

Working Paper

Reagieren Autofahrende unterschiedlich auf Kraftstoffpreisänderungen?

Öko-Institut Working Paper 6/2023

Dr. Arpita Khanna, Dennis Appenfeller, Dennis Seibert



Öko-Institut e.V. / Oeko-Institut e.V.

info@oeko.de

www.oeko.de

Geschäftsstelle Freiburg / Freiburg Head Office

Postfach / P.O. Box 17 71

79017 Freiburg. Deutschland / Germany

Tel.: +49 761 45295-0

Büro Darmstadt / Darmstadt Office

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt. Deutschland / Germany

Tel.: +49 6151 8191-0

Büro Berlin / Berlin Office

Borkumstraße 2

13189 Berlin. Deutschland / Germany

Tel.: +49 30 405085-0

Working Paper

Reagieren Autofahrende unterschiedlich auf Kraftstoffpreisänderungen? Eine Analyse deutscher Haushaltsdaten

Dr. Arpita Khanna¹, Dennis Appenfeller², Dennis Seibert²

Working Paper 6/2023 Öko-Institut e.V. / Oeko-Institut e.V.

Dezember 2023

Download:

www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Reaktion-Autofahrer-Kraftstoffpreisaenderungen.pdf

¹ M-Five GmbH Mobility, Futures, Innovation, Economics, Bahnhofstraße 46, 76137 Karlsruhe

² Öko-Institut e.V., Borkumstraße 2, 13189 Berlin

Review des Dokuments: Anne Greinus, Michel Zimmermann, Ursina Walther (INFRAS)



Dieses Werk bzw. Inhalt steht unter einer Creative Commons Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Lizenz. Öko-Institut e.V. 2023

This work is licensed under Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0. Oeko-Institut e.V. 2023

Die Working Paper Series des Öko-Instituts ist eine Sammlung wissenschaftlicher Beiträge aus der Forschungsarbeit des Öko-Instituts e.V. Sie präsentieren und diskutieren innovative Ansätze und Positionen der aktuellen Nachhaltigkeitsforschung. Die Serie ist offen für Arbeiten von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus anderen Forschungseinrichtungen. Die einzelnen Working Paper entstehen in einem sorgfältigen wissenschaftlichen Prozess ohne externes Peer Review.

Oeko-Institut's Working Paper Series is a collection of research articles written within the scope of the institute's research activities. The articles present and discuss innovative approaches and positions of current sustainability research. The series is open to work from researchers of other institutions. The Working Papers are produced in a scrupulous scientific process without external peer reviews.

Zusammenfassung

Zur Reduktion von Treibhausgasemissionen im Verkehr nimmt die Verteuerung von fossilen Kraftstoffen eine wichtige Rolle ein. Im Personenverkehr wird beabsichtigt, dass durch die Verteuerung von Benzin und Diesel die Pkw-Nutzung reduziert oder effizienter gestaltet wird. Zahlreiche empirische Studien haben in den vergangenen Jahren den Einfluss von Kraftstoffpreisen auf die Pkw-Nutzung untersucht und dabei einen signifikanten negativen Zusammenhang herausgearbeitet. Wie stark Haushalte ihre Pkw-Nutzung infolge von Kraftstoffpreisänderungen anpassen, wird üblicherweise mittels der Elastizität ausgedrückt.

Während in der Literatur Einigkeit über die Reduktion der Pkw-Fahrleistung bei einer Verteuerung von Benzin und Diesel herrscht, besteht Unsicherheit sowohl über die Stärke dieser Verhaltensanpassung als auch darüber, ob Haushalte ihr Verhalten unterschiedlich anpassen. Insbesondere für deutsche Haushalte wird vielfach kein signifikanter Unterschied in der Verhaltensanpassung festgestellt.

Die vorliegende Studie analysiert Haushaltsdaten des Deutschen Mobilitätspanels (MOP) für den Zeitraum zwischen 2002 und 2022 auf unterschiedliche Verhaltensanpassungen der Haushalte. Diese sogenannte Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizität wird für verschiedene Haushaltsmerkmale untersucht. Darüber hinaus wird geprüft, ob die Kombination zweier Haushaltsmerkmale einen Einfluss auf die Elastizität hat. Die Analyse umfasst gemäß den Empfehlungen von Brambor et al. (2006) eine detaillierte Auswertung der Schätzergebnisse für unterschiedliche Ausprägungen des jeweiligen Haushaltsmerkmals.

Die Ergebnisse zeigen, dass Haushalte heterogene Elastizitäten aufweisen. So wird etwa gezeigt, dass die Entfernung zur Arbeitsstelle einen Einfluss darauf hat, wie stark Haushalte auf Kraftstoffpreisänderungen reagieren. Die Elastizität, also die Stärke der Reaktion, sinkt mit steigender Entfernung zur Arbeitsstelle. Die detaillierte Auswertung zeigt, dass dieser Zusammenhang nur für Entfernungen unter etwa 50 Kilometern gilt. Ab dieser Entfernung kann kein signifikanter Einfluss der Entfernung auf die Elastizität der entsprechenden Haushalte festgestellt werden. Weiterhin wird etwa gezeigt, dass die Elastizität mit steigendem Anteil weiblicher Haushaltsmitgliedern zunimmt und dass Haushalte mit Wohnlage in ländlichen Gebieten stärker reagieren als solche in städtischen Gebieten. Auch der Einfluss einer Kombination von Haushaltsmerkmalen wird untersucht. So wird etwa herausgearbeitet, dass in städtischer Wohnlage Haushalte mit geringem Einkommen stärkere Anpassungsreaktionen zeigen als Haushalte mit hohem Einkommen, während sich dieser Zusammenhang in ländlicher Wohnlage umkehrt.

Die vorliegende Studie sensibilisiert für die Komplexität von Verhaltensreaktionen im Verkehr. Im wissenschaftlichen und im politischen Diskurs gilt es insbesondere mit Blick auf die Wirkungsanalyse von klimapolitischen Instrumenten, diese komplexen Verhaltensreaktionen zu berücksichtigen und zu kommunizieren. Die vorliegende Studie soll hierzu einen Beitrag leisten.

Abstract

Increasing the price of fossil fuels plays an important role in reducing greenhouse gas emissions of the transport sector. In passenger transport, higher prices for petrol and diesel are intended to reduce car use or make it more efficient. Numerous empirical studies have investigated the influence of fuel prices on car use in recent years and have identified a significant negative correlation. The extent to which households adjust their car use as a result of fuel price changes is usually expressed in terms of elasticity.

While there is agreement in the literature on the reduction in car mileage when petrol and diesel become more expensive, there is uncertainty both about the strength of this behavioral adjustment and about whether households adjust their behavior differently. For German households in particular, no significant difference in behavioral adjustment is found in many cases.

This study analyzes household data from the German Mobility Panel (MOP) for the period between 2002 and 2022 for different behavioral adjustments of households. This so-called heterogeneity of fuel price elasticity is examined for various household characteristics. In addition, it is examined whether the combination of two household characteristics has an influence on the elasticity. Following the recommendations of Brambor et al. (2006), the analysis includes a detailed evaluation of the estimation results for different levels of the respective household characteristics.

The results show that households exhibit heterogeneous elasticities. For example, it is shown that the distance to work has an influence on how strongly households react to fuel price changes. The elasticity, i.e. the strength of the reaction, decreases with increasing distance to the place of work. The detailed analysis shows that this correlation only applies to distances of less than around 50 kilometers. Above this distance, no significant influence of the distance on the elasticity of the corresponding households can be determined. It is also shown, for example, that the elasticity increases with an increasing proportion of female household members and that households with a residential location in rural areas react more strongly than those in urban areas. The influence of a combination of household characteristics is also examined. For example, it is found that low-income households in urban residential areas show stronger adjustment reactions than high-income households, while this relation is reversed in rural residential areas.

This study highlights the complexity of behavioral responses in transport. In scientific and political discourse, these complex behavioral reactions need to be considered and communicated, particularly regarding the impact analysis of climate policy instruments. This study is intended to contribute to this.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Abstract	5
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
1 Hintergrund	9
2 Literaturüberblick	10
3 Daten und Methodik	15
3.1 Daten	15
3.2 Baseline-Modell	17
3.3 Modell zur Schätzung der Heterogenität	17
4 Empirische Ergebnisse	20
4.1 Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Fahrleistung	20
4.2 Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizitäten	21
4.2.1 Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder	22
4.2.2 Beschäftigung	24
4.2.3 Geschlecht	25
4.2.4 Bildung	26
4.2.5 Entfernung zur Arbeitsstelle	27
4.2.6 Einkommen	29
4.2.7 Größe des Haushalts	30
4.2.8 Wohnort des Haushalts (ländlich oder städtisch)	31
4.3 Zusammengesetzte Heterogenität	32
4.3.1 Zusammengesetzte Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizitäten nach Einkommen und Wohnlage	34
4.3.2 Zusammengesetzte Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizitäten nach Geschlecht und Kindern	35
5 Diskussion und Schlussfolgerungen	37
Literaturverzeichnis	43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kraftstoffpreiselastizitäten über das Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder	22
Abbildung 2: Kraftstoffpreiselastizitäten über die Anzahl der erwerbstätigen Mitglieder des Haushalts	25
Abbildung 3: Kraftstoffpreiselastizitäten über den Anteil der Frauen im Haushalt	26
Abbildung 4: Kraftstoffpreiselastizitäten über die Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Abitur	27
Abbildung 5: Kraftstoffpreiselastizitäten über die Entfernung zur Arbeitsstelle	28
Abbildung 6: Kraftstoffpreiselastizitäten über das Einkommen	30
Abbildung 7: Kraftstoffpreiselastizitäten über die Haushaltsgröße	31
Abbildung 8: Kraftstoffpreiselastizitäten über das Einkommen in städtischen und ländlichen Gebieten	35
Abbildung 9: Kraftstoffpreiselastizitäten über den Anteil der Frauen im Haushalt mit und ohne Kinder unter 10 Jahre	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Preiselastizitäten der Nachfrage nach Kraftstoffen für Pkw in Deutschland	11
Tabelle 2:	Abhängigkeit der Preiselastizitäten vom Einkommen in Deutschland	13
Tabelle 3:	Preiselastizitäten nach Verfügbarkeit des öffentlichen Verkehrs sowie nach ländlicher und städtischer Wohnlage	14
Tabelle 4:	Zusammenfassende Statistik der verwendeten MOP-Daten	16
Tabelle 5:	Baseline-Modell - Kraftstoffpreiselastizität und Kontrollvariablen	20
Tabelle 6:	Schätzung der Heterogenitäten für Alter, Beschäftigungsstatus, Geschlecht und Bildungsstand - Kraftstoffpreiselastizitäten und Kontrollvariablen	23
Tabelle 7:	Schätzung der Heterogenitäten für Länge des Arbeitswegs, Einkommen, Haushaltsgröße und Wohnlage - Kraftstoffpreiselastizitäten und Kontrollvariablen	28
Tabelle 8:	Elastizitäten der Kraftstoffpreise - ländliche und städtische Wohnlage	32
Tabelle 9:	Schätzung der zusammengesetzten Heterogenitäten für das Einkommen & Wohnlage sowie für das Geschlecht & Kinder - Kraftstoffpreiselastizitäten und Kontrollvariablen	32
Tabelle 10:	Übersicht zur Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizität für die betrachteten moderierenden Variablen	37

1 Hintergrund

Der Verkehrssektor muss die Emission von Treibhausgasen (THG) deutlich reduzieren, um die Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) zu erreichen (Repenning et al. 2023). Ein Instrument, das zu dieser Reduktion beitragen soll, ist die im Jahr 2021 von der Bundesregierung eingeführte CO₂-Bepreisung in den Bereichen Wärme und Verkehr. Ab 2027 wird ein zweiter europäischer Emissionshandel eingeführt (EU-ETS 2), der den Verkehr einschließt und eine bindende Emissionsobergrenze vorsieht. Neben der CO₂-Bepreisung wird außerdem eine Angleichung der Energiesteuer von Diesel an Benzin diskutiert. Sicher ist somit, dass diese Politikinstrumente fossile Kraftstoffe in den kommenden Jahren schrittweise verteuern werden. Unklar ist jedoch, in welchem Ausmaß Haushalte auf diese Preisänderungen reagieren oder inwiefern sie ihr Verhalten unterschiedlich anpassen.

In der ökonomischen Literatur werden Verhaltensänderungen in der Regel in Elastizitäten ausgedrückt. Im Verkehr werden insbesondere Preiselastizitäten der Nachfrage nach Kraftstoffen betrachtet. Die Elastizität besagt, um wieviel Prozent sich die Kraftstoffnachfrage verändert, wenn sich der Preis des Kraftstoffs um ein Prozent verändert. Häufig wird anstatt der Kraftstoffnachfrage die Pkw-Fahrleistung herangezogen, um die Verhaltensänderungen der Haushalte abzubilden. In zahlreichen Studien wurden Elastizitäten der Nachfrage nach Kraftstoffen auf nationaler und internationaler Ebene geschätzt und in mehreren Metastudien zusammengefasst (Dahl und Sterner 1991; Goodwin et al. 2004; Graham und Glaister 2002; Havranek et al. 2012; Labandeira et al. 2017; Bach et al. 2019; Wardman 2022; Zimmermann et al. bevorstehend). Verschiedene Schätzmodelle kommen dabei zum Einsatz, von theoriebasierten Gleichgewichtsmodellen, über agentenbasierte Modelle bis hin zu technischen Emissionsmodellen. Die Ergebnisse der Studien liefern einen entscheidenden Beitrag, um die sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen politischer Instrumente zu verstehen.

Für Deutschland zeigen die verschiedenen Studien, dass die Elastizität der Kraftstoffnachfrage zwischen -0,2 und -0,9 liegt. Dies bedeutet, dass ein Anstieg der Kraftstoffpreise um ein Prozent zu einem Rückgang der Kraftstoffnachfrage (oder der Pkw-Fahrleistung) um 0,2 bis 0,9 Prozent führt (Frondele et al. 2008; Frondele und Vance 2009, 2014, 2018; Jochem 2009; Hautzinger et al. 2004; Frondele et al. 2012; Reaños und Sommerfeld 2018; Alberini et al. 2022). Viele dieser Studien sagen aus, dass die Elastizitäten der Kraftstoffpreise für die gesamte Bevölkerung gleich sind. Die Annahme ist demnach, dass jeder Haushalt auf eine Änderung der Kraftstoffpreise gleich reagiert, unabhängig von seinen spezifischen Haushaltseigenschaften.

Einige akademische Studien stützen diese Annahme, indem sie empirisch zeigen, dass Verhaltensanpassungen infolge von Kraftstoffpreisänderungen in Deutschland nicht zwischen verschiedenen Einkommen oder anderen Haushaltseigenschaften variieren (Frondele und Vance 2014, 2018). Eine Studie von Khanna et al. (2023) zeigt jedoch, dass diese Ergebnisse vor dem Hintergrund der mit der verwendeten Methodik einhergehenden Limitationen zu betrachten sind. Die Autor*innen stellen eine signifikante Heterogenität in der Reaktion der deutschen Haushalte auf Kraftstoffpreisänderungen fest. Als Heterogenität der Elastizität wird etwa verstanden, dass Haushalte stärker auf Preisänderungen reagieren, je kleiner der Haushalt oder je geringer das Haushaltseinkommen ist. Auch wird gezeigt, dass etwa die Entfernung zur Erledigung des täglichen Bedarfs einen Einfluss auf die Reaktion der Haushalte hat, wenn diese Entfernung kurz ist. Mit steigender Entfernung reagieren Haushalte immer weniger auf Preisänderungen.

Khanna et al. (2023) leisten einen wichtigen Beitrag zur Analyse und zum Verständnis von Haushaltsreaktionen auf Änderungen der Kraftstoffpreise in Deutschland. Die Autor*innen vernachlässigen jedoch weitere relevante Dimensionen, die das Verhalten der Haushalte beeinflussen können. Zu diesen weiteren Dimensionen zählen Eigenschaften, die sich stärker auf

die individuelle Ebene der Haushaltsmitglieder beziehen. Dazu zählt die Altersstruktur des Haushalts, der Bildungsgrad der Haushaltsmitglieder, die Anzahl von weiblichen sowie die Anzahl von erwerbstätigen Haushaltsmitgliedern. Auch die Entfernung zur Arbeitsstelle wird im Hinblick auf die große Relevanz des Pendelverkehrs für die THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs untersucht. Die vorliegende Studie zielt darauf ab, neben den in Khanna et al. (2023) genannten Dimensionen weitere Eigenschaften zu untersuchen, die die Kraftstoffpreiselastizität deutscher Haushalte beeinflussen können.

Es wird darüber hinaus untersucht, ob eine kombinierte Heterogenität verschiedener Merkmale vorliegt. Diese kombinierte Heterogenität wird einerseits hinsichtlich des Haushaltseinkommens und des Raumtyps und andererseits hinsichtlich des Geschlechts der Haushaltsmitglieder und des Vorhandenseins von Kindern untersucht. Eine kombinierte Heterogenität könnte beispielsweise zeigen, dass der heterogene Einfluss des Haushaltseinkommens auf die Elastizität davon abhängt, ob der Haushalt in einer ländlichen oder in einer städtischen Region lebt. Die vorliegende Studie ist die erste, die empirische Einblicke in diese kombinierte Heterogenität von Preiselastizitäten der Kraftstoffnachfrage in Deutschland liefert.

Der nächste Abschnitt gibt einen Literaturüberblick über den aktuellen Stand der Schätzung von Preiselastizitäten im Verkehr. Kapitel 3 stellt die verwendeten Haushaltsdaten und Schätzmethoden dar. Kapitel 4 präsentiert die empirischen Ergebnisse. Die Studie endet mit einer Diskussion der Ergebnisse und den daraus gezogenen Schlussfolgerungen in Kapitel 5.

2 Literaturüberblick

In wissenschaftlichen Untersuchungen werden Preiselastizitäten im Verkehrssektor auf unterschiedliche Art und Weise geschätzt. Studien unterscheiden sich etwa im Hinblick auf die Wahl der abhängigen Variablen, die die Reaktion der Haushalte auf Preisänderungen abbilden soll. Übliche Variablen sind die Kraftstoffnachfrage, die Pkw-Fahrleistung und die Kraftstoffausgaben. Umgekehrt kann auch über die Wahl der unabhängigen Variablen der Fokus auf bestimmte Effekte gelenkt werden. Am weitesten verbreitet ist hier eine rein ökonomische Betrachtungsweise, indem die Reaktion auf Kraftstoffpreisänderungen abgeschätzt wird. Neben der Forschung zur Politikfolgenabschätzung (Rouwendal und Vries 1999) sind vor allem Studien der Rebound-Forschung verbreitet (Goodwin et al. 2004; Sorell 2007; Matiaske et al. 2012; Linn 2016). Neben den Kraftstoffpreisen ist hier oft die Kraftstoffeffizienz von Bedeutung. Eine Erhöhung der Kraftstoffeffizienz hat oft eine Senkung der Kilometerkosten zur Folge, was einen Anreiz darstellt die Fahrleistung zu erhöhen. Hier vermischen sich oft die rein ökonomische Perspektive mit der sozial-psychologischen Perspektive, die nicht mehr nur durch rein rationale Verhaltensanpassungen erklärt werden können.

Abhängig vom betrachteten Zeithorizont können Verhaltensanpassungen unterschiedlich stark ausfallen. Bei einer Erhöhung der Kraftstoffpreise ist in der kurzen Frist anzunehmen, dass Haushaltsmitglieder häufiger öffentliche Verkehrsmittel oder das Fahrrad nutzen und somit die Pkw-Fahrleistung reduziert wird. Außerdem könnte eine Preisänderung kurzfristig dafür sorgen, dass Haushaltsmitglieder effizienter fahren und somit zwar nicht die Pkw-Fahrleistung aber die Kraftstoffnachfrage reduziert wird. In der langen Frist gibt es darüberhinausgehende Möglichkeiten, auf Preisänderungen zu reagieren. So kann bei einem Pkw-Wechsel ein effizienteres Fahrzeug angeschafft, gänzlich andere Mobilitätsmöglichkeiten erschlossen oder gar eine Anpassung der Mobilitätsbedürfnisse durch die Änderung der Lebensumstände erwirkt werden, z.B. durch Umzug oder Arbeitsplatzwechsel. Dementsprechend sind langfristige Kraftstoffpreiselastizitäten in der Regel größer als kurzfristige (Brons et al. 2008). Einen guten Überblick über bereits gewonnene Erkenntnisse zu Preiselastizitäten im Personenverkehr geben Übersichtsstudien von Goodwin et al.

(2004), Graham und Glaister (2002), Dahl (2012), Avner et al. (2014), Labandeira et al. (2017) sowie Zimmermann et al. (bevorstehend). Diese finden zumeist kurzfristige Elastizitäten zwischen -0,2 und -0,35 und deutlich höhere Werte für langfristige Elastizitäten, die in den meisten Fällen das Doppelte oder Dreifache dieser Werte erreichen.

Die am häufigsten verwendete Methode zur Schätzung von Kraftstoffpreiselastizitäten ist die Panelschätzung. Hierfür sind Panel-Daten notwendig, die neben der Variation zwischen den Haushalten eine Variation über die Zeit abbilden. Panelschätzungen werden in verschiedenen Spezifikationen angewendet. Frondel (2008) haben Fixed Effects (FE), Random Effects (RE) und Between Effects (BE) Modelle geschätzt und keine signifikanten Unterschiede zwischen den Spezifikationen gefunden. Reaños und Sommerfeld (2018) und Khanna et al. (2023) dagegen haben signifikante Unterschiede zwischen FE und RE gefunden, was darauf hinweist, dass haushaltsspezifische Effekte mit den erklärenden Variablen korrelieren und die Schätzungen der Preiselastizität damit verzerrt sind.

In einigen anderen Studien werden Kraftstoffpreiselastizitäten aus Nachfragesystemen abgeleitet. Der Vorteil ist, dass sie ökonomisch-theoretisch fundiert sind und die Elastizitäten im Kontext des gesamten Haushaltskonsums betrachtet werden können. Sie eignen sich allerdings eher für Querschnittsanalysen als für Betrachtungen im Längsschnitt. Die populärsten Nachfragesysteme in diesem Zusammenhang sind das Almost Ideal Demand System (AIDS), dessen Weiterentwicklung das Quadratic Almost Ideal Demand System (QUAIDS) und das Exact Affine Stone Index (EASI) Nachfragesystem. Während das AIDS nur lineare Zusammenhänge abbilden kann, können QUAIDS und EASI-Nachfragesysteme auch nicht-lineare Preisreaktionen erfassen. Nicht-lineare Preisreaktionen liegen etwa dann vor, wenn die Reaktion auf eine Preisänderung von der Höhe des Preises abhängt. Ein Nachteil von Nachfragesystemen sind besonders hohe Ansprüche an die Verfügbarkeit vollständiger und detaillierter Haushaltskonsumdaten. Für eine rein sektorale Betrachtung eignen sie sich damit nur eingeschränkt.

Der Rahmen der vorliegenden Studie umfasst ausschließlich kurzfristige Anpassungen der Pkw-Fahrleistung infolge von Kraftstoffpreisänderungen in Deutschland, differenziert nach verschiedenen Haushaltscharakteristika. Im weiteren Verlauf des Literaturüberblicks wird daher der Fokus auf Studien gelegt, die ebene kurzfristigen Anpassungsreaktionen betrachten.

Die Literatur bietet eine Bandbreite von geschätzten Elastizitäten in Deutschland, wobei sowohl die Datenquellen als auch die Methoden variieren (Tabelle 1). In Deutschland bilden vor allem Haushaltsdaten aus dem Deutschen Mobilitätspanel (MOP) die Grundlage für die Schätzung von Kraftstoffpreiselastizitäten. Eine weitere bedeutsame Datenquelle stellt die Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) dar, welche durch ihre umfassende Darstellung des Haushaltskonsums die Anwendung theoriebasierter Nachfragesysteme ermöglicht. In einigen älteren Arbeiten wurde darüber hinaus das Sozio-Ökonomische Panel (SOEP) als Datenbasis herangezogen.

Tabelle 1: Preiselastizitäten der Nachfrage nach Kraftstoffen für Pkw in Deutschland

Paper	Zeitraum	Daten	Methodik	Elastizität
Hautzinger et al. 2004	1995-2002	MOP	Panelschätzer: Fixed Effects	-0,45
Steiner und Cludius 2010	1998, 2003	SOEP	Panelschätzer: Fixed Effects	-0,18
Frondel et al. 2008	1997-2005	MOP	Panelschätzer: Fixed Effects, Random Effects	-0,67 bis -0,57

Paper	Zeitraum	Daten	Methodik	Elastizität
Reaños und Sommerfeld 2018	2002-2014	MOP	Panelschätzer, Fixed Effects	-0,37 bis - 0,23
Nikodinoska und Schröder 2016	1993-2008	EVS	QUAIDS Nachfragesystem	-0,426 bis -0,041
Schulte und Heindl 2017	1993-2008	EVS	Nachfragesystem	-0,57
Frondel und Vance 2018	1997-2015	MOP	Panelschätzer: Fixed Effects	-0,39
Frondel und Vance 2014	1997-2009	MOP	Panelschätzer: Fixed Effects, Random Effects	Benzin: -0, 482 Diesel: -0,437
Frondel et al. (2012)	1997-2009	MOP	Panelschätzer: Random Effects, Quantilsregression	-0,9
Alberini et al. 2022	2004 - 2019	MOP	Panelschätzer: Pooled OLS	Benzin: -0,226 Diesel: 0,074
Ritter et al. 2016	2002-2013	MOP	Panelschätzer: Censored model mit Fixed Effects	Keine signifikante Verringerung der Fahrleistung

Quelle: Eigene Darstellung

Die Untersuchungszeiträume der aktuellen Studien erstrecken sich hauptsächlich über die späten 1990er bis in die 2010er Jahre. Das Spektrum der Elastizitätswerte reicht von -0,9 bis 0,074. Auffällig ist, dass Studien mit später endenden Untersuchungszeiträumen tendenziell schwächere Nachfragereaktionen, also betragsmäßig kleinere Elastizitäten ausweisen. Das könnte zum einen daran liegen, dass die Preisreaktionen kleiner geworden sind oder durch exaktere Methoden eine Überschätzung der Preisreaktionen vermieden wird. Interessanterweise dokumentieren Ritter et al. (2016) signifikante Verhaltensreaktionen im Hinblick auf die Menge getankten Treibstoffs, aber keine signifikanten Verringerungen der Fahrleistung.

Fraglich ist, ob zwischen verschiedenen Kraftstoffen unterschieden werden sollte. Während Alberini et al. (2022) und Matiaske et al. (2012) signifikante Unterschiede zwischen Benzin und Diesel feststellen konnten, haben Frondel und Vance (2018) ebenso Unterschiede gefunden, jedoch keine signifikanten.

Es ist plausibel anzunehmen, dass Verhaltensanpassungen individuell sehr unterschiedlich ausfallen können. Zum Beispiel könnten Haushalte mit niedrigerem Einkommen stärker auf Preisänderungen reagieren, da sie sich das Autofahren schlicht nicht mehr leisten können. Auf der anderen Seite könnten sie weniger stark reagieren, da sie ohnehin bereits nur mit dem Pkw fahren, wenn es absolut notwendig ist bzw. sie stark abhängig vom Pkw sind (Mattioli 2013). Insbesondere auf dem Land fehlen oft alternative Mobilitätsmöglichkeiten, um auf eine sich vertuernde Pkw-Nutzung reagieren zu können (Wadud et al. 2009). Es existieren einige Studien, die Verhaltensanpassungen differenziert nach Haushaltsmerkmalen untersuchen (Wadud et al. 2010; Archibald und Gillingham 1980, 1981; Greening et al. 1995; Kayser 2000; Nicol 2003; West und Williams 2004).

In der Praxis ist eine differenzierte Betrachtung unterschiedlicher Haushaltsgruppen oft mit datentechnischen Beschränkungen sowie hohen methodischen Anforderungen verbunden. Als Konsequenz haben in Deutschland bisher nur eine begrenzte Anzahl an Studien eine solche Differenzierung vorgenommen. Bei diesen Studien beschränkt sich die Segmentierung zumeist auf

Unterscheidungen nach dem Einkommen. Tabelle 2 stellt diese Studien samt Eckdaten und Kernergebnissen im Überblick dar.

Tabelle 2: Abhängigkeit der Preiselastizitäten vom Einkommen in Deutschland

Studie	Zeitraum, Daten	Elastizität	Einkommensvariable	Abhängige Variable
Reaños und Sommerfeld 2018	2002-2014, Panel	Sinkend mit Einkommen 1st: -0,37 3rd: -0,33 5th: -0,27	Haushaltseinkommen	Fahrleistung
Nikodinoska und Schröder 2016	1993- 2008, Pooled Cross sections	Steigend mit Einkommen 1st: -0,04 2nd: -0,227 3rd: -0,278 4th: -0,426	Äquivalenzeinkommen	Kraftstoffausgaben
Pothen und Tovar Reaños 2018	1998-2013, Panel	Sinkend mit Ausgaben 1st: -0,58 2nd: -0,50 3rd: -0,41 4th: -0,34	Haushaltsausgaben	Kraftstoffausgaben
Khanna et al. 2023	2002-2020 Panel	Sinkend mit Einkommen 1st: -0,929 4th: -0,653 8th: -0,375	Haushaltseinkommen	Fahrleistung

Quelle: Eigene Darstellung

Reaños und Sommerfeld (2018) haben einkommensabhängige Preiselastizitäten untersucht und dabei Unterschiede zwischen den Einkommensgruppen gefunden. Mithilfe der Daten des MOP aus den Jahren 2002 bis 2014 zeigen sie, dass mit steigendem Einkommen die Elastizität abnimmt: von -0,34 im untersten bis -0,23 im höchsten Quintil. Allerdings legen die Autoren nicht dar, ob die Unterschiede auch statistisch signifikant sind. Gemäß den Ergebnissen von Pothen und Reaños (2018) und insbesondere Khanna et al. (2023) könnte die Diskrepanz zwischen den Einkommensgruppen noch höher sein. Letztere schätzen Preiselastizitäten von -0,93 in der untersten Einkommensgruppe und -0,38 in der obersten Einkommensgruppe, betrachten allerdings auch mehr Einkommensgruppen als Reaños und Sommerfeld (2018), wodurch der Abstand zwischen der untersten und obersten Einkommenskategorie größer ist.

Gegenteilige Ergebnisse haben Nikodinoska und Schröder (2016) in ihrer Studie produziert. Unter Verwendung des EVS-Datensatzes von 1993 bis 2008 identifizieren sie eine mit dem Einkommen steigende Kraftstoffpreiselastizität, wobei die Werte von -0,04 im ersten Quartil bis zu -0,43 im höchsten Quartil reichen. Leider dokumentieren die Autor*innen keine Interpretation ihrer im Vergleich zu den oben genannten Studien abweichenden Ergebnisse.

Für Deutschland gibt es kaum Studien, die außer dem Einkommen noch weitere Differenzierungen berücksichtigen. In Tabelle 3 werden Ergebnisse aktueller europäischer Studien zusammengefasst, die Kraftstoffpreiselastizitäten nach der Verfügbarkeit des öffentlichen Verkehrs (ÖV) und nach

ländlicher und städtischer Wohnlage differenzieren. Bastian und Börjesson (2015) und Bureau (2011) liefern weitgehend konsistente Ergebnisse für Schweden bzw. Frankreich. Unabhängig vom Einkommen sind die Anpassungsreaktionen in der Stadtbevölkerung stärker als in der Landbevölkerung. Ein wichtiger Grund dafür könnte das geringere ÖV-Angebot auf dem Land sein. Dafür sprechen die Studienergebnisse von Avner et al (2014), die unterschiedliche Elastizitäten für Haushalte mit bzw. ohne Zugang zum ÖV schätzen. So beträgt die Kraftstoffpreiselastizität auf dem Land bzw. in Gebieten mit nur eingeschränkter ÖV-Infrastruktur ungefähr -0,2, während die Kraftstoffpreiselastizität in der Stadt bzw. in Gebieten mit guter ÖV-Infrastruktur ungefähr doppelt so hoch ist.

Tabelle 3: Preiselastizitäten nach Verfügbarkeit des öffentlichen Verkehrs sowie nach ländlicher und städtischer Wohnlage

Studie	Land	Zeitraum, Daten	Elastizität	Differenzierungsebene
Avner et al. 2014	Frankreich	2005 Cross section	Mit ÖV: -0,44 Ohne ÖV: -0,2	Verfügbarkeit des öffentlichen Verkehrs (ÖV)
Bastian und Börjesson 2015	Schweden	2002-2012 Panel	Stadt: -0,45 Land: -0,23	Wohnlage
Bureau 2011	Frankreich	2003-2006 Panel	1st Quint: St: -0,3 / L: -0,25 3rd Quint: St: -0,25 / L: -0,20 5th Quint: St: -0,19 / L: -0,17	Einkommen und Wohnlage kombiniert
Frondel et al. 2012	Deutschland	1997-2009 Panel	-0,574, keine signifikanten Unterschiede zwischen Stadt/Land	Wohnlage
Khanna et al. 2023	Deutschland	2002-2020 Panel	Große Stadt: -0,52 Mittlere Stadt: -0,49 Kleine Stadt/Land: -0,55	Wohnlage

Quelle: Eigene Darstellung

Eine vielzitierte Studie, die Preiselastizitäten anhand von Daten aus Kalifornien schätzt und dabei Preisschocks der Wirtschaftskrise 2006-2008 nutzt, zeigt vergleichbare Preiselastizitäten für Haushalte verschiedener Einkommensquantile und verschiedener Wohnlagen (Gillingham 2014). Der Autor zeigt sich überrascht, wie hoch die Heterogenität der Preiselastizitäten ist und wie wichtig es ist, zwischen verschiedenen Haushaltgruppen zu differenzieren.

Für Deutschland konnten die Ergebnisse, was den Vergleich zwischen ländlicher und städtischer Wohnlage angeht, lange nicht bestätigt werden. Während in den meisten der bisherigen Studien nicht untersucht wurde, ob die Heterogenitäten signifikant sind, haben Frondel et al. (2012) keine signifikanten Unterschiede in den Preisreaktionen zwischen Stadt- und Landbevölkerung feststellen können. Analog dazu haben Frondel und Vance (2014, 2018) ebenso keine signifikanten Unterschiede zwischen verschiedenen Haushaltseinkommensgruppen gefunden. Ein Grund dafür könnten methodische Limitationen ihrer Regressionsanalysen sein, die lediglich die Interpretation von Interaktionstermen umfasst.

Interaktionsterme bedeuten in der empirischen Forschung eine Kombination von erklärenden Variablen. Durch diese Kombination wird es dem empirischen Modell erlaubt, eine Abhängigkeit zwischen den Variablen abzubilden. Im Falle der Preiselastizitäten wird so beispielsweise nicht nur für das Haushaltseinkommen kontrolliert, sondern auch für den Fall, dass sich die Elastizität

zwischen Einkommensgruppen unterscheidet. Gemäß Brambor et al. (2006) sind fehlende Analyseschritte bei der Interpretation von Interaktionstermen weit verbreitet.

Khanna et al. (2023) folgen den von Brambor et al. (2006) empfohlenen zusätzlichen Analyseschritten und arbeiten signifikante Unterschiede in den Reaktionen deutscher Haushalte auf Kraftstoffpreisänderungen heraus. Dabei wird insbesondere die Heterogenität über grafische Darstellungen näher untersucht. So wird deutlich etwa deutlich, dass die Entfernung zur Erledigung des täglichen Bedarfs einen Einfluss auf die Reaktion der Haushalte hat. Mittels der grafischen Darstellung wird ersichtlich, dass dieser Zusammenhang lediglich für kurze Entfernungen gilt und ab einer Entfernung von rund acht Kilometern seinen Einfluss verliert. Ab dieser Entfernung reagieren Haushalte nicht mehr auf Kraftstoffpreisänderungen und der Effekt der Entfernung auf die Reaktion der Haushalte verliert seinen Einfluss. Gleichzeitig wird über die grafische Darstellung ersichtlich, dass eine große Zahl an Haushalten Entfernungen von wenigen Kilometern zur Erledigung des täglichen Bedarfs zurücklegen. Die Betrachtung des Interaktionsterms allein erlaubt diese für die Interpretation relevanten Erkenntnisse nicht. Die Analyse der Heterogenität in der vorliegenden Studie folgt der in Khanna et al. (2023) veröffentlichten Form und umfasst alle angesprochenen grafischen Darstellungselemente zur näheren Analyse der untersuchten Heterogenität.

3 Daten und Methodik

3.1 Daten

Zur Schätzung von Elastizitäten und einer möglichen Heterogenität verwenden wir den Datensatz des Deutschen Mobilitätspanels (MOP). Dabei handelt es sich um eine längsschnittorientierte Erhebung von Haushaltsdaten, die seit 1994 detaillierte Daten über das Mobilitätsverhalten der Haushalte und andere sozioökonomische, demografische, räumliche, und fahrzeugspezifische Merkmale liefert. Wie im Literaturüberblick gezeigt, wurde das MOP in der Vergangenheit bereits häufig zur Schätzung von Kraftstoffpreiselastizitäten für Deutschland genutzt (Frondel und Vance 2009; Frondel et al. 2012; Frondel und Vance 2014; Ritter et al. 2016; Alberini et al. 2022).

Der MOP-Datensatz besteht aus verschiedenen Modulen. Für die vorliegende Studie wird das Modul „Tankbuch“ verwendet, das detaillierte Daten zu Fahrleistung, Kraftstoffart, Kraftstoffverbrauch, Kraftstoffpreisen und anderen fahrzeugspezifischen Merkmalen enthält. Die Daten stammen aus einer Erhebung, die jedes Jahr über acht Wochen zwischen April und Juni durchgeführt wird. Im Rahmen der Erhebung werden die teilnehmenden Haushalte aufgefordert, ein Fahrtenbuch zu führen und alle Tankvorgänge, den Kilometerstand, den Kraftstoffverbrauch, die Kraftstoffpreise, die Kilometerleistung und weitere Informationen aufzuzeichnen. Die Daten des Tankbuchs werden mit den Daten der allgemeinen Erhebung verknüpft, die Informationen über demografische, sozioökonomische und räumliche Merkmale der Haushalte liefern.

Zusätzlich zu den Daten auf Haushaltsebene werden Daten auf individueller Ebene genutzt, wie Alter, Geschlecht, Beschäftigung und Bildung. Diese individuellen Merkmale werden aggregiert, auf die Haushaltsebene überführt und mit der Tankbuch-Erhebung zusammengeführt. Am Ende erhalten wir eine umfassende Datengrundlage, die für die Schätzung von Kraftstoffpreiselastizitäten verwendet wird. In dieser Zusammenführung von Daten auf individueller Ebene mit solchen auf Haushaltsebene innerhalb der vorliegenden Studie liegt eine maßgebliche Erweiterung der Arbeiten von Khanna et al. (2023).

Die Haushalte im Datensatz bleiben bis zu drei Jahre lang im Panel und werden dann durch neue Haushalte ersetzt. In Anlehnung an die Literatur (Frondel et al. 2008; Frondel und Vance 2014;

Khanna et al. 2023) beschränken wir unsere Analyse auf Haushalte, die lediglich einen Pkw besitzen. In Deutschland traf dies im Jahr 2017 auf rund 53 Prozent aller Haushalte zu (Nobis und Kuhnimhof 2018). Dies geschieht, um von der Komplexität der Substitution zwischen Pkw in Haushalten mit mehreren Fahrzeugen zu abstrahieren. Frühere Studien legen nahe, dass eine solche Substitution die Ergebnisse erheblich verzerren kann (Borger et al. 2016).

Einige wichtige Haushaltsinformationen sind erst seit der MOP-Erhebung im Jahr 2002 verfügbar. Unsere Stichprobe besteht daher aus 5.574 Haushalten, die im Zeitraum zwischen 2002 und 2022 an den Erhebungen teilgenommen haben. 36 Prozent der Haushalte bleiben ganze drei Jahre im Panel, 27 Prozent bleiben zwei Jahre lang und 37 Prozent nur ein Jahr lang. Tabelle 4 stellt eine zusammenfassende Statistik der verwendeten MOP-Daten im Überblick dar. Einige Haushalte können bei der Analyse aufgrund von Nichtbeantwortung nicht berücksichtigt werden. So berichten beispielsweise nur 4.803 Haushalte ihr Haushaltseinkommen. Die Haushalte, die in mehreren Jahren an der Befragung teilgenommen haben, werden über die Jahre gepoolt, das heißt sie werden als getrennte Haushalte in die Analyse aufgenommen. Damit ergibt sich ein Stichprobenumfang von 9.021 Haushalten, die zur Schätzung der Kraftstoffpreiselastizitäten herangezogen werden.

Tabelle 4: Zusammenfassende Statistik der verwendeten MOP-Daten

Bezeichnung	Variable	Einheit	Haushalte	Mittelwert/ Anteil	Standard- abweichung
Monatliche Pkw-Fahrleistung (vehicle miles traveled, VMT)	VMT_{it}	km pro Monat	5.574	1067	718
Kraftstoffpreis (real)	FP_{it}	€ ₂₀₀₂ pro Liter	5.512	1,42	0,21
Dummy: Dieselfahrzeug	in Z'_{it}		5.572	0,25	0,43
Motorleistung	in Z'_{it}	PS	5.573	113,79	43,16
Alter des Fahrzeugs	in Z'_{it}	Jahr	5.574	7,03	5,28
Dummy: Zufrieden mit dem Öffentlichen Personennahverkehr	in Z'_{it}		5.496	0,76	0,40
Dummy: Ländliche Wohnlage	in Z'_{it}		5.538	0,13	0,33
Haushaltsgröße	in Z'_{it}	Person	5.573	1,97	0,90
Einkommensgruppe (1-8)	in Z'_{it}		4.803	5,61	1,85
Anzahl Haushaltsmitglieder mit Abitur	in Z'_{it}	Person	5.538	0,39	0,62
Anzahl erwerbstätige Haushaltsmitglieder	in Z'_{it}	Person	5.538	0,86	0,79
Größte Entfernung zur Arbeitsstelle im Haushalt	in Z'_{it}	km	5.537	12,36	24,80
Anteil weibliche Mitglieder im Haushalt	in Z'_{it}	%	5.537	0,49	0,31
Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder	in Z'_{it}	Jahr	5.538	54,31	17,16

Bezeichnung	Variable	Einheit	Haushalte	Mittelwert/ Anteil	Standard- abweichung
Dummy: Kind im Haushalt (unter 10 Jahre)	in Z'_{it}	Person	5.538	0,09	0,28

Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

3.2 Baseline-Modell

Die Beobachtungseinheit ist der einzelne Haushalt, der bis zu drei Jahre lang im MOP-Panel verbleibt. Wie oben bereits eingeführt, sind die am häufigsten angewendeten Panelschätzmodelle für die Ermittlung von Kraftstoffpreiselastizitäten Fixed Effects (FE) und Random Effects (RE) Modelle. RE-Modelle sind nur anzuwenden, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind. So müssen haushaltsspezifische Effekte zufällig verteilt sein und dürfen nicht mit erklärenden Variablen korrelieren. Einer Überprüfung dieser Voraussetzung durch den Hausman-Test hielten die Daten nicht Stand, weshalb die Verwendung eines RE-Modells verworfen wird.

Auch die Verwendung des FE-Modells ist für die vorliegende Analyse nicht geeignet, da die Beobachtungseinheiten nur für einen kurzen Zeitraum von maximal drei Jahren im Panel verblieben, was eine zu geringe zeitliche Variation darstellt. Gemäß Wadud et al. (2009) kann die Verwendung von FE-Modellen bei geringer zeitlicher Variation zu verzerrten Schätzern und damit zu irreführenden Ergebnissen führen. Analog zur Arbeit von Khanna et al. (2023) wird daher zur Schätzung der Kraftstoffpreiselastizitäten ein gepooltes Ordinary Least Squared (OLS) Modell verwendet. Damit bleiben Informationen zur Verhaltensanpassung über die Zeit für einen gegebenen Haushalt im Modell unberücksichtigt. Das Baseline-Modell wird formuliert als:

(1)

$$\text{Log}(VMT_{it}) = \alpha_1 + \alpha_2 \log(FP_{it}) + \alpha_3 Z'_{it} + e_{it}$$

wobei die abhängige Variable, VMT_{it} die vom Haushalt i zum Zeitpunkt t monatlich zurückgelegten Pkw-Kilometer repräsentiert. α_1 ist eine Konstante. Die erklärende Variable ist der reale Kraftstoffpreis FP_{it} , welcher den durchschnittlichen Kraftstoffpreis darstellt, der bei allen Tankbesuchen im Erhebungszeitraum im Jahr t angegeben ist, dividiert durch den Verbraucherpreisindex (Statistisches Bundesamt 2023). Da VMT_{it} als auch FP_{it} in logarithmierter Form in (1) eingehen, kann der Koeffizient α_2 direkt als Kraftstoffpreiselastizität der Kilometernachfrage interpretiert werden. Z'_{it} beinhaltet die in Tabelle 4 genannten Kontrollvariablen und e_{it} ist der Fehlerterm.

In Anlehnung an die Literatur kontrollieren wir für eine Reihe von Variablen in dem Modell. Dazu gehören Dummies für das Jahr der Erhebung des Datenpunkts, ein Dummy für einen Diesel-Pkw, die Motorleistung (gemessen in PS), das Alter des Fahrzeugs, die Haushaltsgröße, das Einkommen, der Wohnort der Haushalte (ländlich oder städtisch), die Zufriedenheit mit den öffentlichen Verkehrsmitteln, das Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder, die Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Abitur, die Anzahl der erwerbstätigen Haushaltsmitglieder, die weiteste Entfernung zur Arbeitsstelle im Haushalt, der Anteil der weiblichen Haushaltsmitglieder sowie das Vorhandensein von Kindern unter 10 Jahre.

3.3 Modell zur Schätzung der Heterogenität

Zur Analyse der Heterogenität werden dem Baseline-Modell (1) Interaktionsterme hinzugefügt, und zwar zwischen den Kraftstoffpreisen und den jeweiligen interessierenden Moderationsvariablen:

(2)

$$\text{Log}(VMT_{it}) = \alpha_1 + \alpha_2 \log(FP_{it}) + \alpha_3 X_{it} + \alpha_4 \log(FP_{it}) * X_{it} + \alpha_5 Z'_{it} + e_{it}$$

Dabei ist X_{it} die Moderationsvariable, d.h. die Variable, über die auf Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizität überprüft werden soll. Dies können sowohl metrische als auch binäre Variablen sein. Z'_{it} steht nun für den Vektor der Kontrollvariablen, jeweils exklusive der Moderationsvariablen. Die Analyse der Heterogenität und Interpretation folgt dem methodologischen Ansatz, wie er von Brambor et al. (2006) vorgeschlagen und von Khanna et al. (2023) umgesetzt wurde.

Die Kraftstoffpreiselastizität, also die marginale Änderung der Fahrleistung je marginaler Änderung des Kraftstoffpreises, ergibt sich aus der partiellen Ableitung von (2) nach $\text{Log}(FP_{it})$:

(3)

$$\frac{\partial \text{Log}(VMT_{it})}{\partial \text{Log}(FP_{it})} = \alpha_2 + \alpha_4 * X_{it}$$

Aus (3) wird deutlich, dass die Elastizität nun nicht mehr lediglich von α_2 abhängt, sondern zusätzlich von $\alpha_4 * X_{it}$. Damit ist die Elastizität abhängig von der Ausprägung der Moderationsvariablen X_{it} , wodurch die zu untersuchende Heterogenität der Elastizität abgebildet wird. Auch die Standardfehler werden entsprechend Khanna et al. (2023) in Abhängigkeit von X_{it} berechnet.

Die Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizität wird im Rahmen dieser Studie über die folgenden moderierenden Haushaltsmerkmale analysiert:

1. Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder

Das Alter der Haushaltsmitglieder könnte die Mobilitätsbedürfnisse maßgeblich bestimmen. Haushalte mit älteren Mitgliedern, die möglicherweise ohnehin weniger mobil sind oder bereits in den Ruhestand gegangen sind, könnten weniger empfindlich auf Preisschwankungen reagieren, da sie ohnehin nur die nötigsten Wege machen. Im Gegensatz dazu könnten Ältere auch flexibler sein, da sie mit ihrer Rente nur ein gegebenes Budget zur Verfügung haben und damit ihre Mobilitätsbedürfnisse eher an ihr Budget anpassen.

2. Anzahl der erwerbstätigen Haushaltsmitglieder

Das tägliche Pendelverhalten von Berufstätigen könnte dazu beitragen, dass Haushalte mit Berufstätigen weniger flexibel auf Preisänderungen reagieren. Personen, die keiner Erwerbstätigkeit nachgehen, könnten mehr Flexibilität haben, um auf andere Verkehrsmittel umzusteigen oder zu Fuß zu gehen.

3. Anteil der weiblichen Mitglieder im Haushalt

Insbesondere traditionelle Geschlechterrollen könnten einen Einfluss auf die Verhaltensreaktion auf Preisschwankungen von Kraftstoffen haben. Die traditionelle Männerrolle ist stark verknüpft mit dem Autofahren. Es kann daher erwartet werden, dass Haushalte mit einem höheren Frauenanteil rationaler und damit empfindlicher auf Preissteigerungen reagieren.

4. Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Abitur

Der Bildungsgrad könnte einen Einfluss auf das Verständnis für eine kostenoptimale Fortbewegung haben und damit die Verhaltensreaktion auf Preisänderungen beeinflussen. Gut gebildete Personen könnten eher in der Lage sein, alternative Möglichkeiten der Fortbewegung zu erschließen und Strategien entwickeln, um auf Preiserhöhungen zu reagieren.

5. Entfernung zur Arbeitsstelle

Haushalte, deren Mitglieder näher am Arbeitsplatz wohnen, könnten empfindlicher auf Preisänderungen reagieren, da sie flexibler sind und eher auf alternative Verkehrsmittel wie Fahrrad, ÖPNV oder zu Fuß umsteigen können. Demgegenüber könnten Haushalte mit weiten Pendelwegen empfindlicher auf Preisänderungen reagieren, da die Kraftstoffkosten einen höheren Anteil an deren Haushaltseinkommen ausmachen und deshalb mehr Anreiz besteht, diese Kosten gering zu halten.

6. Einkommen

Es ist davon auszugehen, dass das Haushaltseinkommen einen Einfluss darauf hat, in welchem Ausmaß Haushalte auf Änderungen des Kraftstoffpreises reagieren. Zu erwarten ist, dass Haushalte mit höherem Einkommen tendenziell unempfindlicher gegenüber Kraftstoffpreisschwankungen sind, da sie sich eine höhere Ausgabenflexibilität leisten können. Haushalte mit geringerem Einkommen könnten hingegen empfindlicher auf Preisänderungen reagieren, da Kraftstoff einen größeren Anteil ihres Gesamtbudgets ausmachen könnte. Im Gegensatz dazu könnten Haushalte mit geringem Einkommen auch eine geringere Elastizität aufweisen, da sie nur sehr geringen Spielraum für eine weitere Reduktion der Fahrleistung haben.

7. Haushaltsgröße

Größere Haushalte sind hauptsächlich durch große Familien gekennzeichnet. Große Familien könnten weniger flexibel bei der Wahl der Verkehrsmittel sein, insbesondere wenn sie viel zusammen reisen, da sie sich dann an die Bedürfnisse des schwächsten Haushaltsmitglieds anpassen müssen, seien es Kinder oder beeinträchtigte Personen. In Haushalten mit weniger Mitgliedern ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass die Haushaltsmitglieder keine besonderen Mobilitätsbedürfnisse haben und eher auf alternative Fortbewegungsmittel umsteigen oder ihre Mobilität einschränken können.

8. Wohnort des Haushalts

Haushalte in städtischen Gebieten könnten stärker auf Preisänderungen reagieren, da das Angebot von öffentlichen Verkehrsmitteln und damit Alternativen zur Pkw-Nutzung besser verfügbar sind. Ebenso ist denkbar, dass Haushalte in ländlichen Gebieten ihre Pkw-Fahrleistung stärker einschränken, da die zurückgelegten Wege oftmals länger sind und somit eine Verlagerung weniger Wege stärker in die Fahrleistungsänderung eingeht.

Neben der Untersuchung der Heterogenität in Bezug auf die genannten moderierenden Haushaltseigenschaften wird eine zusammengesetzte Heterogenität von Eigenschaften analysiert. Eine solche Spezifikation erlaubt eine Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizität, die von den Ausprägungen zweier moderierender Haushaltseigenschaften abhängt. Es werden zwei Fälle einer zusammengesetzten Heterogenität untersucht:

1. Einkommen in Kombination mit der Wohnlage (Stadt/Land)

Der Einfluss des Einkommens auf die Verhaltensanpassung der Haushalte könnte von der Wohnlage abhängen. So ist etwa denkbar, dass Haushalte aus mittleren und hohen Einkommensgruppen in ländlichen Gebieten, die oftmals feste Routinen der Pkw-Nutzung ausgeprägt haben, mehr Spielraum für Verhaltensanpassungen haben vergleichbare Haushalte in städtischen Gebieten, die ihre Mobilität ohnehin schon stärker auf die verschiedenen Verkehrsmittel verteilt haben. Auch die Reaktion von Haushalten mit niedrigen Einkommen könnte sich in ländlichen Gebieten von jenen in städtischen Gebieten unterscheiden.

2. Geschlecht in Kombination mit Vorhandensein von Kindern

Es ist bekannt, dass Kinder das Mobilitätsverhalten, insbesondere mit dem eigenen Pkw, entscheidend beeinflussen. Männer und Frauen könnten weniger stark auf Preisänderungen reagieren, wenn Kinder zum Haushalt gehören. Vor dem Hintergrund der oftmals vorherrschend von Frauen erbrachten Care-Arbeit ist insbesondere die Interaktion dieser beiden moderierenden Eigenschaften zu untersuchen. So ist denkbar, dass Frauen ohne Kinder leichter ihr Verhalten anpassen können als Frauen mit Kindern.

4 Empirische Ergebnisse

4.1 Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Fahrleistung

Die Ergebnisse der Schätzung des Basismodells sind in Tabelle 5 aufgeführt. Im Durchschnitt beträgt die geschätzte Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Fahrleistung -0,44. Das heißt, ein Anstieg der Kraftstoffpreise um 1 Prozent führt zu einem Rückgang der monatlichen Fahrleistung um 0,44 Prozent. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit der Literatur, wonach die Elastizitätsschätzungen für Deutschland im Bereich von -0,2 und -0,9 liegen.

Tabelle 5: Baseline-Modell - Kraftstoffpreiselastizität und Kontrollvariablen

	(1) Baseline-Modell
Logarithmierter Kraftstoffpreis	-0,4361*** (0,0702)
Dummy: Dieselfahrzeug	0,2638*** (0,0184)
Logarithmierte Motorleistung	0,2106*** (0,0206)
Alter des Fahrzeugs	-0,0224*** (0,0013)
Dummy: Zufrieden mit dem Öffentlichen Personennahverkehr	-0,1306*** (0,0157)
Dummy: Ländliche Wohnlage	0,0740*** (0,0198)
Haushaltsgröße	0,0062 (0,0095)
Einkommensgruppe (1-8)	0,0186*** (0,0045)
Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Abitur	0,0167 (0,0115)
Anzahl der erwerbstätigen Haushaltsmitglieder	0,0270** (0,0134)

	(1) Baseline-Modell
Logarithmierte größte Entfernung zur Arbeitsstelle im Haushalt	0,0827*** (0,0060)
Anteil der weiblichen Mitglieder im Haushalt	-0,0831*** (0,0208)
Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder	-0,0048*** (0,0006)
Konstante	6,1884*** (0,1297)
<i>Beobachtungen</i>	9.021
<i>Adjusted R²</i>	0,2725
<i>F-Test</i>	113,64***

Anmerkungen: Kleinste-Quadrate-Schätzungen (OLS); erklärte Variable: logarithmierte monatlich zurückgelegten Kilometer (VMT); Auflistung der geschätzten Koeffizienten der erklärenden Variablen; Koeffizienten signifikant von Null verschieden zu den Signifikanzniveaus: 0.01 *** 0.05 ** 0.1 *; Standardabweichung der geschätzten Koeffizienten in Klammern

Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

Was die Kontrollvariablen betrifft, so entsprechen die Ergebnisse weitestgehend den Erwartungen. Der Koeffizient des Diesel-Dummys ist signifikant positiv. Das Fahren eines Dieselfahrzeugs geht mit einer durchschnittlich höheren Fahrleistung von 26 Prozent im Vergleich zu einem Nicht-Dieselfahrzeug einher. Der Koeffizient der Fahrzeugleistung ist ebenfalls signifikant positiv, was darauf hindeutet, dass höher motorisierte Fahrzeuge auch mehr gefahren werden. Der Koeffizient für das Alter des Fahrzeugs ist dagegen signifikant negativ. Ältere Fahrzeuge werden demnach eher weniger gefahren.

Haushalte, die mit dem öffentlichen Verkehr in ihrer Region zufrieden sind, fahren signifikant weniger mit dem Auto, im Durchschnitt um 14 Prozent. Dagegen sind Haushalte in ländlichen Gebieten im Durchschnitt um 7 Prozent mehr mit dem Auto unterwegs als Haushalte in städtischen Gebieten. Die Koeffizienten für das Einkommen und die Zahl der erwerbstätigen Haushaltsmitglieder sind signifikant positiv. Je höher das Einkommen und je mehr erwerbstätige Personen, desto höher ist die Fahrleistung. Auch die Entfernung zur Arbeitsstelle hat einen signifikant positiven Einfluss auf die Fahrleistung.

Die Fahrleistung sinkt hingegen mit steigendem Anteil weiblicher und mit steigendem Durchschnittsalter aller Haushaltsmitglieder. Interessanterweise haben die Größe des Haushalts und das Bildungsniveau der Haushaltsmitglieder keinen signifikanten Einfluss darauf, wieviel mit dem Auto gefahren wird.

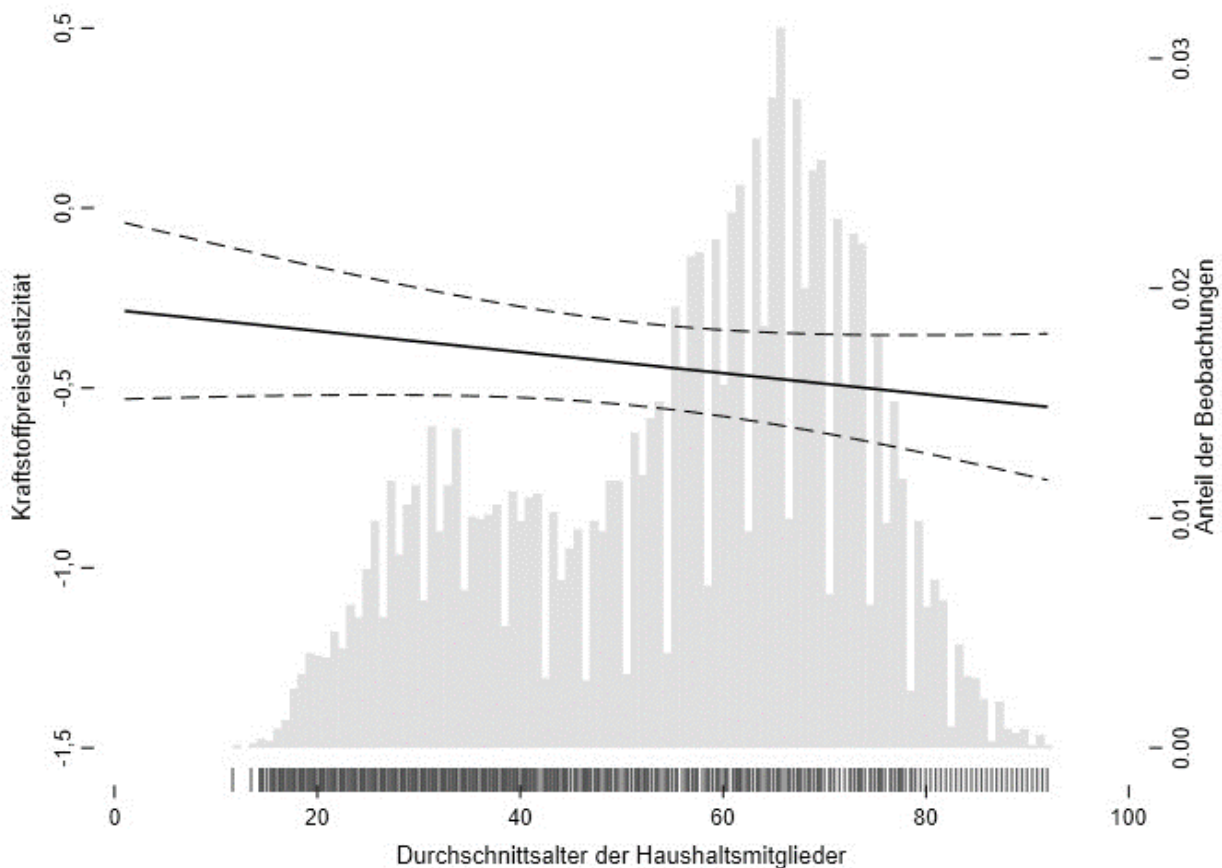
4.2 Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizitäten

Im Folgenden werden entsprechend dem Modell zur Schätzung der Heterogenität (Kapitel 3.3) verschiedene Modellspezifikationen geschätzt. Jede Spezifikation bildet die Interaktion zwischen dem Kraftstoffpreis und der jeweils moderierenden Haushaltsmerkmal ab.

4.2.1 Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder

Abbildung 1 zeigt die Kraftstoffpreiselastizitäten differenziert nach dem Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder. Die durchgezogene Linie zeigt die Elastizitäten der Kraftstoffpreise, die auf der primären vertikalen Achse abgetragen werden. Die gestrichelten Linien geben die 90%-Konfidenzintervalle an. Die Elastizitäten sind statistisch signifikant, wenn die obere und untere Grenze des Konfidenzintervalls über oder unter null liegt. Die Konfidenzintervalle werden analog zur Methodik in der Studie von Khanna et al (2023), basierend auf den Empfehlungen von Brambor et al (2006), ermittelt. Dafür werden die Randeffekte und Standardabweichungen für alle Werte, hier das durchschnittliche Alter der Haushaltsmitglieder, berechnet, sodass für jedes Alter ein Konfidenzintervall festgelegt werden kann.

Abbildung 1: Kraftstoffpreiselastizitäten über das Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder



Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

Das Histogramm auf der horizontalen Achse zeigt die Verteilung des Durchschnittsalters in den Haushalten der Stichprobe an. Der Maßstab der Verteilung wird im Diagramm durch die sekundäre vertikale Achse angegeben. Auf der horizontalen Achse wird zusätzlich ein Rug-Plot angezeigt, das die Lage der jeweiligen Datenpunkte verdeutlicht. Während das Histogramm einen Überblick über die Häufigkeitsverteilung und ein Gefühl für den prozentualen Anteil der Beobachtungen gibt, die in verschiedene Bereiche fallen, liefert das Rug-Plot die genaue Lage der einzelnen Beobachtungen.

Die Schätzergebnisse in Abbildung 1 zeigen, dass Haushalte mit durchschnittlich jüngeren Mitgliedern betragsmäßig niedrigere Elastizitäten aufweisen. Wenngleich der Koeffizient der

Interaktion aus Kraftstoffpreis und Durchschnittsalter im Haushalt aufgrund der breiten Konfidenzintervalle nicht signifikant ist (Tabelle 6), lässt sich ein Trend feststellen. Die Elastizitäten nehmen zu (Haushaltsreaktionen werden stärker), wenn das Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder steigt: Wenn beispielsweise das Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder 25 Jahre beträgt, liegt die Elastizität des Kraftstoffpreises bei -0,35. Wenn das Durchschnittsalter 75 Jahre beträgt, liegt die Elastizität bei -0,50.

Tabelle 6: Schätzung der Heterogenitäten für Alter, Beschäftigungsstatus, Geschlecht und Bildungsstand - Kraftstoffpreiselastizitäten und Kontrollvariablen

	(2) Alter	(3) Beschäftigung	(4) Geschlecht	(5) Bildung
Logarithmierter Kraftstoffpreis	-0,2832* (0,1510)	-0,4968*** (0,0877)	-0,2565** (0,1018)	-0,4634*** (0,0760)
Dummy: Dieselfahrzeug	0,2633*** (0,0184)	0,2635*** (0,0184)	0,2679*** (0,0184)	0,2636*** (0,0184)
Logarithmierte Motorleistung	0,2114*** (0,0207)	0,2107*** (0,0206)	0,2093*** (0,0206)	0,2103*** (0,0206)
Alter des Fahrzeugs	-0,0224*** (0,0013)	-0,0224*** (0,0013)	-0,0225*** (0,0013)	-0,0224*** (0,0013)
Dummy: Zufrieden mit dem Öffentlichen Personennahverkehr	-0,1303*** (0,0157)	-0,1302*** (0,0157)	-0,1305*** (0,0157)	-0,1308*** (0,0157)
Dummy: Ländliche Wohnlage	0,0740*** (0,0198)	0,0737*** (0,0198)	0,0729*** (0,0198)	0,0733*** (0,0198)
Haushaltsgröße	0,0063 (0,0095)	0,0064 (0,0095)	0,0049 (0,0095)	0,0066 (0,0095)
Einkommensgruppe (1-8)	0,0186*** (0,0045)	0,0186*** (0,0045)	0,0186*** (0,0045)	0,0184*** (0,0045)
Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Abitur	0,0169 (0,0115)	0,0165 (0,0115)	0,0164 (0,0115)	-0,0043 (0,0253)
Anzahl der erwerbstätigen Haushaltsmitglieder	0,0270** (0,0134)	0,0085 (0,0209)	0,0268** (0,0134)	0,0271** (0,0134)
Logarithmierte größte Entfernung zur Arbeitsstelle	0,0828*** (0,0060)	0,0827*** (0,0060)	0,0826*** (0,0060)	0,0826*** (0,0060)
Anteil der weiblichen Mitglieder im Haushalt	-0,0829*** (0,0208)	-0,0826*** (0,0208)	0,0270 (0,0498)	-0,0830*** (0,0208)
Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder	-0,0038*** (0,0010)	-0,0047*** (0,0006)	-0,0048*** (0,0006)	-0,0048*** (0,0006)
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Durchschnittsalter	-0,0029 (0,0026)			

	(2) Alter	(3) Beschäftigung	(4) Geschlecht	(5) Bildung
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Beschäftigung		0,0612 (0,0531)		
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Geschlecht			-0,3441** (0,1414)	
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Abitur				0,0622 (0,0664)
Konstante	6,1377*** (0,1371)	6,2031*** (0,1303)	6,1457*** (0,1308)	6,2009*** (0,1304)
<i>Beobachtungen</i>	9.021	9.021	9.021	9.021
<i>Adjusted R²</i>	0,2726	0,2726	0,2729	0,2725
<i>F-Test</i>	110,02***	110,02***	110,22***	110,00***

Anmerkungen: Kleinste-Quadrate-Schätzungen (OLS); erklärte Variable: logarithmierte monatlich zurückgelegten Kilometer (VMT); Auflistung der geschätzten Koeffizienten der erklärenden Variablen; Koeffizienten signifikant von Null verschieden zu den Signifikanzniveaus: 0.01 *** 0.05 ** 0.1 *; Standardabweichungen der geschätzten Koeffizienten in Klammern

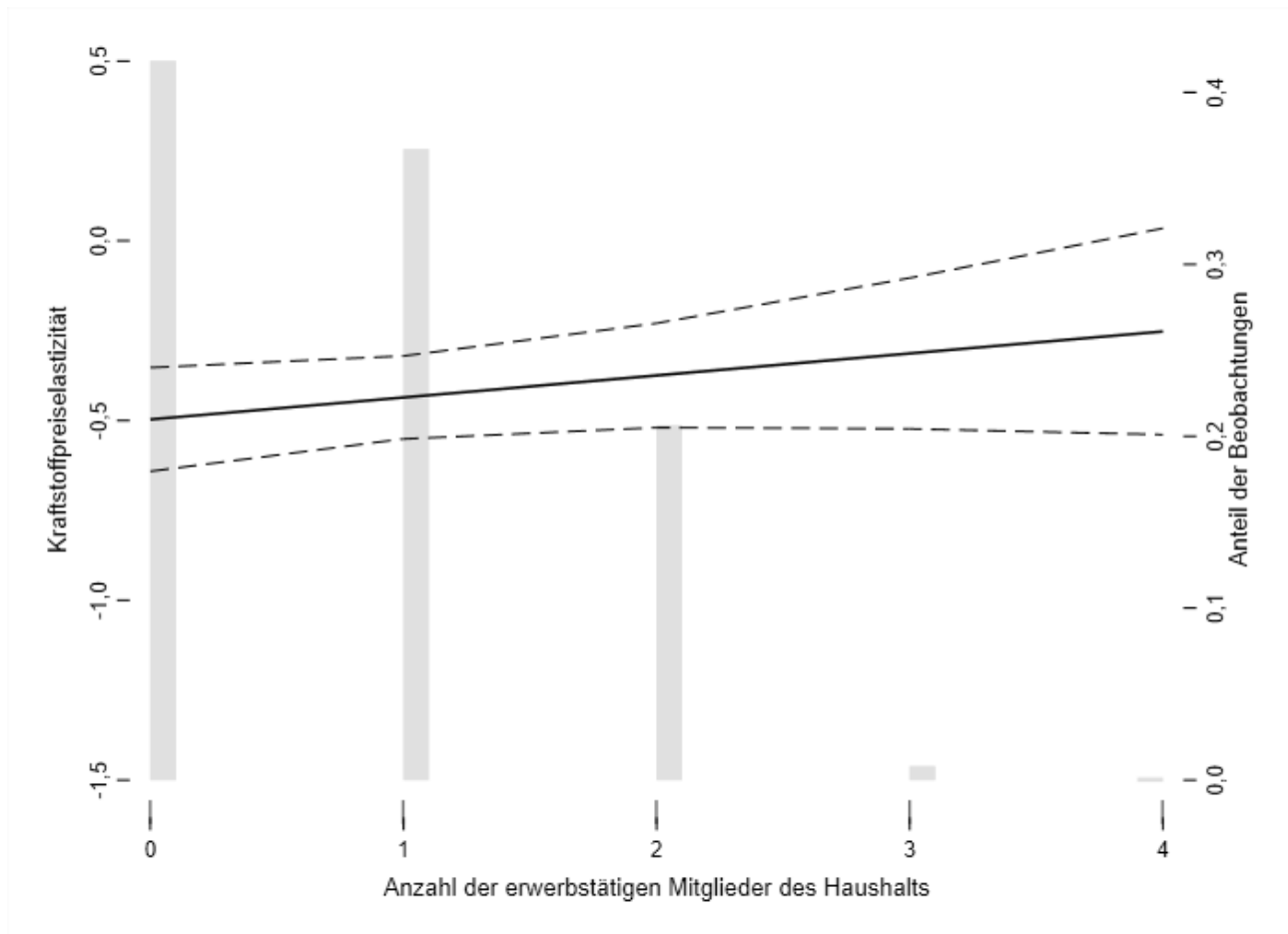
Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

4.2.2 Beschäftigung

Der Effekt der Beschäftigungsverhältnisse im Haushalt auf die geschätzten Kraftstoffpreiselastizitäten wird in Abbildung 2 dargestellt. Je nachdem wie viele Haushaltsmitglieder im Haushalt erwerbstätig sind, unterscheiden sich die Anpassungsreaktionen auf die Änderungen des Kraftstoffpreises. Haushalte ohne erwerbstätige Mitglieder weisen gemäß den Schätzergebnissen eine höhere Elastizität (also eine stärkere Reduktion der Fahrleistung) auf als Haushalte mit mindestens einem beschäftigten Mitglied. Außerdem nehmen die Elastizitäten ab, wenn die Zahl der erwerbstätigen Mitglieder im Haushalt steigt.

Wenn der Haushalt keine erwerbstätigen Mitglieder hat, beträgt die Kraftstoffpreiselastizität -0,50. Bei drei erwerbstätigen Mitgliedern beträgt die geschätzte Elastizität -0,31. Die Genauigkeit der Schätzungen sinkt mit der Anzahl der Erwerbstätigen, da ab zwei Erwerbstätigen die Anzahl der beobachteten Haushalte drastisch sinkt. Während in fast 40 % der Haushalte in der Stichprobe nur eine erwerbstätige Person lebt, leben in nur gut 20 % der Haushalte zwei und in nur ungefähr 1 % der Haushalte drei Erwerbstätige. Der Koeffizient der Interaktion aus Kraftstoffpreis und Anzahl der Erwerbstätigen im Haushalt ist nicht signifikant (Tabelle 6). Es kann somit statistisch nicht ausgeschlossen werden, dass die Elastizitäten für die hier dargestellten Haushaltsgruppen gleich sind. Trotz dieser statistischen Unsicherheit, insbesondere in Haushalten mit mehreren Erwerbstätigen, kann hier ein abschwächender Trend festgestellt werden: Je mehr Mitglieder in einem Haushalt leben, desto schwächer ist dessen Fahrleistungsanpassung infolge von Kraftstoffpreisänderungen.

Abbildung 2: Kraftstoffpreiselastizitäten über die Anzahl der erwerbstätigen Mitglieder des Haushalts

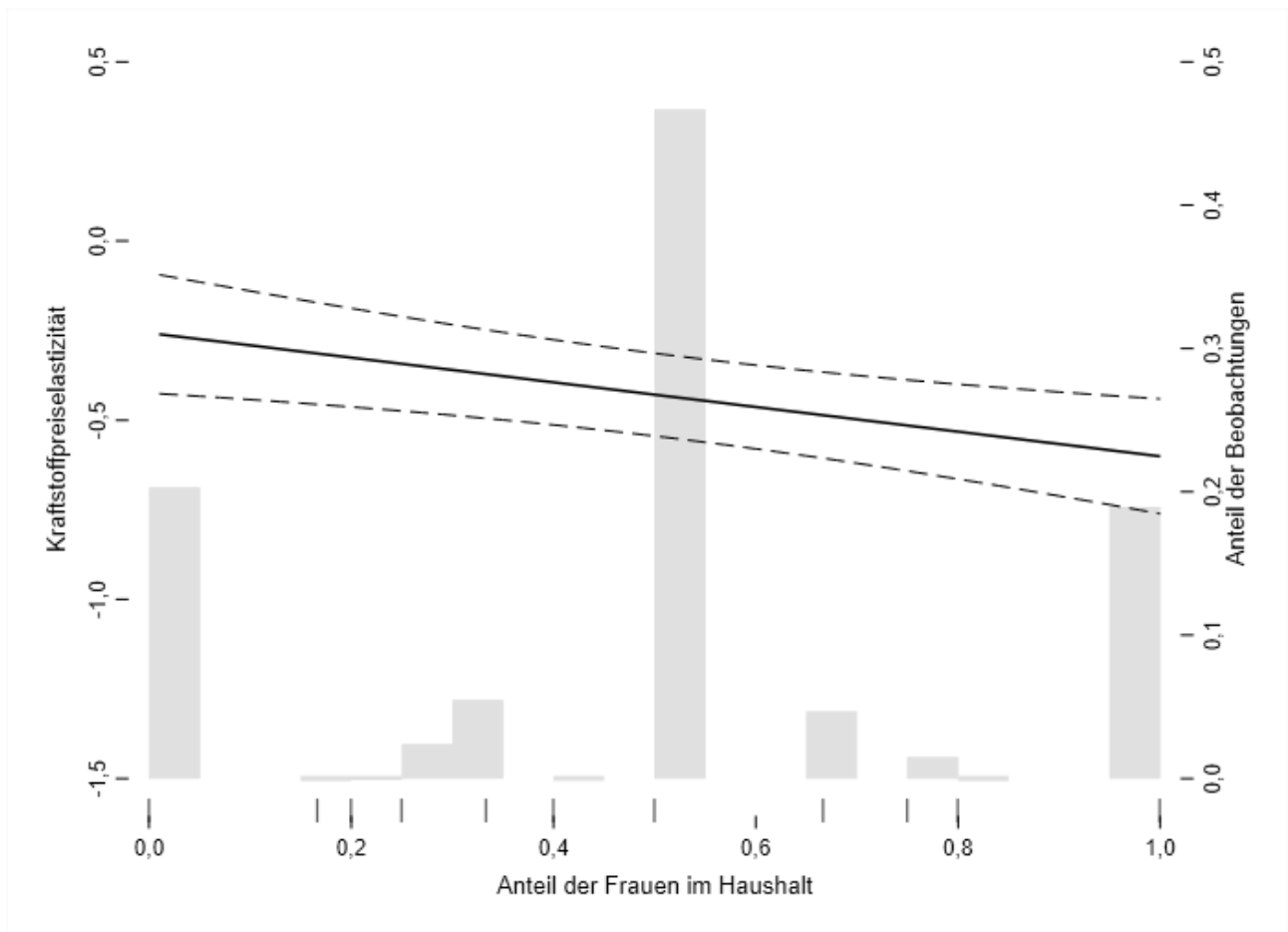


Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

4.2.3 Geschlecht

In Bezug auf das vorherrschende Geschlecht im Haushalt kann sowohl unter Berücksichtigung der Ergebnisse für die Punktschätzung (Tabelle 6) als auch bei Betrachtung der Randeffekte im Diagramm (Abbildung 3) ein statistisch signifikanter und damit eindeutiger Effekt beobachtet werden. Der Koeffizient der Interaktion zwischen Kraftstoffpreis und Anteil der weiblichen Mitglieder im Haushalt ist negativ und signifikant zum 5 %-Signifikanzniveau. Der Trend im Diagramm ist ebenso klar negativ. Die Kraftstoffpreiselastizität ist in einem reinen Männerhaushalt mit -0,26 geringer als in einem Haushalt, der zu 50 Prozent aus Frauen besteht mit -0,43. In einem reinen Frauenhaushalt ist die geschätzte Anpassungsreaktion auf Kraftstoffpreisänderungen mit einer Elastizität von -0,60 sogar mehr als doppelt so groß wie in reinen Männerhaushalten. Reine Frauenhaushalte und reine Männerhaushalte kommen je in 20 Prozent aller Haushalte vor.

Abbildung 3: Kraftstoffpreiselastizitäten über den Anteil der Frauen im Haushalt

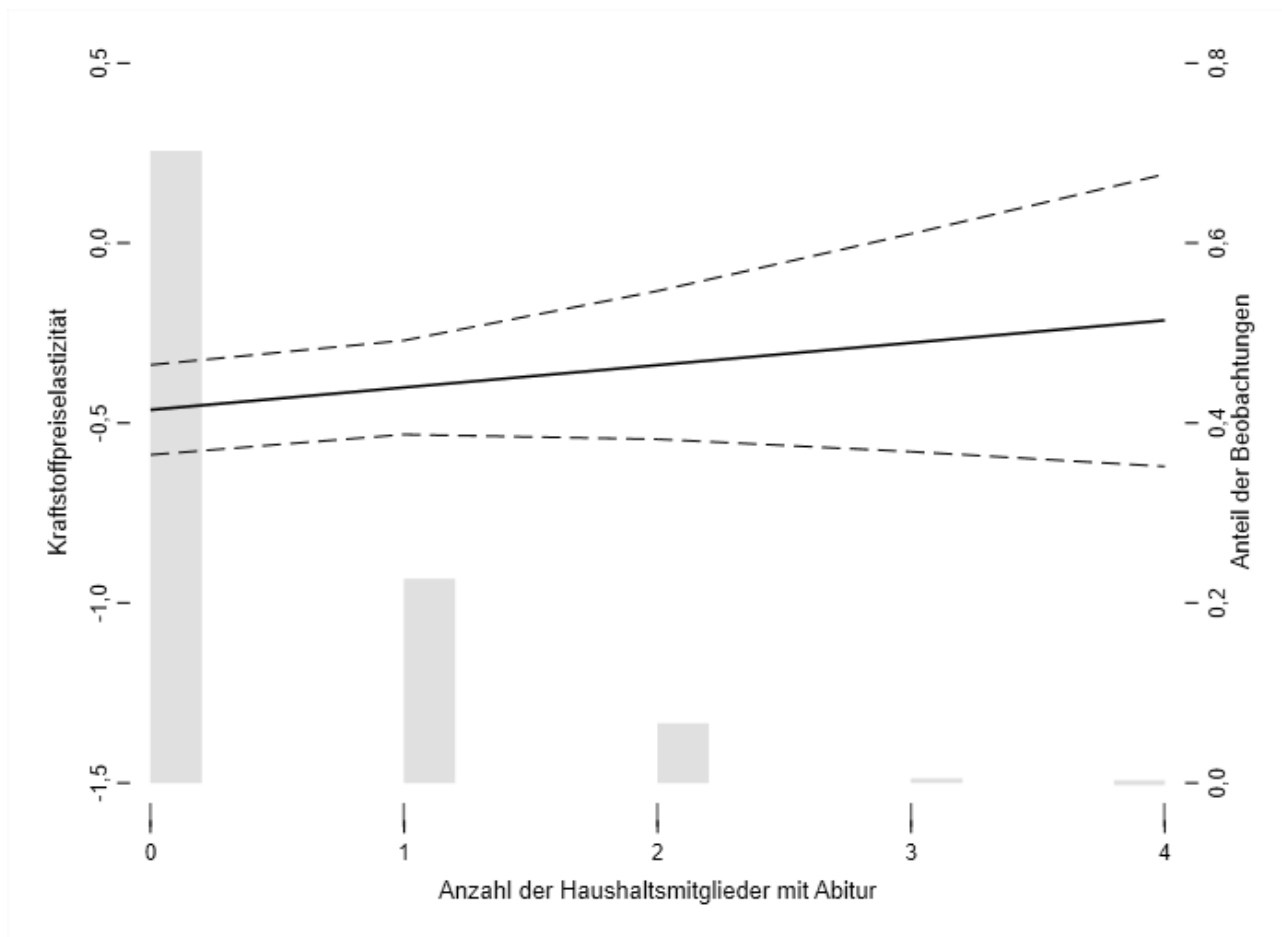


Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

4.2.4 Bildung

Die Abschätzung der Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizitäten in Bezug auf den Bildungsstand im Haushalt ist in Abbildung 4 dargestellt. Ab zwei Personen im Haushalt mit Abitur ist die Schätzung mit hoher Unsicherheit verbunden, was sich in einem stark größer werdendem Konfidenzintervall widerspiegelt. Auch wenn das nur wenige Haushalte in der Stichprobe betrifft, lässt sich damit nicht abschließend einschätzen, ob der Zusammenhang zwischen Bildungsstand und Kraftstoffpreis signifikant ist. Der Koeffizient der Interaktion zwischen Kraftstoffpreis und Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Abitur ist nicht signifikant (Tabelle 6). Vorbehaltlich der statistischen Signifikanz lässt sich konstatieren: Die Elastizität nimmt mit steigender Anzahl von Haushaltsmitgliedern mit Abitur ab. In Haushalten ohne Person mit Abitur ist die Elastizität des Kraftstoffpreises mit -0,46 höher als in einem Haushalt mit beispielsweise zwei Personen mit Abitur (-0,34).

Abbildung 4: Kraftstoffpreiselastizitäten über die Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Abitur



Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

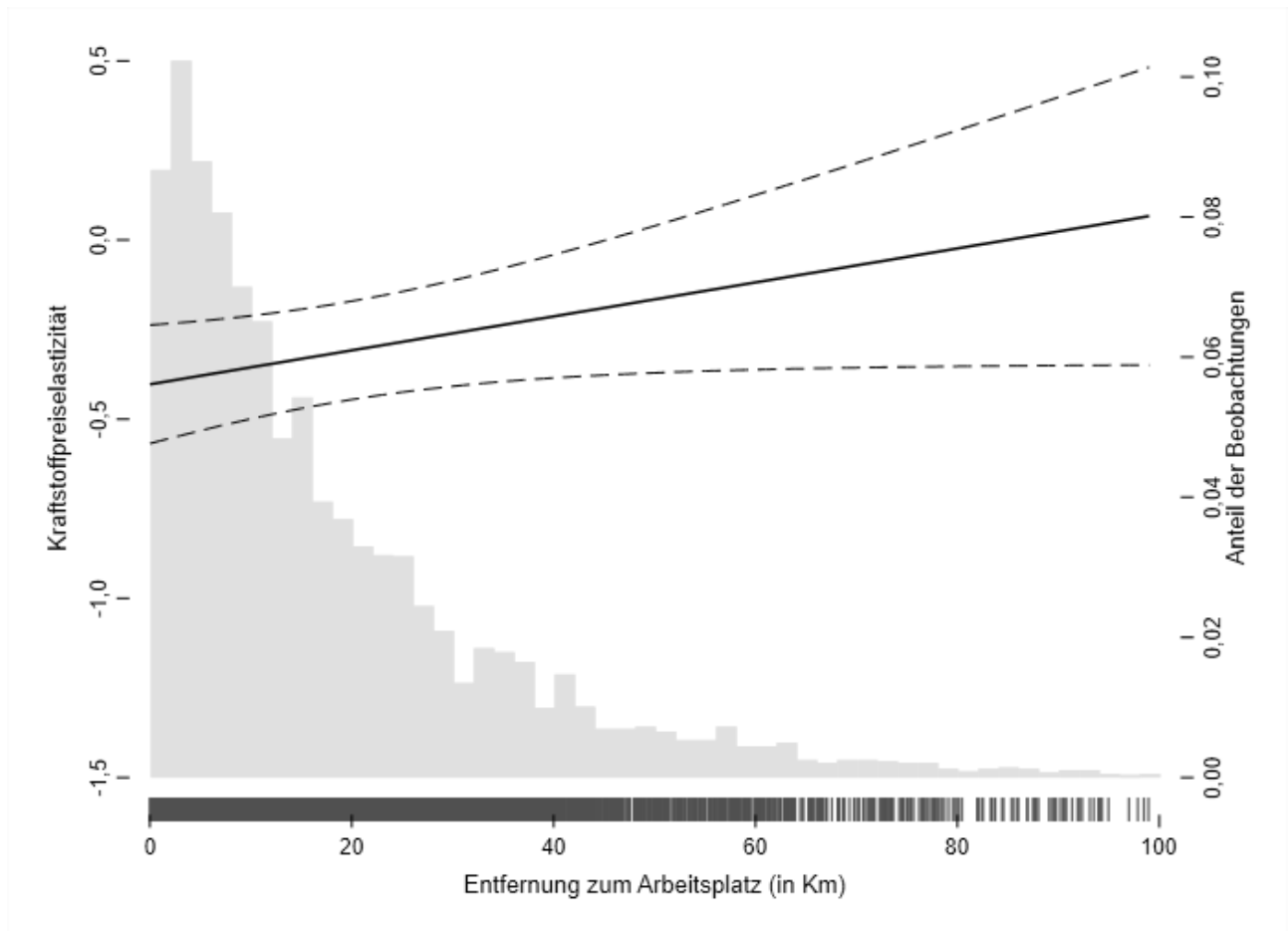
4.2.5 Entfernung zur Arbeitsstelle

Abbildung 5 zeigt, wie die geschätzten Kraftstoffpreiselastizitäten in Abhängigkeit von der Entfernung zum Arbeitsplatz variieren. Hierbei wird bei Haushalten mit mehreren erwerbstätigen Personen die größte Entfernung zum Arbeitsplatz berücksichtigt. Das Histogramm zeigt, dass die Arbeitswege für die meisten Haushalte bis zu 20 km betragen und nur wenige Haushalte Arbeitswege von mehr als 40 km in Kauf nehmen müssen. Das wirkt sich auf die Zuverlässigkeit der Schätzungen aus, die mit der Entfernung zum Arbeitsplatz sinkt. Nichtsdestotrotz sind die Schätzungen für geringe bis mittlere Entfernungen sehr zuverlässig und es kann ein klarer Zusammenhang unterstellt werden, was durch den signifikanten Koeffizienten der Interaktion zwischen Kraftstoffpreis und Entfernung zum Arbeitsplatz gestützt wird (Tabelle 7).

Je größer die Entfernung zum Arbeitsplatz ist, desto geringer ist die zu erwartende Verhaltensanpassung der Haushalte. Wenn die Entfernung beispielsweise nur einen Kilometer beträgt, beträgt die Kraftstoffpreiselastizität -0,4. Bei einer Entfernung von 25 Kilometern beträgt die Elastizität nur noch -0,28 und bei einer Entfernung von 45 Kilometern ist sie mit -0,19 betragsmäßig noch kleiner. Ab einer Entfernung von rund 50 Kilometern ist statistisch nicht mehr auszuschließen, dass Haushalte überhaupt auf Preisanpassungen reagieren. Dementsprechend verliert auch die Heterogenität der Entfernung zum Arbeitsplatz ihre Relevanz. Eine Elastizität größer Null für wenige

Haushalte mit sehr großer Entfernung zum Arbeitsplatz sind vor dem Hintergrund der erheblichen statistischen Unschärfe zu bewerten.

Abbildung 5: Kraftstoffpreiselastizitäten über die Entfernung zur Arbeitsstelle



Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

Tabelle 7: Schätzung der Heterogenitäten für Länge des Arbeitswegs, Einkommen, Haushaltsgröße und Wohnlage - Kraftstoffpreiselastizitäten und Kontrollvariablen

	(6) Arbeitsweg	(7) Einkommen	(8) Haushaltsgröße	(9) Wohnlage
Logarithmierter Kraftstoffpreis	-0.5423*** (0.0843)	-0.6036*** (0.1580)	-0.5779*** (0.1237)	-0.3940*** (0.0722)
Dummy: Dieselfahrzeug	0.2631*** (0.0184)	0.2639*** (0.0184)	0.2624*** (0.0184)	0.2649*** (0.0184)
Logarithmierte Motorleistung	0.2118*** (0.0206)	0.2101*** (0.0207)	0.2111*** (0.0206)	0.2102*** (0.0206)
Alter des Fahrzeugs	-0.0224*** (0.0013)	-0.0224*** (0.0013)	-0.0224*** (0.0013)	-0.0225*** (0.0013)

	(6) Arbeitsweg	(7) Einkommen	(8) Haushalts- größe	(9) Wohnlage
Dummy: Zufrieden mit dem Öffentlichen Personennahverkehr	-0.1298*** (0.0157)	-0.1303*** (0.0157)	-0.1302*** (0.0157)	-0.1308*** (0.0157)
Dummy: Ländliche Wohnlage	0.0736*** (0.0198)	0.0737*** (0.0198)	0.0734*** (0.0198)	0.1660*** (0.0425)
Haushaltsgröße	0.0066 (0.0095)	0.0064 (0.0095)	-0.0137 (0.0172)	0.0067 (0.0095)
Einkommensgruppe (1-8)	0.0185*** (0.0045)	0.0100 (0.0086)	0.0185*** (0.0045)	0.0184*** (0.0045)
Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Abitur	0.0164 (0.0115)	0.0152 (0.0116)	0.0165 (0.0115)	0.0173 (0.0115)
Anzahl der erwerbstätigen Haushaltsmitglieder	0.0265** (0.0134)	0.0273** (0.0134)	0.0273** (0.0134)	0.0275** (0.0134)
Logarithmierte größte Entfernung zur Arbeitsstelle	0.0641*** (0.0102)	0.0827*** (0.0060)	0.0827*** (0.0060)	0.0827*** (0.0060)
Anteil der weiblichen Mitglieder im Haushalt	-0.0824*** (0.0208)	-0.0822*** (0.0209)	-0.0814*** (0.0209)	-0.0843*** (0.0208)
Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder	-0.0047*** (0.0006)	-0.0048*** (0.0006)	-0.0047*** (0.0006)	-0.0047*** (0.0006)
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Länge des Arbeitswegs	0.0625** (0.0275)			
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Einkommensgruppe		0.0280 (0.0236)		
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Haushaltsgröße			0.0648 (0.0465)	
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Ländliche Wohnlage				-0.3055** (0.1251)
Konstante	6.2084*** (0.1299)	6.2363*** (0.1358)	6.2284*** (0.1328)	6.1762*** (0.1297)
<i>Beobachtungen</i>	9.021	9.021	9.021	9.021
<i>Adjusted R²</i>	0,2729	0,2726	0,2726	0,2729
<i>F-Test</i>	110,19***	110,02***	110,05***	110,23***

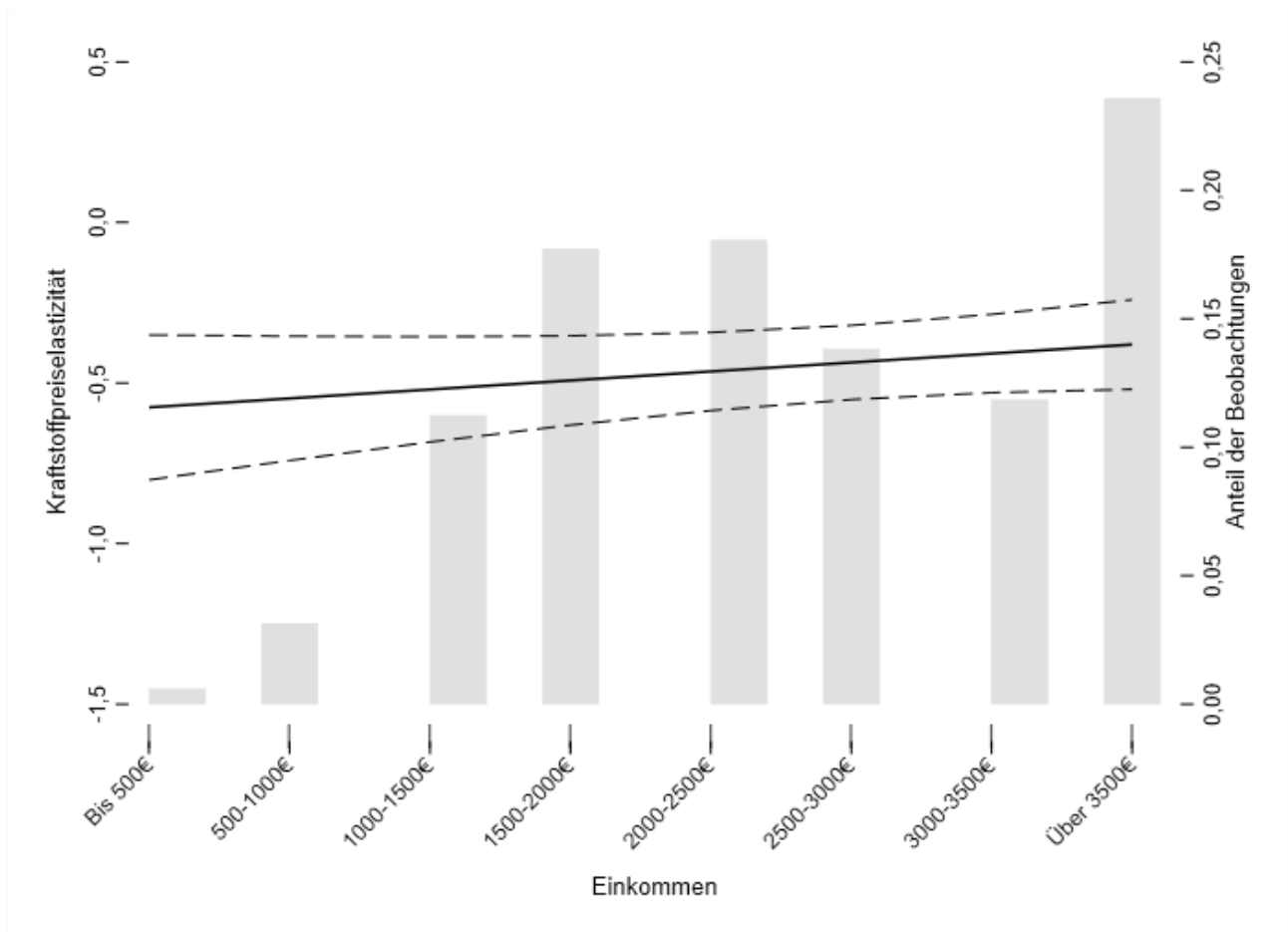
Anmerkungen: Kleinste-Quadrate-Schätzungen (OLS); erklärte Variable: logarithmierte monatlich zurückgelegten Kilometer (VMT); Auflistung der geschätzten Koeffizienten der erklärenden Variablen; Koeffizienten signifikant von Null verschieden zu den Signifikanzniveaus: 0.01 *** 0.05 ** 0.1 *; Standardabweichungen der geschätzten Koeffizienten in Klammern

Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

4.2.6 Einkommen

In Bezug auf das Einkommen lässt sich ein abschwächender Effekt auf die geschätzte Kraftstoffpreiselastizität beobachten. Je höher das Einkommen, desto betragsmäßig geringer ist die geschätzte Elastizität. Bei einem niedrigen Einkommen von bis zu 500 Euro beträgt die Elastizität -0,57, während sie für Haushalte in der höchsten Einkommensgruppe bei -0,38 liegt. Die Heterogenitätsschätzung der Kraftstoffpreiselastizität in Bezug auf das Einkommen ist jedoch mit hoher statistischer Unsicherheit versehen, wie sich an der vergleichsweise hohen Spannweite der Konfidenzintervalle über die Einkommensgruppen erkennen lässt (Abbildung 6). Auch die Signifikanz der Punktschätzung des Koeffizienten der Interaktion zwischen Kraftstoffpreis und Einkommensgruppe ist nicht gegeben (Tabelle 7). Das Histogramm zeigt, dass die Einteilung der Einkommensgruppen innerhalb des MOP für die hier betrachtete Analyse nicht ideal ist. Die meisten Haushalte befinden sich in der höchsten Einkommensgruppe, was darauf hindeutet, dass eine weitere Differenzierung dieser Gruppe sinnvoll wäre.

Abbildung 6: Kraftstoffpreiselastizitäten über das Einkommen



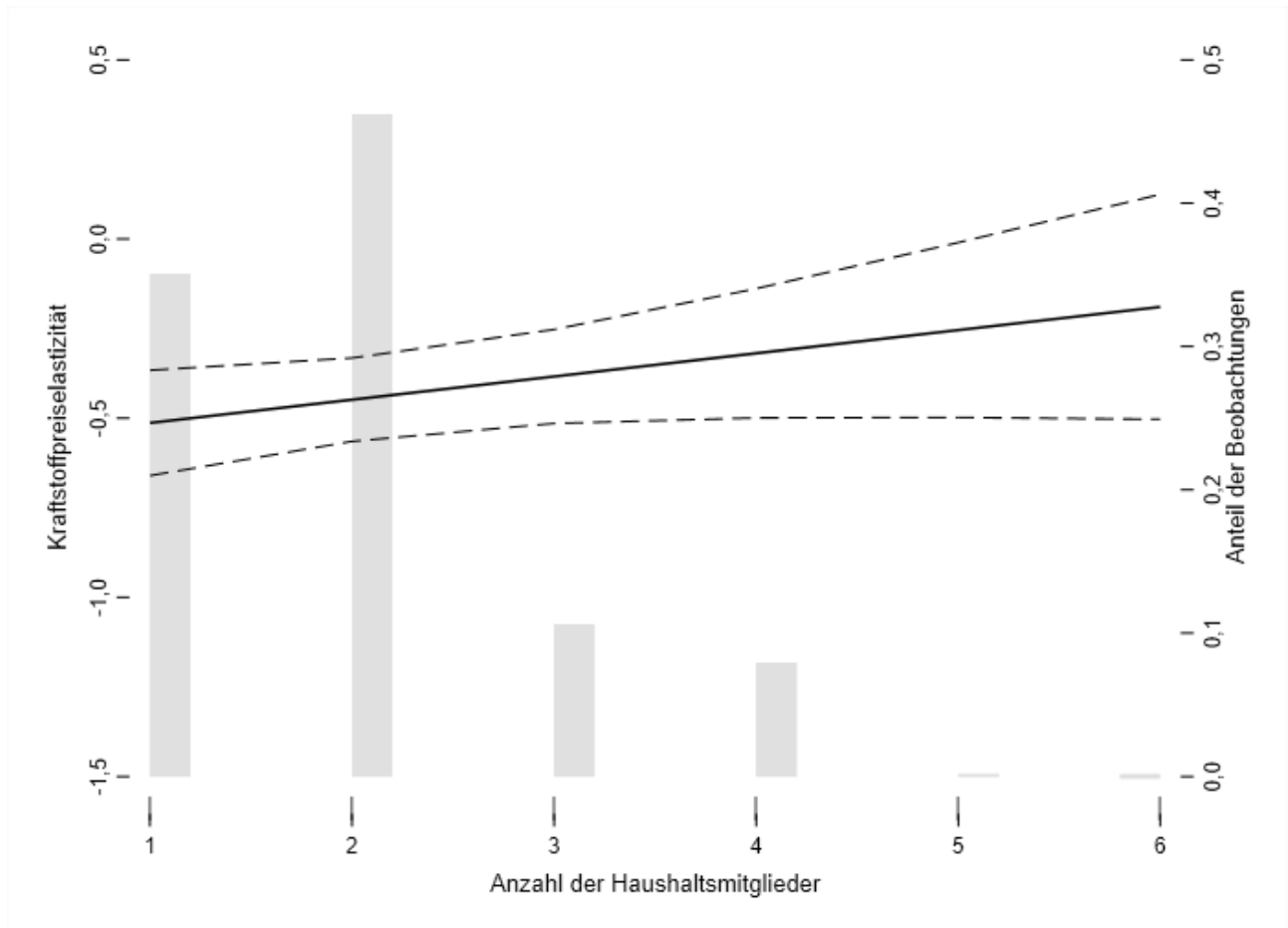
Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

4.2.7 Größe des Haushalts

Abbildung 7 zeigt, wie die Elastizitäten in Abhängigkeit von der Größe des Haushalts variieren. Bei einem Einpersonenhaushalt beträgt die Elastizität -0,51. Mit zunehmender Haushaltsgröße nimmt die Elastizität betragsmäßig ab. In einem Haushalt mit vier Mitgliedern beträgt die Elastizität -0,32, während sie für Haushalte mit vier Mitgliedern nur noch -0,38 beträgt.

Der Großteil der Haushalte in der Stichprobe sind Ein- und Zwei-Personenhaushalte. Dementsprechend nimmt die Zuverlässigkeit der Elastizitätenschätzungen in größeren Haushalten aufgrund der geringeren Anzahl an Beobachtungen deutlich ab. Der Koeffizient der Interaktion zwischen Kraftstoffpreis und Anzahl der Haushaltsmitglieder in der Punktschätzung ist nicht signifikant (Tabelle 7).

Abbildung 7: Kraftstoffpreiselastizitäten über die Haushaltsgröße



Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

4.2.8 Wohnort des Haushalts (ländlich oder städtisch)

Tabelle 8 zeigt die Heterogenität in Bezug auf die Wohnlage der Haushalte. Gemäß den Schätzungen ist die Kraftstoffpreiselastizität für Haushalte in ländlichen Wohnlagen mit -0,7 größer als für Haushalte in städtischen Wohnlagen mit -0,39. Der Unterschied der Elastizitäten ist signifikant zum 5%-Signifikanzniveau

Die Wohnlage hat also einen entscheidenden Einfluss auf die Stärke der Anpassungsreaktionen infolge von Kraftstoffpreisänderungen. Haushalte, die auf dem Land wohnen, reagieren deutlich stärker auf Änderungen der Kraftstoffpreise.

Tabelle 8: Elastizitäten der Kraftstoffpreise - ländliche und städtische Wohnlage

	Elastizitäten der Kraftstoffpreise	95%-Konfidenzintervall	Prozentsatz der Beobachtungen
Ländliche Wohnlage	-0,70***	[-0,91; -0,49]	13 %
Städtische Wohnlage	-0,39***	[-0,54; -0,25]	87 %

Anmerkungen: Signifikanzniveaus: 0.01 *** 0.05 ** 0.1 *

Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

4.3 Zusammengesetzte Heterogenität

Aufbauend auf der Untersuchung der Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizitäten wird im Folgenden die zusammengesetzte Heterogenität analysiert. Dabei wird ein doppelter Interaktionsterm gebildet. Diese zusammengesetzte Heterogenität wird für zwei Fälle untersucht: zum einen für das Einkommen kombiniert mit der Wohnlage und zum anderen für das Geschlecht kombiniert mit dem Vorhandensein von Kindern. Die Schätzergebnisse der beiden Modellspezifikationen sind in Tabelle 9 dargestellt. Die grafische Darstellung der Heterogenität besteht nun jeweils aus zwei Abbildungen, die jeweils eine Ausprägung der Dummy-Variablen (Wohnlage, Vorhandensein von Kindern) abbilden.

Tabelle 9: Schätzung der zusammengesetzten Heterogenitäten für das Einkommen & Wohnlage sowie für das Geschlecht & Kinder - Kraftstoffpreiselastizitäten und Kontrollvariablen

	(10) Einkommen & Wohnlage	(11) Geschlecht & Kinder
Logarithmierter Kraftstoffpreis	-0.6230*** (0.1693)	-0.2550** (0.1036)
Dummy: Dieselfahrzeug	0.2654*** (0.0184)	0.2701*** (0.0184)
Logarithmierte Motorleistung	0.2100*** (0.0207)	0.2076*** (0.0206)
Alter des Fahrzeugs	-0.0224*** (0.0013)	-0.0224*** (0.0013)
Dummy: Zufrieden mit dem Öffentlichen Personennahverkehr	-0.1309*** (0.0157)	-0.1265*** (0.0157)
Dummy: Ländliche Wohnlage	-0.0437 (0.1392)	0.0715*** (0.0198)
Haushaltsgröße	0.0070 (0.0095)	0.0237** (0.0103)

	(10) Einkommen & Wohnlage	(11) Geschlecht & Kinder
Einkommensgruppe (1-8)	0.0063 (0.0092)	0.0184*** (0.0045)
Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Abitur	0.0156 (0.0116)	0.0122 (0.0115)
Anzahl der erwerbstätigen Haushaltsmitglieder	0.0274** (0.0134)	0.0185 (0.0135)
Logarithmierte Entfernung zur Arbeitsstelle	0.0828*** (0.0060)	0.0821*** (0.0060)
Anteil der weiblichen Mitglieder im Haushalt (Geschlecht)	-0.0830*** (0.0209)	0.0174 (0.0509)
Durchschnittsalter der Haushaltsmitglieder	-0.0047*** (0.0006)	-0.0059*** (0.0006)
Interaktion: Einkommen & Ländliche Wohnlage	0.0369 (0.0236)	
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Ländliche Wohnlage	0.3484 (0.4006)	
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Einkommen	0.0383 (0.0254)	
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Einkommen & Ländliche Wohnlage	-0.1177* (0.0699)	
Dummy: Unter 10 Jahre altes Kind im Haushalt (Kind)		-0.2096 (0.1285)
Interaktion: Kind & Geschlecht		0.1099 (0.2412)
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Kind		0.0981 (0.3774)
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Geschlecht		-0.3283** (0.1443)
Interaktion: Logarithmierter Kraftstoffpreis & Kind & Geschlecht		-0.1090 (0.7041)
Konstante	6.2447*** (0.1373)	6.1923*** (0.1311)
<i>Beobachtungen</i>	9.021	9.021
<i>Adjusted R²</i>	0,2730	0,2746

	(10) Einkommen & Wohnlage	(11) Geschlecht & Kinder
<i>F-Test</i>	100,62***	98,55***

Anmerkungen: Kleinste-Quadrate-Schätzungen (OLS); erklärte Variable: logarithmierte monatlich zurückgelegten Kilometer (VMT); Auflistung der geschätzten Koeffizienten der erklärenden Variablen; Koeffizienten signifikant von Null verschieden zu den Signifikanzniveaus: 0.01 *** 0.05 ** 0.1 *; Standardabweichungen der geschätzten Koeffizienten in Klammern

Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

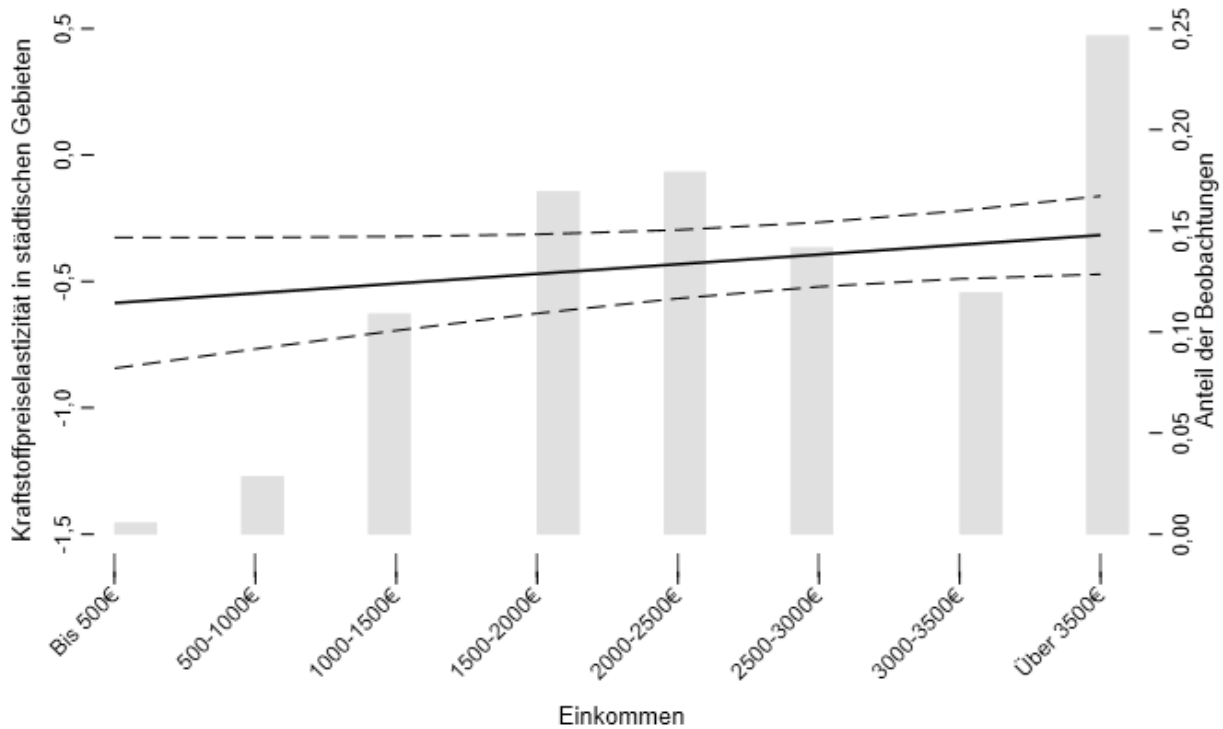
4.3.1 Zusammengesetzte Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizitäten nach Einkommen und Wohnlage

Abbildung 8A zeigt die Heterogenität der Kraftstoffpreise in Bezug auf das Einkommen in städtischen Gebieten. Dort weisen Haushalte mit höherem Einkommen eine geringere Elastizität auf als Haushalte mit niedrigerem Einkommen. Für einen Haushalt mit einem Einkommen von weniger als 500 Euro beträgt die Elastizität beispielsweise -0,58. Liegt das Einkommen jedoch über 3500 Euro, beträgt die Elastizität nur -0,32, ähnlich zu den Ergebnissen in Abbildung 6. Die Reaktion auf Preisänderungen ist also bei Haushalten, die in städtischen Gebieten leben, umso höher, je niedriger das Einkommen ist.

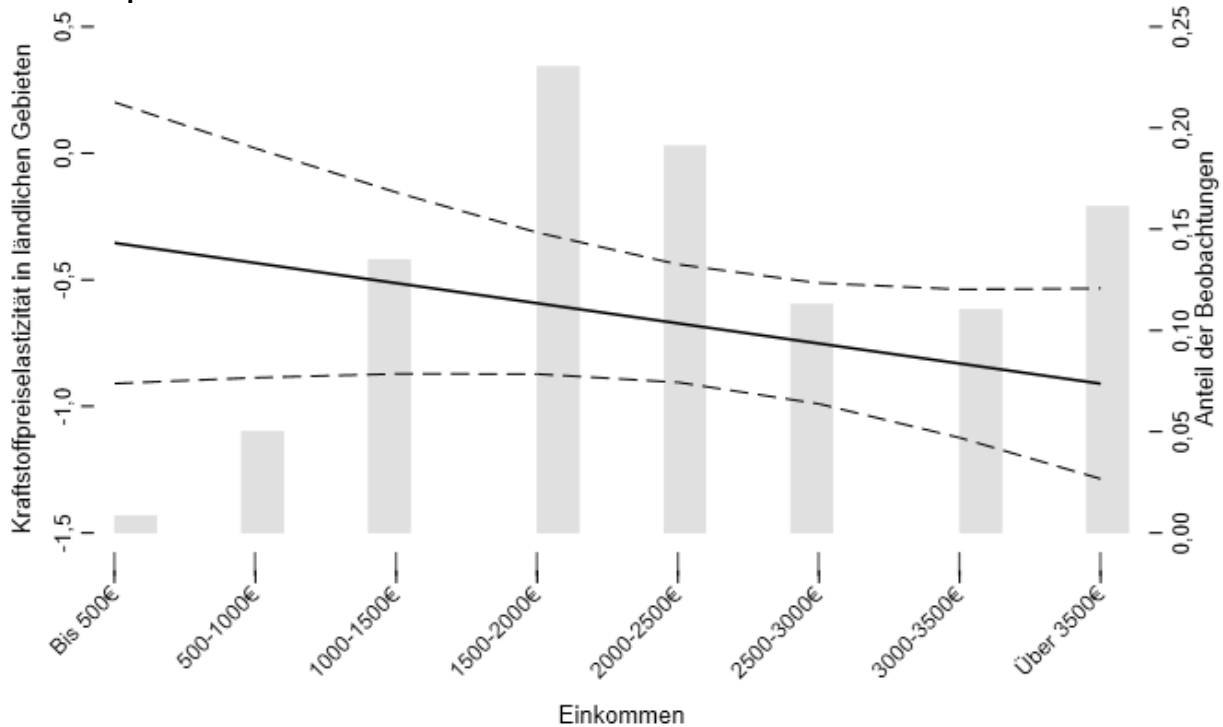
In den ländlichen Gebieten (Abbildung 8B) ist jedoch ein gänzlich anderer Zusammenhang zu beobachten. Der Effekt, den das Einkommen auf die Stärke der zu erwartenden Anpassungsreaktionen infolge von Kraftstoffpreisveränderungen hat, geht in der Landbevölkerung in die entgegengesetzte Richtung. Haushalte mit einem geringen Einkommen reagieren weniger stark als besserverdienende Haushalte. Für Haushalte mit einem Einkommen unter 1000 Euro in ländlichen Gebieten kann keine zuverlässige Aussage darüber getroffen werden, ob diese überhaupt eine Reaktion auf Kraftstoffpreisänderungen zeigen. Bei Betrachtung des Konfidenzintervalls zeigt sich, dass die geschätzten Kraftstoffpreiselastizitäten nicht signifikant sind. Innerhalb der mittleren Einkommensgruppen, die in der Landbevölkerung im Vergleich zu den übrigen Einkommensgruppen deutlich häufiger vorkommen, sind die Schätzungen zuverlässiger.

Die statistische Signifikanz der dreifachen Interaktion aus Kraftstoffpreis, Einkommen und Wohnlage deutet darauf hin, dass deren Schätzung durchaus valide ist (Tabelle 9). In mittleren Einkommensgruppen sind die Preisreaktionen von Haushalten in ländlichen Gebieten etwas stärker als von solchen in städtischen Gebieten. Ein klarer Unterschied zeigt sich bei Haushalten mit hohem Einkommen, die in ländlichen Gebieten deutlich stärker reagieren als in städtischen Gebieten. Die Divergenz der Preisreaktionen zwischen Stadt und Land in Abhängigkeit vom Einkommen ist in dieser Klarheit durchaus bemerkenswert und widerspricht den Erkenntnissen von Bureau (2011), die zwar in den mittleren Einkommensgruppen ebenso niedrigere Preisreaktionen beobachten, aber sowohl in der Stadt als auch auf dem Land mit steigendem Einkommen betragsmäßig sinkende Preiselastizitäten schätzen.

Abbildung 8: Kraftstoffpreiselastizitäten über das Einkommen in städtischen und ländlichen Gebieten



A: Kraftstoffpreiselastizitäten über das Einkommen in städtischen Gebieten



B: Kraftstoffpreiselastizitäten über das Einkommen in ländlichen Gebieten

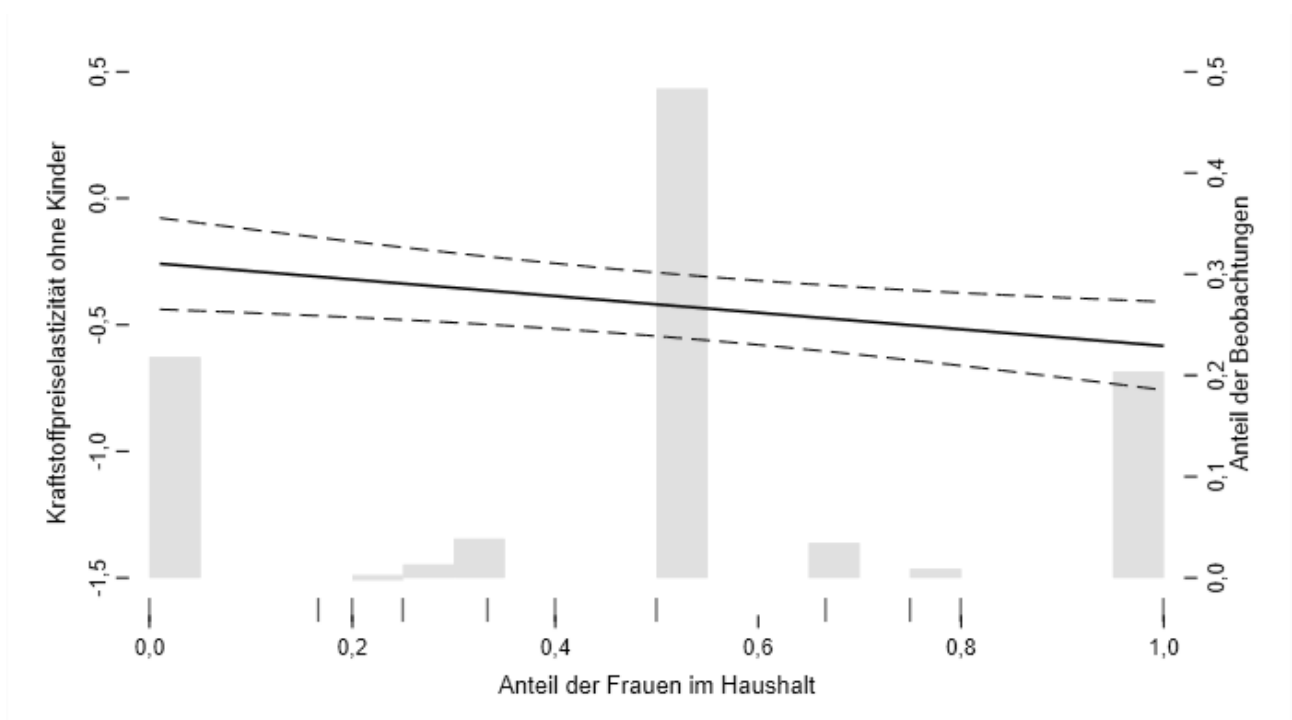
Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

4.3.2 Zusammengesetzte Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizitäten nach Geschlecht und Kindern

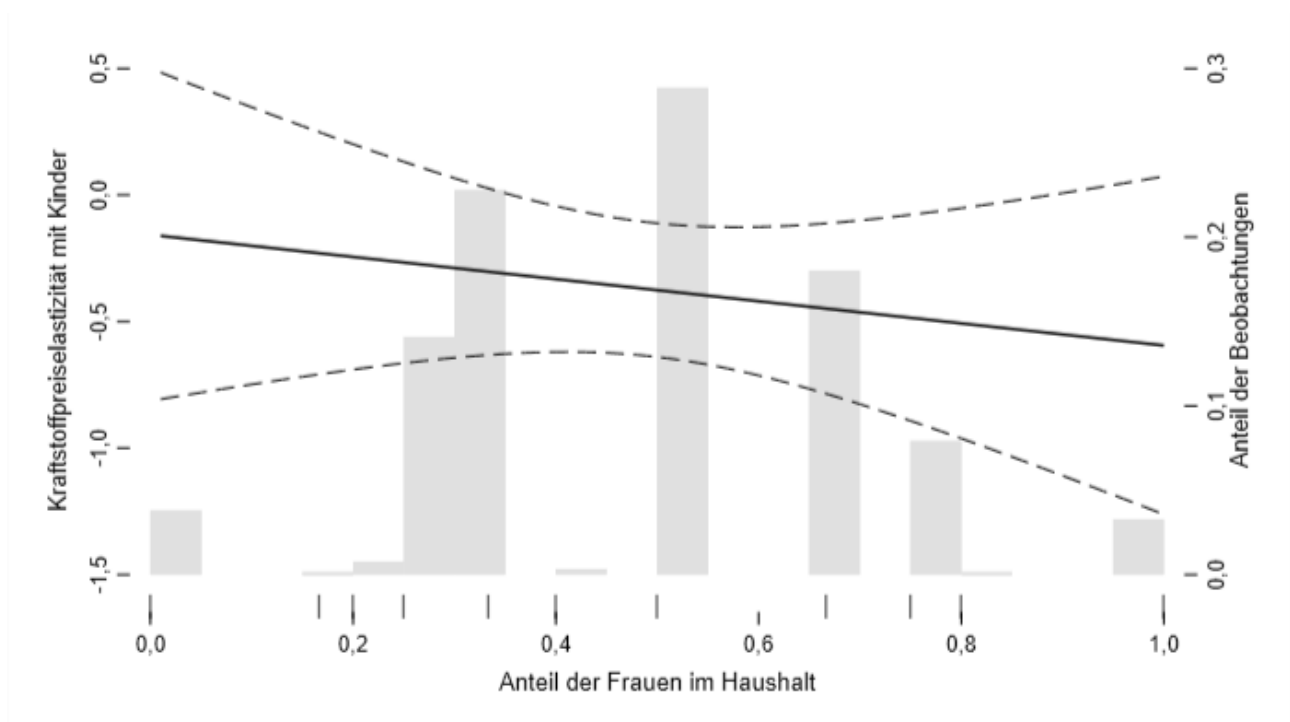
Sowohl in Haushalten mit als auch in Haushalten ohne Kinder unter 10 Jahre steigen die geschätzten Kraftstoffpreiselastizitäten betragsmäßig mit steigendem Anteil von weiblichen Haushaltsmitgliedern (Abbildung 9). Der Koeffizient der Interaktion zwischen Geschlecht und Kraftstoffpreis ist hier analog zu Modell 4 (siehe Tabelle 6) signifikant (Tabelle 9). Allerdings zeigt sich dieser gesicherte Zusammenhang nur in der Betrachtung der Randeffekte in Haushalten ohne Kinder (Abbildung 9A), wohingegen die Schätzung in Haushalten mit Kindern weitaus weniger zuverlässige Ergebnisse liefert. In einem reinen Männerhaushalt ohne Kinder liegt der Elastizitätskoeffizient bei -0,25, während er in einem reinen Frauenhaushalt -0,58 beträgt. Die Schätzungen für Haushalte mit Kindern liegen betragsmäßig etwas darunter. In Haushalten mit einem Frauenanteil von 40 % beträgt der Elastizitätskoeffizient beispielsweise -0,33, wenn Kinder im Haushalt leben, und -0,39, wenn es keine Kinder gibt. Aufgrund der hohen statistischen Unsicherheit lässt sich jedoch nicht ausschließen, dass sich diese Elastizitäten nicht voneinander unterscheiden.

In der Stichprobe sind Haushalte mit Kindern in Bezug auf die Geschlechterzusammensetzung untereinander deutlich homogener als Haushalte ohne kleine Kinder. In kinderlosen Haushalten bestehen deutlich mehr Haushalte entweder nur aus weiblichen oder nur aus männlichen Haushaltsmitgliedern. Kinder werden dagegen hauptsächlich von beiden Geschlechtern gleichzeitig großgezogen. Zusätzlich machen Haushalte mit Kindern unter 10 Jahre nur knapp 10 Prozent der Haushalte aus. Nicht überraschend ist deshalb, dass die Schätzungen der Kraftstoffpreiselastizitäten in reinen Männer- oder reinen Frauenhaushalten mit Kindern mit großer Unsicherheit verbunden sind, was sich an den breiten Konfidenzintervallen zeigt (Abbildung 9B).

Abbildung 9: Kraftstoffpreiselastizitäten über den Anteil der Frauen im Haushalt mit und ohne Kinder unter 10 Jahre



A: Kraftstoffpreiselastizitäten über den Anteil der Frauen im Haushalt ohne Kinder unter 10 Jahren



B: Kraftstoffpreiselastizitäten über den Anteil der Frauen im Haushalt mit Kindern unter 10 Jahren

Quelle: Output Statistiksoftware STATA, Eigene Berechnungen und Darstellung

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie untersucht anhand umfangreicher Haushaltsdaten die Verhaltensreaktion der Haushalte auf geänderte Kraftstoffpreise. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Haushalte ihr Verhalten infolge einer Preisänderung nicht alle auf dieselbe Art und Weise anpassen. Stattdessen werden Unterschiede in den Reaktionen der Haushalte nachgewiesen. Die Studie stellt dar, dass die Reaktionen abhängig sind von bestimmten Haushaltseigenschaften. Zu diesen zählen sozioökonomische, demografische und regionale Merkmale. Die Untersuchungsergebnisse zu den jeweiligen Merkmalen sind in Tabelle 10 im Überblick dargestellt.

Tabelle 10: Übersicht zur Heterogenität der Kraftstoffpreiselastizität für die betrachteten moderierenden Variablen

Moderierende Variable	Einfluss auf Elastizität (Reaktion auf Kraftstoffpreisänderung)
Durchschnittsalter des Haushalts	↗ Die Elastizität steigt mit steigendem Durchschnittsalter des Haushalts.
Anzahl der erwerbstätigen Haushaltsmitglieder	↘ Die Elastizität sinkt mit steigender Anzahl erwerbstätiger Haushaltsmitglieder.
Anteil der weiblichen Haushaltsmitglieder	↗ Die Elastizität steigt mit steigendem Anteil weiblicher Haushaltsmitglieder.*
Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Abitur	↘ Die Elastizität sinkt mit steigender Anzahl von Haushaltsmitgliedern mit Abitur.

Moderierende Variable	Einfluss auf Elastizität (Reaktion auf Kraftstoffpreisänderung)
Entfernung zur Arbeitsstelle	↘ Die Elastizität sinkt mit steigender Entfernung zur Arbeitsstelle.*
Einkommen	↘ Die Elastizität sinkt mit steigendem Haushaltseinkommen.
Haushaltsgröße	↘ Die Elastizität sinkt mit steigender Haushaltsgröße.
Wohnort des Haushalts (ländliche Wohnlage)	↗ Die Elastizität von Haushalten mit Wohnort in ländlichen Gebieten ist höher als von Haushalten in städtischen Gebieten.
Einkommen x Wohnort des Haushalts	Die Elastizität von Haushalten mit gegebenem Einkommen ist in ländlichen Gebieten höher als in städtischen Gebieten.*
Anteil der weiblichen Haushaltsmitglieder x Vorhandensein von Kindern	Die Elastizität von Haushalten mit gegebenem Anteil weiblicher Personen ist niedriger, wenn Kinder Teil des Haushalts sind.

Anmerkungen: *Schätzergebnis statistisch signifikant von Null verschieden.

Quelle: Eigene Darstellung

Die Ergebnisse sind wichtig, weil sie für die Heterogenität von Verhaltensänderungen infolge klimapolitischer Maßnahmen sensibilisieren. Das in der vorliegenden Studie analysierte Beispiel der geänderten Kraftstoffpreise, getrieben etwa durch die CO₂-Bepreisung oder eine Anpassung der Energiesteuer, zeigt auf, welche Haushaltsgruppen ihre Pkw-Nutzung inwiefern anpassen bzw. anpassen können. Die Ergebnisse ermöglichen eine detailliertere Analyse der Verteilungswirkung klimapolitischer Instrumente im Verkehr. Auch mögliche Härtefälle können so besser identifiziert und geeignete Gegenmaßnahmen entwickelt werden.

In diesem Zusammenhang werden die wichtigsten Ergebnisse im Folgenden zusammengefasst und eingeordnet:

Die Kraftstoffpreiselastizität nimmt mit dem Einkommen des Haushalts ab. Das bedeutet, dass Haushalte mit niedrigem Einkommen stärker auf Kraftstoffpreisänderungen reagieren als Haushalte mit hohem Einkommen. Zum einen könnte dieses Ergebnis darauf hindeuten, dass Haushalte mit niedrigem Einkommen ihr Verhalten deshalb anpassen, da sie sich die Pkw-Nutzung vermehrt nicht mehr leisten können. Alltagsbedürfnisse könnten folglich nur unter Inkaufnahme von längerer Reisezeit im ÖPNV befriedigt oder müssten gänzlich gestrichen werden. Zum anderen legt die geringere Verhaltensreaktion von Haushalten mit hohem Einkommen nahe, dass diese Haushalte Kraftstoffpreisänderungen stärker in Kauf nehmen und neben einer Reduktion der Pkw-Fahrleistung auch mit einer Steigerung der Kraftstoffausgaben reagieren.

Die Schätzung der Heterogenität in Bezug auf das Einkommen ist vor dem Hintergrund der recht großen statistischen Unsicherheit zu bewerten. Ein Grund für diese Unsicherheit könnte eine vorliegende Multikollinearität sein. Multikollinearität bedeutet hier, dass das Haushaltseinkommen mit anderen Merkmalen im Modell korreliert ist, sodass die Schätzung des isolierten Einflusses des Einkommens auf die Elastizität erschwert wird. In den Ergebnissen bewirkt dies eine größere Ungenauigkeit der Schätzungen. Haushaltsmerkmale, die stark mit dem Einkommen korreliert sein

könnten, sind insbesondere die Anzahl an erwerbstätigen Haushaltsmitgliedern, die Anzahl an Haushaltsmitgliedern mit Abitur und die Haushaltsgröße.

Haushalte mit Wohnort in ländlichen Gebieten reagieren stärker auf Preisänderungen als Haushalte in städtischen Gebieten. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass Haushalte in ländlichen Gebieten durchaus Spielraum haben, ihr Verhalten anzupassen und Wege mit dem Pkw stärker zu reduzieren. Verglichen werden im Modell Haushalte in ländlichen mit jenen in städtischen Gebieten. Gemäß unseren Schätzergebnissen reagieren Haushalte in ländlichen Gebieten in Durchschnitt signifikant stärker auf Kraftstoffpreisänderungen als Haushalte in städtischen Gebieten. Die subjektive Zufriedenheit mit dem ÖPNV spielt dabei keine Rolle, da wir im Schätzmodell für die Zufriedenheit kontrollieren. Vor diesem Hintergrund erscheint es plausibel, dass Haushalte in ländlichen Gebieten, die oftmals starke Routinen der Pkw-Nutzung entwickelt haben, größere Spielräume für eine Reduktion dieser Pkw-Nutzung haben als Haushalte in städtischen Gebieten, die ihre Wege bereits stärker multimodal zurücklegen.

Wird mittels der zusammengesetzten Heterogenität der Einfluss des Haushaltseinkommens differenziert nach dem Wohnort des Haushalts, bleibt der oben beschriebene Zusammenhang in städtischen Gebieten bestehen. In ländlichen Gebieten dreht sich der Effekt des Einkommens jedoch um: In ländlichen Gebieten passen Haushalte mit hohem Einkommen ihr Verhalten stärker an als Haushalte mit niedrigem Einkommen. Dies könnte darauf hinweisen, dass auf dem Land in Haushalten mit niedrigem Einkommen eine größere Abhängigkeit vom Auto besteht, sodass Anpassungsreaktionen in den betreffenden Haushalten nur eingeschränkt möglich sind. Diese Haushalte werden aus diesem Grund in der Literatur als besonders vulnerabel eingeschätzt (Mattioli 2013). Der Einfluss des Einkommens in ländlichen Gebieten weist jedoch größere Unsicherheiten auf und ist für Haushalte mit niedrigen Einkommen nicht signifikant verschieden von jenen in städtischen Gebieten. Haushalte mit hohem Einkommen reagieren in ländlichen Gebieten hingegen stärker auf Preisänderungen als Haushalte mit hohem Einkommen in städtischen Gebieten. Für diese Haushalte scheint die oben getroffene Aussage, die sich am Durchschnitt orientiert, besonders zu gelten, dass Spielräume für eine Reduktion der Pkw-Nutzung in ländlichen Gebieten größer sind als in städtischen Gebieten.

Die Kraftstoffpreiselastizität steigt mit steigendem Anteil weiblicher Haushaltsmitglieder. Dass Frauen weniger Auto fahren als Männer, ist in der Literatur gut belegt (Nobis und Kuhnimhof 2018). Dass Frauen diese geringere Pkw-Nutzung infolge von Preisänderungen auch stärker reduzieren, legt die vorliegende Studie nahe. Dieser Unterschied ist zudem statistisch signifikant. Möglicherweise sind Männer im Durchschnitt eher dazu bereit, zusätzliche Ausgaben für die Pkw-Nutzung in Kauf zu nehmen.

Wird über die zusammengesetzte Heterogenität der Einfluss des Anteils weiblicher Haushaltsmitglieder differenziert nach dem Vorhandensein von Kindern unter 10 Jahren betrachtet, fällt auf, dass der Unterschied zwischen den Geschlechtern insbesondere für Haushalte ohne Kinder gilt. Die Schätzung der Elastizität von Haushalten mit Kindern unter 10 Jahren weist große Unsicherheiten auf, was insbesondere an den Rändern der Verteilung durch die geringe Zahl an vollständig männlichen oder weiblichen Haushalten mit Kindern unter 10 Jahren in der Stichprobe erklärt werden kann. Haushalte mit Kindern unter 10 Jahren reagieren demzufolge etwas weniger elastisch auf Kraftstoffpreisänderungen, für sehr geringe und sehr hohe Anteile weiblicher Haushaltsmitglieder ist die Elastizität aufgrund hoher statistischer Unsicherheit sogar nicht signifikant von Null verschieden. Inhaltlich lässt sich die leicht niedrigere Elastizität damit begründen, dass Haushalte mit Kindern Wegeprofile aufweisen, die schwerer zu verlagern oder zu vermeiden sind. So können Haushalte ohne Kinder etwa Alltagswege durch das Arbeiten von zuhause

vermeiden, während Haushalte mit Kindern möglicherweise Wege zur Kinderbetreuung zurücklegen müssen.

Größere Haushalte weisen eine geringere Elastizität auf als kleinere Haushalte. Größere Haushalte könnten mehr Wege mit dem Pkw zurücklegen, die nicht oder nur schwer auf andere Verkehrsmittel verlagert werden können. Obwohl mit der Haushaltsgröße eine sich abschwächende Elastizität auszumachen ist, ist auch dieses Ergebnis vor dem Hintergrund der recht breiten Konfidenzintervalle mit Vorsicht zu beurteilen und es kann hier keine eindeutige Aussage getroffen werden.

Die Verhaltensreaktion von Haushalten mit einem hohen Durchschnittsalter ist höher als von Haushalten mit einem niedrigen Durchschnittsalter. Es ist, ähnlich wie beim Haushaltseinkommen, relevant, die Ursachen für diese Verhaltensänderung zu untersuchen. Müssen Wege aufgrund der Preisänderung vermieden werden und können so möglicherweise Alltagsbedürfnisse älterer Haushalte nicht befriedigt werden, sollten Maßnahmen ergriffen werden, die diesen Haushalten Mobilität und soziale Teilhabe ermöglichen. So sind neben einer passgenauen Ausgestaltung des Klimagelds direkte Transfers denkbar. Auch hier gilt allerdings: Es ist zwar ein Trend auszumachen, statistisch signifikant ist die unterschiedliche Verhaltensreaktion zwischen durchschnittlich jungen und alten Haushalten nicht.

Die Kraftstoffpreiselastizität der Pkw-Fahrleistung nimmt mit der Anzahl der erwerbstätigen Haushaltsmitglieder ab. Dieser Zusammenhang legt nahe, dass erwerbstätige Haushaltsmitglieder häufig Pendelwege mit dem Pkw zurücklegen, die sie nur schwer verlagern können oder wollen. Obwohl sich dieser Trend zeigt, sind die Schätzergebnisse mit hoher Unsicherheit behaftet. Die Entfernung vom Wohnort zur Arbeitsstelle weist hingegen einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Kraftstoffpreiselastizität auf. Diese nimmt mit der Pendelstrecke ab und ist ab einer Entfernung von rund 50 Kilometern nicht mehr signifikant von Null verschieden. Dieser Zusammenhang spiegelt wider, dass kurze Pendelstrecken infolge von Preisänderungen eher verlagert werden als längere. Haushalte mit Personen, die lange Pendelstrecken zurücklegen müssen, scheinen den Ergebnissen zufolge kaum auf Preisänderungen zu reagieren. Obwohl die Anzahl von Haushalten mit langen Pendelstrecken gering ist, so ist deren gesamte Pkw-Fahrleistung auf Pendelstrecken nicht zu unterschätzen. Besonders hier gilt es, dass Unternehmen nach Möglichkeit Anreize für das vermehrte Arbeiten von zuhause setzen. Insbesondere das Pendelverhalten im Zuge zunehmender Arbeit von zuhause sollte regelmäßig untersucht und die Wirkung von klimapolitischen Instrumenten beurteilt werden. So ist denkbar, dass Haushalte mit zunehmender Arbeit von zuhause ihren Wohnort verändern, sodass Pendelwege zwar seltener aber gleichzeitig länger werden. Anreize, Wohn- und Arbeitsort näher zusammenzulegen, sind deshalb ebenfalls wichtig.

Das Bildungsniveau des Haushalts, abgebildet über die Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Abitur, scheint die Elastizität zu dämpfen. Haushalte mit einer größeren Anzahl von Personen mit Abitur reagieren weniger stark auf Preisänderung als Haushalte mit einer geringen Anzahl von Personen. Obwohl auch hier ein Trend erkennbar scheint, ist diese Aussage vor dem Hintergrund der fehlenden Signifikanz der Punktschätzung sowie der breiten Konfidenzintervalle vorsichtig zu bewerten.

Das Modell kontrolliert nicht für das Angebot des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV). So wird etwa der etwaige Einfluss von Preisänderungen des ÖPNV auf die Verhaltensänderungen der Haushalte infolge von Kraftstoffpreisänderungen nicht abgebildet. Fragestellungen in Bezug auf die Wirkung von neuen Tarifstrukturen auf eine veränderte Pkw-Nutzung von Haushalten können deshalb nicht beantwortet werden. Das Modell kontrolliert zwar über eine Dummy-Variable für die Zufriedenheit mit dem ÖPNV, Rückschlüsse auf das konkrete Angebot oder die Preise des ÖPNV sind daraus jedoch nicht möglich. Folgestudien sollten deshalb Daten zum ÖPNV-Angebot und

dessen Preise berücksichtigen und deren Einfluss auf die Pkw-Nutzung sowie auf die Nutzungsänderung infolge von Kraftstoffpreisänderungen modellieren.

Innerhalb dieser Studie werden Elastizitäten von Haushalten analysiert, die nicht mehr als einen Pkw besitzen. Das betraf im Jahr 2017 zwar rund zwei Drittel der Haushalte, die mindestens einen Pkw besitzen. Unberücksichtigt bleibt jedoch gleichzeitig das Verhalten von Haushalten, die mehr als einen Pkw besitzen. Diese machten in 2017 ein Drittel der Haushalte aus, die mindestens einen Pkw besitzen (Nobis und Kuhnimhof 2018). Denkbar ist, dass die Elastizität in dieser Studie somit überschätzt wird, da angenommen werden kann, dass Haushalte mit mehr als einem Pkw tendenziell höhere Einkommen oder eine höhere Anzahl an erwerbstätigen Personen aufweisen. Zukünftige Analysen sollten Wege identifizieren, auch diese Haushalte zu berücksichtigen, um eine möglichst hohe Repräsentativität gewährleisten zu können.

Neben den dargestellten Limitationen der vorliegenden Untersuchung sollten zukünftige Studien auch auf verschiedene Modellspezifikationen in Bezug auf den Kraftstoffpreis testen. So ist etwa denkbar, dass der Einfluss des Kraftstoffpreises auf die Pkw-Fahrleistung abhängig ist von dessen Höhe. Eine Interaktion des Kraftstoffpreises mit sich selbst, also ein quadratischer Zusammenhang zwischen Kraftstoffpreis und Pkw-Fahrleistung, würde ein Abbilden dieses Effekts im Modell erlauben. Denkbar ist etwa, dass Haushalte anders auf Kraftstofferhöhungen reagieren, wenn der Kraftstoffpreis bereits sehr hoch ist. Diese Frage wird mit steigenden Kraftstoffpreisen in den kommenden Jahren an Relevanz gewinnen. Zudem ist es denkbar, dass Heterogenitäten nicht linear verlaufen, sondern es auch nicht lineare Zusammenhänge zwischen Haushaltsmerkmalen und der Stärke der Anpassungsreaktionen infolge von Kraftstoffpreisänderungen geben könnte. So wäre es zum Beispiel denkbar, dass die Reaktionen in Haushalten mit Personen im mittleren Alter anders ausfallen als in Haushalten, die von jüngeren oder älteren Personen geführt werden,

Eine typische Herausforderung bei der Verwendung empirisch geschätzter Preiselastizitäten ist oftmals die geringe Varianz der beobachteten Kraftstoffpreisänderung. Eine Schätzung von Verhaltensreaktionen infolge geringer Änderungen des Kraftstoffpreises wird hier herangezogen, um Verhaltensänderungen infolge einer starken Änderung des Preises zu modellieren. Es wird also angenommen, dass die Verhaltensänderungen bei kleinen und großen Änderungen gleich sind. Die vorliegende Studie schließt das Jahr 2022 mit ein, in dem die Kraftstoffpreise infolge des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine deutlich gestiegen sind. Dieser Anstieg steht in einem Kontrast zu den nur geringen realen Kraftstoffpreisänderungen der vergangenen Jahre. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind vergleichbar mit denen der Literatur, sodass deren Verwendung für die Abschätzung von Verhaltensreaktionen im Zuge möglicher starker zukünftiger Preisänderungen plausibel erscheint. Nichtsdestotrotz sollte die Schätzung von Elastizitäten im Verkehr im Zuge der Veröffentlichung aktuellerer Daten laufend aktualisiert und plausibilisiert werden.

Neben der fortlaufenden Schätzung der Preiselastizitäten im Verkehr sollten insbesondere die heterogenen Elastizitäten verwendet werden, um die Wirkungsabschätzung von klimapolitischen Instrumenten zu verbessern. Neben einer differenzierteren Abschätzung der Emissionswirkung betrifft dies insbesondere die Analyse von Verteilungseffekten, die unter Berücksichtigung der herausgearbeiteten Heterogenität abweichende Erkenntnisse zu bisherigen Wirkungsanalysen aufzeigen kann.

Die vorliegende Studie sensibilisiert für die Komplexität von Verhaltensreaktionen im Verkehr. Auf dieser Grundlage gilt es, weitere Dimensionen der Heterogenität zu untersuchen, im Zuge der Elektrifizierung des Pkw-Verkehrs insbesondere im Hinblick auf den Antrieb. Eine zunehmende Entkopplung der Pkw-Fahrleistung von der nachgefragten Kraftstoffmenge und damit von den THG-Emissionen erfordert ein differenziertes Studiendesign und ein in regelmäßigen Abständen

durchgeführtes Monitoring. Im wissenschaftlichen und im politischen Diskurs gilt es insbesondere mit Blick auf die Wirkungsanalyse von klimapolitischen Instrumenten, die komplexen Verhaltensreaktionen im Verkehr zu berücksichtigen und zu kommunizieren. Die vorliegende Studie soll hierzu einen Beitrag leisten.

Literaturverzeichnis

- Alberini, Anna; Horvath, Marco; Vance, Colin (2022): Drive less, drive better, or both? Behavioral adjustments to fuel price changes in Germany. In: *Resource and Energy Economics* 68, S. 101292. DOI: 10.1016/j.reseneeco.2022.101292.
- Archibald, Robert; Gillingham, Robert (1980): An Analysis of the Short-Run Consumer Demand for Gasoline Using Household Survey Data. In: *The Review of Economics and Statistics* 62 (4), S. 622–628. DOI: 10.2307/1924790.
- Archibald, Robert; Gillingham, Robert (1981): A Decomposition of the Price and Income Elasticities of the Consumer Demand for Gasoline. In: *Southern Economic Journal* 47 (4), S. 1021–1031. DOI: 10.2307/1058159.
- Avner, Paolo; Rentschler, Jun; Hallegatte, Stephane (2014): Carbon Price Efficiency: Lock-in and Path Dependence in Urban Forms and Transport Infrastructure: The World Bank.
- Bach, Stefan; Isaak, Niklas; Kemfert, Claudia; Kunert, Uwe; Schill, Wolf-Peter; Schmalz, Sophie et al. (2019): CO₂-Bepreisung im Wärme- und Verkehrssektor: Diskussion von Wirkungen und alternativen Entlastungsoptionen. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW). Berlin (DIW Berlin: Politikberatung kompakt, 140). Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/handle/10419/203260>.
- Bastian, Anne; Börjesson, Maria (2015): Peak car? Drivers of the recent decline in Swedish car use. In: *Transport Policy* 42, S. 94–102. DOI: 10.1016/j.tranpol.2015.05.005.
- Borger, Bruno de; Mulalic, Ismir; Rouwendal, Jan (2016): Measuring the rebound effect with micro data: A first difference approach. In: *Journal of Environmental Economics and Management* 79, S. 1–17. DOI: 10.1016/j.jeem.2016.04.002.
- Brambor, Thomas; Clark, William Roberts; Golder, Matt (2006): Understanding Interaction Models: Improving Empirical Analyses. In: *Political Analysis* 14 (1), S. 63–82. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/25791835>.
- Brons, Martijn; Nijkamp, Peter; Pels, Eric; Rietveld, Piet (2008): A meta-analysis of the price elasticity of gasoline demand. A SUR approach. In: *Energy Economics* 30 (5), S. 2105–2122. DOI: 10.1016/j.eneco.2007.08.004.
- Bureau, Benjamin (2011): Distributional effects of a carbon tax on car fuels in France. In: *Energy Economics* 33 (1), S. 121–130. DOI: 10.1016/j.eneco.2010.07.011.
- Dahl, Carol; Sterner, Thomas (1991): Analysing gasoline demand elasticities: a survey. In: *Energy Economics* 13 (3), S. 203–210. DOI: 10.1016/0140-9883(91)90021-Q.
- Frondel, Manuel; Peters, Jörg; Vance, Colin (2008): Identifying the Rebound: Evidence from a German Household Panel. In: *The Energy Journal* 29 (4), S. 145–163. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/41323185>.

- Fronzel, Manuel; Ritter, Nolan; Vance, Colin (2012): Heterogeneity in the rebound effect: Further evidence for Germany. In: *Energy Economics* 34 (2), S. 461–467. DOI: 10.1016/j.eneco.2011.10.016.
- Fronzel, Manuel; Vance, Colin (2009): Do High Oil Prices Matter? Evidence on the Mobility Behavior of German Households. In: *Environ Resource Econ* 43 (1), S. 81–94. DOI: 10.1007/s10640-008-9246-4.
- Fronzel, Manuel; Vance, Colin (2014): More Pain at the Diesel Pump? An Econometric Comparison of Diesel and Petrol Price Elasticities. In: *Journal of Transport Economics and Policy* 48 (3), S. 449–463. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/24396297>.
- Fronzel, Manuel; Vance, Colin (2018): Drivers' response to fuel taxes and efficiency standards: evidence from Germany. In: *Transportation* 45 (3), S. 989–1001. DOI: 10.1007/s11116-017-9759-1.
- Gillingham, Kenneth (2014): Identifying the elasticity of driving: Evidence from a gasoline price shock in California. In: *Regional Science and Urban Economics* 47, S. 13–24. DOI: 10.1016/j.regsciurbeco.2013.08.004.
- Goodwin, Phil; Dargay, Joyce; Hanly, Mark (2004): Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption with Respect to Price and Income: A Review. In: *Transport Reviews* 24 (3), S. 275–292. DOI: 10.1080/0144164042000181725.
- Graham, Daniel; Glaister, Stephen (2002): The Demand for Automobile Fuel: A Survey of Elasticities. In: *Journal of Transport Economics and Policy* 36 (1), S. 1–25. Online verfügbar unter https://econpapers.repec.org/article/tpejtecpo/v_3a36_3ay_3a2002_3ai_3a1_3ap_3a1-25.htm.
- Greening, Lorna A.; Jeng, Hann Tarn; Formby, John P.; Cheng, David C. (1995): Use of region, life-cycle and role variables in the short-run estimation of the demand for gasoline and miles travelled. In: *Applied Economics* 27 (7), S. 643–656. DOI: 10.1080/00036849500000054.
- Hautzinger, Heinz; Mayer, Karin; Helms, Maja; Kern, Christine; Wiesenhütter, Marc; Haag, Günter; Binder, Jan (2004): Analyse von Änderungen des Mobilitätsverhaltens - insbesondere der Pkw-Fahrleistung - als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. Schlussbericht zum Forschungsprojekt Nr. 96.0756/2002/. Hg. v. Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW). Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V. (IVT); ProgTrans AG; Steinbeis-Transferzentrum Angewandte Systemanalyse (STASA). Bonn.
- Havranek, Tomas; Irsova, Zuzana; Janda, Karel (2012): Demand for gasoline is more price-inelastic than commonly thought. In: *Energy Economics* 34 (1), S. 201–207. DOI: 10.1016/j.eneco.2011.09.003.
- Jochem, Patrick (2009): A CO2 Emission Trading Scheme for German Road Transport. Assessing the impacts using a meso economic model with multi-agent attributes. 1. Auflage. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG (Karlsruher Beiträge zur wirtschaftspolitischen Forschung – Karlsruhe Papers in Economic Policy Research, 29).
- Kayser, Hilke A. (2000): Gasoline demand and car choice: estimating gasoline demand using household information. In: *Energy Economics* 22 (3), S. 331–348. DOI: 10.1016/S0140-9883(99)00043-2.

- Khanna, Arpita Asha; Dubernet, Ilka; Jochem, Patrick (2023): Do car drivers respond differently to fuel price changes? Evidence from German household data. In: *Transportation*, S. 1–35. DOI: 10.1007/s11116-023-10431-y.
- Labandeira, Xavier; Labeaga, José M.; López-Otero, Xiral (2017): A meta-analysis on the price elasticity of energy demand. In: *Energy Policy* 102, S. 549–568. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.01.002.
- Linn, Joshua (2016): The Rebound Effect for Passenger Vehicles. In: *The Energy Journal* 37 (2). Online verfügbar unter <https://econpapers.repec.org/article/aenjournal/ej37-2-linn.htm>.
- Matiaske, Wenzel; Menges, Roland; Spiess, Martin (2012): Modifying the rebound: It depends! Explaining mobility behavior on the basis of the German socio-economic panel. In: *Energy Policy* 41, S. 29–35. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.11.044.
- Mattioli, Giulio (2013): Car Dependence, Sustainability and the Transport Policy Stalemate: The Potential Trade-offs between Intra- and Inter-generational Equity. In: *The International Journal of Sustainability Policy and Practice* 8 (1), S. 45–57. DOI: 10.18848/2325-1166/CGP/v08i01/55416.
- Nicol, C. J. (2003): Elasticities of demand for gasoline in Canada and the United States. In: *Energy Economics* 25 (2), S. 201–214. DOI: 10.1016/S0140-9883(03)00002-1.
- Nikodinoska, Dragana; Schröder, Carsten (2016): On the emissions–inequality and emissions–welfare trade-offs in energy taxation: Evidence on the German car fuels tax. In: *Resource and Energy Economics* 44, S. 206–233. DOI: 10.1016/j.reseneeco.2016.03.001.
- Nobis, Claudia; Kuhnimhof, Tobias (2018): *Mobilität in Deutschland– MiD: Ergebnisbericht*.
- Pothen, Frank; Tovar Reaños, Miguel Angel (2018): The Distribution of Material Footprints in Germany. In: *Ecological Economics* 153, S. 237–251. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2018.06.001.
- Reaños, Miguel Angel Tovar; Sommerfeld, Katrin (2018): Fuel for inequality: Distributional effects of environmental reforms on private transport. In: *Resource and Energy Economics* 51, S. 28–43. DOI: 10.1016/j.reseneeco.2017.10.007.
- Repenning, Julia; Harthan, Ralph; Blanck, Ruth; Böttcher, Hannes; Braungardt, Sibylle; Bürger, Veit et al. (2023): *Klimaschutzinstrumente-Szenario 2030 (KIS-2030) zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030*. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Öko-Institut e.V.; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI); Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES GmbH) (Climate Change, 30/2023). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutzinstrumente-szenario-2030-kis-2030-zur>.
- Ritter, Nolan; Schmidt, Christoph M.; Vance, Colin (2016): Short-run fuel price responses: At the pump and on the road. In: *Energy Economics* 58, S. 67–76. DOI: 10.1016/j.eneco.2016.06.013.
- Rouwendal, J.; Vries, F. de (1999): Short term reactions to changes in fuel prices: A panel data analysis. In: *International Journal of Transport Economics* 26, S. 331–350. Online verfügbar unter <https://research.tilburguniversity.edu/en/publications/short-term-reactions-to-changes-in-fuel-prices-a-panel-data-analy>.

- Schulte, Isabella; Heindl, Peter (2017): Price and income elasticities of residential energy demand in Germany. In: *Energy Policy* 102, S. 512–528. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.12.055.
- Sorell, Steve (2007): The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency. Hg. v. UK Energy Research Centre. London. Online verfügbar unter https://ukerc.rl.ac.uk/UCAT/PUBLICATIONS/The_Rebound_Effect_An_Assessment_of_the_Evidence_for_Economy-wide_Energy_Savings_from_Improved_Energy_Efficiency.pdf, zuletzt geprüft am 03.11.2023.
- Statistisches Bundesamt (2023): Verbraucherpreisindex Jahre (61111-0001). Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=tabelleErgebnis&selectionname=61111-0001&startjahr=1991#abreadcrumb>, zuletzt geprüft am 03.11.2023.
- Steiner, Viktor; Cludius, Johanna (2010): Ökosteuer hat zu geringerer Umweltbelastung des Verkehrs beigetragen. Hg. v. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) (DIW Wochenbericht, 13/14).
- Wadud, Zia; Graham, Daniel J.; Noland, Robert B. (2009): Modelling fuel demand for different socio-economic groups. In: *Applied Energy* 86 (12), S. 2740–2749. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.04.011.
- Wadud, Zia; Graham, Daniel J.; Noland, Robert B. (2010): Gasoline Demand with Heterogeneity in Household Responses. In: *The Energy Journal* 31 (1), S. 47–74. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/41323270>.
- Wardman, Mark (2022): Meta-analysis of price elasticities of travel demand in great britain: Update and extension. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 158, S. 1–18. DOI: 10.1016/j.tra.2022.01.020.
- West, Sarah E.; Williams, Robertson C. (2004): Estimates from a consumer demand system: implications for the incidence of environmental taxes. In: *Journal of Environmental Economics and Management* 47 (3), S. 535–558. DOI: 10.1016/j.jeem.2003.11.004.
- Zimmermann, Michel; Greinus, Anne; Peter, Martin (bevorstehend): Übersicht und Analyse von Preis- und Einkommenselastizitäten im Verkehr. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). INFRAS.