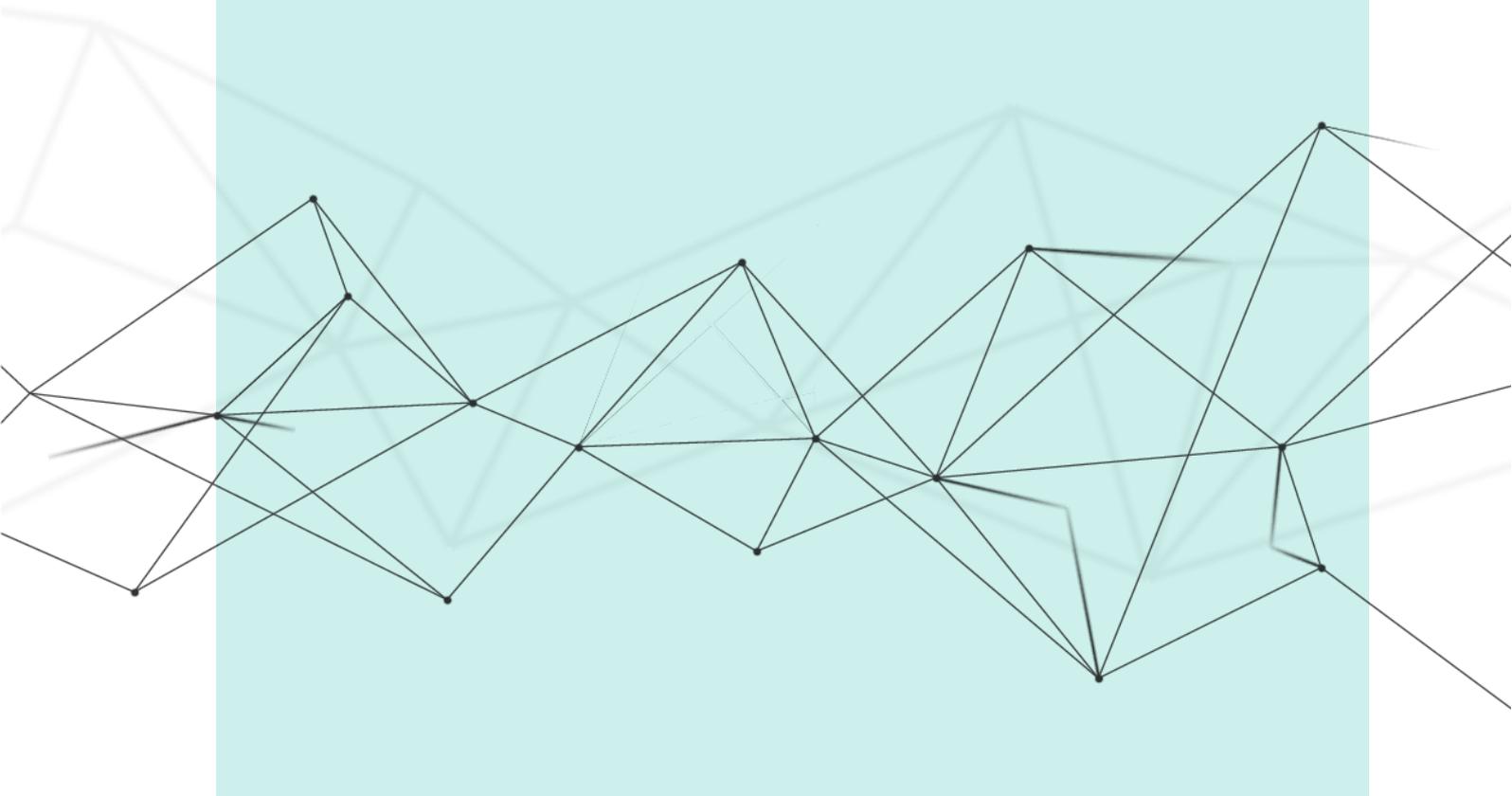




Studie | Februar 2024

Die Rolle von Preissignalen im Verkehrssektor und beim Energieverbrauch





Grundlagen für die
Wirtschaftspolitik

In der Publikationsreihe «Grundlagen für die Wirtschaftspolitik» veröffentlicht das Staatssekretariat für Wirtschaft SECO Studien und Arbeitspapiere, welche wirtschaftspolitische Fragen im weiteren Sinne erörtern.

Herausgeber

Staatssekretariat für Wirtschaft SECO
Holzikofenweg 36, 3003 Bern
Tel. +41 58 469 60 22
wp-sekretariat@seco.admin.ch
www.seco.admin.ch

Online

www.seco.admin.ch/studien

Autoren

Dr. Adhurim Haxhimusa und Prof. Dr. Andreas Nicklisch
Zentrum für wirtschaftspolitische Forschung,
Fachhochschule Graubünden
Comercialstrasse 22, 7000 Chur

Zitierweise

Adhurim Haxhimusa und Andreas Nicklisch (2024):
«Die Rolle von Preissignalen im Verkehrssektor
und beim Energieverbrauch». Grundlagen für die
Wirtschaftspolitik Nr. 46. Staatssekretariat für
Wirtschaft SECO, Bern, Schweiz.

Anmerkungen

Studie im Auftrag des Staatssekretariats für
Wirtschaft SECO.

Der vorliegende Text gibt die Auffassung der Autoren wieder. Diese muss nicht notwendigerweise mit derjenigen des Auftraggebers übereinstimmen.

Die Rolle von Preissignalen im Verkehrssektor und beim Energieverbrauch

Zusammenfassung

Energiepreise sind sehr volatil, unterliegen teilweise aber auch einer strikten staatlichen Reglementierung. Eine Substitution oder ein Verzicht im Verbrauch von Energieträgern ist oft schwierig. Teils ist auch die Preissensitivität der Endverbraucher gering, zumindest in der kurzen Frist. Daher ist die ökonomische Kernannahme, dass steigende Preise den Verbrauch und die Verwendung auch von Energieträgern beeinflussen, empirisch zu überprüfen. Hierzu testen wir den Einfluss der Energiepreise in zwei wichtigen Sektoren der Wirtschaft, dem Treibstoffverbrauch von Autofahrern und dem Energieverbrauch von Unternehmen.

Mit Hinblick auf den Treibstoffverbrauch von Autofahrern analysieren wir einen möglichen Zusammenhang zwischen den Treibstoffpreisen und dem Verkehrsvolumen sowie der Fahrzeuggeschwindigkeit auf Schweizer Autobahnen und Landstrassen. Ferner testen wir, ob die Höhe der Treibstoffpreise den Anteil von Elektro- und Hybridantrieben bei PKW-Neuzulassungen und den Anteil von verbrauchsstarken PKW-Neuzulassungen beeinflussen. Ersterer Anteil betrifft grob gesagt also besonders umweltfreundlichen Mobilitätsoptionen, zweiterer Anteil den der besonders emissionsreichen Mobilitätsoptionen.

Die Schätzungen zeigen, dass höhere Treibstoffpreise das Verkehrsvolumen verringern. Eine 10%-ige Steigerung des Treibstoffpreises verringert das Verkehrsvolumen in der Schweiz um 0.357%. Andererseits erweisen sich die Auswirkungen des Treibstoffpreises auf die Fahrzeuggeschwindigkeit als nicht statistisch signifikant. Die Fahrweise scheint langfristigen Verhaltensmustern zu unterliegen, die sich nicht durch kurzfristige Preisschwankungen beeinflussen lassen.

Mit Hinblick auf die Kaufentscheidungen zeigen die Schätzungen, dass steigende Treibstoffpreise einen positiven Einfluss auf den Anteil Elektro- und Hybridneuzulassungen haben: Wenngleich das absolute Niveau der Neuzulassungen von Elektro- und Hybridfahrzeugen im Beobachtungszeitraum 2010 bis 2019 in der Schweiz mit durchschnittlich 3.2% niedrig war, so erreicht ein 10%-iger Anstieg des Treibstoffpreises rechnerisch einen Anstieg auf rund 3.9% Elektro- und Hybridneuzulassungen. Andererseits sinken die Neuzulassungen von verbrauchsstarken Fahrzeugen im gleichen Zeitraum durch einen 10%-igen Anstieg des Treibstoffpreises rechnerisch von 20.4% auf 20.1%.

Bezüglich des Verhaltens von Schweizer Unternehmen wird der Einfluss der Preise von Energieträgern auf deren Verbrauch untersucht. Wenn Preise als strikt exogen betrachtet werden können, also im Fall des Strompreises für KMUs, findet sich eine niedrige Preiselastizität von -0.18 . Steigt der Strompreis für KMUs um 10%, so sinkt deren Verbrauch um 1.8%. Für Gas deuten die Ergebnisse darauf hin, dass eine niedrige Preiselastizität von -0.099 gegenüber dem Gaspreis der Vorperiode besteht.

Ferner deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Schweizer KMUs Gas und Öl durch Strom substituieren. Die Einsparungsmassnahmen, welche die Unternehmen für ihren Stromverbrauch planen, erweisen sich jedoch als wesentlich preiselastischer: eine Preiserhöhung des Stroms von 1% führt zu einer Erhöhung der Einsparungsmassnahmen von knapp 1.7%.

Le rôle des signaux de prix dans le secteur des transports et de la consommation d'énergie

Résumé

Les prix de l'énergie sont très volatils, mais ils sont parfois soumis à une réglementation stricte de la part des pouvoirs publics. Il est souvent difficile de substituer ou de renoncer à la consommation de sources d'énergie. La sensibilité des consommateurs aux prix est parfois faible, du moins à court terme. Il convient donc de vérifier empiriquement l'hypothèse économique centrale selon laquelle la hausse des prix influence la consommation et l'utilisation des sources d'énergie. Pour ce faire, nous testons l'influence des prix de l'énergie dans deux secteurs importants de l'économie, la consommation de carburant des automobilistes et la consommation d'énergie des entreprises.

En ce qui concerne la consommation de carburant des automobilistes, nous analysons une éventuelle relation entre les prix des carburants et le volume du trafic ainsi que la vitesse des véhicules sur les autoroutes et les routes nationales suisses. De plus, nous vérifions si le niveau des prix des carburants influence la part des voitures électriques et hybrides dans les nouvelles immatriculations, ainsi que celle de voitures à forte consommation. En résumé, la première partie concerne les options de mobilité respectueuses de l'environnement, tandis que la seconde partie concerne les options de mobilité particulièrement émettrices.

Les estimations montrent qu'une augmentation du prix des carburants réduit le volume du trafic. Une augmentation de 10 % du prix du carburant réduit le volume du trafic en Suisse de 0,357 %. D'autre part, l'impact du prix du carburant sur la vitesse des véhicules ne s'avère pas statistiquement significatif. La conduite semble être soumise à des modèles de comportement à long terme qui ne peuvent pas être influencés par des fluctuations de prix à court terme.

En ce qui concerne les décisions d'achat, les estimations montrent que l'augmentation du prix des carburants a une influence positive sur la part des nouvelles immatriculations de véhicules électriques ou hybrides : Bien que le niveau absolu des nouvelles immatriculations de véhicules électriques ou hybrides était faible en Suisse durant la période d'observation 2010-2019, avec une moyenne de 3,2 %, une augmentation de 10 % du prix du carburant atteint une augmentation d'environ 3,9 % de nouvelles immatriculations de véhicules électriques ou hybrides. D'autre part, les nouvelles immatriculations de véhicules à forte consommation diminuent mathématiquement de 20,4 % à 20,1 % durant la même période en raison d'une augmentation de 10 % du prix du carburant.

En ce qui concerne le comportement des entreprises suisses, l'influence du prix des agents énergétiques sur leur consommation est étudiée. Lorsque les prix peuvent être considérés comme strictement exogènes, c'est-à-dire dans le cas du prix de l'électricité pour les PME, on trouve une faible élasticité-prix de -0.18. Si le prix de l'électricité pour les PME augmente de 10 %, leur consommation diminue de 1,8 %. Pour le gaz, les résultats indiquent qu'il existe une faible élasticité-prix de -0,099 par rapport au prix du gaz de la période précédente.

En outre, les résultats indiquent que les PME suisses remplacent le gaz et le pétrole par l'électricité. Cependant, les mesures d'économie que les entreprises prévoient pour leur consommation d'électricité s'avèrent beaucoup plus élastiques aux prix : une augmentation du prix de l'électricité de 1 % entraîne une augmentation des mesures d'économie de près de 1,7 %.

Il ruolo dei segnali di prezzo nel settore dei trasporti e del consumo

Riassunto

I prezzi dell'energia sono molto volatili, ma in alcuni casi sono anche soggetti a una rigida regolamentazione statale. Spesso è difficile sostituire le fonti energetiche o evitare di utilizzarle. In alcuni casi, anche la sensibilità al prezzo dei consumatori finali è bassa, almeno nel breve periodo. Pertanto, l'ipotesi economica di base secondo cui l'aumento dei prezzi influenza anche il consumo e l'uso delle fonti energetiche deve essere testata empiricamente. A tal fine, verifichiamo l'influenza dei prezzi dell'energia in due importanti settori dell'economia, il consumo di carburante degli automobilisti e il consumo energetico delle imprese.

Per quanto riguarda il consumo di carburante degli automobilisti, analizziamo una possibile correlazione tra i prezzi del carburante, il volume del traffico e la velocità dei veicoli sulle autostrade svizzere e sulle strade extraurbane. Verifichiamo inoltre se il livello dei prezzi del carburante influisce sulla quota di motori elettrici e ibridi nelle immatricolazioni di nuove auto e sulla quota di immatricolazioni di nuove auto ad alto consumo. In linea di massima, la prima quota si riferisce a opzioni di mobilità particolarmente ecologiche, mentre la seconda a opzioni di mobilità ad alte emissioni.

Le stime mostrano che l'aumento del prezzo del carburante riduce il volume del traffico. Un aumento del 10% del prezzo del carburante riduce il volume del traffico in Svizzera dello 0,357%. D'altra parte, l'impatto del prezzo del carburante sulla velocità dei veicoli non è statisticamente significativo. Lo stile di guida sembra essere soggetto a modelli comportamentali a lungo termine che non possono essere influenzati da fluttuazioni di prezzo a breve termine.

Per quanto riguarda le decisioni di acquisto, le stime mostrano che l'aumento dei prezzi del carburante ha un impatto positivo sulla percentuale di nuove immatricolazioni di veicoli elettrici e ibridi: Sebbene il livello assoluto di nuove immatricolazioni di veicoli elettrici e ibridi in Svizzera nel periodo di osservazione 2010-2019 sia stato basso, con una media del 3,2%, un aumento del 10% del prezzo del carburante comporterebbe un aumento calcolato delle nuove immatricolazioni di veicoli elettrici e ibridi di circa il 3,9%. D'altro canto, le nuove immatricolazioni di veicoli ad alto consumo scendono dal 20,4% al 20,1% nello stesso periodo a causa di un aumento del 10% del prezzo del carburante.

Per quanto riguarda il comportamento delle imprese svizzere, viene esaminata l'influenza dei prezzi delle fonti energetiche sui loro consumi. Se i prezzi possono essere considerati strettamente esogeni, cioè nel caso del prezzo dell'elettricità per le PMI, si riscontra una bassa elasticità al prezzo, pari a -0,18. Se il prezzo dell'elettricità per le PMI aumenta del 10%, il loro consumo diminuisce dell'1,8%. Per il gas, i risultati indicano una bassa elasticità al prezzo, pari a -0,099 rispetto al prezzo del gas nel periodo precedente.

I risultati indicano anche che le PMI svizzere sostituiscono il gas e il petrolio con l'elettricità. Tuttavia, le misure di risparmio che le aziende stanno pianificando per il loro consumo di elettricità si dimostrano molto più elastiche rispetto al prezzo: un aumento dell'1% del prezzo dell'elettricità porta a un aumento delle misure di risparmio di poco meno dell'1,7%.

The role of price signals in the transport sector and energy consumption

Summary

Energy prices are very volatile but are also subject to strict state regulation in some cases. It is often difficult to substitute energy sources or to avoid using them. In some cases, the price sensitivity of end consumers is also low, at least in the short term. Therefore, the core economic assumption that rising prices also influence the consumption and use of energy sources needs to be tested empirically. To this end, we test the influence of energy prices in two important sectors of the economy: the fuel consumption of car drivers and the energy consumption of companies.

With regard to the fuel consumption of car drivers, we analyze a possible correlation between fuel prices and the volume of traffic and vehicle speed on Swiss highways and country roads. We also test whether the level of fuel prices influences the share of electric and hybrid drives in new car registrations and the share of high-consumption new car registrations. Roughly speaking, the former share relates to particularly environmentally friendly mobility options, while the latter share relates to particularly high-emission mobility options.

The estimates show that higher fuel prices reduce the volume of traffic. A 10% increase in the price of fuel reduces the volume of traffic in Switzerland by 0.357%. On the other hand, the impact of fuel prices on vehicle speed is not statistically significant. Driving style appears to be subject to long-term behavioral patterns that cannot be influenced by short-term price fluctuations.

With regard to purchasing decisions, the estimates show that rising fuel prices have a positive impact on the proportion of new electric and hybrid registrations: Although the absolute level of new registrations of electric and hybrid vehicles in Switzerland in the observation period 2010 to 2019 was low at an average of 3.2%, a 10% increase in the fuel price would result in a calculated increase in new electric and hybrid registrations of around 3.9%. On the other hand, new registrations of high-consumption vehicles fall from 20.4% to 20.1% in the same period due to a 10% increase in the fuel price.

With regard to the behavior of Swiss companies, the influence of the prices of energy sources on their consumption is examined. If prices can be regarded as strictly exogenous, i.e. in the case of the electricity price for SMEs, a low price elasticity of -0.18 is found. If the electricity price for SMEs rises by 10%, their consumption falls by 1.8%. For gas, the results indicate that there is a low price elasticity of -0.099 compared to the gas price in the previous period.

The results also indicate that Swiss SMEs substitute gas and oil with electricity. However, the savings measures that companies plan for their electricity consumption prove to be much more price-elastic: a 1% increase in the price of electricity leads to an increase in savings measures of just under 1.7%.

Inhalt

1	Ausgangslage und Fragestellungen.....	1
2	Arbeitspaket 1: Treibstoffkosten als Schlüsselfaktor für umweltfreundliche Mobilität	2
2.1	Einführung und Forschungsfragen.....	2
2.2	Beschreibung der Daten und deskriptive Statistik.....	4
2.2.1	Beschreibung der Daten: Forschungsfrage 1a.....	4
2.2.2	Beschreibung der Daten: Forschungsfrage 1b.....	7
2.2.3	Beschreibung der Daten: Forschungsfrage 1c.....	8
2.3	Methode	10
2.3.1	Methode: Forschungsfrage 1a	10
2.3.2	Methode: Forschungsfrage 1b	11
2.3.3	Methode: Forschungsfrage 1c.....	12
2.4	Ergebnisse	14
2.4.1	Ergebnisse: Forschungsfrage 1a	14
2.4.2	Ergebnisse: Forschungsfrage 1b	16
2.4.3	Ergebnisse: Forschungsfrage 1c.....	18
2.5	Zusammenfassung.....	21
2.6	Literaturverzeichnis	23
3	Arbeitspaket 2: Preise, Verbrauchsmengen und Einsparungsmassnahmen von Energieträgern.....	25
3.1	Einführung und Forschungsfragen.....	25
3.2	Daten.....	25
3.3	Analyse des KMU-Datensatzes	27
3.3.1	Überblick	27
3.3.2	Modelle.....	29
3.3.3	Ergebnisse	30
3.3.4	Zusammenfassung.....	35
3.4	Analyse des Grossunternehmens-Datensatzes.....	36
3.4.1	Überblick	36
3.4.2	Modelle.....	38
3.4.3	Ergebnisse	39
3.4.4	Zusammenfassung.....	43

3.5	Literaturverzeichnis	44
4	Anhang	45
4.1	Anhang AP1	45
4.2	Anhang AP2	56

1 Ausgangslage und Fragestellungen

Die Ereignisse des Frühjahres 2022 haben erhebliche Ängste hinsichtlich der Versorgungssicherheit von Energie in der Schweiz geschaffen. Da im Winter 2022/23 eine hohe Unklarheit bezüglich ausreichender Gasreserven und der Verfügbarkeit der Atomkraftwerke bestand, bereiteten Bürger, die Verwaltung und Unternehmen sich auf mögliche Strommangellagen vor. Dabei zeigte sich, dass zur langfristigen Resilienz der nationalen Wirtschaft und Stärkung der heimischen Wohlfahrt eine effiziente und nachhaltige Energienutzung von hoher Relevanz ist. Höhere Energiepreise sollten in einer tieferen Nachfrage nach Energie münden. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie stark die Preisschwankungen auf dem heimischen Energiemarkt wirken. Mit der vorliegenden Studie untersucht das Projektteam des Zentrums für wirtschaftspolitischen Forschung der Fachhochschule Graubünden wichtige Teilaspekte dieser Frage: Es wird analysiert, wie Preissignale auf dem Energiemarkt für die nachgelagerten nationalen Märkte wirken, und welchen Einfluss Regulierungen, privatrechtliche Vereinbarungen und ausserordentliche Ereignisse (etwa die Corona-Pandemie) hierauf haben.

Hierbei wenden wir uns besonders zwei Teilaspekten dieser Fragestellung zu. Im Arbeitspaket 1 fragen wir, ob Veränderungen der Treibstoffpreise Art und Umfang des privaten Autoverkehrs (Anzahl der Fahrzeuge, Fahrzeuggeschwindigkeit, Art der Neuzulassungen) verändern. Im Arbeitspaket 2 beschäftigen wir uns mit dem Einfluss von Energiepreisen auf den Energieverbrauch von Unternehmen. Ferner wollen wir klären, ob steigende Preise zu verstärkten Anstrengungen zum Energiesparen seitens der Unternehmen führen.

Die Ergebnisse beider Arbeitspakete zeigen die Bedeutung der Preissignale für den Energiemarkt. Dabei dienen Preise Bürgern und Unternehmen nicht nur als Informationsquelle über Knappheit von Energieträgern, sondern lösen auch wichtige Entscheidungen über die Verwendung der Energieträger aus. Durch Preisveränderungen werden Informationen über Knappheit und Präferenzen allen Marktteilnehmern schnell und wahrheitsgemäss übermittelt und eine effiziente und nutzenmaximierende Ressourcenverwendung in einer Volkswirtschaft gewährleistet. Ein Eingriff staatlicherseits (etwa in Form von Subventionen) verzerrt die Informationsfunktion und sollte gut überlegt sein.

2 Arbeitspaket 1: Treibstoffkosten als Schlüsselfaktor für umweltfreundliche Mobilität

2.1 Einführung und Forschungsfragen

Technologischer Fortschritt und verbesserte Mobilität werden als zentrale Faktoren für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung in dem Verkehrssektor betrachtet. Moderne Volkswirtschaften streben danach, die positiven Seiten der Mobilität effektiv zu nutzen und gleichzeitig die negativen Externalitäten zu minimieren. Hierdurch werden die Bedingungen für eine nachhaltige Mobilität und Wirtschaftswachstum geschaffen.

Die massiven Investitionen in Infrastruktur wie Strassen, Schienen und den öffentlichen Verkehr verdeutlichen, wie sehr moderne Gesellschaften auf flexible und schnelle Transportmittel angewiesen sind. Selbst für bereits stark motorisierte Nationen wie die Schweiz, Deutschland und Österreich, findet man in der letzten Dekade eine Zunahme des Motorisierungsgrads. Unsere Auswertungen zeigen, dass im Zeitraum von 2010 bis 2019 die Schweiz einen Anstieg des Motorisierungsgrades um 24 Fahrzeuge pro tausend EinwohnerInnen (+5%) verzeichnete. In Deutschland stieg der Motorisierungsgrad in diesem Zeitraum um 55 Fahrzeuge (+11%), während in Österreich zwischen 2012 und 2019 ein Zuwachs von 23 Fahrzeugen pro tausend EinwohnerInnen (+4%) verzeichnet wurde. Mit dem Anstieg des Motorisierungsgrades und des Bevölkerungswachstums hat auch das Verkehrsvolumen in diesen Ländern zugenommen. In der Schweiz stieg dieses zwischen 2010 und 2019 um zirka 8%, in Deutschland um 4%, und in Österreich um 21% an (vgl. Abb. 1.1 im Abschnitt 2.1).

Trotz der zahlreichen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Vorteile, die mit einer fortschreitenden Mobilität einhergehen, ist die Entwicklung der Mobilität noch weitestgehend mit einer hohen Energieintensität und der Verwendung von fossilen Brennstoffen verbunden. Der Verkehrssektor verbrauchte im Jahr 2022 etwa 224.4 Petajoule oder 32% der Gesamtenergiemenge in der Schweiz (BFE, 2023). Darüber hinaus trägt der Strassenpersonenverkehr laut BFE (2023) mit 68% oder 152.59 Petajoule zum Energieverbrauch im Verkehrssektor bei. Aktuell werden über 97.5% der Fahrzeuge in der Schweiz von Verbrennungsmotoren angetrieben. Schädliche Gase wie CO₂ und Schadstoffe werden freigesetzt und tragen zur Luftverschmutzung und der Klimaerwärmung bei. Darüber hinaus führt der zunehmende Verkehr zu einem höheren Bedarf an Infrastruktur. Eine vollständige Internalisierung der externen Kosten wäre aus ökonomischer Sicht wünschenswert, da dadurch der Verbrauch der Energie im sozialen Optimum zu liegen käme. Die Annahme dahinter ist, dass bei höheren Energiepreisen der Konsum zurückgeht. Die hohe Energie- und Emissionsintensität des Strassenpersonenverkehrs und sein beträchtlicher Anteil am Gesamtenergieverbrauch in der Schweiz unterstreichen die Relevanz, die Zusammenhänge dieses Sektors genauer zu untersuchen. Die Zusammenhänge zwischen Treibstoffpreisen, Verkehrsvolumen und der gefahrenen Geschwindigkeit der Fahrzeuge, sowie der Nachfrage nach neuen Fahrzeugen sind von Bedeutung für ein Verständnis der Strassenverkehrsdynamiken und die Entwicklung einer nachhaltigen Energie- und Mobilitätspolitik.

Die vorliegenden Daten zeigen, dass die Treibstoffpreise (d.h. Diesel und Benzin) in der Schweiz im Zeitraum von 2010 bis 2019 zwischen 1.40 und 2.00 CHF pro Liter schwankten. Das stellt eine Variation von über 40% dar. Zudem sieht man in der Abb. 1.2, dass die Treibstoffpreise in der Schweiz höher als in Deutschland und Österreich sind, wenngleich sie ähnliche Trends aufzeigen. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass Treibstoffpreise stark von globalen Entwicklungen auf den Energiemärkten beeinflusst werden, während Preisdifferenzen in diesen Ländern sich unter anderem auf unterschiedliche Steuersätze zurückführen lassen.

Ökonomen argumentieren, dass steigende Treibstoffpreise aufgrund der Preiselastizität der Treibstoffnachfrage den Treibstoffverbrauch beeinflussen sollten (Busse, et al., 2013). Einerseits wird erwartet, dass bei steigenden Treibstoffpreisen die nachgefragte Menge an Treibstoffen zurückgehen wird, da die Haushalte weniger Auto fahren. Andererseits möchten weniger Menschen ein Fahrzeug kaufen (Hamilton, 1988) oder bevorzugen Fahrzeuge mit kleinerem Treibstoffverbrauch (Givord, et al., 2018; Langer & Miller, 2013; Busse, et al., 2013; Kilian & Sims, 2006; Bresnahan & Ramey, 1993; Klier & Linn, 2010; Li, et al., 2009). Hamilton (1988) argumentiert, dass ein Anstieg der Treibstoffpreise die Kaufkraft der Haushalte mindert, was wiederum zu einer Verzögerung der Fahrzeugkaufentscheidung führt. So behalten Haushalte ihr altes und ineffizientes Auto für einen längeren Zeitraum. Kilian & Sims (2006) identifizieren zudem einen asymmetrischen Effekt des Treibstoffpreises auf die Fahrzeugpreise. Sie argumentieren, dass der Einfluss von steigenden Treibstoffpreisen stärker ausgeprägt ist als der Einfluss von gesunkenen Treibstoffpreisen. Studien liefern weitere Belege dafür, dass der Treibstoffpreis einen signifikanten Einfluss auf das Fahrverhalten hat, was sich auf die gefahrenen Kilometer, die Treibstoffkosten, das Verkehrsvolumen und die Geschwindigkeit auswirkt (Naqvi, et al., 2023; Donna, 2021; Levin, et al., 2017; Gillingham, 2014; CBO, 2008).

Diese Studie analysiert die Verkehrsdaten von insgesamt 2'194 Messstationen in der Schweiz, Deutschland und Österreich für den Zeitraum von 2010 bis 2019. Zusätzlich werden Informationen zur durchschnittlichen Geschwindigkeit von 413 Messstationen in der Schweiz zwischen Juni 2021 und August 2023 berücksichtigt. Des Weiteren werden Daten zu den neu zugelassenen Fahrzeugen, differenziert nach Treibstoffart und Leistung (in kW), auf Kantons- bzw. Bundeslandebene in der Schweiz und Deutschland sowie auf nationaler Ebene in Österreich genutzt.

Ziel des ersten Arbeitspakets dieser Studie ist es, die Auswirkungen der Treibstoffpreise auf das Verhalten der Autofahrer zu untersuchen. Diesbezüglich untersuchen wir die folgenden Forschungsfragen:

(1a) Wie beeinflussen die Treibstoffpreise das Verkehrsvolumen auf den Autobahnen und Landstrassen der Schweiz und wie unterscheidet sich dieser Effekt im Vergleich zu Österreich und Deutschland?

(1b) Welchen Einfluss hat der Treibstoffpreis auf die Fahrzeuggeschwindigkeiten auf den Autobahnen und Landstrassen in der Schweiz?

Ein weiteres Ziel unserer Studie ist es, zu untersuchen, inwieweit der Treibstoffpreis entscheidend für die Fahrzeugwahl ist. Daher lauten die folgenden Forschungsfragen:

(1c-1) Welchen Einfluss hat der Treibstoffpreis auf den Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen an den gesamten Neuzulassungen in der Schweiz, Österreich und Deutschland, und wie gross sind die Unterschiede zwischen diesen Ländern?

(1c-2) Welchen Einfluss hat der Treibstoffpreis auf den Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen in der Schweiz, Österreich und Deutschland, und wie gross sind die Unterschiede zwischen diesen Ländern?

2.2 Beschreibung der Daten und deskriptive Statistik

Unsere Variablen mit unterschiedlicher Granularität stammen aus verschiedenen Quellen aus der Schweiz, Deutschland und Österreich. Die Granularität der Rohdaten umfasst stündliche, monatliche und jährliche Angaben. Die meisten Daten stammen von den Statistikämtern der jeweiligen Länder (BFS, DESTATIS und Statistik Austria) sowie von anderen Quellen wie Eurostat, OECD und der SNB. Tabelle A1.1 im Anhang zeigt eine detaillierte Beschreibung der Variablen, die in unsere Modelle einfließen.

Im nächsten Schritt beschreiben wir die Daten und geben deskriptive Statistiken der Daten für die vier Forschungsfragen an. Wir führen die deskriptive Statistik in separaten Tabellen ein, weil die geographische und zeitliche Granularität der Daten unterschiedlich ist.

2.2.1 Beschreibung der Daten: Forschungsfrage 1a

Wie beeinflussen die Treibstoffpreise das Verkehrsvolumen auf den Autobahnen und Landstrassen der Schweiz und wie unterscheidet sich dieser Effekt im Vergleich zu Österreich und Deutschland?

Die Verkehrsvolumendaten werden von sämtlichen Messstationen in der Schweiz, Deutschland und Österreich in die Untersuchung einbezogen. Diese Informationen bilden eine wichtige Grundlage für die Analyse der Verkehrsdynamiken in den betrachteten Regionen. Wir haben stündliche Verkehrsvolumendaten pro Messstation für die Jahre 2010 bis 2019 in der Schweiz und Deutschland erhalten, sowie wöchentliche Verkehrsvolumendaten pro Messstation für den Zeitraum von 2012 bis 2019 in Österreich.¹ Dabei handelt es sich um die Anzahl der Fahrzeuge, die innerhalb einer bestimmten Stunde an einer spezifischen Messstation erfasst wurden. Anschliessend aggregieren wir die stündlichen Verkehrsvolumendaten auf wöchentlicher Ebene pro Messstation (s) über die Gesamtanzahl der Stunden (h) (24 Stunden pro Tag über 7 Tage, was 168 Stunden ergibt) pro Woche (w) ($Verkehrsvolumen_{w,s} = \sum_{h=1}^{168} Verkehrsvolumen_{h,s}$). Zusätzlich zu den Verkehrsvolumendaten stellen die

¹ Obwohl die meisten Daten für die Jahre 2020, 2021 und 2022 verfügbar sind, verzichten wir auf die Verwendung von Daten ab 2020 in unserer Analyse, da die Modellierung der Pandemieeffekte ab diesem Zeitpunkt herausfordernd ist.

Datenlieferanten (ASTRA, BAST, ASFINAG) eine Variable für Feiertage für jede Messstation bereit, die wir als Kontrollvariable in unseren Modellen verwenden. Da wir leider keine Informationen haben, ob sich die schweizerischen Messstellen an Landstrassen oder Autobahnen befinden, ist eine getrennte Untersuchung für beide Arten von Messstellen nicht möglich.

In dieser Studie verwenden wir ähnliche Daten wie Donna (2021) aus Chicago sowie CBO (2008) aus kalifornischen Städten. Wir untersuchen, wie sich das Verkehrsvolumen pro Messstation auf die Änderungen der Treibstoffpreise reagieren. Man erwartet für steigende Treibstoffpreise ein sinkendes Verkehrsvolumen, weil die Haushalte weniger Auto fahren.

Tabelle 1.1 zeigt die deskriptive Statistik (d.h. Mittelwert, Std. Abw., Min, und Max.) der verwendeten Variablen. Wir verwenden die wöchentlichen Verkehrsvolumen von insgesamt 2'194 Messstellen in der Schweiz (403), Deutschland (1590) für den Zeitraum von 2010 bis 2019 sowie in Österreich (201) für den Zeitraum von 2012 bis 2019².

Tabelle 1.1 Deskriptive Statistik - Forschungsfrage 1a

Variable	Mittelwert	Std. Abw.	Min	Max
Verkehrsvolumen (Anzahl Fahrzeuge)	184'415	170'755	329	1'088'499
Treibstoffpreis in CHF/Liter	1.63	0.22	1.14	1.99
Bestand von Fahrzeugen pro 1'000 Einwohner	520	58	277	569
BIP pro Kopf in 1'000 CHF	49.93	14.73	37.50	83.90

Notiz: Der Anzahl der Beobachtungen ist 931'180.

Die Min und Max zeigen, dass das Verkehrsvolumen zwischen den Messstationen stark variiert. Zum Beispiel weist eine Messstation an einem Autobahnknotenpunkt mit 8 Fahrstreifen ein deutlich höheres Verkehrsaufkommen auf im Vergleich zu einer anderen Station an einer Landstrasse. Um einen übersichtlichen Vergleich der Verkehrsentwicklung in den drei Ländern zu ermöglichen, berechnen wir das durchschnittliche Verkehrsvolumen pro Jahr. Hierbei fließen nur Daten von Stationen ein, die über die gesamte Untersuchungsperiode verfügbar sind und keine Lücken in den Daten aufweisen. Wir setzen das Jahr 2015 als Basisjahr und erstellen einen Verkehrsvolumenindex. Abb. 1.1 zeigt den Verkehrsvolumenindex von 2010 bis 2019. In diesem Zeitraum stieg das Verkehrsvolumen in der Schweiz um rund 8.5% und in Deutschland um 13%, während es in Österreich zwischen 2012 und 2019 um zirka 17.5% zunahm.

Wir nutzen monatliche Preisdaten für Diesel und Benzin aus der Schweiz, Deutschland und Österreich. Es sind keine wöchentlichen und geografisch differenzierten Diesel- und Benzinpreise aus diesen Ländern verfügbar. Unsere Treibstoffpreisvariable ist ein gewichteter Durchschnitt, der auf dem Bestand an Diesel- und Benzinfahrzeugen basiert, da beide Preise stark miteinander korrelieren. Die Daten stammen von BFS (LIK-Daten), DESTATIS und Statistik Austria (siehe Tabelle A1.1). Für die Untersuchung dieser Forschungsfrage sind die

² Es ist wichtig zu erwähnen, dass im Laufe der Zeit die Anzahl der Messstationen zugenommen hat. Zusätzlich wurden für bestimmte Messstationen Daten nur bis zu einem bestimmten Zeitpunkt erfasst, was bedeutet, dass wir mit einem unbalancierten Paneldatensatz mit insgesamt 931'180 Beobachtungen arbeiten. Ein balanciertes Paneldatensatz hätte 1'140'880 Beobachtungen ($2'194 \text{ Messstellen} \cdot 52 \text{ Wochen} \cdot 10 \text{ Jahre} = 1'140'880$)

monatlichen Treibstoffpreise mit den wöchentlichen Daten pro Messstation in den jeweiligen Ländern verknüpft.

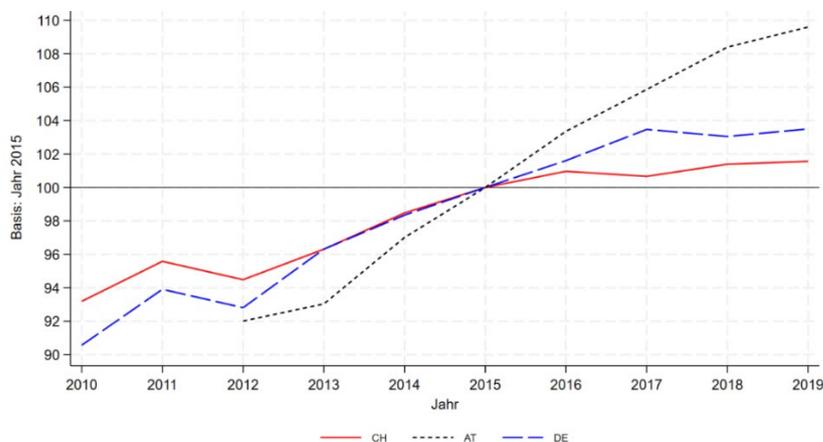


Abb. 1.1. Die Entwicklung des Verkehrsvolumenindex pro Land zwischen 2010 und 2019 mit Basisjahr 2015

Tabelle 1.1. zeigt einen minimalen monatlichen Treibstoffpreis von 1.14 CHF/Liter und einen maximalen Treibstoffpreis von 1.99 CHF/Liter. Abbildung 1.2. zeigt die jährliche Entwicklung des Treibstoffpreises in der Schweiz (CHF), Deutschland (€) und Österreich (€) von 2010 bis 2019. Abbildung 1.2. erfasst ausschliesslich die Treibstoffpreise in den jeweiligen Währungen der drei Länder, um die Auswirkungen von Wechselkursen zu isolieren. Dadurch erhalten wir einen Überblick über die Preisentwicklungen in jedem Land und können diese miteinander vergleichen. Im Jahr 2012 beobachten wir allgemein hohe Preise und im Jahr 2016 niedrige Preise in allen drei Ländern. Die Muster der Treibstoffpreise in den drei Ländern sind sehr ähnlich, da sie von ähnlichen globalen Faktoren beeinflusst werden. Beispielsweise, bestimmt der Weltmarkt für Rohöl massgeblich die Treibstoffpreise. Schwankungen im globalen Ölmarkt aufgrund von Angebot und Nachfrage und von geopolitischen Ereignissen führen zu ähnlichen Preisbewegungen in verschiedenen Ländern. Die Diskrepanzen in den Treibstoffpreisen lassen sich u.a. auf unterschiedliche Steuer- und Abgabensätze sowie Transportkosten und die Marktsituation zurückführen.



Abb. 1.2. Die Entwicklung des Treibstoffpreises pro Land zwischen 2010 und 2019

2.2.2 Beschreibung der Daten: Forschungsfrage 1b

Welchen Einfluss hat der Treibstoffpreis auf die Fahrzeuggeschwindigkeiten auf den Autobahnen und Landstrassen in der Schweiz?

Wir verwenden Daten zur wöchentlichen durchschnittlichen Geschwindigkeit der Fahrzeuge für 431 Messstationen, die auf Autobahnen und Landstrassen in der Schweiz von Juni 2021 bis August 2023 Daten erfassen. Für Deutschland und Österreich liegen in dieser Betrachtung keine Daten vor.

CBO (2008) verwendet ähnliche Daten aus kalifornischen Städten. Wie oben untersuchen wir mit dieser Variable einen anderen Indikator des Verhaltens der Autofahrer, nämlich die Geschwindigkeit der Fahrzeuge. Grundsätzlich gilt, je höher die Geschwindigkeit, desto mehr Treibstoff wird für eine bestimmte Strecke verbraucht. Dies liegt daran, dass bei höheren Geschwindigkeiten der Luftwiderstand zunimmt, was einen erhöhten Energiebedarf zur Folge hat. Darüber hinaus kann eine hohe Geschwindigkeit auch zu einem ineffizienteren Betriebszustand des Motors führen, was den Treibstoffverbrauch weiter erhöht.

Tabelle 1.2 Deskriptive Statistik - Forschungsfrage 1b

Variable	Mittelwert	Std. Abw.	Min	Max
Geschwindigkeit in km/h	86	23	35	126
Treibstoffpreis in CHF/Liter	1.96	0.15	1.72	2.33
Verkehrsvolumen (Anzahl Fahrzeuge)	208'317	171'504	200	877'745

Notiz: Der Anzahl der Beobachtungen ist 35,004.

Die Bandbreite der Geschwindigkeiten in der Tabelle 1.2 variiert zwischen 35 und 126 km/h. Da die Messstationen sowohl an Autobahnen als auch an Landstrassen installiert sind, lässt sich die Diskrepanz erklären. Dies ist auf die unterschiedlichen Verkehrsbedingungen und Geschwindigkeitsbegrenzungen auf diesen Strassentypen zurückzuführen. Eine Unterscheidung dieser beiden Strassentypen ist anhand der verfügbaren Daten leider nicht möglich.

Der monatlicher Treibstoffpreis liegt zwischen 1.72 CHF und 2.33 CHF. Wie bereits erwähnt, stammen die Geschwindigkeitsdaten aus dem Zeitraum von Juni 2021 bis August 2023. Daher lassen sich die Unterschiede in den Treibstoffpreisen und Verkehrsvolumen in Tabelle 1.1 und Tabelle 1.2 erklären. Wie schon bei Forschungsfrage 1a treten auch bei Forschungsfrage 1b an einigen Messstationen fehlende Werte für die Geschwindigkeitsdaten auf.

2.2.3 Beschreibung der Daten: Forschungsfrage 1c

(1c-1) Welchen Einfluss hat der Treibstoffpreis auf den Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen an den gesamten Neuzulassungen in der Schweiz, Österreich und Deutschland, und wie gross sind die Unterschiede zwischen diesen Ländern?
(1c-2) Welchen Einfluss hat der Treibstoffpreis auf den Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen in der Schweiz, Österreich und Deutschland, und wie gross sind die Unterschiede zwischen diesen Ländern?

Für diese Forschungsfrage verwenden wir zwei unterschiedliche abhängige Variablen:

- a) Anteil von Elektro- und Hybrid-Neuzulassungen an den gesamten Neuzulassungen.

Wir verwenden jährliche Daten über den Elektro und Hybrid-Neuzulassungen an den gesamten Neuzulassungen in den Kantonen der Schweiz, den Bundesländern Deutschlands und auf nationaler Ebene in Österreich zwischen 2010 und 2019. Mit dieser Variable möchten wir untersuchen, inwieweit der Treibstoffpreis den Anteil von Neuzulassungen von Elektro- und Hybridfahrzeugen beeinflusst. Elektro- und Hybridfahrzeuge sind in der Regel effizienter als herkömmliche Benzin- und Dieselfahrzeuge. Sie nutzen Elektrizität oder eine Kombination aus Elektrizität und konventionellem Kraftstoff, was zu einem geringeren Verbrauch führt und oft zu niedrigeren Emissionen von Treibhausgasen.

Tabelle 1.3 Deskriptive Statistik

Variable	Mittelwert	Std. Abw.	Min	Max
Anteil Elektro und Hybrid	0.032	0.024	0.003	0.125
Anteil Fahrzeuge über 130kW	0.204	0.060	0.099	0.393
Treibstoffpreis in CHF/Liter	1.66	0.17	1.19	1.88
BIP pro Kopf in 1'000 CHF	76.71	35.62	31.83	236.08
EPS (Environmental Policy Stringency)	3.84	0.41	2.94	4.42

Notiz: Die Anzahl der Beobachtungen ist 430. Wir nutzen Daten von 26 Kantonen in der Schweiz, 16 deutschen Bundesländern und Österreich auf nationaler Ebene über einen Zeitraum von 10 Jahren.

Tabelle 1.3 zeigt einen sehr niedrigen Anteil von Neuzulassungen von Elektro- und Hybridfahrzeugen in den Kantonen der Schweiz sowie in Österreich und den Bundesländern Deutschlands. Abbildung 1.3 zeigt die Entwicklung der jährlichen Anteile, die auf nationaler Ebene für die drei Länder aggregiert wurden. Es lassen sich keine signifikanten Unterschiede in den Anteilen und deren Entwicklung zwischen den drei Ländern feststellen. Der Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen lag im Jahr 2010 durchschnittlich bei weniger als 2% und stieg bis 2019 auf durchschnittlich 8 bis 9% pro Land an. Der Höchstwert in Tabelle 1.3 bezieht sich auf die kantonalen Daten, während Abbildung 1.3 den Jahresdurchschnitt pro Land darstellt. Die Daten für das BIP pro Kopf haben wir pro Kanton bzw. Bundesland und Jahr erhalten. Der EPS-Index ist eine länderspezifische und international vergleichbare Massnahme für die Stringenz der Umweltpolitik. Stringenz wird definiert als das Ausmass, in dem Umweltpolitiken einen expliziten oder impliziten Preis für verschmutzendes oder umweltschädliches Verhalten festlegen. Dieser liegt zwischen 2.94 und 4.42. Im vorliegenden Fall ermöglicht dies uns zu kontrollieren, inwieweit Verbrennungsmotoren politischem Druck ausgesetzt sind und inwiefern Hybrid- und Elektrofahrzeuge bevorzugt werden.

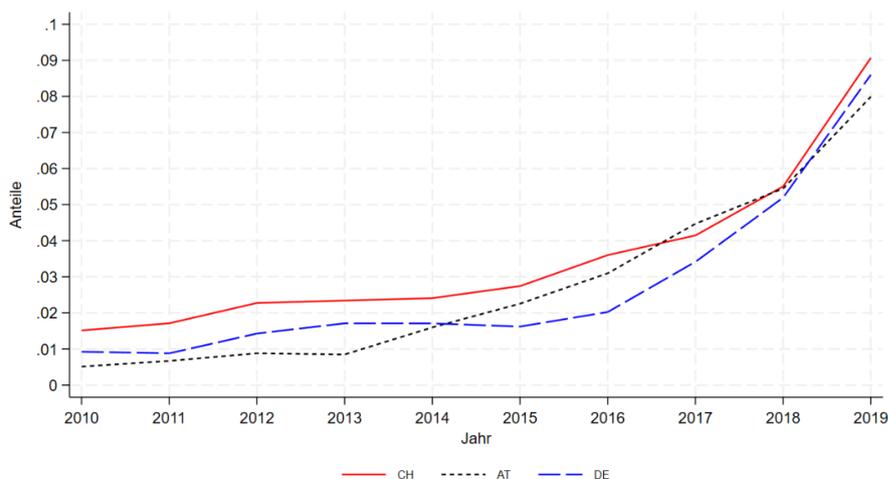
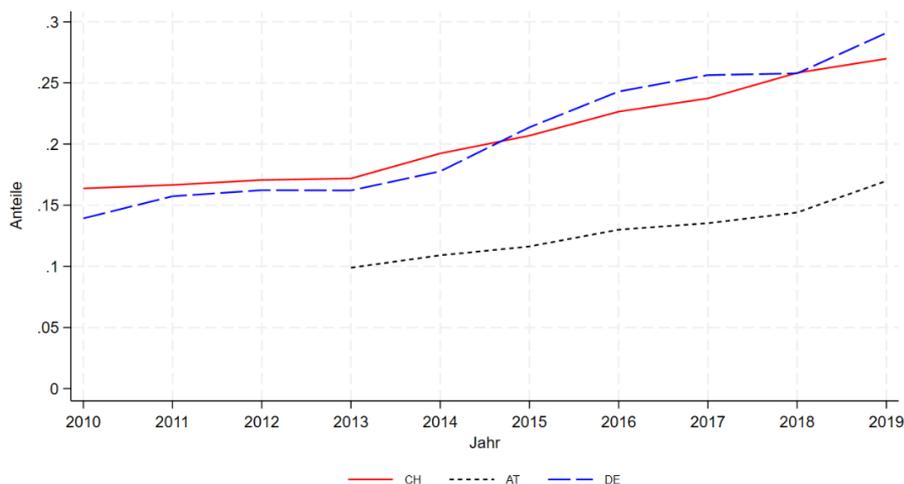


Abb. 1.3. Die Entwicklung der Anteile von Elektro- und Hybridneuzulassungen an den gesamten Neuzulassungen pro Land zwischen 2010 und 2019

b) Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen.

Unsere Untersuchung bezieht sich auf die Analyse der jährlichen Zulassungsdaten von Fahrzeugen und ihrer Leistung (gemessen in Kilowatt (kW)) in den Schweizer Kantonen sowie auf nationaler Ebene in Deutschland und Österreich zwischen 2010 und 2019.³ Unser Ziel ist es, den Einfluss des Treibstoffpreises auf den Anteil der Neuzulassungen von Fahrzeugen mit einer Leistung von über 130 kW an der Gesamtzahl der Neuzulassungen zu untersuchen. Das heisst, inwieweit der Treibstoffpreis die Kaufentscheidung von Fahrzeugen mit hoher Leistung beeinflusst. Sie dient dazu, den Zusammenhang zwischen der Leistung der Fahrzeuge und den Treibstoffkosten zu analysieren und festzustellen, ob Veränderungen im Treibstoffpreis Auswirkungen auf die Präferenzen der Käufer für leistungsstärkere Fahrzeuge haben.



³ Die verfügbaren Daten für Österreich erstrecken sich lediglich von 2013 bis 2019.

Abb. 1.4. Die Entwicklung der Anteile von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen pro Land zwischen 2010 und 2019

Tabelle 1.3. zeigt einen durchschnittlichen Anteil von 20.4% von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen. Abb. 1.4 stellt die Entwicklung der Anteile pro Land zwischen 2010 und 2019 dar. Es zeigt sich, dass sich die Anteile in der Schweiz und in Deutschland in diesem Zeitraum fast verdoppelt haben, von etwa 15% auf knapp unter 30%.

2.3 Methode

Wir verwenden Daten aus der Schweiz, Deutschland und Österreich. In Deutschland und Österreich sind die Löhne im Durchschnitt im Vergleich zur Schweiz deutlich niedriger. Deswegen stellen in der Schweiz die Treibstoffkosten einen geringeren Anteil des verfügbaren Einkommens der Haushalte dar. Aufgrund dieser Tatsache erwarten wir auch, dass die Kaufentscheidung für ein neues Fahrzeug und das Fahrverhalten in der Schweiz weniger elastisch auf Veränderungen der Treibstoffpreise reagieren als in unseren beiden Nachbarländern. Dies macht einen Vergleich mit diesen Ländern interessant.

2.3.1 Methode: Forschungsfrage 1a

Wie beeinflussen die Treibstoffpreise das Verkehrsvolumen auf den Autobahnen und Landstrassen der Schweiz und wie unterscheidet sich dieser Effekt im Vergleich zu Österreich und Deutschland?

Unser Ziel ist es, den Einfluss des Treibstoffpreises auf das Verkehrsaufkommen auf Autobahnen und Landstrassen in der Schweiz zu untersuchen. Des Weiteren möchten wir herausfinden, wie sich dieser Effekt im Vergleich zu Österreich und Deutschland unterscheidet. Für das Verkehrsvolumen verwenden wir wöchentliche (w) Daten zur Anzahl der Fahrzeuge pro Messstationen (s) und pro Land (l). Unsere haupterklärende Variable ist der monatliche Treibstoffpreis, der nur auf nationaler Ebene verfügbar ist. Auf die gleiche Weise wie Donna (2021), Levin et al. (2017), Wang & Chen (2014) und Gillingham (2014) erwarten wir einen negativen Einfluss von Treibstoffpreisen auf das Verkehrsvolumen. Wir folgen dem Vorgehen von Donna (2021) und verwenden eine OLS-Regression mit Fixeffekten, wobei wir die Verkehrsvolumen und Treibstoffpreise logarithmieren. Das hilft uns, die starken Unterschiede in den Verkehrsvolumen pro Messstation etwas zu verringern. Ausserdem erleichtert es uns, die geschätzten Parameter mithilfe prozentualer Änderungen einfacher zu interpretieren. Die anderen erklärenden Variablen sind jährliche Daten zum Fahrzeugbestand ($Bestand$), das jährliche BIP pro Kopf pro Kanton/Bundesland (BIP_Kopf), und eine Dummyvariable für Ferientage (D_Ferien). Zusätzlich berücksichtigen wir Zeitfixeffekte (Kalenderwoche) ($\theta_w = 1, \dots, 52$) und Jahr ($\theta_j = 2010, \dots, 2019$) sowie den Fehlerterm ($\varepsilon_{s,w,j}$). Gleichung (1a) stellt das mathematisch dar:

$$\begin{aligned} \text{Log_Verkehrsvolumen}_{s,l,w} = & \\ & = \beta_s + \beta_1 \text{Log_Treibstoffpreis}_{l,w} + \beta_2 \text{Bestand}_{l,w} + \beta_3 \text{BIP_Kopf}_{l,w} \\ & + \mu D_Ferien_{s,l,w} + \theta_w + \theta_j + \varepsilon_{s,w,j} \end{aligned} \quad (1a)$$

In unserer Studie können wir leider keine Unterscheidung nach demographischen Merkmalen, und zwischen städtischen und ländlichen Regionen vornehmen. Unsere Daten basieren zum Verkehrsvolumen auf Messstationen, weshalb keine detaillierten Informationen von Autofahrern (wie Einkommen, Geschlecht, Beruf oder Anzahl der Autos pro Haushalt) verfügbar sind. Unser Ziel in dieser Studie ist es allerdings nicht, die Effekte auf verschiedene Einkommensgruppen oder nach Berufen zu untersuchen. Unsere geschätzten Parameter könnten dennoch leicht niedriger ausfallen, falls Haushalte die Option haben, beispielsweise auf Fahrzeuge mit niedrigerem Treibstoffverbrauch umzusteigen. Dies könnte dazu führen, dass sie ihr Fahrverhalten nicht anpassen. Weitere potenzielle Einflussfaktoren, die möglicherweise das Verkehrsvolumen beeinflussen, könnten Wetterbedingungen sowie spezielle Veranstaltungen sein. Diese könnten den geschätzten Effekt des Treibstoffpreises nach unten oder oben verzerren.

Wir erwarten, dass der Koeffizient β_2 positiv sein wird, was darauf hindeutet, dass eine höhere Motorisierungsrate mit einem höheren Verkehrsaufkommen pro Messstation einhergeht. Der Koeffizient β_3 wird voraussichtlich positiv sein, da ein steigendes BIP pro Kopf oft mit einem höheren Lebensstandard einhergeht, was wiederum die Mobilitätsnachfrage erhöhen könnte. Ebenfalls erwarten wir einen negativen Effekt der Dummyvariable für Ferientage auf das Verkehrsvolumen. Dies liegt daran, dass während der Ferienzeit oft eine Reduzierung des Pendelverkehrs und eine geringere tägliche Aktivität im Verkehr festzustellen ist. Darüber hinaus könnte ein erhöhtes Verkehrsaufkommen während Ferienzeiten in touristischen Gebieten verursacht werden.

2.3.2 Methode: Forschungsfrage 1b

Welchen Einfluss hat der Treibstoffpreis auf die Fahrzeuggeschwindigkeiten auf den Autobahnen und Landstrassen in der Schweiz?

Das nächste Ziel dieser Studie ist die Untersuchung der Auswirkungen des Treibstoffpreises auf die Fahrzeuggeschwindigkeiten pro Messstation in der Schweiz. Der monatliche Treibstoffpreis stellt unsere Hauptklärungsvariable für Forschungsfrage 1b dar. Wir gehen davon aus, dass mit steigenden Treibstoffpreisen die Fahrzeuggeschwindigkeiten sinken werden (Naqvi, et al., 2023). Wir verwenden eine OLS-Regression mit Fixeffekten, um die wöchentliche (w) Geschwindigkeit in km/h pro Messstation (s) zu schätzen. Wir verwenden den Logarithmus des Treibstoffpreises. Dabei nehmen wir weitere Kontrollvariablen wie *Verkehrsvolumen* und eine Dummyvariable für Ferientage (D_Ferien) mit auf. Zusätzlich integrieren wir Zeitfixeffekte (Kalenderwoche) ($\theta_w = 1, \dots, 52$) und Jahr ($\theta_j = 2010, \dots, 2019$) und den Fehlerterm ($\sigma_{s,w,j}$) in unserem Modell. Gleichung (1b) stellt das mathematisch dar:

$$\begin{aligned} \text{Geschwindigkeit}_{s,l,w} &= \\ &= \delta_s + \delta_1 \text{Log_Treibstoffpreis}_m + \delta_2 \text{Verkehrsvolumen}_{s,w} \\ &+ \mu D_Ferien_{s,l,w} + \theta_w + \theta_j + \sigma_{s,w,j} \end{aligned} \quad (1b)$$

Weitere Einflussfaktoren wie Einkommen, Geschlecht, Beruf, Anzahl der Fahrzeuge pro Haushalt und Fahrzeugtyp, die wir ebenfalls für die Forschungsfrage 1a nicht berücksichtigen können, könnten auch einen Einfluss auf die geschätzten Parameter in Gleichung (1b) haben.

Trotzdem ermöglicht unser ökonometrisches Modell lediglich die Schätzung eines durchschnittlichen Effekts auf die Fahrzeuggeschwindigkeiten, unabhängig weiterer Faktoren. Ein niedrigeres Verkehrsaufkommen könnte bedeuten, dass mehr Raum auf der Strasse für einzelne Fahrzeuge vorhanden ist. Dies könnte Fahrer dazu anregen, schneller zu fahren, da sie weniger durch Verkehr oder Stau behindert werden. Der Treibstoffpreis aber beeinflusst das Verkehrsvolumen direkt, was zu einem Multikollinearitätsproblem führen kann. Als Robustheitscheck schätzen wir daher zusätzliche Spezifikationen ohne Berücksichtigung des Verkehrsvolumens.

2.3.3 Methode: Forschungsfrage 1c

(1c-1) Welchen Einfluss hat der Treibstoffpreis auf den Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen an den gesamten Neuzulassungen in der Schweiz, Österreich und Deutschland, und wie gross sind die Unterschiede zwischen diesen Ländern?

(1c-2) Welchen Einfluss hat der Treibstoffpreis auf den Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen in der Schweiz, Österreich und Deutschland, und wie gross sind die Unterschiede zwischen diesen Ländern?

Für Forschungsfrage (1c-1) verwenden wir eine ähnliche Modellstruktur wie bei den vorherigen Fragen. Mittels einer OLS-Regression mit Fixeffekte schätzen wir die jährlichen (j) Anteile von Elektro- und Hybrid-Neuzulassungen in den Kantonen (k)⁴ pro Land (l) als Funktion des logarithmierten Treibstoffpreises. Unsere Regressionsgleichung beinhaltet ausserdem weitere Kontrollvariablen wie das BIP pro Kopf (BIP_Kopf) und einen Index für Umweltpolitik-Stringenz (EPS). Zusätzlich integrieren wir jährliche Zeitfixeffekte (γ_j) und den Fehlerterm ($\tau_{k,j}$) in unsere Analyse. Gleichung (1c-1) stellt das mathematisch dar:

$$\begin{aligned} \text{Anteil Elektro\&Hybrid}_{k,l,j} = & \\ = \rho_k + \rho_1 \text{Log_Treibstoffpreis}_{l,m} + \rho_2 \text{BIP_Kopf}_{k,l,j} + \rho_3 \text{EPS}_{l,j} + \gamma_j & \quad (1c-1) \\ + \tau_{k,j} & \end{aligned}$$

Andere Studien, die untersuchen, wie der Treibstoffpreis die Nachfrage nach Autos beeinflusst (Busse et al., 2014; Allcot & Wozny, 2014; Busse et al., 2013; Greene et al., 2005), verwenden unterschiedliche Daten und Methoden. Meistens nutzen sie Daten über Haushaltstransaktionen oder Informationen darüber, wie viele neue Autos von grossen Händlern verkauft werden. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen, dass zwar ein statistisch signifikanter, aber begrenzter Einfluss der Treibstoffpreise auf die Kaufentscheidung eines Autos besteht. Das könnte daran liegen, dass Haushalte die Treibstoffkosten bei ihrer Kaufentscheidung weniger stark berücksichtigen und bei ihren Kaufentscheidungen mehr Gewicht auf die Fahrzeugpreise legen. Einige Studien, wie die von Kilian & Sims (2006), stellen fest, dass die Verwendung von monatlichen Treibstoffpreisen zu kontraintuitiven Ergebnissen führt, weil Haushalte aktuelle Informationen nicht in ihre zukünftigen Erwartungen einbeziehen. Allcot & Wozny (2014)

⁴ Die Neuzulassungen von Elektro- und Hybridfahrzeugen werden auf Kantonsebene in der Schweiz, auf Länderebene in Deutschland und auf nationaler Ebene in Österreich betrachtet.

unterstützen diese Ansicht. Sie haben festgestellt, dass Informationen über Preise, Inflation und andere wirtschaftliche Faktoren Zeit brauchen, um sich in der Bevölkerung zu verbreiten. Das führt dazu, dass Reaktionen auf Nachrichten verzögert sein können. Sie finden eine empirische Evidenz, wenn monatliche Treibstoffpreise⁵ verwendet werden, dann hat der Treibstoffpreis keinen unmittelbaren Einfluss auf den Automarkt (Preis und verkauften Mengen). Um solche mögliche Effekte isolieren zu können, verwenden wir in dieser Studie jährliche Neuzulassungsdaten. Zusätzlich liefern wir im Anhang (Tabelle A1.6 und A1.7) teilweise als Robustheitscheck Ergebnisse, bei denen wir monatlich verfügbare Neuzulassungsdaten verwenden.

Für den Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den Gesamt-Neuzulassungen verwenden wir die gleiche Modellstruktur wie in der vorherigen Gleichung (1c-1). Gleichung (1c-2) stellt das mathematisch dar:

$$\begin{aligned} \text{Anteil Neuzulassungen} > 130kW_{k,l,j} &= \\ &= \pi_k + \pi_1 \text{Log_Treibstoffpreis}_{l,m} + \pi_2 \text{BIP_Kopf}_{k,l,j} + \pi_3 \text{EPS}_{l,j} + \gamma_j \quad (1c-2) \\ &+ \varphi_{k,j} \end{aligned}$$

Wir erwarten einen positiven (negativen) Einfluss des Treibstoffpreises auf den Anteil von Elektro- und Hybrid-Neuzulassungen (Anteil Neuzulassungen über 130 kW), ceteris paribus. Haushalte neigen dazu, mit steigendem Treibstoffpreis auf Alternativen mit einem geringeren Treibstoffverbrauch umzusteigen, um die Treibstoffkosten zu reduzieren. Die Parameter ρ_1 und π_1 messen diesen Effekt. Der Treibstoffpreis kann die Entscheidung für ein Fahrzeug mit einer Leistung von über 130 kW auf mehrere Weisen beeinflussen. Höhere Leistung bedeutet oft einen höheren Verbrauch, was wiederum zu höheren Treibstoffkosten führt. Daher könnten steigende Treibstoffpreise potenzielle Käufer dazu veranlassen, sich für Fahrzeuge mit geringerer Leistung zu entscheiden, um die Treibstoffkosten zu senken. Andererseits könnten Haushalte, die trotz höherer Treibstoffkosten ein leistungsstarkes Fahrzeug bevorzugen, die zusätzlichen Kosten in Kauf nehmen. Es ist also eine Abwägung zwischen Leistung und Betriebskosten, die durch den Treibstoffpreis beeinflusst wird. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass im Laufe der Zeit die Effizienz der Fahrzeuge stark zugenommen hat, was bedeutet, dass moderne leistungsstarke Fahrzeuge tendenziell weniger Treibstoff verbrauchen als ältere Modelle mit vergleichbarer Leistung.

Wir erwarten, dass die wirtschaftliche Lage inklusive Erwartungen die Kaufentscheidung beeinflussen. Um dies zu berücksichtigen, verwenden wir das BIP pro Kopf. Der EPS-Index (Environmental Policy Stringency) kontrolliert wiederum, ob und inwieweit die Umweltpolitik die Kaufentscheidungen beeinflusst. Die Parameter ρ_3 und π_3 messen diesen Effekt.

⁵ Die Autoren verwenden auch die Treibstoffpreise mit einer Verzögerung von 3 Monaten.

2.4 Ergebnisse

2.4.1 Ergebnisse: Forschungsfrage 1a

Die Tabelle 1.4 präsentiert die Ergebnisse der OLS-Regression mit Fixeffekten für die geschätzten Parameter in Gleichung (1a). Spezifikation (1) zeigt einen gemeinsamen Parameter für den logarithmierten Treibstoffpreis in der Schweiz, Deutschland und Österreich, unter Berücksichtigung aller anderen Kontrollvariablen. In Spezifikation (2) werden zudem unterschiedliche Parameter für den logarithmierten Treibstoffpreis in jedem Land geschätzt, wobei alle anderen Kontrollvariablen berücksichtigt werden. In Tabelle A1.2. im Anhang präsentieren wir weitere Robustheitschecks, wobei wir in Spezifikation (3) nicht für das BIP pro Kopf und die Dummyvariable für Ferientage kontrollieren. In Spezifikation (4) wird zusätzlich auf die Schätzung eines Parameters für den Bestand verzichtet.

Tabelle 1.4. Regressionsergebnisse für wöchentliche Verkehrsvolumen pro Messstation und Land

	(1)	(2)
Log Treibstoffpreis	-0.0689*** (0.0107)	
Log Treibstoffpreis: AT		-0.0691*** (0.0224)
Log Treibstoffpreis: CH		-0.0357* (0.0202)
Log Treibstoffpreis: DE		-0.0335*** (0.0110)
Bestand pro 1000 Einwohner	-0.0001 (0.0001)	-0.0001 (0.0001)
BIP pro Kopf	0.0006 (0.0004)	0.0014*** (0.0004)
Ferien Dummy	-0.0077*** (0.0014)	-0.0079*** (0.0014)
Constant	11.6092*** (0.0343)	11.5455*** (0.0389)
Jahres FE	Ja	Ja
Wochen FE	Ja	Ja
Beobachtungen	931'175	931'175
R-Quadrat	0.2451	0.2463

Standardfehler sind in Klammer, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01.

Unsere Analyse bestätigt, ähnlich zur Literatur (Donna, 2021; CBO, 2008), in allen Spezifikationen einen negativen und statistisch signifikanten Effekt des Treibstoffpreises auf das Verkehrsvolumen, der sich von Null unterscheidet. Darüber hinaus weisen die meisten Kontrollvariablen erwartungsgemässe Vorzeichen auf. Einzig der Parameter für den Bestand pro 1000 Einwohner weist einen nicht erwarteten negativen Wert auf, der aber statistisch insignifikant unterschiedlich von Null ist.

Das BIP pro Kopf hat einen positiven und statistisch signifikanten Effekt auf das Verkehrsvolumen pro Messstation gemäss Spezifikation (2), während in Spezifikation (1), wie im folgenden Abschnitt erläutert, kein statistisch signifikanter Effekt erkennbar ist. Wenn das BIP pro Kopf beispielsweise um 1000 CHF steigt, erhöht sich das Verkehrsvolumen durchschnittlich um 1.4%. Dies bestätigt unsere Erwartung, dass ein Anstieg des Verkehrsvolumens mit einem höheren BIP pro Kopf einhergeht. Die Dummyvariable für Ferientage zeigt ein negatives und statistisch signifikantes Ergebnis, was darauf hindeutet, dass das Verkehrsvolumen pro Messstation während Wochen mit Ferientagen im Durchschnitt um zirka 0.8 Prozentpunkte zurückgeht. Im nächsten Abschnitt, der die Ergebnisse der Forschungsfrage (1b) vorstellt, wird dieser Zusammenhang weiter untersucht.

Der in Spezifikation (1) geschätzte Parameter für den logarithmierten Treibstoffpreis von -0.0689 bedeutet, dass bei einem Anstieg des Treibstoffpreises um 10% das Verkehrsvolumen pro Messstation im Durchschnitt um 0.689% zurückgeht. Dieses Erkenntnis steht in Einklang mit den Ergebnissen von CBO (2008), die einen sehr ähnlichen Effekt von 0.69% des Treibstoffpreises auf das Verkehrsvolumen feststellten. Spezifikation (2) zeigt, dass der Treibstoffpreis unterschiedliche Auswirkungen auf das Verkehrsvolumen in den drei Ländern hat. Dabei fällt auf, dass der geschätzte Effekt in der Schweiz und Deutschland ähnlich ist, jedoch im Durchschnitt niedriger ausfällt als für Österreich. In Spezifikation (2) zeigt sich beispielsweise, dass eine 10%ige Steigerung des Treibstoffpreises das Verkehrsvolumen in der Schweiz um 0.357% verringert, während der Effekt in Österreich bei 0.691% liegt. Diese Differenzen könnten mit der höheren Kaufkraft in der Schweiz im Vergleich zu Österreich zusammenhängen, auch wenn gewisse Effekte einer höheren Kaufkraft bereits über die Variable für das BIP pro Kopf erfasst werden dürften.⁶ Der tiefere Effekt in der Schweiz ist auch vor dem Hintergrund erstaunlich, dass in der Schweiz mit dem stark ausgebauten öffentlichen Verkehrsnetz eine valable Substitutionsmöglichkeit für das Auto besteht. Die Schweizer legen im Jahr 2019 im Durchschnitt die längste Strecke per Bahn pro Einwohner in Europa zurück – nämlich 2'505 Kilometer. Dies entspricht fast 70% mehr als das zweitplatzierte Land Österreich. Deutschlands enge Bindung zur Autoindustrie und ein Autobahnnetz ohne Geschwindigkeitsbegrenzung könnte den tieferen Effekt des Treibstoffpreises in Deutschland im Vergleich zu Österreich erklären, ist in dieser Studie jedoch nicht zu belegen. Unterschiede in der Verkehrsinfrastruktur jedes Landes, variierende Verkehrsregeln sowie die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs sind mögliche weitere Einflussgrößen. Diese vielfältigen Aspekte könnten die Reaktionen der Fahrer auf Treibstoffpreisänderungen beeinflussen und somit den Unterschied in dem Zusammenhang zwischen Treibstoffpreisen und dem Verkehrsvolumen für die drei Ländern erklären.

⁶ Small & Van Dender (2007) verwenden Paneldaten der US-Bundesstaaten für den Zeitraum von 1966 bis 2001 und kommen zu dem Ergebnis, dass die kurzfristige Treibstoffpreiselastizität -4.5% beträgt. Jedoch identifizieren sie geringere Treibstoffpreiselastizitäten in der Periode von 1997 bis 2001. Sie argumentieren, dass diese tiefere Elastizität auf höhere Einkommen im Untersuchungszeitraum zurückzuführen ist. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Hymel et al. (2010).

2.4.2 Ergebnisse: Forschungsfrage 1b

Tabelle 1.5 präsentiert die Ergebnisse der OLS-Regression mit Fixeffekte für die geschätzten Parameter gemäss Gleichung (1b). In Spezifikation (1) zeigt sich ein negativer Zusammenhang zwischen dem logarithmierten Treibstoffpreis und der durchschnittlichen Geschwindigkeit pro Messstation. Eine Erhöhung des Treibstoffpreises um 10% geht mit einer Abnahme der durchschnittlichen Geschwindigkeit der Fahrzeuge pro Messstation um 0.16 km/h einher. Dieser Effekt ist statistisch signifikant unterschiedlich von Null. Allerdings erweist sich diese Wirkung als nicht robust, wenn das Verkehrsvolumen nicht in die Regression einbezogen wird (Spezifikation (2)). Ähnliche Ergebnisse zeigen sich in weiteren Robustheitsprüfungen, in denen wir nicht für Feriendummy sowie für Fixeffekte pro Jahr und Woche des Jahres kontrollieren. Diese Ergebnisse sind im Anhang in Tabelle A1.3 (Spezifikationen (3) und (4)) dargestellt. Der R-Quadrat-Wert liegt in allen Spezifikationen unter 5%, was auf eine geringe Erklärungskraft der Modelle hinweist.

Tabelle 1.5. Regressionsergebnisse für die durchschnittliche Geschwindigkeit pro Station

	(1)	(2)
Log Treibstoffpreis	-1.5973** (0.7033)	-0.6546 (0.6441)
Verkehrsvolumen	0.0001** (0.0000)	
Ferien Dummy	0.4451*** (0.0494)	0.4738*** (0.0505)
Constant	86.6911*** (0.8142)	87.9412*** (0.3945)
Jahres FE	Ja	Ja
Wochen FE	Ja	Ja
Beobachtungen	35'004	35'004
R-Quadrat	0.0457	0.0347

Standardfehler sind in Klammer, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01.

Eine mögliche Erklärung für die mangelnde Robustheit und statistische Signifikanz des Einflusses des Treibstoffpreises auf die Geschwindigkeit könnte in der vergleichsweise kurzen Beobachtungszeit von Juni 2021 bis August 2023 liegen. Es ist denkbar, dass während dieser Zeitspanne generell hohe Treibstoffpreise herrschten (mit einem Minimum von 1.72 CHF), wodurch Autofahrer möglicherweise bereits ihre Fahrweise angepasst haben und weitere Änderungen in der Geschwindigkeit nicht mehr vornahmen. Eine weitere Erklärung könnte sein, dass Fahrer oft bereits die erlaubte Höchstgeschwindigkeit fahren und die Treibstoffpreise kaum einen Einfluss darauf haben, langsamer zu fahren. Zudem verwenden wir aggregierte Daten pro Messstation.

Verschiedene Faktoren könnten eine Rolle spielen, wenn es um den Einfluss von Treibstoffpreisen auf die Fahrzeuggeschwindigkeit geht. Strassenbedingungen können das Fahrverhalten beeinflussen. Zusätzlich könnten Unterschiede in Fahrzeugtypen und Effizienz dazu führen, dass Fahrzeugfahrer unterschiedlich auf Treibstoffpreise reagieren. Regulatorische

Einflüsse wie Veränderungen der Verkehrsregeln oder Tempolimits könnten ebenfalls das Fahrverhalten beeinflussen. Wetter- und Umweltbedingungen könnten unabhängig von Treibstoffkosten eine Rolle spielen, ebenso wie individuelle Fahrerpräferenzen, die das Tempo bestimmen. Verkehrsmuster zu verschiedenen Tages- oder Jahreszeiten könnten auch das Fahrverhalten beeinflussen und damit den Zusammenhang zwischen Treibstoffpreisen und Geschwindigkeit komplexer gestalten. Es scheint, als ob die begrenzte Verfügbarkeit von Daten über diese Einflussfaktoren die Herausforderung bei der Erklärung des Zusammenhangs zwischen Treibstoffpreisen und Geschwindigkeit verstärkt. Die fehlenden Informationen über diese potenziellen Einflussgrößen dürften zum niedrigen R-Quadrat-Wert von unter 5% beitragen. Es ist wichtig zu beachten, dass ein geringer R-Quadrat-Wert darauf hindeuten kann, dass die verfügbaren Variablen nur einen geringen Teil der Variation in den Geschwindigkeitsdaten erklären können, insbesondere wenn wichtige Einflussfaktoren nicht erfasst wurden.

Der Parameter für das Verkehrsvolumen in Spezifikation (1) ist positiv und statistisch signifikant unterschiedlich von Null, jedoch gestaltet sich seine Interpretation schwierig. Man erwartet eigentlich, dass mit steigenden Verkehrsvolumen die Geschwindigkeit abnimmt, da die Wahrscheinlichkeit von Staus zunimmt und Autofahrer vorsichtiger fahren. Um potenzielle Endogenitätsprobleme⁷ zwischen Verkehrsvolumen und Geschwindigkeit zu vermeiden, wurden die Schätzungen auch unter Berücksichtigung eines um eine Woche verzögerten Verkehrsvolumens durchgeführt. Die Ergebnisse deuten auf eine ähnliche Tendenz hin: einen statistisch signifikanten und positiven Effekt des Verkehrsvolumens auf die Geschwindigkeit.

Der Koeffizient für Feriendummy ist positiv und statistisch signifikant unterschiedlich von Null. Dies deutet darauf hin, dass an Ferientagen im Durchschnitt eine Geschwindigkeitszunahme um 0.44 km/h zu verzeichnen ist. Dieser Effekt wird als geringfügig betrachtet. Während Ferientagen könnten verschiedene Faktoren eine Rolle bei der Variation der Fahrzeuggeschwindigkeit spielen. So könnten unterschiedliche Verkehrsmuster auftreten, wie zum Beispiel geringerer Pendelverkehr oder veränderte Routen, die sich auf die Geschwindigkeit auswirken könnten.

⁷ Wenn die erklärende Variable (z. B. das Verkehrsvolumen) von der abhängigen Variable (z. B. der Geschwindigkeit) beeinflusst wird, spricht man von einem Endogenitätsproblem aufgrund umgekehrter Kausalität. Dies kann zu verzerrten Schätzwerten der Koeffizienten führen, da die Annahmen von Unabhängigkeit und Exogenität verletzt werden.

2.4.3 Ergebnisse: Forschungsfrage 1c

Wir schätzen in diesem Teil zwei Variablen, (a) den Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen an den gesamten Neuzulassungen und (b) den Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen.

2.4.3.1 Der Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen an den gesamten Neuzulassungen

In Tabelle 1.6 sind die Regressionsergebnisse der geschätzten Parameter mit kantonalen Daten gemäss Gleichung (1c-1) dargestellt. Spezifikation (1) bezieht alle Kontrollvariablen in die Regression ein und schätzt einen einzigen Parameter für den (logarithmierten) Treibstoffpreis (0.0672), der positiv und statistisch signifikant unterschiedlich von Null ist. In der Spezifikation (2) schätzen wir separate Koeffizienten für den Treibstoffpreis pro Land. In Tabelle A1.4. im Anhang werden weitere Robustheitschecks durchgeführt, wobei wir von Spezifikation zu Spezifikation weniger Kontrollvariablen berücksichtigen. Die geschätzten Koeffizienten für den Treibstoffpreis pro Land in allen Spezifikationen zeigen eine hohe Robustheit.

Tabelle 1.6. Regressionsergebnisse für den Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen

	(1)	(2)
Log Treibstoffpreis	0.0672*** (0.0063)	
Log Treibstoffpreis: AT		0.0144 (0.0088)
Log Treibstoffpreis: CH		0.0541*** (0.0065)
Log Treibstoffpreis: DE		0.0956*** (0.0106)
BIP pro Kopf	0.0007 (0.0005)	0.0007 (0.0005)
EPS	-0.0178 (0.0027)	-0.0220 (0.0035)
Constant	-15.9320*** (0.9012)	-16.6448*** (1.0862)
Jahres FE	Ja	Ja
Beobachtungen	430	430
R-Quadrat	0.7512	0.7559

Standardfehler sind in Klammer, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01.

Die Interpretation des logarithmierten Treibstoffkoeffizienten in Spezifikation (1) besagt, dass bei einem Anstieg des Treibstoffpreises um 10%, der Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen an den gesamten Neuzulassungen um 0.672 Prozentpunkte steigt. Dies bedeutet, dass der Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen vom beobachteten Mittelwert von 3.2 auf 3.872%

(3.2 + 0.672) ansteigt. Dies stellt eine Zunahme um 21% dar.⁸ Dieser Effekt bezieht sich auf einen tieferen Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen von 3.2%.⁹ Jedoch nimmt dieser Effekt ab, wenn wir von einem höheren Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen ausgehen.

In der Schweiz wurde ein positiver Effekt des Treibstoffpreises auf Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen von 0.0541 geschätzt. Für Österreich wird kein statistisch unterschiedlich von Null signifikanter Effekt des Treibstoffpreises geschätzt. In Deutschland wurde ein positiver Effekt des Treibstoffpreises von 0.0956 festgestellt. Die mangelnde Signifikanz des Effekts in Österreich dürfte darauf zurückzuführen sein, dass dort Zulassungsdaten lediglich auf nationaler Ebene verfügbar waren und daher deutlich weniger Beobachtungen zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse legen daher nahe, dass die Auswirkungen des Treibstoffpreises auf den Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen pro Land nur geringfügig variieren. Der etwas geringere Effekt in der Schweiz könnte durch eine höhere Kaufkraft erklärt werden. Ein anderer wichtiger Faktor, den Einfluss des Treibstoffpreises auf Neuzulassungen beeinflusst, ist die Verfügbarkeit von Ladestationen und anderen Infrastrukturen für Elektrofahrzeuge. Diese wurde mit der Zunahme von Elektro- und Hybridfahrzeugen in der letzten Zeit stark ausgebaut. Uns liegen jedoch keine Daten vor, die den Ausbau der Infrastruktur für Elektrofahrzeuge, insbesondere von Ladestationen, erfassen.

Wie oben erwähnt sind Elektro- und Hybridfahrzeuge in der Regel effizienter als herkömmliche Benzin- und Dieselfahrzeuge. Das deutet darauf hin, dass Haushalte einen Anreiz haben, effizientere Fahrzeuge zu kaufen, wenn der Treibstoffpreis steigt. Dieses Ergebnis legt nahe, dass unterschiedliche Umweltsteuern, die auf Treibstoffpreise erhoben werden, einen direkten Einfluss darauf haben, dass mehr Fahrzeuge mit höherer Effizienz und niedrigerem Verbrauch gekauft werden.

Das EPS ermöglicht uns zu kontrollieren, inwieweit Verbrennungsmotoren regulatorischem Druck ausgesetzt sind und inwiefern Hybrid- und Elektrofahrzeuge bevorzugt werden. Der geschätzte Koeffizient von EPS ist nicht statistisch signifikant unterschiedlich von Null. Ebenso ergibt die Schätzung für das BIP pro Kopf einen Koeffizienten, der statistisch nicht signifikant von Null unterscheidet.

2.4.3.2 Der Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen.

Tabelle 1.7 zeigt die Ergebnisse der Regression für den Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen. In Spezifikation (1) werden alle Kontrollvariablen in die Regression einbezogen und es wird ein einzelner Parameter für den (logarithmierten) Treibstoffpreis geschätzt. Dieser Parameter ist negativ und statistisch signifikant unterschiedlich von Null. In der Spezifikation (2) werden hingegen getrennte

⁸ $\frac{0.672}{3.2} \cdot 100 = 21\%$

⁹ Busse, et al. (2014), Allcot & Wozny (2014), Busse, et al. (2013) und Greene, et al. (2005) haben ebenfalls einen ähnlichen Effekt geschätzt.

Koeffizienten für den Treibstoffpreis für jedes Land geschätzt. In Tabelle A1.4 im Anhang werden weitere Robustheitschecks dargestellt, wobei von Spezifikation zu Spezifikation weniger Kontrollvariablen berücksichtigt werden. In Spezifikation (3) wurde der EPS nicht berücksichtigt, während in Spezifikation (4) zudem das BIP pro Kopf nicht einbezogen wurde.

Der Effekt des Treibstoffpreises ist in der Schweiz negativ und beträgt -0.0295. In Österreich ist dieser Effekt nicht statistisch signifikant unterschiedlich von Null, was wiederum auf die geringe Anzahl Beobachtungen mangels Daten auf föderaler Ebene zurückzuführen sein könnte. In Deutschland ist der Effekt negativ und liegt bei -0.0940. In Deutschland schätzen wir einen Effekt, der grösser ist als der in der Schweiz.

Tabelle 1.7. Regressionsergebnisse für den Anteil von Neuzulassungen von über 130kW

	(1)	(2)
Log Treibstoffpreis	-0.0285*** (0.0090)	
Log Treibstoffpreis: AT		0.0957 (0.0188)
Log Treibstoffpreis: CH		-0.0295*** (0.0085)
Log Treibstoffpreis: DE		-0.0940*** (0.0158)
BIP pro Kopf	-0.0005** (0.0002)	-0.0005** (0.0002)
EPS	-0.0167** (0.0075)	-0.0176** (0.0064)
Constant	-30.6343*** (1.8685)	-30.8192*** (1.6000)
Jahres FE	Ja	Ja
Beobachtungen	277	277
R-Quadrat	0.8889	0.8911

Standardfehler sind in Klammer, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01.

Die Auslegung des Treibstoffkoeffizienten in Spezifikation (1) ergibt, dass bei einem Anstieg des Treibstoffpreises um 10%, der Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen um 0.285 Prozentpunkte zurückgeht. In Bezug auf den Mittelwert bedeutet dies, dass der Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW von 20.4 auf 20.1% zurückgeht. Dies entspricht einem Rückgang von 1.39%. Die geringfügige Auswirkung könnte auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein. Der Wahlentscheid für leistungsstarke Fahrzeuge kann von einer Vielzahl anderer Faktoren neben der reinen Effizienz beeinflusst werden. Jedoch ist zu beachten, dass andere Faktoren wie technologische Entwicklungen und sich ändernde gesellschaftliche Trends ebenfalls Einfluss auf diese Dynamik haben könnten. Unsere Analyse hat solche Einflussfaktoren nicht berücksichtigt, die möglicherweise im Laufe der Zeit Veränderungen erfahren haben. Falls Haushalte trotz gestiegener Treibstoffpreise im Laufe der Zeit verstärkt leistungsstärkere

Fahrzeuge bevorzugten¹⁰, könnte dies eine Verzerrung nach unten in unseren Treibstoffpreiskoeffizienten verursachen.

Der Koeffizient von EPS (Environmental Policy Stringency) ist negativ und statistisch signifikant unterschiedlich von Null. Gemäss Filippini et al. (2015) haben die Kantone unterschiedliche Massnahmen ergriffen, um besonders energieeffiziente oder CO₂-arme Fahrzeuge steuerlich zu begünstigen (Bonus), während weniger effiziente Fahrzeuge mit höherem Treibstoffverbrauch oder CO₂-Ausstoss besteuert wurden (Malus). Der EPS reflektiert diesen Effekt, weil leistungsstärkere Fahrzeuge im Durchschnitt einen höheren CO₂-Ausstoss aufweisen.

Die Schätzung für das BIP pro Kopf zeigt einen negativen Koeffizienten, der statistisch signifikant unterschiedlich von Null ist. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass bei höherem BIP pro Kopf der Marktanteil für Fahrzeuge mit höherer Leistung (über 130 kW) sinkt, möglicherweise aufgrund einer verstärkten Nachfrage nach umweltfreundlicheren Fahrzeugen oder einer Veränderung der Prioritäten der Haushalte hin zu sparsameren oder alternativen Fahrzeugen, beispielsweise Teslas.

2.5 Zusammenfassung

Der Verkehrssektor hat einen erheblichen Anteil am Gesamtenergieverbrauch und ist somit von zentraler Bedeutung für die Energiewende. Die Schätzungen zeigen, dass höhere Treibstoffpreise das Verkehrsvolumen verringern, wenn auch nur geringfügig.

So zeigen unsere Ergebnisse eine geschätzte Preiselastizität des Verkehrsvolumens in Monatsfrist von lediglich -0.07. Dies deutet darauf hin, dass Haushalte ihr Fahrverhalten in der kurzen Frist nur geringfügig ändern, wenn Treibstoffpreise ansteigen, weil sie beispielsweise als Pendler auf das Auto angewiesen sind. Allerdings berücksichtigen sie den Treibstoffpreis beim Kauf eines neuen Fahrzeugs. Steigende Treibstoffkosten setzen Anreize für Haushalte, sich für den Kauf effizienterer und umweltfreundlicherer Fahrzeuge zu entscheiden, um künftige Fahrtkosten zu reduzieren. Diese Reaktion der Haushalte, Treibstoffkosten beim Autokauf zu berücksichtigen, ist ein Indiz dafür, dass die Bepreisung von Verkehrsemissionen zu einer effektiveren Ressourcenallokation führt. Sie schafft Anreize für umweltfreundlichere Mobilität.

Die Auswirkungen der Treibstoffpreise auf die Fahrzeuggeschwindigkeit erwiesen sich als nicht statistisch signifikant, möglicherweise aufgrund der starken Aggregation der Daten pro Messstation. Um dieses Problem anzugehen und eine umfassendere Analyse zu ermöglichen, könnte eine Kombination von Daten zur individuellen Fahrzeuggeschwindigkeit mit

¹⁰ Trotz steigenden Treibstoffpreise können sich die Präferenzen der Verbraucher zugunsten von Sportwagen und SUVs verändern. Diese Fahrzeuge bieten möglicherweise andere Merkmale wie Geschwindigkeit, Sicherheit (insbesondere im Falle eines Unfalls), Stil oder Prestige, die für die Käufer wichtiger sind als die Betriebskosten. In diesem Fall könnten höhere Treibstoffpreise dennoch nicht ausreichen, um die Nachfrage nach diesen Fahrzeugen zu verringern, und die relativen Kosten des Treibstoffs könnten nicht so stark in die Kaufentscheidung einfließen.

demographischen Haushaltsdaten einen vielversprechenden Ansatz darstellen. Dies würde eine detailliertere Betrachtung ermöglichen und potenzielle Zusammenhänge zwischen Treibstoffpreisen und dem Fahrverhalten besser aufzeigen.

Schliesslich zeigen die Schätzungen, dass Treibstoffpreise einen signifikanten Einfluss auf Kaufentscheidungen haben. Bei einem Treibstoffpreisanstieg um 10% steigt der Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen um 0.7 Prozentpunkte, was bei einem mittleren Anteil der Elektro- und Hybridneuzulassungen von 3.2% einem Anstieg von 21% entspricht. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass dieser Effekt tendenziell abnimmt, wenn der Marktanteil von Elektro- und Hybridfahrzeugen bereits höher liegt. Diese Ergebnisse unterstreichen dennoch die Relevanz von Treibstoffpreisen als Einflussfaktor auf die Wahl von Elektro- und Hybridfahrzeugen.

In einem weiteren Schritt zeigt sich, dass ein 10%iger Anstieg des Treibstoffpreises in einem 1.39%igen Rückgang von 20.4 auf 20.1 Prozent bei Neuzulassungen von Fahrzeugen mit über 130 kW resultiert.

Insgesamt unterstreichen unsere Resultate die Rolle von Preissignalen zur Priorisierung von umweltfreundlicheren Mobilitätslösungen, ob dies über eine höhere Besteuerung von Treibstoffen erfolgt oder den Verzicht von Subventionen, auch in Zeiten, wenn die Treibstoffpreise ansteigen.

Eine Besteuerung von Emissionen erhöht die Kosten pro gefahrene Kilometer für Verbrennungsmotoren. Sie zielt darauf ab, Marktversagen zu adressieren und nutzt gleichzeitig Marktmechanismen, um Umweltbelastungen zu internalisieren und eine effizientere Ressourcenallokation zu erreichen. Dies steigert die Nachfrage nach klimafreundlichen Mobilitätsoptionen, sei es durch vermehrten Einsatz von Elektro- oder Hybridfahrzeugen, Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel oder andere umweltfreundlichere Transportmittel.

Gleichzeitig setzt dies Anreize für Forschung und Entwicklung emissionsärmerer Technologien, da Automobilhersteller sich bemühen, wettbewerbsfähige und umweltfreundliche Lösungen anzubieten. Insgesamt trägt dies zu einer nachhaltigen Entwicklung im Verkehrssektor bei, verbessert die Ressourcennutzung und reduziert langfristig die Umweltbelastung.

2.6 Literaturverzeichnis

- Allcot, H., & Wozny, N. (2014). Gasoline prices, fuel economy, and the energy paradox. *The Review of Economics and Statistics*, 5(96), 779-795.
- Berkhout, P., Muskens, J., & Velthuisen, J. (2000). Defining the rebound effect. *Energy Policy*(28), pp. 425-432.
- BFE. (2023). *Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2022 nach Verwendungszwecken*. Bern: Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK.
- Bresnahan, T., & Ramey, V. (1993). Segment Shifts and Capacity Utilization in the U.S. Automobile Industry. *The American Economic Review*, 2(83), 213-218.
- Busse, M., Knittel, C., & Zettelmeyer, F. (2013). Are Consumers Myopic? Evidence from New and Used Car Purchases. *American Economic Review*, 1(103), 220-256.
- Busse, M., Pope, D., Pope, J., & Silva-Risso, J. (2014). The psychological effect of weather on car purchases. *The Quarterly Journal of Economics*, pp. 1-44.
- CBO. (2008). *Effects of gasoline prices on driving behavior and vehicle markets*. Congressional Budget Office.
- Donna, J. (2021). Measuring long-run gasoline price elasticities in urban travel demand. *RAND Journal of Economics*, 4(52), pp. 945-994.
- Filippini, M., Alberini, A., Bareit, M., & Gutbrodt, S. (2015). *Economic analysis of policy measures to reduce CO2 emissions of passenger cars in Switzerland*. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- Gillingham, K. (2014). Identifying the Elasticity of Driving: Evidence from a gasoline price shock in California. *Regional Science and Urban Economics*(47), pp. 13-24.
- Givord, P., Grislain-Letrémy, C., & Naegele, H. (2018). How does fuel taxation impact new car purchases? An evaluation using French consumer-level data. *Energy Economics*(94), 76-96.
- Greene, D., Patterson, P., Singh, M., & Li, J. (2005). Feebates, rebates and gas-guzzler taxes: a study of incentives for increased fuel economy. *Energy Policy*(33), pp. 757-775.
- Hamilton, J. (1988). A Neoclassical Model of Unemployment and the Business Cycle. *Journal of Political Economy*, 3(96), 593-617.
- Hymel, K., Small, K., & Van Dender, K. (2010). Induced demand and rebound effects in road transport. *Transportation Research Part B: Methodological*, 10(44), pp. 1220-1241.
- Kilian, L., & Sims, E. (2006). The Effects of Real Gasoline Prices on Automobile Demand: A Structural Analysis Using Micro Data. *Unpublished*.
- Klier, T., & Linn, J. (2010). The Price of Gasoline and New Vehicle Fuel Economy: Evidence from Monthly Sales Data. *American Economic Journal: Economic Policy*, 2(3), pp. 134-153.

- Langer, A., & Miller, N. (2013). Automakers' short-run responses to changing gasoline prices. *The Review of Economics and Statistics*, 4(95), pp. 1198-1211.
- Levin, L., Lewis, M., & Wolak, F. (2017). High Frequency Evidence on the Demand for Gasoline. *American Economic Journal: Economic Policy*, 3(9), pp. 314-347.
- Li, S., Timmins, C., & von Haefen, R. (2009). How Do Gasoline Prices Affect Fleet Fuel Economy? *American Economic Journal: Economic Policy*, 1(2), pp. 13-137.
- Naqvi, N., Quddus, M., & Enoch, M. (2023). Modelling the effects of fuel price changes on road traffic collisions in the European Union using panel data. *Accident Analysis and Prevention*(191).
- Small, K., & Van Dender, K. (2007). Fuel Efficiency and Motor Vehicle Travel: The Declining Rebound Effect. *Energy Journal*, 1(28), pp. 25-51.
- Wang, T., & Chen, C. (2014). Impact of fuel price on vehicle miles traveled (VMT): do the poor respond in the same way as the rich? *Transportation*(41), pp. 91–105.

3 Arbeitspaket 2: Preise, Verbrauchsmengen und Einsparungsmassnahmen von Energieträgern

3.1 Einführung und Forschungsfragen

Forschungsgegenstand des zweiten Arbeitspakets sind Energieverbrauch und Einsparungsmassnahmen Schweizer Unternehmen. Es gibt eine ganze Reihe von Untersuchungen zur Verbindung zwischen Energiepreisen und Energieverbrauch von Unternehmen, insbesondere für Strom (siehe beispielsweise Alberini and Filippini, 2011 und Ros, 2017). Dabei unterscheidet man zwischen kurzfristigen und langfristigen Preiselastizitäten. Im folgenden Arbeitspaket beziehen wir uns ausschliesslich auf die kurzfristige Preiselastizität (siehe Anhang AP2.A zur genauen Abgrenzung zwischen kurzfristigen und langfristigen Preiselastizitäten). Typischerweise werden in der Literatur sehr geringe (kurzfristige) Preiselastizitäten von -0.1 bis -0.4 angegeben (beispielsweise Agnolucci, 2009, Bernstein & Madlener, 2015, Agnolucci et al., 2017, Burke & Abayasekara, 2018, Cialani & Mortazavi, 2018). Filippini (1999) präsentiert für den Elektrizitätsverbrauch von Schweizer Haushalten in 40 Städten eine Preiselastizität von etwa -0.3 (in Abhängigkeit der Schätzmethode). Das bedeutet, dass eine 10% Preiserhöhung zu einer 3% Einsparung des Stromverbrauchs Schweizer Haushalte führt.

Vor diesem Hintergrund werden wir uns im weiteren Verlauf des Kapitels die Preiselastizität des Energieverbrauchs als auch die Preiselastizität von Zielvereinbarungen zu Energieeinsparungen der Unternehmen mit der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) in einer ähnlichen Schätzung analysieren. Die Einsparungsbemühungen der Unternehmen ermöglichen es diesen, langfristig eine höhere Preiselastizität aufzubauen. Mit anderen Worten, wir erwarten für steigende Preise kurzfristig vermehrte Einsparungsmassnahmen. Damit ermöglichen es sich die Unternehmen, langfristig elastisch auf Preisveränderungen zu reagieren.

Folgende Forschungsfragen sind zentral für die folgende Analyse:

1. Führen höhere Preise für einen Energieträger zu einem geringeren Verbrauch?
2. Wie beeinflussen die Preise für andere Energieträger den Stromverbrauch?
3. Führen höhere Preise für einen Energieträger zu verstärkten Einsparungsmassnahmen?
4. Haben exogene Schocks einen Effekt auf den Verbrauch, der über den linearen Preiseffekt hinausgeht?

3.2 Daten

Die vorliegende Analyse stützt sich auf zwei Datensätze der EnAW. Der erste Datensatz betrifft die Energieverbrauchszahlen und Einsparungszielvereinbarungen von KMUs (bis 250 Beschäftigte) im Zeitraum von 2013 bis 2022. Der zweite Datensatz betrifft die Einsparungszielvereinbarungen von Grossunternehmen (über 250 Beschäftigte) im Zeitraum von 2013 bis 2022.

Durch die Kooperation mit der EnAW haben wir Einblick in den Energieverbrauch (Öl, Gas und Strom) und die Energie-Sparmassnahmen von Schweizer Unternehmen aus allen Branchen. Zielvereinbarungen für Sparmassnahmen werden zwischen den Unternehmen und der EnAW geschlossen. In einer Vereinbarung verpflichten sich die Unternehmen zu verbindlichen Sparmassnahmen. Die Einsparung wird für das Unternehmen in einem von der EnAW festgelegten Zeitraum – im Regelfall fünf Jahre – vermerkt. Für diese Zeit erfolgt im Gegenzug die Befreiung von der CO₂-Lenkungsabgabe. Die EnAW dokumentiert Zielvereinbarungen jährlich. Wir verwenden in der Analyse die Anzahl und die Summe der Einsparungsmassnahmen als abhängige Variable in einer Reihe von Regressionsanalysen.

Unternehmen mit besonders hohen Treibhausgasemissionen müssen am Handelssystem für Treibhausgasemissionszertifikate teilnehmen. Unternehmen mit mittelhohen Emissionen können freiwillig teilnehmen. Teilnehmer werden im Gegenzug von der CO₂-Lenkungsabgabe befreit. Seit 2017 können neben Schweizer Emissionszertifikaten auch europäische Zertifikate erworben und eingelöst werden.

Speziell Grossunternehmen schliessen mehrjährige, individuelle Langzeitverträge mit ihren Energieversorgern ab. Diese Informationen liegen uns nicht vor. Als Annäherung verwenden wir Handelspreise. Die Handelspreise der Energieträger und der Emissionszertifikate liegen uns vor und werden von uns als unabhängige Variablen in einer Reihe von Regressionsanalysen eingesetzt. Im Einzelnen sind dies die jährlichen Durchschnittspreise für die einzelnen Energieträger gemäss den Angaben des Bundesamts für Statistik:¹¹ der Heizölpreis pro 100 Liter ab einer Bezugsmenge von mehr als 20'000 Litern, den Gaspreis pro 1 kWh ab einer Bezugsmenge von mehr als 500'000 kWh und der Holzpreis für 6'000kg Brennholz. Somit liegen für den gesamten Beobachtungszeitraum einheitlich erhobene amtliche Preisangaben (Heizölpreis für Öl und Treibstoffe, Gaspreis für Gas und Holzpreis für erneuerbare Energieträger) vor. Für den KMU-Datensatz nehmen wir aus den Angaben der Elcom den Median-Strompreis pro 1 kWh für vier Verbraucherguppen der Industriebetriebe: für eine Bezugsmenge von maximal 8'000 kWh, für eine Bezugsmenge von maximal 30'000 kWh und für eine Bezugsmenge von über 30'000 kWh, da wir davon ausgehen, dass diese Unternehmen keinen individuellen Stromtarif wählen können. Für den Grossunternehmen-Datensatz verwenden wir stattdessen den jährlichen Durchschnitts-Spot-Strompreis, ermittelt an der European Energy Exchange in Leipzig, Deutschland, für die Schweiz (genau: Day-Ahead-Preis, volumen-gewichtet)¹², da wir davon ausgehen, dass diese Unternehmen mehrheitlich im freien Markt sind und einen individuellen Stromtarif aushandeln können, welcher sich an den üblichen Marktkonditionen für Europäische Grosskunden orientiert. Ebenso handelt es sich bei den

¹¹ Entnommen der 2023 Berechnung des Landesindex der Konsumentenpreise

(<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/preise/landesindex-konsumentenpreise/detailresultate.assetdetail.28385369.html>):

¹² Diese Preise werden von der EEX erst ab 2015 erhoben. Für die Jahre 2012-2014 liegt nur ein länder-unspezifischer Europäischer Durchschnittspreis vor, den wir mit dem Faktor 1.3 gewichtet haben. Der Faktor ergibt sich als durchschnittlicher Quotient zwischen dem Schweiz-spezifischen Durchschnitts-Spot-Strompreis und dem länder-unspezifischen Europäischen Durchschnitts-Spot-Strompreis in den Jahren 2015-2018. Siehe https://energy-charts.info/charts/price_average/chart.html?l=de&c=CH&interval=year&year=2015&legendItems=11111

Preisen der Europäischen Emissionszertifikate um jährliche Durchschnittspreise, die von der European Energy Exchange erhoben werden. Wie sich in Verlauf der Analyse zeigen wird, können insbesondere die Handelspreise nur sehr wenig Varianz in den Daten erklären, was sich an den sehr kleinen R-Quadrat-Werten einiger Schätzungen zeigt. Da möglicherweise die Preise der Energieträger und Zertifikate nicht unmittelbar auf den Verbrauch und die Einsparung wirken, regressieren wir ebenfalls die Preise der Vorperiode als Robustheitstest.

Eine weitere Problematik ergibt sich daraus, dass wir nicht die Produktion der Unternehmen kennen. Letztendlich können die Unternehmen also «sparen», indem sie weniger produzieren, oder die gleiche oder eine höhere Produktion mit derselben Energiemenge produzieren. Als Näherungsgrösse für die unternehmensspezifische Produktivität kontrollieren wir auf die Bruttowertschöpfung der entsprechenden Branche, wobei das Hauptbetätigungsfeld der Unternehmen gemäss NOGA-Code¹³ in die Kategorien «Land- und Forstwirtschaftliche Betriebe sowie Bergbau», «verarbeitendes Gewerbe», «Baugewerbe und Energieversorgung», «Handel, Verkehr und Gastgewerbe», «Finanz- und Versicherungswesen sowie Kommunikation», und «andere» klassifiziert wurden.

Alle Energiepreise sind normiert auf die Vorjahrespreise, beginnend mit dem Jahr 2013, welches als prozentuale Änderung gegenüber 2012 dargestellt wird. Gleiches gilt für die Bruttowertschöpfung der Branchen. Unsere Analyse erfolgt getrennt für den Verbrauch und die Einsparmassnahmen der Energieträger Öl (Heizöl, Benzin und Diesel), Gas (Erdgas und Propan), Strom und erneuerbare Energieträger (Biogas, Wasserstoff und Holz).

3.3 Analyse des KMU-Datensatzes

3.3.1 Überblick

Insgesamt sind im KMU-Datensatz 12756 Einsparungsmassnahmen von 986 Firmen im Beobachtungszeitraum 2012 bis 2022 verzeichnet. Die Zahl der Unternehmen ist im Beobachtungszeitraum nicht konstant, sondern nimmt im Verlauf stark zu. Während einige Firmen nur wenige Massnahmenvereinbarungen getroffen haben, haben andere Firmen über Hundert dieser getroffen.

Mit Blick auf die Hauptbetätigungsfelder der KMU-Unternehmen gemäss NOGA-Code zeigt sich eine Häufung der getroffenen Einsparungsmassnahmen bei Gewerbe- und Handelsbetrieben. Abb. 2.1 zeigt die Verteilung der Betätigungsfelder. Auffällig ist die geringe Zahl landwirtschaftlicher Betriebe und Firmen aus dem Baugewerbe.

¹³ Nomenclature Générale des Activités économiques; aus datenschutzrechtlichen Gründen kennen wir nicht den Namen, die Adresse oder den Heimat-Kanton der Unternehmen.

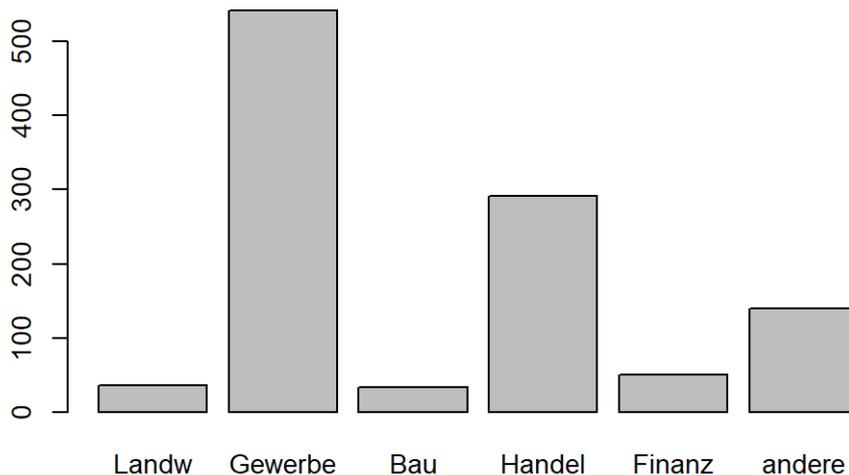


Abb. 2.1: Branchen der Firmen aus dem KMU-Datensatz gemäss NOGA-Code.

Schaut man sich die zeitliche Verteilung der initiierten Massnahmen bei den KMU an (als solche verstehen wir die erstmalige Registrierung einer Massnahme im Datensatz, welche dann wiederkehrend bis zum vereinbarten Ende ihrer Wirkungsdauer auftaucht), so wird das stetige Wachstum der absoluten Anzahl an Einsparungsmassnahmen vor allem für Strom bis 2016 offensichtlich (Abb. 2.2). Das Wachstum der Massnahmen geht allerdings auch einher mit dem stetigen Anwachsen der registrierten Firmen. Insgesamt werden die Unternehmen nicht aktiver: Durchschnittlich 0.81 Einsparungsmassnahmen für Strom schliessen die Unternehmen 2014 ab, 2015 sind dies 0.52, 2016 sind dies 0.4. Allgemein erfolgt nach 2016 eine Stagnation, welche sich erst 2021 und 2022 wieder zu einem Wachstum für alle betrachteten Energieträger verändert.

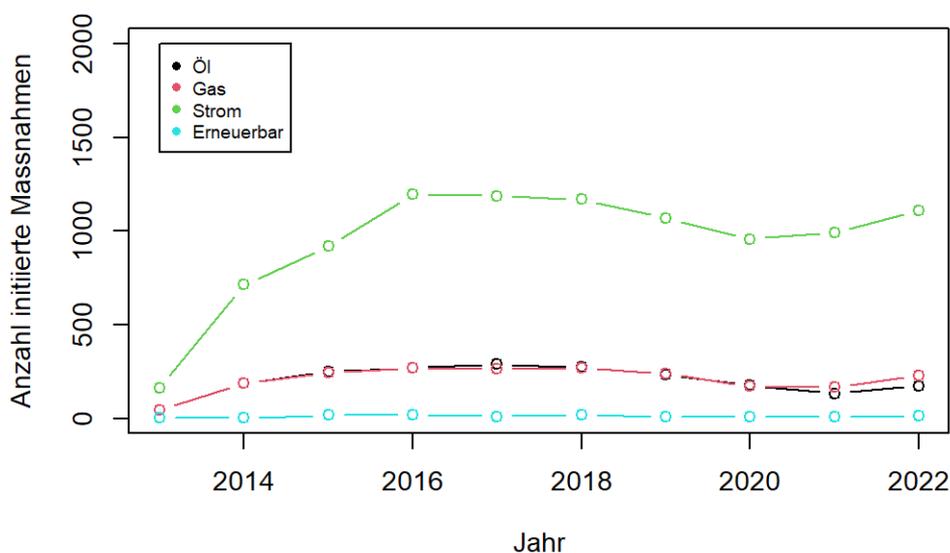


Abb. 2.2: Anzahl initiierte Energieeinsparungsmassnahmen je Energieträger.

Andererseits geht der Energieverbrauch pro Unternehmen im Beobachtungszeitraum leicht zurück. Hauptenergieträger ist Strom (Abb. 2.3). Für alle Energieträger ist ein leicht rückläufiger Zeit-Trend zu beobachten Weder für Strom noch Gas und Ölprodukte ist ein steigender oder

fallender Zeittrend zu beobachten, am stärksten für erneuerbare Energien. Die Einsparungsmassnahmen scheinen also einen wachsenden Verbrauch zu verhindern und sorgen insgesamt für einen Rückgang des Verbrauchs.

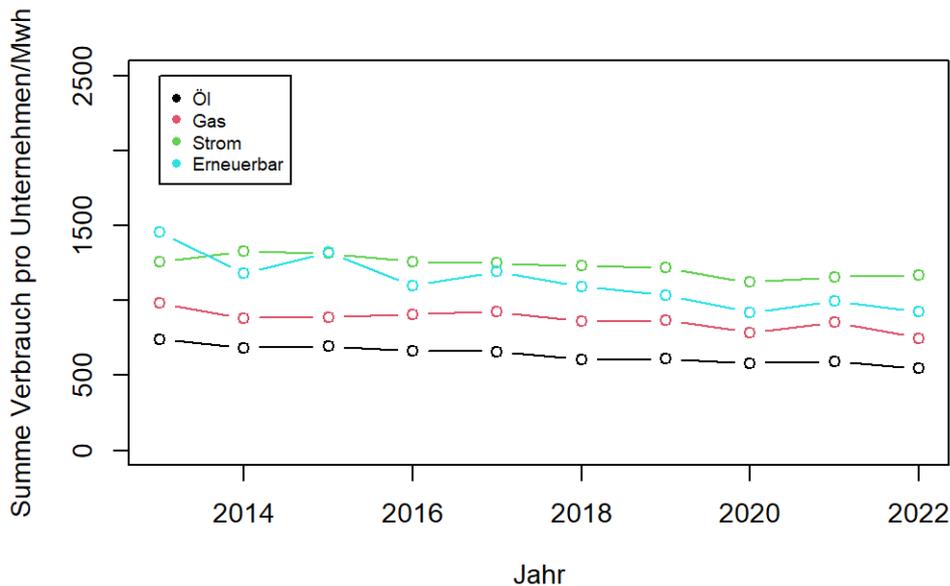


Abb. 2.3: Summe des Energieverbrauchs pro Unternehmen je Energieträger (umgerechnet in MWh).

3.3.2 Modelle

Zum Test unserer Forschungsfragen schätzen wir folgende Regressionsmodelle getrennt für die vier betrachteten Energieträger. Alle abhängigen und unabhängigen Variablen sind logarithmiert, so dass die Koeffizienten direkt als Elastizitäten interpretiert werden können.

1. Führen höhere Preise für einen Energieträger zu einem geringeren Verbrauch?

Für Forschungsfrage 1 prüfen wir, ob der Energieverbrauch eines KMU i zu Zeitpunkt t des Energieträgers e sinkt, da der Preis des Energieträgers in t gestiegen ist. Fällt also beispielsweise der Stromkonsum eines KMU in 2015, da der Preis für Strom in 2015 gestiegen ist? Gleichzeitig kontrollieren wir auf den (logarithmierten) Verbrauch von i in $t-1$ (im Beispiel 2014) sowie auf die Bruttowertschöpfung der Branche n in t (im Beispiel 2015), in der i tätig war:

$$(1) \quad \log(\text{Verbrauch pro Unternehmen}_{ite}) = \beta_1 + \beta_2 \log(\text{Preis}_{et}) + \beta_3 \log(\text{Verbrauch}_{it-1e}) + \beta_4 \log(\text{Produktivität}_{nt}) + \mu_{nt}$$

wobei μ_{nt} ein Fixed-Effect-Dummy auf Branchen-Ebene ist. Der Dummy kennzeichnet entsprechend des Jahres und gemäss der aus dem Noga-Code abgeleiteten Branche n die Unternehmen, so dass der Dummy branchenspezifische und zeitspezifische Besonderheiten herausfiltert.

2. Wie beeinflussen die Preise für andere Energieträger den Stromverbrauch?

Für Forschungsfrage 2 schätzen wir für den Energieträger Strom. Zusätzlich kontrollieren wir auch für die Preisänderung der alternativen Energieträger im Jahr t :

$$(2) \quad \log(\text{Stromverbrauch pro Unternehmen}_{it}) = \beta_1 + \beta_2 \log(\text{Preis Strom}_t) + \\ + \beta_3 \log(\text{Stromverbrauch}_{it-1}) + \beta_4 \log(\text{Produktivität}_{nt}) + \sum_{e \neq \text{Strom}} \beta_e \log(\text{Preis}_{et}) + \\ \mu_{nt}$$

wobei die Gleichung sowohl um die Preise der Alternativenergieträger gemeinsam und jeweils einzeln erweitert wird.

Wichtig ist zu beachten, dass die Schätzgleichungen (1) und (2) seriell-autokorreliert¹⁴ sind: der Stromverbrauch aus zwei nachfolgenden Perioden steht auf der linken und der rechten Seite der Gleichungen (siehe hierzu Alberini & Filippini, 2011). Um die drohende Verzerrtheit der autoregressiven-Schätzer zu umgehen, wenden wir einen General Method of Moments (GMM) Schätzer an, wie er von Arellano & Bond (1991) für die Schätzung einer dynamischen Nachfrage für kleine Zeitspannen, aber grosse Datenmengen entwickelt wurde.

3. Führen höhere Preise für einen Energieträger zu verstärkten Einsparungsmassnahmen?

Für Forschungsfrage 3 schätzen wir pro Energieträger

$$(3) \quad \log(\text{initiiertes Einsparungsumfang pro Unternehmen}_{it}) = \beta_1 + \beta_2 \log(\text{Preis}_{et}) + \\ \beta_3 \log(\text{Verbrauch}_{ite}) + \beta_4 \log(\text{Produktivität}_{nt}) + \mu_{nt}$$

wobei wir für den entsprechenden Verbrauch des Unternehmens und die Produktivität der Branche kontrollieren, da ein hoher Verbrauch auch ein hohes Einsparungspotential hat, eine hohe Produktivität aber eher gegen hohe Einsparungen sprechen.

4. Haben exogene Schocks einen Effekt auf den Verbrauch, der über den linearen Preiseffekt hinausgeht?

Abschliessend testen wir für Forschungsfrage 4 eine Erweiterung des vorherigen Modells

$$(4) \quad \log(\text{initiiertes Einsparungsumfang pro Unternehmen}_{it}) = \beta_1 + \beta_2 \log(\text{Preis}_{et}) + \\ \beta_3 \log(\text{Verbrauch}_{ite}) + \beta_4 \log(\text{Produktivität}_{nt}) + d_{2020} + d_{2022} + \mu_{nt}$$

Die Jahre 2020 (Corona-Krise) und 2022 (Ukraine-Konflikt) sind geprägt durch negative externe Schocks. Daher wollen wir diese gesondert betrachten. Hierzu verwenden wir die Dummy-Variablen d_{2020} und d_{2022} , welche für Beobachtungen aus diesen Jahren den Wert 1 haben. Die geschätzten Koeffizienten der Dummy-Variablen d_{2020} und d_{2022} zeigen mögliche ausserordentliche Reaktionen der Unternehmen auf die exogenen Schocks.

3.3.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Regressionen (1) zeigen auf der einen Seite einen signifikant negativen Koeffizienten für den Strompreis (siehe Tabelle 2.1).¹⁵ Die absolute Grösse -0.179 entspricht den aus der Literatur bekannten Werten (Spalte Strom): eine Preiserhöhung des Stroms um

¹⁴ Vom Typ AR(1).

¹⁵ Die Schätzergebnisse der Fixed Effect Schätzer μ_{nt} sind in den Tabellen 2.1 bis 2.4 nicht abgebildet.

10% senkt die Nachfrage um ca. 1.8%. Somit ist die kurzfristige Stromnachfrage Schweizer KMUs zwar preissensitiv, aber unelastisch. Anders verhält es sich mit den anderen Energieträgern: für den Energieträger Gas finden wir einen signifikant positiven Koeffizienten. Verteuert sich Gas, so wird geringfügig mehr davon verbraucht. Für die Energieträger Öl und erneuerbare Energien finden wir schliesslich keine signifikanten Koeffizienten: Die Nachfrage nach Öl und erneuerbare Energien scheint also preis-unelastisch zu sein.

Um die Robustheit der Schätzergebnisse zu erhöhen, haben wir die Regressionen (1) nochmals abgewandelt durchgeführt. So haben wir die Schätzungen mit verändertem Fehlerterm wiederholt, und alternativ den Preis der Energieträger der Vorperiode eingesetzt. Die Ergebnisse dieser Schätzungen finden sich im Anhang. Die Ergebnisse der Variation für den Energieträger Gas erlauben die Interpretation, dass die Verbrauchseinschränkungen für Gas möglicherweise erst mit einem Zeitverzug von einem Jahr wirksam werden, da möglicherweise Anpassungen längerfristig geplant werden müssen. Eine Preiselastizität auf Basis der Vorjahrespreise könnte also genauere Ergebnisse bringen. Leider erlaubt es uns die Datenlage nicht, diese Frage abklärend zu analysieren, so dass sie die zukünftige Forschung beantworten muss.

Ergebnis 1: Die Nachfrage nach Strom von KMUs ist preissensitiv, aber unelastisch. Die Stärke der Elastizität korrespondiert mit den Angaben aus der Literatur: eine Erhöhung des Strompreises von 1% führt bei Schweizer KMUs zu einer Reduktion der Nachfrage um 0.179%. Die Nachfrage nach Öl und erneuerbaren Energien ist preisunelastisch und nicht signifikant von Null verschieden. Der Verbrauch von Gas könnte möglicherweise nicht vom Preis der aktuellen Periode, sondern von dem der Vorperiode abhängen: Wir finden bei einem steigenden Preis der Vorperiode eine Abnahme im Verbrauch.

Ab. Variable: log(Verbrauch) pro Unternehmen	Öl	Gas	Strom	Erneuerbar
Log Energiepreis	0.0537 (0.058)	0.073*** (0.012)	-0.179** (0.087)	-0.151 (0.197)
Log Verbrauch Vorperiode	-0.078 (0.072)	0.285*** (0.103)	0.353*** (0.032)	-0.016 (0.103)
Log Produktivität	0.256 (0.201)	0.215** (0.104)	0.32*** (0.032)	-0.034 (0.404)
Constant	1272.44*** (202.486)	1304.82*** (109.821)	156.163*** (42.605)	-335.139 (465.37)
Branchen-Jahres FE	Ja	Ja	Ja	Ja
Wald-Test des Gesamtmodells	60***	152***	214***	1.01
Beobachtungen	481	487	894	61

Standardfehler sind in Klammern, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01. Preise und Produktivität normiert auf das Vorjahr, Verbräuche umgerechnet in MWh.

Tabelle 2.1: Regressionsergebnisse für die Modelle (1) der KMUs.

In der Schätzung können wir auch nicht für die Umsatzentwicklung auf Unternehmensebene kontrollieren, sondern lediglich durch Branchen-Jahres-Fixeffekte auf Branchenebene approximieren. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Umsatzentwicklung einen erheblichen Einfluss auf die Energienachfrage der Unternehmen hat.

Die Ergebnisse der Regressionen (2), Modelle (a) und (c), bestätigen die zuvor identifizierte Preiselastizität für Strom (siehe Tabelle 2.2): Wiederum ist der Koeffizient des Strompreises signifikant negativ und hat einen absoluten Wert von etwa 0.2. Gleichzeitig scheinen die Nachfragen nach Strom und Gas, sowie nach Strom und Öl in einem substitutiven Verhältnis zueinander zu stehen:¹⁶ Erhöhen sich Gas- oder Ölpreise, so steigt die Nachfrage nach Strom. Für erneuerbare Energien finden wir keinen signifikanten Zusammenhang (siehe Modell (c)). Bemerkenswert ist der insignifikante Koeffizient für den Strompreis in Modell (b). Der Preiseffekt des Substituts Gas scheint einen so starken Einfluss auf die Stromnachfrage zu haben, dass für den Strompreis selbst kein signifikanter Einfluss mehr auf die nachgefragte Strommenge beobachtet werden kann. Die Grösse der Koeffizienten in Modell (d) schliesslich sind vergleichbar mit denen der Modelle (a) bis (c), sind aber teilweise insignifikant. Dies deutet auf ein Multikollinearitätsproblem hin. In der Tat sind die Gas- und Ölpreise signifikant und stark positiv miteinander korreliert.¹⁷

Ergebnis 2: Es gibt Evidenz, die darauf hindeutet, dass Strom ein Substitut für Öl und Gas ist.

Ebenso wie bei den Ergebnissen der Regressionen (1) zeigt sich für den Umfang der Einsparungsvereinbarungen (gemessen in MWh) der KMU für den Energieträger Strom ein signifikanter Koeffizient (siehe Tabelle 2.3). Somit ist der Umfang der Einsparungsmassnahmen preiselastisch: Je höher der Strompreis ist, desto höher ist die Anzahl geplanter geplanten Einsparungsmassnahmen: Bemerkenswert hierbei ist, dass die Elastizität grösser als 1 ist, eine Preiserhöhung des Stroms von 1% führt daher zu einer Erhöhung des Umfangs der Einsparungsmassnahmen von knapp 1.7%. Die signifikante Preiselastizität für Einsparungsmassnahmen erscheint speziell für Strom plausibel, da es gerade für den Energieträger Strom viele rasch und einfach umsetzbare Einsparungsmöglichkeiten «von der Stange» gibt. Für Einsparungsmassnahmen anderer Energieträger erscheinen grössere Investitionen und längere Realisierungsphasen (z.B. für Baubewilligung) notwendig.

Gleichzeitig zeigt sich für die drei Energieträger Strom, Öl und Gas, dass die aktuelle Verbrauchshöhe ein guter Prädiktor für die Höhe der Einsparung (kWh) ist. Steigt der Verbrauch der Energieträger Strom, Öl und Gas um 1%, so steigen für alle drei Energieträger die Anzahl an Einsparungsmassnahmen um etwa ein Drittel eines Prozentpunktes. Dort, wo Schweizer KMUs viel verbrauchen, versuchen diese auch viel einzusparen. Allerdings ist für alle Energieträger das R^2 zudem sehr tief, was darauf hindeutet, dass andere Faktoren, welche

¹⁶ So kann man sich etwa vorstellen, dass aus Angst vor einer Strommangellage moderne industrielle Strom-Heizanlagen durch ältere, reaktivierte Öl-Heizanlagen ersetzt wurden.

¹⁷ Der Korrelationskoeffizient liegt bei $\rho=0.82$ ($p(\rho\neq 0)<0.002$, zweiseitiger Momenten-Test). Im Gegensatz hierzu sind die (regulierten) Strompreise insignifikant mit Gas und Öl korreliert (ρ liegt zwischen -0.16 und 0.14, $p(\rho\neq 0)>0.5$ für alle zweiseitige Momenten-Tests).

nicht in der Schätzung miteinbezogen werden konnten, den Umfang der Einsparungsmassnahmen wesentlich stärker beeinflussen, als die hier untersuchten Erklärungsfaktoren.

Ab. Variable: log(Stromverbrauch)

pro Unternehmen	(a)	(b)	(c)	(d)
Log Strompreis	-0.24*** (0.091)	-0.104 (0.085)	-0.198** (0.094)	-0.155 (0.099)
Log Verbrauch Vorperiode	0.423*** (0.098)	0.405*** (0.103)	0.31*** (0.0897)	0.4*** (0.102)
Log Produktivität	0.209*** (0.039)	0.294*** (0.0337)	0.311*** (0.0347)	0.228*** (0.039)
Log Ölpreis	0.063*** (0.012)			0.0651** (0.0304)
Log Gaspreis		0.017*** (0.0046)		0.001 (0.0092)
Log Preis Erneuerbare			0.0129 (0.0191)	-0.0325 (0.038)
Constant	273.1*** (40.303)	238.33** (41.54)	176.362*** (54.379)	218.42*** (57.738)
Branchen-Jahres FE	Ja	Ja	Ja	Ja
Wald-Test des Gesamtmodells	222***	205***	237***	246***
Beobachtungen	894	894	894	894

Standardfehler sind in Klammern, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01. Preise und Produktivität normiert auf das Vorjahr, Verbräuche umgerechnet in MWh.

Tabelle 2.2: Regressionsergebnisse für die Modelle (2) der KMUs.

Ergebnis 3: Die Höhe der Einsparungsmassnahmen beim Strom scheinen preiselastisch zu sein, die Einsparungen für die anderen Energieträger sind preisunelastisch bzw. nicht signifikant von Null verschieden.

Zum Abschluss schätzen wir die Modelle (3) nochmals mit der Erweiterung um die Dummy-Variablen für Beobachtungen aus den Jahren 2020 und 2022. Diese zeigen allenfalls Besonderheiten in den Einsparungsmassnahmen der Unternehmen, welche über den reinen Preismechanismus hinausgehen (siehe Tabelle 2.4). Während sich die Grössen und die Vorzeichen der Koeffizienten der Variable Verbrauch kaum verändern, beobachten wir eine deutliche Veränderung bei den anderen Koeffizienten. Die beiden Koeffizienten für die Dummy-Variablen deuten an, dass es sich um eine Besonderheit der Krisenjahre 2020 und 2022 zu handeln scheint. Gleiche Besonderheiten können wir für die Einsparungsmassnahmen von Öl (2020) und Gas (2020 und 2022) identifizieren. In beiden Fällen kann das Thema Versorgungssicherheit und die Gefahr einer Mangellage einen möglichen Einfluss auf die Entscheidungen der KMUs genommen haben. Ganz anders verhält es sich mit den Einsparungsmassnahmen für erneuerbare Energie. Hier sehen wir eine signifikante

Preiselastizität, welche allerdings in dem Krisenjahr 2022 signifikant weniger stark ausgeprägt war als in den vorherigen Jahren.

Insgesamt sollte bei Aussagen zu Koeffizienten aus den Modellen (3) und (4) Vorsicht walten. Die Modelle zeichnen sich durch ein niedriges R^2 aus, also einem kleinen Erklärungsgehalt für die Gesamtheit aller Beobachtungen. Es gibt sicherlich eine Vielzahl individuell wichtiger, für die Gesamtheit jedoch unbeobachteter Faktoren, welche den Abschluss von Einsparungsvereinbarungen beeinflussen und daher in den Regressionen nicht berücksichtigt werden können.

Ab. Variable: In(Umfang neu gemeldeter Einsparungsmassnahmen) pro Unternehmen

	Öl	Gas	Strom	Erneuerbar
Ln Energiepreis	0.0362 (0.1875)	0.054 (0.0666)	1.691** (0.686)	1.462 (1.196)
Ln Verbrauch Periode	0.348*** (0.04)	0.375*** (0.0338)	0.322*** (0.0165)	-0.0024 (0.218)
Ln Produktivität	0.9144* (0.0495)	-0.07 (0.496)	0.1334 (0.199)	1.641 (2.194)
Constant	0.52** (0.026)	0.462* (0.24)	-0.529*** (0.123)	3.808** (1.781)
Branchen-Jahres FE	Ja	Ja	Ja	Ja
R^2	0.06	0.09	0.07	0.239
F-Test des Gesamtmodells	26.3***	42.3***	154.1***	6.6***
Beobachtungen	1692	1723	8357	88

Standardfehler sind in Klammern, * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. Preise und Produktivität normiert auf das Vorjahr, Verbräuche umgerechnet in MWh.

Tabelle 2.3: Regressionsergebnisse für die Modelle (3) der KMUs.

Ergebnis 4: Die Einsparungsbemühungen beim Strom könnten möglicherweise nicht durch einen Preisanstieg begründet sein, sondern können sich auch als Reaktion auf den negativen Schock der Krisenjahre 2020 und 2022 erklären lassen. Die Schätzergebnisse der Koeffizienten der beiden Dummy-Variablen demonstrieren einen deutlichen Effekt des negativen Schocks, welcher durch die Corona-Pandemie und den Ukraine-Konflikt für die Einsparungsvereinbarungen bei Gas- und Öl-Verbrauch ausgelöst wurden: Die Zahl der Einsparungsvereinbarungen nimmt signifikant zu.

**Ab. Variable: log(Umfang neu
gemeldeter
Einsparungsmassnahmen) pro
Unternehmen**

	Öl	Gas	Strom	Erneuerbar
Log Energiepreis	0.3749 (0.287)	-0.077 (0.0796)	0.338 (0.712)	15.97** (7.846)
Log Verbrauch Periode	0.3514*** (0.0408)	0.39*** (0.0341)	0.329*** (0.0165)	-0.054 (0.218)
Log Produktivität	1.146** (0.5113)	-0.3027 (0.516)	0.063 (0.2093)	1.473 (2.217)
d ₂₀₂₀	0.366** (0.1699)	0.1521 (0.159)	0.212*** (0.0624)	0.4236 (0.7737)
d ₂₀₂₂	-0.171 (0.2067)	0.556*** (0.1543)	0.372*** (0.0576)	-6.822* 3.661
Constant	0.46* (0.26)	0.302 (0.245)	-0.64*** (0.124)	3.534* (1.777)
Branchen-Jahres FE	Ja	Ja	Ja	Ja
R ²	0.06	0.10	0.07	0.27
F-Test des Gesamtmodells	18.3***	30.8***	111.5***	5.1***
Beobachtungen	1692	1723	8357	88

Standardfehler sind in Klammer, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01. Preise und Produktivität normiert auf das Vorjahr, Verbräuche umgerechnet in MWh.

Tabelle 2.4: Regressionsergebnisse für die Modelle (4) der KMUs.

3.3.4 Zusammenfassung

Die Substitution von sich vertuernden Energieträgern ist eine schwierige Aufgabe sowohl für Unternehmen als auch Privatpersonen. Daher wird in der Literatur zumeist eine kurzfristig niedrige Preiselastizität nach Strom von -0.1 bis -0.4 angegeben (unelastische Nachfrage). Auch wir messen für Strom eine vergleichbare signifikante Grösse von -0.18. Eine Preiserhöhung des Stroms um 10% senkt daher die Nachfrage um ca. 1.8%. Gleichzeitig messen wir eine (kurzfristig) unelastische Nachfrage nach Öl (der entsprechende Koeffizient ist insignifikant), bei Gas ist sie sogar (kurzfristig) geringfügig, aber signifikant positiv (Ergebnis 1). Eine weitergehende Analyse zeigt, dass die Gasnachfrage möglicherweise nicht durch den Preis der aktuellen Periode beeinflusst wird, sondern durch den Preis der Vorperiode. Hier findet sich eine signifikante Nachfrageelastizität von etwa -0.1. Das Ergebnis 2 deutet darauf, dass Schweizer KMUs Gas und Öl (wenn auch in geringem Masse) durch Strom substituieren: Steigt der Gaspreis um 10%, so steigt der Verbrauch von Strom um 0.2%, steigt der Ölpreis um 10%, so steigt der Verbrauch von Strom um 0.6%.

Mit Hinblick auf den Umfang der Einsparungsmassnahmen der Unternehmen scheinen nur Einsparungen von Strom preissensitiv zu sein (Ergebnis 3): Eine Erhöhung des Strompreises von 10% geht mit einer Erhöhung der Einsparungsmassnahmen um 16% einher. Dies erscheint

plausibel, da es vermutlich für Strom eine Vielzahl von technischen Sparlösungen gibt. Gleichwohl zeigt eine genauere Analyse, dass die geschätzte Preiselastizität der Entwicklung in den Krisenjahren 2020 und 2022 geschuldet sein kann (Ergebnis 4): So können neben dem deutlichen Preissprung für Strom auch Befürchtungen von Versorgungsunsicherheiten und Mangellagen Gründe für Einsparungsbemühungen sein. Ähnlich verhält es sich mit den Einsparungsvereinbarungen für Gas und Öl. Beide erhöhen sich signifikant in den Jahren 2020 und 2022.

3.4 Analyse des Grossunternehmens-Datensatzes

3.4.1 Überblick

Abschnitt 3.4 befasst sich mit der Datenanalyse des zweiten Datensatzes, welcher die Einsparungsvereinbarungen der Grossunternehmen betrifft. Insgesamt sind in dem Datensatz 32809 Einsparungsmassnahmen von 3330 Firmen oder Teilbetrieben¹⁸ im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2022 verzeichnet. Auch in diesem Datensatz steigt die Zahl der Unternehmen im Beobachtungszeitraum, jedoch weniger stark als im KMU-Datensatz. Mehr Grossunternehmen scheinen bereits zu Beginn des Einsparungsprogramms die Bedeutung von Einsparmassnahmen erkannt zu haben. Wiederum treffen einige Firmen nur wenige Massnahmenvereinbarungen, während andere Firmen über hundert Vereinbarungen getroffen haben.

Abb. 2.4 zeigt die Verteilung der Betätigungsfelder, wiederum klassifiziert in die Kategorien «land- und forstwirtschaftliche Betriebe sowie Bergbau», «verarbeitendes Gewerbe», «Baugewerbe und Energieversorgung», «Handel, Verkehr und Gastgewerbe», «Finanz- und Versicherungswesen sowie Kommunikation», und «andere». Mit Blick auf die Hauptbetätigungsfelder der Grossunternehmen gemäss NOGA-Code zeigt sich eine Häufung bei Gewerbe- und Handelsbetrieben. Im Gegensatz zu den KMUs finden wir viele Beobachtungen aus dem Bereich Landwirtschaft. Ein genauerer Blick auf den NOGA-Code zeigt, dass es sich hierbei um landwirtschaftliche Teilbetriebe handelt. Aus der Energieverbrauchszahlen wird ersichtlich, dass diese Teilbetriebe sehr klein sind, so dass möglicherweise angezweifelt werden kann, dass es sich hierbei um wirklich wirtschaftlich unabhängige Teilbetriebe handelt.

¹⁸ Grossunternehmen können im Gegensatz zu KMUs Vereinbarungen für Teilbetriebe ihrer Unternehmen abgeben.

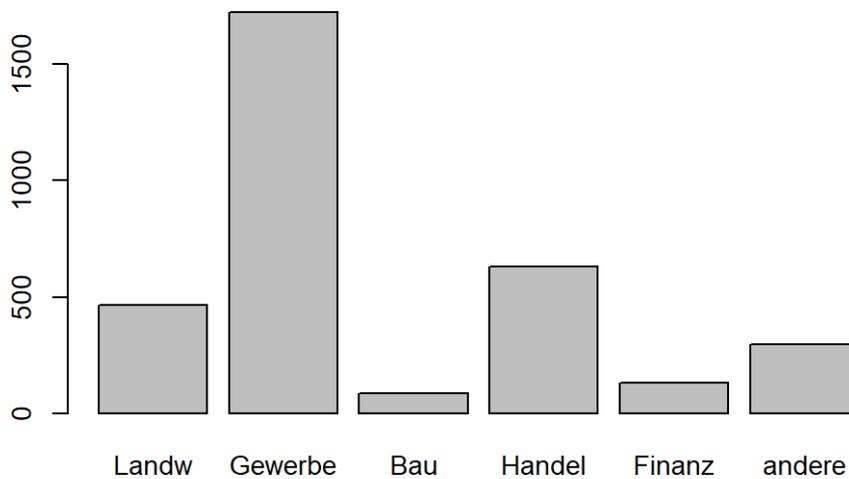


Abb. 2.4: Branchen der Firmen aus dem Grossunternehmen-Datensatz gemäss NOGA-Code.

Schaut man sich wiederum die zeitliche Verteilung der initiierten Massnahmen an, so ergibt sich ein ähnliches Bild wie für KMUs. Einem stetigen Wachstum der absoluten Anzahl an Einsparungsmassnahmen – vor allem für Strom – bis 2016 (Abb. 2.5) folgt ein leichter Rückgang bis 2021. Mehr als doppelt so viele Einsparungsmassnahmen wie für andere Energieträger entfallen auf den Energieträger Strom. Wiederum könnten die Einsparungen bei diesem Energieträger besonders einfach zu sein, da viele vorgefertigte Komponenten erhältlich sind.

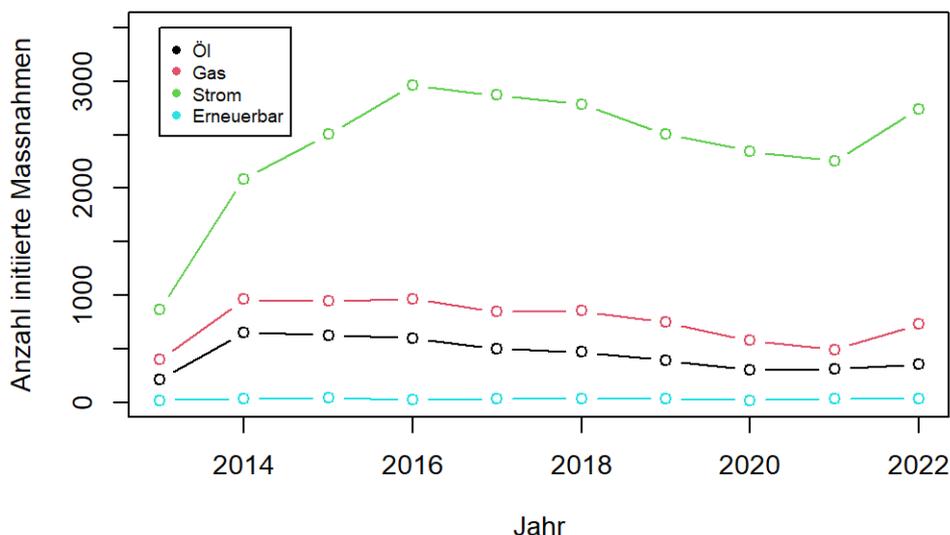


Abb. 2.5: Anzahl initiierte Energieeinsparungsmassnahmen je Energieträger.

Im Vergleich zu den KMUs zeigt sich ein deutlicher Unterschied im Energieverbrauch der Grossunternehmen. Dieser ist für alle Energieträger rückläufig im Beobachtungszeitraum.

Hauptenergieträger ist nicht Strom (Abb. 2.6), sondern Gas. Die Einsparungsmassnahmen scheinen also für einen fallenden Verbrauch mitverantwortlich zu sein.



Abb. 2.6: Summe des Energieverbrauchs pro Unternehmen je Energieträger (umgerechnet in MWh).

3.4.2 Modelle

Der Test unserer Forschungsfragen erfolgt wiederum über die Schätzung der folgenden Regressionsmodelle, wobei diese getrennt für die vier betrachteten Energieträger geschätzt werden. Alle abhängigen und unabhängigen Variablen sind logarithmiert, so dass die Koeffizienten wie schon im vorangegangenen Kapitel direkt als Elastizitäten interpretiert werden können. Auch auf den Datensatz der Grossunternehmen wenden wir unsere Forschungsfragen an.

1. Führen höhere Preise für einen Energieträger zu einem geringeren Verbrauch?

Wiederum prüfen wir, ob der Energieverbrauch eines Grossunternehmens i zu Zeitpunkt t des Energieträgers e sinkt, da der Preis des Energieträgers in t gestiegen ist. Fällt also beispielsweise der Gaskonsum eines Grossunternehmens in 2018, da der Preis für Gas in 2018 gestiegen ist? Gleichzeitig kontrollieren wir auf den (logarithmierten) Verbrauch von i in $t-1$ (im Beispiel 2017), auf die Bruttowertschöpfung der Branche in t (im Beispiel 2018), in der i tätig war, sowie, zusätzlich zu den Schätzungen in Kapitel 4.3, auf den im Jahresverlauf durchschnittlichen Handelspreis eines CO2 Zertifikats im Jahr t (im Beispiel 2018). Dabei gehen wir davon aus, dass hohe Zertifikatspreise zu einem geringeren Verbrauch (speziell von Öl und Gas) führen:

$$(1) \quad \log(\text{Verbrauch pro Unternehmen}_{ite}) = \beta_1 + \beta_2 \log(\text{Preis}_{et}) + \beta_3 \log(\text{Verbrauch}_{it-1e}) + \beta_4 \log(\text{Produktivität}_{nt}) + \beta_5 \log(\text{Preis CO2 Zertifikat}_t) + \mu_{nt}$$

wobei wiederum μ_{nt} ein Fixeffekt auf Branchen-Ebene ist und branchenspezifische und zeitspezifische Besonderheiten herausfiltert. Wiederum ist die Schätzgleichung (1) seriell-

autokorreliert, so dass wir einen General Method of Moments (GMM) Schätzer anwenden (Arellano & Bond, 1991).

In Abweichung von Kapitel 3.3 werden wir auf eine Schätzung zur 2. Forschungsfrage wurde aufgrund der mangelnden Datenlage verzichten. Dies tun wir auch, da bei der Schätzung der Regression (2) mit mehreren Energiepreise zugleich Multikollinearitätsprobleme hinzugekommen wären, welche die Schätzergebnisse zusätzlich verzerrt hätten. Daher fahren wir mit folgender Forschungsfrage fort:

3. Führen höhere Preise für einen Energieträger zu verstärkten Einsparungsmassnahmen?

Somit schätzen wir pro Energieträger

$$(3) \quad \log(\text{initiiierter Einsparungsumfang pro Unternehmen}_{it}) = \beta_1 + \beta_2 \log(\text{Preis}_{et}) + \beta_3 \log(\text{Verbrauch}_{ite}) + \beta_4 \log(\text{Produktivität}_{it}) + \beta_5 \log(\text{Preis CO2 Zertifikat}_t) + \mu_{nt}$$

wobei wir für den entsprechenden Verbrauch des Unternehmens und die Produktivität der Branche kontrollieren, da ein hoher Verbrauch auch ein hohes Einsparungspotential hat, eine hohe Produktivität aber eher gegen hohe Einsparungen sprechen. Hohe Zertifikatspreise könnten Einsparungen hervorrufen.

4. Haben exogene Schocks einen Effekt auf den Verbrauch, der über den linearen Preiseffekt hinausgeht?

Abschliessend testen wir wiederum durch eine Erweiterung des vorherigen Modells.

$$(4) \quad \log(\text{initiiierter Einsparungsumfang pro Unternehmen}_{it}) = \beta_1 + \beta_2 \log(\text{Preis}_{et}) + \beta_3 \log(\text{Verbrauch}_{ite}) + \beta_4 \log(\text{Produktivität}_{it}) + \beta_5 \log(\text{Preis CO2 Zertifikat}_t) + d_{2020} + d_{2022} + \mu_{nt}$$

Die Koeffizienten der beiden Dummy-Variablen geben hierbei Aufschluss, ob die Jahre 2020 (Corona-Krise) und 2022 (Ukraine-Konflikt) durch negative externe Schocks geprägt sind.

3.4.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Regressionen (1) zeigen ein anderes Bild als die früheren Koeffizienten für KMUs. Die Koeffizienten der Preise für Öl, Strom und erneuerbare Energien sind signifikant positiv (siehe Tabelle 2.5).¹⁹ Somit sind die Nachfrage nach einem Energieträger und Preise für eben diesen Energieträger positiv gekoppelt. Gleichzeitig ist die absolute Höhe der Preiselastizitäten äusserst klein im Vergleich zu den (mit negativen Vorzeichen) genannten Werten aus der Literatur (-0.1 bis -0.4). So aber ist eine Preiserhöhung des Stroms um 1% mit einer höheren Stromnachfrage von 0.015% verbunden. Möglicherweise können Grossunternehmen einen Teil der Preissteigerungen an ihre Endverbraucher weiterreichen. Andererseits ist eine weitere mögliche Erklärung, dass die Energiepreise positiv mit der

¹⁹ Die Schätzergebnisse der Fixed Effect Schätzer μ_{nt} sind in den Tabellen 2.5 bis 2.8 nicht abgebildet.

allgemeinen Wirtschaftsentwicklung und damit auch mit der Nachfrage nach den Produkten der Grossunternehmen korrelieren. Dies könnte erklären, wieso höhere Energiepreise mit einer höheren Nachfrage einhergehen. Mit vorliegendem Datensatz können wir für die Nachfrageentwicklung auf Unternehmensebene nicht kontrollieren. Weiter ist es auch schwierig die korrekte zeitliche Zuordnung von Energiepreis und Nachfrageentscheidung vorzunehmen. So liegen Energiepreisdaten über das ganze Jahr in Tagesintervallen vor, während für die Nachfrage nur der Jahresverbrauch bekannt ist. Dies gilt insbesondere für Strom: liegt im vorherigen Datensatz für KMUs ein exogen (da regulierter) gleicher Preis im Jahresverlauf vor, welchen die KMU auch tatsächlich bezahlen, haben wir für Grossunternehmen einen Durchschnittshandelspreis. Dieser dürfte in vielen Fällen, bspw. bei langfristigen Verträgen mit Fixpreisen, nicht dem tatsächlich bezahlten Strompreis der Grossverbraucher entsprechen. So kennen wir weder die für Grossunternehmen tatsächlich gültigen Energiepreise ihres spezifischen Stromvertrags mit dem Versorger, noch wissen wir, zu welchem Zeitpunkt innerhalb des Jahres die Unternehmen ihre Stromverträge abschliessen. Interessanterweise zeigt sich, dass die Nachfrage von Grossunternehmen nach Gas nicht signifikant vom Gaspreis beeinflusst wird.

Ergebnis 5: Der Verbrauch von Öl, Strom und erneuerbare Energien von Grossunternehmen ist positiv korreliert mit dem Grosshandelspreis der Energieträger. Allerdings bestehen starke Vorbehalte bezüglich der Validität dieser Schätzung, da die Preise nicht überall exogen sind und in vielen Fällen nicht den tatsächlich bezahlten Endkundenpreisen entsprechen dürfte. Damit ist der Wirkungszusammenhang an dieser Stelle unklar (werden beispielsweise erneuerbare Energien über regionale Märkte gehandelt, so ist auch eine Wirkungsumkehr denkbar). Ein steigender Verbrauch fällt zwar mit einem steigenden Marktpreis zusammen, muss diesen aber nicht bewirken, sondern dürfte auf andere nicht beobachtbare Faktoren zurückzuführen sein.

Wiederum versuchen wir die Robustheit der Schätzergebnisse zu erhöhen, indem wir die Regressionen (1) nochmals in abgewandelter Form durchführen. Nähere Informationen hierzu gibt es im Anhang dieses Berichts. Dabei werden signifikant negative Preiselastizitäten der Preise des Vorjahres auf den Energieverbrauch ausser für Strom geschätzt. Die Ergebnisse dieser Variation erlaubt die Interpretation, dass die Verbrauchseinschränkungen für Öl, Gas und Erneuerbare Energien möglicherweise erst mit einem Zeitverzug von einem Jahr wirksam werden, falls Anpassungen längerfristig geplant werden müssen und umfangreichere Investitionen bedürfen. Leider erlaubt es uns die Datenlage nicht, diese Frage abklärend zu analysieren, so dass diese Frage zukünftige Forschung beantworten muss.

Hinsichtlich der Einsparungsvereinbarungen der Grossunternehmen zeigt sich im Vergleich zu den Ergebnissen für KMUs ein sehr unterschiedliches Bild. Die Koeffizienten der Preise der Energieträger Öl, Gas und Strom sind signifikant negativ. Eine Erhöhung der Preise für diese Energieträger fällt zusammen mit einer geringeren Anzahl an eingesparten MWh Energie (siehe Tabelle 2.6). Wiederum ist einzuschränken, dass Wirkungszusammenhänge nicht erörtert werden können. Im Gegensatz hierzu zeigen die signifikant positiven Koeffizienten der Variablen Verbrauch und Produktivität für Strom, Öl und teilweise Gas, das erwartete positive Vorzeichen. Somit erhöht ein hoher Verbrauch die eingesparten MWh Energie.

Ab. Variable: log(Verbrauch) pro Unternehmen	Öl	Gas	Strom	Erneuerbar
Log Energiepreis	0.017*** (0.047)	0.0127 (0.011)	0.015** (0.007)	0.097*** (0.144)
Log Verbrauch Vorperiode	0.245*** (0.024)	-0.042** (0.0198)	0.163*** (0.014)	0.295 (0.077)
Log Produktivität	-0.342* (0.197)	-0.315*** (0.116)	0.233*** (0.054)	-0.745* (0.389)
Log CO2 Preis	-0.016 (0.025)	0.0179 (0.016)	-0.005 (0.008)	0.033 (0.0455)
Constant	914.3*** (84.61)	789.87*** (57.31)	421.75*** (29.108)	-79.578 (177.3)
Branchen-Jahres FE	Ja	Ja	Ja	Ja
Wald-Test des Gesamtmodells	422***	308***	214***	20***
Beobachtungen	1642	1442	2536	214

Standardfehler sind in Klammern, * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. Preise und Produktivität normiert auf das Vorjahr, Verbräuche umgerechnet in MWh.

Tabelle 2.5: Regressionsergebnisse für die Modelle (1) der Grossunternehmen.

Mit Blick auf die «inverse» Preiselastizität für die Preise der Energieträger wäre eine mögliche Interpretation, dass teurere Energieträger für Grossunternehmen uninteressanter werden und die Unternehmen den Verbrauch dieser Energieträger und mithin auch deren Einsparungsmassnahmen reduzieren. Die Ergebnisse zu Modell (2) unterstützen diese Interpretation. Da für die Analyse allerdings nur ein Gleichgewichtspreis für die Energieträger im Jahresdurchschnitt vorliegt, sind auch andere Erklärungsansätze möglich: Ein höherer Energiepreis könnte beispielsweise die Preise für die Technologie der Einsparungsmassnahmen beeinflussen und hierüber auch die Höhe der Einsparungsmassnahmen senken. Dies kann auf Basis der aktuellen Datenlage leider nicht weiter geklärt werden.

Ergebnis 6: Die Höhe der eingesparten MWh beim Strom, Öl und Gas sind gemäss Schätzung «invers» preiselastisch, ein höherer Preis senkt den Umfang der neu geschlossenen Einsparungsmassnahmen. Da die Preise jedoch nicht zwingend den bezahlten Preisen der Unternehmen entsprechen, können die Ergebnisse auch eine Scheinkorrelation darstellen. Ein weiterer möglicher Erklärungsansatz wäre die Substitution des betreffenden Energieträgers durch andere Energieträger.

**Ab. Variable: log(Umfang neu
gemeldeter
Einsparungsmassnahmen) pro
Unternehmen**

	Öl	Gas	Strom	Erneuerbar
Log Energiepreis	-2.771*** (0.007)	-0.158*** (0.0548)	-0.308*** (0.03)	0.1825 (0.2618)
Log Verbrauch Periode	0.0234** (0.01)	0.012 (0.003)	0.0164*** (0.004)	-0.0116 (0.0369)
Log Produktivität	1.562*** (0.464)	0.9** (0.356)	0.82*** (0.198)	1.1 (1.74)
Log CO2 Preis	0.0007 (0.009)	-0.0264. (0.067)	-0.162*** (0.0366)	0.117 (0.369)
Constant	2.974*** (0.0079)	3.276*** (0.0609)	2.47*** (0.034)	3.253*** (2.891)
Branchen-Jahres FE	Ja	Ja	Ja	Ja
R ²	0.02	0.01	0.02	0.03
F-Test des Gesamtmodells	17.69***	20.7***	89***	1.7
Beobachtungen	4059	6925	23238	269

Standardfehler sind in Klammern, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01. Preise und Produktivität normiert auf das Vorjahr, Verbräuche umgerechnet in MWh.

Tabelle 2.6: Regressionsergebnisse für die Modelle (3) der Grossunternehmen.

Zum Abschluss schätzen wir die Modelle (3) nochmals mit der Erweiterung um die Dummy-Variablen für Beobachtungen aus den Jahren 2020 und 2022. Die Schätzergebnisse für die Koeffizienten der Dummy-Variablen sind durchgängig insignifikant, während sich alle weiteren Koeffizienten kaum verändern (siehe Tabelle 2.7). Daher ist davon auszugehen, dass Grossunternehmen ihre Einsparungsmassnahmen in den Krisenjahren 2020 und 2022 nicht systematisch verändert haben.

Wiederum ist zu bemerken, dass die Modelle (3) and (4) ein niedriges R² ausweisen. Somit ist der Erklärungsgehalt dieser Modelle für die Gesamtheit aller Beobachtungen eingeschränkt. Somit gibt es auch für Grossunternehmen eine Vielzahl individuell wichtiger, für die Gesamtheit jedoch unbeobachteter Faktoren, welche den Abschluss von Einsparungsvereinbarungen beeinflussen und daher in den Regressionen nicht berücksichtigt werden können. Beispielsweise können Grossunternehmen unabhängig von den getroffenen Einsparungsmassnahmen zwischen Energieträgern wechseln.

Ergebnis 7: Die negativen Schocks der Krisenjahre 2020 und 2022 scheinen die Menge der geplanten Einsparungsbemühungen von Grossunternehmen nicht zu beeinflussen.

**Ab. Variable: log(Umfang neu
gemeldeter
Einsparungsmassnahmen) pro
Unternehmen**

	Öl	Gas	Strom	Erneuerbar
Log Energiepreis	-2.742*** (0.07)	-0.157*** (0.0548)	-0.309*** (0.03)	0.187 (0.2627)
Log Verbrauch Periode	0.0235** (0.01)	0.018 (0.008)	0.0164*** (0.004)	-0.0115 (0.037)
Log Produktivität	1.556*** (0.464)	0.906** (0.356)	0.82*** (0.198)	1.07 (1.747)
Log CO2 Preis	-0.0046 (0.089)	-0.0068 (0.069)	-0.172*** (0.0366)	0.1511 (0.323)
d ₂₀₂₀	0.096 (1.472)	0.167 (0.1068)	-0.039 (0.0537)	0.359 (0.573)
d ₂₀₂₂	0.173 (0.132)	0.0044 (0.0941)	3.392 (4.87)	0.037 (0.42)
Constant	2.951*** (0.0082)	3.258*** (0.063)	2.47*** (0.036)	3.218*** (0.298)
Branchen-Jahres FE	Ja	Ja	Ja	Ja
R ²	0.02	0.02	0.02	0.03
F-Test des Gesamtmodells	12.93***	15.2***	63.8***	1.3
Beobachtungen	4059	6925	23238	269

Standardfehler sind in Klammern, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01. Preise und Produktivität normiert auf das Vorjahr, Verbräuche umgerechnet in MWh.

Tabelle 2.7: Regressionsergebnisse für die Modelle (4) der Grossunternehmen.

3.4.4 Zusammenfassung

Insgesamt sind die Schätzergebnisse für die Preiselastizitäten von Grossunternehmen wenig intuitiv. Die basale Hypothese, dass höhere Preise für einen Energieträger zu einem geringeren Verbrauch führen, kann nicht gestützt werden. Gleiches gilt für den Einfluss der Preise von Energieträgern auf die eingesparten MWh Energie. Vor allem scheint dies daran zu liegen, dass in der Analyse der Grossunternehmen im Gegensatz zur Analyse bei den KMU's die tatsächlich bezahlten Preise der Unternehmen unbekannt waren. Grossunternehmen unternehmen zusätzliche Anstrengungen, um eine langfristige, stabile Versorgung mit Energie zu erreichen. Daher scheint der durchschnittliche Handelspreis der Energieträger für Grossunternehmen ein nur unzureichendes Hilfsmittel zu sein, zumal Grossunternehmen. So zeigen die Schätzergebnisse dieses Kapitels keinen erwarteten Einfluss der Energieträgerpreise auf den Verbrauch und die Einsparungsmassnahmen von Grossunternehmen (Ergebnisse 5+6). Interessant ist, dass wir keinen Einfluss der ausserordentlichen Jahre 2020 und 2022 auf die Einsparungspläne der Grossunternehmen finden (Ergebnis 7). Einsparungsmöglichkeiten werden bei Grossunternehmen somit systematisch und unabhängig von aktuellen Ereignissen, sondern vermutlich aufgrund von Preiserwartungen geplant.

3.5 Literaturverzeichnis

- Agnolucci, P. (2009). The energy demand in the British and German industrial sectors: Heterogeneity and common factors. *Energy Economics*, 31(1), 175-187.
- Agnolucci, P., De Lipsis, V., & Arvanitopoulos, T. (2017). Modelling UK sub-sector industrial energy demand. *Energy Economics*, 67, 366-374.
- Alberini, A., & Filippini, M. (2011). Response of Residential Electricity Demand to Price: The Effect of Measurement Error. *Energy Economics*, 33(5): 889–895
- Bernstein, R., & Madlener, R. (2015). Short-and long-run electricity demand elasticities at the subsectoral level: A cointegration analysis for German manufacturing industries. *Energy Economics*, 48, 178-187
- Burke, P. J., & Abayasekara, A. (2018). The price elasticity of electricity demand in the United States: A three-dimensional analysis. *The Energy Journal*, 39(2).
- Cialani, C., & Mortazavi, R. (2018). Household and industrial electricity demand in Europe. *Energy policy*, 122, 592-600.
- Filippini, M. (1999), Swiss Residential Demand for Electricity. *Applied Economics Letters*, 6, S. 533–538.
- Ros, A.J. (2017). An Econometric Assessment of Electricity Demand in the United States Using Utility-Specific Panel Data and the Impact of Retail Competition on Prices. *The Energy Journal* 38(4): 73–99.

4 Anhang

4.1 Anhang AP1

Literaturüberblick und Einordnung dieser Arbeit

Mit zunehmender Fahrzeugnutzung steigen die Ausgaben für Treibstoffe. Gemäss ökonomischer Grundprinzipien sollte bei einem Anstieg der Treibstoffpreise unter sonst gleichen Bedingungen (d.h. ceteris paribus) die Nachfrage nach Treibstoff zurückgehen und sich das Verkehrsvolumen auf den Strassen (Autobahnen und Landstrassen) verringern. Folglich könnten Veränderungen im Fahrverhalten (z.B. wie oft und wie lange man fährt, und mit welcher Geschwindigkeit) erkannt werden. Es ist aber wichtig zu erwähnen, dass sich der Treibstoff (d.h. Diesel und Benzin) allerdings von anderen üblichen Produkten unterscheidet, weil es nur begrenzte Alternativen gibt und ein Teil der Menschen daher stark auf Fahrzeuge angewiesen sind, beispielsweise für die Fahrt zur Arbeit.²⁰

Fahrverhalten: Verkehrsvolumen und Geschwindigkeit

Wie sich das Fahrverhalten ändert, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Beispielsweise könnten sich Haushalte, welche das Auto mehrheitlich für Freizeitaktivitäten verwenden, dafür entscheiden, weniger Auto zu fahren, obwohl sie finanziell nicht darauf angewiesen sind, da sie beispielsweise von zu Hause aus arbeiten können. Haushalte, welche auf das Auto zum pendeln angewiesen sind, hingegen könnten Schwierigkeiten haben, die gefahrenen Fahrzeugkilometer zu reduzieren, da sie beispielsweise vor Ort arbeiten müssen und oft bereits auf die nötigsten Ressourcen beschränkt sind, um ein funktionsfähiges Leben in der Gesellschaft aufrechtzuerhalten (Wang & Chen, 2014). Donna (2021) verwendet Daten aus Chicago und findet, dass Personen mit niedrigerem Einkommen eher dazu neigen, vom individuellen Fahrzeug auf den öffentlichen Nahverkehr umzusteigen. Dies steht im Gegensatz zu Personen mit mittleren und höheren Einkommen, deren Reaktion auf die steigende Treibstoffkosten geringer ausfällt. Auf der anderen Seite kann ein Rebound-Effekt auftreten, bei dem Haushalte auf Fahrzeuge mit geringerem Treibstoffverbrauch umsteigen und daher möglicherweise länger und häufiger fahren (Berkhout, et al., 2000).

Es gibt andere Studien, die empirisch den Zusammenhang zwischen Treibstoffpreis und Fahrverhalten schätzen. Sie verwenden Daten pro Fahrzeug, und kombinieren sie mit anderen demographischen Daten pro Haushalt. Gillingham (2014) untersucht mit solchen Daten, wie sich die gefahrenen Kilometer verändern, wenn der Treibstoffpreis steigt. Seine Ergebnisse zeigen, dass eine Erhöhung des Treibstoffpreises um 10% zu einem mittelfristigen Rückgang der gefahrenen Kilometer um 2.2% führt. Die Ergebnisse zeigen zudem signifikante Unterschiede je nach Einkommensgruppe, geografischer Lage und demografischen Merkmalen.

Es ist wichtig weitere Einflussfaktoren zu diskutieren, die einen Einfluss haben können, warum sich das Verkehrsvolumen möglicherweise nicht sofort und vollständig verändert, wenn sich die Treibstoffpreise ändern. Pendler, die mit dem Auto fahren, benötigen an beiden Enden ihres Arbeitsweges Parkplätze, die oft begrenzt sind. In der Regel dauert es einige Wochen oder

²⁰ Dies gilt auch für Produkte mit einer unelastischen Nachfrage wie Salz, Strom, Medikamente usw.

Monate, um einen Parkplatz in der Nähe der Arbeit oder der Wohnung zu bekommen. Auf der anderen Seite haben Pendler, die öffentliche Verkehrsmittel nutzen, ein Abo mit einem festen Ablaufdatum. Das könnte dazu führen, dass sie aufgrund steigender oder sinkender Treibstoffpreise länger brauchen, um tatsächlich einen Wechsel vom Auto zum öffentlichen Verkehr oder umgekehrt vorzunehmen (Dona, 2021). Es gibt zusätzliche Faktoren, welche diese Hysterese²¹ beeinflussen. Dazu gehört die Anzahl der Mitfahrer im Fahrzeug und die potenziell hohen Wechselkosten beim Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel. Deshalb könnte es Zeit brauchen, um auf eine Veränderung der Treibstoffpreise zu reagieren und ein Wechsel des Verkehrsmittels erfolgt möglicherweise nicht unmittelbar.

Levin et al. (2017) finden, dass wenn der Treibstoffpreis um 10% steigt, die nachgefragte Menge nach Treibstoff kurzfristig zwischen 2.7% und 3.5% sinkt. Sie kritisieren Studien, die niedrigere Werte schätzen, und führen dies auf die starke Aggregation von Querschnittsdaten auf nationaler oder regionaler Ebene zurück. Zudem zeigen sie auf, dass Menschen in der Realität täglich Entscheidungen über ihren Treibstoffverbrauch treffen und dabei direkt von den aktuellen Treibstoffpreisen in ihrer lokalen Umgebung beeinflusst werden. Daher führt die Aggregation von empirischen Modellen, die den monatlichen oder jährlichen Treibstoffverbrauch mit Durchschnittspreisen über grosse geografische Gebiete in Verbindung bringen, zwangsläufig dazu, dass unterschiedliche Verbrauchsentscheidungen zusammengefasst werden, was wiederum einen erheblichen Teil der Reaktion der Haushalte auf lokale Preisänderungen verbergen kann. In unserer Studie nutzen wir die wöchentlichen Verkehrsvolumen pro Messstation für die Schweiz, Österreich und Deutschland. Leider stehen uns nur Treibstoffpreise auf nationaler Ebene zur Verfügung. Aber mit Hilfe von Fixeffekten können wir die anhaltenden Unterschiede im Verkehrsvolumen über die Zeit und zwischen verschiedenen Messstationen besser kontrollieren.

Neuzulassungen

Ein weiteres Ziel unserer Studie ist es, zu untersuchen, inwieweit der Treibstoffpreis entscheidend für die Fahrzeugauswahl ist. Die Menge an wissenschaftlichen Studien zu diesem Thema ist sehr umfangreich.

Greene et al. (2005) und Allcot & Wozny (2014) zeigen, dass Haushalte weniger auf den Treibstoffpreis achten, wenn sie eine Entscheidung für den Erwerb eines Fahrzeuges treffen, und es scheint, dass sie die Fahrzeugpreise in ihren Kaufentscheidungen stärker berücksichtigen und daher bereit sind, zukünftig höhere Treibstoffkosten in Kauf zu nehmen – das sogenannte «Energieparadox» verzerrt die intertemporale Nutzenfunktion.

Auf der anderen Seite finden Langer & Miller (2013) in ihrer empirischen Studie, dass mit steigenden Treibstoffpreisen die Hersteller höhere Rabatte bieten.²² Dies lässt darauf

²¹ Donna (2021) verwendet den Begriff "Hysterese", um das Phänomen zu beschreiben, dass sich die Treibstoffnachfrage möglicherweise nicht sofort und vollständig ändern, wenn sich die Treibstoffpreise ändern. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Anpassung der Nachfrage nach Treibstoff an Preisschwankungen nicht unmittelbar erfolgt, sondern sich über einen längeren Zeitraum erstreckt, was auf Hysterese in der Treibstoffnachfrage hindeuten könnte.

²² In dieser Studie werden Daten der grössten Hersteller in den USA zwischen 2003 und 2006 genutzt, nämlich General Motors, Ford, Chrysler und Toyota.

schliessen, dass die Haushalte den Einfluss der Treibstoffpreise beim Erwerb eines Fahrzeuges durchaus berücksichtigen.

Zu der Gruppe der Studien, die einen signifikanten Einfluss von Treibstoffpreisen auf die Kaufentscheidung eines Fahrzeuges nachweisen, zählt auch jene von Busse et al. (2013). Sie stellen fest, dass es eine deutliche Veränderung in den Marktanteilen von Neuwagen gibt, wenn sich die Treibstoffpreise ändern. Ihre Ergebnisse zeigen, dass wenn der Treibstoffpreis um 1 US-Dollar pro Gallone (was 0.26 US-Dollar pro Liter entspricht) steigt, der Marktanteil neuer Fahrzeuge mit höchster Effizienz um 21.1 Prozent steigt. Sie verwenden Daten zu individuellen Transaktionen, die eine Vielzahl von Merkmalen zu jeder Transaktion erfassten, wie Standort, Kaufzeitpunkt, detaillierte Fahrzeugeigenschaften und demografische Merkmale der Käufer vom 1. Januar 1999 bis zum 30. Juni 2008. Wir verwenden in unserer Analyse Marktanteile neuer Fahrzeuge nach Treibstoff und Leistung. Leider können wir unsere Daten mit den spezifischen Details zu Fahrzeugen und den demografischen Daten der Käufer nicht verknüpfen. Deshalb analysieren wir lediglich einen durchschnittlichen Effekt des Treibstoffpreises auf die jeweiligen Anteile.

In einer anderen Studie bieten Busse et al. (2014) einen neuen Blickwinkel auf die Entscheidungsfindung von Haushalten beim Fahrzeugkauf, indem sie empirisch die Auswirkungen der Wetterbedingungen berücksichtigen. Sie untersuchen, inwieweit die Wetterlage zum Zeitpunkt des Kaufs dazu führen kann, dass Haushalte den Wert bestimmter Fahrzeugmerkmale überschätzen. Sie finden, dass Haushalte warmwettertaugliche Fahrzeugtypen (z.B. Cabrios) überbewerten, wenn das Wetter zum Zeitpunkt des Kaufs warm und sonnig ist, und kaltwettertaugliche Fahrzeugtypen (z.B. Allradfahrzeuge) überbewerten, wenn das Wetter zum Zeitpunkt des Kaufs kalt und verschneit ist. Mit unseren stark aggregierten Daten können wir die direkten Auswirkungen des Wetters nicht explizit berücksichtigen. Ausserdem zielt unsere Studie darauf ab, die Einflüsse der Treibstoffpreise auf den Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen sowie auf den Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung über 130 kW zu untersuchen – nicht jedoch wetterbedingte Fahrzeugtypen. Unsere Schätzungen könnten beeinflusst werden, wenn wetterbedingte Fahrzeugtypen in einem bestimmten Jahr aufgrund des Klimas gekauft werden und Elektro- und Hybridfahrzeuge sowie Fahrzeuge mit einer Leistung über 130 kW keine guten Alternativen darstellen. Wenn wir davon ausgehen, dass elektrische und Hybrid-Fahrzeuge sowie Fahrzeuge mit einer Leistung über 130 kW sowohl für warmes als auch kaltes Wetter geeignete Varianten haben, dann könnten unsere Schätzungen nicht beeinflusst werden.

Es wird deutlich, dass ein Grossteil der genannten Studien in den USA durchgeführt wurde. Der europäische Markt ist im Vergleich dazu deutlich weniger untersucht. In der Schweiz gibt es eine Studie von Filippini et al. (2015) im Auftrag vom BAFU und ASTRA. Diese Studie untersucht den Einfluss der kantonalen Motorfahrzeugsteuer auf den Anteil von effizienten und ineffizienten Neuzulassungen. Die jährliche Motorfahrzeugsteuer in der Schweiz wird kantonal geregelt und basiert auf spezifischen Fahrzeugparametern wie Gewicht, Hubraum oder Leistung. Um die Energie- und die CO₂-Intensität des Verkehrs zu verbessern, haben einige Kantone Anpassungen vorgenommen, bei denen besonders energieeffiziente oder CO₂-arme Fahrzeuge steuerlich begünstigt (Bonus) und weniger effiziente Fahrzeuge mit höherem Treibstoffverbrauch oder CO₂-Ausstoss höher besteuert (Malus) werden. Das sollte Anreize schaffen, den Kauf von CO₂-armen Fahrzeugen zu erhöhen. Diese Politik, in der ein Bonus für emissionsarme Neufahrzeuge und ein Malus für stark emittierende Gebrauch- und

Neufahrzeuge eingesetzt wird, fördert energieeffiziente Neuwagenkäufe (Filippini, et al., 2015). Zusätzlich hat die Schweiz im Jahr 2003 ein System von Kraftstoffverbrauchs-Etiketten eingeführt, das auf Bewertungen von A bis G basiert, wobei A die beste und G die schlechteste Bewertung ist. Dies soll Haushalte dazu ermutigen, Fahrzeuge mit niedrigem CO₂-Ausstoss zu kaufen und dadurch die Kraftstoffeffizienz der gesamten Fahrzeugflotte im Land zu verbessern sowie die Emissionen zu verringern. Es ist wichtig anzumerken, dass eine effiziente Lösung die Besteuerung von fossilen Treibstoffen ist, um Anreize für den Kauf von Fahrzeugen mit geringerem CO₂-Ausstoss zu schaffen. In unserer Analyse fehlen leider Informationen zur Energieetikette für Neuzulassungen.

Die genannten Studien nutzen unterschiedliche Datensätze und Identifizierungsmethoden und schätzen unterschiedliche Treibstoffpreiselastizitäten der Fahrzeugnachfrage. Die meisten Studien verwenden Transaktionsdaten auf Haushaltebene oder Daten zu neu zugelassenen Fahrzeugen pro Grossverkäufer für ihre Analysen. Deren Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Treibstoffpreise zwar einen statistisch signifikanten, aber begrenzten Einfluss auf die Kaufentscheidung eines Fahrzeuges haben, weil die Haushalte die Treibstoffkosten vor allem in unmittelbaren Kosten aber weniger die gesamten Kosten über die Lebensdauer des Fahrzeugs im Kaufentscheid betrachten. Diese Neigung der Haushalte die Treibstoffkosten zu unterschätzen ist ein Indiz, warum weltweit die meistgenutzten staatlichen Massnahmen zur CO₂-Emissionsreduktion Emissionsvorschriften²³ sind, die sich direkt an die Fahrzeughersteller richten. Gleichzeitig werden Anreize für Haushalte geschaffen, beispielsweise durch Steuermassnahmen und Energieetiketten, um den Kauf und die Nutzung umweltfreundlicher Fahrzeuge zu fördern.

Wir verwenden für unsere Studie jährliche Daten für Neuzulassungen pro Kanton. Informationen, wie Einkommen der Haushalte und weitere demografische Eigenschaften sowie Wetterdaten fehlen uns. Die Einbeziehung dieser Variablen könnte ein umfassenderes Verständnis für die Dynamik der Neuzulassungen pro Kanton ermöglichen, indem sie potenzielle Einflussfaktoren auf das Verhalten der Haushalte und die Nachfrage nach Fahrzeugen berücksichtigen. Unser Ziel ist jedoch einen durchschnittlichen Effekt des Treibstoffpreises auf die Mobilität zu schätzen, unabhängig von Einkommen und demographischen Unterschieden. Solche Unterschiede werden anhand von zeitlichen und kantonalen Fixeffekten kontrolliert. Dadurch können wir besser den Einfluss des Treibstoffpreises auf die Nachfrage nach Neuzulassungen verstehen, indem wir die anderen Faktoren konstant halten. Diese Kontrollmechanismen sind hilfreich, um den Fokus auf den isolierten Effekt des Treibstoffpreises zu legen.

²³ Der obenstehende Abschnitt stellt die Massnahmen in der Schweiz vor. In den USA gibt es seit 1975 den Energy Policy and Conservation Act, der die Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards etablierte.

Tabelle A1.1. Beschreibung der Variablen, Frequenz, und Quelle

Name	Beschreibung	Frequenz	Zeitraum	Quelle
Abhängige Variablen				
(1a) Verkehrsvolumen	Anzahl von Fahrzeugen* in den Autobahnen und Landstrassen pro Messstation.	Wöchentlich für 2194 Messstellen	CH & DE: 2010 KW1-2019 KW52 AT: 2012 KW1-2019 KW52	ASTRA (403 Messstellen), BAST (1590 Messstellen), ASFINAG (201 Messstellen)
(1b) Geschwindigkeit	Durchschnittliche Fahrzeuggeschwindigkeiten von Fahrzeugen in den Autobahnen und Landstrassen.	Wöchentlich für 435 Messstellen	2021 KW25- 2013 KW35	ASTRA
(1c-1) Anteil Elektro&Hybrid an Total Zulassungen	Anzahl Neuzulassungen von Elektro- & Hybridfahrzeugen dividiert durch die gesamten Anzahl Neuzulassungen	Jährlich, CH: Kanton DE: Bundesland AT: Nation	2010-2019	BFS, KBA, Statistik Austria
(1c-2) Anteil über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen	Anzahl Neuzulassungen von Fahrzeugen über 130kW dividiert durch die gesamten Anzahl Neuzulassungen	Jährlich, CH: Kanton DE: Bundesland AT: Nation	2010-2019	BFS, KBA, Statistik Austria
Haupterklärende Variable				
Treibstoffpreis	Durchschnitt zwischen Benzin- und Dieselpreis gewichtet nach dem Bestand an Diesel- und Benzinfahrzeuge	Monatlich, Nation	2010-2023	BFS, ADAC, BMWFW
Dieselpreis	Durchschnittlicher Preis für einen Liter Diesel	Monatlich, Nation	2010-2023	BFS (LIK), ADAC, BMWFW
Benzinpreis	Durchschnittlicher Preis für einen Liter Benzin	Monatlich, Nation	2010-2023	BFS (LIK), ADAC, BMWFW
Andere Kontrollvariablen				
Bestand	Bestand von Personenwagen pro Kopf in Tausend. Bestand von Personenwagen (nach Treibstoff und kW-Klasse)	Jährlich, CH: Kanton DE: Bundesland	2010-2019	BFS, KBA, Statistik Austria

	dividiert durch die Einwohner Anzahl pro Kanton und multipliziert mit 1000.	AT: Nation		
EPS	Environmental Policy Stringency (EPS) Index. Der EPS ist eine länderspezifische und international vergleichbare Massnahme für die Stringenz der Umweltpolitik. Stringenz wird definiert als das Ausmass, in dem Umweltpolitiken einen expliziten oder impliziten Preis für verschmutzendes oder umweltschädliches Verhalten festlegen.	Jährlich, Nation	2010-2019	OECD
BIP pro Kopf	Bruttoinlandsprodukt pro Kopf. Bruttoinlandsprodukt dividiert durch Anzahleinwohner	Jährlich, Kanton	2010-2019	BFS, DESTATIS, Statistik Austria
Wechselkurs CHF/Euro	Das Verhältnis von ausländischer Währung (Euro) zu einer Einheit der einheimischen Währung (CHF)	Jährlich, Nation	2010-2019	SNB
Bevölkerungszahl	Bevölkerungszahl	Jährlich, CH: Kanton DE: Bundesland AT: Nation	2010-2019	BFS, DESTATIS, Statistik Austria

* Wir nutzen ausschliesslich Daten für Personenkraftwagen zu Neuzulassungen, Verkehrsvolumen und Geschwindigkeiten.

Robustheitschecks:

**Tabelle A1.2. Regressionsergebnisse für wöchentliche Verkehrsvolumen pro
Messstation und Land**

	(3)	(4)
Log Treibstoffpreis: AT	-0.0704*** (0.0226)	-0.0717*** (0.0225)
Log Treibstoffpreis: CH	-0.0554*** (0.0190)	-0.0308 (0.0231)
Log Treibstoffpreis: DE	-0.0470*** (0.0115)	-0.0523*** (0.0117)
Bestand pro 1000 Einwohner	-0.0001 (0.0001)	
Constant	11.6184*** (0.0305)	11.5805*** (0.0056)
Jahres FE	Ja	Ja
Wochen FE	Ja	Ja
Beobachtungen	931'175	931'175
R-Quadrat	0.2461	0.2460

Standardfehler sind in Klammern, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01

**Tabelle A1.3. Regressionsergebnisse für die durchschnittliche Geschwindigkeit pro
Station**

	(3)	(4)
Log Treibstoffpreis	-0.7963 (0.6391)	-0.8662 (0.5598)
Constant	87.9955*** (0.3931)	87.7859*** (0.3786)
Jahres FE	Ja	Nein
Wochen FE	Ja	Nein
Beobachtungen	35'004	35'004
R-Quadrat	0.0340	0.0322

Standardfehler sind in Klammern, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01.

Tabelle A1.4. Regressionsergebnisse für den Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen

	(3)	(4)
Log Treibstoffpreis: AT	-0.0068 (0.0052)	-0.0007 (0.0027)
Log Treibstoffpreis: CH	0.0650*** (0.0063)	0.0677*** (0.0052)
Log Treibstoffpreis: DE	0.0661*** (0.0060)	0.0727*** (0.0036)
BIP pro Kopf	0.0005 (0.0005)	
Constant	-14.4706*** (0.6100)	-15.1568*** (0.4460)
Jahres FE	Ja	Ja
Beobachtungen	430	430
R-Quadrat	0.7335	0.7290

Standardfehler sind in Klammer, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01.

Tabelle A1.5. Regressionsergebnisse für den Anteil von Neuzulassungen von über 130kW

	(3)	(4)
Log Treibstoffpreis: AT	0.0419 (0.0091)	0.0320 (0.0056)
Log Treibstoffpreis: CH	-0.0209** (0.0086)	-0.0231*** (0.0080)
Log Treibstoffpreis: DE	-0.1440*** (0.0097)	-0.1486*** (0.0090)
BIP pro Kopf	-0.0004 (0.0003)	
Constant	-25.5845*** (1.1226)	-25.0683*** (1.0480)
Jahres FE	Ja	Ja
Beobachtungen	277	277
R-Quadrat	0.8846	0.8837

Standardfehler sind in Klammer, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01.

Weitere Robustheitschecks:

Forschungsfrage 1c:

a) Der Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen an den gesamten Neuzulassungen.

Die Tabelle A1.2 zeigt die geschätzten Parameter aus der Gleichung (1c-1) mit monatlichen Daten auf nationale Ebene. Die verfügbaren Daten reichen für die Schweiz und Österreich von 2010 bis 2019, während sie sich für Deutschland lediglich auf den Zeitraum von 2016 bis 2019 beziehen. In diesem Abschnitt besprechen wir kurz den geschätzten Parameter für den (logarithmierten) Treibstoff und den Unterschied mit Schätzungen basierend auf jährlichen Daten pro Kanton.

Die Tabelle A1.2 zeigt, dass der geschätzte Parameter für den logarithmierten Treibstoff in Spezifikation (1) 0.0763 beträgt. Dieser Wert ist positiv und statistisch signifikant unterschiedlich von Null. Das heisst, bei einem Anstieg des Treibstoffpreises um 10% steigt der Anteil von Elektro- & Hybridneuzulassungen an den gesamten Neuzulassungen um 0.00763 Punkte oder 0,7 Prozent. Das ist marginal höher im Vergleich zu den Schätzungen basiert auf jährliche Daten. Die Spezifikationen (2) bis (4) schätzen separate Koeffizienten für den Treibstoffpreis pro Land, wobei in jeder Spezifikation weniger Kontrollvariablen einbezogen werden. Spezifikation (3) verzichtet auf die Berücksichtigung vom EPS (Environmental Policy Stringency), während in Spezifikation (4) zusätzlich das BIP pro Kopf nicht berücksichtigt wird.

Tabelle A1.6. Regressionsergebnisse für den Anteil von Elektro- und Hybridneuzulassungen

	(1)	(2)	(3)	(4)
Log Treibstoffpreis	0.0763** (0.0097)			
Log Treibstoffpreis: AT		0.0839 (0.0456)	0.0360 (0.0150)	0.0396 (0.0193)
Log Treibstoffpreis: CH		0.0529 (0.0193)	0.0928** (0.0107)	0.0754* (0.0251)
Log Treibstoffpreis: DE		0.2340 (0.0828)	0.2902** (0.0401)	0.2671** (0.0341)
BIP pro Kopf	-0.3559 (0.7892)	-0.7345 (0.4395)	2.7912 (1.1851)	
EPS	-0.0157 (0.0275)	-0.0247 (0.0307)		
Constant	-36.5461* (11.9113)	-38.3246 (13.4574)	-20.5938*** (1.0647)	-19.3334** (2.6461)
Monatliche FE	Ja	Ja	Ja	Ja
Jahres FE	Ja	Ja	Ja	Ja
Beobachtungen	288	288	288	288
R-Quadrat	0.8038	0.8095	0.7491	0.7467

Standardfehler sind in Klammer, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01.

In der Schweiz wird der geschätzte Effekt zwischen 0.0754 und 0.0928 angegeben, was im Vergleich zu den jährlichen Daten höher ist. In Österreich wird kein signifikanter Effekt festgestellt. Hingegen zeigt Deutschland einen positiven Effekt des Treibstoffpreises zwischen 0.2671 und 0.2902. Es ist anzumerken, dass für Deutschland monatliche Daten lediglich für den Zeitraum von 2016 bis 2019 verfügbar sind, was nur 48 Beobachtungen ergibt. Ein kürzerer Zeitraum mit weniger Beobachtungen könnte die Schätzungen beeinflussen und dazu führen, dass der Effekt überschätzt wird. Monatliche Daten könnten saisonale Schwankungen widerspiegeln, die den Effekt des Treibstoffpreises auf Elektro- & Hybridneuzulassungen beeinflussen könnten. Besondere saisonale Bedingungen könnten zu diesem starken Effekt beigetragen haben.

Bei der Analyse von monatlichen Neuzulassungen könnte die Betrachtung der langen Lieferzeiten von Fahrzeugen zu einer Verzerrung der Schätzungen führen. Die Kaufentscheidungen für Fahrzeuge werden oft Monate im Voraus getroffen, und die Neuzulassungen erfolgen erst, wenn die Fahrzeuge zur Abholung bereitstehen. Somit spiegeln die monatlichen Neuzulassungen nicht unmittelbar die aktuellen Marktbedingungen wider. Vielmehr reflektieren sie vergangene Entscheidungen der Haushalte, die weit vor dem eigentlichen Registrierungszeitpunkt getroffen wurden. Diese Verzögerung zwischen Kaufentscheidung und Registrierung kann die Interpretation der aktuellen Markttrends beeinflussen und ist daher bei der Analyse von monatlichen Daten zu berücksichtigen.

Um die Verzerrung durch diese Verzögerung zu eliminieren, integrieren wir den verzögerten Treibstoffpreis in die Regressionsanalyse. Allerdings ergab die Analyse, dass der geschätzte Koeffizient für den verzögerten Treibstoffpreis nicht robust ist und in keiner der Spezifikationen statistisch signifikant von Null unterscheidet.

b) Der Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW an den gesamten Neuzulassungen

Die Tabelle A1.3 zeigt die geschätzten Parameter aus Gleichung (1c-2) unter Verwendung monatlicher nationaler Daten. Die monatlichen Daten sind für die Schweiz von 2010 bis 2019 verfügbar und in Österreich von 2013 bis 2019. Für Deutschland sind keine monatlichen Neuzulassungsdaten nach Leistung verfügbar. Dabei zeigt sich, dass der geschätzte Parameter für den logarithmierten Treibstoff in Spezifikation (1) nicht statistisch signifikant unterschiedlich von Null ist. Die Spezifikationen (2) bis (4) schätzen separate Koeffizienten für den Treibstoffpreis pro Land, wobei in jeder Spezifikation weniger Kontrollvariablen berücksichtigt werden. Spezifikation (3) verzichtet auf die Einbeziehung vom EPS (Environmental Policy Stringency), während in Spezifikation (4) zusätzlich das BIP pro Kopf nicht berücksichtigt wird. Jedoch ist in keiner dieser Spezifikationen der Effekt des Treibstoffpreises statistisch signifikant unterschiedlich von Null.

Aufgrund ähnlicher Überlegungen wie zuvor erwähnt, haben wir verschiedene Spezifikationen geschätzt, bei denen wir verzögerte Treibstoffvariablen integriert haben. Die Schätzungen ergaben keine robusten und statistisch signifikanten Ergebnisse. Dies legt nahe, dass selbst unter Berücksichtigung des zeitlichen Verzugs der Treibstoffpreise keine robusten und statistisch signifikanten Effekte festgestellt werden konnten.

Tabelle A1.7. Regressionsergebnisse für den Anteil von Neuzulassungen mit einer Leistung von über 130 kW

	(1)	(2)	(3)	(4)
Log Treibstoffpreis	-0.0012 (0.0057)			
Log Treibstoffpreis: AT		0.0023 (0.0066)	0.0036 (0.0004)	0.0079 (0.0036)
Log Treibstoffpreis: CH		-0.0026 (0.0028)	0.0006 (0.0001)	-0.0077 (0.0081)
BIP pro Kopf	-0.2852 (0.0474)	-0.8159 (0.1666)	-0.6505 (0.3258)	
EPS	-0.0040 (0.0018)	-0.0046 (0.0009)		
Constant	-8.0388 (2.4789)	-8.0100 (2.2531)	-4.4360*** (0.0474)	-3.3469 (0.8818)
Monatliche FE	Ja	Ja	Ja	Ja
Jahres FE	Ja	Ja	Ja	Ja
Beobachtungen	204	204	204	204
R-Quadrat	0.8210	0.8216	0.8003	0.7699

Standardfehler sind in Klammer, * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01.

4.2 Anhang AP2

AP2.A Theorie der Preiselastizitäten

Bei der Analyse der Preiselastizität der Nachfrage nach Energieträgern wird typischerweise von einem multiplikativen Zusammenhang zwischen der optimalen Energieverbrauchsmenge v_{it}^* , einer Unternehmung i , im Zeitpunkt t , dem Preis des Energieträgers p_t im Zeitpunkt t und einer Reihe von Kontrollvariablen, X_{it} , ausgegangen (siehe zur genauen Herleitung Cialani & Mortazavi, 2018).

$$(i) \quad v_{it}^* = \alpha_1 (p_t)^{\alpha_2} (X_{it})^{\alpha_3}$$

Weiterhin wird angenommen, dass die tatsächliche Energieverbrauchsmenge v_{it} sich der optimalen Energieverbrauchsmenge v_{it}^* mit einer Zeitperiode Verzögerung immer wieder anpasst (siehe Agnolucci, 2009, für eine Untersuchung hinsichtlich der Robustheit letztere Annahme):

$$(ii) \quad v_{it} = (v_{it}^*)^\delta (v_{it-1})^{(1-\delta)}$$

Setzt man (i) in (ii) ein, so ergibt sich

$$(iii) \quad v_{it} = (\alpha_1 (p_t)^{\alpha_2} (X_{it})^{\alpha_3})^\delta (v_{it-1})^{(1-\delta)}$$

Eine Logarithmierung von (iii) führt zu

$$(iv) \quad \log(v_{it}) = \delta \log(\alpha_1) + \delta \log(\alpha_2 p_t) + \delta \log(\alpha_3 X_{it}) + (1 - \delta) \log(v_{it-1})$$

Eine Vereinfachung von (iv) führt zu

$$(v) \quad \log(v_{it}) = \beta_1 + \beta_2 \log(p_t) + \beta_3 \log(X_{it}) + \beta_4 \log(v_{it-1})$$

welche als Basisschätzgleichung im weiteren Verlauf des Kapitels verwendet wird. Zu bemerken ist, dass ein Schätzergebnis $\beta_4 = 0$ eine unmittelbare Anpassung von v_{it} an v_{it}^* bedeutet und entsprechend in der Literatur β_2 als kurzfristige Preiselastizität bezeichnet wird und $\frac{\beta_2}{1-\beta_4}$ als langfristige Preiselastizität.

AP2.B Robustheitschecks: Schätzung des Energieverbrauchs mit Timelags

Koeffizient des

Log(Energiepreises): KMU-

Datensatz

	Öl	Gas	Strom	Erneuerbar
Modell mit getrennten Fehlertermen für Branche und Jahr (μ_n und v_t statt μ_{nt})	0.0536 (0.0575)	0.073*** (0.0122)	-0.1792** (0.866)	-0.151 (0.197)
Modell mit Preis des Energieträgers aus der Vorperiode als unabhängige Variable (Log(Preis _{t-1}) statt Log(Preis _t))	-0.0307 (0.065)	-0.099*** (0.128)	0.1512* (0.0847)	0.2747 (1.456)

Standardfehler sind in Klammern, * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. Preise, Verbräuche und Produktivität normiert auf das Vorjahr; Verbräuche umgerechnet in MWh.

Tabelle 2.8: Regressionsergebnisse für veränderte Modelle (1) der KMUs.

Wie in Tabelle 2.8 ersichtlich, wechselt der signifikante Koeffizient der Variablen Log(Preis) beim Übergang von Log(Preis_t) zu Log(Preis_{t-1}) das Vorzeichen. Diese Beobachtung passt zu der Annahme, dass die Fehlerterme der dynamischen Regressionsgleichung über die Jahre autoregressiv mit einem Lag = 1 verbunden sind.

Gleichzeitig gibt es aber auch die Möglichkeit, dass beim Energieträger Gas der (kurzfristige) Wirkungszusammenhang tatsächlich erst mit einer Verzögerung von einem Jahr auftritt (der hohe Gaspreis heute senkt den Verbrauch morgen), da Einsparungen hier vermutlich längerfristigen Planungen bedürfen. Die Ergebnisse erlauben beide Interpretationen, können leider an dieser Stelle nicht genauer erörtert werden.

Koeffizient des

Log(Energiepreises):-Datensatz

Grossunternehmen

	Öl	Gas	Strom	Erneuerbar
Modell mit getrennten Fehlertermen für Branche und Jahr (μ_n und v_t statt μ_{nt})	0.317*** (0.0466)	0.0127 (0.0106)	0.0155** (0.007)	0.96 (0.144)
Modell mit Preis des Energieträgers aus der Vorperiode als unabhängige Variable (Log(Preis _{t-1}) statt Log(Preis _t))	-0.112** (0.052)	-0.077*** (0.101)	-0.0067 (0.007)	-1.322** (0.615)

Standardfehler sind in Klammern, * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. Preise, Verbräuche und Produktivität normiert auf das Vorjahr; Verbräuche umgerechnet in MWh.

Tabelle 2.9: Regressionsergebnisse für veränderte Modelle (1) der Grossunternehmen.

Ähnlich wie bei der Analyse zu Tabelle 2.8 zeigen die Ergebnisse in Tabelle 2.9 einen Wechsel des Vorzeichens der Koeffizienten der Variablen $\text{Log}(\text{Preis}_t)$ beim Übergang von $\text{Log}(\text{Preis}_t)$ zu $\text{Log}(\text{Preis}_{t-1})$. Diese Beobachtung korrespondiert mit der Annahme, dass die Fehlerterme der dynamischen Regressionsgleichung über die Jahre autoregressiv mit einem Lag = 1 verbunden sind.

Gleichzeitig beobachten wir, dass die Koeffizienten für die Energieträger Gas und erneuerbare Energien mit der Zeitverzögerung von einem Jahr signifikant negativ werden. Daher ist auch hier die Möglichkeit gegeben, dass bei den Energieträgern Gas und erneuerbare Energien der (kurzfristige) Wirkungszusammenhang tatsächlich erst mit einer Verzögerung von einem Jahr auftritt (der hohe Preis heute senkt den Verbrauch morgen), da Einsparungen hier vermutlich längerfristigen Planungen bedürfen. Die Ergebnisse erlauben beide Interpretationen, können leider an dieser Stelle nicht genauer erörtert werden.