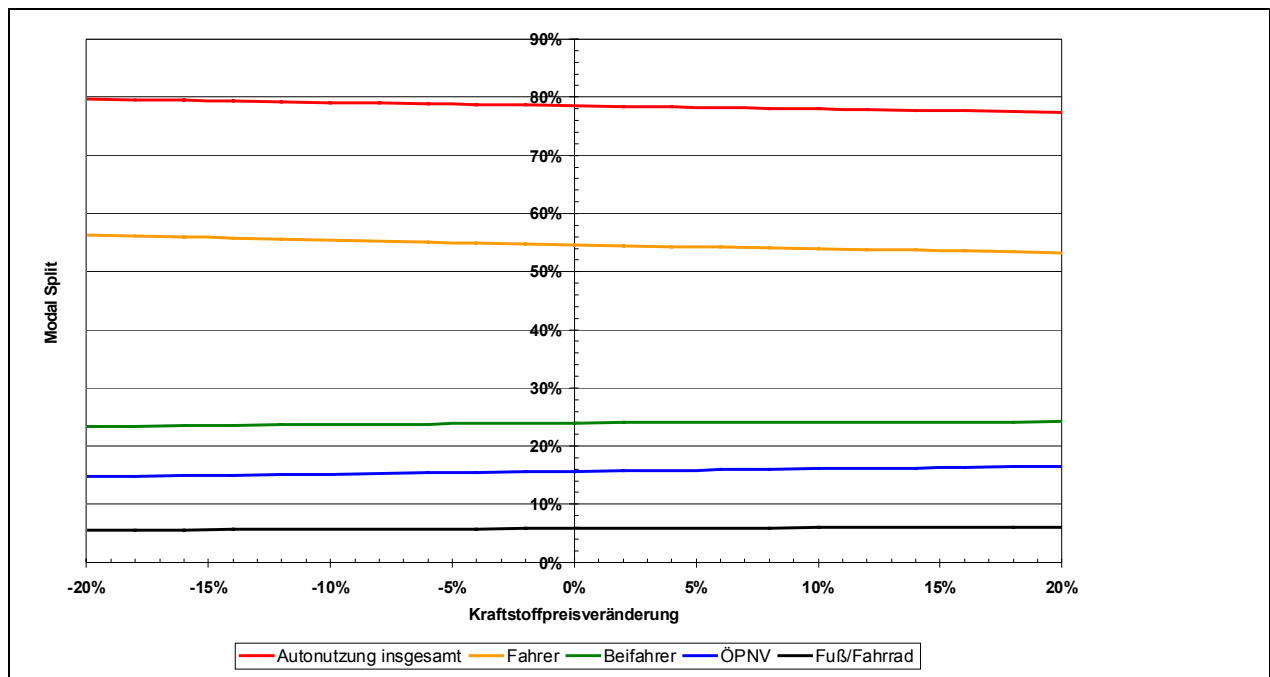
Bezogen auf die Haushaltsebene reagiert die ÖPNV-Nachfrage unelastisch (+0,04) auf eine Erhöhung des Kraftstoffpreises. Teilweise erfolgt eine wenn auch geringe Kompensation der Erhöhung des Mobilitätsbudgets der Haushalte durch eine Erhöhung des Pkw-Besetzungsgrads, und zwar um rd. 1 % bei 10-prozentiger Preiserhöhung (Abbildung 8-36).

Abbildung 8-36: Entwicklung des errechneten Pkw-Besetzungsgrades für Haushalte infolge Kraftstoffpreisänderung



Die Entwicklung des Modal Split auf Haushaltsebene bei Kraftstoffpreisänderungen ist in Abbildung 8-37 dargestellt und ergibt sich aus den Einzelbetrachtungen der jeweiligen Verkehrsleistungen. Die Autonutzung (78 %) dominiert (als Fahrer (54 %) und Mitfahrer (24 %)) gegenüber der ÖPNV-Nutzung (16 %) und den Verkehrsbeteiligungsarten zu Fuß/Fahrrad (6 %). Bei Kraftstoffpreiserhöhungen verschiebt sich der Modal Split nur marginal in Richtung ÖPNV.

Abbildung 8-37: Entwicklung des Modal Split für Haushalte infolge Kraftstoffpreisänderung



Soweit es um die Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Fahrer-Verkehrsleistung geht, bestätigen die Analysen mittels neuronaler Netze die in Kapitel 7 dargestellten Mikroanalysen mit Hilfe statistisch-ökonomischer Panelmodelle.

Teil III: Umsetzungsorientierte Aufbereitung der Analyseergebnisse

9 Mobilitätseffekte von Kraftstoffpreisänderungen: Zusammenfassung der empirischen Ergebnisse

9.1 Ergebnisse der Analysen auf Makroebene: Kraftstoffpreise und Kraftstoffabsatz sowie Pkw-Bestand

Zusammenfassend wird im Folgenden dargestellt, welche empirischen Befunde sich aus der Analyse von Makrodaten ableiten lassen. Hierbei wird zwischen kurz- und langfristigen Effekten von Kraftstoffpreisänderungen unterschieden.

9.1.1 Kurz- und mittelfristige Effekte von Kraftstoffpreisänderungen

Durch die Analyse makroökonomischer Zeitreihen konnte empirisch nachgewiesen werden, dass in der Vergangenheit auf Kraftstoffpreissteigerungen im Allgemeinen Rückgänge in der Kraftstoffnachfrage folgten. Statistisch abgesichert sind diese Absatzrückgänge im Fall von kräftigen Preissteigerungen. Dagegen sind bei schwächeren Preissteigerungen aus den Zeitreihen keine eindeutigen Reaktionen der Verbraucher zu erkennen. Die deskriptive Analyse legt ergänzend hierzu die Vermutung nahe, dass die Nachfragereaktionen bei Dieselmotorkraftstoff geringer ausfielen als bei Normalbenzin, was durch den hohen Anteil des Güterverkehrs am gesamten Dieselmotorkraftstoffverbrauch zu erklären ist.

Die regressionsanalytischen Untersuchungen von Zeitreihendaten ergaben, dass bei Normalbenzin ein negativer Zusammenhang zwischen Preis und Nachfrage vorhanden ist. Insgesamt ist der Einfluss des Preises aber relativ gering. In der quantitativen Analyse wurden Preiselastizitäten des Kraftstoffabsatzes ermittelt. Die Werte liegen mit -0,2 bis -0,3 im Rahmen der in der Literaturliteratur festgestellten Spanne. Es zeigt sich jedoch, dass die Kraftstoffnachfrage in der Bundesrepublik Deutschland eher weniger elastisch ist als nach der Literaturliteraturanalyse erwartet wurde.

Die Hypothese einer verzögerten Verbraucherreaktion kann durch die Auswertung der Makrodaten nicht gestützt werden. Für eine tiefergehende Analyse wären hier allerdings langfristige disaggregierte Zeitreihen nötig, insbesondere monatliche Reihen der Kraftstoffabsätze von Diesel- und Vergasermotorkraftstoff, da Verbraucherreaktionen mit mehr als einem Jahr Verzögerung unwahrscheinlich sind bzw. von anderen kurzfristig stärker wirkenden Effekten überlagert werden. Die vorhandenen Monatsdaten umfassen bezüglich relevanter

Preisänderungen nur die Jahre der Ökosteuerreform, die zugleich von Tendenzen wirtschaftlicher Rezession geprägt und daher nur vermindert aussagefähig bezüglich einer Preis-Nachfrage-Abhängigkeit sind. Hierbei kommt hinzu, dass durch die langfristige Ankündigung und öffentliche Diskussion der Ökosteuer die Verbraucher sich bereits im Vorfeld auf die Kraftstoffpreiserhöhungen einstellen konnten. Es ist deshalb möglich, dass Verbraucher schon vor der Steuererhöhung reagierten. Für die Analyse allein weltmarktbedingter, unerwarteter Preisschwankungen in größerem Ausmaß, wie beispielsweise während der Ölkrisen, lagen demgegenüber keine monatlichen Datenreihen vor.

Als Ergebnis der regressionsanalytischen Untersuchungen kann der Einfluss von sozioökonomischen Variablen auf den Kraftstoffabsatz als gesichert gelten. Von Bedeutung sind hier Variablen, die den Wohlstand der Bevölkerung beschreiben. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Regressionsanalyse erscheint es auch im Hinblick auf die Rolle der sozioökonomischen Faktoren sinnvoll, kurz- und langfristige Effekte zu unterscheiden. Die Ergebnisse deuten an, dass kurzfristig die Kraftstoffpreise stärker auf den Absatz wirken. Auf längere Sicht scheint indessen das Bruttoinlandsprodukt einen stärkeren Einfluss auf die Nachfrage zu haben.

9.1.2 Längerfristige Effekte von Kraftstoffpreisänderungen

Für längere Zeiträume und Zeitreihen von makroökonomischen Jahresdaten konnte kein signifikanter Einfluss des Preises auf die Kraftstoffnachfrage nachgewiesen werden. Hier dominieren vielmehr die sozioökonomischen Variablen.

In einem weiteren Untersuchungsteil wurde der Frage nachgegangen, wie sich die Kraftstoffpreise auf den Pkw-Bestand auswirken. Die deskriptive Analyse der Bestandsdaten deutet darauf hin, dass der Kraftstoffpreis nur ein Faktor von mehreren ist, welcher die Entwicklung der Pkw-Bestände beeinflusst. So wird der Trend zu Dieselfahrzeugen wohl weniger durch den Preisunterschied zwischen Vergaser- und Dieselmotoren als vielmehr durch die Kfz-Steuergesetzgebung und vor allem den technischen Fortschritt determiniert. Allerdings könnte der geringere Durchschnittsverbrauch von Dieselfahrzeugen im Zusammenspiel mit den günstigeren Dieselpreisen bei allgemein steigendem Preisniveau zunehmend zum Kaufargument werden.

Ein Trend zu kleinen, energiesparenden Pkw - als Folge gestiegener Kraftstoffpreise - ist nicht erkennbar. Die vorliegenden Datenreihen und ihre Differenzierung sind für spezifischere

Betrachtungen hier allerdings nicht ausreichend. Das Kriterium Kraftstoffverbrauch wird bisher beim Pkw-Kauf offenbar von anderen Kriterien (z.B. Komfort und Ausstattung) überlagert.

Anzeichen für einen Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Neuzulassungen, differenziert nach Antriebsart und Fahrzeuggröße, sind erst in jüngster Zeit zu beobachten. Langfristig können die Neuzulassungen eher auf Anreize in der Kfz-Steuergesetzgebung und die verfügbaren Technologien zurückgeführt werden. Die Entwicklungen bei den Neuzulassungszahlen verdeutlichen, dass die Kraftstoffpreise sich über längere Zeiträume stark erhöhen müssen, bis die Verbraucher durch Entscheidungen beim Neuwagenkauf auf diese Preissteigerungen reagieren. Hierbei spielt die Länge der Investitionszyklen sowie die subjektive Wahrnehmung der durch den Pkw verursachten Ausgabenanteile eine entscheidende Rolle.

Die zur Verfügung stehende Datengrundlage zu den Besitzumschreibungen macht eine Aussage über die Auswirkungen von Kraftstoffpreisänderungen auf den Gebrauchtwagenmarkt schwierig. Der Einfluss des Kraftstoffpreises scheint allerdings gering zu sein. Vermutet werden kann, dass Änderungen in den Kfz-Steuerregelungen und die Angebotsstrategie der Fahrzeughändler eine größere Bedeutung haben.

Insgesamt konnten mit Hilfe der Makrodaten durchaus Änderungen des Mobilitätsverhaltens aufgedeckt werden. Die Reaktionen des Kraftstoffabsatzes auf Preissteigerungen fallen jedoch z.T. nur undeutlich aus, was auf eine relativ unelastische Nachfrage schließen lässt. Die Reaktionen in Bezug auf den Pkw-Besitz sind – soweit überhaupt vorhanden - ebenfalls nur gedämpft und äußern sich am ehesten in einer Bevorzugung der Dieselseite beim Neuwagenkauf.

Ein wegen steigender Kraftstoffpreise sinkender Kraftstoffabsatz sagt über die Entwicklung der Fahrleistungen nur begrenzt etwas aus. Die Verbraucher können nämlich neben einer Reduzierung der gefahrenen Kilometer auch durch effizientere Pkw-Nutzung (z.B. erhöhter Besetzungsgrad, wirtschaftlichere Fahrweise) ihren Kraftstoffverbrauch reduzieren, ohne dabei direkt ihr Mobilitätsverhalten zu verändern. Antworten zu diesen Fragestellungen sind der Mikroanalyse vorbehalten.

9.2 Ergebnisse der Analysen auf Mikroebene: Kraftstoffpreise und Pkw-Fahrleistungen

9.2.1 Die Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage privater Haushalte

Die Analyse der Mikrodaten der Tankbucherhebung mit Hilfe statistisch-ökonomischer Panelmodelle bestätigt die aus anderen Untersuchungen bekannte Tatsache, dass die Fahrleistung von Pkw aus Privathaushalten von

- Strukturmerkmalen des Haushalts und seines räumlichen Umfeldes (Haushaltstyp, Raumtyp),
- Strukturmerkmalen des Fahrzeugs (Antriebsart, Alter und Hubraum) sowie von
- situativen Gegebenheiten im Berichtszeitraum (Einsatz für Urlaubsfahrten ja/nein) abhängt.

Bei Analysen auf Haushaltsebene tritt erwartungsgemäß noch die Zahl der Fahrzeuge im Haushalt als Determinante der gesamten Pkw-Verkehrsnachfrage des Haushalts hinzu. Es zeigt sich weiterhin, dass es im Untersuchungszeitraum 1995-2002 keinen signifikanten zeitlichen Trend (etwa im Sinne generell sinkender Fahrleistungen) gegeben hat. Soweit sich die mittleren Pkw-Fahrleistungen im genannten Zeitraum verändert haben, hat dies andere Gründe, zu denen auch die Entwicklung der Kraftstoffpreise gehört.

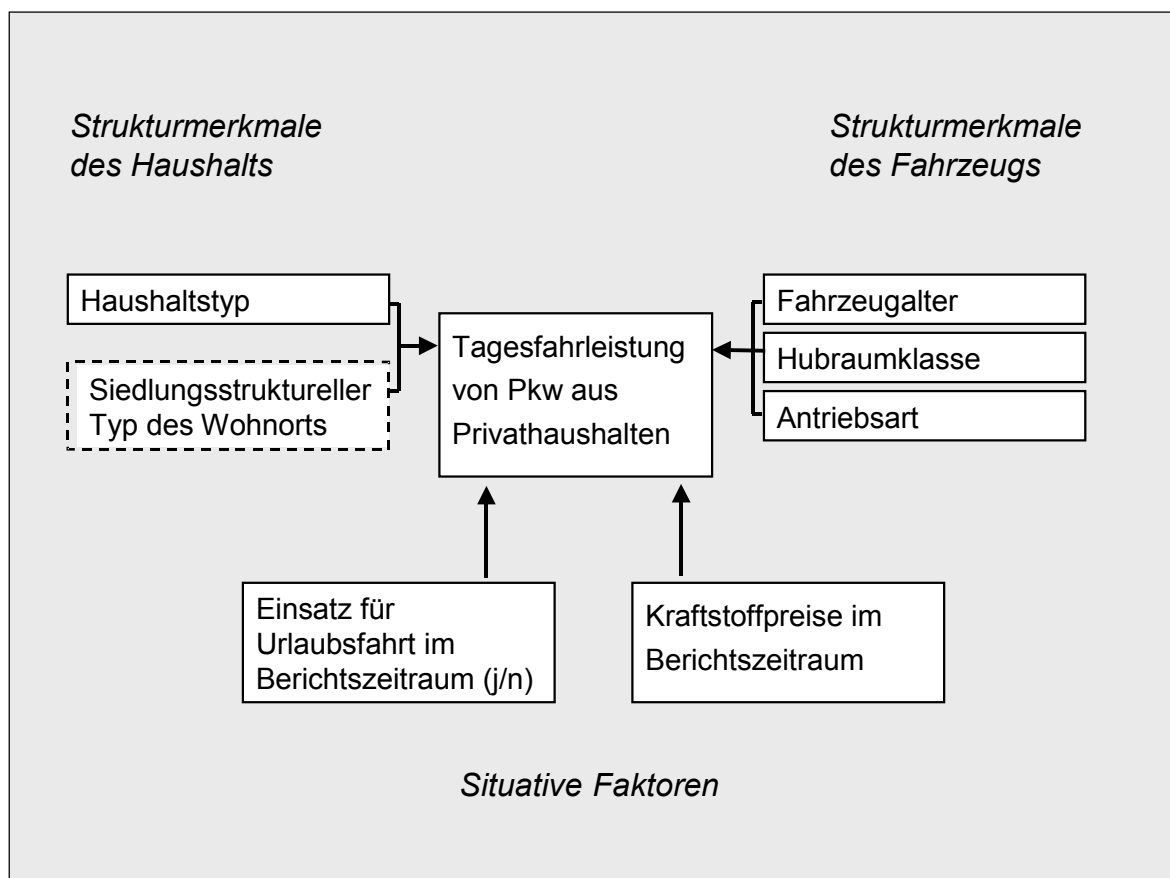
Neben den oben genannten strukturellen bzw. situativen Faktoren ist nach den hier durchgeführten Mikroanalysen auch der in der Berichtsperiode gezahlte Kraftstoffpreis eine signifikante Bestimmungsgröße der Pkw-Fahrleistung. Steigt der Kraftstoffpreis, so führt dies zu einem Rückgang der Pkw-Fahrleistung. Je nachdem, ob man die Daten der Tankbucherhebung auf Fahrzeug- oder Haushaltsebene analysiert, liegt die Punktschätzung der (kurzfristigen) Preiselastizität bei etwa $-0,3$ bzw. rund $-0,5$. Die ökonomische Schätzung der Preiselastizität ist dabei allerdings mit einem recht großen Stichprobenfehler behaftet. Das 95-Prozent-Konfidenzintervall reicht von $-0,63$ bis $-0,05$ (Fahrzeugebene) bzw. von $-0,74$ bis $-0,37$ (Haushaltsebene). Dass bei Analysen auf Fahrzeugebene die Elastizitätsschätzungen tendenziell niedriger ausfallen, liegt daran, dass auf der Ebene der Fahrzeuge die Bestimmungsfaktoren der Fahrleistung besser operationalisiert werden können. Aus diesem Grund ist auch den fahrzeugspezifischen Betrachtungen der Vorzug zu geben.

Insgesamt besagen die Analysen der Tankbuchdaten des Mobilitätspanels also, dass auf Kraftstoffpreiserhöhungen durchaus mit gewissen Verhaltensreaktionen zu rechnen ist. Die kurzfristige Preiselastizität der Pkw-Fahrleistungen kann danach im Bereich zwischen $-0,6$ und

-0,1 vermutet werden. Genauere Quantifizierungen sind beim derzeitigen Datenumfang des Mobilitätspanels noch nicht möglich. Die Pkw-Verkehrsnachfrage der privaten Haushalte - gemessen durch die Fahrleistung - ist in der Sprache der Mikroökonomie also relativ unelastisch, was ganz allgemein für Güter charakteristisch ist, die wie das Automobil keine nahen Substitute besitzen (VARIAN, 1999, S. 259).

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht nochmals die empirischen Befunde zu den Bestimmungsfaktoren der Fahrleistung von Pkw aus Privathaushalten.

Abbildung 9-1: Bestimmungsfaktoren der Fahrleistung von Pkw aus Privathaushalten in schematischer Darstellung



9.2.2 Stärke des Preiseffektes im Vergleich zum Einfluss anderer Bestimmungsfaktoren der Pkw-Verkehrsnachfrage

Mit den Ergebnissen der mikroökonomischen Panelmodelle gemäß Abschnitt 7.5 ist eine vergleichende Quantifizierung des Einflusses der Kraftstoffpreise auf die Fahrleistung von Pkw aus Privathaushalten möglich. Da es sich bei den ermittelten Koeffizienten der einzelnen

Einflussfaktoren um *partielle* Regressionskoeffizienten handelt, die den Einfluss der jeweiligen Faktoren bei gegebenen Werten aller übrigen Bestimmungsgrößen widerspiegeln, kann der „reine“ Effekt der Faktoren dargestellt werden. Hierbei wird zwischen metrischen und kategoriellen Einflussgrößen unterschieden und es wird eine Darstellung in Indexform gewählt, die sich wegen des multiplikativen Modellansatzes anbietet. Grundlage der Berechnungen sind die Analysen auf Fahrzeugebene.

Tabelle 9-1: Partieller Einfluss der Variablen Kraftstoffpreis und Fahrzeugalter auf die Fahrleistung von Pkw aus Privathaushalten

Einflussfaktor	Pkw-Tagesfahrleistung - Index -
Kraftstoffpreis	
70 Cent/Liter	100,0
80 Cent/Liter	95,6
90 Cent/Liter	91,9
100 Cent/Liter	88,7
110 Cent/Liter	85,9
Fahrzeugalter ¹⁾	
1 Jahr	100,0
3 Jahre	87,9
5 Jahre	82,8
7 Jahre	79,5
9 Jahre	77,2

¹⁾ Wegen der loglinearen Modellspezifikation ist das Fahrzeugalter wie folgt definiert: Berichtsjahr minus Jahr der Erstzulassung plus eins.

Tabelle 9-2: Partieller Einfluss der Faktoren Haushaltstyp, Hubraumklasse, Antriebsart und Urlaubsfahrt auf die Fahrleistung von Pkw aus Privathaushalten

Einflussfaktor	Pkw-Tagesfahrleistung - Index - (Referenzkategorie = 100)
Haushaltstyp	
- 1-2 Pers. mit Berufstätigen	96,5
- 1-2 Pers. ohne Berufstätige	83,2 ²⁾
- 3+ Pers. mit Kindern u. 18	98,0
- 3+ Pers. ohne Kinder	100,0
Hubraumklasse (ccm)	
- unter 1.400	75,1 ¹⁾
- 1.400 - 1.599	84,7 ²⁾
- 1.600 - 1.999	102,1
- 2.000 und mehr	100,0
Antriebsart	
- Ottomotor	83,4 ²⁾
- Dieselmotor	100,0
Urlaubsfahrt im Berichtszeitraum	
- nein	75,1 ¹⁾
- ja	100,0

¹⁾ Signifikanter Unterschied zur Referenzkategorie (1 %-Niveau)

²⁾ Signifikanter Unterschied zur Referenzkategorie (2,5 %-Niveau)

Wie die beiden Tabellen Tabelle 9-1 und Tabelle 9-2 zeigen, gehört der Kraftstoffpreis zu den eher schwächeren Determinanten der Fahrleistung von Privat-Pkw. Wenn man für die einzelnen Einflussgrößen jeweils den empirisch relevanten Wertebereich betrachtet, so zeigt sich, dass der Index der erwarteten Pkw-Tagesfahrleistung in Abhängigkeit vom Kraftstoffpreis die geringste Schwankungsbreite aufweist. Betrachtet man das Fahrleistungsniveau beim Preis 70 Cent/Liter als Referenzgröße (Index = 100), so sinkt dieses Niveau auf rund 86 % ab, wenn der Kraftstoffpreis auf 110 Cent/Liter steigt. In Abhängigkeit von den übrigen Einflussfaktoren sind die Niveauveränderungen bei der erwarteten Pkw-Tagesfahrleistung jeweils etwas stärker.

9.2.3 Keine Wechselwirkungen des Faktors Kraftstoffpreis mit anderen Bestimmungsgrößen der Pkw-Verkehrsnachfrage

Ein durchaus überraschendes Ergebnis der Datenanalyse ist, dass die Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage sich nicht signifikant zwischen verschiedenen Teilgruppen von Fahrzeugen oder Haushalten unterscheidet. Alle getesteten Wechselwirkungen zwischen dem

Faktor Preis und den übrigen Bestimmungsgrößen der Pkw-Verkehrsnachfrage privater Haushalte erwiesen sich als absolut insignifikant. Dies gilt gleichermaßen für die Modelle auf Fahrzeug- und Haushaltsebene.

Insbesondere ist keine nach siedlungsräumlichen Gegebenheiten unterschiedliche Preisreagibilität der Haushalte empirisch nachweisbar. Das in Ballungsräumen bessere ÖV-Angebot schlägt sich zwar in insgesamt etwas geringeren Pkw-Fahrleistungen der Ballungsraumbewohner nieder. Auf Kraftstoffpreiserhöhungen reagieren Haushalte in Ballungsräumen aber nicht anders als die Nachfrager in weniger verdichteten Gebieten. Es gibt in den Verdichtungsräumen also keine verstärkte Neigung, bei steigenden Kraftstoffpreisen auf Pkw-Kilometer zu verzichten, obwohl dies wegen der besseren ÖV-Alternativen eher möglich wäre als in ländlichen Regionen.

Auch zwischen den Haushaltstypen sind keine Unterschiede in der Preisreagibilität feststellbar. Hier könnte man ja zunächst vermuten, dass z.B. Haushalte von Nichterwerbstätigen stärker auf Preissteigerungen reagieren als Erwerbstätigenhaushalte, weil letztere stärkeren Mobilitätswängen ausgesetzt sind. Ebenso gibt es keine Interaktionen zwischen dem Kraftstoffpreis und Haushaltsmerkmalen, die positiv mit dem Einkommen korreliert sind (wie z.B. Ausstattung des Haushalts mit hubraumstarken Fahrzeugen). Die Preiselastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage privater Haushalte ist gemäß Tankbucherhebung also bei allen Teilgruppen von Haushalten dieselbe. Da dieser überraschende Befund auch im begrenzten Datenumfang des Mobilitätspanels begründet sein kann, sollte zu gegebener Zeit die Analyse mit einer dann größeren Datenmenge wiederholt werden.

9.2.4 Unabhängigkeit des spezifischen Kraftstoffverbrauchs von den Kraftstoffpreisen

Der vermutete Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Wirtschaftlichkeit der Fahrweise und damit auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch kann mit den Mikrodaten der Tankbucherhebung nicht nachgewiesen werden. Es gibt aus diesen Daten keinerlei Anhaltspunkte dafür, dass auf sich ändernde Kraftstoffpreise mit einer Anpassung des Fahrstils reagiert wird.

9.3 Ergebnisse der Analysen auf Mikroebene: Kraftstoffpreise und Verkehrsmittelwahl

9.3.1 Der Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Verkehrsmittelwahl

Der Einfluss der Kraftstoffpreise auf die Verkehrsmittelwahl wurde unter Verwendung der Wegetagebuchdaten 1994-2001 des Mobilitätspanels mit Hilfe eines neuronalen Netzwerks auf Personenebene und Haushaltsebene untersucht, wobei nach geschlechts-, haushaltstyp- und raumtypspezifischen Gesichtspunkten differenziert worden ist. Der Modal Split wurde hierbei auf der Grundlage der mit den verschiedenen Verkehrsmitteln zurückgelegten Entfernungen bestimmt. Die entsprechenden Elastizitäten (direkte Elastizität und Kreuzelastizität) wurden über Simulationen des neuronalen Netzwerks gewonnen. Im Gegensatz zu den Analysen mit Hilfe von Regressionsmodellen können hier allerdings keine Konfidenzintervalle angegeben werden. Insofern sind die nachfolgenden Ergebnisse immer im Sinne von Punktschätzungen zu verstehen.

Die Simulation auf Personenebene zeigt, dass eine Abnahme des Kraftstoffpreises um 10 % eine Zunahme der Autonutzung um 3,2 % zur Folge hat. Dieses Ergebnis entspricht fast genau den Resultaten, die durch statistisch-ökonomische Auswertung der Tankbuchdaten gewonnen wurden. Eine Erhöhung des Kraftstoffpreises um 10 % ist mit einer Abnahme der Pkw-Verkehrsleistung (insgesamt) um 2,9 % verbunden, die ÖPNV-Verkehrsleistung nimmt in diesem Fall nur marginal um rd. 0,4 % zu. Unelastisch in Bezug auf den Kraftstoffpreis ist auch die Nachfrage im nichtmotorisierten Verkehr (zu Fuß und Fahrrad).

Die kraftstoffpreisbedingten Veränderungen im Modal Split auf Personenebene sind relativ gering. Dies gilt auch für die entsprechenden Änderungen des über die Verkehrsleistungen der Fahrer und Mitfahrer errechneten Pkw-Besetzungsgrads.

Auf der Haushaltsebene bewirkt eine Kraftstoffpreiserhöhung um 10 % eine Abnahme der Pkw-Verkehrsleistung um rd. 3 %. Die Pkw-Fahrer-Verkehrsleistung reagiert auf Preiserhöhungen erwartungsgemäß stärker als die Mitfahrer-Verkehrsleistung. Die entsprechenden Elastizitätswerte liegen bei $-0,38$ bzw. $-0,16$.

Auch auf der Haushaltebene ist die ÖPNV-Nachfrage ausgesprochen unelastisch ($+0,04$) in Bezug auf Erhöhungen der Kraftstoffpreise. In geringem Umfang wird die Steigerung des Mobilitätskostenbudgets der Haushalte durch eine Erhöhung des Pkw-Besetzungsgrads kompensiert; dieser nimmt bei 10 -prozentiger Erhöhung des Kraftstoffpreises um 1 % zu. Auf den Modal Split auf Haushaltsebene (Autonutzung 78 %, ÖPNV-Nutzung 16 %, zu Fuß/Fahrrad

6 %) wirken sich Kraftstoffpreisänderungen nur wenig aus. Bei einer Kraftstoffpreiserhöhung um 10 % führen die Simulationsrechnungen nur zu marginalen Verschiebungen in Richtung ÖPNV.

9.3.2 Gruppenspezifische Betrachtung der Wirkungen von Kraftstoffpreisänderungen auf die Verkehrsmittelwahl

Die Pkw-Fahrer-Verkehrsleistung bei Männern geht bei einer 10-prozentigen Kraftstoffpreiserhöhung um ca. 3,4 %, die entsprechende Mitfahrer-Verkehrsleistung weniger stark, aber doch um rd. 2 % zurück. Die ÖPNV-Verkehrsleistung der Männer nimmt bei dieser Modellrechnung geringfügig um ca. 0,6 % zu. Die Stärke der Verhaltensänderungen hängt hier vom Vorzeichen der Kraftstoffpreisänderung ab: Eine Kraftstoffpreissenkung lässt demnach die Pkw-Verkehrsleistung der Männer prozentual deutlich stärker zunehmen als eine prozentual gleiche Kraftstoffpreiserhöhung zu einer Verringerung der Pkw-Verkehrsleistung beiträgt.

Die Pkw-Verkehrsleistung (als Fahrer und Mitfahrer) bei Frauen geht als Reaktion auf eine 10-prozentige Kraftstoffpreiserhöhung zwar im gleichen Maße wie bei den Männern zurück, nämlich um rd. 3,2 %, etwas geringer ist jedoch der Rückgang der Pkw-Fahrer-Verkehrsleistung bei Frauen mit rd. 2,5 % gegenüber rd. 3,1 % bei Männern. Diese Unterschiede im Simulationsergebnis könnten darauf hindeuten, dass Frauen aufgrund ihrer Aktivitätenmuster weniger in der Lage oder weniger bereit sind, ihr Mobilitätsverhalten aufgrund einer Kraftstoffpreisänderung zu verändern.

Die Mobilität steht in engem Zusammenhang mit der räumlichen Siedlungsstruktur. Disperse Siedlungsstrukturen begünstigen im allgemeinen den Pkw als Verkehrsmittel. Die Betrachtung der Wirkungen einer Kraftstoffpreisänderung auf die Pkw-Verkehrsnachfrage differenziert nach Raumtypen lässt keine raumtypspezifischen Unterschiede (z.B. Stadt-Land-Unterschiede) erkennen. Auch hier stimmen die Analyseergebnisse mit den Resultaten der Auswertung der Tankbucherhebung überein. Bezogen auf die ÖPNV-Verkehrsleistung und die Verkehrsleistung im Fußgänger- und Fahrradverkehr sind ebenfalls keine raumtypspezifischen Effekte nachzuweisen.

Die Simulationsrechnungen zur Preiselastizität der Verkehrsleistungen zeigen, dass Kleinhaushalte mit Berufstätigen bezüglich der Pkw-Nutzung als Fahrer und als Mitfahrer auf Kraftstoffpreisänderungen ähnlich reagieren (-0,39, -0,18) wie die sonstigen Haushalte (-0,35, -0,10). Auch bezüglich der ÖPNV-Verkehrsleistung und der Verkehrsleistung im nichtmotorisierten Verkehr weisen die Kleinhaushalte mit Berufstätigen (+0,03; 0,00) praktisch die gleiche Kreuzpreiselastizität auf wie die sonstigen Haushalte (+0,04; +0,06) .

10 Schwellenwerte und Gültigkeitsbereiche

10.1 Begriffsabgrenzungen

10.1.1 Schwellenwerte des Preises

Im Zusammenhang mit einer Untersuchung über die Veränderung der Nachfrage bei Preisänderungen interessiert auch, ob es bestimmte Preisschwellen gibt, ab denen eine weitere Preiserhöhung zu einem stärkeren Rückgang der Nachfrage im Vergleich zu Preiserhöhungen unter dieser Preisschwelle führt. Ein solcher Schwellenwert des Preises würde sich in einer Änderung der Preiselastizität niederschlagen.

Auch in zeitlicher Dimension ist ein Schwellenwert denkbar. Ändert sich innerhalb von sehr kurzer Zeit der Preis eines Gutes erheblich, kann dies zu einer stärkeren Änderung der Nachfrage führen als wenn der Preis sich zwar um denselben Betrag, aber über einen längeren Zeitraum geändert hätte.

Die Existenz solcher Schwellenwerte lässt sich vor allem unter psychologischen Aspekten, aber auch mit der Einkommenselastizität der Nachfrage und den Opportunitätskosten begründen. Diese Aspekte werden im Folgenden knapp umrissen.

Unter dem *psychologischen Aspekt* lassen sich Reaktionen zusammenfassen, die mit der subjektiven Wahrnehmung der Preiserhöhung zu tun haben, sei es, dass an eine bestimmte Preishöhe emotionale Bindungen bestehen, was bei Kraftstoffpreisen eher in geringem Maße der Fall sein dürfte, sei es, dass Preiserhöhungen nicht immer in gleicher Weise wahrgenommen werden. Dies kann darin liegen, dass sich der Preis nicht nur in der Nachkommastelle ändert; es kann aber auch durch die Kommunikation in den Medien hervorgerufen werden.

Hier spielt auch die Ursache der Preiserhöhung - ob es sich um eine steuerliche oder um eine marktbedingte Preiserhöhung handelt - eine Rolle. Bei marktbedingten Preiserhöhungen besteht tendenziell die Vermutung oder Hoffnung, dass der Preis demnächst auch wieder fallen wird, woraufhin keine oder eine nur kurzfristige Verhaltensänderung erfolgt. Demgegenüber wird im Falle von steuerbedingten Erhöhungen in der Regel davon ausgegangen, dass der Preis mindestens auf diesem Niveau verbleibt, was somit eher zu einer dauerhaften Anpassung der Nachfrage führt.

Der Aspekt, welcher die *Einkommenselastizität der Nachfrage* ins Augenmerk rückt, berücksichtigt die Veränderungen des Verhältnisses zwischen den Ausgaben für Kraftstoff und dem Einkommen („Mobilitätsbudget“). Hierbei wird ein Schwellenwert erreicht, wenn ein Haushalt es sich nicht mehr leisten kann, unterproportional, d.h. mit einer Preiselastizität zwischen -1 und 0, auf Preiserhöhungen zu reagieren, sondern die Nachfrage entlang seines verfügbaren Mobilitätsbudgets dimensionieren muss. Unterproportionale Reaktionen bedeuten stets eine Ausweitung des „Kraftstoffbudgets“ (im Verhältnis zum Einkommen), was zur Folge hat, dass der Haushalt andere Ausgaben einschränken muss oder seine Sparquote sinkt.

Wo für den einzelnen Haushalt diese Schwelle liegt, hängt nicht zuletzt von den *Opportunitätskosten* ab, d.h. von der Attraktivität eines alternativen Verhaltens. Alternativen bestehen ja nicht ausschließlich in verändertem Verkehrsverhalten, sondern auch in weitreichenden Entscheidungen über andere Lebensbereiche, wie z.B. Umzug, um an bessere ÖPNV-Verbindungen angeschlossen zu sein oder um räumlich näher an Arbeitsplatz, Ausbildungsstätte etc. heranzurücken. Auch ein anderes Freizeitverhalten ist hierbei anzunehmen, wahrscheinlich sogar als erste, weil am wenigsten folgenreiche Reaktion. Dies betrifft z.B. das Unterlassen längerer Ausflugsfahrten oder die Wahl einer anderen Sportstätte. Die möglichen Reaktionen sind also vielfältiger Natur (kürzere Wege bzw. andere Ziele, Umstieg auf ÖPNV oder Fahrrad, Bilden von Mitfahrgemeinschaften, Streichen von Freizeitfahrten).

Ferner ist - wie in Abschnitt 2.3 dargestellt - denkbar, dass an anderen Mobilitätsausgaben gespart wird, dass z.B. notwendige Fahrzeugreparaturen nicht vorgenommen werden, eine andere Versicherungsleistung gewählt oder sogar ein in der Unterhaltung kostengünstigeres Fahrzeug angeschafft wird.

Da sich neben den monetären auch die nicht-monetären Entscheidungsgrundlagen sowie sozialstrukturelle Merkmale auf die jeweiligen Opportunitätskosten eines Haushalts auswirken, ist anzunehmen, dass verschiedene Gruppen, wie z.B. Männer und Frauen, Einpersonen- und Mehrpersonenhaushalte, Auszubildende, Erwerbspersonen, Rentner usw. unterschiedliche Schwellenwerte besitzen.

10.1.2 Gültigkeitsbereiche der Preiselastizität

Gültigkeitsbereiche liefern Angaben darüber, zwischen welchen Schwellenwerten des Preises bestimmte Elastizitäten gelten. Bei linearen⁴⁷ und verschiedenen nichtlinearen Nachfragefunktionen sind die Elastizitäten vom betrachteten Preisniveau abhängig. Daneben gibt es aber auch Nachfragefunktionen mit insgesamt⁴⁸ oder abschnittsweise konstanter Preiselastizität. Im letztgenannten Fall ist die Elastizität der Nachfrage von Preisbereich zu Preisbereich unterschiedlich. Dass die betreffenden Bereichsgrenzen mit den oben diskutierten Schwellenwerten zusammenfallen, ist offensichtlich.

Auch die Konfidenzintervalle stellen eine Art von Gültigkeitsbereichen dar. Die Breite eines solches Intervalles ändert sich mit der Wahl des Sicherheitsgrades. Je geringer die Wahrscheinlichkeit des Irrtums, d.h. das Risiko der Unrichtigkeit der Aussage sein soll, desto breiter muss das Konfidenzintervall sein, hier also der Wertebereich, innerhalb dessen die „wahre“ Preiselastizität vermutet wird. Konfidenzintervalle werden benötigt, wenn empirisch vorgefundene Zusammenhänge und Kennzahlenwerte verallgemeinert werden sollen (vgl. hierzu Abschnitt 5.2.4).

10.2 Erkenntnisse zu Schwellenwerten und Gültigkeitsbereichen aus den mikroanalytischen Untersuchungen

10.2.1 Möglichkeiten und Grenzen der Quantifizierung der Kraftstoffpreiselastizität

Aus den Analysen der Tank- und Wegetagebücher geht hervor, dass sich mit diesen Daten keine Erkenntnisse im Hinblick auf Schwellenwerte der Kraftstoffpreise ableiten lassen. Die anhand der Daten und der verwendeten Nachfragemodelle berechneten direkten Preiselastizitäten sind unabhängig vom Preisniveau und unabhängig vom Zeitintervall der Preisänderungen. Somit ließe sich aus der mikroanalytischen Untersuchung folgern, dass die direkte Preiselastizität der Nachfrage nach Pkw-Fahrleistungen oder nach Kraftstoff immer gleich ist und bei keiner Preiserhöhung ein Schwellenwert erreicht wird, der einen stärkeren oder schwächeren Rückgang der Nachfrage als es der konstanten Elastizität entspricht zur

⁴⁷ Lineare Nachfragefunktionen haben zwar eine konstante Steigung, die Preiselastizität ist jedoch nicht konstant, sondern vom jeweiligen Preisniveau abhängig.

⁴⁸ Dies gilt z.B. für die in Kapitel 7 verwendeten loglinearen Modelle.

Folge hätte. Es liegt auf der Hand, dass eine solche Interpretation der Untersuchungsergebnisse nicht zulässig ist.

Die erhaltenen Ergebnisse, wonach die Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage konstant und insgesamt relativ gering ist, müssen vor dem Hintergrund der verwendeten Datenbasis gesehen werden. Zum einen ist die im untersuchten Zeitraum empirisch beobachtete Preisspanne zwar recht beträchtlich, aber keinesfalls extrem, zum anderen sind die Berichtsperioden der Haushalte mit jeweils einer Woche pro Jahr bei den Wegetagebüchern sehr kurz, vor allem gegenüber dem langen Zeitraum eines jeweils dazwischenliegenden Jahres. Die Tankbuchehebung überdeckt zwar 6 bis 8 Wochen pro Jahr, es zeigt sich aber, dass die Datenlage insoweit problematisch ist, als bei über 50 % der Fälle eine Schwankung der mittleren Tagesfahrleistung um bis zu 10 Kilometern von einem Berichtsjahr zum nächsten und bei immerhin noch 10 % der Fälle eine Schwankung von mehr als 30 Kilometern vorliegt. Bei einer solchen Jahr-zu-Jahr-Streuung der mittleren täglichen Pkw-Fahrleistung, die offensichtlich durch nicht erhobene subjektive und situative Variablen induziert ist und somit auch nicht kontrolliert berücksichtigt werden kann, ist die Gewinnung eines differenzierten Bildes der Nachfrageelastizität nur begrenzt möglich⁴⁹.

Da der Anteil der nicht erklärten Varianz der Tagesfahrleistung groß ist, ist auch das Konfidenzintervall der Kraftstoffpreiselastizität mit -0.63 bis -0.05 relativ breit, was die stichprobenbedingte Unsicherheit der Elastizitätsschätzung widerspiegelt. Da die getesteten Interaktionen zwischen den Variablen Kraftstoffpreis und Berichtsjahr nicht signifikant sind, geben die verwendeten Daten keinen Hinweis darauf, dass die Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage sich im Zeitraum zwischen 1995 und 2002 verändert hat. Daraus darf natürlich nicht gefolgert werden, dass überhaupt nicht mit solchen Veränderungen der Preisempfindlichkeit der privaten Haushalte zu rechnen ist.

10.2.2 Zur Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fälle extremer Kraftstoffpreisänderungen

Die Paneldaten der Jahre 1994 bis 2001 beinhalten Informationen über Verhaltensänderungen der Personen und Haushalte innerhalb dieses Zeitraums. Aufgabe der statistischen Modelle bzw. des neuronalen Netzes ist es, aus diesen Daten signifikante Verhaltensänderungen zu

⁴⁹ Mit den in der Tankbuchehebung erfassten Variablen kann die Schwankung der mittleren Pkw-Tagesfahrleistung von Jahr zu Jahr und Haushalt zu Haushalt aber immerhin zu 44 % erklärt werden. Bei Analysen auf der Fahrzeugebene beträgt dieser Wert 22 %.

extrahieren, die mit erklärenden Variablen im Zusammenhang stehen. Die empirischen Daten überdecken hierbei nominal ein Kraftstoffpreisintervall von 0,45 Euro/Liter bis 1,10 Euro/Liter. Wegen der Generalisierungsfähigkeit des neuronalen Netzwerks ist grundsätzlich eine Abschätzung von Verhaltensänderungen infolge von Kraftstoffpreiserhöhungen über das gelernte "Erfahrungsintervall" hinaus möglich. Entsprechendes gilt für statistisch-ökonomische Nachfragemodelle.

Bei Kraftstoffpreiserhöhungen, die sich wirklich gravierend auf den Anteil des Mobilitätsbudgets am verfügbaren Einkommen auswirken, sind auf diesem Wege erhaltene Ergebnisse allerdings zu hinterfragen, da über die Mikrodaten des Mobilitätspanels (1994 – 2001) noch keine diesbezüglichen empirischen Erfahrungen vorliegen. Manches spricht dafür, dass die tatsächlichen Verhaltensänderungen der Haushalte im Fall drastischer Preiserhöhungen eher stärker ausgeprägt sein könnten als in Modellrechnungen und Simulationen auf der Basis von Vergangenheitsdaten.

10.3 Erkenntnisse zu Schwellenwerten und Gültigkeitsbereichen aus den makroanalytischen Untersuchungen

Der makroanalytische Ansatz sieht sich ebenso mit Datenproblemen konfrontiert. Insgesamt sind auf der Makroebene die Ergebnisse des Modells mit Quartalsdaten die theoretisch und statistisch haltbarsten. Das 99 %-Konfidenzintervall für den Elastizitätswert (Punktschätzung -0,29) reicht hier von -0,51 bis -0,07.

Diese Intervallbreite ist auch auf die mit 32 Fällen geringe Anzahl von untersuchten Quartalen zurückzuführen. Daneben muss hier wie oben wieder beachtet werden, dass die trotz allem immer noch geringe Preisspanne im Untersuchungszeitraum keine Verallgemeinerung der Ergebnisse zulässt. Die mangelnde Generalisierbarkeit resultiert nicht aus einer Unzulänglichkeit des verwendeten Analysemodells – der geringen Fallzahl sowie der Streuung der Variablen wird durch die Breite des Konfidenzintervalls Rechnung getragen – sondern wiederum aus der Tatsache, dass bei anderen Preisniveaus als den im untersuchten Zeitraum beobachteten die Elastizität durchaus eine andere sein kann.

Schwellenwerte der Kraftstoffpreise, die zu Änderungen der Kraftstoffpreiselastizität führen, lassen sich in der statistischen Auswertung sowohl der Mikro- als auch der Makrodaten keine ausmachen. Dies gilt im Übrigen selbst für die Einbrüche des Kraftstoffabsatzes bei den Ölkrisen. Auch dort führten im Jahresvergleich Preisänderungen von über 10 % lediglich zu Nachfragereaktionen in der Größenordnung von ca. 3 bis 5 %.

10.4 Ergebnisse der Literaturanalyse im Hinblick auf Schwellenwerte und Gültigkeitsbereiche

Wie bereits erwähnt, hängen die Ergebnisse von Elastizitätsuntersuchungen von den verwendeten Daten und Methoden ab. Wenn man sich entsprechend der Literaturanalyse vergegenwärtigt, dass kurzfristige Kraftstoffpreiselastizitäten etwa zwischen $-0,2$ und $-0,4$ liegen und für langfristige Elastizitäten ein Bereich von $-0,6$ bis $-0,8$ typisch ist, so wird deutlich, dass die vorliegenden Mikro- und Makroanalysen im Wesentlichen das bestätigen, was bei Untersuchungen in anderen Ländern und zu anderen Zeiten festgestellt worden ist.

Ergänzend sei noch gesagt, dass Schwellenwerte in Bezug auf die Elastizitäten auch in der hier untersuchten Literatur keine genannt werden.

10.5 Fazit

Die Konfidenzintervalle der Preiselastizitäten überschneiden sich über die verschiedenen Untersuchungszeiträume und -ebenen derart, dass mit einiger Sicherheit die kurzfristige Kraftstoffpreiselastizität der privaten Pkw-Verkehrsnachfrage in einem größeren Schwankungsbereich um $-0,3$ vermutet werden kann. Diese Aussage bezieht sich naturgemäß auf das vorherrschende Preisniveau und die bisher „im Rahmen gehaltenen“ Preisänderungen. Drastische Preiserhöhungen, die etwa auf ein Niveau von 3 € je Liter führten, könnten infolge einer spürbaren Überschreitung der Mobilitätsbudgets vor allem der Haushalte mit niedrigem und mittlerem Einkommen zu tendenziell höheren Elastizitäten führen. Empirische Nachweise für solche höheren Preiselastizitäten gibt es aber nicht.

Was die Schwellenwerte anbelangt, so zeigt sich bei der vorliegenden Mikroanalyse der Wegetagebuch- und Tankbuchdaten ebenso wie bei der regressionsanalytischen Auswertung von Nachfragedaten auf der Makroebene, dass Vermutungen über das Vorhandensein von unterschiedlichen Preisschwellenwerten nicht bestätigt werden konnten. Dies liegt letztlich daran, dass es in der Vergangenheit keine Fälle derart drastischer und andauernder Preiserhöhungen gegeben hat, unter denen das angesprochene Phänomen hätte auftreten bzw. beobachtet werden können.

11 Staatliche Einflussnahme auf die Kraftstoffpreise: Stellenwert eines umstrittenen verkehrspolitischen Aktionsparameters aus Sicht der Mobilitätsforschung

Die vorausgegangenen Zusammenfassungen der erzielten Resultate bewerteten diese aus verkehrswissenschaftlicher Sicht. In diesem Kapitel sollen die Untersuchungsergebnisse nun im Hinblick auf ihre Bedeutung für politische Handlungsoptionen diskutiert und eingeordnet werden.

11.1 Zur Beeinflussbarkeit der Pkw-Fahrleistungen über die Kraftstoffpreise

Es sei zuvorderst noch einmal festgehalten, dass die vorliegenden Untersuchungen auf Basis von Mikro- und Makrodaten sich auftragsgemäß auf den Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreis und Verkehrsnachfrage, gemessen in Fahrzeugkilometern bzw. ersatzweise in Kraftstoffabsatzmengen, konzentrieren. Die hierbei erzielten Ergebnisse zeigen einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen beiden Größen, die Effektstärke des Faktors Kraftstoffpreis ist jedoch eher gering bzw. höchstens von mittlerer Stärke. Weiterhin zeigen die Analysen, dass es neben dem Preis eine Reihe von anderen Variablen gibt, welche die Verkehrsnachfrage zum Teil deutlich stärker beeinflussen. Nicht zu vergessen ist schließlich die nach Einbeziehung der signifikanten Einflussgrößen in erheblichem Umfang verbleibende Reststreuung der Pkw-Fahrleistungen, welche auf nicht oder nur ungenügend berücksichtigte Bestimmungsfaktoren der Fahrzeugnutzung zurückgeht. Für eine verkehrspolitische Wertung der Ergebnisse müssen die eben genannten sowie die weiteren im Bericht erwähnten Einschränkungen im Auge behalten werden.

Ohne die Ergebnisse und ihre Einschränkungen noch einmal im Detail aufzuführen, erscheint es gleichwohl sinnvoll, bestimmte Aussagen der vorliegenden Studie gesondert hervorzuheben und deren verkehrspolitische Bedeutung zu diskutieren.

Ergebnis 1: Der durch Kraftstoffpreissteigerungen induzierte Rückgang der Pkw-Verkehrsnachfrage privater Haushalte ist unterproportional (direkte Elastizität zwischen 0 und -0.6).

Verkehrspolitisch heißt dies, dass im Rahmen der untersuchten Preisniveaus die Pkw-Nutzer insofern auf Kraftstoffpreiserhöhungen reagieren, als sie ihren Kraftstoffverbrauch bzw. ihre Fahrleistungen senken, dies jedoch nicht in einem Maße, dass sich ihre Ausgaben für

Kraftstoffe nicht erhöhen. Da also die Fahrleistungseinschränkungen die preisbedingten Mehrausgaben für Kraftstoffe nicht vollständig sondern nur etwa zu einem Drittel kompensieren, kann die Pkw-Verkehrsnachfrage „relativ unelastisch“ genannt werden. Die Haushalte verzichten demnach eher auf den Konsum anderer Güter als auf „Automobilität“.

Wesentlich weitergehende Interpretationen dieses empirischen Befundes sind kaum zulässig. Die Erwartung etwa, dass bei einer Verdoppelung des Kraftstoffpreises, d.h. einer Erhöhung des Preises um 100 % eine Senkung der Nachfrage um 30 % (im Hinblick auf das Konfidenzintervall vielleicht gar eine Abnahme bis zu 60 %) eintreten würde, ist kein folgerichtiger Schluss, da es sich hier um „Punktelastizitäten“ handelt, die lediglich die Reaktionsstärke bei kleinen relativen Preisänderungen quantitativ beschreiben. Über die Nachfragewirkungen etwa einer Verdoppelung des Kraftstoffpreises kann auf der Basis der hier durchgeführten Analysen nichts ausgesagt werden.

Deshalb gilt es, Folgendes festzuhalten: Die Aussagekraft einer empirisch ermittelten Preiselastizität ist nicht nur durch ihren Gültigkeitsbereich (Ausmaß der im Untersuchungszeitraum tatsächlich eingetretenen Preisänderungen) limitiert, sie wird in der Realität auch durch andere, statistisch nicht erfasste Effekte überlagert und scheint überdies davon abhängig zu sein, in welcher Form und Abfolge Preisänderungen auftreten. Die deskriptiven Analysen zeigen, dass große Preissprünge von Pkw-Nutzern anders bewertet werden als sukzessive kleinere Erhöhungen um letztlich denselben Betrag. Auf staatliche Einflüsse wird anders reagiert als auf Markteinflüsse. Gleich große Preissteigerungen und Preissenkungen können unterschiedliche Reaktionen hervorrufen, obwohl die negative Korrelation als solche bestehen bleibt. Die Wirkung einer bestimmten Preissteigerung kann davon abhängen, ob Preissenkungen unmittelbar vorausgegangen sind oder nicht. So stieg, nachdem in drei aufeinanderfolgenden Jahren der Normalbenzinpreis zurückgegangen war, dieser Preis von 1988 auf 1989 um fast 20 %. Gleichwohl gab es von 1988 auf 1989 ein leichtes Wachstum des Normalbenzinabsatzes. Als im Jahresvergleich 1980/81 der Normalbenzinpreis ebenfalls um ca. 20 % gestiegen war, ging die Nachfrage dagegen um rund 5 % zurück, was damit zusammenhängen könnte, dass in den drei vorausgegangenen Jahren bereits Preissteigerungen stattgefunden hatten.

Eine Elastizität, die wie hier in der Größenordnung von -0.3 liegt, spiegelt den *partiellen* Effekt des Preises auf die Nachfrage wider, also den Preiseinfluss bei Konstanzhaltung aller übrigen Determinanten der Nachfrage. Sie lässt also nicht zwangsläufig den Schluss zu, dass z.B. die nächste Stufe der Ökosteuer (+3 %) die Straßen um ca. 1 % Fahrleistung entlasten wird; zwar liegt die Preissteigerung hier in einem Bereich, für den die Punktelastizität sinnvoll interpretierbar ist, doch wird auch die allgemeine Wirtschaftslage ihren Beitrag zur

Nachfrageentwicklung leisten. Dies könnte ohne weiteres dazu führen, dass trotz Steuererhöhung die Fahrleistungen unverändert bleiben oder sogar zunehmen.⁵⁰

11.2 Zum Spektrum der Reaktionsmöglichkeiten motorisierter Haushalte im Fall steigender Kraftstoffpreise

Das Niveau der Kraftstoffpreise kann sich auf die Automobil-Kaufentscheidung und eine Reihe anderer Aspekte des Verhaltens auswirken. Dies wird aus den nachfolgend diskutierten weiteren Resultaten der vorliegenden Studie deutlich.

Ergebnis 2: Pkw-Besitzer reagieren auf Kraftstoffpreisänderungen auch mit begrenzten Verhaltensänderungen bei der Pkw-Kaufentscheidung. Veränderungen der Fahrweise sind dagegen nicht nachweisbar.

Verkehrspolitisch relevant ist auch die Erkenntnis, dass der Effekt, den die Preisentwicklung auf das Verhalten der motorisierten Haushalte hat, über eine reine Fahrleistungseinsparung hinausgeht. Während einige eigentlich zu erwartende Reaktionen, wie z.B. die Wahl eines sparsameren Pkw oder der Übergang zu einer kraftstoffsparenden Fahrweise, durch die Makro- und Mikroanalyse nicht zu bestätigen sind, können andere durchaus belegt werden. So zeichnet sich bei steigenden Preisen ein deutlicher Trend zum Dieselantrieb ab⁵¹. Neben dem zweifellos wichtigen Einfluss der Kfz-Steuer-Gesetzgebung ist der bei Diesel deutlich geringere Kraftstoffpreis nebst dem niedrigeren spezifischen Kraftstoffverbrauch bei stetig zunehmender Effizienz die Ursache dafür, dass Vielfahrer vermehrt auf Diesel-Pkw umsteigen.

Der Trend zu steigenden Motorleistungen bei steigenden Kraftstoffpreisen mag sich der zunehmenden Kraftstoffeffizienz⁵² verdanken, durch welche sich die spezifischen Verbräuche im Durchschnitt nicht erhöhen; trotz dieser Ausgabenneutralität zeugt der Trend aber doch von der relativen Bedeutungslosigkeit von Kraftstoffausgabenerhöhungen bei einer breiten Bevölkerungsschicht. Das verlangsamte Wachstum des Pkw-Bestands mag demgegenüber eine Reaktion auf den steigenden Kraftstoffpreis sein, ebenso wie der an anderer Stelle angesprochene

⁵⁰ Siehe Ergebnis der Makroanalyse, wonach Absatzrückgänge wohl bei erheblichen Preissteigerungen abzulesen sind, ein nur begrenzter Preisanstieg jedoch keine eindeutigen Reaktionen erkennen lässt.

⁵¹ Der Dieselanteil stieg im Panel-Zeitraum von 13,7 % (Januar 1994) auf 17,0 % (Januar 2003).

⁵² Im Panel-Zeitraum lag die Effizienz für Vergaserkraftstoff bei 6 bis 14 % (Quelle: DIW, VDA) gegenüber einem Rückgang des mittleren Absatzes pro Pkw mit Ottomotor um 15 %.

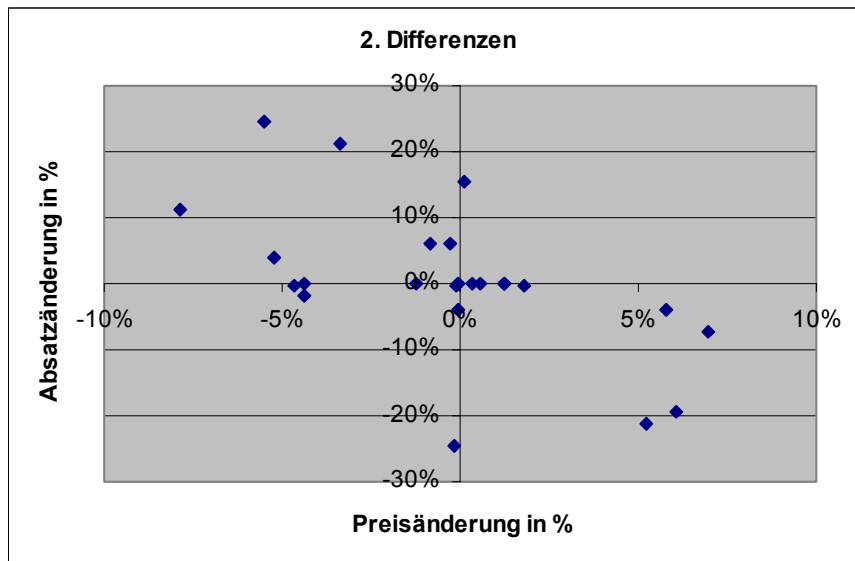
Trend zur Bevorzugung von Neuwagen gegenüber Gebrauchtfahrzeugen. Fazit der Verhaltensanalysen ist, dass im Allgemeinen Reaktionen eher darin bestehen, die Gesamtkosten der Pkw-Mobilität umzuverteilen, als nennenswert die Mobilität selbst einzuschränken und im Besonderen, dass diejenigen, bei denen sich ein Preisanstieg erheblich auf die Kraftstoffausgaben auswirkt (Vielfahrer), eher auf ein in diesem Fall ausgabensenkendes Dieselfahrzeug umsteigen.

Ergebnis 3: Staatlich induzierte Kraftstoffpreisänderungen ziehen stärkere Reaktionen nach sich als marktbedingte Preisschwankungen.

Auf Marktentwicklungen und Steuern wird unterschiedlich reagiert, wohl deshalb, weil Neufestsetzungen von Steuern zumeist langfristiger Natur sind und vorher angekündigt werden (Anpassungsentscheidungen der Konsumenten können daher früher getroffen werden und weitreichender sein), Rohölpreise dagegen kurz- bis mittelfristig in beide Richtungen fluktuieren (und eine eher abwartende Haltung oder nur temporäre Reaktionen erzeugen). Abbildung 11-1, die die Ergebnisse einer ergänzenden Analyse des Zusammenhangs zwischen dem Vergaserkraftstoffabsatz und der Mineralölsteuer in den zweiten Differenzen⁵³ für den Zeitraum 1976-2002 zeigt, macht die recht hohe negative Korrelation (-0,7) zwischen diesen beiden Größen graphisch deutlich.

⁵³ Es hatte sich gezeigt, dass die ersten Differenzen durch den Bezug zum jeweiligen Ausgangswert zu sehr schwanken. All diejenigen Jahre, die auf das Jahr einer Steuererhöhung folgten und in welchen keine Erhöhung stattfand, fielen folglich auf den Wert null zurück.

Abbildung 11-1: Zusammenhang zwischen Vergaserkraftstoffabsatz und Mineralölsteuer in den zweiten Differenzen, 1976-2002



Daraus lässt sich ableiten, dass bei überdurchschnittlichen Steuererhöhungen die Verkehrsteilnehmer stärker reagieren als mit der angegebenen Preiselastizität, welche auch das Auf und Ab der Marktpreise reflektiert. Die Hypothese, dass bei Steuererhöhungen infolge ihrer vorherigen Ankündigung bereits vorzeitige Reaktionen eintreten (z.B. eine Antizipation der Reduzierung von Fahrleistungen oder des spezifischen Pkw-Kraftstoffverbrauchs), wurde indessen durch die Analysen nicht bestätigt. So hängt, wie bereits erwähnt, z.B. der spezifische Verbrauch nicht signifikant vom Kraftstoffpreis ab.

Fazit ist, dass Pkw-Nutzer der politischen Preisbildung eine subjektiv erhöhte Aufmerksamkeit schenken, d.h. im Vergleich zur Preisbildung am Markt sensibler auf sie reagieren. Der Stellenwert der „Steuerschraube“ ist demnach nicht zu unterschätzen (wie etwa Ergebnis 1 nahelegen könnte).

11.3 Profitiert der Öffentliche Verkehr von einer Verteuerung des Autofahrens?

Auch zu der Frage, ob eine Verteuerung des Autofahrens dem Öffentlichen Verkehr zugute kommt, kann vor dem Hintergrund der hier gewonnenen Erkenntnisse Stellung genommen werden.

Ergebnis 4: Kraftstoffpreisbedingte Reduzierungen der Pkw-Fahrleistungen führen kaum zu erhöhter Nachfrage im Öffentlichen Personenverkehr

Wie die Analysen der Wegetagebuchdaten des Mobilitätspanels gezeigt haben, ist die „Kreuzpreiselastizität“ der Verkehrsnachfrage nahe Null: Der Kraftstoffpreis, d.h. der für den Konsum von Pkw-Kilometern zu zahlende Preis, hat praktisch keinen Einfluss auf die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel. Der Grund hierfür liegt offenkundig darin, dass Pkw-Verkehrsleistungen nur begrenzt durch die Inanspruchnahme öffentlicher Verkehrsmittel substituiert werden können. Würde es sich um echte Substitutionsgüter handeln, so hätte die empirischen Untersuchung eine positive Kreuzpreiselastizität zutage gefördert.

Für die Verkehrspolitik kann daraus die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass allein die Verteuerung des Autofahrens kein wirksames Instrument zur Förderung des Öffentlichen Verkehrs ist. Eine spürbare Nachfragelenkung über den Kraftstoffpreis wäre nur dann vorstellbar, wenn die Verkehrsqualitätsmerkmale (Flexibilität, Bequemlichkeit, Schnelligkeit usw.) des motorisierten Individualverkehrs und des Öffentlichen Verkehrs sich in ihrer Gesamtheit nur wenig voneinander unterscheiden würden. Dass man unter heutigen Bedingungen von einer Steuerpolitik zu Lasten des Autoverkehrs keine Zuwächse im Öffentlichen Verkehr erwarten kann, legt auch die Analyse der Tankbuchdaten nahe: Zwar ist die Pkw-Verkehrsleistung der Haushalte in den Kerngebieten der Ballungsräume ceteris paribus niedriger als diejenige der übrigen Haushalte, doch zeigen die Bewohner der Zentren im Fall von Kraftstoffpreissteigerungen trotz des meist guten ÖV-Angebots keine erhöhte Bereitschaft zur Unterlassung von Pkw-Fahrten.

11.4 Gesellschafts- und sozialpolitische Aspekte einer staatlichen Einflussnahme auf die Kraftstoffpreise

In den vorausgegangenen Diskussionen ist noch nicht im notwendigen Maße auf die Rolle des verfügbaren Einkommens bei der Herausbildung von Mustern des Mobilitätsverhaltens eingegangen worden.

Ergebnis 5: Das Einkommen spielt im Hinblick auf das Mobilitätsverhalten bzw. dessen Veränderung eine wichtige Rolle.

Aus Ergebnis 1 und 2 folgt die Notwendigkeit der Einordnung der Ergebnisse in den sozioökonomischen Gesamtzusammenhang: Der Kauf von Kraftstoffen ist eine von vielen Arten der Verwendung des verfügbaren Einkommens von Haushalten. Ein jeder Haushalt hat somit bei

Änderungen des Preises eines der Güter aus seinem Warenkorb entsprechend seines Präferenzmusters die Wahl, entweder die Mengen oder Qualitäten des betreffenden Gutes zu senken (was sich in der direkten Elastizität niederschlägt) oder zwischen verschiedenen Gütern umzuschichten.⁵⁴ Je nach dem Ausgabenanteil eines Gutes am Einkommensbudget wirken sich die Anpassungen mehr oder weniger gravierend auf den Lebensstandard aus.

Was das Gut „Pkw-Mobilität“⁵⁵ betrifft, so liegen die betreffenden Ausgaben bei Haushalten mit mittlerem bis höherem Einkommen bei 9 bis 11 % des verfügbaren Einkommens (Wert für 1998, gegenüber 12-16 % im Jahr 1965), der Anteil der Kraftstoffausgaben beträgt gerade 2 bis 3 % des verfügbaren Einkommens.⁵⁶ Dass der Anteil des Mobilitätsbudgets am verfügbaren Einkommen im Verlauf der letzten Jahrzehnte erheblich gesunken ist, ist auch die Folge steigenden Wohlstands. Daher erscheint es nicht verwunderlich, dass die Haushalte bei ihren Mobilitätsausgaben einen gewissen Spielraum nach oben zeigen, d.h. es sich erlauben können, nur unterproportional (also „relativ unelastisch“) auf Preissteigerungen zu reagieren. Die langfristige reale Preisentwicklung zeigt, dass das heutige Preisniveau bei Vergaserkraftstoff mit dem von 1982, das für Dieselmotoren mit dem von 1970 übereinstimmt.

Vor diesem budgettheoretischen Hintergrund wird klar, dass bei der Mehrheit der Pkw-Nutzer die Mobilitätskosten noch nicht an einer kritischen Grenze angelangt sind. Die Analyse der Paneldaten hat dementsprechend auch ergeben, dass im Jahr 2000, also in dem Jahr mit dem höchsten Preissprung (1999/2000: +18 %), nur 46 % der Haushalte ihre Pkw-Fahrleistungen gegenüber dem Vorjahr reduziert haben; die Mehrheit war demnach unelastisch.

Eine tendenziell höhere Ausgabensensitivität dürfte eher in Bezug auf andere Konsumgüter vorliegen. Insbesondere die Ergebnisse der Mikroanalyse lassen vermuten, dass eine wirtschaftliche Rezession für die Kürzung von Freizeitaktivitäten sorgt, woraus als Nebenprodukt sinkende Fahrleistungen resultieren. Der Einspareffekt liegt dabei stärker in der Streichung der Freizeitaktivität als in der Senkung des Kraftstoffverbrauchs.

Wirklich gravierende Änderungen der Nachfrage würden sich vor dem Hintergrund des Budgetansatzes vermutlich erst dann einstellen, wenn der Pkw-Besitz aufgegeben wird. Die

⁵⁴ Von der Sparquote wird hier einmal abgesehen.

⁵⁵ Die Ausgaben umfassen Anschaffungs- und Unterhaltungskosten, also neben Kraftstoff v.a. die Anschaffung sowie Versicherungen, Steuern, Garagenmiete, Reparaturen, Parkgebühren etc..

⁵⁶ DIW, Verkehr in Zahlen 2002, S. 268f.

Literaturauswertung und die hier durchgeführten Analysen belegen einmal mehr die Erkenntnis, dass Pkw-Besitzer auch Pkw-Benutzer sind. Wer erst einmal die Schwelle zum Kauf eines Pkw überschritten hat (die Schwelle erhöht sich bei sinkenden Einkommen oder steigenden Preisen), benutzt das Fahrzeug auch im Alltag.

Als Fazit kann also festgehalten werden: Die geringe Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage hat außer mit dem Fehlen von „nahen Substituten“ auch damit zu tun, dass Mobilität ein aus Sicht der Haushalte zu wichtiges Gut ist, als dass die damit verbundenen Lebensgewohnheiten bei steigenden Preisen (sofort) geändert würden. Spürbare Senkungen der Fahrleistungen wären bei den meisten Haushalten erst durch eine dauerhafte Änderung der Quellen und Ziele der Fahrten (d.h. des Wohnstandortes und des Arbeitsplatzes) zu erreichen. Dieses sind aber zumeist langfristige Entscheidungen (z.B. Hausbau im Grünen), die – einmal getroffen – nicht ohne einen wichtigen Grund und deshalb auch nicht bei nur moderat höheren Kraftstoffpreisen geändert werden. Wahrscheinlicher ist deshalb zunächst, dass die Haushalte ihre Einkommensverwendung umgestalten und dabei andere Ausgabenbereiche (z.B. Freizeit) stärker einschränken.

Irgendwann kann aber auch ein gegenläufiger Effekt eintreten. Höhere Preiselastizitäten könnten sich dadurch einstellen, dass ab einem gewissen Preisniveau das Mobilitätsbudget so groß wird, dass Umschichtungen im Rahmen des verfügbaren Einkommens nicht mehr in ausreichendem Maße vorgenommen werden können. Spätestens dann werden Haushalte reagieren müssen und notwendige Anpassungen auch bei der Mobilität vornehmen. Im Zweifel läuft dies bei den unteren Einkommensschichten und anderen budgetsensitiven Haushalten (etwa Familien mit Kindern) auf Mobilitätsverzicht und die Abschaffung des Pkw hinaus.

Bezüglich einer verkehrspolitischen Nachfragelenkung mittels des Kraftstoffpreises ist zu schlussfolgern, dass man mit den bisherigen moderaten Preissteigerungen bei steigendem Wohlstand keine merklichen Ergebnisse in Bezug auf eine Entlastung der Straßen, der Städte und der Umwelt erzielen wird. Wohl aber werden staatliche Eingriffe in den Kraftstoffpreis stärker wahrgenommen als marktseitige Schwankungen und vor allem in den Medien sehr kritisch diskutiert. Ab einem bestimmten Schwellenwert des Kraftstoffpreises, der jedoch anhand der Vergangenheitsdaten hier nicht ermittelt werden konnte, werden die Grenzen des Mobilitätsbudgets einer Reihe von Haushalten überschritten werden und es wird gezwungenermaßen zu Umstellungen im Mobilitätsverhalten (Aktivitätenhäufigkeit, Ziel- und Verkehrsmittelwahl) kommen. Man sollte sich dabei allerdings vergegenwärtigen, dass mit der

„Preisschraube“ zuerst die Geringverdiener getroffen werden, welche ihr Auto ab einem gewissen Preisniveau aufgeben und – als „captive riders“⁵⁷ – auf den ÖPNV (gegebenenfalls auch auf den nichtmotorisierten Verkehr) umsteigen müssen. Die Haushalte mit höherem Einkommen werden dagegen einen höheren Preis eher hinnehmen und unter Umständen sogar von weniger überlasteten Straßen profitieren.

Eine - etwa gar verkehrspolitische - Wertung staatlicher Einflussnahme auf die Kraftstoffpreise, z.B. über die Ökosteuer ist nicht Aufgabe der vorliegenden analytisch orientierten Studie. Es geht hier vielmehr darum aufzuzeigen, welche verkehrlichen und sonstigen Wirkungen Kraftstoffpreisänderungen unterschiedlichen Ausmaßes haben bzw. haben können. Wichtig ist hierbei die Erkenntnis, dass es wegen des multifaktoriellen Charakters der Mobilität neben den möglicherweise beabsichtigten Wirkungen noch weitere – unter Umständen auch unerwünschte - Wirkungen geben kann, die ins politische Kalkül einzubeziehen sind.

⁵⁷ Mit dem Begriff „captive rider“ werden ÖV-Fahrgäste bezeichnet, welche keine Ausweichmöglichkeit auf ein anderes Transportmittel (wie z.B. ein Auto) haben, um den Weg zurück zu legen.

12 Resümee und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Studie konnte mit unterschiedlichen Daten und Methoden gezeigt werden, dass private Haushalte auf Steigerungen der Kraftstoffpreise mit einer Einschränkung ihrer Pkw-Fahrleistungen reagieren. Die Preiselastizität der privaten Nachfrage nach Pkw-Verkehrsleistungen liegt unter Berücksichtigung der stichprobenbedingten Unsicherheit in der Größenordnung von etwa $-0,1$ bis $-0,6$. Die durch Kraftstoffpreissteigerungen verursachten Mehrausgaben der Haushalte für Automobilität werden also nur zu einem kleineren Teil durch Einschränkungen bei der Autonutzung kompensiert. Notwendige Einsparungen werden vielmehr bevorzugt in anderen Konsumbereichen vorgenommen. Die Pkw-Verkehrsnachfrage ist in diesem Sinne relativ unelastisch.

Festzuhalten ist weiterhin, dass sich steigende Kraftstoffpreise im Kern lediglich auf die Pkw-Verkehrsnachfrage auswirken. Ein Umsteigen auf den Öffentlichen Verkehr als Folge der Verteuerung des Autofahrens ist bisher nicht feststellbar. Die relativ geringe direkte Preiselastizität und die Kreuzpreiselastizität nahe Null machen insgesamt deutlich, dass aus Sicht der privaten Haushalte die Inanspruchnahme von am Verkehrsmarkt angebotenen Mobilitätsdienstleistungen und die Eigenproduktion von Pkw-Verkehrsleistungen nur sehr begrenzt als Substitutionsgüter zu betrachten sind.

Auch für die gelegentlich vermutete wirtschaftlichere, d.h. kraftstoffsparende Fahrweise als Reaktion der Haushalte auf steigende Kraftstoffpreise liefert die Studie keine Anhaltspunkte. Dagegen können bestimmte Verhaltensänderungen bei der Pkw-Kaufentscheidung, insbesondere die wachsende Beliebtheit von Dieselfahrzeugen, durchaus auch dem Faktor Kraftstoffpreis zugeschrieben werden.

Die hier gefundenen Ergebnisse zu den „Änderungen des Mobilitätsverhaltens als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise“ halten einer kritischen wissenschaftlichen Auseinandersetzung Stand. Mit einem bisher auf nationaler und internationaler Ebene einzigartigen Methodenmix konnten die mobilitätsbezogenen Wirkungen von Kraftstoffpreisänderungen quantifiziert werden. Dabei haben gänzlich unterschiedliche Daten und Analysemethoden zu weitestgehend übereinstimmenden Resultaten geführt. Insofern können die hier vorgelegten empirischen Befunde in bestem Sinne als gesichert gelten. Im Übrigen sind die erhaltenen Ergebnisse im Einklang mit dem Stand der internationalen Forschung zum Thema Preiselastizität der Verkehrsnachfrage. Dies betrifft in besonderem Maße die aus den Daten des Mobilitätspanels abgeleiteten Schlussfolgerungen. Die vorliegende Arbeit gehört zu den weltweit ganz wenigen Studien, bei denen Paneldaten zu Fahrleistungen genutzt werden konnten und die Pkw-

Verkehrsnachfrage nicht durch Ersatzgrößen wie z.B. Kraftstoffmengen oder Kraftstoffausgaben beschrieben werden musste.

Die auf Basis der Daten des Mobilitätspanels ermittelte Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage ist als kurzfristige Elastizität zu interpretieren, welche die Reaktion der Haushalte bei gegebener Pkw-Ausstattung beschreibt. Bei einer Analyse der langfristigen Preiselastizität der Pkw-Verkehrsnachfrage müssten die kraftstoffpreisbedingten Änderungen des Pkw-Besitzes und der Pkw-Fahrleistungen simultan betrachtet werden. Solche Analysen werden in absehbarer Zeit mit dem Mobilitätspanel möglich sein, da ja laufend weitere Berichtsjahre hinzukommen. Ideal wäre es, wenn im Panel neben den Kraftstoffpreisen und Kraftstoffausgaben auch die Ausgaben für öffentliche Verkehrsmittel und das Haushaltseinkommen erhoben würden. Dann nämlich könnten Modelle der Verkehrsnachfrage zum Einsatz kommen, die sich noch stärker an den Erkenntnissen der modernen Wirtschafts- und Verhaltenswissenschaften orientieren.

Literatur

- [1] Baldi, P. und Hornik, K. (1989): Neural Networks and Principle Component Analysis. Learning from Examples without Local Minima, Neural Networks, 2, 53-58.
- [2] Baltagi, B.H. (1995): Econometric Analysis of Panel Data. Wiley, New York.
- [3] Becker, G.S. (1982): Der ökonomische Ansatz zur Erklärung menschlichen Verhaltens. J.C.B. Mohr, Tübingen.
- [4] Blum, U.; Foss, G. und Gaudry, M. (1988): Aggregate time series gasoline demand models: Review of the literature and new evidence for West Germany. In: Transportation Research A, 22A, S. 75-88.
- [5] Brüderl, J. und Preisendörfer, P. (1995): Der Weg zum Arbeitsplatz: Eine empirische Untersuchung der Verkehrsmittelwahl, in A. Diekmann, A. Franzen (Hrsg.): Kooperatives Umwelthandeln – Modelle, Erfahrungen, Maßnahmen, Rüegger, Zürich.
- [6] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (Hrsg.): Verkehr in Zahlen, diverse Jahrgänge, verantwortlich für den Inhalt: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Deutscher Verkehrs-Verlag.
- [7] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2002): Verkehr in Zahlen 2002/2003, 31. Jahrgang, erweiterte Ausgabe 2002.
- [8] Cerwenka, P. (2002): Glanz und Elend der Elastizität – eine ingenieurdidaktische Handreichung. In: Der Nahverkehr, Juni 2002, S. 28-32.
- [9] Chlond, B., Lipps, O. und Zumkeller, D. (1996): Auswertung der Paneluntersuchung zum Verkehrsverhalten. Schlußbericht zum BMV-Forschungsprojekt FE-Nr. 90442/95, Karlsruhe.
- [10] Dargay, J. und Goodwin, P. (1995): Evaluation of consumer surplus with dynamic demand. In: Journal of Transport Economics and Policy. Mai 1995, S. 178-193.
- [11] Dix, M.C. u.a. (1986): Car Use. A Social and Economic Study. Aldershot.

-
- [12] Drollas, L. (1984): The demand for gasoline: Further evidence. In: *Energy Economics*, 6, S. 71-82.
- [13] Eckey, H. und Stock, W. (2000): *Verkehrsökonomie*. Gabler Verlag.
- [14] Espey, M. (1996): Explaining the variation in elasticity estimates of gasoline demand the United States: a meta-analysis. In: *The Energy Journal*, 17, S. 49-60.
- [15] Espey, M. (1996): Watching the fuel gauge: An international model of automobile fuel economy. In: *Energy Economics*, 20, S. 93-106.
- [16] Espey, M. (1998): Gasoline demand revisited: an international meta-analysis of elasticities. In: *Energy Economics* 20, 1998, S. 273-295.
- [17] Flaig, G. (1988): Die Preis- und Einkommenselastizitäten der PKW- und Kraftstoffnachfrage: Schätzergebnisse eines mikroanalytischen Simultanmodells. In: Kräger, H. (Hrsg.) *Empirische Wirtschaftsforschung – Heinz König zum 60. Geburtstag*. Campus, Frankfurt/New York, S. 49-74.
- [18] Fischer, M. (1992): Neural Network Models and Interregional Telephone Traffic, *Journal of Regional Science*.
- [19] Fischer, M. und Leung, Y. (Eds.) 2001: *Geocomputational Modelling – Techniques and Applications*. Springer. Heidelberg.
- [20] Foos, G. (1986): Die Determinanten der Verkehrsnachfrage – Eine ökonometrische Analyse. *Karlsruher Beiträge zur Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung*, Heft 12.
- [21] Goodwin, P. (1992): A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects of price changes. In: *Journal of Transport Economics and Policy*, Mai 1992, S. 155-169.
- [22] Graham, D. und Glaister S. (2002): The demand for automobile fuel: a survey of elasticities, In: *Journal of Transport Economics and Policy*, 36, S. 1-26.

- [23] Graham, D. und Glaister S. (2002 a): Review of income and price elasticities of demand for road traffic. Department for Transport, Imperial College of Science, Technology & Medicine Department of Civil and Environmental Engineering. London.
- [24] Greene, W. H. (2000): *Econometric Analysis*, Prentice Hall.
- [25] Haag, G. (1989): *Dynamic Decision Theory. Applications to Urban and Regional Topics*, Kluwer.
- [26] Haag, G: A Neural Network Approach for Mobility Panel Analysis, in M.M.Fischer, Y.Leung (Eds.) (Springer, 2001).
- [27] Hautzinger, H. (1986): Regression analysis of aggregate accident data: some methodological considerations and practical experiences. In: *Accident Analysis and Prevention*. Vol. 18, No. 2, S. 95-102.
- [28] Hautzinger, H. (1996): Stichwort „Verkehrsnachfrage“. In: Bloech, J. und Ihde, G.B. (Hrsg.) *Vahlens Großes Logistiklexikon*. Beck und Vahlen, München, S. 1199-1201.
- [29] Hautzinger, H., Heidemann, D. und Krämer, B.: *Inländerfahrleistung 1993*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 61, 1996.
- [30] Heidemann, D., Bäumer, M., Hautzinger, H., Haag, G. und v. Stackelberg, B. (2000): *Erprobung und Evaluierung von Modellen der Statistik und der Künstlichen Intelligenz als Instrumente zur Analyse des Mobilitätspanels*. Schlußbericht zum BMVBW-Forschungsprojekt FE-Nr. 70.594/1998, Heilbronn/Stuttgart.
- [31] Hertz, J., Krogh, A. und Palmer, R.G. (1991): *Introduction to the Theory of Neural Computation*, Lecture Notes, Vol. 1, Addison-Wesley.
- [32] Hugo, J. (1997): *Untersuchung der Anwendbarkeit von neuronalen Netzwerken und von Neuro-Fuzzy-Systemen in den Sozialwissenschaften*, Doktorarbeit, Universität Stuttgart.
- [33] Hsio, Ch. (1986): *Analysis of Panel Data*. Cambridge University Press, Cambridge/New-York/Melbourne.
- [34] INFRAS (2002): *Evaluation kurzfristiger Benzinpreiserhöhungen im Auftrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure*. Zürich.

- [35] Johansson, O. und Schipper, L. (1997): Measuring the long run fuel demand of cars: Separate estimations of vehicle stock, mean fuel intensity, and mean annual driving distance. In: *Journal of Transport Economics and Policy*, 31, S. 277-292.
- [36] Kraftfahrt-Bundesamt (2002): Statistische Mitteilungen. Die amtlichen Statistiken. Reihe 1 bis Reihe 3 inkl. Sonderhefte, diverse Jahrgänge. Siehe auch: www.kba.de
- [37] Kremers, H., Nijkamp, P. und Rietveld, P. (2002): A meta-analysis of price elasticities of transport demand in a general equilibrium framework. In: *Economic Modelling* 19 (2002), S. 463-485.
- [38] Le Cun, Y., Denker, J.S. und Solla, S.A. (1990): Optimal Brain Damage, in D. Touretzky (ed.): *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS) 2*, Morgan Kaufmann, San Mateo.
- [39] Vrtic, M. (2000): Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr. Forschungsauftrag 44/98 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI), Prognos AG, April 2000.
- [40] NFO Infratest Verkehrsforschung (2000): Haushaltspanel zum Verkehrsverhalten. Endbericht 2001/2002.
- [41] Oum, T., Waters W. und Yong J.:(1992): Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates. In: *Journal of Transport Economics and Policy*, Mai 1992, S. 139-154.
- [42] Ronning, G. (1991): *Mikroökonomie*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/NewYork.
- [43] Rouwendal, J. und deVries, F. (1999): Short term reactions to changes in fuel prices – A panel data analysis. In: *International Journal of Transport Economics*. Vol. 26 Nr.3, Oktober 1999, S. 331-350.
- [44] Sauer, A. (2000): Die Methodik der Feldarbeit für das Deutsche Mobilitätspanel. In: *Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft e.V. – DVWG* -, Reihe B, Band B 234, S. 35-45.
- [45] Sterner, T. und Dahl, C. (1992): Modelling transport fuel demand. In: T. Sterner (ed.) *International Energy Economics*, Chapman and Hall, London, S. 65-79.

- [46] Turner, P. (1993): Price and Income Elasticities: Petrol. In: The Economic Review, Februar 1993, S. 26-28.
- [47] Varian, H.R. (1999): Grundsätze der Mikroökonomik, 4. Aufl., R. Oldenbourg-Verlag, München/Wien.
- [48] Zumkeller, D., Chlond, B. und Manz W. (2001): Panelauswertung 1999/2000. Auswertung Mobilitätspanel und Tankbuchdaten.

Impressum

Kapitel bzw. Abschnitt	Zuständiger Partner*
1	IVT
2	IVT
3	ProgTrans
4.1 4.2 4.3 4.4	IVT ProgTrans IVT STASA
5.1 5.2 5.3	ProgTrans IVT STASA
6	ProgTrans
7	IVT
8	STASA
9.1 9.2 9.3	ProgTrans / IVT IVT STASA / IVT
10	ProgTrans / IVT
11	ProgTrans / IVT
12	IVT
Anhang I	ProgTrans
Anhang II	IVT
Anhang III	STASA

* Schlussredaktion Kapitel 1 bis 12: IVT

Anhang I

Aufbereitung verfügbarer Makrodaten zum Themenkomplex „Kraftstoffpreise, Pkw-Bestand und Pkw-Verkehr“

1 Vorbemerkungen

Die Literaturanalyse zu Preiselastizitäten der Verkehrsnachfrage hat gezeigt, dass Verkehrsteilnehmer des Pkw-Verkehrs ihr Verhalten in gewissem Umfang an die Kraftstoffpreisentwicklung anpassen. Da die Ergebnisse aus der Elastizitätenanalyse teilweise breit streuen, ist es sinnvoll, auf der Basis von Makrodaten für Deutschland den Zusammenhang zwischen Preisen und Mobilitätsverhalten der Verkehrsteilnehmer tiefergehend zu untersuchen. Hierzu bieten sich Zeitreihenanalysen an, die über kürzere oder längere Zeiträume die Entwicklung bzw. die Veränderung charakteristischer Variablen des Verbraucherverhaltens hinsichtlich ihrer Abhängigkeiten vom Kraftstoffpreis untersuchen. Für diesen Zweck herangezogen wurden neben den Preisen für die unterschiedlichen Kraftstoffqualitäten (Normalbenzin, Superbenzin und Dieselmotorkraftstoff) vor allem die Kraftstoffabsätze und die Pkw-Bestandsstatistiken. Des Weiteren wurden sozioökonomische Daten als zusätzliche erklärende Variablen in die Analyse einbezogen (BIP, Verbraucherindex, Mehrwertsteuersatz). Um die Zeitreihenwerte der Variablen besser zu verstehen, ist es sinnvoll, besondere politische und wirtschaftliche Ereignisse im Zeitablauf zu erfassen, die einen spürbaren Einfluss auf Preis- und Nachfragevariablen haben. Dazu zählen Gesetzesänderungen ebenso wie Rezessionen, Kriege und Erdölkartelle.

Im Folgenden wird ein Überblick über die aufbereiteten Datensätze und Informationen gegeben, welche für die Makroanalyse von Interesse sind. Neben einer Übersicht über die Entwicklung zentraler Größen werden auftauchende Probleme bei der Aufbereitung der einzelnen Datenreihen diskutiert. Eine qualitative wie auch quantitative Analyse der Zeitreihen wird in Kapitel 6 gegeben, wo es darum geht, Zusammenhänge zwischen der Entwicklung der Kraftstoffpreise und der Verkehrsnachfrage zu untersuchen.

Da nicht alle Datensätze in monatlichen Reihen vorlagen, reichte es für die Makroanalyse nicht aus, allein den Zeitraum von 1995 bis heute zu wählen - in Analogie zu den Daten des Mobilitätspanels, die in der Mikroanalyse verwendet werden. Insofern wurden als Ergänzung auch Langfristzeitreihen mit jährlichen Daten untersucht, wobei 1970 als der „kleinste gemeinsame Nenner“ identifiziert wurde.

1.1 Kraftstoffpreise

Es wurden folgende Daten als Zeitreihen aufbereitet:

Tabelle 1-1: Typen, Disaggregationen, Zeitspannen und Quellen der Datenbestände zu Kraftstoffpreisen

Datentyp	Disaggregationen	Erfasste Zeitspanne	Quelle
Jährliche Durchschnittspreise	Normalbenzin, Superbenzin und Dieselkraftstoff	1970-2002	MWV ⁵⁸
Monatliche Durchschnittspreise	Normalbenzin, Superbenzin und Dieselkraftstoff	01/1995 – 12/2002	MWV
Energiesteuersätze auf Kraftstoffe (in Euro)	Normalbenzin, Superbenzin und Dieselkraftstoff	1970-2002	MWV
Reale Kraftstoffpreise	Normalbenzin, Superbenzin und Dieselkraftstoff	1970-2002	Eigene Berechnung

Quelle: Prognos AG 2003

Bei der Aufbereitung der Datenbestände zu Kraftstoffpreisen sind generell folgende Probleme aufgetreten:

- Die Zusammensetzungen von Otto- und Dieselkraftstoffen wurden mit der Zeit verändert. Solche Veränderungen beinhalten z.B. die Substitution von verbleitem durch unverbleiten Kraftstoff. Für Normalbenzin wurde ab 1988 in dieser Analyse der Preis für unverbleites Benzin verwendet, bei Superbenzin ab 1997 der Preis von Eurosuper unverbleit. Eine Kontinuität der Datenreihen ist somit nur bedingt gegeben.
- Bei der Berechnung der Mineralölsteuersätze waren ebenfalls Brüche in der Statistik auszugleichen. So wurde bei Dieselkraftstoff (im Folgenden auch ‚Diesel‘ genannt) bis 1993 die Mineralölsteuer auf das Gewicht (Kilogramm) bezogen, danach sowie für Motorenbenzin jeweils auf das Volumen (Liter). Eine Umrechnung auf Liter wurde für den Zeitraum von 1970-1993 vorgenommen. Dabei wurde ein durchschnittlicher Dichtewert⁵⁹ für Diesel von 0,840 kg/l und 0,745 kg/l für Benzin unterstellt.
- Mit der Einführung erhöhter Steuersätze auf verschwefelten Kraftstoff ab 2001 wurde (vor allem Diesel-) Kraftstoff stark durch unverschwefelten Kraftstoff substituiert. Daher werden ab 2001 Preise und Steuersätze für unverschwefelte Qualitäten verwendet.

⁵⁸ MWV = Mineralölwirtschaftsverband.

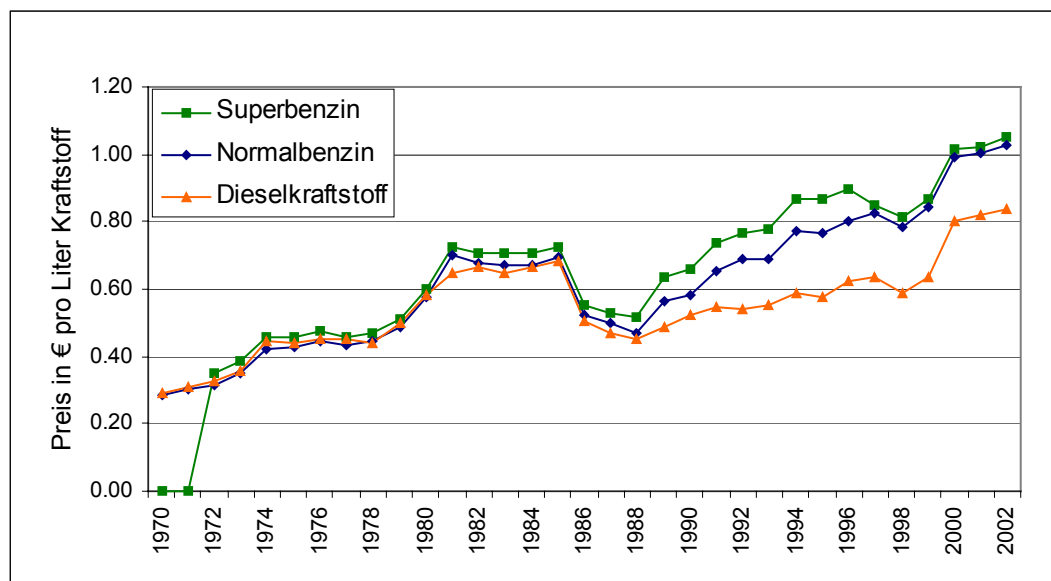
⁵⁹ Durchschnittliche Dichte bei 15° Celsius. Quelle: Bundesministerium der Finanzen (2001): Entwicklung der Mineralölsteuersätze für Benzin und Diesel in der Bundesrepublik Deutschland.

- Die Einführung des Euro im Jahr 2001 verlangte eine rückwirkende Umrechnung der DM-Preise.

Entwicklung der Kraftstoffpreise (jährliche Durchschnittswerte)

Abbildung 1-1 zeigt die Entwicklung der Kraftstoffpreise für die drei Qualitäten Normalbenzin, Superbenzin und Diesel seit 1970. Es ist erkennbar, dass die Kraftstoffpreise seit 1970 nominal beinahe fortwährend gestiegen sind. Eine Ausnahme bildet die Preisentwicklung in den Perioden 1985-1988 sowie 1996-1998. Es wird deutlich, dass Phasen relativ konstanter Kraftstoffpreise und Phasen mit erheblichen Preissteigerungen abwechseln. Bis ca. 1985 sind die Preise der drei Qualitäten in etwa gleich, ab diesem Zeitpunkt gibt es zwischen Dieselmotorkraftstoffen und Benzin bedeutende preisliche Unterschiede aufgrund der damals eingeführten „Mineralölsteuer-Spreizung“⁶⁰.

Abbildung 1-1: Durchschnittliche Verbraucherpreise für Kraftstoffe 1970-2002



Quelle: Mineralölwirtschaftsverband, Jahresbericht 2001 und Ergänzung

Anmerkung: Ab 1990 Preise für Gesamtdeutschland. Davor: Durchschnittspreise der alten Bundesländer.

Abbildung 1-2 zeigt im Vergleich zur nominalen Entwicklung, dass die Kraftstoffpreise real in den vergangenen drei Jahrzehnten nicht wesentlich angestiegen sind. Erst die große

⁶⁰ In den Jahren 1989, 1991 und 1994 haben Mineralölsteuererhöhungen stattgefunden, die jedoch aus Gründen des Wettbewerbsschutzes für die Deutsche Güterverkehrswirtschaft bei Diesel kleiner als bei Benzin ausgefallen sind (gemessen in Prozent des Steigerungsbetrages) bzw. 1991 für Diesel ganz ausgefallen sind.

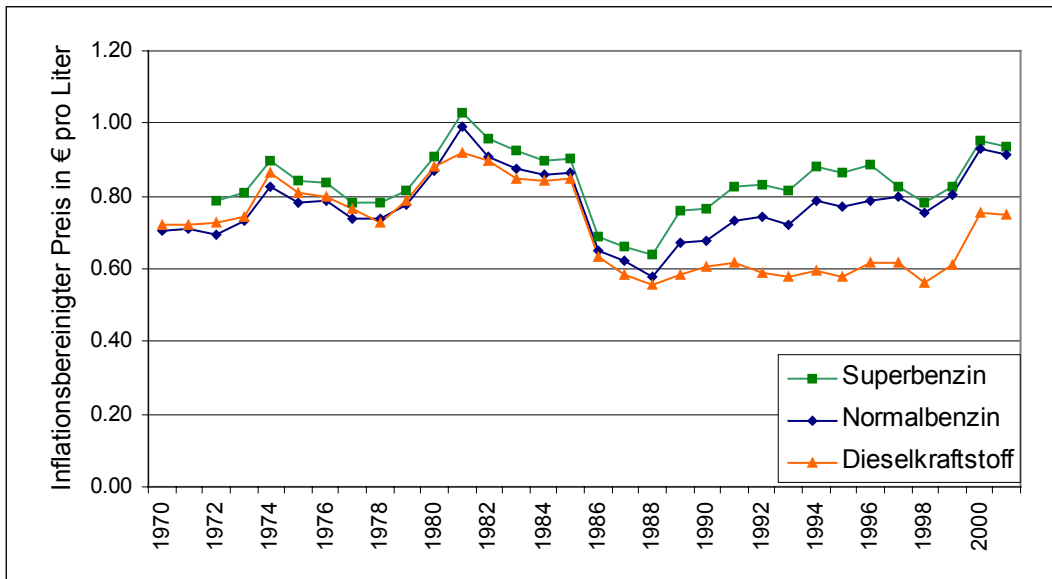
Preiserhöhung im Jahr 2000 bringt die Kraftstoffpreise wieder auf das Niveau der zweiten Ölkrise. Diese relative Konstanz inflationsbereinigter Kraftstoffpreise bedeutet, dass die langfristige Preissteigerungsrate im Bereich der Kraftstoffe gegenüber der Verteuerung anderer Produkte aus dem durchschnittlichen Warenkorb unterdurchschnittlich gering ausfiel. Vor dem Hintergrund gestiegener Nominal- und sogar Reallöhne im selben Zeitraum war somit bezüglich nominaler Kraftstoffpreissteigerungen seitens der Verkehrsteilnehmer keine Anpassung im Kraftstoffverbrauch nötig, um den Anteil des Mobilitätsbudgets am verfügbaren Einkommen nicht ansteigen zu lassen. Dies ist als Hinweis für die Suche nach einem linearen Zusammenhang zwischen Preis und Absatz zu sehen. Eine Konstanz des individuellen Mobilitätsbudgets würde eine Elastizität von -1 bedeuten. Zwei Dinge sprechen jedoch für eine Erhöhung des durchschnittlichen Mobilitätsbudgets einzelner Individuen. Einerseits sind die Einkommen real gestiegen, was eine reale Erhöhung der Mobilitätsausgaben ermöglicht. Andererseits liegen die negativen Preiselastizitäten gemäß Literaturanalyse deutlich unter dem Wert 1, im Allgemeinen etwa zwischen -0,2 und -0,6. Tatsächlich ist der Absatz im gleichen Zeitraum auch kräftig gestiegen, wie in Abschnitt 1.2 noch zu sehen sein wird. Dies deutet zumindest auf eines hin, nämlich dass die Verbraucher bei steigenden Einkommen ihren Mobilitätsanteil zunehmend variabilisieren können, was ihre Konsumhaltung tendenziell preisunabhängiger macht.

Der reale Kraftstoffpreis stellt für die quantitative Analyse des Zusammenhangs von Preis und Nachfrage im MIV⁶¹ jedoch insofern nicht die geeignete Größe dar, als die Verbraucher stets nur den nominalen Preis kennen und auch auf diesen reagieren können. Daher wird die Größe des realen Kraftstoffpreises in der Datenanalyse nicht weiter berücksichtigt.

Besonderes Gewicht in der Analyse erhalten indessen die jährlichen Veränderungen der nominalen Kraftstoffpreise. In Abbildung 1-3 sind diese als prozentuale Veränderungen dargestellt. Es zeigt sich, dass die Schwankungen der Kraftstoffpreise und die Intensität der Ausschläge dadurch sehr viel besser zu erkennen sind, was auch als Rückschluss auf die qualitative und quantitative Analyse zu werten ist.

⁶¹ MIV = motorisierter Individualverkehr.

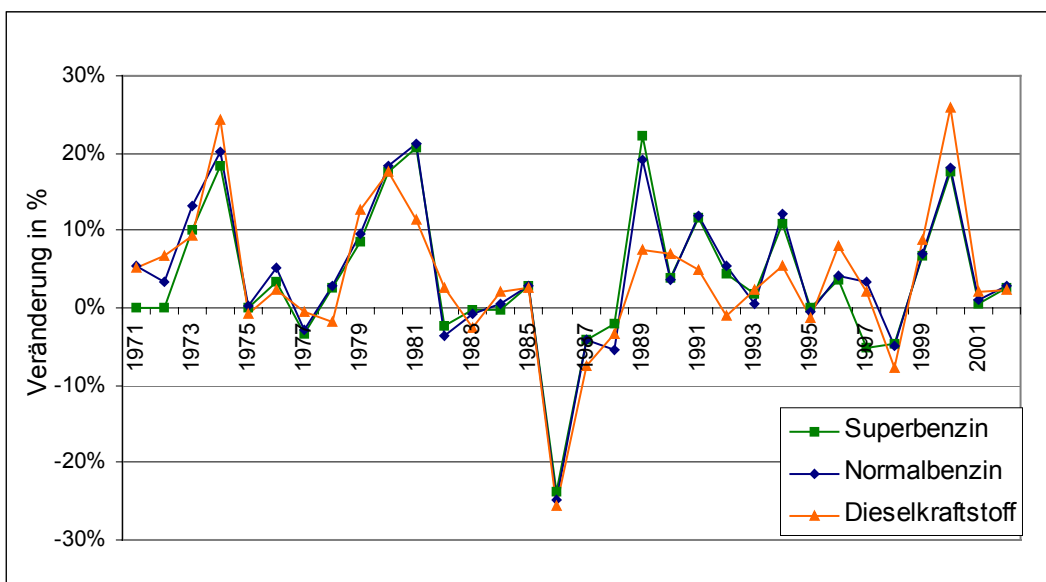
Abbildung 1-2: Entwicklung der realen Kraftstoffpreise 1970-2002



Quelle: Mineralölwirtschaftsverband 2001, Prognos AG 2003

Anmerkung: Die Inflationsbereinigung wurde mit Hilfe des allgemeinen Verbraucherpreisindex durchgeführt, der durch das statistische Bundesamt berichtet wird.

Abbildung 1-3: Prozentuale Veränderungen der Kraftstoffpreise im Vergleich zum Vorjahr 1971-2002

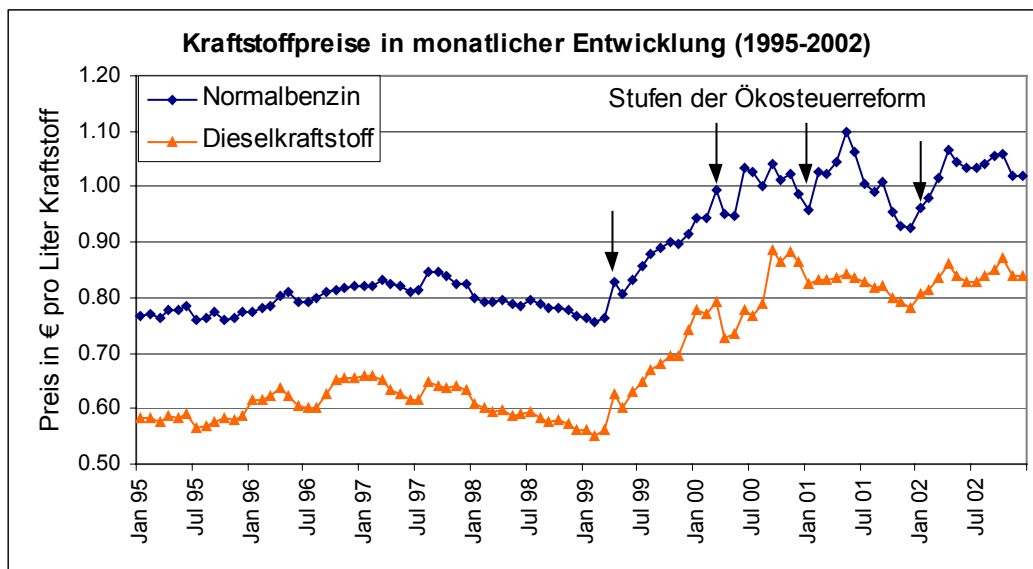


Quelle: Mineralölwirtschaftsverband, Jahresbericht 2001 und Ergänzung, Prognos AG 2003

Entwicklung der Kraftstoffpreise (monatliche Durchschnittswerte)

Analog zur Mikroanalyse, die auf Daten des Mobilitätspanels beruht, wurde zusätzlich zu der obigen Langfristzeitreihe der Zeitraum 1995 bis 2002 gewählt, um monatliche Werte von Preisen und Absätzen zu analysieren. Die Entwicklung der monatlichen Durchschnittspreise für diesen Zeitraum werden durch die zwei nachstehenden Abbildungen illustriert. Abbildung 1-4 stellt die monatlichen Preisschwankungen von Diesel und Benzin dar. Sichtbar ist der markante Anstieg der Kraftstoffpreise ab April 1999, der einerseits durch die jährlichen Stufen der Ökosteuer, andererseits aber auch - und im Jahr 2000 sogar deutlich stärker - von den Weltmarktpreisen des Rohöls induziert worden ist. Bei der Darstellung der prozentualen Veränderungen gegenüber dem Vorjahresmonat in Abbildung 1-5 ist erkennbar, dass die Phase der Preissteigerung ab 1999 in der Mitte 2000 ihren Höhepunkt erreichte. Die vier Stufen der Ökosteuerreform (4/1999, 01/2000, 01/2001, 01/2002) sind z.T. als Ausschläge im Preisgefüge identifizierbar, marktbedingte Preissteigerungen sind aber dominierend.

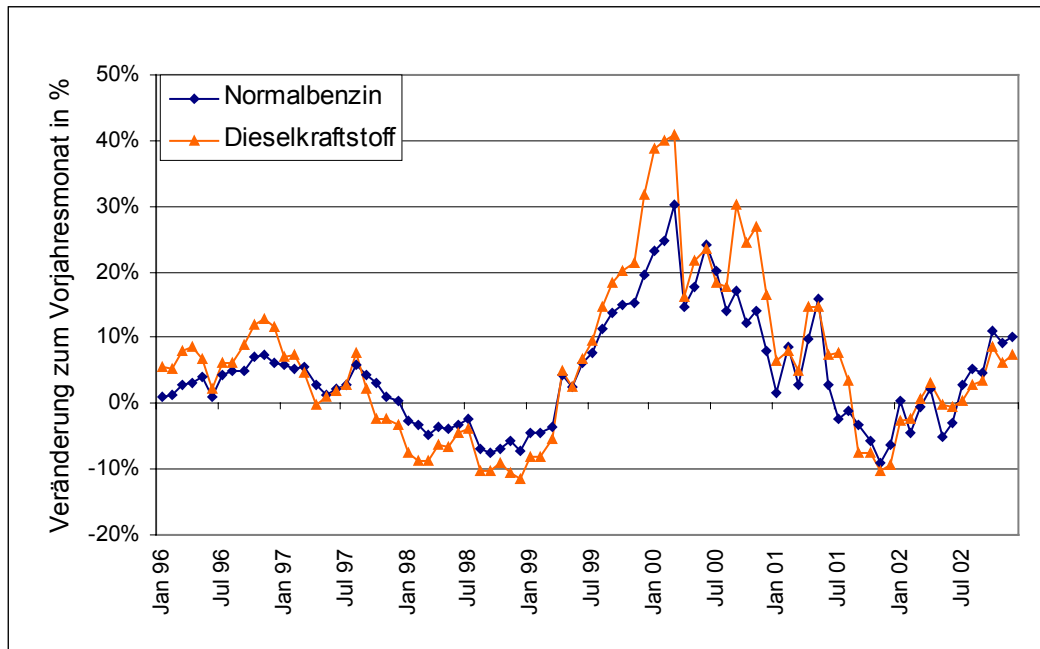
Abbildung 1-4: Entwicklung der monatlichen Kraftstoffpreise bei Dieseldieselkraftstoff und Normalbenzin 1995-2002



Quelle: Mineralölwirtschaftsverband, Jahresbericht 2001 und Ergänzung

Anmerkung: Stufen der Ökosteuerreform durch Pfeile gekennzeichnet.

Abbildung 1-5: Prozentuale Veränderung des Kraftstoffpreises im Vergleich zum Vorjahresmonat 1996-2002



Quelle: Mineralölwirtschaftsverband, Jahresbericht 2001 und Ergänzung, eigene Berechnungen

1.2 Kraftstoffabsätze

Veränderungen im Mobilitätsverhalten sind makroökonomisch schwer messbar. Die eigentliche Nachfragegröße, welche hier als Maß für Verhaltensänderungen bezüglich der Mobilität verwendet werden könnte, ist die Fahrleistung. Diese Variable liegt allerdings als Originärdatensatz nicht vor, sie wird vom DIW⁶² lediglich berechnet. Die Art der Berechnung wirft zahlreiche Fragen auf, weswegen hier der Kraftstoffabsatz als zentrale Nachfragegröße verwendet wird. Der Kraftstoffabsatz wird vom Mineralölwirtschaftsverband als „Inlandsabsatz“ berichtet. Diese Größe entspricht nicht direkt dem Verbrauch von Kraftstoffen, sondern tatsächlich der Ablieferung von Kraftstoffen zum Verbrauch. Die Ablieferungen zum Verbrauch können allerdings mit dem Kraftstoffverbrauch gleichgesetzt werden, wenn folgende Annahmen⁶³ gelten:

⁶² DIW = Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.

⁶³ Vgl. Foos (1986).

- Lieferungen an Tankstellen erfolgen in regelmäßigen Abständen. Die Tankstellen halten relativ konstante Lagerbestände. Daraus folgt eine weitgehende Übereinstimmung des monatlichen Absatzes der Mineralölgesellschaften mit dem tatsächlichen Verkauf an Tankstellen.
- Die Nachfrager bilden keine Lager; positive und negative Bestandsveränderungen gleichen sich innerhalb eines Monats aus.
- Die Verwendung von Kraftstoffen außerhalb des Straßenverkehrs ist geringfügig und vernachlässigbar⁶⁴.

Unter diesen Annahmen kann der Kraftstoffabsatz als Verbrauchsmenge im Straßenverkehr gedeutet werden. Tabelle 1-2 zeigt eine Übersicht über die aufbereiteten Datenreihen bezüglich des Kraftstoffabsatzes.

Tabelle 1-2: Typen, Disaggregationen, Zeitspannen und Quellen der Datensätze zu Kraftstoffabsätzen

Datentyp	Disaggregationen	Erfasste Zeitspanne	Quelle
Monatliche Kraftstoffabsätze	Vergaserkraftstoff, Dieselkraftstoff	01/1995 – 12/2002	MWV
Jährliche Kraftstoffabsätze	Vergaserkraftstoff, Dieselkraftstoff	1950-2002	MWV

Quelle: Prognos AG 2003

Problematisch bei der Interpretation der Daten zu Kraftstoffabsätzen sind folgende Punkte:

- Der Inlandsabsatz entspricht weder dem Verbrauch der inländischen Fahrzeuge noch dem Verbrauch der Fahrzeuge, die im Inland fahren. Gravierend vor dem Hintergrund dieser Untersuchung ist dabei vor allem der Tanktourismus grenznaher Bewohner. Letzterer ist nicht zu unterschätzen, da die subjektive Wahrnehmung räumlich unterschiedlicher Preise pro Liter den Einzelnen dazu verleiten kann, die entstehenden Kosten des Umweges nicht in sein rechnerisches Kalkül einzubeziehen. Dadurch ist die Anzahl der dauerhaften Tanktouristen vermutlich deutlich größer als man rational anhand von Bevölkerungsdaten mit viel Aufwand abschätzen könnte. Damit ist der Absatz nur bedingt aussagefähig in Bezug auf das Mobilitätsverhalten im MIV.
- Die fehlende Trennung zwischen Güter- und Personenverkehr, vor allem bei Dieselkraftstoff, erschwert zusätzlich die Verwendung der Variable Kraftstoffabsatz als Indikator für Veränderungen des Mobilitätsverhaltens im MIV.

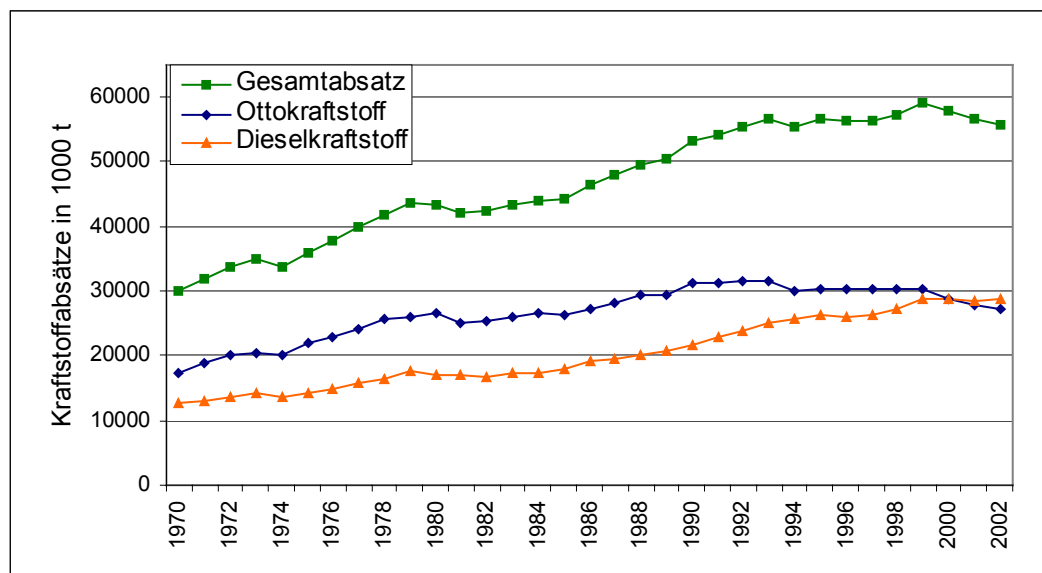
⁶⁴ Nach Auskunft des MWV beträgt der Anteil von Dieselkraftstoffen für stationäre und ortsbewegliche Motoren im Jahr 1995 ca. 2,4 %, im Jahr 2001 bereits nur noch 1,6 %. Bei Vergaserkraftstoffen dürfte dieser Anteil noch geringer sein.

- Statistikbrüche (Einbeziehung bzw. Trennung des vom Militär verbrauchten Kraftstoffes) verhindern eine weitere Disaggregation in verschiedene Qualitäten.
- Die Tatsache, dass der Kraftstoffabsatz für das gesamte Bundesgebiet vorliegt, macht eine Vergleichbarkeit mit anderen Zeitreihen, welche einen „Wiedervereinigungsknick“ enthalten, schwierig. Selbst die Zeitreihe für den gesamtdeutschen Absatz an sich ist mit Problemen behaftet, da bis 1990 die Absätze der ehemaligen DDR trotz anderer Kraftstoffarten den Benzin- und Dieselverbräuchen der alten BRD zugerechnet wurden.
- Die Angabe des Absatzes in Tonnen ist problematisch hinsichtlich der Auswirkungen von Dichteveränderungen der Kraftstoffe im Zeitablauf. Ein Beispiel einer solchen Dichteveränderung ist z.B. die Verlagerung von Normalbenzin (Dichte 0,737) auf Eurosuper (Dichte 0,759).
- Saisonale Schwankungen bei den Monatsabsätzen sind durch die Jahreszeiten bedingt und hängen z.T. auch mit der Anzahl der Tage in einem Monat zusammen. Einfluss auf diese periodischen Schwankungen haben auch die Verteilungen der Schulferien und die Anzahl von Feiertagen in einem Monat. Für die Regressionsanalyse kann zur Bereinigung um diese Effekte eine multiplikative Saisonbereinigung durchgeführt werden.

Entwicklung der Kraftstoffabsätze (jährliche Werte)

Die Entwicklung der Kraftstoffabsätze wird im Vergleich mit der Preisentwicklung beobachtet.

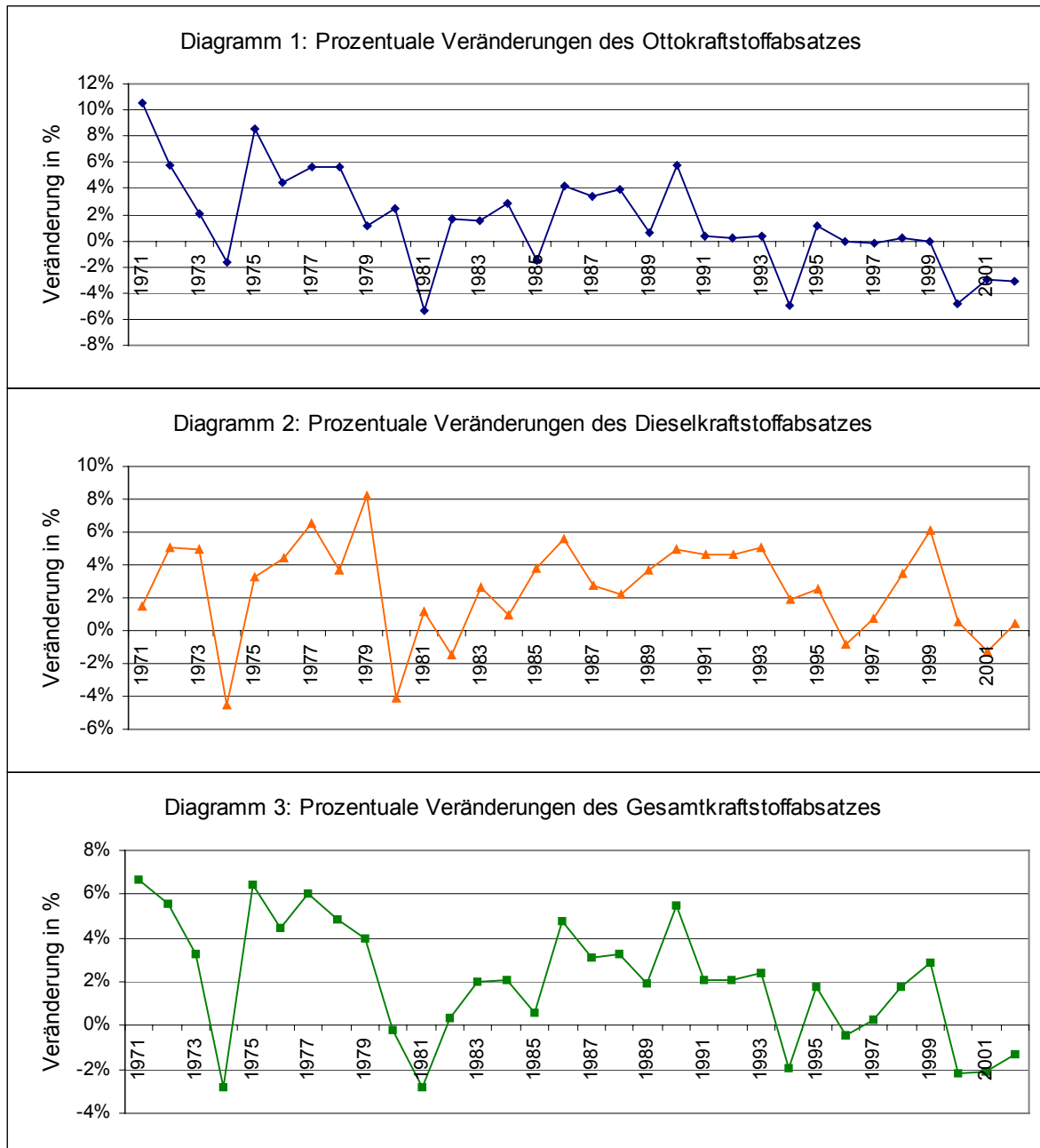
Abbildung 1-6: Kraftstoffabsätze in 1000 t, Gesamtabsätze bzw. Otto- und Dieselkraftstoffabsatz getrennt, 1970-2002



Quelle: Mineralölwirtschaftsverband, Jahresbericht 2001 und Ergänzung

Abbildung 1-6 zeigt die Entwicklung der jährlichen Kraftstoffabsätze seit 1970. Es handelt sich hierbei um die Absätze des gesamten Bundesgebietes, für Jahre vor 1990 wurden die Kraftstoffabsätze der DDR zu denen der BRD addiert. Da für die Absätze der ehemaligen DDR keine weitere Untergliederung vorliegt, kann nur zwischen Benzin und Dieselmotorkraftstoff unterschieden werden. Man sieht, dass der Kraftstoffabsatz seit 1970 erheblich gestiegen ist. Der Dieselmotorkraftstoffabsatz, welcher jahrelang deutlich unter dem Absatz von Vergasermotorkraftstoffen lag, übersteigt infolge rascher Zunahme im Zeitablauf seit 2000 erstmals den Benzinabsatz.

Abbildung 1-7: Prozentuale Veränderungen des Kraftstoffabsatzes im Vergleich zum Vorjahr 1971-2002 (Diagramm 1 - 3)



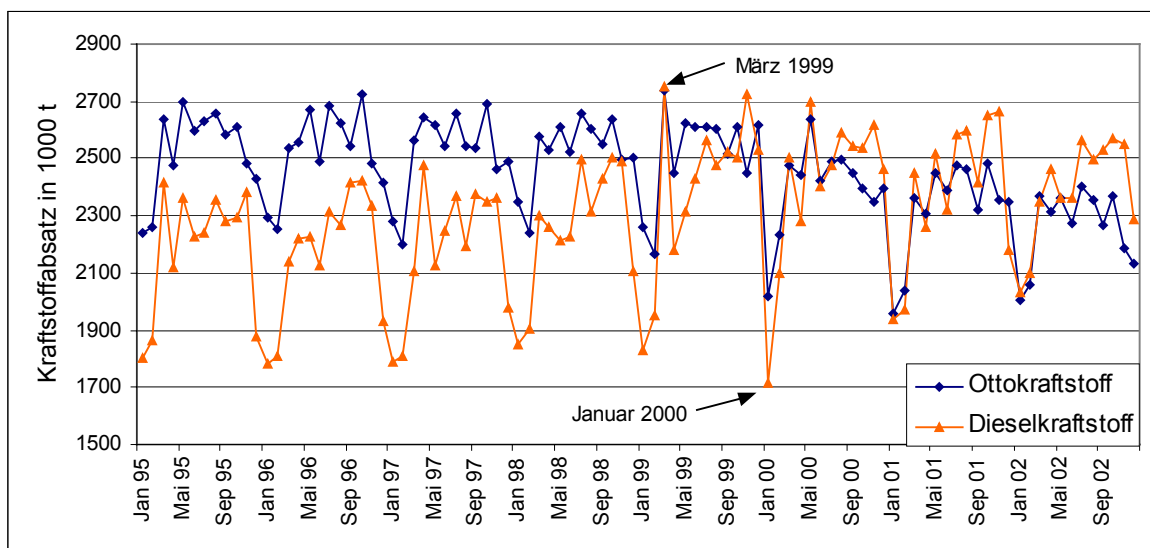
Quelle: Mineralölwirtschaftsverband, Jahresbericht 2001 und Ergänzung, eigene Berechnungen

Abbildung 1-7 zeigt die prozentualen Veränderungen des Kraftstoffabsatzes, aufgliedert nach Vergaserkraftstoff, Dieseldieselkraftstoff und Gesamtabsatz. Es wird deutlich, dass Phasen mit Absatzsteigerung gegenüber Phasen mit Absatzrückgang überwiegen. Jahre mit deutlicher negativer Absatzentwicklung (bereits oben z.T. identifiziert) korrelieren häufig mit wichtigen wirtschaftlichen bzw. politischen Ereignissen (Ölkrisen, Rezessionen, Steuerreformen, vgl. auch Abschnitt 1.4).

Entwicklung der Kraftstoffabsätze (monatliche Werte)

Für die Kraftstoffabsätze liegen auch monatliche Daten vor (Abbildung 1-8), die allerdings wegen der Absatzschwankungen im Jahresgang schwerer zu interpretieren sind als die jährlichen Zeitreihen. In den Wintermonaten gehen die Absätze sichtbar zurück.

Abbildung 1-8: Entwicklung der monatlichen Kraftstoffabsätze bei Diesel- und Vergaserkraftstoffen Januar 1995 - Dezember 2002



Quelle: Mineralölwirtschaftsverband, Jahresbericht 2001 und Ergänzung
Die Pfeile markieren bedeutende Absatzreaktionen auf die Ökosteuerreform (siehe Text).

Der Absatz von Diesel- und Vergaserkraftstoff durchläuft lange Zeit eine annähernd parallele Entwicklung, wobei bis 1999 der Absatz von Vergaserkraftstoffen stets über dem Absatz von Diesel liegt. Die Parallelentwicklung endet ca. mit dem Jahr 1998. Durch überproportionales Wachstum des Dieselabsatzes und konstante bzw. teilweise leicht sinkende Ottoabsätze liegen seit 2000 die Dieselabsätze leicht über denen von Vergaserkraftstoff. Auch bei dem Gesamtabsatz ist 1999/2000 eine Trendwende sichtbar, da seit diesem Zeitpunkt erstmals in drei aufeinanderfolgenden Jahren der Gesamtabsatz rückläufig war. Hier zeichnen sich möglicherweise, zumindest für den Vergaserkraftstoff, längerfristige Reaktionen der Verbraucher auf steigende Preise ab. Es ist jedoch anhand der monatlichen Kraftstoffabsatzdaten schwer auszumachen, ob dieser Trend mit der Ökosteuerreform einsetzt oder bereits davor.

Aus den monatlichen Daten geht lediglich ein kurzfristig gesteigertes Tankverhalten als Reaktion der Verbraucher auf die ersten Ökosteuerstufen hervor. Die Absätze im März 1999 sind die höchsten der gesamten Zeitreihe, was als Indikator für vorzeitiges Tanken und Bunkern

von Kraftstoff vor der ersten Ökosteuererhebung im April gesehen werden kann. Entsprechend liegen die Kraftstoffabsätze im April leicht unter dem mittleren Absatzwert für diesen Monat. Auch im Dezember 1999 sind die Absätze höher als für diesen Monat üblich, um nach Einsetzen der zweiten Stufe der Ökosteuer auf einen Tiefstwert im Januar 2000 zu sinken. Für die weiteren Stufen der Ökosteuerreform sind vergleichbare Effekte nicht mehr zu beobachten.

1.3 Pkw-Bestände

Tabelle 1-3 zeigt eine Übersicht der zur Verfügung stehenden Daten in Bezug auf die Pkw-Bestände.

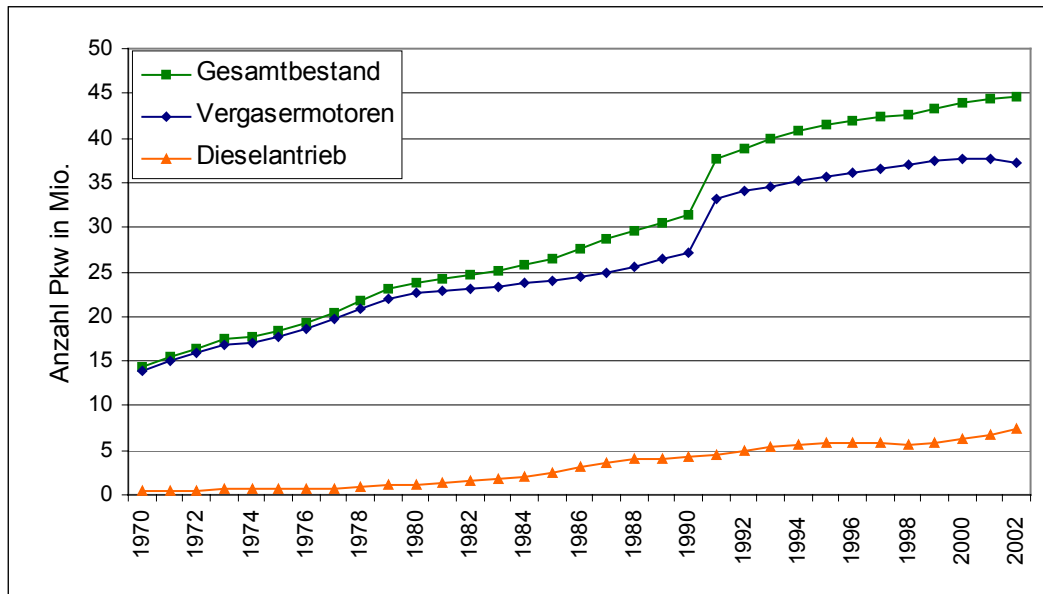
Tabelle 1-3: Typen, Disaggregationen, Zeitspannen und Quellen der Daten zu Pkw-Beständen

Datentyp	Disaggregationen	Erfasste Zeitspanne	Quelle
Jährliche Bestände	Otto- bzw. Dieselmotor Hubraumklassen	1970-2002	KBA ⁶⁵
Jährliche Neuzulassungen	Otto- bzw. Dieselmotor Hubraumklassen	1970-2002	KBA
Besitz- umschreibungen	Gesamtanzahl	1970-2002	KBA
Löschungen	Gesamtanzahl	1970-2002	KBA
Motorisierung	Bezogen auf die fahrfähige Bevölkerung (älter 18 Jahre)	1970-2001	Eigene Berechnung
Kraftstoffverbrauch von Neuzulassungen und Beständen	Normverbräuche (l/100km) Testkraftstoffverbräuche (l/100km)	1978-2001	DIW

Quelle: Prognos AG, 2003

Um die Reaktionen der Verbraucher auf geänderte Kraftstoffpreise zu erfassen, wurde sowohl die Entwicklung der Gesamtbestände, Neuzulassungen, Besitzumschreibungen und Löschungen betrachtet, als auch die Motorisierung der Bevölkerung und die durchschnittlichen Kraftstoffverbräuche der Pkw je 100 km untersucht. Abbildung 1-9 zeigt die Entwicklung der Pkw-Bestände.

⁶⁵ KBA = Kraftfahrt-Bundesamt

Abbildung 1-9: Pkw-Bestände gesamt bzw. nach Antriebsarten getrennt 1970-2002

Quelle: Kraftfahrtbundesamt, Statistische Mitteilungen Reihe 2, 2002.

Anmerkung: Bestände wurden um die geänderten Stilllegungsfristen bereinigt.

Es wird deutlich, dass die Pkw-Bestände seit 1970 kontinuierlich gewachsen sind. Ein deutlicher Sprung im Jahr 1992 markiert die statistische Erweiterung des Untersuchungsraumes auf Gesamtdeutschland. Davor sind lediglich die Bestände der alten Bundesrepublik erfasst.

Bei den Bestandsreihen ergeben sich folgende grundsätzliche Probleme:

- Geänderte Stilllegungsfristen:** Nach § 27 Abs. 6 Satz 2 StVZO (alt) galten Fahrzeuge nach Ablauf eines Jahres seit der Stilllegung als endgültig aus dem Verkehr gezogen. Die Zulassungsbehörden konnten diese Frist bis zu sechs Monate verlängern, auf insgesamt 18 Monate. Mit Wirkung zum 1. August 2000 wurde diese Regelung dahingehend geändert, dass die Stilllegungsfrist statt eines Jahres nunmehr 18 Monate beträgt. Eine weitere Verlängerung der Frist ist jedoch unzulässig. Infolge dieser Änderung sind die Bestandslöschungen deutlich zurückgegangen, wodurch sich bei vergleichsweise geringen Neuzulassungen der Bestand stärker erhöht hat, als es bei gleichbleibender Regelung zu erwarten gewesen wäre. Bereinigt um die rund eine Million Pkw, die länger als ein Jahr stillgelegt worden sind und entsprechend der alten Regelung aus dem Bestand genommen worden wären, ergibt sich noch ein Bestandswachstum von ca. 0,7 %. Zusätzlich wurde eine Quote für die Antriebszusammensetzung angenommen wie sie zehn Jahre zuvor gültig war (20 % Dieselfahrzeuge, 80 % Pkw mit Ottomotoren), um diese Bereinigung auf Diesel- und Ottomotor-Bestände umzurechnen. Die Bereinigung wurde nach hinten fortgesetzt.
- Bestandserfassungsdatum:** Die Bestandsdaten wurden bis 2000 vom Kraftfahrt-Bundesamt stets zur Jahresmitte (1. Juli) und zum Jahresanfang erhoben (1. Januar). Ab 2001 wurde der Bestand aus Kostengründen nur noch am 1. Januar eines Jahres aufgenommen. Das KBA errechnet aber einen Wert für den jeweiligen Juli-Bestand. Diese wurden uns vom KBA zur Verfügung gestellt. Die Bestandsdaten zum 1. Juli eines Jahres werden im Folgenden verwendet.

- **Lücken in der Statistik:** Die Bestandsdaten wurden von 1991-1993 nicht durch das Kraftfahrtbundesamt ausgewiesen (Umstellungsprobleme auf das gesamte Bundesgebiet). Daher werden geschätzte Werte des DIW⁶⁶ verwendet. Daten ab 1991 schließen die neuen Bundesländern mit ein, vor diesem Zeitpunkt handelt es sich nur um Bestände der alten Bundesländer.

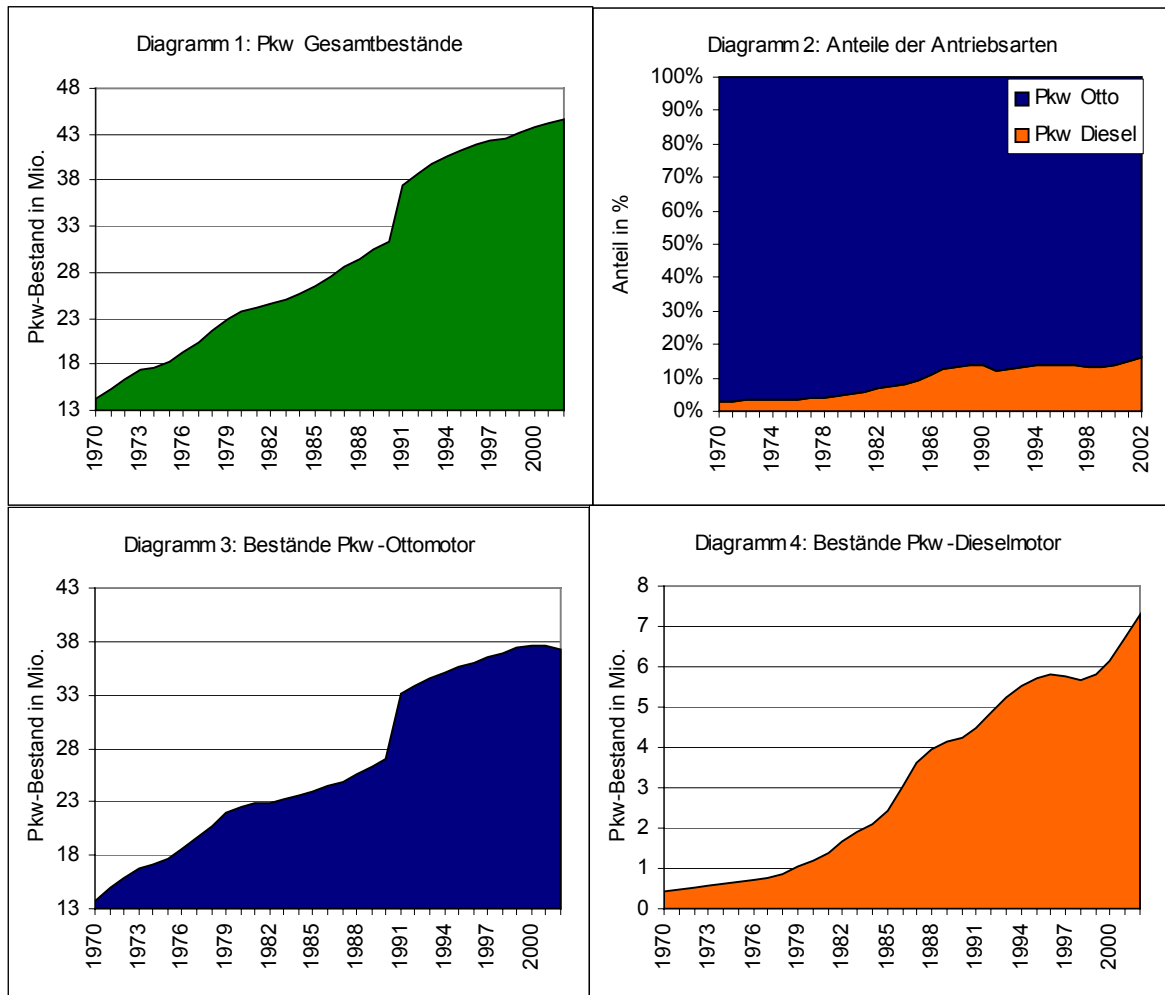
Entwicklung bei den Pkw-Beständen

Die Diagramme in Abbildung 1-10 verdeutlichen die Entwicklung bei den Pkw-Beständen. Das erste Diagramm zeigt einen stetig wachsenden Pkw-Gesamtbestand seit 1970, wobei die einzelnen Antriebsarten verschiedene Entwicklungen durchlaufen haben. Interessant ist die Entwicklung der prozentualen Anteile der Antriebsarten am Gesamtbestand (Diagramm 2). Diagramm 3 und 4 lassen die Entwicklungen des Bestandes an Pkw mit Vergaser- bzw. Dieselmotor erkennen.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Bestandsreihe der Pkw mit Ottomotoren der Zeitreihe des Gesamtbestandes sehr ähnlich sieht. Grund dafür ist der hohe Anteil an Pkw mit Ottomotoren im Bestand. Die Pkw-Bestände mit Ottomotoren sind seit dem Jahr 2000 erstmals seit 1970 rückläufig.

⁶⁶ Quelle: Verkehr in Zahlen (BMVBW, 2001, 2002)

Abbildung 1-10: Entwicklung der Pkw-Bestände⁶⁷ gesamt, mit Vergaser- bzw. Dieselmotor, 1970-2001



Quelle: Prognos AG 2003, KBA Reihe 2
Anmerkung: Jahr 1991 aus Maßstabsgründen entfernt

Die Bestandsentwicklung der Diesel-Pkw unterscheidet sich fundamental von der der Pkw mit Ottomotoren. Grundsätzlich ist die viel niedrigere Gesamtanzahl zu nennen (bis heute weniger als 8 Mio. Pkw). Allerdings ist der Diesel-Pkw-Bestand stark wachsend. Besonders seit 1986 scheint der Diesel-Pkw sich steigender Beliebtheit zu erfreuen.

Den Vergleich der prozentualen Anteile der Antriebsarten am Gesamtbestand zeigt das zweite Diagramm. Trotz des relativ niedrigen Anteils der Dieselfahrzeuge im Pkw-Bestand (stets unter

⁶⁷ Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt, Bestandsdaten bereinigt um veränderte Stilllegungsfristen.

20 %) wird die, vor allem in jüngster Zeit, wachsende relative Bedeutung des Dieselantriebs im Gesamtbestand deutlich.

Entwicklungen weiterer Größen, die mit dem Pkw-Bestand in Zusammenhang stehen (Neuzulassungen, Löschungen, Besitzumschreibungen etc.), werden zusammen mit der deskriptiven Analyse dieser Variablen in Abschnitt 6.3.3 vorgestellt, um Wiederholungen zu vermeiden.

Sozioökonomische Daten

Es erschien sinnvoll, einige sozioökonomische Variablen, die eventuell Veränderungen im Mobilitätsverhalten verursachen könnten, in die Analyse mit einzubeziehen. Tabelle 1-4 zeigt eine Zusammenstellung der verwendeten Datenbestände.

Tabelle 1-4: Typen, Disaggregationen, Zeitspannen und Quellen der Datenbestände sozioökonomischer Variablen

Datentyp	Disaggregationen	Erfasste Zeitspanne	Quelle
Verfügbares Einkommen	Jeweilige Preise (in Euro)	1950-2002	Statistisches Bundesamt
Bruttoinlandsprodukt	Gesamt (nominal)	1970-2002	Statistisches Bundesamt
Verbraucherindex	Preisindex des privaten Verbrauchs (1995=100)	1970-2002	Statistisches Bundesamt
Mehrwertsteuersätze	In Prozent	1970-2002	Statistisches Bundesamt
Bevölkerungsentwicklung	Nach Altersklassen aufgliedert	1970-2002	Statistisches Bundesamt

Quelle: Prognos AG 2003

1.4 Gesetzesänderungen und besondere politische Ereignisse

Aus der Analyse der Daten ergab sich die Frage, ob und inwieweit politische und wirtschaftliche Ereignisse die Entwicklung der obigen Kenngrößen beeinflussen können.

Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten können z.B. durch eine veränderte Kfz-Steuer-Gesetzgebung erwartet werden, da sich hierdurch die Haltungskosten eines Pkw langfristig

verändern. Die Preisveränderungen im Bereich der Kraftstoffpreise können verschiedene Ursachen haben. Neben der Preisentwicklung auf dem Rohölmarkt tragen auch Mineralölsteuererhöhungen zu erhöhten Kraftstoffpreisen bei.

Demnach ergeben sich drei Bereiche, denen (hier interessante) politische Beschlüsse oder wirtschaftliche Ereignisse zugeordnet werden können:

- politische und weltwirtschaftliche Ereignisse (Weltwirtschaftskrisen, Kriege, Ölkrisen)
- Kfz-Steuer-Gesetzgebung
- Änderung der Mineralölsteuer

Die folgenden Tabellen geben die wichtigsten Ereignisse und Entwicklungen seit 1970 wieder.

Tabelle 1-5: Mögliche politische und weltwirtschaftliche Ereignisse mit Auswirkungen auf den Kraftstoffpreis oder das Mobilitätsverhalten

Zeitpunkt	Art des Ereignisses
1973/1974	Erste Ölkrise, stark steigende Ölpreise auf dem Weltrohölmarkt
1974/1975	Konjunkturkrise
1978/1980	Zweite Ölkrise, wiederholte Ölpreissteigerungen auf Grund der Kartellbildung der OPEC.
1980-1982	Weltrezession
1980-1988	Erster Golfkrieg zwischen Iran und Irak
1985	Zerbrechen des Erdölkartells (neue Förderländer, mangelnde Kartelldisziplin innerhalb der OPEC)
1987	Rezession
1990	Deutsche Wiedervereinigung
1990/1991	Besetzung Kuweits durch den Irak, zweiter Golfkrieg
1994	Rezession
2001	Anschläge auf das World Trade Center in New York
2002	Rezession
2003	Dritter Golfkrieg

Quelle: Prognos AG 2003

Tabelle 1-6: Kfz-Steuer-Gesetzgebung

Zeitpunkt	Gesetzgebung und Änderungen																					
Bis 1985	Für alle Pkw einheitlicher Steuersatz von 14,40 DM pro 100 ccm Hubraum.																					
Ab 1.7.1985	<p>Aufspaltung in drei Steuersätze: Eine reduzierte Steuerklasse von 13,20 DM pro 100 ccm Hubraum für Pkw, die als schadstoffarm oder bedingt schadstoffarm klassifiziert wurden, sowie zwei weitere Steuerklassen (18,80 DM pro 100 ccm bzw. 21,60 DM pro 100 ccm je nach Datum der ersten Zulassung des Pkw) für nicht als schadstoffarm klassifizierte Pkw.</p> <p>Zusätzlich wurde eine zeitlich befristete Steuerbefreiung für Pkw in Abhängigkeit von Hubraum (ab 1.4 l) und Zeitpunkt der Anerkennung als schadstoffarm gewährt.</p> <p>Ziel der Gesetzesänderung war die Förderung schadstoffärmerer Pkw bei den Neuzulassungen sowie die Nachrüstung des Altbestands mit Katalysatoren.</p>																					
1989 1991 1994	<p>Als Ausgleich zur, im Vergleich zu Ottokraftstoffen geringeren Mineralölsteuererhöhung bei Dieselmotoren (siehe Tabelle 1-7), wurde die Kfz-Steuer für Diesel-Pkw erhöht:</p> <p>Im Jahre 1989 um 8,40 DM, im Jahre 1991 um 8,00 DM und im Jahre 1994 um 7,50 DM. Damit lag die Diesel-Kfz-Steuer 1994 um 23,70 DM je 100 ccm Hubraum über der Kfz-Steuer für Pkw mit Ottomotoren.</p>																					
01.07.1997	<p>Aufspaltung in sechs Steuersätze für Pkw, je nach Abgas-Schadstoffwerten. Je nach Schadstoffklasse gelten je angefangene 100 ccm Hubraum folgende Steuersätze:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Norm</th> <th>Ottomotor</th> <th>Dieselmotor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Euro 3 (und besser)</td> <td>5,11€</td> <td>13,80€</td> </tr> <tr> <td>Euro 2</td> <td>6,14€</td> <td>14,83€</td> </tr> <tr> <td>Euro 1</td> <td>10,84€</td> <td>23,06€</td> </tr> <tr> <td>andere, für die Fahrverbot bei Ozonalarm nicht galt</td> <td>15,13€</td> <td>27,35€</td> </tr> <tr> <td>bedingt schadstoffarme, für die Fahrverbot bei Ozonalarm galt</td> <td>21,07€</td> <td>33,29€</td> </tr> <tr> <td>übrige</td> <td>25,36€</td> <td>37,58€</td> </tr> </tbody> </table> <p>Pkw, die „Euro 3“/„Euro 4“ genügen oder zur Kategorie „3-Liter-Auto“/„5-Liter-Auto“ gehören, wird eine zeitlich befristete Steuerbefreiung in unterschiedlicher Höhe, abhängig von dem Datum der Erstzulassung, gewährt.</p>	Norm	Ottomotor	Dieselmotor	Euro 3 (und besser)	5,11€	13,80€	Euro 2	6,14€	14,83€	Euro 1	10,84€	23,06€	andere, für die Fahrverbot bei Ozonalarm nicht galt	15,13€	27,35€	bedingt schadstoffarme, für die Fahrverbot bei Ozonalarm galt	21,07€	33,29€	übrige	25,36€	37,58€
Norm	Ottomotor	Dieselmotor																				
Euro 3 (und besser)	5,11€	13,80€																				
Euro 2	6,14€	14,83€																				
Euro 1	10,84€	23,06€																				
andere, für die Fahrverbot bei Ozonalarm nicht galt	15,13€	27,35€																				
bedingt schadstoffarme, für die Fahrverbot bei Ozonalarm galt	21,07€	33,29€																				
übrige	25,36€	37,58€																				
01.01.2004	<p>Geänderte Steuersätze für die sechs Steuerklassen:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Norm</th> <th>Ottomotor</th> <th>Dieselmotor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Euro 3 (und besser)</td> <td>6,75€</td> <td>15,44€</td> </tr> <tr> <td>Euro 2</td> <td>7,36€</td> <td>16,05€</td> </tr> <tr> <td>Euro 1</td> <td>15,13€</td> <td>27,35€</td> </tr> <tr> <td>andere, für die Fahrverbot bei Ozonalarm nicht galt</td> <td>21,07€</td> <td>33,29€</td> </tr> <tr> <td>bedingt schadstoffarme, für die Fahrverbot bei Ozonalarm galt</td> <td>25,36€</td> <td>37,58€</td> </tr> <tr> <td>übrige</td> <td>25,36€</td> <td>37,58€</td> </tr> </tbody> </table> <p>Weiterhin Steuerbefreiungen für „Euro 3“/„Euro 4“ und „3-Liter-Auto“/„5-Liter-Auto“, in unterschiedlicher Höhe, abhängig von dem Datum der Erstzulassung.</p>	Norm	Ottomotor	Dieselmotor	Euro 3 (und besser)	6,75€	15,44€	Euro 2	7,36€	16,05€	Euro 1	15,13€	27,35€	andere, für die Fahrverbot bei Ozonalarm nicht galt	21,07€	33,29€	bedingt schadstoffarme, für die Fahrverbot bei Ozonalarm galt	25,36€	37,58€	übrige	25,36€	37,58€
Norm	Ottomotor	Dieselmotor																				
Euro 3 (und besser)	6,75€	15,44€																				
Euro 2	7,36€	16,05€																				
Euro 1	15,13€	27,35€																				
andere, für die Fahrverbot bei Ozonalarm nicht galt	21,07€	33,29€																				
bedingt schadstoffarme, für die Fahrverbot bei Ozonalarm galt	25,36€	37,58€																				
übrige	25,36€	37,58€																				

Quelle: Prognos AG 2003

Tabelle 1-7: Entwicklung der Mineralölsteuergesetzgebung

Zeitpunkt	Gesetzgebung und Änderungen																		
1970-1988	Die Mineralölsteuer steigt nur langsam und liegt bei allen Kraftstoffen in etwa gleich hoch (ca. 20-25 Cent je Liter Kraftstoff), tendenziell liegt sie bei Dieselmotorkraftstoff etwas niedriger.																		
1989 1991 1994	Spürbare Mineralölsteuererhöhungen, bei denen der Dieselmotorkraftstoff aus Gründen des Wettbewerbsschutzes der deutschen Güterverkehrswirtschaft nicht oder nur mit geringem Prozentsatz in die der Steigerung einbezogen wurde. <table border="1" data-bbox="571 633 1173 801"> <thead> <tr> <th>Mineralölsteuererhöhungen</th> <th>Ottomotorkraftstoff</th> <th>Diesel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1989</td> <td>+6 Cent</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>1991</td> <td>+13 Cent</td> <td>+5 Cent</td> </tr> <tr> <td>1994</td> <td>+8 Cent</td> <td>+4 Cent</td> </tr> </tbody> </table>	Mineralölsteuererhöhungen	Ottomotorkraftstoff	Diesel	1989	+6 Cent	-	1991	+13 Cent	+5 Cent	1994	+8 Cent	+4 Cent						
Mineralölsteuererhöhungen	Ottomotorkraftstoff	Diesel																	
1989	+6 Cent	-																	
1991	+13 Cent	+5 Cent																	
1994	+8 Cent	+4 Cent																	
Ab 1.4.1999	Einführung der Ökosteuer: Mineralölsteuererhöhungen bei Benzin und Dieselmotorkraftstoff in fünf Stufen: <table border="1" data-bbox="491 925 1254 1126"> <thead> <tr> <th>Ökosteuerstufen</th> <th>Ottomotorkraftstoff</th> <th>Diesel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01.04.1999</td> <td>+3.07 Cent</td> <td>+3.07 Cent</td> </tr> <tr> <td>01.01.2000</td> <td>+3.07 Cent</td> <td>+3.07 Cent</td> </tr> <tr> <td>01.01.2001</td> <td>+3.07 Cent</td> <td>+3.07 Cent</td> </tr> <tr> <td>01.01.2002</td> <td>+3.07 Cent</td> <td>+3.07 Cent</td> </tr> <tr> <td>01.01.2003</td> <td>+3.07 Cent</td> <td>+3.07 Cent</td> </tr> </tbody> </table> <p>Zusätzlich zu diesen Erhöhungen wurden erhöhte Steuersätze für verschwefelte Kraftstoffe erhoben. Diese Steuersätze wurde ebenfalls in zwei Stufen angehoben:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Am 01.11.2001 Erhöhung der Mineralölsteuer um 1,5 Cent (3 Pf) für Kraftstoffe mit einem Schwefelgehalt höher als 50 ppm. • Am 01.01.2003 weitere Erhöhung 1,5 Cent (3 Pf) für Kraftstoffe mit einem Schwefelgehalt über 10ppm. 	Ökosteuerstufen	Ottomotorkraftstoff	Diesel	01.04.1999	+3.07 Cent	+3.07 Cent	01.01.2000	+3.07 Cent	+3.07 Cent	01.01.2001	+3.07 Cent	+3.07 Cent	01.01.2002	+3.07 Cent	+3.07 Cent	01.01.2003	+3.07 Cent	+3.07 Cent
Ökosteuerstufen	Ottomotorkraftstoff	Diesel																	
01.04.1999	+3.07 Cent	+3.07 Cent																	
01.01.2000	+3.07 Cent	+3.07 Cent																	
01.01.2001	+3.07 Cent	+3.07 Cent																	
01.01.2002	+3.07 Cent	+3.07 Cent																	
01.01.2003	+3.07 Cent	+3.07 Cent																	

Quelle: Prognos AG 2003

Anhang II

Die Tankbuchdaten des Mobilitätspanels als Mikrodaten zum Themenkomplex „Kraftstoffpreise und Pkw-Fahrleistungen“

1 Das Mobilitätspanel 1994-2002 im Überblick

Die Analyse der beschriebenen Wirkungszusammenhänge erfolgt in erster Linie auf Basis des Mobilitätspanels (kurz MOP), das seit 1994 vom Institut für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe und NFO Infratest, München, erhoben wird. Bei diesem Panel handelt es sich um ein sogenanntes rotierendes Panel, in dessen Rahmen die Mitglieder eines Haushaltes in bis zu drei aufeinanderfolgenden Jahren zu ihrem Verkehrsverhalten mit Hilfe eines Wegetagebuchs befragt werden. In diesen drei Berichtsjahren werden die Daten einer Kohorte erfasst, wobei in jedem Kalenderjahr die Datenerfassung einer neuen Kohorte beginnt. Neben weiteren soziodemografischen und wohnumfeldspezifischen Merkmalen werden auch Merkmale der Ausstattung des Haushalts mit Fahrzeugen erhoben. Ein Teil der Panelhaushalte mit Pkw erhält zusätzlich noch ein Tankbuch für jeden Personenkraftwagen. In dieses Tankbuch sind über einen Zeitraum von etwa 2 Monaten die getätigten Tankvorgänge einzutragen.

Das Mobilitätspanel teilt sich also in einen Datenbestand „Alltagsmobilität“, dessen Kern die Wegeprotokolle der Teilnehmer sind und in einen Datenbestand „Kraftstoffverbrauch und Kfz-Fahrleistung“, die auf den Tankbuchehebungen basieren. Eine Übersicht über die Struktur der MOP-Datenbestände zeigt folgende Tabelle.

Tabelle 1-1: Struktur der Datenbestände des Mobilitätspanels

Datenbestände des Mobilitätspanels	
Datenbestand Wegetagebuchehebung	Datenbestand Tankbuchehebung
- Haushaltsmerkmale	- Fahrzeugmerkmale
- Personenmerkmale	- Merkmale der Tankvorgänge (Berichtszeitraum ca. 6 bis 8 Wochen)
- Wegemerkmale (7 Berichtstage)	

Die Befragung zur Alltagsmobilität und die Tankbuchehebung werden zeitlich getrennt durchgeführt. Die Befragung einer neuen Kohorte beginnt jeweils im Herbst eines Jahres (September/Oktober) mit der Erhebung zur Alltagsmobilität. Im darauffolgenden Frühsommer (Mai/Juni) folgt dann die Tankbuchehebung. Diese zeitliche Abfolge wiederholt sich für jede Kohorte in den darauffolgenden zwei Jahren.

Die oben genannten Datenbestände und die Arbeiten zu deren Aufbereitung für die Zwecke der vorliegenden Studie werden im Anhang II Abschnitten 1.1 und 1.2 detailliert beschrieben.

Als wichtige Ergänzung zu den Mikrodaten des Mobilitätspanels werden noch weitere, makroökonomischen Daten zur Analyse herangezogen. Insbesondere müssen die parallelen Entwicklungen der Einkommensstruktur und der Preise einbezogen werden, um einen Wirkungszusammenhang untersuchen zu können. Daneben liegen auch Kraftstoffverbrauchsdaten auf aggregierter Ebenen vor. Auf alle diese Datengrundlagen wird in Abschnitt 1 eingegangen.

1.1 Gegenstand und Methodik der Tankbucherhebung

Das deutsche Mobilitätspanel, in dessen Rahmen die Tankbucherhebung durchgeführt wird, ist als repräsentative Befragung angelegt, bei welcher Haushalte für einen Zeitraum von 3 Jahren als Panelteilnehmer angeworben werden (sog. „rotierendes Panel“). Während dieses Zeitraumes findet jeweils im Herbst eine schriftliche Erhebung der Alltagsmobilität statt, bei der von allen Panelhaushalten ein Haushaltsfragebogen und für jedes Haushaltsmitglied ab 10 Jahren ein über 7 aufeinanderfolgende Tage zu führendes Wegetagebuch auszufüllen ist. Jeder zweite Panelhaushalt mit Pkw ist zusätzlich jeweils im Frühjahr in eine –Erhebung zur Fahrleistung und zum Kraftstoffverbrauch einbezogen, bei welcher für jeden Pkw im Haushalt über zwei Monate hinweg ein Tankbuch geführt wird. Diese „Tankbucherhebung“ hat wie die „Wegetagebucherhebung“ Panelcharakter, da für Haushalte als Untersuchungseinheit im Zeitverlauf wiederholt dieselben Merkmale erhoben werden. Näheres vgl. SAUER (2000).

Mit Hilfe des Tankbuchs werden während des Berichtszeitraums für jeden Tankvorgang folgende Merkmale erfasst:

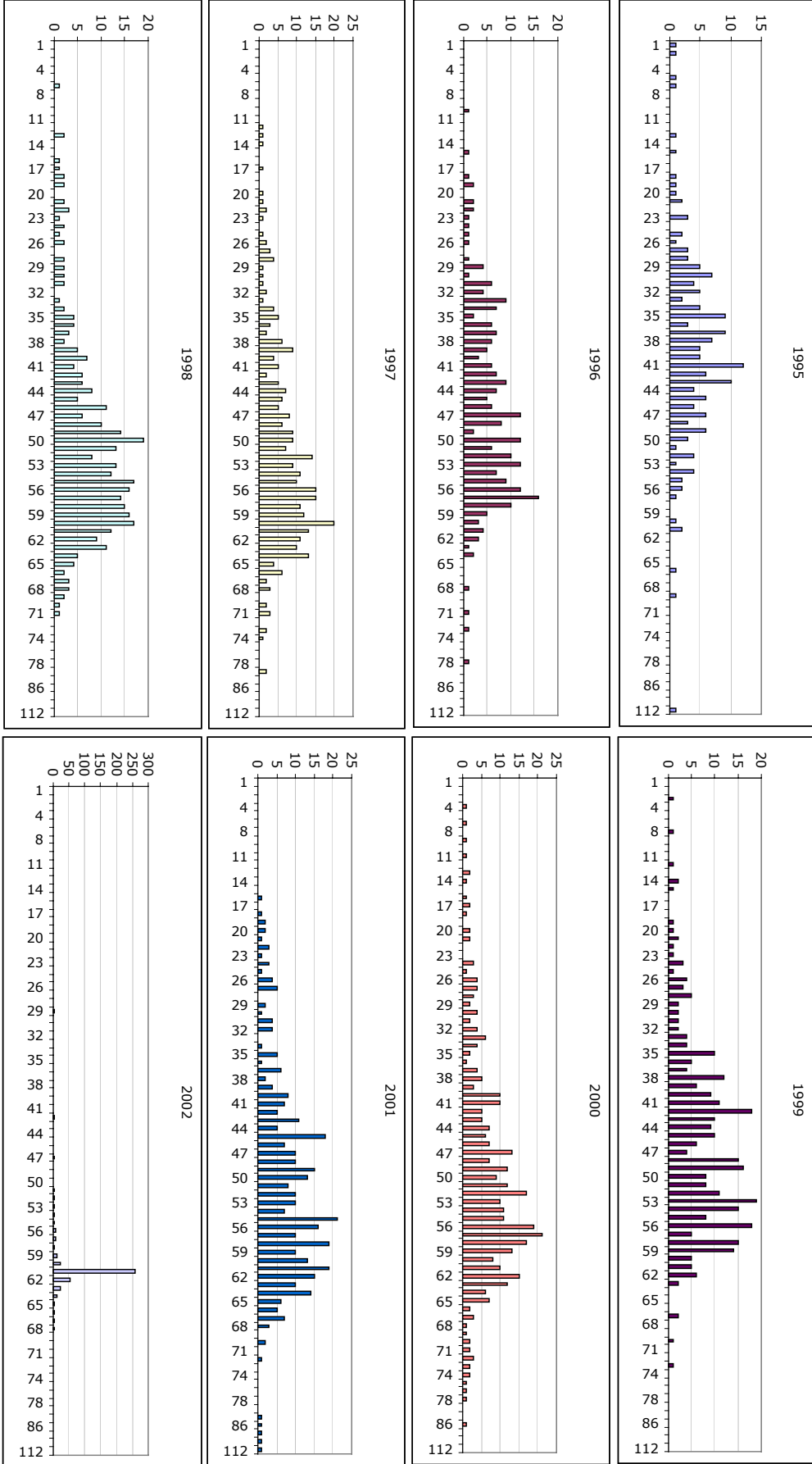
- Datum
- Kilometerstand
- getankte Kraftstoffmenge (in Litern)
- Ausgaben für die getankte Kraftstoffmenge (in €)

Daneben soll der Stand der Tankanzeige von dem ersten und nach dem letzten Eintrag jeweils in einer stilisierten Tankuhr markiert werden. Zusätzlich werden mit Hilfe des Tankbuchs Angaben zum Fahrzeug (Marke, Typ, Baujahr, Hubraum, PS/KW-Zahl u.ä.), zur Fahrzeugnutzung (z.B. geschätzte Jahresfahrleistung und überwiegend genutzte Straßenart)

Variablen, wie etwa dem Gesamtverbrauch über den Berichtszeitraum, der aus den Füllständen des Tankes am Anfang und Ende der Erhebung und der dazwischen getankten Mengen errechnet wird. Eine weitere Quelle der Ungenauigkeit in den Eintragungen und damit auch in den Ausprägungen der Erhebungsmerkmale ist die Annahme für die Erhebungsjahre bis 2001, dass die Eintragung der Tankfüllung und die Eintragung des ersten bzw. letzten Tankvorgangs zeitgleich erfolgte. Wäre dies nicht der Fall, wäre die Bemessung des Berichtszeitraumes entsprechend der Abweichungen der Eintragungsdaten ungenau, dies umso mehr, je weiter die Eintragung des Füllstandes des Tankes und der erste bzw. letzte Tankvorgang zeitlich voneinander abweichen.

Demzufolge muss die Verwendung der Tankbuchdaten bis 2001 vor dem Hintergrund einer möglichen Ungenauigkeit in allen Variablen, die sich auf den Verbrauch und auf den Berichtszeitraum beziehen, betrachtet werden. Die Variabilität der Länge des Berichtszeitraumes ist in den Datenbeständen der Jahre bis 2001 sehr hoch. Nach der Modifikation des Tankbuches in 2002 sind die individuellen Berichtszeiträume zumeist genau zwei Monate lang. Die nachfolgende Übersicht über die Länge der Berichtszeiträume in den Erhebungsjahren macht die Unterschiede deutlich.

Abbildung 1-2: Häufigkeitsverteilung der Länge des Berichtszeitraumes in der Tankbucherhebung nach Erhebungsjahr



Im Rahmen des Erfassungs- und Aufbereitungsprozesses werden die von den Panelhaushalten zurückgesandten Tankbücher vom Erhebungsinstitut editiert und nach der Dateneingabe maschinell geprüft. Die so erstellte Rohdatendatei für die Berichtsperiode jedes Kalenderjahres wird vom Erhebungsinstitut an das Institut, welches das Erhebungsprojekt wissenschaftlich betreut, weitergegeben. Dort wird unter anderem eine Gewichtung der Daten durchgeführt, bei welcher jedem Pkw i ($i = 1, 2, \dots$), für den ein Tankbuch geführt wurde, ein Gewichtungsfaktor $w(i)$ zugeordnet wird. Durch die Gewichtung wird die gemeinsame Verteilung der Pkw-Merkmale „Alterklasse“ (4 Kategorien) und „Hubraumklasse“ (4 Kategorien) in der Stichprobe an die entsprechende zweidimensionale Verteilung in der Grundgesamtheit (Basis: Zentrales Fahrzeugregister des KBA) angepasst.

Mit den Daten der Tankbuchehebung sind Analysen auf unterschiedlichen Ebenen möglich. Als Analyseeinheit kommen in Frage:

- Tankvorgänge
- Kraftfahrzeuge (als „Klumpen“ von Tankvorgängen)
- Haushalte (als „Klumpen“ von Kraftfahrzeugen mit zugeordneten Tankvorgängen).

Eine klare Panelstruktur der Analysedaten ergibt sich, wenn man Haushalte als Untersuchungseinheiten betrachtet, und für jeden Berichtszeitraum (Maximalzahl 3) eines Haushalts ausgehend von den im Tankbuch erhobenen Angaben die folgenden Untersuchungsmerkmale ermittelt:

- Gesamtfahrleistung der Pkw im Haushalt (in Kilometer)
- insgesamt getankte Kraftstoffmenge der Pkw im Haushalt (in Liter)
- Gesamtausgaben für die getankte Kraftstoffmenge (in Euro)
- Länge des Berichtszeitraumes (in Tagen)

Ausgehend hiervon kann man den vom Haushalt gezahlten durchschnittlichen Kraftstoffpreis im Berichtszeitraum als Verhältnis zwischen Gesamtausgaben für Kraftstoffe und insgesamt getankter Kraftstoffmenge berechnen. Bei Analysen zur Abhängigkeit der Gesamtfahrleistung der Haushalts-Pkw im Berichtszeitraum vom jeweiligen (mittleren) Kraftstoffpreis muss entweder die Länge des Berichtszeitraumes als zusätzliche erklärende Variable benutzt werden oder man muss als abhängige Variable die Gesamtfahrleistung der Haushalts-Pkw pro Tag verwenden.

Im Folgenden werden Umfang und Struktur der im Rahmen des Deutschen Mobilitätspanels bisher erhobenen Tankbuchdaten dargestellt und es wird beschrieben, wie diese Daten für die Zwecke der vorliegenden Untersuchung aufbereitet wurden.

1.2 Art, Umfang und Struktur der Tankbuchdaten

Grundlage der empirischen Untersuchungen zur Abhängigkeit der Fahrleistungen von Pkw aus Privathaushalten vom Niveau der Kraftstoffpreise bilden die Tankbuchdaten der Erhebungsjahre 1995 bis 2002. Alles in allem wurden in diesem Zeitraum von den insgesamt 990 verschiedenen Panelhaushalten, die an der Tankbucherhebung bisher teilgenommen haben, $n = 2.475$ verwertbare Tankbücher ausgefüllt. Im Folgenden wird zunächst betrachtet, wie sich diese Tankbücher auf die einzelnen Kohorten (Kalenderjahr der Aufnahme des Haushalts in das Panel) und Berichtsperioden (Kalenderzeitraum, auf welchen sich die Angaben zu Fahrleistungen, Kraftstoffpreisen usw. beziehen) verteilen. Dabei wird deutlich, dass wegen der Mortalität des Panels auf der Haushaltsebene nur 928 Angaben über Preis- und Fahrleistungsänderungen von einer Berichtsperiode zur nächsten möglich sind, die von 578 verschiedenen Haushalten aus den Kohorten 1994 bis 2000 stammen.

Die folgende Tabelle 1-2 zeigt die Zahl der Teilnehmer an der Befragung zur Alltagsmobilität und die Anzahl der Teilnehmer an der Tankbucherhebung. Darüber hinaus ist die Anzahl der Haushalte, die an der Tankbucherhebung teilgenommen haben, aufgeführt. Die Teilnehmerzahlen sind jeweils nach Kohorten und Erhebungsjahren sowie in Form von Randsummen angegeben. Die Spalte „Summe Übergänge zwischen Berichtsperioden“ zeigt die Anzahl der Haushalte bzw. Pkw, bei denen für den gleichen Haushalt bzw. Pkw Datensätze zweier aufeinanderfolgender Jahre vorhanden sind. Die letzten beiden Datenzeilen zeigen, wieviele der ausgegebenen Tankbücher letztendlich für Analysen zur Verfügung stehen.

Tabelle 1-2: Umfang der Erhebung zur Alltagsmobilität und der Tankbuchehebung

Kohorte	Berichtsperiode (jeweils Frühsommer)										Summe der Haushalts- bzw. Pkw-Berichtsperioden	Summe der Übergänge zwischen Berichtsperioden	
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003			
1994 MD.HH	239	140	69									448	209
TD		134	96									230	96
TD.HHs		106	74									180	74
1995 MD.HH		245	116	99								460	215
TD			136	41	31							208	72
TD.HHs			119	36	26							181	62
1996 MD.HH			563	424	322							1309	746
TD				275	205	156						636	361
TD.HHs				205	153	116						474	269
1997 MD.HH				241	180	141						562	321
TD					103	80	58					241	138
TD.HHs					81	60	42					183	102
1998 MD.HH					244	201	153					598	354
TD						96	71	59				226	130
TD.HHs						79	55	48				182	103
1999 MD.HH						670	427	359				1456	786
TD							240	201	153			594	354
TD.HHs							198	158	129			485	287
2000 MD.HH							257	197				454	197
TD								114	86			200	86
TD.HHs								85	60			145	60
2001 MD.HH								560				560	0
TD									205			205	0
TD.HHs									157			157	0
Anzahl Haushalte im Panel insgesamt	239	385	748	764	746	1012	837	1116	0			5847	2828
Anzahl Pkw in Tankbuchehebung	134	232	316	339	332	369	369	374	444			2540	1237
Anzahl Haushalte in Tankbuchehebung	106	193	241	260	255	295	295	291	346			1987	957
ausgegebene Tankbücher *)		376	483	417	460	451	458	525					
Quote		35,6%	48,0%	75,8%	73,7%	73,6%	80,6%	71,2%					

*) Feldbericht zur 14. Befragungsrunde "Kraftstoffverbrauch und Fahrleistung 2000/2001" NFO Infratest Verkehrsforschung, S. 6

Aus Tabelle 1-2 leitet sich die in der nachfolgenden Tabelle 1-3 dargestellte Verteilung der Verweildauer der Haushalte in der Tankbuchehebung ab:

Tabelle 1-3: Haushalte in der Tankbucherhebung gegliedert nach Zugangsjahr (Kohorte) und Verweildauer in der Erhebung

Jahr des Zugangs zur Tankbucherhebung	Anzahl neu zugegangene Haushalte				Mittlere Verweildauer in Perioden
	insgesamt	davon: mit Verweildauer			
		1 Periode	2 Perioden	3 Perioden	
1994	107	32	75	-	1,70
1995	120	89	5	26	1,48
1996	190	35	45	110	2,39
1997	81	29	12	40	2,14
1998	73	21	7	45	2,33
1999	177	24	24	129	2,59
2000	85	25		60	·
Summe	833	255		578	·

Die Datensätze der Tankbuchdaten können über die Haushaltskennziffer mit der Datei der Haushalts- und Personenmerkmale sowie der Wegedatei verknüpft werden.

Wichtigster Untersuchungsgegenstand der Tankbucherhebung sind natürlich die Tankvorgänge selbst. Daneben sind aber auch die Fahrzeugmerkmale und allgemeine Angaben zum Haushalt von Bedeutung. Die Liste der Variablen ergibt sich wie in Tabelle 1-4 dargestellt. Dabei werden die Unterschiede zwischen den Tankbüchern der Erhebungsjahre 1995-2001 und dem Erhebungsjahr 2002 deutlich gemacht.

Tabelle 1-4: Variablen des Tankbuchdatensatzes 1995 – 2001 und 2002

Erhebungsjahr 1995 – 2001	Erhebungsjahr 2002
Identifikationsmerkmale	
Haushaltskennziffer	Haushaltskennziffer
Ordnungsnummer des Fahrzeugs im Haushalt	Ordnungsnummer des Fahrzeugs im Haushalt
	Kennziffer des Fahrzeugs
	Fahrzeugwechsel
Fahrzeugmerkmale	
Marke und Typ des Fahrzeugs	Marke und Typ des Fahrzeugs
Baujahr des Fahrzeugs	Baujahr des Fahrzeugs
Hubraum	Hubraum
PS	PS
Tankgröße	Tankgröße
Kraftstoffart	Kraftstoffart
Eigentümer (Privat-, Firmenwagen)	Eigentümer (Privat-, Firmenwagen)
Fahrzeugnutzung (privat, geschäftlich)	Fahrzeugnutzung (privat, geschäftlich)
Merkmale der Tankvorgänge und des Berichtszeitraums	
	Datum von Beginn und Ende der Aufzeichnung
	Tacho-Kilometerstand zu Beginn und Ende der Aufzeichnung
Tankfüllung vor erstem und nach letztem Tankvorgang	Tankfüllung zu Beginn und Ende der Aufzeichnung
	Datum von Beginn und Ende der Aufzeichnung
Datum des einzelnen Tankvorgangs	Datum des einzelnen Tankvorgangs
Tacho-Kilometerstand beim einzelnen Tankvorgang	Tacho-Kilometerstand beim einzelnen Tankvorgang
Getankte Liter Kraftstoff beim Tankvorgang	Getankte Liter Kraftstoff beim Tankvorgang
Preis der getankten Liter Kraftstoff beim Tankvorgang	Preis der getankten Liter Kraftstoff beim Tankvorgang
	Angabe, ob vollgetankt oder nicht, bei jedem Tankvorgang
allgemeine Angaben zur Fahrzeugnutzung und zum Berichtszeitraum	
überwiegend genutzte Straßenart	überwiegend genutzte Straßenart
geschätzte Anzahl der zurückgelegten Kilometer des Fahrzeugs im Jahr	geschätzte Anzahl der zurückgelegten Kilometer des Fahrzeugs im Jahr
Angabe von Besonderheiten während der Tankbuchaufzeichnung	Angabe von Besonderheiten während der Tankbuchaufzeichnung
Gewichtungsfaktoren für die Datenauswertung	
Gewichtungsfaktor je nach Fahrzeugaltersklasse und Hubraumklasse	Gewichtungsfaktor je nach Fahrzeugaltersklasse und Hubraumklasse

Diese Variablenliste umfasst lediglich die Daten, die direkt aus den Angaben im Tankbuch entstanden sowie einige wichtige weitere Variablen (Identifikationsmerkmale, Gewichtungsfaktoren), die über alle Erhebungsjahre vorliegen. Es gibt im Datensatz noch weitere, von Jahr zu Jahr wechselnde Variablen, die aus den Angaben des Tankbuchs errechnet wurden. Diese wurden hier nicht aufgelistet. Dem Datensatz wurden auch noch einige ausgewählte Haushaltsmerkmale hinzugefügt, die hier aber ebenfalls nicht aufgelistet werden, da sie zum Datensatz der Haushaltsmerkmale gehören. Gleichwohl werden diese Merkmale und andere Variablen des Datenbestands zur Alltagsmobilität natürlich bei den Analysen verwendet.

Die oben bereits beschriebenen Ergänzungen im Tankbuch 2002 gegenüber dem vorher verwendeten Tankbuch spiegeln sich in der Variablenliste wider. Neben den bereits erwähnten Veränderungen bei den Erhebungen der Tankvorgänge wurde im Berichtsjahr 2002 die Variable „Fahrzeugkennziffer“ so modifiziert, dass einem bestimmten Fahrzeug eine eindeutige Kennziffer zugeordnet ist, die sich während des Zeitraumes, in dem sich ein Haushalt im Panel befindet nicht, verändert. Dies ist eine wesentliche Verbesserung gegenüber der Handhabung der Fahrzeugkennziffer in den vorangegangenen Berichtsjahren. Die Kodierung der Fahrzeugkennziffer richtete sich nämlich in diesen Jahren nach der „Stellung“ des Fahrzeugs innerhalb des Haushaltes. In den Jahren 1995 bis 2001 ist lediglich die Ordnungsnummer des Fahrzeugs im Haushalt gegeben. Damit ist für die Fahrzeuge keine eindeutige Zuordnung mehr möglich. Für das aktuellste Berichtsjahr 2002 zeigt sich folgende Dynamik in Bezug auf das Fahrzeug nach „Stellung“ im Haushalt oder Wechsel des Fahrzeugs:

Kein Wechsel, keine Veränderung oder erste Teilnahme des Haushaltes	91,89 %
Es gab einen Wechsel des Fahrzeugs (z.B. Neuanschaffung)	7,28 %
Es gab eine Veränderung in der „Stellung“ des Fahrzeugs im Haushalt	0,83 %

Im Berichtsjahr 2002 gab es also für den weit überwiegenden Teil der Haushalte keinen Fahrzeugwechsel, oder es war eine Erstteilnahme am Panel. Jedoch kam es bei etwa 8 % der Haushalte zu einer Veränderung, die nunmehr aufzuschlüsseln ist und damit in der Analyse berücksichtigt werden kann. In den Datenbeständen der früheren Jahre ist dies nicht möglich, dort bleibt das Problem der fehlenden Eindeutigkeit der Kraftfahrzeugzuordnung bestehen.

Zu den Merkmalen aus der Tankbuchehebung wurde bei jedem Datensatz der entsprechende Gewichtungsfaktor hinzugefügt, der von der Kombinationen der Merkmale „Hubraumklasse“ und „Altersklasse“ abhängt. Die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Gewichtungsfaktoren ist detailliert in den schon zitierten Berichten zum Mobilitätspanel beschrieben.

1.3 Aufbereitung der Tankbuchdaten für die Zwecke der Untersuchung

Eine erste Aufbereitung der Tankbuchdaten erfolgte bereits bei der Erstellung der Datei durch das Institut für Verkehrswesen, Karlsruhe, indem unplausible Angaben der Teilnehmer bereinigt wurden. Die damit zur Verfügung stehenden Rohdaten wurden von uns einer weiteren Prüfung und Selektion unterzogen.

Zur Selektion des schließlich verwendeten Datenbestandes („Basisdatei“) wurden zwei Filter verwendet:

<p>Filter 1 Datensatz nicht verwendbar</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Länge des Berichtszeitraums ist negativ - Summe der zurückgelegten Fahrzeugkilometer ist negativ - der errechnete Verbrauch ist negativ - es gab weniger als zwei Tankvorgänge - bei mindestens einem Tankvorgang fehlte die getankte Menge - bei mindestens einem Tankvorgang fehlte der entrichtete Preis
<p>Filter 2 Datensatz bedingt verwendbar</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Gesamte Fahrleistung in einem Berichtszeitraum positiver Länge kann ermittelt werden - die Länge des Zeitraums zwischen zwei Tankvorgängen wurde mindestens einmal negativ - die zurückgelegte Distanz zwischen zwei Tankvorgängen wurde mindestens einmal negativ - das erste Datum fehlte (Länge des Berichtszeitraums nur „verkürzt“ erchenbar) - die Angabe des ersten Kilometerstandes fehlte (Gesamtzahl der Kilometer nur „verkürzt“ erchenbar)

Treffen die Bedingungen aus Filter 1 zu, so führte dies zur Entfernung des Datensatzes aus der Basisdatei. In Fällen, in denen Filter 2 „positiv“ wird, ist die Nutzung des Datensatzes unter Einschränkungen noch möglich. Waren etwa bei einzelnen

Tankvorgängen das Datum oder der Kilometerstand falsch angegeben, so dass die entsprechenden Differenzgrößen zwischen den beiden Tankvorgängen negativ wurden, so können dennoch zusammengefasste Werte über den Gesamtzeitraum (Länge des Berichtszeitraums und Fahrleistung im Berichtszeitraum) noch errechnet werden. Untersuchungen auf der Ebene der einzelnen Tankvorgänge sind dann allerdings nicht mehr möglich.

Der Umfang der nach Filter 1 zur Verfügung stehenden Datei kann Tabelle 1-2 (Datensatz „TD“) entnommen werden.

Aus den Variablen des Tankbuch-Datensatzes lassen sich folgende Nachfrage-Indikatoren auf Fahrzeugebene ableiten:

Variable auf Fahrzeugebene	Definition	Dimension
Länge des Berichtszeitraums (Z)	$Z = \text{Dat}_N - \text{Dat}_1$ für alle Datensätze bis 2001 $= \text{DatE} - \text{DatA}$ für den Datensatz 2002 $\text{Dat}_1, \text{Dat}_N$: Datum des ersten bzw. letzten Tankvorgangs DatA : Datum Beginn des Erhebungszeitraums DatE : Datum Ende des Erhebungszeitraums N : Anzahl der Tankvorgänge	[Tage]
Gesamtausgaben (K)	$K = \sum_{i=1}^N P_i$ P_i Entrichteter Betrag bei Tankvorgang i	[€]
insgesamt zurückgelegte Kilometer (D)	$D = \text{Ta}_N - \text{Ta}_1$ für alle Datensätze bis 2001 $= \text{TaE} - \text{TaA}$ für den Datensatz 2002 Ta_1, Ta_N : Tachostand beim ersten bzw. letzten Tankvorgang TaA : Tachostand zu Beginn der Aufzeichnung TaE : Tachostand am Ende der Aufzeichnung	[km]
insgesamt getankte Kraftstoffmenge (L)	$L = \sum_{i=1}^N L_i$ L_i : getankte Liter bei Tankvorgang i	[Liter]
Gesamtverbrauch (V)	$V = \text{InhA} + L - \text{InhE}$ InhA : Tankinhalt zu Beginn der Aufzeichnung InhE : Tankinhalt am Ende der Aufzeichnung	[Liter]

Wegen der hohen Variabilität der Länge des Berichtszeitraumes wird es notwendig, die Kenngrößen der Nachfrage auf die Zeiteinheit „Tag“ zu beziehen. Die für die Analyse verwendeten Größen sind somit:

$$\text{Kraftstoffverbrauch je Tag} = \frac{V}{Z}$$

$$\text{Pkw-Fahrleistung je Tag} = \frac{D}{Z}$$

$$\text{Kraftstoffausgaben je Tag} = \frac{K}{Z}$$

$$\text{Getankte Kraftstoffmenge je Tag} = \frac{L}{Z}$$

Des Weiteren sind folgende Größen noch von zentraler Bedeutung:

$$\text{durchschnittlicher Kraftstoffpreis (Euro/Liter)} = \frac{K}{L}$$

$$\text{Spezifischer Verbrauch (Liter/km)} = \frac{V}{D}$$

Die Originalvariablen des Tankbuchdatensatzes, ergänzt um die eben beschriebenen abgeleiteten Größen, bilden den Tankbuch-Basisdatensatz auf der Ebene einzelner Fahrzeuge (genauer: Fahrzeug-Berichtsperioden). Diesem Datensatz können über die Haushaltskennziffer Merkmale aus der Erhebung der Alltagsmobilität hinzugefügt werden.

Wie bereits angedeutet, ist es aufgrund der nicht eindeutigen Identifizierbarkeit der Fahrzeuge der Tankbucherhebung über die einzelnen Erhebungsjahre einer Kohorte hinweg bei vielen Analysen notwendig, die Daten der Tankbucherhebung von der Ebene der Einzelfahrzeuge auf die Ebene der Haushalte zu aggregieren. Der dabei entstehende Datensatz hat dann folgende Kernstruktur:

Variable auf Haushaltsebene	Definition	Dimension
Anzahl der Fahrzeuge im Haushalt (F)	F = Anzahl Pkw im Haushalt, für welche ein Tankbuch geführt wurde	
Gesamtausgaben des Haushalts für Kraftstoffe GK	$GK = \sum_{j=1}^F \sum_{i=1}^{N(j)} P_{ij}$ <p>P_{ij}: Entrichteter Geldbetrag beim i-ten Tankvorgang des j-ten Fahrzeugs</p> <p>F: Anzahl der Fahrzeuge eines Haushalts, die am Panel teilbenommen haben</p> <p>$N(j)$: Anzahl der Tankvorgänge des j-ten Fahrzeugs</p>	[€]
Gesamte Fahrleistung der Fahrzeuge des Haushalts (GD)	$GD = \sum_{j=1}^F T_{Nj} - T_{1j} \quad \text{für Erhebungsjahre bis 2001}$ $= \sum_{j=1}^F TE_j - TA_j \quad \text{für Erhebungsjahr 2002}$ <p>$T_{1j}, T_{N(j),j}$: Tachostand des j-ten Fahrzeugs beim ersten bzw. letzten Tankvorgang</p> <p>TA_j: Tachostand des j-ten Fahrzeugs zu Beginn der Aufzeichnung</p> <p>TE_j: Tachostand des j-ten Fahrzeugs am Ende der Aufzeichnung</p>	[km]
Gesamte getankte Kraftstoffmenge des Haushalts (GL)	$GL = \sum_{j=1}^F \sum_{i=1}^{N(j)} L_{ij}$ <p>L_{ij}: getankte Liter des j-ten Fahrzeugs beim i-ten Tankvorgang</p>	[Liter]
Gesamtzahl der Berichtstage der Fahrzeuge des Haushalts (GZ)	$GZ = \sum_{j=1}^F Z_j$ <p>Z_j: Länge des Berichtszeitraums des j-ten Fahrzeugs</p>	[Tage]
Gesamter Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge des Haushalts (GV)	$GV = \sum_{j=1}^F (InhA_j - InhE_j + \sum_{i=1}^{N(j)} L_{ij})$ <p>$InhA_j$: Tankinhalt des j-ten Fahrzeugs zu Beginn der Aufzeichnung</p> <p>$InhE_j$: Tankinhalt des j-ten Fahrzeugs am Ende der Aufzeichnung</p>	[Liter]

Die auf die Zeiteinheit „Tag“ bezogenen Nachfragekennzahlen sowie der Kraftstoffpreis und der spezifische Kraftstoffverbrauch errechnen sich analog zu den entsprechenden Größen auf der Fahrzeugebene. Allerdings sind dies nun Durchschnittswerte für die im Haushalt befindlichen Kraftfahrzeuge, die in die Erhebung einbezogen sind (Durchschnitt über die Fahrzeuge des Haushalts und die Tage des Berichtszeitraums).

Anhang III

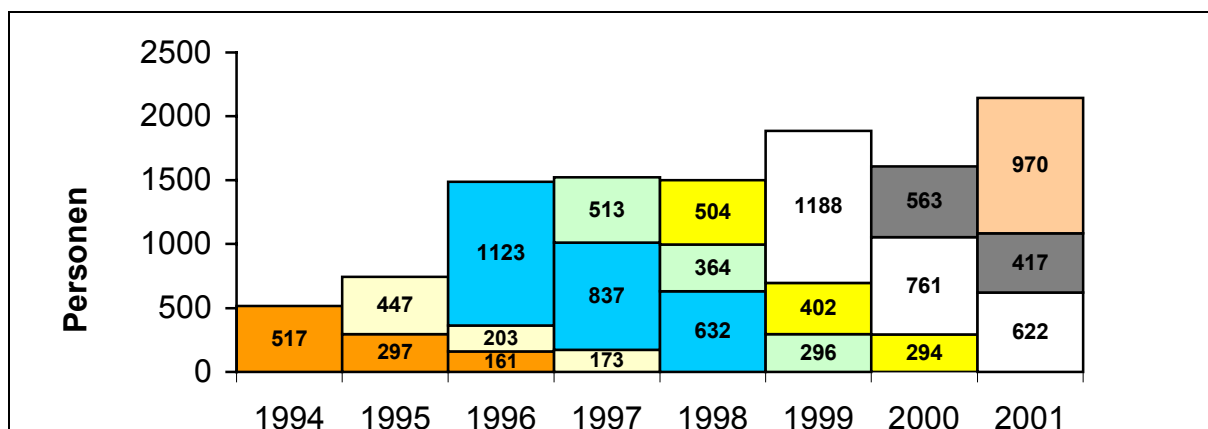
Die Wegetagebuchdaten des Mobilitätspanels als Mikrodaten zum Themenkomplex „Kraftstoffpreise und Mobilitätsverhalten“

1 Art, Umfang und Struktur der Daten der Wegetagebuch-Erhebung

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Daten setzen sich aus den Erhebungsdaten der acht Jahre 1994 bis 2001 der Paneluntersuchung zum Mobilitätsverhalten zusammen. Die Stichprobe wurde von Infratest Burke bevölkerungsrepräsentativ angelegt. Als Kriterien hierfür dienten dabei die Merkmale Raumtyp, Haushaltstyp und Pkw-Besitz.

Die so ausgewählten Haushalte wurden in einem kombinierten schriftlich-telefonischen Anwerbeverfahren für die Panelstichprobe geworben. Die schließlich am Mobilitätspanel teilnehmenden Haushalte/Personen führten dann in bis zu drei aufeinanderfolgenden Jahren jeweils eine Woche lang ein Wegetagebuch. Die einwöchige Wegeerfassung fand meist in den Monaten September und Oktober (im Herbst) statt (detailliertere Informationen zum Design der Erhebung finden sich im Infratest-Bericht zum Haushaltspanel, 1998). Die Entwicklung der einzelnen Kohorten des Mobilitätspanel ist in Abbildung 1-1 dargestellt.

Abbildung 1-1: Entwicklungen der Kohorten (Quelle: ifv, Panelauswertung 2001)



Zur Untersuchung des Mobilitätsverhaltens der Bevölkerung bei veränderten Kraftstoffpreisen wird zusätzlich zur Haushaltsdatei und Personendatei das Wegetagebuch (Wegedatei) des Mobilitätspanels verwendet. Jede Zeile der Datei entspricht ein geleisteter Weg der befragten Person. Der Weg wird spezifiziert über den Wegzweck, die (vorwiegend) verwendeten Verkehrsmittel, die Wegedauer in Minuten und

die Weglänge in km. Seit 1994 wurden somit über 270.000 Einzelwege erfasst (Tabelle 1-1). Über die Haushalts- und Personenummer können Variablen aus der Personen-, Haushalts- und Tankbuchdatei mit aufgenommen werden.⁶⁸

Tabelle 1-1: Anzahl der Datensätze der Haushalts-, Personen- und Wegedatei des Mobilitätspanels

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Total
Haushalte	239	385	748	746	764	1012	837	1116	5847
Personen mit Wegetagebuch	517	744	1487	1523	1500	1887	1618	2009	11285
Wege	12380	16816	37233	38259	36769	46386	38262	49594	275699

Zur Untersuchung des Mobilitätsverhaltens wurden diese Wegedaten auf Verkehrsleistungen (Personenkilometer pro Tag) der vorwiegend verwendeten Verkehrsmittel aggregiert. Hierbei wurden die in der Wegedatei verwendeten Gewichte berücksichtigt⁶⁹. Man erhält dadurch die durchschnittliche Verkehrsleistung pro Person und Tag für die

Verkehrsmoden (a):

- (11) Fuß
- (12) Fahrrad
- (13) Mofa, Moped, Motorrad
- (14) PKW als Fahrer
- (15) PKW als Beifahrer
- (16) Bus
- (17) U- und/oder S-Bahn

⁶⁸ Informationen zum Aufbau dieser Dateien und den darin erfassten Variablen befinden sich in Anhang A. Die Personentagedatei ist in der Wegedatei enthalten. Die Kinderdatei ist für die Untersuchung des Mobilitätsverhaltens nicht relevant.

⁶⁹ Folgende Gewichte wurden verwendet: Wegelängengewichtung, Attritionsgewichtung (Berücksichtigung der Berichtsmüdigkeit und weitere Gewichtungselemente zum Ausgleich unterschiedlicher Berichtszeiträume). Detaillierte Informationen zu den Gewichtungselementen befinden sich in der Panelauswertung 2001 (IfV der TH Karlsruhe 2001, BMV FE 70.0684/2001).

- (18) Zug
- (19) Flugzeug und
- (20) sonstige Verkehrsmittel.

Zur Untersuchung des Mobilitätsverhaltens wurden die Verkehrsleistungen der Verkehrsmoden (a) wie folgt zu

Verkehrsmoden (b):

- (5) Fuß/Fahrrad,
- (6) Auto: PKW-Nutzung als Fahrer⁷⁰
- (7) Auto: PKW-Nutzung als Beifahrer
- (8) ÖPNV: Bus, U-Bahn, S-Bahn und Zug

zusammengefasst. Die Verkehrsmittel Mofa, Moped und Motorrad wurde nicht berücksichtigt, da Mobilitätsmuster dieser Verkehrsmittel zu heterogen sind. Auch die Benutzung von Flugzeugen und sonstigen Verkehrsmitteln fand innerhalb der Untersuchung des Mobilitätsverhaltens keine Berücksichtigung, da nur vereinzelt Datensätze zu diesen Verkehrsmitteln vorhanden und diese damit nicht repräsentativ für die Bevölkerung sind. Die verwendete Mobilitätsdatei enthält somit 11.285 personenbezogene Datensätze. Diese Mobilitätsdatei wurde mit weiteren Variablen aus der Haushaltsdatei (gewichtet) und Personendatei (gewichtet) verknüpft⁷¹. Damit ist es möglich den (verkehrsleistungsbezogenen) Modal-Split und einen "fiktiven" PKW-Besetzungsgrad zu errechnen und mit anderen Quellen zu vergleichen (z.B. VIZ 2002). Eine Analyse zur PKW-Anschaffung ist aufgrund der Datensituation der Herbstbefragung des Mobilitätspanels auf Mikroebene derzeit noch nicht möglich.

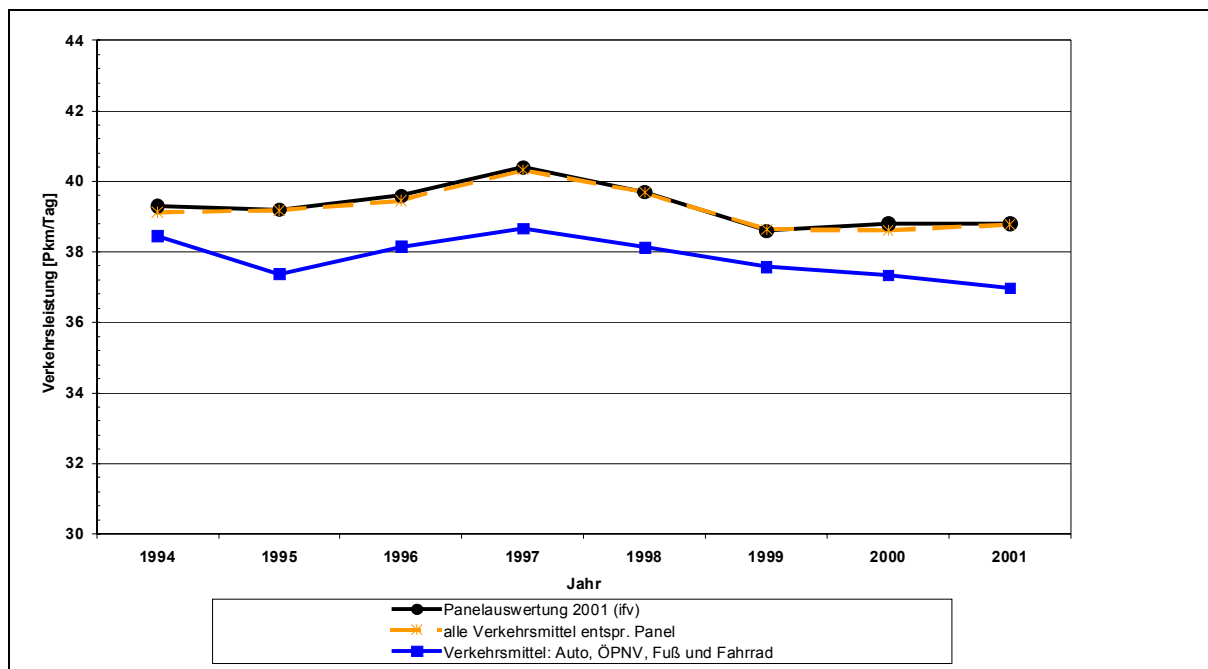
In Abbildung 1-2 sind die mittleren Verkehrsleistungen [Pkm/Tag] bei Berücksichtigung aller Verkehrsmoden (a) und der zusammengefassten Verkehrsmoden (b), für die Jahre 1994 bis 2001 dargestellt. Die Ergebnisse des Mobilitätspanels sind hochgerechnet auf die Bevölkerung in den alten Bundesländern zwischen 1994 und 1998 und ab 1999

⁷⁰ Diese Outputvariable entspricht nicht der PKW-Fahrleistung, da ein und das selbe Fahrzeug auch durch andere Haushaltsangehörige benutzt werden könnte. Nur in Einzelfällen stimmt diese Verkehrsleistung mit der PKW-Fahrleistung überein.

⁷¹ Der Aufbau dieser Dateien und die darin erfassten Variablen sind in Anhang A beschrieben.

hochgerechnet auf die Bevölkerung der gesamten Bundesrepublik⁷². Die geringen Unterschiede in den Verkehrsleistungen zwischen der verwendeten verkehrsmittelbezogenen Datenbasis des Panels und der Ergebnisse der Panelauswertung 2001 von ifv sind auf Rundungsfehler zurückzuführen. Werden nur die obigen vier Verkehrsmoden (b) berücksichtigt, sind die mittleren täglichen Verkehrsleistungen um etwa 10 % niedriger da, wie aufgeführt, nicht alle Verkehrsmoden erfasst sind. Die zentralen Ergebnisse der Panelauswertung 2001 von ifv zeigt Tabelle 1-2 für die Jahre des Mobilitätspanels im Überblick.

Abbildung 1-2: Entwicklungen der Verkehrsleistungen



⁷² Zur Hochrechnung auf die gesamte Bevölkerung der Bundesrepublik wird das Personenhaushaltsgewicht verwendet. Dieser Gewichtungsfaktor wurde in Abhängigkeit des Verdichtungsraums, der Haushaltsgröße, des PKW-Besitzes des Haushaltes sowie der Bevölkerungsstruktur nach Alter und Geschlecht errechnet (Datensatzbeschreibung zum Panel).

Tabelle 1-2: Zentrale Ergebnisse im Überblick: Quelle: Panelauswertung 2001 (ifv)

Indikator		Panel 1994 ¹	Panel 1995 ¹	Panel 1996 ¹	Panel 1997 ¹	Panel 1998 ¹	Panel 1999 ²	Panel 2000 ²	Panel 2001 ²
Anteil mobiler Personen	[%]	91,9	93,9	92,9	92,0	91,4	92,2	91,7	92,8
Wege (Person · Tag)	Anzahl	3,32	3,39	3,46	3,62	3,57	3,51	3,47	3,54
Pkw pro Einwohner ³	[Pkw/Ew]	0,451	0,435	0,461	0,468	0,479	0,474	0,496	0,498
Reisezeit-budget	[h:min]	1:19	1:20	1:21	1:22	1:21	1:23	1:22	1:23
Kilometer (Person · Tag)	[Pkm/Tag]	39,3	39,2	39,6	40,4	39,7	38,6	38,8	38,8

¹ Die ausgewiesenen Werte sind hochgerechnet auf die Bevölkerung (Alter über 10 Jahre) in den alten Bundesländern. Alle Werte sind Stichprobenwerte und unterliegen Zufallsfehlern.

² Die ausgewiesenen Werte sind hochgerechnet auf die Bevölkerung (Alter über 10 Jahre) der gesamten Bundesrepublik, einschließlich der neuen Bundesländer. Alle Werte sind Stichprobenwerte und unterliegen Zufallsfehlern.

³ Im Panel angegebener Pkw-Bestand (privat genutzte PKW) in Haushalten über Personenanzahl hochgerechnet (einschließlich Kinder unter 10 Jahren), bis einschließlich 1998 nur früheres Bundesgebiet, ab 1999 einschließlich neuer Bundesländer.

1.1 Ergänzung der Wegetagebuchdaten um die Merkmale Kraftstoffpreis und spezifischer Kraftstoffverbrauch

Die Mobilitätsdatei muss nun noch mit den Kraftstoffpreisen, bzw. den Kraftstoffverbräuchen in Bezug gesetzt werden. Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch der Pkw-Flotte der befragten Haushalte lässt sich aus der Tankbuchdatei, die erst ein halbes Jahr nach den Erhebungen zur Haushalts- Personen- und Wegedatei im Frühjahr erhoben wird, ermitteln (Abbildung 1-3). Hierbei wird unterstellt, dass sich die Pkw-Flotte der befragten Haushalte zwischen Herbst und Frühjahr nicht geändert hat. Da nicht alle Haushalte des Mobilitätspanels an der Tankbucherhebung teilgenommen haben, kann eine direkte Zuordnung nur für 2.035 Haushalte (4.162 Personen) erfolgen (Tabelle 1-3). Den übrigen Haushalten wurde der durchschnittliche Pkw-Verbrauch gemäß der Tankbucherhebung zugeordnet.

Abbildung 1-3: Durchschnittliche getankte Kraftstoffmenge der Pkws aus der Tankbucherhebung [l/100km]

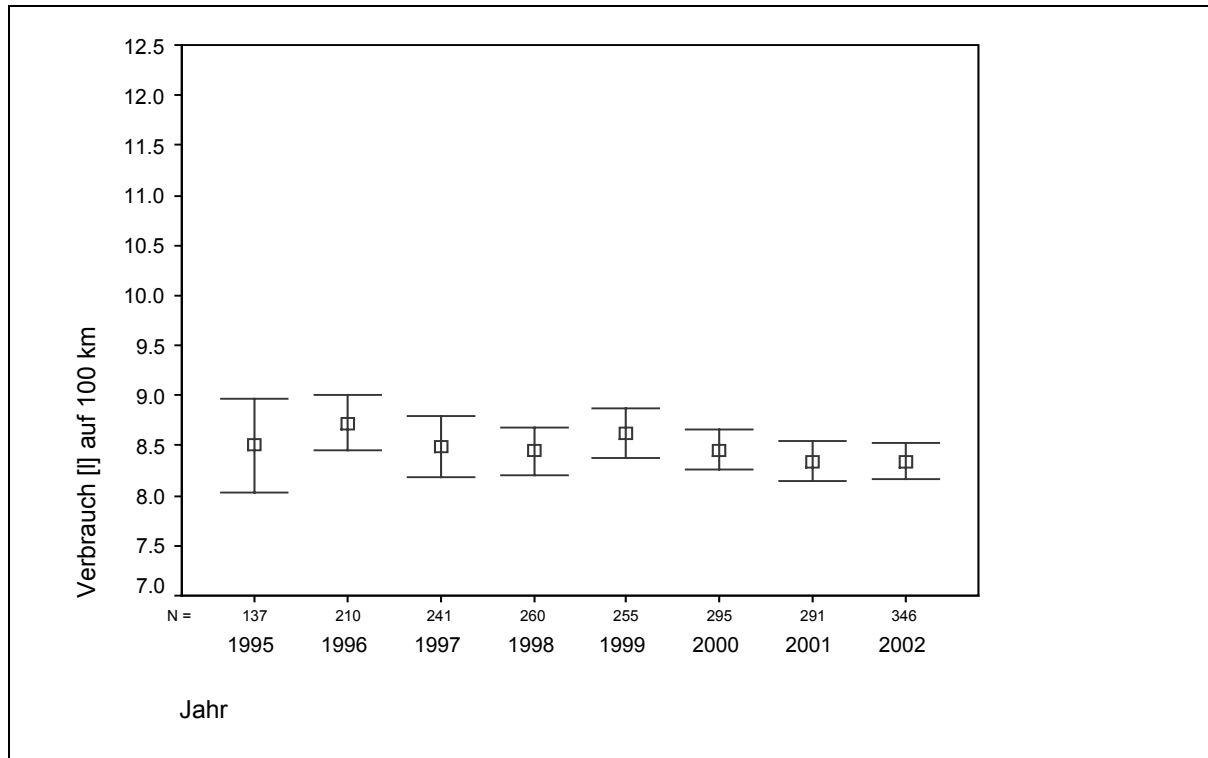


Tabelle 1-3: Anzahl der Datensätze der Haushalts-, und Tankbuchdatei des Mobilitätspanels

	1994 / 1995	1995 / 1996	1996 / 1997	1997 / 1998	1998 / 1999	1999 / 2000	2000 / 2001	2001 / 2002	Total
Haushalte (Mobilitätspanel)	239	385	748	746	764	1012	837	1116	5847
Haushalte (Tankbucherhebung)	170	252	316	339	332	370	374	444	2597
Haushalte im Mobilitätspanel und Tankbucherhebung	137	210	241	260	255	295	291	346	2035
Anzahl der Personen im Mobilitätspanel	517	744	1487	1523	1500	1887	1618	2009	11285
Anzahl der Personen in den Haushalten im Mobilitätspanel und Tankbucherhebung	249	402	503	555	563	611	608	671	4162

Der durchschnittliche Kraftstoffpreis pro Liter [€/l], den ein Haushalt im Frühjahr bezahlte, wurde ebenfalls der Tankbuchdatei entnommen. Haushalten, die nicht an der Tankbuchehebung teilnahmen wurde der durchschnittliche Kraftstoffpreis aus der Tankbuchehebung zugeordnet (Abbildung 1-4). Somit können regionale Preisschwankungen wie auch das individuelle Tankverhalten der Haushalte berücksichtigt werden. Da die Kraftstoffpreise starken Schwankungen im Zeitverlauf unterliegen (Abbildung 1-4), müssen die Kraftstoffpreise aus der Tankbuchehebung vom Frühjahr, für die Verwendung im Zusammenhang mit Daten der Mobilitätsdatei vom Herbst des Vorjahres korrigiert werden. Mit Hilfe der monatlichen Durchschnittspreise und Kraftstoffabsätze wurden die regionalen Kraftstoffpreise der Tankbuchdatei wie folgt korrigiert:

$$Faktor = \frac{\frac{KP(Sep.) \cdot AS(Sep.) \cdot 30 + KP(Okt.) \cdot AS(Okt.) \cdot 31}{61}}{\frac{KP(Apr.) \cdot AS(Apr.) \cdot 30 + KP(Mai) \cdot AS(Mai) \cdot 31 + KP(Jun.) \cdot AS(Jun.) \cdot 30}{91}}$$

wobei $KP(Monat)$ den monatlichen Kraftstoffpreis und $AS(Monat)$ die monatlich abgesetzte Vergaserkraftstoffmenge [€/l] darstellt. Zähler und Nenner dieses Faktors stellen somit den täglichen Kraftstoffabsatz in EURO im Frühjahr bzw. Herbst des Vorjahres innerhalb der Bundesrepublik dar. In Abbildung 1-5 sind die um den obigen Faktor korrigierten durchschnittlichen Kraftstoffpreise dargestellt.

Abbildung 1-4: Durchschnittliche Kraftstoffpreise (2σ-Umgebung) aus den Daten der Tankbuchehebung

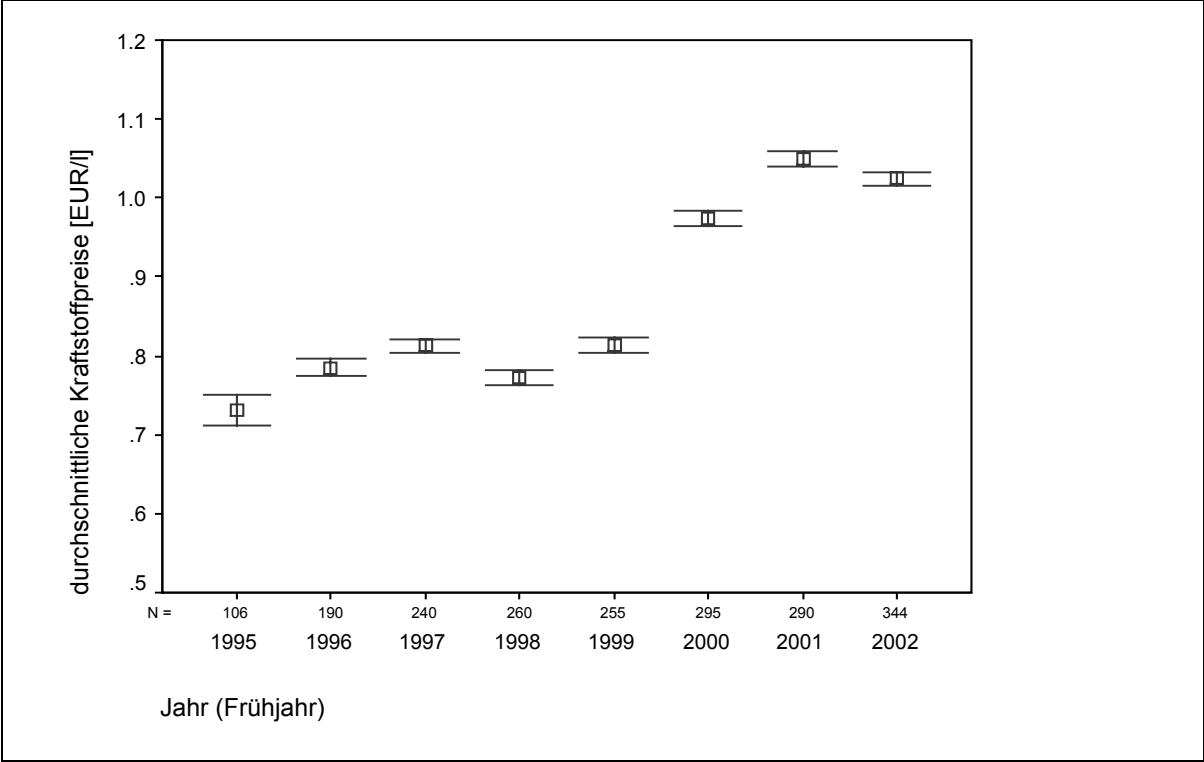


Abbildung 1-5: Korrigierte durchschnittliche Kraftstoffpreise (2σ-Umgebung) aus den Daten der Mobilitätserhebung

