

Masterarbeit

**Auf dem Weg zu einer emissionsfreien Mobilität:
Effekt von Anreizsystemen in Norwegen**

Vorgelegt am
Lehrstuhl für Öffentliche Finanzen

Universität Basel

Betreuer:
Prof. Dr. Beat Hintermann

Herbstsemester 2018

Vorgelegt von: Björn Fosse
2012-056-776
Socinstrasse 71, 4051 Basel
+41 79 836 55 09
bjoern.fosse@stud.unibas.ch

Abgabedatum: 31.01.2019

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Glossar.....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	V
1. Einleitung.....	1
2. Historische Entwicklung	4
2.1 Marktentwicklung in Norwegen.....	4
2.2 Rolle der Regierung in Norwegen.....	7
3. Literaturüberblick	10
4. Theoretische Grundlagen	13
4.1 Marktversagen.....	13
4.2 Nachfragemodell.....	17
5. Daten.....	20
5.1 Verkaufszahlen.....	21
5.2 Anreizsysteme	22
5.3 Kontrollvariablen.....	25
5.4 Deskriptive Analyse.....	27
5.4.1 Graphische Analyse der abhängigen Variablen und Anreizsysteme.....	27
5.4.2 Korrelationsanalyse.....	34
6. Struktur der Analyse.....	36
6.1 Limitierungen	38
6.2 Modellauswahl.....	39
7. Empirische Analyse und Resultate.....	42
7.1 Testen von Hypothese 1.....	42
7.2 Testen von Hypothese 2.....	45
7.3 Sensitivitätsanalysen	48
7.4 Diskussion.....	51
8. Zusammenfassung.....	56
Literaturverzeichnis	VI
Anhang.....	X

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die 10 meistverkauften Personenfahrzeuge nach Modell 2017	7
Tabelle 2: Anreizsysteme für BEVs in Norwegen 2017	9
Tabelle 3: Deskriptive Statistik der relevanten Variablen.....	27
Tabelle 4: Korrelationsmatrix der relevanten Variablen.....	34
Tabelle 5: Regression des BEV-Verkaufsanteils in Norwegen.....	42
Tabelle 6: Regression des BEV-Verkaufsanteils in verschiedenen Zeitperioden.....	46
Tabelle A1: Variance Inflation Factors	XI
Tabelle A2: Variance Inflation Factors	XI
Tabelle A3: Heteroskedastizitäts-Tests	XII
Tabelle A4: Serial Correlation Test.....	XII
Tabelle A5: Random-Effekt-Test	XIII
Tabelle A6: RE vs FE	XIII
Tabelle B1: HOVkm anstelle von HOVAnteil.....	XIV
Tabelle B2: Regression ohne Kontrollvariablen	XIV
Tabelle B3: POLS und FGLS.....	XV
Tabelle B4: Verschiedene Zeitspezifikationen.....	XVI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Neuzulassungen per Antriebsart	4
Abbildung 2: Marktanteil an Neuzulassungen «Grüne» vs. ICEVs.....	5
Abbildung 3: Marktversagen - Negative Externalität	14
Abbildung 4: Marktversagen - Positive Externalität	15
Abbildung 5: Provinzen in Norwegen	20
Abbildung 6: Verkaufsanteil von BEVs.....	28
Abbildung 7: Verkaufsanteil von BEVs per Provinz.....	29
Abbildung 8: Anzahl Ladestationen pro 100 Kilometer per Provinz	30
Abbildung 9: HOV-Anteil per Provinz.....	31
Abbildung 10: Maut- und Fähregebühren pro Kilometer	32
Abbildung 11: Maut- und Fähregebühren pro Kilometer, Ø per Provinz.....	33
Abbildung A1: Heteroskedastizität.....	XII
Abbildung B1: Entwicklung des Strompreises pro MWh.....	XVII

Glossar

Battery Electric Vehicle (BEV)

Durch einen Elektromotor angetriebenes Fahrzeug. Der Elektromotor erhält seine Antriebskraft von einer Batterie, welche beim Anstecken an einen Ladepunkt aufgeladen werden kann (IEA, 2013, S. 38).

Electric Vehicle (EV)

Ein Überbegriff für jedes Fahrzeug, das mit einem Elektromotor angetrieben wird (IEA, 2013, S. 38).

Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

Ein Fahrzeug, das seine elektrische Energie aus den Energieträgern Wasserstoff oder Methanol durch eine Brennstoffzelle erzeugt (IEA, 2013, S. 38).

Hybrid Electric Vehicle (HEV)

Ein Fahrzeug, das eine Kombination aus einem konventionellen Verbrennungsmotor und einem Elektromotor besitzt, um die CO₂-Bilanz zu verbessern. Die Batterie des Elektromotors kann jedoch nicht an einer Ladestation geladen werden, denn sie erhält ihre Energie aus dem Antrieb des Verbrennungsmotors (IEA, 2013, S. 38).

Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV)

Durch einen Verbrennungsmotor gefüllt mit Diesel oder Benzin angetriebenes Fahrzeug (IEA, 2013, S. 38).

Natural Gas Vehicle (NGV)

Teils auch Compressed Natural Gas Vehicle (CNG) genannt, ist ein Fahrzeug, das mit Erdgas als Kraftstoff angetrieben wird und mit einem Verbrennungsmotor ausgestattet ist (Nijboer, 2010, S. 7)

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

Ähnlicher Aufbau wie ein HEV, nur dass die Batterie als primäre Antriebskraft verwendet wird und an Ladestationen aufgeladen werden kann. Der zusätzliche Verbrennungsmotor hilft auch beim Aufladen der Batterie oder springt ein, wenn diese aufgebraucht ist (IEA, 2013, S. 38).

Abkürzungsverzeichnis

AVKT Average Vehicle Kilometers Travelled

BAFU Bundesamt für Umwelt

BEV Battery Electric Vehicle

EV Electric Vehicle

FCEV Fuel Cell Electric Vehicle

FE Fixed Effects

FGLS Feasible Generalized Least Squares

HEV Hybrid Electric Vehicle

HOV High Occupancy Vehicle Lane

ICEV Internal Combustion Engine Vehicle

MwSt. Mehrwertsteuer

NEA Norwegian Environmental Agency

NGV Natural Gas Vehicle

NOK Norwegische Krone

NPRA Norwegian Public Roads Administration

OFV Opplysningsrådet for Veitrafikken

OLS Ordinary Least Squares

OVB Omitted Variable Bias

PGK Private Grenzkosten

PGN Privater Grenznutzen

PHEV Plug-in Hybrid Electric Vehicle

POLS Pooled Ordinary Least Squares

RE Random Effects

SGK Soziale Grenzkosten

SGN Sozialer Grenznutzen

SSB Statistik Sentralbyrå

TCO Total Cost of Ownership

THG Treibhausgas

1. Einleitung

Der Klimawandel stellt eine der grössten Herausforderungen in der heutigen Zeit dar und steht daher bei der Mehrheit aller Nationen der Welt zuoberst auf der politischen Agenda. Seit Beginn der Industrialisierung hat sich die Zusammensetzung der Atmosphäre durch die Emission von Treibhausgasen (THG) innert vergleichsweise kurzer Zeit stark verändert. Zusätzlich verstärkt der Mensch den natürlichen Treibhauseffekt vor allem durch die Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl und Erdgas) und der veränderten Landnutzung. Er trägt somit eine gewisse Mitverantwortung für die Veränderung des Klimas. Entsprechend hat die globale Durchschnittstemperatur in den letzten 135 Jahren bereits um 1 Grad Celsius zugenommen, was zur Folge hat, dass beispielsweise Tierarten vermehrt vom Aussterben bedroht sind, Polkappen abschmelzen oder der Meeresspiegel ansteigt. Auch in Zukunft werden sich grosse Teile der Biodiversität aufgrund des menschlichen Einflusses weiter verändern (BAFU, 2018).

Konkret schreibt das Bundesamt für Umwelt BAFU im Jahr 2015 in der Schweiz mit 32.1% den grössten Anteil der THG-Emissionen dem Verkehrssektor zu (BAFU, 2017, S. 7).¹ Im Vergleich zum Jahr 1990 stellt dies eine Zunahme von 4 Prozentpunkten dar. Auch verglichen mit den USA (25.2%), Australien (17.9%), Japan (15.4%) und dem EU-Durchschnitt (20.8%) hat die Schweiz mit über 30 Prozent einen sehr hohen Anteil an THG-Emissionen aus dem Verkehrssektor.²

In Norwegen lagen die THG-Emissionen im Verkehrssektor im Jahre 2016 bei 18.5%. Dies stellt seit 1990 eine Erhöhung von 4.5 Prozentpunkten dar.³ Personalfahrzeuge alleine verursachen rund 9% der norwegischen THG-Emissionen, wobei der EU-Durchschnitt zum Vergleich bei 12% liegt (European Commission, 2016a; SSB, 2018d). Die norwegische Umweltbehörde NEA (Norwegian Environmental Agency) folgert, dass der Einfluss von Norwegen auf den Klimawandel eine Folge der sozioökonomischen Entwicklungen des Landes sei. So hat das zunehmende Einkommen aus der Öl- und Gasindustrie den Lebensstandard und Konsum der letzten 40 Jahre stark beeinflusst und Norwegen zu einem der reichsten Länder der Welt gemacht (NEA, 2017).

¹ Der Verkehrssektor schliesst den internationalen Flugverkehr aus.

² Begründet wird dieser hohe Anteil der Schweiz mit der hohen Zulassung von grossen Autos mit starken Motoren und einem somit hohen spezifischen Verbrauch, vgl. BAFU (2017).

³ Die 3 grössten Verursacher von THG in Norwegen sind die Sektoren Öl- und Gasindustrie, Transport und Fertigung. THG-Emissionen aus der Öl- und Gasindustrie haben seit 1990 um 80% zugenommen, wobei jedoch die Fertigungsindustrie 40% abnahm. Über alle Sektoren hinweg sind die THG-Emissionen in Norwegen im Jahr 2016 im Vergleich zu 1990 um 3% gestiegen (SSB, 2018d).

Im Rahmen des Paris Agreements im Jahre 2015 war die Problematik des globalen Klimawandels ein zentraler Aspekt und es wurden unter anderem Massnahmen zur Reduktion von THG-Emissionen auf UN-Ebene diskutiert. Beispielsweise können die THG-Emissionen aus dem Transportsektor bereits durch die Verringerung des Transportausmasses reduziert werden. Die Europäische Kommission entwickelte dafür folgende wesentliche Strategien zur Reduktion der Emissionen aus dem Verkehrssektor: Einerseits wird durch die Urbanisierung das öffentliche Verkehrssystem weiter ausgebaut und parallel dazu aktive Mobilität mit dem Fahrrad oder zu Fuss gefördert. Andererseits wird die Effizienz des Transportsystems erhöht, indem eine kontinuierliche Verbesserung von Verbrennungsmotoren und somit eine geringere CO₂-Bilanz von Internal Combustion Engine Vehicles (ICEVs) angestrebt wird (European Commission, 2016b). Ergänzend wird mit Regierungsmassnahmen der Gebrauch von Electric Vehicles (EVs) und somit der Transfer in Richtung «Green Drivers» gefördert.

Solche Regierungsmassnahmen zur Förderung der Adaption von EVs scheinen vor allem in Norwegen besonders Erfolg zu haben. Zurzeit hat Norwegen weltweit mit Abstand den grössten Marktanteil an EVs. Im Jahre 2017 waren 39.2% der neu verkauften Fahrzeuge elektrisch, davon 20.8% Battery Electric Vehicles (BEVs) und 18.4% Plug-in Hybrid Vehicles (PHEVs), wobei letztere bis zu einem Teil der Nutzungszeit elektrisch angetrieben werden. Ende des Jahres 2017 hatte Norwegen einen Bestand an EVs von 7.7% auszuweisen, womit es eine weltweite Führungsposition bezüglich der Verbreitung von Elektromobilität inne hat (Figenbaum, 2018, S. 1). Obwohl dies im Vergleich zu anderen Nationen bereits beachtenswerte Resultate sind, gibt sich die norwegische Regierung damit noch nicht zufrieden. Gemäss dem nationalen Transportplan NTP 2018-2029 sollen bis Ende 2025 nur noch emissionsfreie Fahrzeuge verkauft werden (NTP, 2017, S. 16). Da in Norwegen die Stromproduktion zu 98% (Schweiz 60%) aus erneuerbaren Energien stammt, hat diese strategische Vorgehensweise der Regierung das Potenzial die THG-Emissionen aus dem Transportsektor deutlich zu reduzieren (IEA, 2017, S. 102).⁴

Zur Erreichung dieses Ziels hat die norwegische Regierung seit 1990 Massnahmen eingeführt, die sowohl den Kauf wie auch den Gebrauch von EVs stimulieren, mit der Absicht, die Nachfrage von ICEVs in Richtung EVs zu verschieben. Namentlich sind dies: Befreiung von der Registrierungssteuer sowie der MwSt. beim Kauf von EVs, reduzierte jährliche Fahrzeugsteuer, kostenloses Parkieren, Befreiung von Maut- und Fährgeldern, sowie die Erlaubnis zur Benutzung von High-Occupancy Vehicle Lanes (HOV) (Figenbaum, 2018, S. 15).⁵ Die Verbesserung der Technologie

⁴ Stromproduktion Norwegens 2015: 96% Wasserenergie, 2% Windenergie, 2% Thermalenergie.

⁵ HOV-Linien, norwegisch „kollektivfelt“ genannt, sind Strassenlinien für Busse, Taxis, EVs und Motorräder. Mehr dazu unter <https://www.vegvesen.no/trafikkinformasjon/langs-veien/trafikkregler/kollektivfelt>.

der Batterien von EVs erlaubt einigen Fahrzeugmodellen mit einer einzelnen Ladung vergleichbare Reichweiten von konventionellen ICEVs zu erreichen. Diesem immer kleiner werdendem Defizit der Reichweite der EVs versucht Norwegen weiter mit einer grossen Dichte an Ladestationen im ganzen Land entgegenzuwirken. So sind in der Datenbank NOBIL Ende 2017 in Norwegen 2'178 aktive Ladestationen (9'626 Ladepunkte) erfasst, was anders ausgedrückt 0.4 Ladestationen pro 1000 Kopf (1.8 Ladepunkte pro 1000 Kopf) entspricht.⁶

In der bisherigen Literatur wird vertreten, dass nationale finanzielle (Sierzchula et al., 2014) und lokalpolitische Massnahmen (Chandra et al., 2010; Diamond, 2009; Egnér & Trosvik, 2018; Gallagher & Muehlegger, 2011; Mersky et al., 2016) positive Effekte auf die Adaption von EVs haben. Dies soll in dieser Arbeit kritisch hinterfragt und genauer analysiert werden. Es wird versucht anhand der provinzabhängigen Variation des Marktanteils von BEVs und lokalen Regierungsmassnahmen in Norwegen deren kausalen Effekt auf die BEV-Adaption zu messen. Es soll weiter aufgezeigt werden, ob die Regierungsmassnahmen effektiv sind, indem sie einem Marktversagen entgegenwirken und somit den Verkauf von EVs erhöhen. Dazu werden lokale Panel-Daten innerhalb Norwegens von 2010 bis 2017 verwendet und verschiedene Modellspezifikationen geschätzt.

Die Resultate zeigen, dass ein dichtes Ladenetzwerk sowie das kostenlose Passieren von Mautstationen signifikant positive Effekte auf die Adaption von BEVs haben. Für die beiden lokalen Anreizsysteme der Erlaubnis zur Benutzung von HOV-Linien oder der kostenlose Transport auf Fähren, können nur in der Anfangsperiode von 2011 bis 2013 signifikant positive Effekte auf die BEV-Adaption gefunden werden. Diese Resultate bleiben ferner konsistent unter verschiedenen Modellspezifikationen und Sensitivitätstests. Dies kann Politikern bei der Implementierung ein Hinweis auf die Effektivität einzelner lokaler Anreizsysteme geben um ein Marktversagen und damit die Reduktion von THG-Emissionen zu korrigieren.

Diese Arbeit ist folgendermassen strukturiert: das nächste Kapitel gibt einen Überblick über die historische Entwicklung des norwegischen EV-Marktes und nimmt Bezug auf die Rolle der Regierung. In Kapitel 3 werden einerseits die existierende wissenschaftliche Literatur und andererseits der Beitrag dieser Arbeit zur existierenden Literatur beschrieben. Kapitel 4 wird die theoretischen Grundlagen des Effekts von Politikmassnahmen einer Regierung und deren Wirkung auf die Nachfrage von EVs aufzeigen. In Kapitel 5 und 6 werden die für die empirische Analyse verwendeten Daten beschrieben und die Methode der Analyse erläutert. Abschliessend werden Ergebnisse präsentiert und die Schlussfolgerungen dieser Arbeit aufgezeigt und zusammengefasst.

⁶ Basiert auf der Gesamtpopulation von 5'295'619 per 01.01.2018 (SSB, 2018a).

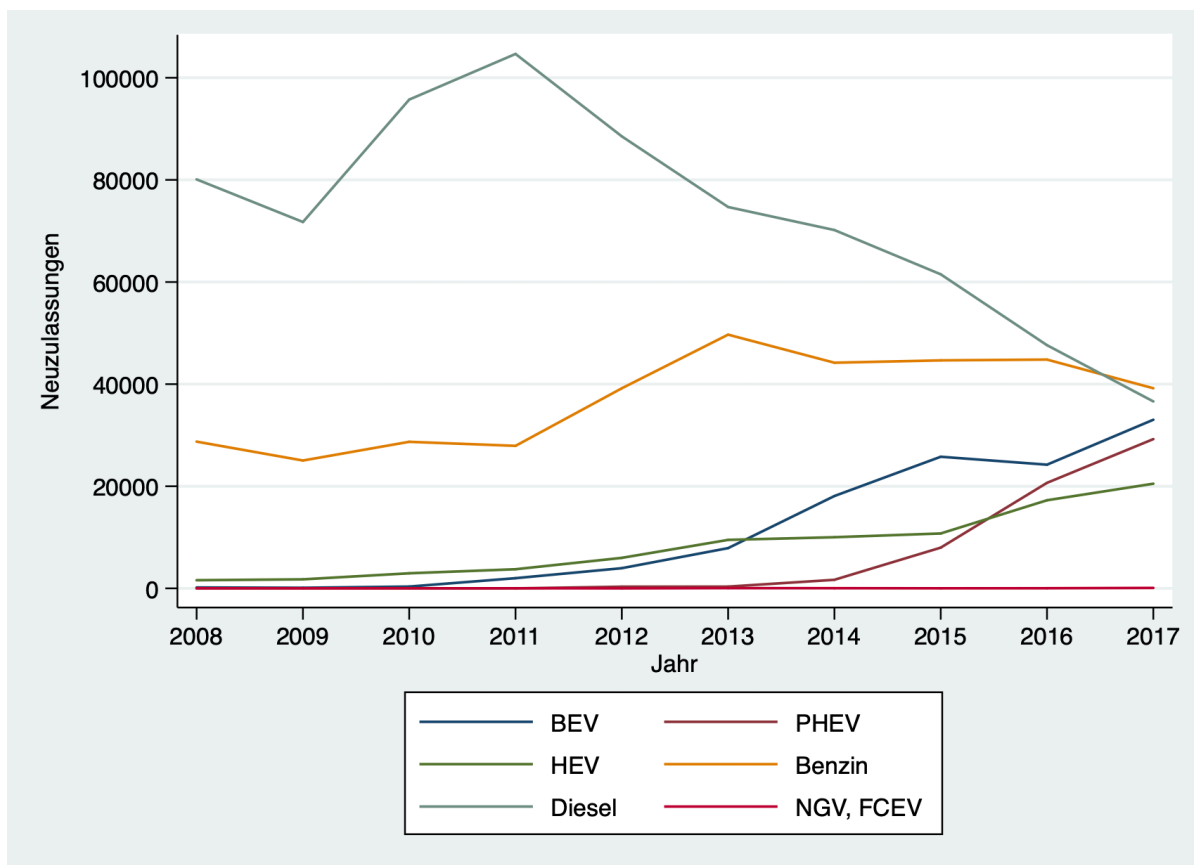
2. Historische Entwicklung

In diesem Kapitel wird die Entwicklung des norwegischen Automobilmarktes der letzten Jahre beschrieben, unterteilt nach Antriebsart. Das Ziel dabei soll sein, dem Leser einen Überblick über den Marktanteil von BEVs für den Zeitraum 2008 – 2017 zu geben. Im zweiten Teil wird versucht die Rolle der norwegischen Regierung und deren Anreizsysteme zur Förderung der EVs aufzuzeigen.

2.1 Marktentwicklung in Norwegen

Der Automobilmarkt in Norwegen war seit 2008 sehr volatil, vor allem zu Zeiten der Finanzkrise in den Jahren 2008 und 2009. In dieser Zeit kam es in Norwegen, wie auch bei den meisten OECD-Ländern, zu deutlichen Einbußen bei der Anzahl Neuzulassungen von Diesel- und Benzinfahrzeugen, die sich aber in den darauffolgenden Jahren schnell wieder erhöht haben.⁷

Abbildung 1: Entwicklung der Neuzulassungen per Antriebsart

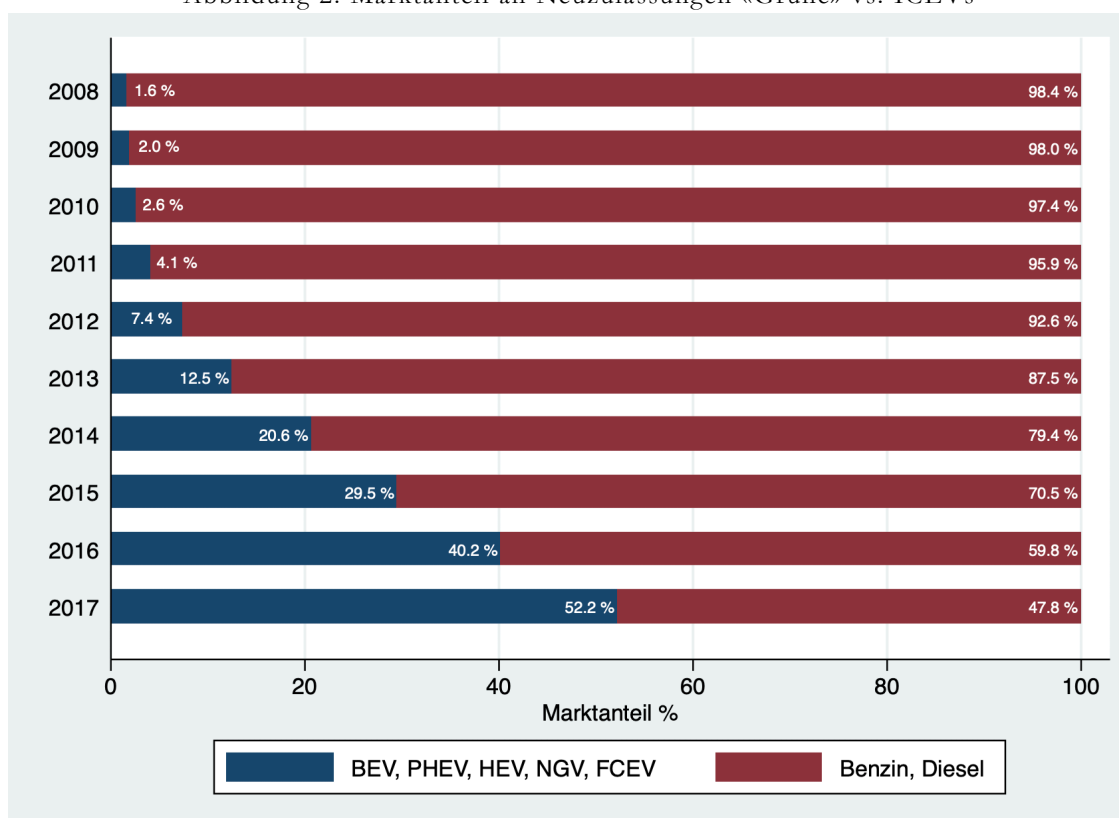


Quelle: Eigene Darstellung.

⁷ Der Absatz der Automobilindustrie bewegt sich normalerweise ähnlich wie die gesamte Konjunktur (BIP) eines Landes. Mehr zu den Folgen der Finanzkrise auf die Automobilindustrie der OECD Länder berichtet Haugh et al (2010).

Abbildung 1 zeigt die historische Entwicklung der Neuzulassungen nach Antriebsart von Anfang 2008 bis Ende 2017. Die dafür relevanten Daten konnten durch Anfrage beim norwegischen Verkehrsverband OFV AS (Opplysningsrådet for Veitrafikken) bezogen werden. Erkennbar ist auch die deutliche Dominanz an Neuzulassungen von Dieselfahrzeugen im Vergleich zu den anderen vier Antriebsarten. Nach der Erholung der Finanzkrise im Jahr 2011 nahm dieser Trend jedoch kontinuierlich ab und reine Dieselfahrzeuge wurden von Jahr zu Jahr weniger verkauft. Anfangs begründet durch erhöhte Verkäufe von Benzinfahrzeugen, später durch die Zunahme des Marktanteils an umweltfreundlicheren Antriebsarten. Der norwegische Markt für EVs begann sich ab dem Jahr 2011 zu etablieren. Die Zunahme an Importeuren und der damit verbundene vergrößerte Konkurrenzdruck hatte die Senkung der Preise und somit eine Zunahme der Käufer von EVs zur Folge. Generell die verbesserte Technologie, welche immer näher an diejenige der ICEVs kam, sowie die Einführung der preisgünstigen Modelle Nissan Leaf und Mitsubishi I-Miev, zogen auch Kunden an, die nicht nur vom Umweltfaktor der EVs fasziniert waren. Als 2011 die erste Ladestation mit Schnellladern gebaut wurde, begannen kurz danach im Jahre 2013 die Verkäufe von BEVs und ein Jahr später diejenigen der PHEVs zu boomen (Figenbaum & Kolbenstvedt, 2013, S. 16ff). Werden alle Antriebsarten gemeinsam betrachtet, war der Gesamttrend der Neuzulassungen seit 2008 positiv, mit der höchsten Zahl von 158'650 Neuwagen im Jahre 2017.

Abbildung 2: Marktanteil an Neuzulassungen «Grüne» vs. ICEVs



Quelle: Eigene Darstellung.

Interessanter ist die Entwicklung der «grünen» Fahrzeuge (BEV, PHEV, HEV, NGV, FCEV). Ihr Marktanteil bei den Neuzulassungen stieg seit 2008 von 1.6% auf 52.2% im Jahr 2017 (vgl. Abbildung 2). Die Anzahl neuzugelassener BEVs stieg von lediglich 177 im Jahre 2008 (Marktanteil 0.16%) auf 33'025 Ende 2017 (Marktanteil 20.8%).⁸ Es wird also bereits jedes fünfte verkaufte Fahrzeug komplett elektrisch angetrieben. Diese Zunahme in den letzten neun Jahren entspricht einem ausserordentlich hohen jährlichen Wachstum von ca. 79%, wobei das jährliche Wachstum der letzten drei Jahre immer noch bei 22% liegt.⁹ Mit einer Hochrechnung dieses Wachstums würde dennoch das Ziel der norwegischen Regierung, bis 2025 100% BEVs zu verkaufen, knapp nicht erreicht werden. Anders aussehen würde dies, wenn zu diesem Trend bei den BEVs auch die Verkäufe von PHEVs und importierte Occasionen¹⁰ beider Antriebsarten hinzugenommen werden. Dann könnte das Ziel der emissionsfreien Mobilität in Norwegen bereits im Jahr 2022 erreicht werden (Figenbaum, 2018, S. 23ff).

Im Total führt die Aufsummierung aller Neuzulassungen der BEVs bis Ende 2017 zu einem Bestand von 139'474 Fahrzeugen bzw. einem Marktanteil zu den Gesamtfahrzeugen von 5.1%.¹¹ Der Bestand von PHEVs liegt per Ende 2017 bei 67'577 Fahrzeuge, welche bei einem totalen Bestand an Personenfahrzeugen in Norwegen von insgesamt 2.71 Millionen einen Anteil von 2.6% ausmachen. Mit der bereits bis Oktober 2018 höher liegenden jährlichen Anzahl Verkäufe von BEVs als im gesamten Jahr 2017, könnte Anfang 2019 bereits jedes zehnte Fahrzeug in Norwegen elektrisch angetrieben sein (Figenbaum, 2018, S. 27). Die Vielzahl an neuen Modellen mit grösseren Reichweiten, die in den kommenden Jahren erwartet werden, wird den Marktanteil an EVs in Norwegen weiter in die Höhe treiben. Über die letzten 10 Jahren hinweg war der VW Golf mit deutlichem Abstand das meistverkaufte Modell in Norwegen. Tabelle 1 zeigt die 10 meistverkauften Fahrzeugmodelle Norwegens im Jahr 2017, inklusive der verfügbaren Antriebsarten eines Modells. Beachtlich ist dabei, dass die Mehrheit der darin gelisteten Fahrzeugmodelle entweder als PHEV oder BEV zur Verfügung stehen. Die zwei grössten Marktpositionen haben seit über 10 Jahre VW mit einem Marktanteil von 14% im Jahr 2017 und Toyota mit 11%, wobei letzterer Hersteller bis heute keine BEVs anbietet. Der amerikanische Elektroautohersteller Tesla konnte seinen Marktanteil von 0% im Jahr 2010 auf über 5% im Jahr 2017 steigern und trotz des hohen Verkaufspreises war 2017 das Model X an vierter Stelle der meistverkauften Fahrzeugen (Figenbaum, 2018, S. 25).

⁸ Marktanteil Neuzulassungen BEVs₂₀₁₇ = $\frac{\text{Neuzulassungen BEV}}{\text{Neuzulassungen Total}} = \frac{33025}{158650}$

⁹ Jährliches Wachstum_{2008–2017} = $\left[\left(\frac{33025}{177} \right)^{1/9} - 1 \right] * 100$; Jährliches Wachstum_{2014–2017} = $\left[\left(\frac{33025}{18086} \right)^{1/3} - 1 \right] * 100$

¹⁰ Erstregistrierungen an Occasionsimporte von BEVs und PHEV nicht älter als zwei Jahre.

¹¹ Marktanteil BEVs₂₀₁₇ = $\frac{\text{Fahrzeugbestand BEV}}{\text{Fahrzeugbestand Total}} = \frac{139474}{2710000}$

Im Jahresbericht des OFV (2018) wird Tabelle 1 weiter nach Einzelmodellen einer Antriebsart untergliedert, um herauszufinden welche Antriebsarten der Einzelmodelle am besten verkauft werden. Auch in diesem Fall ist eines der Golf-Modelllinie von VW das meistverkaufte Modell Norwegens, nämlich der e-Golf, welcher komplett elektrisch angetrieben wird. Zudem finden sich folgende vier weitere BEVs in den Top 10 der Einzelmodelle: BMW i3, Tesla Model X, Tesla Model S und Nissan Leaf. Der Volvo V90 Diesel an 14. Stelle ist das erste ICEV bei Verkaufszahlen nach Antriebsart. Dies ist im Vergleich zum Vorjahr 2016, als das erste ICEV noch auf der 9. Position lag und nur drei BEV-Modelle unter den Top 10 waren, sehr beachtlich.

Tabelle 1: Die 10 meistverkauften Personenfahrzeuge nach Modell 2017

Modell	Antriebsart	2017		2016		Delta %
		Anzahl	%	Anzahl	%	
1. VW Golf	Alle	12'164	7,7	13'148	8,5	- 7,5
2. BMW i3	BEV, PHEV	5'036	3,2	3'953	2,6	+ 27,4
3. Toyota Rav 4	HEV, B	4'821	3,0	4'955	3,2	- 2,7
4. Tesla Model X	BEV	4'748	3,0	1'430	0,9	+ 232,0
5. VW Passat	PHEV, D, B	4'544	2,9	4'813	3,1	- 5,6
6. Mitsu. Outlander	PHEV, D, B	4'274	2,7	5'687	3,7	- 24,7
7. Toyota Yaris	HEV, B	4'071	2,6	4'247	2,7	- 4,1
8. Tesla Model S	BEV	3'712	2,3	2'051	1,3	+ 81,0
9. Skoda Octavia	PHEV, D, B	3'604	2,3	3'795	2,5	- 5,0
10. Toyota C-HR	HEV, B	3'508	2,2	187	0,1	+ 1775,9

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an OFV (2018).

2.2 Rolle der Regierung in Norwegen

Wie bereits im vorherigen Unterkapitel angesprochen, hat Norwegen bis heute den weltweit grössten Marktanteil an BEVs. Diesem Erfolg liegt ein langjähriger Prozess der Entwicklung von Regierungsmassnahmen und Anreizsystemen zu Grunde, welche stets das Ziel verfolgten, die nationalen THG-Emissionen aus dem Verkehrssektor zu reduzieren. Die Regierung zeigte anfänglich wenig Interesse an der EV-Industrie. Nichtsdestotrotz ist Norwegen heute eines der EV-freundlichsten Länder überhaupt. Die für diese Entwicklung verantwortlichen Anreize wurden über die letzten 30 Jahre implementiert und andauernd ausgebaut. Durch die daraus ausgelöste

starke Marktentwicklung von BEVs, haben einige Provinzen in Norwegen bereits mit der Reduktion lokaler Anreizsysteme begonnen. Tabelle 2 gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der BEV-Anreizsysteme, zusammengefasst von Figenbaum (2018) und Figenbaum et al. (2014).

Anfang der 1990er Jahre lag der Fokus der Regierung auf dem Testen von BEVs und deren umweltfreundlicheren Technologie, was durch Reduktion der jeweiligen Steuern erleichtert werden sollte. Im Sinne dieser Tests wurden ab 1990 einzelne neue und importierte BEVs von der Registrierungssteuer ausgeschlossen und ab 1996 alle BEVs gänzlich davon befreit (Figenbaum & Kolbenstvedt, 2013, S. 25).¹² Rasch danach versuchten einige Städte den EV-Markt anzukurbeln. Darunter Oslo, welches 1997 als erste Stadt alle BEVs von Mautgebühren ausgeschlossen und bereits zwei Jahre später mit der Abschaffung von Parkgebühren für BEVs begonnen hat.¹³ In der nächsten Phase um die Jahrhundertwende wurden einige relevante Anreizsysteme eingeführt, vor allem zur Förderung des Heimmarktes. Die Einführung des MwSt.-Ausschlusses vom Kaufpreis der BEVs im Jahre 2001 kurbelte deren Nachfrage erheblich an. Auch die Erlaubnis mit BEVs HOV-Linien befahren zu können, welche als erstes 2003 in Oslo eingeführt wurde und knapp zwei Jahre später in ganz Norwegen, kann als eine der grössten Vorteile von BEVs gegenüber ICEVs angesehen werden, auch wenn erstere zu dieser Zeit bei Weitem nicht so fortgeschritten waren wie ICEVs.¹⁴ Die Signifikanz dieser Vorteile war vor allem in der norwegischen Provinz Akershus ersichtlich. Für die dort lebenden Berufspendler, die täglich mit der zu Stosszeiten überlasteten E18 nach Oslo fahren, führt die Benutzung der HOV-Linien zu einer erheblichen Zeitersparnis. Durch die Zunahme der BEVs auf den Strassen und dem Potential einer vermehrten Überlastung und Blockierung der öffentlichen Verkehrsmittel auf den HOV-Linien wurde im Jahre 2009 Minibussen diese Erlaubnis zum Fahren auf HOV-Linien entzogen. Im selben Jahr ist auch das Anreizsystem von reduzierten und sogar gebührenlosen Fahrten auf Fähren eingeführt worden (Fearnley et al., 2015, S. 5; Figenbaum & Kolbenstvedt, 2013, S. 15).

In der Phase um 2010 war die Reduktion der THG-Emissionen immer wichtiger für Politiker und auch vermehrt im Interesse der Autokäufer. So wurde in dieser Phase das Regierungsinstrument Transnova entwickelt mit dem Ziel, umweltfreundliche Transportmöglichkeiten voranzutreiben. Transnova ist verantwortlich für die Entwicklung des Ladenetzwerks in ganz Norwegen und

¹² Die Registrierungssteuer setzt sich in Norwegen aus dem Gewicht, PS, und der Emission des Fahrzeuges zusammen. Bei einem VW Golf liegt diese zwischen CHF 7'000-11'000. Die jährliche Fahrzeugsteuer von BEVs im Vergleich liegt bei CHF 60, für ICEVs zwischen CHF 430 - 510 (Vgl. Figenbaum, 2018, S.15).

¹³ In Oslo wird durch den Mautgebührenerlass von BEVs mit jährlichen Einsparungen von durchschnittlich CHF 1'200 gerechnet. In anderen Provinzen sogar über CHF 3'000 (vgl. Figenbaum, 2018, S.15).

¹⁴ Mehr zu den Vorschriften zur Erlaubnis von HOV-Linien in Norwegen unter <https://www.vegvesen.no/trafikkinformasjon/langs-veien/trafikkregler/kollektivfelt>.

seit 2011 das einzige bis heute neu eingeführte Anreizsystem der norwegischen EV-Politik.¹⁵ Wie in Abbildung 1 ersichtlich, haben die Verkäufe von BEVs seit 2011 deutlich zugenommen, auch ohne Einführung weiterer Regierungsmassnahmen. Als Grund der früher limitierten Verkäufen von BEVs wird eher die Knappheit an leistungsstarken BEVs angesehen, als ein Mangel an Vorteilen bei deren Gebrauch. Der starke zahlenmässige Anstieg an BEVs führte vermehrt zu Verspätungen der Busse und die Regierung musste das Anreizsystem der HOV-Linien neu überdenken. Im Jahre 2017 wurde im NTP (2017) dieses Anreizsystem überarbeitet und die Gemeinden in Bezug auf die HOV-Politik ermächtigt, BEVs von den HOV-Linien zu verbannen (Figenbaum, 2018, S. 16; Figenbaum & Kolbenstvedt, 2013, S. 16f). Darüber hinaus wurde auch entschieden, dass in Zukunft BEVs bis zu einem Maximum von 50% der Gebühren von ICEVs für Mautstrassen, Fähren und Parkieren bezahlen müssen.

Tabelle 2: Anreizsysteme für BEVs in Norwegen 2017

Anreizsystem	Einführung	Typ	Zukunftspläne
Keine Registrierungssteuer	1990/1996	Reduziert Kaufpreis	Fortlaufend bis 2020
Keine MwSt. von 25%	2001	Reduziert Kaufpreis	Fortlaufend bis 2020
Reduzierte jährliche Fahrzeugsteuer	1996/2004	Reduziert Besitzkosten	Fortlaufend auf unbestimmte Zeit
Reduzierte Steuer auf Geschäftsfahrzeugen	2000	Reduziert Besitzkosten	Überarbeitung im 2018
Keine Mautgebühren	1997	Reduziert variable Kosten	Abänderung 2018/2019: Maut- und Fährggebühren für BEVs werden von Gemeinde bestimmt (max. 50% von ICEVs)
Reduzierte oder keine Gebühr für Fähren	2009	Reduziert variable Kosten	
Finanzielle Unterstützung für normale/schnelle Ladestationen	2009/2011	Reduziert Reichweiteproblematik von BEVs	Nationaler Plan für Ladestationsnetzwerk
Erlaubnis zur Benutzung von HOV-Linien	2003/2005	Reduziert Zeitkosten	Seit 2017: Lokale Behörden dürfen Zugang verbieten falls Busse verzögert werden
Kostenloses Parkieren	1999	Reduziert variable Kosten	Abänderung 2018/2019: Lokale Behörden dürfen Gebühr einführen bis 50% von ICEVs

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Figenbaum et al. (2014) und Figenbaum (2018).

¹⁵ Transnova fusionierte 2015 mit ENOVA. Mehr zu ENOVA unter www.enova.no.

3. Literaturüberblick

Dieses Kapitel fasst die bisherigen empirischen Befunde über Effekte von Anreizsystemen auf die Adaption von EVs zusammen. Einige Studien untersuchen die Effekte von nationalen, finanziellen Politikmassnahmen auf die Adaption von EVs (Sierzchula et al., 2014) wobei jedoch meistens die Effekte von lokalpolitischen Massnahmen einzelner Provinzen oder Gemeinden innerhalb eines Landes betrachtet werden (Chandra et al., 2010; Diamond, 2009; Egnér & Trosvik, 2018; Gallagher & Muehlegger, 2011; Mersky et al., 2016). Die für diese Arbeit relevantesten Studienergebnisse werden im Folgenden kurz aufgezeigt.

Sierzchula et al. (2014) vergleicht nationale Politikmassnahmen und deren Effekt auf die Adaption von EVs (BEV und PHEV) zwischen 30 Ländern im Jahr 2012. Deren lineares Regressionsmodell macht ersichtlich, dass finanzielle Anreizsysteme in Kombination mit einem dichten LadeNetzwerk den Marktanteil von EVs eines Landes positiv beeinflussen. Gemessen werden folgende nationale, finanzielle Anreizsysteme: die Registrierungssteuer, MwSt., jährliche Fahrzeugsteuer oder Ähnliches, welche alle in Relation zu den CO₂-Emissionen und in US-Dollar standardisiert sind. Darüber hinaus zeigt die Studie, dass länderspezifische Faktoren, wie lokale Produktionsstätte oder die Empfängergruppen der Subventionen, die unterschiedlichen EV-Adaptionsraten der Länder erklären. Sozio-demographische Faktoren wie beispielsweise das Einkommen, der Bildungsstand oder das allgemeine Umweltbewusstsein einzelner Länder haben keinen signifikanten Effekt auf die Adaption von EVs. Jedoch fehlt in der Cross-Sectional-Analyse von Sierzchula et al. (2014) die Variation über die Zeit, sowie die heterogenen Effekte auf die Adaption von EVs innerhalb eines Landes.

In einer dieser Arbeit näherliegenden Analyse der Effekte lokalpolitischer Massnahmen, untersucht Mersky et al. (2016) die BEV-Adaptionsraten in Norwegen auf Ebene der Gemeinden. Die Analyse ergibt, dass das Ladenetzwerk, die Nähe zu einer grossen Stadt und das Einkommen einen signifikant positiven Einfluss auf die BEV-Adaption haben. Für die Befreiung von Mautgebühren oder die Erlaubnis zur Benutzung von HOV-Linien kann diese Studie keine statistisch signifikanten Effekte auf die Verkäufe von BEV feststellen. Doch es gilt zu beachten, dass auch die Studie von Mersky et al. (2016) mit ihrer für das Jahr 2012 durchgeführte Cross-Sectional-Analyse der Gemeinden in Norwegen die Variation über die Zeit vernachlässigt.

Gallagher & Muehlegger (2011) untersuchen den Effekt der lokalen, staatsabhängigen Politikmassnahmen auf Verkäufe von HEVs in den USA. Sie folgern, dass Steuervorteile einen signifikant positiven Effekt auf die Verkäufe von HEV eines Bundesstaates haben. Eine Steuerreduktion von USD 1037.- auf den Verkaufspreis eines HEVs hat gemäss Gallagher & Muehlegger (2011) einen

dreimal so grossen Einfluss auf die Adaption von HEVs, als eine Einkommensteuerreduktion von über USD 2000.-. Weiter zeigt die Studie, dass höhere Benzinpreise die Höhe der HEV-Verkäufe positiv beeinflussen, wobei das Ausmass dieses Effekts wegen des Eigenbedarfs an Benzin für den Antrieb von HEVs gering ausfällt.

Ähnlich zu Gallagher & Muehlegger (2011) findet Chandra et al. (2010) in deren Panel-Analyse zu den Provinzen in Kanada ebenfalls einen signifikant positiven Effekt von Steuerreduktionen auf die Adaption von HEVs. Dies wird ihrer Meinung nach dadurch relativiert, dass dieses Subventionsprogramm nicht der effektivste Weg sei, um Personen zum Wechsel von ICEVs zu EVs zu ermutigen. Die Subventionen in Kanada fördern in erster Linie Personen, welche ohnehin HEVs oder andere EVs gekauft hätten, unabhängig von den Subventionen. Im Fall Kanada, welcher die Reduktion von CO₂-Emissionen aus ICEVs durch Ankurbelung der Diffusion der HEV-Technologie zum Ziel hatte, wären diese Ressourcen anderswo besser eingesetzt worden. Grund dafür sei gemäss Chandra et al. (2010) der noch geringe Marktanteil von HEVs in Kanada.

Diamond (2009) untersucht ähnlich zu Gallagher & Muehlegger (2011) bundesstaatsabhängige Anreizsysteme für HEVs in den USA. Die Resultate zeigen einen starken positiven Zusammenhang zwischen Benzinpreisen und der HEV-Adaption und – in Übereinstimmung zu Gallagher & Muehlegger (2011) – einen kleineren Zusammenhang zwischen Anreizsystemen und der HEV-Adaption. Beim Einfluss der Erlaubnis von EVs auf HOV-Linien, ist die bisherige Literatur nicht konsistent in ihren Ergebnissen: von keinem Einfluss in der Studie von Mersky et al. (2016), keinem bis einem sehr geringem Einfluss in der Studie von Gallagher & Muehlegger (2011) und gar einem signifikant positiven Einfluss in der Studie von Diamond (2009) reichen die Resultate über die gesamte Spannbreite der Signifikanz. Gallagher & Muehlegger (2011) und Diamond (2009) sind sich aber einig, dass bei ihrer Untersuchung in den USA der Grossteil des Einflusses an HOV-Linien vom Bundesstaat Virginia stammt. Die Studie von Diamond (2009) geht bei ihrer Panel-Daten-Analyse aber über diejenige von Gallagher & Muehlegger (2011) hinaus und schaut sich durch Aufspaltung des Datensatzes in verschiedene Zeitperioden ebenso die Veränderung des Effekts lokaler Politikmassnahmen im Zeitverlauf an. In den einzelnen Zeitperioden von 2001 bis 2006 findet Diamond (2009) eine starke Abnahme des Effekts der Erlaubnis von HEVs auf HOV-Linien nach 2005. Bis zum Jahr 2005 hatten HEVs nur im Bundesstaat Virginia die Erlaubnis HOV-Linien zu benutzen. Darauf folgert Diamond (2009), dass der Effekt von HOV-Linien auf den Marktanteil von BEVs in anderen Bundesstaaten geringer ausfällt als in Virginia.

Übereinstimmend mit der Studie von Mersky et al. (2016) findet Diamond (2009) signifikante Einkommenseffekte bei der Adaption von HEVs. Mit seinen verschiedenen Analysen über die Zeit zeigt Diamond (2009), dass Individuen mit geringerem Einkommen künftige Einsparungen von

Stromkosten höher diskontieren als wohlhabendere Individuen. Somit hat der Kaufpreis für wenig verdienende Individuen eine höhere Bedeutung und jene Anreizsysteme, die den Kaufpreis entsprechend reduzieren, seien gemäss Diamond (2009) am effektivsten. Bei der Betrachtung anderer sozio-demographischer Faktoren, wie beispielsweise die in einer Region durchschnittlich gefahrenen Kilometer, sind sich Diamond (2009) und Mersky et al. (2016) uneinig. Erstere findet einen positiven Zusammenhang der durchschnittlich gefahrenen Kilometer und der HEV-Adaption, wobei letztere negative Zusammenhänge feststellt. Auch eine kürzlich veröffentlichte Panel-Analyse in Schweden von Egnér & Trosvik (2018) findet negative Zusammenhänge zwischen der durchschnittlich gefahrenen Distanz und der BEV-Adaption. Diese Studien verwenden jedoch bei der Untersuchung der Effekte von Anreizsystemen auf EVs unterschiedliche Daten, teils Verkaufszahlen von HEVs und teils jene von BEVs. Da aber BEVs im Vergleich zu HEVs von ICEVs technologisch weiter entfernt sind, ist es gemäss Sierzchula et al. (2014) nachvollziehbar, dass bei Analysen der BEV-Adaption andere Ergebnisse resultieren als in Analysen der HEV-Adaption.

Diese Arbeit ergänzt die bisherige Literatur durch eine detaillierte Analyse von lokalen Anreizsystemen auf die Adaption von BEVs in Norwegen. Durch die Verwendung eines aktuellen Datensatzes, mit monatlichen Verkaufszahlen pro Provinz in Norwegen in einem Zeitraum von 01.01.2010 bis 31.12.2017, geht diese Arbeit über jene von Mersky et al. (2016) hinaus. Der Panel-Datensatz berücksichtigt weiter die Zeitdimension, was wiederum die Anzahl Observationen, als auch die Aussagekraft der Koeffizienten gegenüber Mersky et al. (2016) erhöht. Darüber hinaus werden analog zu Diamond (2009) verschiedene Analysen über die Zeit gemessen, um die Veränderung der Effekte von lokalen Anreizsystemen auf die BEV-Adaption im Zeitverlauf aufzuzeigen. Dabei gilt es zu beachten, dass die Analyse des Effekts von nationalen finanziellen Anreizsystemen, wie beispielsweise der Ausschluss der Registrierungssteuer sowie MwSt. beim Kauf von BEVs, unberücksichtigt bleiben müssen. Denn letztere wurden vor dem untersuchten Zeitraum durch die Regierung implementiert und haben durch ihren nationalen Charakter keinen Einfluss auf die lokale Adaption von BEVs. Entsprechend müsste man dies mit einer anderen Methodik messen.

4. Theoretische Grundlagen

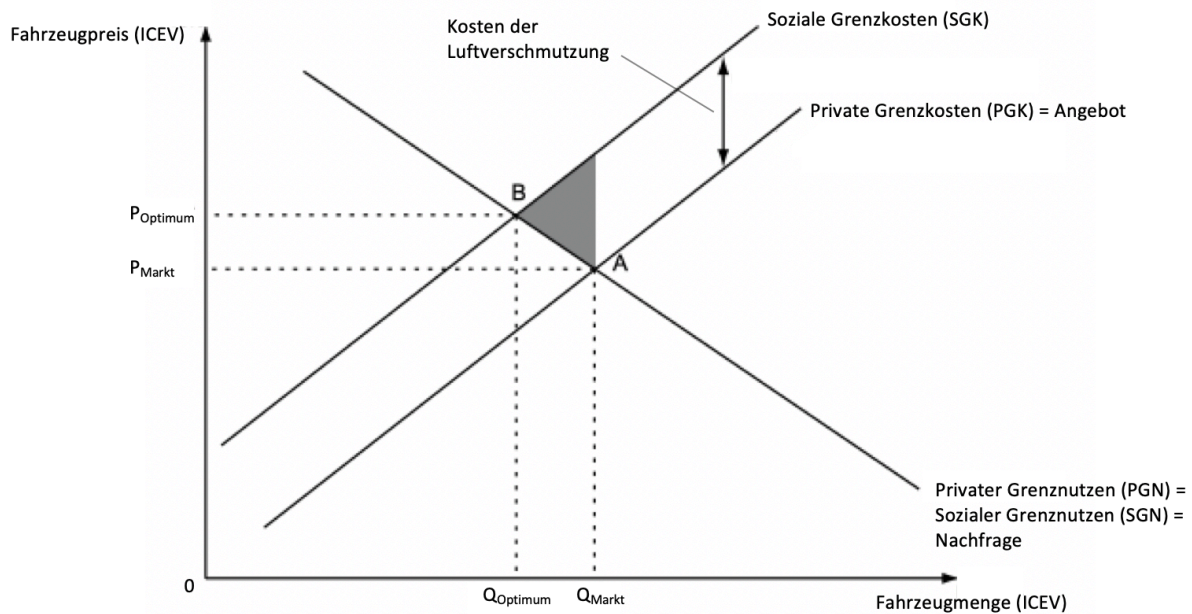
Das Ziel dieser Arbeit ist, den Einfluss von lokalen Anreizsystemen der norwegischen Regierungspolitik auf die Adaption von BEVs zu messen und unterschiedliche Effekte über den Zeitverlauf aufzuzeigen. Das folgende Kapitel erklärt theoretische Grundlagen zum Effekt von Politikmassnahmen einer Regierung und wann es ökonomisch Sinn ergibt, in einen Markt einzugreifen. Anhand eines Nachfragemodells für den Automobilkauf gemäss Berry (1995) werden zwei Hypothesen hergeleitet, welche dann gemeinsam die Grundlagen für die in dieser Arbeit getesteten Schätzgleichungen darstellen.

4.1 Marktversagen

Vielen Märkten gelingt es bisweilen nicht, Ressourcen von selbst effizient zu verteilen. In der Theorie wird von einem Marktversagen gesprochen, wenn die Allokation der Ressourcen nicht die soziale Wohlfahrt maximiert. Externalitäten oder auch externe Effekte, die sich nicht in den Marktpreisen widerspiegeln, können die Ursache einer solchen ineffizienten Ressourcenallokation der Märkte sein. Dabei wirkt sich ein externer Effekt auf die Wohlfahrt eines unbeteiligten Dritten aus, für die niemand bezahlt oder eine Kompensation erhält. Wenn diese Auswirkung schädigend ist, handelt es sich um eine negative Externalität. Ist sie begünstigend, spricht man von einer positiven Externalität (Mankiw & Taylor, 2011, S. 245).

Mithilfe politischer Massnahmen können Regierungen in einen Markt eingreifen, um eine ineffiziente Allokation der Ressourcen zu verbessern. So versucht auch Norwegen, das Marktversagen im privaten Transportsektor durch politische Eingriffe zu korrigieren und die Adaption von Elektroautos zu fördern. Das Beispiel der Elektroautoadaption kann sowohl als negativer wie auch als positiver externer Effekt betrachtet werden. Einerseits können die Emissionen von ICEVs als negative externe Kosten der Gesellschaft angesehen werden, denn sie führen zu gesundheitsschädlichem Smog. Der rationale Agent berücksichtigt jedoch die negative Externalität des Abgasausstosses beim Autofahren nicht und hat entsprechend tiefere Kosten als die Gesellschaft (Mankiw & Taylor, 2011, S. 246). Andererseits führt der erhöhte Gebrauch von Elektroautos zu einer Verringerung der Umweltverschmutzung. Für den Kauf eines Elektroautos berücksichtigt der rationale Agent aber ebenso nur seinen privaten Nutzen und nicht die positiven Externalitäten, die durch das Fahren eines emissionsfreien Fahrzeuges für die Gesellschaft herauspringen. Durch gezielte Anreizschaffung kann die Regierung die Lücke zwischen privatem und sozialem Nutzen korrigieren und ein Marktversagen verhindern. (Lee & Lovellette, 2011, S. 4).

Abbildung 3: Marktversagen - Negative Externalität

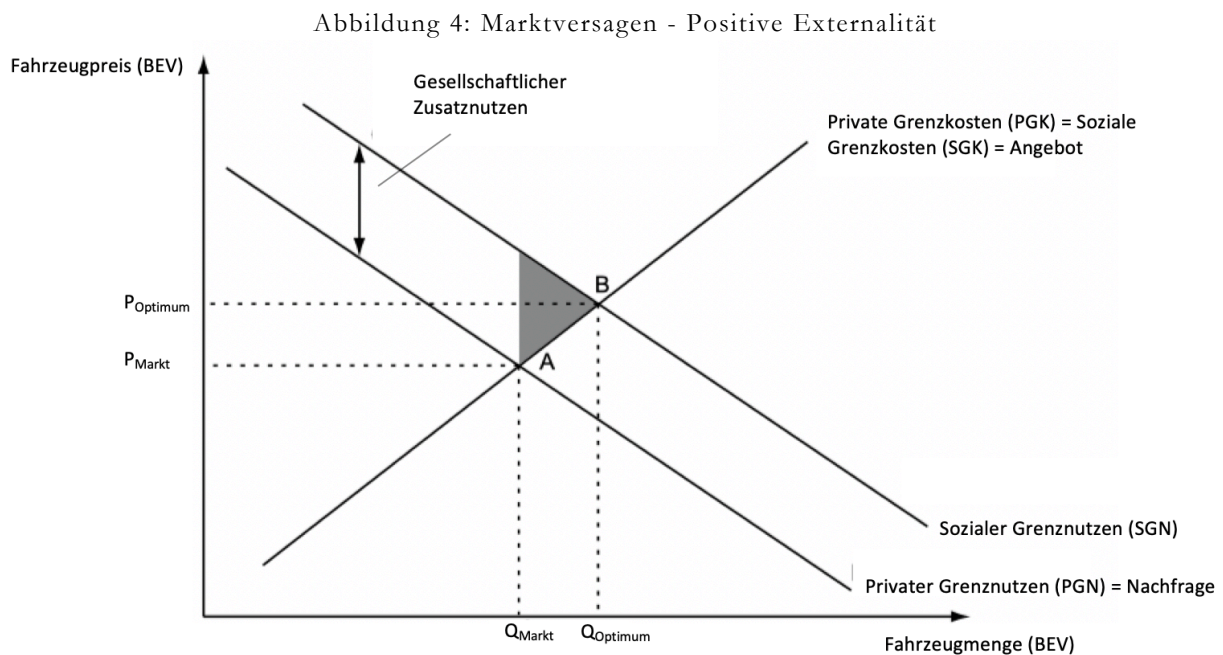


Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Mankiw & Taylor, 2011.

Die Abbildung 3 veranschaulicht das Beispiel des Marktversagens durch negative Externalitäten. Auf der x-Achse wird die Menge an ICEVs abgebildet und auf der y-Achse der zugehörige Preis. Die sozialen Grenzkosten (SGK) liegen oberhalb der privaten Grenzkosten (PGK), da sie die negativen Externalitäten der Luftverschmutzung durch Auspuffabgase beinhalten. Gemeinsam formen sie das Angebot. Der private (PGN) und soziale (SGN) Grenznutzen sind gleichgesetzt und formen die Nachfrage. Ohne staatlichen Eingriff pendelt sich die Markt-Gleichgewichtsmenge an ICEVs Q_{Markt} ein, zu einem Preis von P_{Markt} , welche grösser ist als die volkswirtschaftlich optimale Menge $Q_{Optimum}$. Dies ist jedoch ein ineffizientes Gleichgewicht A, da der Markt nur die privaten Kosten berücksichtigt. Eine Reduktion der nachgefragten Menge an ICEVs auf die Markt-Gleichgewichtsmenge $Q_{Optimum}$ wird die gesamtwirtschaftliche Wohlfahrt um die grau schattierte Fläche erhöhen. In einem unregulierten Markt wird in der Theorie eine höhere Menge Q_{Markt} an umweltverschmutzenden Fahrzeugen nachgefragt als die sozial optimale Menge $Q_{Optimum}$ (Mankiw & Taylor, 2011, S. 249f).

Um das Marktversagen aus negativen Externalitäten zu korrigieren, muss der Staat die sozialen Kosten der Luftverschmutzung durch Auspuffabgase internalisieren. Durch diese Internalisierung sollen die Käufer die «wahren Kosten» bezahlen, die mit ihrer Aktivität verbunden sind (negativen Umwelteffekte durch Auspuffabgase beim Autofahren). Entweder können umweltschädliche Fahrzeuge beim Kauf besteuert werden, was eine Erhöhung des Kaufpreises zur Folge hat, oder die variablen Kosten des Autofahrens werden durch Besteuerung des Benzin- oder Dieselpreises

erhöht. Beide Arten der Besteuerung verschieben die PGK -Kurve nach links in Richtung SGK -Kurve und zum effizienten Marktgleichgewicht B (Mankiw & Taylor, 2011, S. 250).



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Mankiv & Taylor, 2011.

Bei positiven Externalitäten werden Dritte durch die erhöhte Nachfrage nach BEVs begünstigt. Der Markt jedoch widerspiegelt diesen zusätzlichen sozialen Nutzen von reduzierten Emissionen nicht, da der Agent bei seiner Kaufentscheidung alleine seinen privaten Nutzen berücksichtigt. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, liegt die SGN -Kurve weiter rechts oder oberhalb der PGN -Kurve, da der soziale Wert der Elektroautonutzung grösser ist als der private Wert. Der Einfachheit halber werden SGK und PGK gleichgesetzt, welche gemeinsam das Angebot an Elektroautos formen. Ohne staatlichen Eingriff pendelt sich die Markt-Gleichgewichtsmenge nach BEVs Q_{Markt} ein, zu einem Preis von P_{Markt} , welche jedoch geringer ist, als die volkswirtschaftlich optimale Menge Q_{Optimum} . Um dieses Marktversagen zu korrigieren, kann der Staat wiederum durch Internalisierung der externen Effekte die PGN -Kurve nach oben oder rechts verschieben. Staatliche Massnahmen wie Subventionen in Sinne von MwSt.-Erläss beim Kauf eines BEV, Mautstation- und Fahren-Gebührenerlass reduzieren den Preis oder die Nutzung eines BEV relativ zu einem gleichwertigen ICEV und führen das Marktgleichgewicht näher an das sozial optimale Gleichgewicht in B heran. Idealerweise verschieben solche Massnahmen die PGN -Kurve gerade soweit, dass die PGN - und SGN -Kurven übereinstimmen und sich das sozial optimale Gleichgewicht in B einspielt. Theoretisch ist dies möglich, in der Praxis jedoch ist dieses Optimum für die Regierung aufgrund imperfekter

Information über die genaue Lage der *SGN*-Kurve nahezu unerreichbar (Mankiw & Taylor, 2011, S. 250ff.).

Anders argumentiert kann die Erforschung neuer Technologien für BEVs auch positive externe Effekte entfalten, da dadurch Wissen entsteht, von dem nicht nur alleine der Erfinder profitiert (Mankiw & Taylor, 2011, S. 247.). Der *PGN* der Investitionen in E-Mobilität einer Firma ist geringer als der *SGN* dieser Innovationen für die Volkswirtschaft. Dies hat zur Folge, dass private Firmen zu wenig in F&E von E-Mobilität investieren (Q_{Markt}), im Vergleich zum sozial optimalen Forschungsaufwand (Q_{Optimum}) (Horbach, 2008, S. 163ff). Auch diese Art von Marktversagen limitiert in einem unregulierten Markt die Entwicklungen von Innovationen der E-Mobilität sowie auch die Adaption von BEVs (Sierzchula et al., 2014, S. 184).

Solange für private Unternehmen potentielle Gewinne erstrebenswert sind, können staatliche Eingriffe im Sinne von Subventionen in der Forschung des privaten Sektors dem Marktversagen mit positiven Externalitäten entgegenwirken. Da private Unternehmen im Vergleich zum Staat in der Regel bessere Informationen über die Kommerzialisierung neuer Technologien haben, können sie bessere Entscheidungen darüber treffen, in welche Technologien sinnvollerweise investiert werden soll. Subventionen wie Steuergutschriften oder finanzielle Mittel für spezifische Forschungsprojekte verschieben die *PGN*-Kurve privater Unternehmen nach rechts in Richtung des volkswirtschaftlich optimalen F&E-Aufwand Q_{Optimum} . (Jaffe et al., 2005, S. 170).

Alle Massnahmen des Staates ein Marktversagen aus Externalitäten zu korrigieren, sind mit Kosten für die Gesellschaft verbunden und ziehen Wohlfahrtsverluste nach sich, wenn erstere nicht effizient implementiert werden. Beispielsweise können nicht alle neuen Technologien durch den Staat subventioniert werden und die dort eingesetzten Gelder könnten für andere Sektoren verwendet werden. Eine Erhöhung der Wohlfahrt in einem Sektor sollte immer den Wohlfahrtsverlust des anderen Sektors aus der Ressourcenreallokation kompensieren. Diese Opportunitätskosten muss der Staat beim Korrigieren eines Marktversagens berücksichtigen. Weiter muss er auch die Ressourcen möglichst effizient einsetzen, nämlich genau dort, wo der Zuwachs der Elektroautoadaption am grössten ist (Jaffe et al., 2005, S. 171). Ziel dieser Arbeit ist es, den Effekt solcher Staatsinterventionen im Automobilmarkt in Norwegen zu analysieren und herauszufinden, welche dieser Interventionen den grössten Einfluss auf die BEV-Adaption in Norwegen hat.

4.2 Nachfragemodell

Um die wissenschaftliche Fragestellung dieser Arbeit beantworten zu können wird in diesem Abschnitt das Konsumentenverhalten beim Kauf eines Fahrzeuges beschrieben. Dabei stützt sich diese Arbeit an das von Berry et al. (1995) entwickelte Verhaltensmodell der Nachfrage nach Fahrzeugen, welches später von Diamond (2009) für den Elektroautomarkt ergänzt wurde. Es wird angenommen, dass Konsumenten danach streben ihren individuellen Nutzen zu maximieren und der Einfachheit halber nur zwischen BEVs und ICEVs wählen können. Über eine fixierte Zeitperiode wird der Nutzen eines Konsumenten i beim Kauf eines Fahrzeuges j definiert als:

$$U_{i,j} = f(p_j, x_j, \varepsilon_j, \zeta_i; \theta), \quad (1)$$

mit p_j als Preis von Fahrzeug j , x_j als beobachtbare Eigenschaften von Fahrzeug j (z.B. Länge, Motor, Abgase, Antrieb und weitere Features), ε_j als unbeobachtbare Eigenschaften des Fahrzeuges j (z.B. Stil, Markenreputation, Qualität des Fahrzeuges, aber auch Erwartungen über den zukünftigen Benzin-/Dieselpreis und Gebrauchtwagenpreis), sowie dem Vektor ζ_i , der die Präferenzen und sozioökonomische Charakteristika des Konsumenten i beinhaltet (z.B. Umweltbewusstsein, geographische Charakteristika und bisherige Erfahrungen). Zusätzlich setzt sich der Vektor θ aus nationalen und lokalen Staatsmassnahmen, die den Nutzen des Fahrzeuges j beeinflussen, zusammen (Egnér & Trosvik, 2018, S. 586).

Konsument i wird Fahrzeug j kaufen, wenn und nur wenn folgendes gilt:

$$U_{i,j}(p_j, x_j, \varepsilon_j, \zeta_j; \theta) \geq U_{i,r}(p_r, x_r, \varepsilon_r, \zeta_r; \theta) \text{ mit } r = 0, 1, 2, \dots, J; r \neq j. \quad (2)$$

Übersteigt sein individueller Nutzen eines BEVs denjenigen eines ICEVs oder der Aussenoption $r = 0$, kein Fahrzeug j zu erwerben, so entscheidet sich der Konsument i ein BEV zu kaufen. Aus Gleichung (1) kann für eine gegebene Population die aggregierte Nachfragefunktion A_j als Summe der einzelnen Nachfragefunktionen der Konsumenten i für Fahrzeug j hergeleitet werden:

$$A_j = \{\zeta: U_{i,j}(p_j, x_j, \varepsilon_j, \zeta_j; \theta) \geq U_{i,r}(p_r, x_r, \varepsilon_r, \zeta_r; \theta)\} \text{ mit } r = 0, 1, 2, \dots, J; r \neq j. \quad (3)$$

Der Marktanteil s_j eines Fahrzeuges j wird definiert als Funktion aus:

$$s_j = f(p_j, x_j, \varepsilon_j, \bar{\zeta}; \theta), \quad (4)$$

dem Preis p_j , den beobachtbaren und unbeobachtbaren Eigenschaften x_j und ε_j eines individuellen Fahrzeuges j , sowie den Regierungsmassnahmen θ . Der Vektor $\bar{\zeta}$ bezeichnet neu die durchschnittlichen Präferenzen und sozioökonomische Charakteristika der gesamten Population.

Angenommen die gesamte Population wird regional nochmals unterteilt, so können die beobachtbaren und unbeobachtbaren Eigenschaften x_j und ε_j eines Fahrzeuges j aus dem Modell weggelassen werden. Denn diese variieren nicht zwischen den Provinzen in Norwegen, da Autohersteller das gleiche Fahrzeug mit nahezu gleichen Eigenschaften zum selben Preis verkaufen. Auch provinzabhängige Determinanten des Marktanteils eines Fahrzeuges j bleiben konstant über die Zeit t , können aber innerhalb der Provinzen über die Zeit variieren (Diamond, 2009, S. 976). Somit wird der Marktanteil eines Fahrzeuges j in einer Provinz i zum Zeitpunkt t definiert als:

$$s_{j,i,t} = f(p_{j,i,t}, \zeta_{i,t}; \theta_{j,i,t}). \quad (5)$$

Die Gleichung (5) zeigt somit auf, wie die Variation in der BEV-Adaption zwischen und innerhalb einzelner Provinzen von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird und bildet damit die theoretische Grundlage des ökonometrischen Modells dieser Arbeit. Nationale Staatsmassnahmen in Norwegen wie den MwSt.-Erlass auf den Preis $p_{j,i,t}$ beim Kauf eines BEV variieren nicht zwischen den Provinzen und werden deshalb im ökonometrischen Modell nicht berücksichtigt. Lokale Staatsmassnahmen wie Maut- und Fährengelb-Erlass für BEVs $\theta_{j,i,t}$ können den Nutzen eines BEVs erhöhen und somit auch das Kaufverhalten der Konsumenten beeinflussen. Denn aufgrund lokaler Unterschiede in den Gebühren für Mautstationen und Fähren, wird sich ihr Einfluss auf den Marktanteil an BEVs nicht in allen Provinzen gleich stark auswirken. Die Staatsmassnahme der Erlaubnis von BEV-Fahrer auf HOV-Linien wurde zwar in Norwegen auf nationaler Ebene eingeführt, jedoch ist die Anzahl Kilometer an HOV-Linien nicht gleichmässig auf die Provinzen verteilt. Die daraus resultierende Zeitersparnis wird somit von Provinz zu Provinz von unterschiedlich sein (Egnér & Trosvik, 2018, S. 587; Mersky et al., 2016, S. 59ff). Eine weitere Staatsmassnahme in Norwegen, die den Marktanteil der BEVs lokal positiv beeinflussen könnte, ist die Verfügbarkeit an Ladestationen in einer Provinz. Eine höhere Anzahl an Ladestationen erleichtert das Laden und gleicht somit das Defizit der noch geringeren Reichweite der BEVs im Vergleich zu ICEVs aus (Sierzchula et al., 2014, S. 158). Unterschiedliche sozioökonomische und demographische

Charakteristika der Provinzen in Norwegen werden im Vektor ζ_i zusammengefasst. Dazu gehören beispielweise unterschiedliche Fahreigenschaften oder Einkommensunterschiede einer Provinz, welche einen Einfluss auf den Nutzen aus BEVs haben können. Aus diesen theoretischen Beziehungen lässt sich folgende Hypothese ableiten, welche in Kapitel 7.1 getestet wird:

Hypothese 1: *Lokale Anreizsysteme wie das kostenlose Passieren von Mautstationen und die Benutzung von Fahren, die Erlaubnis zur Benutzung von HOV-Linien, sowie die Verfügbarkeit von Ladestationen haben einen positiven Einfluss auf den Marktanteil von BEVs in Norwegen.*

In Anlehnung an die Studie von Diamond (2009) sollen nicht nur die Effekte der Staatsmassnahmen als Durchschnitt über die ganze Zeitperiode analysiert werden, sondern auch deren Veränderung über die Zeit. In Kapitel 2.2 wurde bereits die Problematik der Staatsmassnahme zur Benutzung der HOV-Linien für BEVs angesprochen. Die Regierung hat bei der Implementierung dieses Anreizsystems im Jahre 2005 nicht mit einem derartig starken Anstieg des BEV-Marktanteils in den Folgejahren gerechnet. Seit 2013 kam es vermehrt zu Überbelastungen und Verzögerungen des Busverkehrs, worauf die Regierung beschloss, den Gemeinden die Möglichkeit zu übergeben dieses Anreizsystem zu entfernen (Figenbaum, 2018, S. 16). Es wird also angenommen, dass sich der Effekt dieser Staatsmassnahme mit der Zeit verändert. Dasselbe gilt für die Anzahl Ladestationen. Der Ausbau des Ladenetzwerks folgt dabei einer Kurve des abnehmenden Grenznutzens. Die erste Ladestation, welche gebaut wird, bringt dem Konsumenten viel mehr Nutzen als eine zusätzliche Station bei einem bereits gut ausgebautem Ladenetzwerk (Li, 2017, S. 2f). Aus dieser Sicht sollte auch hier der Effekt der Ladestationen die Kaufentscheidung eines BEVs im Zeitverlauf unterschiedlich stark beeinflussen. Darüber hinaus entwickelt sich die Technologie der EVs von Zeit zu Zeit weiter, was wiederum einen positiven Effekt auf die Adaption der BEVs hat. Die Verbesserung der Batterien sowie auch die vermehrte Skalierbarkeit der BEVs hat sie im Vergleich zu ICEVs kompetitiver gemacht. Der zu Beginn deutlich über demjenigen von ICEVs liegende Kaufpreis der BEVs wird für nach 2013 produzierte BEV-Modelle nach steuerlichen Abzügen und Abschreibungen als vergleichbar angesehen (Figenbaum, 2018, S. 17). Aus diesen theoretischen Überlegungen leitet sich folgende Hypothese ab, welche in Kapitel 7.2 getestet wird:

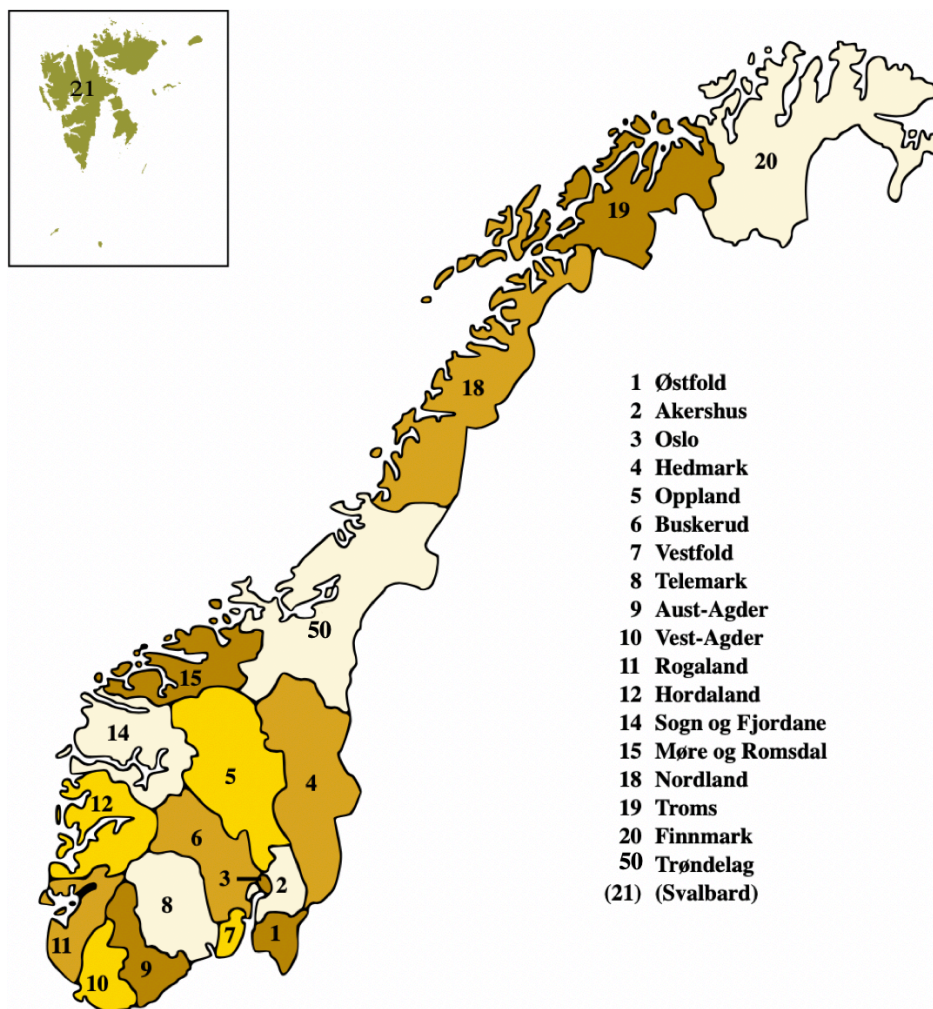
Hypothese 2: *Lokale Anreizsysteme wie das kostenlose Passieren von Mautstationen und die Benutzung von Fahren, die Erlaubnis zur Benutzung von HOV-Linien, sowie die Verfügbarkeit von Ladestationen wirken sich im Zeitverlauf unterschiedlich auf den Marktanteil von BEVs aus.*

5. Daten

Dieses Kapitel beschreibt den für die empirische Analyse verwendete Panel-Datensatz. Im ersten Schritt wird die Zusammensetzung der Daten aufgezeigt, indem für jede einzelne Variable die Quelle und deren theoretischen Überlegungen erklärt werden. Im nächsten Schritt werden in einer ersten deskriptiven Analyse einzelne Trends und Zusammenhänge der Hauptvariablen aufgezeigt. Als Drittes wird die Korrelationsmatrix betrachtet, um erste Beziehungen zwischen den Variablen aufzudecken.

Seit dem 1. Januar 2018 wird Norwegen nur noch in 18 Provinzen, norwegisch «Fylker», eingeteilt. Die ehemaligen Provinzen Nord-Trøndelag (Nr. 17) und Sør-Trøndelag (Nr. 16) wurden zu einer einzelnen Provinz Trøndelag (Nr. 50) zusammengefasst. Bis auf die Inselgruppe Svalbard (Nr. 21), welche aufgrund von fehlenden Daten aus der Analyse ausgeschlossen wurde, werden alle in dieser Arbeit verwendeten Daten nach den neuen Divisionen eingeteilt (siehe Abbildung 5).

Abbildung 5: Provinzen in Norwegen



Quelle: no.wikipedia.org/wiki/Norges_fylker.

Bei der Wahl der spezifischen Zeitdimension von 2010 bis 2017 für die Analyse des Effekts der Anreizsysteme auf BEV-Verkäufe gibt es mehrere Gründe. Erstens wird in Abbildung 1 im Kapitel 2 aufgezeigt, wie sich die Neuzulassungen verschiedener Antriebsarten historisch entwickelt haben. Daraus lässt sich ableiten, dass Verkäufe von BEVs auf nationaler Ebene bis Anfang 2010 nur ein minimales Niveau erreicht haben, wobei sie disaggregiert nach den 18 Provinzen nochmals signifikant kleiner wären und somit die Analyse verzerren würden. Zweitens sind keine Daten über das Ladenetzwerk Norwegens vor 2010 verfügbar, welche eine Variable von Interesse darstellen würde. Für eine Analyse über frühere Zeitperioden hätten diese Daten somit mathematisch extrapoliert werden müssen, was die Genauigkeit des Modells weiter verzerren würde. Drittens versucht diese Arbeit, die unterschiedlichen Auswirkungen bereits implementierter Anreizsysteme auf BEV-Verkäufe aufzuzeigen sowie deren lokale Unterschiede und nicht den Effekt der Einführung eines einzelnen Anreizsystems. Kapitel 2.2 zeigt einen Überblick über die Entwicklung der Politikmaßnahmen in Norwegen zur Förderung von EVs. Seit 2009 wurde kein neues Anreizsystem in Norwegen mehr eingeführt, was wiederum die Wahl der Anfangsperiode von 2010 begründet.

5.1 Verkaufszahlen

Die primären Verkaufszahlen von Norwegen wurden vom norwegischen Verkehrsverband OFV AS auf Anfrage zur Verfügung gestellt.¹⁶ Diese Daten beinhalten monatliche Neuzulassungen an Personenfahrzeugen für alle 18 Provinzen in Norwegen und über einen Zeitraum von 2010 bis 2017. Weiter sind alle Neuzulassungen mit der Antriebsart gekennzeichnet und in zehn Segmente kategorisiert.¹⁷ Für die in dieser Arbeit verwendete Methodik werden nur die Verkaufszahlen von BEVs berücksichtigt, andere erneuerbare Antriebsarten wie HEV oder PHEV werden aufgrund von teils anderen Kaufanreizen ausgeschlossen. Um die Segmentierung herauszufiltern wird der Datensatz für jede Provinz und jeden Monat aggregiert. Jede Observation beinhaltet dann die Anzahl Neuzulassungen von BEVs in einer Provinz in einem Monat zwischen 2010M1 bis 2017M12. Um den Anteil an Neuzulassungen von BEVs jeder Provinz in jedem Monat zu erhalten, wird jede Observation durch die Gesamtmenge an Neuzulassungen aller Antriebsarten derselben Provinz und Monat dividiert. Die Verwendung eines Verkaufsanteils der BEVs als abhängige Variable hat den Vorteil, dass sie damit robust gegenüber exogenen Schocks auf dem gesamten Automobilmarkt ist. Dies ermöglicht eine genauere Modellierung der Nachfrage von BEVs. Fehlende Werte, also Nullverkäufe von BEVs in einer Provinz und Monat, werden mit Null ergänzt, um einen

¹⁶ Mehr zum OFV AS unter www.ofv.no/forside.

¹⁷ Antriebsarten: Diesel, Diesel HEV, Diesel PHEV, Gasoline, Gasoline HEV, Gasoline PHEV, BEV, NGV, FCEV; Segmente: Big cars, Compact cars, Luxury cars, Mid sized cars, Mini cars, Mpv, Small cars, Sports cars, Suv, Van.

«balanced Panel» zu erhalten. Mit den 18 Provinzen und monatlichen Daten über acht Jahre hinweg ergibt dies eine Anzahl an Observationen von 1'728.

5.2 Anreizsysteme

Zu den erklärenden Variablen von Interesse gehören vier lokalpolitische Massnahmen: Ladestationen, HOV-Linien sowie Maut- und Fährenggebühren (vgl. Kapitel 2.2). Die Daten über Ladestationen wurden auf Anfrage von NOBIL zur Verfügung gestellt.¹⁸ Dieser Datensatz beinhaltet eine aktuelle Übersicht mit Informationen zu allen Ladestationen (öffentliche und geschäftliche), Anzahl Ladepunkte pro Ladestation, Ortschaft, Erfassungsdatum in der Datenbank, Status sowie deren Leistung. Da gemäss NOBIL keine Statistik über die lokale historische Entwicklung des Ladnetzwerks verfügbar ist, sondern nur diese Übersicht mit dem aktuellen Stand, wird das Eröffnungsdatum als Proxy für neu eröffnete Ladestationen genommen. Geschlossene Ladestationen können somit nicht gemessen werden, was aber die genaue Anzahl an Ladestationen pro Provinz pro Monat bei ihrem geringen Ausmass nicht signifikant verzerren sollte.¹⁹ Für diese Analyse werden alle aktiven Ladestationen nach Eröffnungsdatum aggregiert, um eine Variable zu generieren, die den lokalen Bestand an Ladestationen und deren Ladepunkte wiedergibt.²⁰ In Kapitel 4 wird bereits argumentiert, dass die Reichweiteproblematik von BEVs im Vergleich zu ICEVs möglicherweise ein Grund für die Kaufentscheidung sein könnte. Zum Testen dieser Hypothese wird eine Variable aus der Anzahl Ladestationen je Provinz und Monat, dividiert durch die Gesamtanzahl Strassenkilometer dieser Provinz und Monat, gebildet.²¹ Diese Variable gibt somit die Veränderung der durchschnittlichen Fahrdistanz zwischen Ladestationen jeder Provinz wieder.²²

¹⁸ Mehr zu NOBIL unter info.nobil.no.

¹⁹ Vegard Bøe, Projektmitarbeiter bei NOBIL, konnte durch direkten Kontakt bestätigen, dass die Anzahl geschlossene Ladestationen seit 2010 unter 1% sei und somit das Eröffnungsdatum für diese Analyse das beste lokale Mass an Ladestationen sei. Die Abweichung sollte die Analyse nicht signifikant verzerren.

²⁰ Wie bereits erwähnt wird auf nationaler Ebene die historische Entwicklung des Ladenetzwerks aufgezeichnet. Zur Überprüfung der Genauigkeit des Proxys für den lokalen Bestand an Ladestationen wurden einige Zeitpunkte mit der nationalen Datenbank überprüft und keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Unter folgendem Link kann die nationale Datenbank abgerufen und durch Anpassung des Datenstrings unterschiedliche Zeitpunkte abgerufen werden: www.nobil.no/widgets/statistikk.php?countrycode=nor&date=20180501&format=html

²¹ Monatliche Anzahl Strassenkilometer je Provinz und Monat wurde von NPRA durch direkten Kontakt bezogen.

²² In der Literatur wird oftmals mit der Anzahl Ladepunkte pro Kopf als Anreizsystem für BEVs modelliert, mit dem Hintergrund von Überbelastungen der Ladestationen durch gleichzeitiges Laden. Das vollständige Laden eines BEVs dauert je nach Leistung des Anschlusses mindestens eine halbe Stunde und deshalb kann argumentiert werden, dass für BEV-Besitzer nicht nur die Anzahl Ladestationen von Interesse ist, sondern auch deren Anzahl Ladepunkte um allfällige Wartezeiten zu vermeiden. Für ICEV-Besitzer im Gegensatz spielt die Anzahl Tanksäulen einer Tankstelle eine geringere Rolle. In dieser Arbeit wird versucht die Problematik des Reichweitedefizits von BEVs mit dem Ladenetzwerk zu vergleichen und vor diesem Hintergrundgedanke wird versucht die mögliche Fahrdistanz zwischen Ladestationen zu modellieren. Dazu ist die Anzahl Ladestationen pro Strassenkilometer die bessere Variable. Es wird als Zusatz auch durch Multiplikation der Anzahl Ladestationen mit den jeweiligen Ladepunkten eine kombinierte Variable generiert und zudem gemessen, damit beides abgedeckt wird.

Da an einigen Ladestationen kostenlos geladen und parkiert werden kann, und das bezahlte Laden eines BEVs deutlich unter dem Preis eines ICEVs liegt, reduziert dies die variablen Kosten eines BEVs. Folglich sollte die Ausbreitung des Ladenetzwerks pro Strassenkilometer die Nachfrage nach BEVs erhöhen. Gemäss der Studie von Figenbaum & Kolbenstvedt (2016) laden ca. 34% der Befragten mindestens einmal pro Woche ihr BEV an einer öffentlichen Ladestation. Um die Reichweiteproblematik der BEVs zu überwinden, sei nicht nur die Verfügbarkeit, sondern die Sichtbarkeit der Ladestationen im öffentlichen Raum als psychologischer Faktor von grosser Bedeutung. Auch andere Studien zu diesem Themengebiet, z.B. Mersky et al. (2016) und Sierzchula et al. (2014), halten fest, dass ein positiver Zusammenhang zwischen Ladestationen pro Strassenkilometer und BEV-Anteil zu erwarten sei.

Die Daten zur zweiten erklärenden Variable, HOV-Anteil, wurden auf Anfrage beim norwegischen Verkehrsdepartement NPRA (Norwegian Public Roads Administration) bezogen.²³ Sie beinhalten die monatliche Anzahl Kilometer an HOV-Linien per Provinz und Monat, sowie die Gesamtanzahl Strassenkilometer, welche nochmals in sieben Kategorien untergliedert sind.²⁴ Da BEV-Besitzer in ganz Norwegen kostenlosen Zugang zu HOV-Linien haben und auf diesen eine kleinere Verkehrsdichte als auf normalen Linien herrscht, entspringt eine potentielle Zeiteinsparung. Diese Zeiteinsparung wird modelliert indem als Variable die Wahrscheinlichkeit genommen wird, dass ein BEV-Besitzer im Strassennetz auf eine HOV-Linie stösst. Hierfür verwendet diese Arbeit als erklärende Variable den Anteil an HOV-Linien jeder Provinz im Verhältnis zu den Strassenkilometern auf denen HOV-Linien vorkommen können. Die Länge an HOV-Linien pro Provinz wird somit nicht durch die Gesamtanzahl Strassenkilometern dividiert, sondern nur durch diejenigen der Kategorien Europaveg, Fylkesveg, Kommunal veg und Riksveg, da in den restlichen Kategorien keine HOV-Linien vorkommen können.²⁵ Die Signifikanz eines positiven Effekts des HOV-Linien-Zugangs auf den Verkauf von BEVs wird bereits in der Studie von Mersky et al. (2016) aufgezeigt, jedoch unter Verwendung einer Dummy-Variable. Demzufolge sind bei hohem HOV-Anteil (und damit einhergehender Zeiteinsparung für BEV-Besitzer) erhöhte BEV-Verkäufe zu erwarten. Demgegenüber kann argumentiert werden, dass bei einer Überlastung der HOV-Linien kein signifikanter Vorteil gefunden werden sollte.

Zur Messung des dritten Anreizsystems, das kostenlose Passieren von Mautstationen für BEVs, wurden monatliche Daten zu allen Mautstationen, sowie deren Preise fürs Passieren von

²³ Mehr zum NPRA unter www.vegvesen.no/en/home.

²⁴ Kategorien: Europaveg, Fylkesveg, Gang-og Sykkelveg, Kommunal veg, Privat veg, Riksveg, Skogsbilveg.

²⁵ Nach langer Diskussion zwischen einem Anteil an HOV-Linien oder die absolute Anzahl HOV-Linien Kilometer als erklärende Variable verwendet diese Arbeit den Anteil. Als Sensitivitätsanalyse wird das Hauptmodell zusätzlich mit HOVkm geschätzt.

Personenfahrzeugen/Lastwagen und Ortschaft vom NPRA erworben. Ziel ist es eine Variable zu erstellen, welche die Mautkosten pro zugehörige Strassenkilometer misst und somit einen numerischen Wert für potentielle Kosteneinsparungen pro gefahrenem Strassenkilometer für BEVs darstellt. Leider ist die genaue Zuordnung der Strassenkilometer zur jeweiligen Mautstation nur in den Städten möglich. Denn beim Passieren von Mautstationen ausserhalb oder zwischen den Städten erhält man für das Bezahlen der Mautgebühr unlimitierten Zugang zu allen Strassen nach der Mautstation. Aus diesem Grund wird ein Proxy generiert aus dem Durchschnittspreis der Mautstationen pro Provinz, dividiert durch die Gesamtanzahl Strassenkilometer dieser Provinz, multipliziert mit der Anzahl Mautstationen derselben Provinz.²⁶ Diese Variable variiert nun über die Provinzen und die Zeit. Einige der Mautstationen in Norwegen verfügen nicht nur über fahrzeuggrößenabhängige, sondern auch zeitabhängige Preise für das Passieren der Mautstation. Bei diesen Mautstationen wird der Preis gemäss der Stundenanzahl des vorliegenden zeitabhängigen Preises entsprechend gewichtet.²⁷ Zusätzlich werden alle fehlenden Werte einzelner Observationen mit Null ergänzt, unter der Annahme, dass in diesen Provinzen zu diesem Zeitpunkt keine Mautstationen vorzufinden sind.²⁸ In der Theorie wird erwartet, dass hohe potentielle Einsparungen durch kostenloses Passieren der Mautstationen, unter anderem höhere Mautgebühren pro gefahrenem Kilometer, die variablen Kosten von BEVs reduzieren. Diese Einsparung aus dem Anreizsystem sollte somit eine Erhöhung des BEV-Verkaufsanteils nach sich ziehen.

Zur Konsistenz der Variablen wird für das letzte Anreizsystem, die kostenlose Nutzung von Fähren, eine ähnliche Variable wie die Mautgebühren pro Strassenkilometer generiert. Namentlich sind dies die Kosten pro Fahrenkilometer, die als Indikator für potentielle Einsparungen je Fahrenkilometer mit einem BEV erzielt werden können. Dazu wurden von der Verwaltung der Fähren-Datenbank, die neu dem NPRA angehört, auf Anfrage zwei Datensätze erhoben. Einerseits eine jährliche Übersicht mit allen Strecken pro Provinz sowie deren Länge in Kilometer, Zone und Verkehrsstärke je Fahrzeugtyp.²⁹ Andererseits das «Riskregulativ for ferjetakster», welches die Preissetzung für alle von der norwegischen Regierung subventionierten Fähren darstellt und jährlich angepasst wird. Die wenigen nicht von der Regierung subventionierten Fähren benutzen gemäss dem NPRA das «Riskregulativ for ferjetakster» als Richtlinie ihrer Preissetzung. Daraus kann

²⁶ Bsp. bei einer Mautstation pro Provinz wird der Preis durch die gesamte Anzahl Strassenkilometer dieser Provinz dividiert. Bei zwei Stationen pro Provinz wird der Preis nur noch durch die Hälfte der Strassenkilometer dividiert. Somit ist der Preis pro Strassenkilometer dann doppelt so hoch.

²⁷ Gewichtung folgendermassen: Rushhour: 3/16 (4.5h aus 06.30 - 08.59 und 14.30 - 16.29), Normal: 13/16 (19.5h). Mehr dazu unter www.aupass.no/Bompegeanlegg.

²⁸ Dies trifft zu für Buskerud 2010M1-2014M6; Finnmark 2012M8-2017M12; Sogn og Fjordane 2014M3-2016M9; Telemark 2010M1-2016M9; Troms 2010M1-2011M9.

²⁹ Die Fährendatenbank steht öffentlich unter fdb.triona.no zur Verfügung.

geschlossen werden, dass die Modellierung der Preise gemäss dem «Riskregulativ for ferjetakster» ein akkurater Indikator der realen Ausgaben für die Reise mit einer Fähre in Norwegen darstellt. Die Preise des «Riskregulativ for ferjetakster» variieren je nach Zone und Fahrzeuglänge. Berücksichtigt werden in dieser Arbeit jedoch nur die Zonenpreise für Personenfahrzeuge unter 6 Meter. Diese Preise werden dann den dazugehörigen Strecken des ersten Datensatzes zugeordnet. Daraus können für jede Strecke die Kosten pro Streckenkilometer berechnet werden, was bei den Mautgebühren leider nicht möglich ist. Die verwendete Variable setzt sich letztendlich aus dem Durchschnitt der Kosten pro Streckenkilometer einer Provinz zusammen und variiert somit über die Zeit und je Provinz. Da in Norwegen nicht in allen Provinzen Fähren zur Verfügung stehen, werden die restlichen Preise der anderen Provinzen der Vollständigkeit halber mit Null ergänzt.³⁰ Simultan zu den Mautkosten pro Strassenkilometer wird aus theoretischer Sicht ein positiver Zusammenhang zwischen höheren Fährenkosten pro transportiertem Kilometer und der Nachfrage nach BEVs erwartet, da wiederum die Einsparung der Fährkosten eine Minderung der variablen Kosten der BEVs im Vergleich zu den ICEVs darstellt.

5.3 Kontrollvariablen

Die verwendeten Kontrollvariablen basieren auf Erkenntnissen bisheriger Studien, in welchen ein signifikanter Effekt auf die Adaption von BEVs gefunden wurde. Als erstes werden monatliche Elektrizitätspreise miteinbezogen. Spotpreise (NOK/MWh) der Produzenten werden von Nordpool (2018) auf monatlicher Basis und in Norwegen für fünf Regionen (Nord-,Mittel-,West-,Ost- und Südnorwegen) publiziert.³¹ Da gemäss einer Umfrage von Figenbaum & Kolbenstvedt (2016) ca. 34% der Befragten ihr BEV mindestens einmal pro Woche an einer öffentlichen Ladestation laden, 56% hingegen den Strom mindestens einmal pro Woche zu Hause auf eigene Kosten beziehen, kann davon ausgegangen werden, dass der Strompreis einen Einfluss auf die Benutzung der BEVs hat. Tiefere Strompreise könnten also die variablen Kosten der BEVs reduzieren, was einen Anreiz für den Erwerb eines BEV darstellen könnte. Wegen des noch tiefen Marktanteils der BEVs im Vergleich zu anderen Antriebsarten kann ausgeschlossen werden, dass ein umgekehrter Zusammenhang zwischen Strompreisen und BEV-Verkäufe vorliegt, in welchem die Strompreise aufgrund erhöhter BEV-Verkäufe angepasst werden (Reverse Causality). Eine Verzerrung dieser

³⁰ Norwegische Provinzen mit Fähren: Østfold, Buskerud, Vest-Agder, Rogaland, Hordaland, Sogn og Fjordane, Møre og Romsdal, Trøndelag, Nordland, Troms, Finnmark.

³¹ Zur Region Nordnorwegen gehören die Provinzen Nordland, Troms und Finnmark; zu Mittelnorwegen die Provinz Trøndelag, zu Westnorwegen die Provinzen Rogaland, Hordaland, Sogn og Fjordane, Møre og Romsdal, zu Ostnorwegen die Provinzen Østfold, Akershus, Oslo, Hedmark, Oppland, Buskerud, Vestfold, Telemark, zu Südnorwegen die Provinzen Aust-Agder und Vest-Agder.

Kontrollvariable könnte aber bei der Weitergabe der Produzentenstrompreise zu den Endkunden auftreten.³² In ähnlicher Weise zu den Strompreisen sollten auch Benzin-/Dieselpreise inkludiert werden. Letztere variieren jedoch nicht zwischen den Provinzen und werden deshalb ausgeschlossen (vgl. Kapitel 6.1).

Bei den restlichen Kontrollvariablen handelt es sich vor allem um sozio-demographische Faktoren, die dem Amt für Statistik in Norwegen SSB (Statistik sentralbyrå) entnommen wurden.³³ Unter anderem AVKT (Average Vehicle Kilometers Travelled), Bildung, Einkommen, Populationsdichte und Arbeitslosenquote.³⁴ Bei den durchschnittlich gefahrenen Kilometer AVKT je Provinz (SSB, 2018b) können zwei verschiedene Effekte erwartet werden. Einerseits sollte in Übereinstimmung mit den Studienergebnissen von Egnér & Trosvik (2018) und Mersky et al. (2016) in Provinzen mit höheren AVKT der BEV-Verkaufsanteil geringer ausfallen, wenn die geringere Reichweite von BEVs im Vergleich zu ICEVs noch ein Kaufhindernis darstellt. Andererseits könnte dagegen argumentiert werden, dass aufgrund von geringeren variablen Kosten der BEVs in Provinzen mit höheren AVKT eine höhere Kostenersparnis erzielt werden kann. Dies könnte dann zu einer Steigerung des BEV-Anteils führen.

Höheres Einkommen (SSB, 2018f) und Ausbildungsstatus (SSB, 2018c) haben gemäss bisherigen Studien positive Effekte auf die Adaption von BEVs (Bjerkan et al., 2016; Diamond, 2009; Egnér & Trosvik, 2018; Gallagher & Muehlegger, 2011; Mersky et al., 2016). Diamond (2009) zeigt beispielsweise, dass Individuen mit geringerem Einkommen künftige Einsparungen von Stromkosten höher diskontieren. Somit ist der Kaufpreis für sie von höherer Bedeutung. Individuen mit höherem Einkommen haben zudem eine höhere Risikotoleranz gegenüber neuen Technologien, was auch für BEVs gilt. Bjerkan et al. (2016) zeigen in ihrer Studie, dass über 76% der BEV-Besitzer einen Universitätsabschluss haben. Somit kann in Anlehnung an bisherige Studien mit positiven Zusammenhängen zwischen Einkommen und Bildung auf die Adaption von BEVs gerechnet werden. Dabei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass der Einkommenseffekt geringer ausfallen könnte, da gemäss Figenbaum & Kolbenstvedt (2016) BEVs oft als Zweitauto erworben werden. Als Variablen verwendet diese Arbeit das Durchschnittseinkommen pro Haushalt in NOK und den Prozentsatz an Personen mit einem Universitätsabschluss.

Zuletzt wurden Daten zur Bevölkerungsdichte (SSB, 2018g) und Arbeitslosigkeit (SSB, 2018e) erhoben. Die Bevölkerungsdichte, gemessen in Personen pro km², kann generell als Grad der

³² Es war diesbezüglich nicht möglich lokale Endkundenpreise einzelner Provinzen zu erhalten. Aus diesem Grund werden Spotpreise der Produzenten als Strompreise genommen.

³³ www.ssb.no.

³⁴ Alle Daten, bis auf Arbeitslosenquote, stehen jährlich zur Verfügung.

Urbanisierung angesehen werden. In urbanisierten Regionen leben Personen verdichteter, womit diese öfters mit BEVs in Kontakt kommen und somit ein erhöhter Verkaufsanteil an BEVs erwartet werden kann. Die monatliche Arbeitslosenquote der 15- bis 74-jährigen Personen wird als Variable der Arbeitslosigkeit verwendet mit der Idee eines indirekten negativen Zusammenhangs mit der abhängigen Variable.

5.4 Deskriptive Analyse

Tabelle 3 zeigt eine Statistik der wichtigsten Variablen, die in der Analyse verwendet werden. Jede der Variablen beinhaltet total 1'728 Observationen, die sich aus den 18 Provinzen und über die Zeitperiode von 2010 bis 2017 ergeben ($18 \cdot 8 \cdot 12 = 1'728$). Darüber hinaus zeigt Tabelle 3 das arithmetische Mittel, die Standardabweichung, sowie den minimalen und maximalen Wert der jeweiligen Variablen. Der Verkaufsanteil von BEVs liegt in der gemessenen Zeitperiode im Durchschnitt bei 8%. Der minimale Wert von 0% zeigt auf, dass für mindestens eine Provinz in einem Monat kein einziges BEV verkauft wurde, wobei hingegen in einer anderen Provinz ein erstaunlicher Verkaufsanteil von 45% erreicht wurde.

Tabelle 3: Deskriptive Statistik der relevanten Variablen

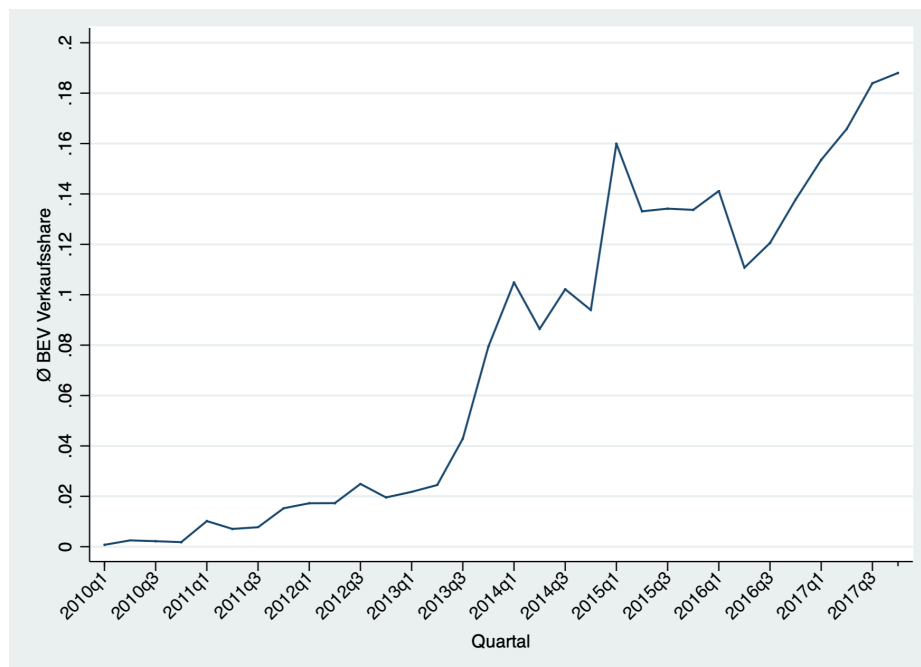
Variable	Observationen	Durchschnitt	Std. Abw.	Min	Max
BEVVerkaufsanteil	1'728	0.08	0.08	0	0.45
Ladenetzwerk/km	1'728	7.23	27.83	0.00015	229.4
Ladepunkte/km	1'728	0.037	0.088	0.00015	0.59
Ladestationen/km	1'728	0.0076	0.015	0.00008	0.098
HOVAnteil	1'728	0.19	0.52	0	2.99
Mautpreis/km	1'728	0.03	0.04	0	0.3
Fährenpreis/km	1'728	27.25	65.85	0	342.39
Strompreis/MWh	1'728	284.64	121.46	29.4	947.15
AVKT	1'728	12.69	0.62	11.24	13.98
Einkommen (1000 NOK)	1'728	714.4	80.55	559.3	959.5
Bildung %	1'728	6.85	3.34	3.6	20.4
Bevölkerung/km ²	1'728	111.65	333.03	2	1565
Arbeitslosenquote %	1'728	2.56	0.58	1.3	4.5

5.4.1 Graphische Analyse der abhängigen Variablen und Anreizsysteme

Abbildung 6 zeigt, dass der Anteil an BEVs nach 2013 drastisch anstieg, jedoch im Jahr 2015 bis Mitte 2016 wieder zurückging. Betrachtet man in Abbildung 7 die Entwicklung des Verkaufsanteils der jeweiligen Provinzen, kann in allen einzelnen Graphen ein starker Anstieg von 2013 bis

2015 ausgemacht werden. In einigen Provinzen (Hordaland, Oslo, Askerhus) ist dieser Anstieg deutlich stärker im Vergleich mit anderen. Auch der Rückgang des Anteils an Neuzulassungen von BEVs in ganz Norwegen zwischen 2015 und Mitte 2016 ist nicht in allen Provinzen ersichtlich. Oslo, Telemark, Troms und Sogn og Fjordane weisen ein kontinuierliches Wachstum des Anteils von BEVs auf. Eine solche starke Abnahme des Verkaufsanteils von BEVs zwischen 2015 und 2016 kommt entweder durch eine starke Abnahme des absoluten Verkaufs von BEVs zustande oder durch eine starke Zunahme anderer Antriebsarten. Wie bereits in Abbildung 1 (Kapitel 2.1) ersichtlich, haben auf nationaler Ebene die Neuzulassungen von BEVs zwischen 2015 und 2016 nur unwesentlich abgenommen (von insgesamt 25'779 BEVs in 2015 auf 24'222 BEVs in 2016). Hingegen sind diejenigen anderer Motorisierungen wie PHEV und HEV in dieser Zeitperiode massiv angestiegen, welche für einen verhältnismässig tieferen Verkaufsanteil von BEVs in Norwegen verantwortlich waren.

Abbildung 6: Verkaufsanteil von BEVs



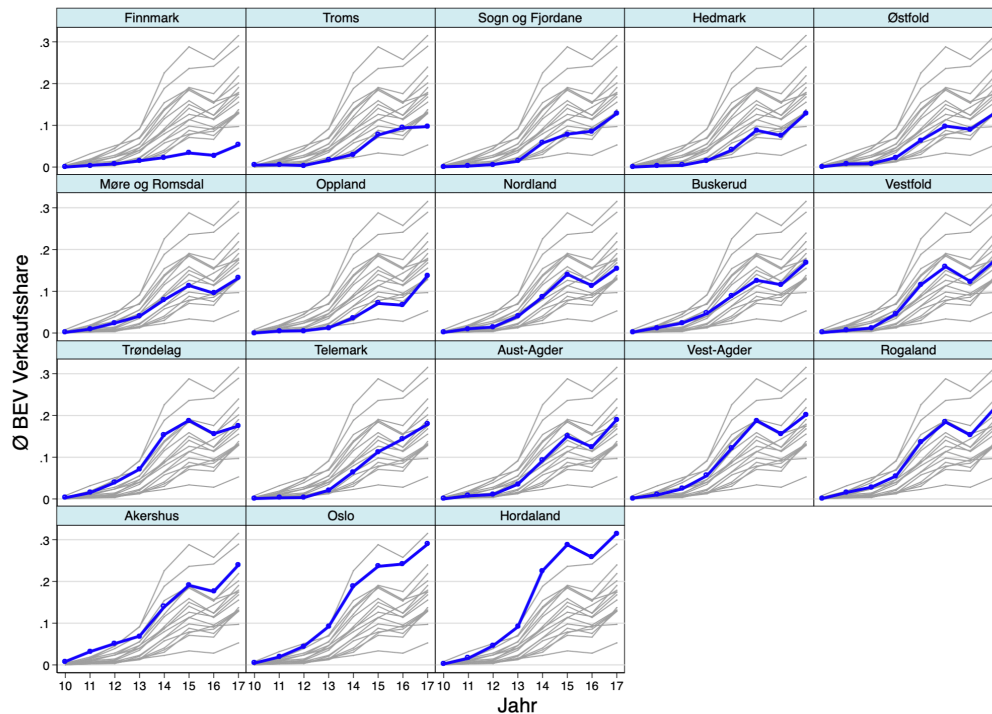
Quelle: Eigene Darstellung.³⁵

Die Erkenntnisse aus Abbildung 7 stimmen auch mit denjenigen aus Tabelle 3 überein. Zwischen den Provinzen gibt es starke Unterschiede im Anteil von Neuzulassungen von BEVs zu allen anderen Antriebsarten. Die Provinzen Oslo, Hordaland und Askerhus, in welchen sich auch die grössten Städte Norwegens befinden, liegen mit ihrem hohen Verkaufsanteil von BEVs deutlich über dem Durchschnitt Norwegens (vgl. Abbildung 6). Provinzen wie Finnmark, Troms oder Sogn

³⁵ Die monatlichen Daten der Neuzulassungen werden in Abbildung 6 aus Platzgründen als Quartalsdurchschnitte dargestellt.

og Fjordane erreichen nie ein wesentliches Niveau am Anteil von Neuzulassungen von BEVs. Die Variation zwischen den Provinzen ist stets zunehmend über die Zeit, was darauf hindeutet, dass die Adaption von BEVs in einigen Provinzen schneller abläuft als in anderen. Dies könnte unter anderem an einer verstärkten lokalen Förderung liegen.

Abbildung 7: Verkaufsanteil von BEVs per Provinz



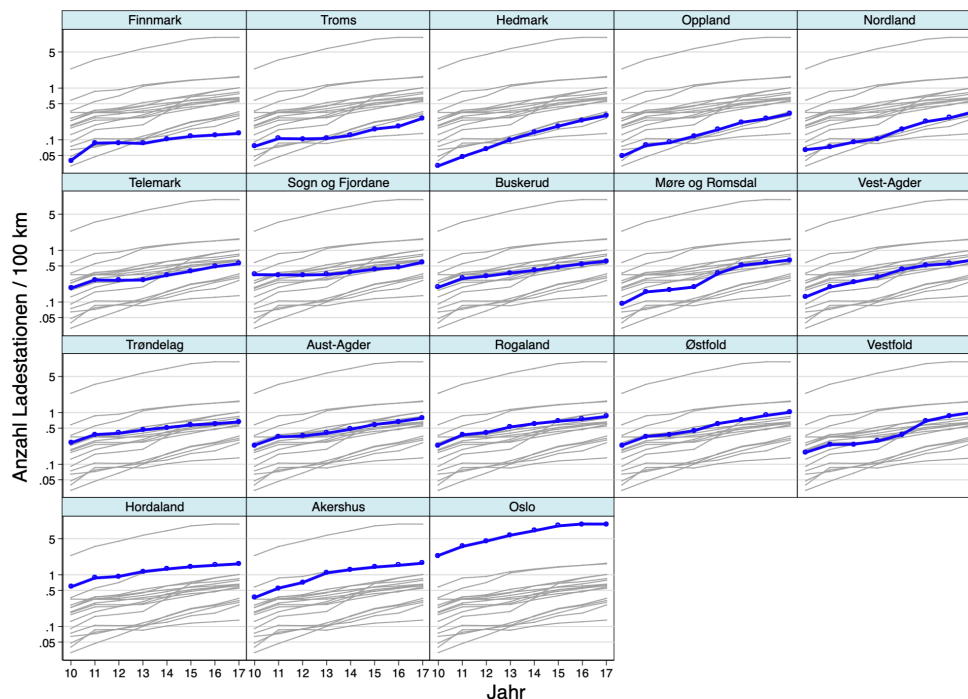
Quelle: Eigene Darstellung.³⁶

Für Ladestationen werden in Tabelle 3 drei Variablen aufgeführt: die Anzahl Ladestationen pro Strassenkilometer, die Anzahl Ladepunkte pro Strassenkilometer sowie die kombinierte Variable (Ladenetzwerk/km) aus der Multiplikation der Anzahl Ladestationen * Ladepunkte pro Strassenkilometer. Die Differenzen zwischen den drei Variablen entsprechen den Erwartungen bei der Bildung der Variablen. Das Mittel von 0.0076 Ladestationen pro Strassenkilometer, oder auch 0.76 Ladestationen pro 100 Strassenkilometer ist am kleinsten, wobei derjenige des Ladenetzwerks/km am grössten ist. Gestützt auf die Datengrundlage ist ersichtlich, dass die Anzahl Ladestationen pro Kilometer über die Zeit nur zunehmen kann (vgl. Kapitel 5.2). Insgesamt hat die Anzahl Ladestationen pro Strassenkilometer in Norwegen von 2010 bis 2017 um 284% zugenommen (mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 21.2%). Die Standardabweichung von 0.015 im

³⁶Die monatlichen Daten der Neuzulassungen werden in Abbildung 7 aus Platzgründen als Jahresdurchschnitte dargestellt. Die deskriptive Statistik in Tabelle 3 zeigt jedoch monatliche Daten (falls verfügbar). Deshalb kann bspw. das Maximum von 0.45% Verkaufsanteil von BEVs nicht in einer der 18 Graphiken in Abbildung 7 gefunden werden.

Vergleich zum Mittel von 0.0076 der Ladestationen pro Kilometer deutet auf grosse Unterschiede zwischen den Provinzen hin (vgl. Tabelle 3). Abbildung 8 zeigt die Entwicklung der Anzahl Ladestationen pro Strassenkilometer für alle 18 Provinzen. Oslo fällt dabei mit seiner hohen Anzahl Ladestationen und somit dem dichtesten Ladenetzwerk besonders auf. Grund hierfür ist einerseits die hohe Anzahl Ladestationen, andererseits die in Relation zu den anderen Provinzen mit Abstand kleinste Fläche und somit einem kleinerem Strassennetzwerk.³⁷ Auch Provinzen wie Askerhus oder Hordaland hatten bereits Anfang 2010 ein dichtes Ladenetzwerk und weisen wie alle Provinzen ein kontinuierliches Wachstum auf. In der Provinz Hedmark hat der Anteil Ladestationen pro Kilometer in der analysierten Zeitperiode am stärksten zugenommen. Bei Abbildung 8 und Abbildung 7 kann eine gewisse Ähnlichkeit in der Rangfolge festgestellt werden. Ein kausaler Zusammenhang kann jedoch nur schwierig festgestellt werden. Demgegenüber kann bereits anhand der Abbildungen gesagt werden, dass Provinzen mit hohem BEV-Verkaufsanteil ein dichteres Ladenetzwerk haben und dass die Variation der Ladestationen pro Kilometer zwischen den Provinzen, simultan zu derjenigen der abhängigen Variable, über die Zeit zunimmt. Der Zusammenhang zwischen dem Ladenetzwerk und den BEV-Verkaufsanteil wird im Verlauf dieser Arbeit noch genauer betrachtet.

Abbildung 8: Anzahl Ladestationen pro 100 Kilometer per Provinz



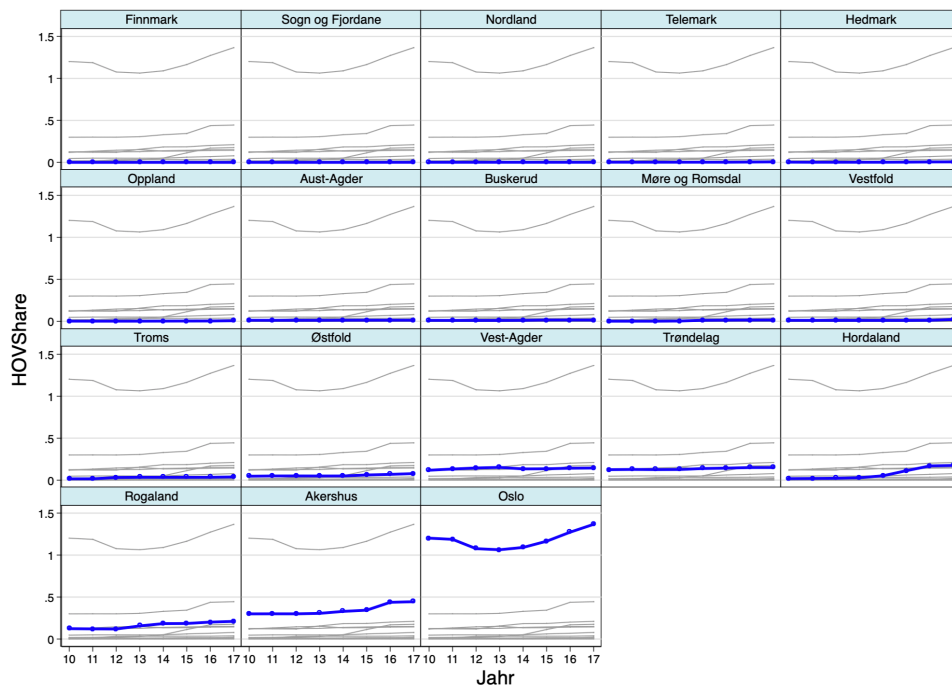
Quelle: Eigene Darstellung.³⁸

³⁷ Oslo hat eine Gesamtfläche von 454 km², wobei das Mittel aller Provinzen bei 17'987 km² liegt (Gesamtfläche Norwegen 323'779 km²), vgl. (SSB, 2013, S. 44).

³⁸ Y-Achse von Abbildung 8 ist Log-skaliert.

Abbildung 9 zeigt die Entwicklung der HOV-Anteile aller Provinzen. Ein Grossteil der Provinzen hat dabei nur einen geringen Anteil, was auch im nationalen Durchschnitt von lediglich 0.19% erkennbar ist (vgl. Tabelle 3). Der geringste Anteil mit einem HOV-Anteil von 0% stammt von der Provinz Finnmark und Sogn og Fjordane, wobei Finnmark bis heute im Strassennetz keine HOV-Linien besitzt. Der mit Abstand grösste HOV-Anteil besitzt die Provinz Oslo, woraus sich schliessen lässt, dass in dieser Provinz die Wahrscheinlichkeit einer Zeiteinsparung durch das Fahren eines BEVs im Vergleich zu den anderen Provinzen am grössten ist. In Abbildung 9 wird deutlich, dass die Anteile von HOV-Linien der einzelnen Provinzen nur gering über die Zeit variieren und mit einem leichten positiven Trend von 2010 bis 2017 zunehmen. Einzig die Provinz Oslo verzeichnet zwischen 2011 und 2012 eine Abnahme des HOV-Anteils. Deutlich ersichtlich in Abbildung 7 ist der Umstand, dass in den Provinzen mit den grössten Städten Norwegens tendenziell auch die HOV-Anteile grösser sind.

Abbildung 9: HOV-Anteil per Provinz

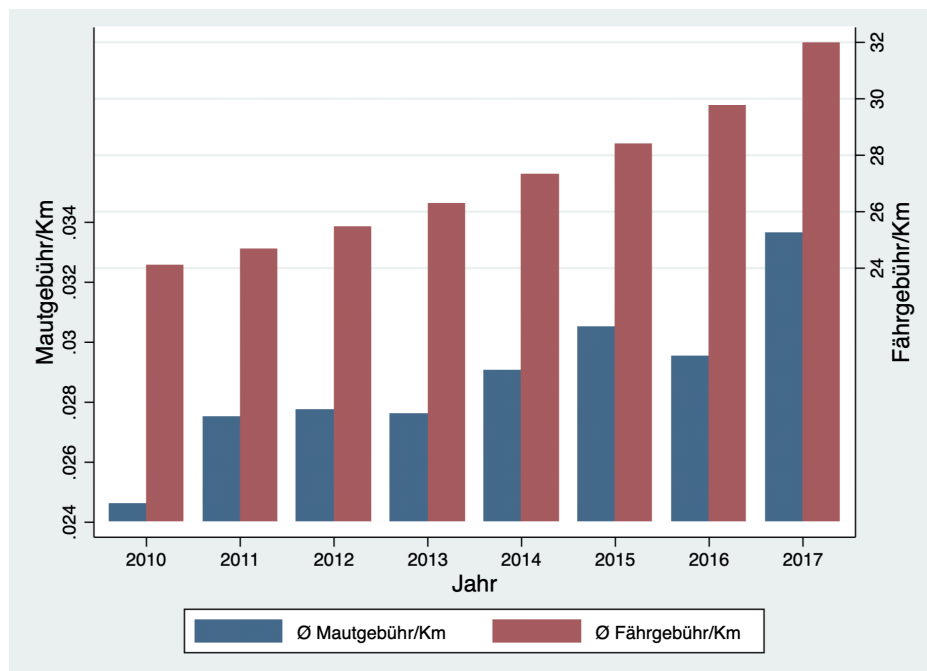


Quelle: Eigene Darstellung.³⁹

³⁹ Die Daten der HOV-Anteile wurden zur besseren Veranschaulichung $\text{Log}(x + 1)$ transformiert.

Zwei weitere Anreizsysteme sind die Mautgebühren pro Strassenkilometer sowie die Fährenggebühren pro transportierte Kilometer. Aus der deskriptiven Statistik in Tabelle 3 ist erkennbar, dass jeder transportierte Kilometer auf einer Fähre im Durchschnitt 27 NOK kostet, wobei die Mautgebühren mit 3 NOK bei 100 Strassenkilometern im Durchschnitt deutlich tiefer liegen. Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der Maut- und Fährenggebühren pro Kilometer für alle norwegischen Provinzen als jährliche Mittel der Jahre 2010 bis 2017. Bei den Fährenggebühren kann ein positiver linearer Trend herausgelesen werden, was darauf hindeutet, dass die jeweiligen Zonenpreise von Jahr zu Jahr (unter der Annahme gleichbleibender Distanzen der Routen) um 4.1% zugenommen haben.⁴⁰ Dies entspricht einer totalen Zunahme der Fährenggebühren pro Kilometer um 32.8% zwischen 2010 und 2017. Die Entwicklung der Mautgebühren pro Strassenkilometer auf nationaler Ebene hingegen folgt nicht einem linearen Trend und fluktuiert stärker. Ersichtlich ist ein starkes Wachstum von 11.8% zwischen 2010 und 2011, gefolgt von einem moderaten jährlichen Wachstum von 2.6% zwischen 2011 und 2015. Simultan zum Verkaufsanteil von BEVs sinken auch die durchschnittlichen Mautgebühren pro Strassenkilometer von 2015 auf 2016. Über die ganze Zeitspanne haben die Mautgebühren pro Strassenkilometer mit 36.6% ein wenig stärker zugenommen im Vergleich zu den Fährenggebühren pro Kilometer.⁴¹

Abbildung 10: Maut- und Fährenggebühren pro Kilometer



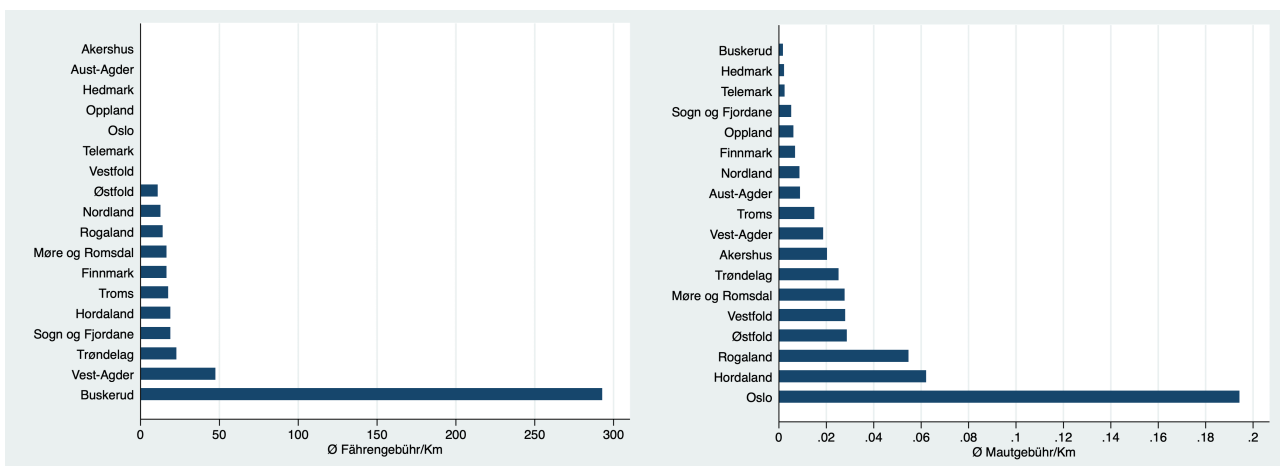
Quelle: Eigene Darstellung.

⁴⁰ Anfangswert 2010: 24.09 NOK/km; Endwert 2017: 31.99 NOK/km.

⁴¹ Vgl. Kapitel 5.2 Generierung der Variablen Mautgebühr/Strassenkilometer. Diese erhöht sich nicht nur durch Preiserhöhungen an den Mautstationen, sondern auch durch Erhöhung der Anzahl Mautstationen der jeweiligen Provinz.

Gemäss Tabelle 3 sind die Standardabweichungen beider Variablen im Vergleich zum Durchschnitt eher hoch und deuten darauf hin, dass die Gebühren pro Kilometer von Provinz zu Provinz stark variieren. Abbildung 11 soll diese Unterschiede zwischen den Gebühren der Provinzen anhand von Zeitmittelwerten aufzeigen.⁴² Die Provinz Buskerud hat mit einem Durchschnittspreis von ca. 300 NOK pro Kilometer den mit Abstand höchsten Preis für die Fährenbenutzung. Grund für diesen hohen Durchschnittspreis dürfte die in Buskerud einzig operierende Fähre mit einer Route von nur 184 Metern sein, welche eine der kürzesten darstellt.⁴³ Wie auch bereits bei den Ladestationen oder HOV-Linien pro Kilometer sind auch die Mautgebühren mit knapp 0.2 NOK pro Kilometer oder 2 NOK pro 10 Kilometer in der Provinz Oslo am höchsten. Mit durchschnittlichen Mautgebühren von 0.05 bis 0.06 NOK pro Kilometer folgen Rogaland und Hordaland. Darüber hinaus ist ein positiver Zusammenhang zwischen Abbildung 7 und 11 zu erkennen. Die drei Provinzen Rogaland, Hordaland und Oslo mit den höchsten Mautgebühren pro Strassenkilometer besitzen auch hohe BEV-Verkaufsanteile. Entsprechend sind einige Provinzen mit tiefen Mautgebühren pro Strassenkilometer auch vermehrt diejenigen mit tiefen BEV-Adaptionraten. Vergleicht man jedoch die Fährenggebühren aus Abbildung 11 mit Abbildung 7, lässt sich keinen näheren Zusammenhang zwischen den Fährenggebühren pro Kilometer und den BEV-Adaptionraten erkennen. Zum Beispiel in Rogaland oder Hordaland sind die BEV-Verkaufsanteile relativ hoch. Nichtsdestotrotz bewegen sich die Fährenggebühren pro Kilometer in der unteren Hälfte. Dagegen sind die Fährenggebühren von Buskerud, Vest-Agder, Trøndelag und Sogn og Fjordane relativ hoch und die BEV-Verkaufsanteile liegen im moderaten bis tieferen Bereich. In Oslo und Akershus operieren überhaupt keine Fähren.

Abbildung 11: Maut- und Fährenggebühren pro Kilometer, Ø per Provinz



Quelle: Eigene Darstellung.

⁴² Provinzen mit Fährenggebühren pro Kilometer von Null sind diejenigen, in denen keine Fähren operieren.

⁴³ Je länger die Fähren-Routen sind, desto tiefer sind auch die Kosten pro Kilometer.

5.4.2 Korrelationsanalyse

Nach den ersten Erkenntnissen aus der deskriptiven Analyse der abhängigen Variablen und der Anreizsysteme wird in diesem Abschnitt versucht, anhand der Korrelationen einzelner Variablen weitere Zusammenhänge aufzudecken. Die Korrelationsmatrix kann die Auswahl der zur Analyse verwendeten Variablen validieren und mögliche Probleme der Modellierung, beispielsweise die Multikollinearität mehrerer Variablen, identifizieren.

Tabelle 4: Korrelationsmatrix der relevanten Variablen

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. BEVVerkaufsanteil	1.00											
2. Ladestationen/km (lagged)	0.45	1.00										
3. Ladestationen/km	0.43	0.99	1.00									
4. HOVAnteil	0.31	0.90	0.94	1.00								
5. Mautpreis/km	0.37	0.87	0.90	0.90	1.00							
6. Fahrenpreis/km	0.02	-0.09	-0.09	-0.11	-0.16	1.00						
7. Strompreis/MWh	-0.23	-0.07	-0.05	-0.00	-0.01	-0.00	1.00					
8. AVKT	-0.42	-0.11	-0.10	-0.02	-0.21	0.10	0.18	1.00				
9. Einkommen (1000 NOK)	0.68	0.33	0.31	0.26	0.29	0.06	-0.24	-0.49	1.00			
10. Bildung %	0.49	0.85	0.87	0.89	0.86	-0.05	-0.07	-0.13	0.56	1.00		
11. Bevölkerung/km ²	0.24	0.90	0.93	0.98	0.91	-0.11	-0.00	-0.02	0.16	0.84	1.00	
12. Arbeitslosenquote %	0.16	0.16	0.18	0.16	0.19	-0.04	-0.10	0.04	-0.00	0.11	0.20	1.00

Tabelle 4 zeigt eine numerische Korrelationsmatrix von allen Variablen, die zur Analyse der Fragestellung von grosser Bedeutung sind. In Spalte 1 werden die Zusammenhänge der einzelnen Anreizsysteme und Kontrollvariablen mit der abhängigen Variablen aufgezeigt. Für die Anzahl Ladestationen pro Kilometer werden in Tabelle 4 nebst der unverzögerten Spezifikation auch die um ein Jahr verzögerte (lagged) gelistet. Wie erwartet korreliert die Anzahl Ladestationen pro Kilometer positiv mit dem BEV-Verkaufsanteil. Die verzögerte (lagged) Variable der Ladestationen hat dabei von allen vier Anreizsystemen mit 0.45 die höchste Korrelation mit der abhängigen Variable. Nebst der Begründung einer möglichen Endogenität dieser Variable, kann aus den Korrelationen wiederum erkannt werden, dass die verzögerte Variable besser für die Analyse geeignet ist. Denn letztere korreliert stärker mit der abhängigen Variable und weniger stark mit fast allen unabhängigen Variablen.⁴⁴ Auch der HOV-Anteil und die Mautgebühren pro Kilometer entsprechen den Erwartungen und weisen positive Korrelationen mit dem BEV-Verkaufsanteil auf. Die Fahrengebühren pro Kilometer weisen mit einem Wert von 0.02 unerwarteterweise keine signifikante Korrelation mit der abhängigen Variable auf. Dies konnte bereits in der graphischen Analyse von Abbildungen 10 und 11 herausgelesen werden, und wird für spätere Interpretationen weiterer

⁴⁴ In Abschnitt 6.1 wird vertieft auf die bessere Eignung der verzögerten Variable gegenüber der normalen eingegangen.

Analysen in Betracht gezogen. Die restlichen fünf Kontrollvariablen besitzen, bis auf die Arbeitslosenquote, Korrelationskoeffizienten, welche mit den theoretischen Überlegungen übereinstimmen: Der Strompreis pro MWh korreliert leicht negativ mit der abhängigen Variable, ebenso die AVKT (wobei hier zwei verschiedene Effekte erwartet werden können und die hier vorliegende negative Korrelation die Reichweiteproblematik der BEV bestätigt). Das Einkommen ist mit 0.68 stark positiv korreliert, der Anteil Personen mit Universitätsabschluss und die Bevölkerungsdichte fallen ebenfalls positiv aus. Einzig die Arbeitslosenquote fällt mit einer sehr geringen positiven Korrelation von 0.16 anders aus als erwartet.

Die Literatur ist sich nicht immer einig, welche Schwellenwerte als potenzielle Indizien für Multikollinearität gelten sollen (Evans, 1996; Franke, 2010; Yoo et al., 2014). Als Daumenregel gilt generell, dass Korrelationen einzelner Variablen von 0.90 und mehr oder Variance Inflation Factors (VIFs) von über 10 potentielle Probleme der Multikollinearität auslösen können. Dies würde dann einerseits die Varianz geschätzter Koeffizienten erhöhen und somit ihr Ausmass verzerren. Andererseits können zu stark korrelierende Variablen individuell insignifikant werden, obwohl sie zusammen einen Grossteil der Varianz des gesamten Modells erklären. In der Korrelationsmatrix von Tabelle 4 erkennt man zudem, dass die verwendeten Anreizsysteme untereinander hohe Korrelationen aufweisen. Die Mautgebühren pro Kilometer und der HOV-Anteil sind mit 0.90 untereinander sowie mit Korrelationen von 0.90 und 0.87 mit den Ladestationen pro Kilometer stark korreliert. Diese könnten somit, trotz Korrelationskoeffizienten unterhalb der Daumenregel, ein geringes Problem der Multikollinearität auslösen, dessen Konsequenzen für die Analyse nicht vergessen werden dürfen. Da diese Variablen jedoch die Hauptvariablen darstellen und ihre gemeinsame Betrachtung von grosser Bedeutung für die Beantwortung der Fragestellung darstellen, werden sie nicht aus der Analyse ausgeschlossen. Problematischer sind jedoch die hohen Korrelationen von über 0.90 der Kontrollvariablen Bildung und Bevölkerungsdichte mit einzelnen Anreizsystemen. Diese könnten somit die Koeffizienten der inkludierten Hauptvariablen stören und deren Interpretierbarkeit erschweren. Bei der Spezifikation des Modells im nächsten Kapitel werden diese Ergebnisse der Korrelationsanalyse berücksichtigt.

6. Struktur der Analyse

Der Datensatz dieser Arbeit hat die Struktur von Panel-Daten mit vielen Zeitperioden (großes T) und relativ wenig Individuen (kleines N). Der Vorteil zu einem Cross-Sectional-Datensatz ist, dass Panel-Daten auch die Zeitvariation messen und zur gleichen Zeit für nicht beobachtbare Heterogenitäten zwischen den Individuen kontrollieren (Wooldridge, 2002, S. 169). Es wird angenommen, dass nicht nur Variablen, die über die Zeit und Provinzen variieren den BEV-Verkaufsanteil beeinflussen, sondern auch provinzen- oder zeitinvariante Variablen. Beispielsweise könnten die Provinzen in ihrer BEV-Adaptionsrate auf provinzeninvariante nationale Regierungsmassnahmen unterschiedlich reagieren aufgrund von unterschiedlichen geographischen und demographischen Faktoren. Die empirische Vorgehensweise zur Analyse des Effekts von regionalen Anreizsystemen auf die Adaption von BEVs basiert auf Textbüchern von Wooldridge (2012, 2002). Das Basismodell zur Analyse von Panel-Daten wird darin definiert als:

$$y_{it} = \alpha + x'_{it}\beta + c_i + u_{it}, \quad (6)$$

wobei $i = 1, \dots, N$ für die Cross-Sectional-Dimension der Provinzen steht und $t = 1, \dots, T$ für die Zeit. Y_{it} ist die abhängige Variable, x'_{it} ein Vektor aus beobachtbaren zeit-variierenden oder zeit-invarianten erklärenden Variablen, und β ist der Vektor der Parameter. Der Störterm wird in zwei Komponenten unterteilt: einen unbeobachtbaren individuenspezifischen Effekt c_i , und einen idiosynkratischen Fehler u_{it} , welcher unbeobachtbare zeit-variierende Faktoren repräsentiert. Der individuenspezifische Effekt ist konstant über die Zeit und repräsentiert alle provinzenspezifische Effekte, die einen Einfluss auf den BEV-Verkaufsanteil haben aber nicht in der Regression eingeschlossen werden. Beispielsweise geographische oder demographische Charakteristika einzelner Provinzen wie Temperaturunterschiede, Landesfläche usw. (Egnér & Trosvik, 2018, S. 588).

Die zwei meistverwendeten Methoden zur Analyse von Panel-Daten ist das Fixed-Effects (FE) und das Random-Effects (RE) Modell. Bei beiden Modellen gilt, dass strikte Exogenität $E(u_{it}|x'_{it}, c_i) = 0$ vorliegen muss. Genauer gesagt wird angenommen, dass der idiosynkratische Fehlerterm u_{it} nicht mit allen erklärenden Variablen x'_{it} der vergangenen, aktuellen und zukünftigen Zeitperioden und dem individuenspezifischen Effekt korreliert. Das RE-Modell setzt zusätzlich die Annahme voraus, dass die individuenspezifischen Effekte c_i nicht mit allen erklärenden Variablen x'_{it} korrelieren; $E(x'_{it}|c_i) = 0$. Das FE-Modell trifft im Gegensatz dazu diese starke Annahme nicht und erlaubt die Korrelation der unbeobachteten individuenspezifischen Effekte mit den beobachteten erklärenden Variablen x'_{it} ; $E(x'_{it}|c_i) \neq 0$. Die Wahl zwischen dem FE- oder RE-

Modell hängt von den getroffenen Annahmen über c_i ab. Beim FE-Modell werden die unbeobachtbaren individuenspezifischen Effekte c_i als fix betrachtet, was das Kontrollieren von zeit-invarianten Unterschieden zwischen den Provinzen erlaubt und deren Weglassen in der Regression korrigiert (Omitted Variable Bias OVB). Beim RE-Modell sind diese randomisiert und die Variation von zeitinvarianten Unterschieden zwischen den Provinzen werden berücksichtigt. Der Schätzer des RE-Modells ist also verzerrt, falls nicht alle zeitinvarianten Unterschiede zwischen den Provinzen beobachtbar sind (Wooldridge, 2002, S. 250ff).

Basierend auf dem Basismodell (6) zur Modellierung von Panel-Daten und den Variablen aus Tabelle 3 wird folgendes Modell für Provinzen $i = 1, \dots, 18$ über Zeitperioden $t = 2011M1, \dots, 2017M12$ gebildet:

$$\begin{aligned}
 BEV\text{Verkaufsanteil}_{it} &= \alpha + \beta_1 \text{Ladestationen}/\text{km}_{it-12} + \beta_2 \text{HOV}\text{Anteil}_{it} \\
 &+ \beta_3 \text{Mautpreis}/\text{km}_{it} + \beta_4 \text{Fährenpreis}/\text{km}_{it} + \beta_5 \text{Strompreis}_{it} \quad (7) \\
 &+ \beta_6 \text{AVKT}_{it} + \beta_7 \text{Einkommen}_{it} + \beta_8 \text{Arbeitslosenquote}_{it} \\
 &+ \delta_t + [v_{it}] + [c_i + u_{it}],
 \end{aligned}$$

wobei beim RE-Schätzer der zweitletzte Term $[v_{it}]$ und beim FE-Schätzer der letzte Term $[c_i + u_{it}]$ in der Regressionsgleichung (7) verwendet wird. Das RE-Modell verwendet dabei einen zusammengesetzten Störterm v_{it} aus dem individuenspezifischen Effekt c_i und dem idiosynkratischen Fehler u_{it} . Für die FE-Schätzgleichung werden die unbeobachtbaren Effekte c_i der Provinzen durch Inkudieren von Dummy-Variablen für jedes i als Parameter geschätzt. Dieser provinzenspezifische FE erlaubt die Kontrolle aller zeitinvarianten Faktoren, welche den BEV-Verkaufsanteil beeinflussen könnten und durch die restlichen erklärenden Variablen nicht bereits abgedeckt werden. Zudem werden, unabhängig von der Modellwahl, in Gleichung (7) Zeit-Dummies δ_t inkludiert. Diese kontrollieren für nicht beobachtbare Effekte, die den BEV-Verkaufsanteil auf nationaler Ebene beeinflussen, sogenannte Makroschocks. Beispielsweise die Abnahme des BEV-Verkaufsanteils in der Periode von 2015 bis 2016 könnten durch Schocks des Elektroauto-markt getrieben worden sein und muss dafür in der Regression kontrolliert werden. Aber auch Markteinführungen neuer BEV-Modelle haben einen Einfluss auf den BEV-Verkaufsanteil und werden von den Zeit-Dummies abgefangen (Egnér & Trosvik, 2018, S. 589; Wooldridge, 2002, S. 486ff).⁴⁵

⁴⁵ Einige Studien (Egnér & Trosvik, 2018; Gallagher & Muehlegger, 2011) kontrollieren nicht mit Zeit-Dummies für Makroschocks, sondern verwenden einen Zeitrend. Dieser unterstellt eine lineare Entwicklung der BEV-Verkäufe über die Zeit, oder anders ausgedrückt die Diffusion der Technologie der EVs. Für das Hauptmodell ist die Kontrolle für Makroschocks, die den gesamten Elektroautomarkt betreffen, von grösserer

6.1 Limitierungen

In Abschnitt 5.4.2 wurde anhand der Korrelationsanalyse kurz erwähnt, warum die um ein Jahr verzögerte (lagged) Anzahl Ladestationen pro Kilometer der normalen Spezifikation vorgezogen wird. Die Anzahl Ladestationen pro Kilometer in Gleichung (7) wird um ein ganzes Jahr verzögert, um mögliche Probleme der Endogenität dieser Variablen entgegenzuwirken. Endogenität würde vorliegen, wenn die BEV-Verkäufe einen Effekt auf die Anzahl Ladestationen hätten, was folglich die Aussagekraft des Modells vermindern würde. In Norwegen ist es aber sehr unwahrscheinlich, dass ein privates Unternehmen als Geschäftsmodell Ladestationen infolge hoher BEV-Verkäufen anbieten würde. Der Ausbau des Ladenetzwerks liegt in der Hand eines staatlichen Unternehmens namens Transnova. Zudem kann argumentiert werden, dass Personen Zeit brauchen, um auf einen möglichen Ausbau des Ladenetzwerks bei ihrer Kaufentscheidung reagieren zu können. Entsprechend eignet sich dafür eine verzögerte Variable der Anzahl Ladestationen pro Kilometer besser.

Maut- oder Fährenpreise pro Kilometer könnten als endogen angesehen werden, falls die Preissetzung der Mautstationen und Zonen der Fähren von der Anzahl Verkäufe von BEVs abhängt. Diese Annahme ist aber eher unwahrscheinlich, da der Marktanteil von BEVs im Vergleich zu anderen Fahrzeugarten per Ende 2017 mit 5.1% (20.8% Neuzulassungen) immer noch vergleichsweise gering ausfällt (vgl. Kapitel 2). Beim HOV-Anteil wird gar nicht an der Exogenität gezweifelt und somit erfüllen alle Hauptvariablen die Bedingungen zur Modellierung.

Für die restlichen Kontrollvariablen wurden anhand der Korrelationsmatrix in Tabelle 4 bereits einige sehr hohe Korrelationen festgestellt. Dazu gehören die Variablen *Bildung* und *Bevölkerung/km²*, die mit Korrelationskoeffizienten von über 0.90 mit einzelnen Anreizsystemen mögliche Probleme der Multikollinearität auslösen können. Um diese Problematik weiter zu veranschaulichen, wurden in Tabelle A1 im Anhang zudem die einzelnen VIFs aller Variablen berechnet. Das Hauptmodell zeigt, dass beim Inkludieren aller zehn Variablen vier davon VIFs von grösser 10 aufweisen. Darunter befinden sich auch die zwei Kontrollvariablen *Bevölkerung/km²* und *Bildung* mit 37.02 und 13.38, welche bereits gemäss den Resultaten der Korrelationsanalyse hohe Werte aufweisen. Gemäss der in der Literatur häufig verwendeten Daumenregel zur Erkennung von Problemen von Multikollinearität von VIFs grösser 10 und Korrelationen von über 0.90, werden diese zwei Variablen, *Bevölkerung/km²* und *Bildung*, von dem Modell (7) ausgeschlossen.⁴⁶ Die

Bedeutung. Zudem erkennt man in Abbildung 6 keinen linearen Trend im BEV-Verkaufsanteil über die Zeit. Als Sensitivitätsanalyse werden in einer zweiten Spezifikation Zeittrends verwendet.

⁴⁶ Die Variable zur Messung der Bevölkerungsdichte, *Bevölkerung/km²*, wurde mit dem Grund zur Messung des Urbanisierungsgrades einer Provinz als relevante Variable angesehen. Da diese aber stark mit den drei Anreizsystemen *Ladestationen/km*, *Mautpreis/km* und *HOV-Anteil* korreliert, können bereits letztere als gutes Mass der Urbanisierung angesehen werden. Somit ist ein Ausschluss der Variable *Bevölkerung/km²* nicht problematisch.

Korrelationen der übrigen Variablen sollten keine grossen Probleme der Multikollinearität verursachen und somit wird die Interpretierbarkeit der Hauptvariablen (Anreizsysteme) durch den Ausschluss gesteigert. Diese Verbesserung des reduzierten Modells bezüglich Multikollinearität ist in Tabelle A2 im Anhang ersichtlich. Alle VIFs sind nach Ausschluss der Variablen *Bevölkerung/km²* und *Bildung* kleiner gleich 10.

Eine weitere Limitierung dieser Studie liegt darin, dass das untersuchte Modell (7) keine Benzin- oder Dieselpreise berücksichtigt. In Norwegen variieren diese Preise nur über die Zeit, womit beide Variablen keine Variation zwischen den Provinzen erklären könnten. Ein Grund hierfür liegt in der Zusammensetzung des Benzinpreises in Norwegen: circa 60% wird von den Steuern bestimmt und weitere 30% von den Öl-Marktpreisen.⁴⁷ Einige bisherige Studien (Diamond, 2009; Sierzchula et al., 2014) konnten teils signifikante Effekte der Höhe des Benzinpreises auf die Verkäufe von BEVs feststellen. Sierzchula et al. (2014) hingegen zeigen nicht lokale Differenzen in der Adaption von BEVs in Norwegen selbst auf, sondern sie vergleichen Norwegen auf nationaler Ebene mit anderen Ländern. Diamond (2009) zeigt lokale Unterschiede in den USA und kann dabei lokale Benzinpreise miteinbeziehen.

Eine Log-Transformation der abhängigen Variable und auch einzelner Anreizsysteme zur Normalisierung der Verteilungen stand zur Überlegung. Wie in Tabelle 3 der deskriptiven Analyse ersichtlich, weisen die abhängige Variable und drei der vier Anreizsysteme einige Nullwerte auf, was ein Logarithmieren verunmöglicht. Eine $\text{Log}(x + 1)$ -Transformation dieser Variablen wurde betrachtet, konnte aber die Ergebnisse nicht verbessern. Auch die Interpretation von Elastizitäten wie mit einer Log-Log Form von Modell (7), aber auch von Semi-Elastizitäten Lin-Log und Log-Lin, wäre bei den verwendeten Variablen nicht von Vorteil.

6.2 Modellauswahl

Um die Annahme der Homoskedastizität zu prüfen, welche konstante Varianz der Fehlerterme gegenüber allen Werten der erklärenden Variablen unterstellt, werden die Residuen auf die gefitteten Werte geplottet (Wooldridge, 2012, S. 51). Zusätzlich zur graphischen Überprüfung, kann diese Annahme mithilfe des White- (1980) Tests und der Koenker- (1981) Version des Breusch & Pagan- (1979) Tests überprüft werden.⁴⁸ Beide testen die Nullhypothese der konstanten Verteilung der Fehlerterme über alle Observationen (Homoskedastizität). Abbildung A1 im Anhang zeigt eine graphische Darstellung der Varianz der Residuen gegenüber der gefitteten Werten. Darauf ist

⁴⁷ Mehr zu den Öl-Marktpreisen in Norwegen können [www. statoil.no](http://www.statoil.no) entnommen werden.

⁴⁸ White (1980) unterstellt im Vergleich zu Breusch-Pagan (1979) keine Linearitäten des Modells. Koenker (1981) verwendet eine Version des Breusch-Pagan (1979) Tests ohne Annahme normalverteilter Fehlerterme.

deutlich zu erkennen, dass die Varianz der Residuen mit Zunahme der gefitteten Werte ansteigt, was somit ein klares Zeichen für Heteroskedastizität ist. Im Einklang mit der graphischen Darstellung zeigen die Ergebnisse des White- (1980) und Breusch & Pagan- (1979) Tests im Anhang Tabelle A3 mit p-Werten deutlich unter 0.05, dass die Nullhypothese verworfen werden kann. Somit hängt die Varianz der Fehlerterme von den erklärenden Variablen ab (Heteroskedastizität).

Bei OLS-Regressionen mit mehr als zwei Zeitperioden $T = 2$, können die Standardfehler häufig seriell korreliert sein (Serial Correlation). Dies kann mithilfe des Wooldridge- (2002) Tests geprüft werden, welche die Nullhypothese testet und damit sicherstellt, dass das Modell nicht unter First Order Serial Correlation leidet. Tabelle A4 im Anhang zeigt ein signifikantes Ergebnis, was darauf hindeutet, dass im Modell (7) serielle Korrelation vorliegt (Wooldridge, 2012, S. 412ff). Für dieses Problem sowie auch jenes der Heteroskedastizität müssen die Standardfehler entsprechend korrigiert werden, da normale Standardfehler die Genauigkeit der Koeffizienten überschätzen würden. Dazu werden in allen Analysen robuste, auf Provinzenebene geclusterte Standardfehler verwendet.

Als Voraussetzung für die Entscheidung zur Wahl zwischen dem FE- oder RE-Modell wird getestet, ob eine Panel-Struktur unter Gleichung (6) für die Daten angemessen ist. Der Breusch-Pagan (1979) Lagrange Multiplier testet hierfür die Signifikanz der Panel-Struktur und somit die Wahl zwischen dem FE- oder RE-Schätzer und einem simplen OLS-Schätzer. Die Nullhypothese dieses Tests, dass die Varianz des unbeobachteten individuenspezifischen Effekts gleich Null ist, zeigt, ob kein Random- oder Panel-Effekt vorliegt. Tabelle A5 im Anhang zeigt mit einem p-Wert deutlich unter 0.05, dass die Nullhypothese verworfen werden kann und somit signifikante Unterschiede zwischen den Provinzen vorliegen. Ein Pooled-Ordinary-Least-Squares- (POLS) Schätzer, welcher die Panel-Struktur ignoriert, wäre also verzerrt.

Nach diesen Erkenntnissen werden nun die Annahmen des RE- und FE-Modells überprüft. Der RE-Schätzer kann dem FE vorgezogen werden, wenn sichergestellt werden kann, dass der individuenspezifische Effekt nicht mit den erklärenden Variablen korreliert. Normalerweise wird dies mithilfe des Hausmann-Tests überprüft, welcher die Nullhypothese darauf testet, ob $E(x'_{it} | c_i) = 0$ gilt. Nachteil des Hausmann-Tests ist, dass er Homoskedastizität unterstellt und keine Zeit-fixen Effekte δ_t erlaubt. Deshalb wird zusätzlich zum Hausmann-Test in Anlehnung an Mundlak (1978) eine Auxiliary-Regression durchgeführt mit anschließendem joint Wald-Test $H_0: \lambda = 0$ (Wooldridge, 2002, S. 288f).⁴⁹ Die Ergebnisse des Hausmann-Tests in Tabelle A6 im Anhang lehnen die Nullhypothese klar ab und präferieren den FE-Schätzer. Der Wald-Test mithilfe der Auxiliary-Regression kann dieselbe Nullhypothese jedoch nicht verwerfen, worauf auf die

⁴⁹ Aus Gleichung (6) wird die Auxiliary-Regression gebildet: $y_{it} = \alpha + x'_{it}\beta + \bar{x}'_i\lambda + \delta_t + u_{it}$, mit $\bar{x}_i = 1/T \sum_t x_{it}$ als Zeitdurchschnitte von allen zeit-variierenden Regressoren.

Schnelle interpretiert werden kann, dass die stark unterstellte Annahme $E(x'_{it} | c_i) = 0$ von keiner Korrelation zwischen dem individuenspezifischen Effekten und den erklärenden Variablen, halten würde. Zu beachten ist jedoch, dass eine Annahme der Nullhypothese nicht zwingend aussagt, dass diese akzeptiert werden sollte und dass der RE-Schätzer konsistent ist. Die Annahme des RE-Schätzers $E(x'_{it} | c_i) = 0$ ist extrem stark und für das in Gleichung (7) untersuchende Modell nicht zutreffend. In dieser Arbeit wird angenommen, dass wegen sehr hohen Standardfehlern der robuste Hausmann-Test (unter Berücksichtigung von Heteroskedastizität und Serial Correlation) die Nullhypothese nicht verwerfen kann, obwohl grosse Unterschiede zwischen den RE- und FE-Schätzern klar ersichtlich sind (Wooldridge, 2002, S. 291). Dies kann den Resultaten im nachfolgenden Kapitel entnommen werden. Darüber hinaus wäre ein RE-Schätzer verzerrt, da in Gleichung (7) keine zeitinvariante, provinzenspezifische Variablen geschätzt werden, welche Einflüsse auf die abhängige Variable haben könnten (bspw. Unterschiede in der Temperatur oder Meter über Meer zwischen den Provinzen). Der FE-Schätzer ist konsistent unter dieser Problematik der OVB von zeitinvarianten Variablen und wird dem RE-Schätzer vorgezogen. Trotz der Präferenz des FE-Schätzers wird zur Analyse von Hypothese 1 anhand Gleichung (7) auch der RE-Schätzer aufgeführt.

7. Empirische Analyse und Resultate

In diesem Kapitel werden die Resultate der empirischen Untersuchung dargestellt, beginnend mit dem Testen von Hypothese 1 und nachfolgend Hypothese 2. Darüber hinaus werden einige verschiedene Modellspezifikationen und Sensitivitätstest gemacht um die Robustheit der vorherigen Ergebnisse zu bestätigen. Schliesslich werden die gefundenen Resultate diskutiert, die Verbindung zu den theoretischen Überlegungen gemacht, sowie Empfehlungen für die zukünftige Forschung abgegeben.

7.1 Testen von Hypothese 1

In Tabelle 5 werden die Regressionsresultate zum Testen von Hypothese 1 aufgezeigt, welche aussagt, dass lokale Staatsmassnahmen (Anreizsysteme) den BEV-Verkaufsanteil der Provinzen positiv beeinflusst. Die beiden Modelle (1) und (2) basieren auf der Modellgleichung (7) in Kapitel 5 und zeigen den FE- und RE-Schätzer als Vergleich, wobei der Fokus aus den in Kapitel 6.2 erwähnten Gründen auf dem FE-Schätzer liegt.

Tabelle 5: Regression des BEV-Verkaufsanteils in Norwegen

	(1) FE	(2) RE
<i>Anreizsysteme</i>		
Ladestationen/km	1.478*** (0.385)	1.565*** (0.304)
HOV Anteil	0.019 (0.025)	-0.026** (0.011)
Mautpreis/km	0.562*** (0.146)	0.774 (0.472)
Fährenpreis/km	-3.54e-05 (1.28e-04)	-1.56e-05 (6.78e-05)
<i>Kontrollvariablen</i>		
Strompreis	3.45e-05 (2.59e-05)	1.16e-04*** (3.88e-05)
AVKT	-4.16e-04 (1.21e-02)	-6.91e-04 (2.62e-02)
Einkommen	2.92e-04** (1.32e-04)	3.18e-04 (2.07e-04)
Arbeitslosenquote	0.018*** (0.003)	0.024** (0.011)
Konstante	-0.262 (0.201)	-0.344 (0.386)
Beobachtungen	1512	1512
Anzahl Provinzen	18	18
Chi ²	6391	
Zeit FE	Ja	Ja
Provinzen FE	Ja	Nein

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Standardfehler sind auf Provinzebene „geclustert“.

Der Koeffizient der um ein Jahr verzögerten Anzahl Ladestationen pro Strassenkilometer, *Ladestationen/km*, ist bei beiden Schätzern positiv und stark signifikant zum 1%-Niveau, statistisch und ökonomisch. Das Resultat impliziert, dass ein Anstieg von einer Ladestation pro Strassenkilometer in einem Jahr den BEV-Verkaufsanteil der Provinzen im nächsten Jahr im Durchschnitt um 147 Prozentpunkte erhöhen wird. Aus Sicht eines BEV-Fahrzeugführers macht es mehr Sinn, die Anzahl Ladestationen pro 100 Strassenkilometer zu betrachten (die maximale Anzahl Ladestationen pro Kilometer im Datensatz beträgt gerade mal 0.098, vgl. Tabelle 3). Ein Anstieg von einer Ladestation pro 100 Strassenkilometer impliziert dann im Durchschnitt eine Erhöhung des BEV-Verkaufsanteils um 1.47 Prozentpunkte.⁵⁰ Dieser positive Effekt der Anzahl Ladestationen auf die Adaption von BEVs stimmt mit den theoretischen Überlegungen und bisherigen Studienergebnissen überein (Egnér & Trosvik, 2018; Mersky et al., 2016; Sierzchula et al., 2014), da eine Erhöhung die Reichweiteproblematik der BEV-Fahrer reduziert.

Der geschätzte Koeffizient der Variable *HOV-Anteil* ist im FE-Modell statistisch nicht signifikant, was darauf hindeutet, dass dieses Anreizsystem im Durchschnitt über die untersuchte Zeitperiode keinen entscheidenden Einfluss auf die BEV-Adaption hatte. Der Koeffizient hat jedoch das erwartete positive Vorzeichen und eine Erhöhung des HOV-Anteils um einen Prozentpunkt würde somit eine Erhöhung des BEV-Verkaufsanteils um 1.9 Prozentpunkte darstellen.⁵¹ Der weniger konsistente RE-Schätzer hat einen negativen Koeffizienten, ist aber zum 5%-Niveau signifikant. Eine Erklärung zur Insignifikanz des Koeffizienten des FE-Schätzers wäre, dass er im Vergleich zum RE-Schätzer nur die Variation innerhalb der jeweiligen Provinz erklärt und der RE-Schätzer die Variation zwischen den Provinzen. Wie bereits in der deskriptiven Analyse der Variable *HOV-Anteil* in Kapitel 5.4.1 (Abbildung 9) ersichtlich wurde, variiert diese Variable vermehrt zwischen den Provinzen und weniger stark innerhalb. Auch die geringe Variation der HOV-Anteile einzelner Provinzen über die Zeit bestätigt das Ergebnis erhöhter Signifikanz des RE-Koeffizienten.⁵² Der RE-Schätzer wird aber als verzerrt angesehen, wegen möglicher Korrelationen der erklärenden Variablen und unbeobachtbaren zeitinvarianten Variablen (vgl. Kapitel 6.2). In der Untersuchung von Hypothese 2 wird der Effekt der Variable *HOV-Anteil* nochmals aufgegriffen, da über die historische Entwicklung und Ausbreitung der BEVs unterschiedliche Effekte dieser Variable zu erwarten sind.

⁵⁰ Simultane Ergebnisse ergeben sich mit der Variable *Ladepunkte/km* oder *Ladenetzwerke/km*. Diese werden nicht aufgezeigt.

⁵¹ Es wird das gleiche Modell mit Austausch der Variable *HOV-Anteil* mit der absoluten Anzahl Kilometer an HOV-Linien gemessen, siehe Tabelle B1 im Anhang. *HOV/km* ist im Vergleich zu *HOV-Anteil* zum 1%-Niveau signifikant. Eine Erhöhung der HOV-Linien um 1 Kilometer erhöht den BEV-Verkaufsanteil um 0.4 Prozentpunkte.

⁵² In der Studie von Egnér & Trosvik (2018) finden sie ähnliche Ergebnisse zur Variable kostenloses Parkieren zwischen den Gemeinden in Schweden.

Der Koeffizient des Dritten gemessenen Anreizsystems, *Mautpreis/km*, ist positiv und im FE-Modell signifikant zum 1%-Niveau. Wenn der Preis pro Strassenkilometer um 1 NOK ansteigt, wird der BEV-Verkaufsanteil der Provinzen im Durchschnitt um 56.2 Prozentpunkte ansteigen. Analog zu den Ladestationen ist auch hier wieder eine marginale Veränderung des Mautpreises pro 100 Kilometer intuitiver. Steigen die Mautgebühren pro 100 Kilometer um 1 NOK, erwartet Modell (1) in Tabelle 5 einen durchschnittlichen Anstieg des BEV-Verkaufsanteils um 0.56 Prozentpunkte. Dieses Resultat ist wiederum im Einklang mit den theoretischen Erwartungen aus Kapitel 5.2, nämlich dass eine Erhöhung der Mautgebühren pro Kilometer die potentielle Einsparung eines BEVs gegenüber ICEVs erhöht, was wiederum den BEV-Verkaufsanteil ankurbelt. Gründe für die Insignifikanz des Koeffizienten des RE-Modells haben gleichen Ursprung wie diejenigen der Variablen *HOVAnteil*. Mautpreise pro Strassenkilometer variieren stark über die Zeit und weniger zwischen den Provinzen. Dies erhört die Signifikanz des FE-Schätzers.

Das letzte Anreizsystem, *Fahrenpreis/km*, ist in beiden Modellen insignifikant. Daraus kann interpretiert werden, dass dieses Anreizsystem keinen wesentlichen Einfluss auf die Adaption von BEVs hat. Das Vorzeichen des Koeffizienten ist unerwartet negativ, nicht wie in der Datensektion 5.2 argumentiert. Aber auch in der nachfolgenden Korrelationsanalyse in Tabelle 4 konnte keine Korrelation zur abhängigen Variable festgestellt werden. In einer multivariaten Analyse kann es vorkommen, dass sich das Vorzeichen dann wechselt, was hier der Fall ist. Trotz der Insignifikanz würde eine Erhöhung des Preises pro Kilometer um 1 NOK dann den BEV-Verkaufsanteil um 0.0035 Prozentpunkte verringern.

Jeweils zwei der vier Kontrollvariablen sind signifikant im FE- und RE-Modell. Der Koeffizient der Variable *Strompreis/MWh*, ist in beiden Modellen leicht positiv und im RE-Modell signifikant zum 1% Niveau. Gemäss diesem Ergebnis würde eine Erhöhung des Strompreises pro MWh um 1 NOK den BEV-Verkaufsanteil im Durchschnitt um knappe 0.011 Prozentpunkte erhöhen. Dieser positive Zusammenhang zur abhängigen Variable ist im Widerspruch zur Korrelationsanalyse in Tabelle 4, doch es wird nicht weiter darauf eingegangen, da es den nicht effizienten RE-Schätzer betrifft. Das Ergebnis des FE-Schätzers zeigt jedoch, dass der Strompreis keinen Einfluss auf die Adaption der BEVs hat. Auch die *AVKT* sind in beiden Modellen insignifikant, wobei die bisherige Literatur sowohl negative (Egnér & Trosvik, 2018; Mersky et al., 2016) wie auch positive (Diamond, 2009) Zusammenhänge zum BEV-Verkaufsanteil feststellt. Das Resultat aus Tabelle 5 deutet darauf hin, dass das Reichweitedefizit von BEVs zu ICEVs nicht gross ist. Über die Zeitperiode 2011 bis 2017 hängt also im Durchschnitt die Kaufentscheidung eines BEVs nicht davon ab, welche Distanz die Personen im Schnitt in einer Provinz mit dem Auto zurücklegen. Beim Prüfen von Hypothese 2 im nächsten Abschnitt wird nochmals darauf eingegangen.

Der Koeffizient des durchschnittlichen Haushaltseinkommen in 1000 NOK, *Einkommen*, ist positiv und signifikant zum 5%-Niveau unter dem FE-Modell. Wenn eine Provinz ein im Durchschnitt 1000 NOK höheres Haushaltseinkommen hat, ist der BEV-Verkaufsanteil dieser Provinz auch im Schnitt um 0.029 Prozentpunkte höher. Dieses Ergebnis trifft die Erwartungen, dass BEVs tendenziell höhere Kaufpreise haben wie vergleichbare ICEVs und somit mehr wohlverdienende Haushalte anziehen.

Die Koeffizienten der Variable *Arbeitslosenquote* sind unter beiden Modellen stark signifikant. Im Kontrast zu den Erwartungen, sagt das Modell, dass eine Erhöhung der Arbeitslosenquote um einen Prozentpunkt im Durchschnitt den BEV-Verkaufsanteil um 1.8 Prozentpunkte erhöht. Bereits bei der Korrelationsanalyse unter Tabelle 4 konnte eine schwach positive Korrelation zur abhängigen Variable festgestellt werden. Die Studie von Mersky et al. (2016) findet im Einklang zu den in dieser Arbeit gefundenen Resultaten ebenfalls einen positiven Zusammenhang zwischen der Arbeitslosenquote und dem BEV-Verkaufsanteil in Norwegen.

7.2 Testen von Hypothese 2

Zum Testen des Effekts der Anreizsysteme in verschiedenen Zeitperioden, Hypothese 2, wird der Datensatz in drei Perioden aufgeteilt. Anhand der Entwicklung des BEV-Verkaufsanteils in Abbildung 6 wurde versucht, drei Phasen zu bilden mit möglichst ähnlich langen Zeitintervallen. Als Phase 1 wird die Periode von 2011 bis 2013 gebildet mit dem Hintergedanken des kontinuierlichen Wachstums des BEV-Verkaufsanteils bis hin zum Boom von Verkäufen von BEVs im Jahre 2013. Die zwei Folgejahre 2014 bis 2015 bilden Phase 2, in welcher ein weiterer Anstieg des BEV-Verkaufsanteils erfolgte bis zum Schock im Jahre 2015. Die Zeitspanne zwischen 2016 bis 2017 bildet Phase 3. In allen Zeitperioden wird der FE-Schätzer aus Modellgleichung (7) geschätzt.

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Regressionen verschiedener Zeitperioden, worin Modell (1) das Hauptmodell aus Tabelle 5 darstellt und Modell (2) bis (4) die drei Regressionen unterschiedlicher Zeitperioden. Die Signifikanz der Anreizsysteme schwankt dabei stark zwischen den Zeitperioden. Es ist keine Konsistenz mehr zu erkennen bezüglich den in Hypothese 1 signifikanten Variablen *Ladestationen/km* und *Mautpreis/km*. Der Koeffizient der Ladestationen pro Kilometer ist in der ersten Periode (2) stark signifikant zum 1%-Niveau, und zwar statistisch und ökonomisch. Er ist dabei im Vergleich zum Durchschnitt über alle Zeitperioden hinweg in Modell (1) mehr als doppelt so hoch. Eine Erhöhung von einer Ladestation pro 100 Strassenkilometer impliziert im Mittel in den Jahren 2011 bis 2013 eine Erhöhung des BEV-Verkaufsanteils um 3.79 Prozentpunkte. Dieser Effekt flacht jedoch in den Folgeperioden (3) und (4) ab, in denen kein signifikanter Koeffizient mehr gemessen wird. Dies trifft die Erwartungen des abnehmenden Grenznutzens und

kann als Abnahme der Wichtigkeit dieses Anreizsystems für die Kaufentscheidung eines BEVs interpretiert werden. Sobald die Lade-Infrastruktur ein gewisses Netzwerk erreicht hat, wird eine zusätzliche Ladestation nicht mehr den gleichen Effekt auf den Verkaufsanteil von BEVs haben. Das Ladenetzwerk wird dann von Konsumenten wie beim Tankstellennetzwerk als Voraussetzung angesehen.

Tabelle 6: Regression des BEV-Verkaufsanteils in verschiedenen Zeitperioden

	(1)	(2)	(3)	(4)
	2011-2017	2011-2013	2014-2015	2016-2017
<i>Anreizsysteme</i>				
Ladestationen/km	1.478*** (0.385)	3.793*** (0.719)	-1.944 (1.477)	-2.299 (2.631)
HOV Anteil	0.019 (0.025)	0.097** (0.040)	0.030 (0.092)	0.051 (0.054)
Mautpreis/km	0.562*** (0.146)	0.112 (0.170)	1.276** (0.516)	0.297*** (0.172)
Fahrenpreis/km	-3.54e-05 (1.28e-04)	8.29e-04*** (2.79e-04)	-6.55e-04 (8.18e-04)	1.43e-04 (3.60e-04)
<i>Kontrollvariablen</i>				
Strompreis	3.45e-05 (2.59e-05)	-1.50e-05 (1.72e-05)	-4.05e-07 (5.95e-05)	3.71e-04*** (9.19e-05)
AVKT	-4.16e-04 (1.21e-02)	9.29e-03 (1.29e-02)	3.18e-02 (3.47e-02)	-2.33e-02 (5.03e-02)
Einkommen	2.92e-04** (1.32e-04)	4.88e-04*** (1.47e-04)	1.54e-04 (3.26e-04)	-7.99e-04 (5.15e-04)
Arbeitslosenquote	0.018*** (0.003)	-0.010** (0.005)	0.008* (0.005)	0.001 (0.010)
Konstante	-0.262 (0.201)	-0.492** (0.192)	-0.470 (0.432)	1.176 (0.979)
Beobachtungen	1512	648	432	432
Anzahl Provinzen	18	18	18	18
Chi ²	6391	1515	2992	3032
Zeit FE	Ja	Ja	Ja	Ja
Provinzen FE	Ja	Ja	Ja	Ja

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Standardfehler sind auf Provinzebene „geclustert“.

Für die Variable *HOV Anteil* kann im Hauptmodell (1) über die ganze Zeitperiode kein signifikanter Koeffizient festgestellt werden. In den drei geteilten Regressionen (2) bis (4) wird in der Anfangsperiode ein zum 5%-Niveau signifikanter positiver Koeffizient gemessen. Eine Erhöhung des HOV-Anteils um einen Prozentpunkt würde den BEV-Verkaufsanteil in der Periode 2011 bis 2013 um 9.7 Prozentpunkte erhöhen, was nach einem sehr starken Einfluss der Variable *HOV Anteil* auf die abhängige Variable aussieht. Doch wenn man bedenkt, dass der höchste Anteil von HOV-Linien in Oslo nur gerade 3% beträgt und der Durchschnitt aller Provinzen bei 0.2% liegt (vgl. Tabelle 3), ist die Betrachtung einer Erhöhung des HOV-Anteils um 0.1 Prozentpunkte

realitätsnäher, was auch mit einer Erhöhung des BEV-Verkaufsanteils von 0.97 Prozentpunkte einhergeht. Die Abnahme der Signifikanz des HOV-Anteils in den zwei Folgeperioden könnte einerseits, wie bei den Ladestationen pro Kilometer, als Abnahme der Wichtigkeit dieses Anreizsystems für die Kaufentscheidung eines BEVs interpretiert werden. Andererseits könnte dies als Überbelastung der HOV-Linien bedingt durch den starken Anstieg des Marktanteils von BEVs angesehen werden. Bis zum Jahre 2013 wurde die Erlaubnis der Benutzung von HOV-Linien für BEVs als Kaufentscheidung oder Vorteil gegenüber ICEVs angesehen. Durch die vielen Verkäufe der BEVs jedoch, wurde dies vermehrt zum Problem und die Überbelastung einzelner HOV-Linien hat nicht mehr zu einer Zeiteinsparung geführt. Im Jahr 2017 wurde diese Staatsmassnahme durch die Regierung im NTP (2017) angepasst, was wiederum die Signifikanz und den Effekt dieser Variablen in den Jahren davor erklärt (vgl. Kapitel 2.2).

Die Koeffizienten der Variable *Mautpreis/km* steigen in ihrer Signifikanz über die Zeit an: von keiner Signifikanz im Modell (2), zur Signifikanz zum 5%-Niveau im Modell (3), bis hin zur Signifikanz zum 1%-Niveau im Modell (4). Diese sind auch für die hohe Signifikanz dieser Variable im Hauptmodell (1) über die ganze Zeitperiode verantwortlich. Der Zuwachs der Signifikanz des Effekts der Mautpreise pro Kilometer mit der Zeit hat sicherlich auch mit der Abnahme der Wichtigkeit der Anreizsysteme Ladestationen pro Kilometer und HOV-Anteil zu tun. Weiter ist der signifikante Koeffizient in Modell (4) kleiner wie derjenige in Modell (3). Ein Grund hierfür könnte auch die bereits im Jahr 2017 von der Regierung veröffentlichte Überarbeitung dieser Staatsmassnahme sein (NTP, 2017, S. 56). Dabei sinken die Einsparungen von BEVs gegenüber ICEVs, da erstere ab 2018 nicht mehr kostenlos alle Mautstationen passieren können (vgl. Kapitel 2.2).

Für den Koeffizienten der Variable *Fahrenpreis/km* konnte bislang kein signifikanter Zusammenhang zur abhängigen Variable festgestellt werden. Der stark signifikante und positive Koeffizient von 0.000829 in der Anfangsperiode 2011 bis 2013 sagt aus, dass eine Preiserhöhung von 1 NOK pro Kilometer den BEV-Verkaufsanteil um 0.08 Prozentpunkte erhöhen wird. In den Perioden (2) und (3) ist wie im Hauptmodell (1) kein Effekt des Fahrenpreis pro Kilometer zum BEV-Verkaufsanteil ersichtlich.

Bei dem Koeffizienten der Kontrollvariablen sind die Resultate sehr gemischt. Der *Strompreis/MWh* zeigt in den ersten beiden Perioden (2) und (3) jeweils mit den theoretischen Überlegungen übereinstimmende negative Koeffizienten, jedoch sind beide insignifikant. In der letzten Periode ist das Vorzeichen des Koeffizienten im Widerspruch zu den anderen beiden positiv, und ist darüber hinaus stark signifikant. Ein Grund für dieses Ergebnis in der letzten Periode liegt vermutlich im kontinuierlichen Anstieg der Strompreise seit dem Jahr 2015, siehe Abbildung B1 im Anhang. Die Koeffizienten der Variable *AVKT* sind, wie auch im Hauptmodell (1), in allen

Teilmodellen (2) bis (4) insignifikant und somit konsistent. Es kann also interpretiert werden, dass die Kaufentscheidung eines BEVs im Durchschnitt nicht davon abhängt, welche Distanz die Personen im Schnitt in einer Provinz mit dem Auto zurücklegen. Weiter ist auch keine Veränderung dieser Schlussfolgerung über die Zeit erkennbar (z.B., dass in der ersten Periode ein Reichweitedefizit vorliegt und durch die Verbesserung der Technologie und somit der Reichweite einzelner Fahrzeuge diese Problematik verschwindet).

Der Koeffizient der Variable *Einkommen* ist in Modell (2) positiv und stark signifikant zum 1%-Niveau. In den nachfolgenden Perioden ab 2014 nimmt die Signifikanz ab und es kann kein Zusammenhang zwischen dem Einkommen und dem BEV-Verkaufsanteil mehr erkannt werden. Aus dem Ergebnis unter Hypothese 1, Tabelle 5, wird die Schlussfolgerung getroffen, dass BEVs durch ihre tendenziell höheren Kaufpreise mehr wohlverdienende Haushalte anziehen. Die in Tabelle 6 gezeigte Abflachung des Effekts der Einkommensvariable deutet aber darauf hin, dass sich im Verlauf der untersuchten Zeitperiode die Preise der BEVs mehr in Richtung ICEVs bewegt haben. Dies trifft die Erwartungen einer vermehrten Abnahme der Wichtigkeit des Haushaltseinkommens bei der Kaufentscheidung im Zeitverlauf.

Der Koeffizient der *Arbeitslosenquote* ist im Durchschnitt über die gesamte Zeitperiode zum 1%-Niveau signifikant, wobei die Effekte über die Zeit hinweg unterschiedlich ausfallen. In Übereinstimmung mit den Erwartungen fällt der Effekt in der ersten Periode mit einem zum 5%-Niveau signifikanten Koeffizienten negativ aus. Im weiteren Verlauf schwächt der Effekt zunehmend ab und wechselt die Richtung. Die bereits in Tabelle 4 gefundene geringe Korrelation zwischen der Arbeitslosenquote und der abhängigen Variable könnte eine Erklärung für den Wechsel des Vorzeichens sein. Zu Tabelle 6 kann zusammenfassend gesagt werden, dass über die drei verschiedenen Phasen eine Umverteilung der Effekte der Anreizsysteme auf die abhängige Variable stattgefunden hat. Diese Ergebnisse treffen die Erwartungen und sind nachvollziehbar.

7.3 Sensitivitätsanalysen

Um die Robustheit der verwendeten Modelle zu überprüfen, werden in diesem Abschnitt einige Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Zuerst zeigt Tabelle B2 im Anhang eine FE- und RE-Regression der Modellgleichung (7) ohne Kontrollvariablen. Die Koeffizienten der Anzahl Ladestationen pro Strassenkilometer und Mautpreise pro Kilometer bleiben um 1%-Niveau signifikant. Auch ihre Vorzeichen und das Ausmass gegenüber der Regression mit allen Kontrollvariablen in Tabelle 5 sind relativ nahe. Der Effekt der Ladestationen pro Strassenkilometer erhöht sich minimal um 3.7% von 1.478 auf 1.532 durch den Ausschluss der Kontrollvariablen. Dies deutet darauf hin, dass die Variable Ladestationen pro Kilometer einen Teil der Variation anderer,

ausgeschlossenen Variablen auffängt, die im Hauptmodell (7) beinhaltet sind. Der Koeffizient der Variable *Mautpreis/km* ist im reduzierten Modell ohne Kontrollvariablen geringer, was darauf hindeutet, dass sich durch Berücksichtigung von Kontrollvariablen der Einfluss von Ladestationen pro Kilometer auf den BEV-Verkaufsanteil erhöht. Die Koeffizienten der anderen zwei Anreizsysteme, *HOV-Anteil* und *Fahrenpreis/km*, sind auch ohne Kontrollvariablen insignifikant und ihr Ausmass ist leicht höher. Die Ergebnisse zur Auswahl des Modells unter Kapitel 6.2 bleiben ohne Berücksichtigung der Kontrollvariablen gleich und es kann abschliessend auf die Konsistenz der Effekte der Anreizsysteme durch Miteinbezug der Kontrollvariablen geschlossen werden.

Zur weiteren Prüfung der Robustheit der Ergebnisse werden verschiedene Schätzer und Spezifikationen von Modell (7) regressiert (vgl. Tabelle B3 im Anhang). Einerseits ist dies der nicht effiziente POLS-Schätzer (1), welcher die Panel-Struktur vernachlässigt und somit die Annahme eines individuenspezifischen Effekts ignoriert. Andererseits können lange Panel-Daten mit *kleinem N und $T \rightarrow \infty$* mit einem effizienten Feasible-Generalized-Least-Squares (FGLS) Schätzer gemessen werden. Der FGLS-Schätzer vereinigt die individuenspezifischen Effekte c_i als Dummy-Variablen in x_{it} und macht es notwendig, für Serial Correlation im Fehlerterm zu modellieren. Modell (2) und (3) spezifizieren Modelle, welche nicht nur für Serial Correlation korrigieren, sondern zusätzlich annehmen, dass die Serial Correlation für jedes N im Panel spezifisch ist. Beide Modelle verwenden für Heteroskedastizität korrigierte Fehlerterme, wobei die Fehlerterme bei Modell (3) zusätzlich zwischen den Individuen korrelieren dürfen (Cameron & Trivedi, 2009, S. 267f). Die statistische Signifikanz der Anreizsysteme von Modellen (2) und (3) aus Tabelle B3 ist ziemlich ähnlich zu denjenigen des Hauptmodells (1) aus Tabelle 5. Zum 10%-Niveau mit einem leicht negativen Koeffizienten ist in Modell (3) auch die Variable *Fahrenpreis/km* signifikant, wobei jedoch das Haushaltseinkommen keine statistische Signifikanz aufweist. Im Modell (2) kann als einzige Spezifikation ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen der durchschnittlich gefahrenen Distanz und der abhängigen Variable festgestellt werden. Die Modelle (1) aus Tabelle B3 und (2) aus Tabelle 5 sind sich in der statistischen Signifikanz der Variablen ebenfalls ähnlich.

Als weitere Sensitivitätsanalyse wird das Hauptmodell (7) mit verschiedenen Zeitregressoren geschätzt. Das Hauptmodell unter Gleichung (7) besitzt für jede Zeitperiode eine Dummy-Variablen, um für nationale Makroschocks der abhängigen Variable zu kontrollieren. In Anlehnung an die Studie von Egnér & Trosvik (2018) könnten die Zeit-Dummies aber mit einem linearen oder exponentiellen Zeittrend ersetzt werden, wenn angenommen wird, dass die Entwicklung des BEV-Verkaufsanteils in Norwegen einem solchen Trend folgt. Der Zeittrend berücksichtigt dann beispielsweise den technologischen Fortschritt von BEVs, deren Anzahl Modelle und Händler welche BEVs verkaufen sowie die allgemein steigende Sichtbarkeit von BEVs (Egnér & Trosvik, 2018,

S. 589). Tabelle B4 im Anhang zeigt Regressionen des Hauptmodells mit verschiedenen Zeitspezifikationen. Modell (2) ist dabei das Hauptmodell des FE-Schätzers (1) aus Tabelle 5. Modell (1) das Hauptmodell ohne Zeit-Dummies. In Modell (3) werden die Zeit-Dummies durch einen linearen Zeittrend und in Modell (4) durch einen exponentiellen Zeittrend ersetzt. Es kann gut erkannt werden, dass die Signifikanz der vier Anreizsysteme über alle Zeitspezifikationen konsistent bleibt. Die Kontrolle für Makroschocks anhand von Zeit-Dummies (2) verkleinert den Koeffizienten der Mautpreise pro Kilometer fast um die Hälfte. Die Zeit-Dummies absorbieren also einen Grossteil des Effekts der Mautstationen pro Kilometer. Das Gleiche gilt für den Strompreis, welcher offensichtlich durch die Berücksichtigung von Zeit-Dummies seine Signifikanz komplett verliert. Das Einfügen eines linearen Zeittrends (3) reduziert das Ausmass des Koeffizienten der Ladestationen pro 100 Kilometer auf den BEV-Verkaufsanteil von 1.45 auf 1.26 Prozentpunkte. Dies ist in Einklang mit den Erwartungen, da die Variable *Ladestationen/km* kontinuierlich über die Zeitperiode ansteigt. Der Zeittrend mit einem signifikanten Koeffizienten von 0.001 zum 1%-Niveau übernimmt somit mit einem Anstieg des BEV-Verkaufsanteils von Monat zu Monat um 0.1 Prozentpunkte einen Teil dieser Variation.⁵³ Dasselbe gilt für die unter Modell (3) nicht signifikante Variable *Fahrenpreis/km*, welche sich auch wegen kontinuierlichem Anstieg über die Zeit verkleinert (vgl. Abbildung 10). Die Koeffizienten von *HOV-Anteil*, *Mautpreis/km* und der Kontrollvariablen bleiben hingegen konsistent.

Beim Hinzunehmen eines exponentiellen und linearen Zeittrends in Modell (4) verändern sich die Koeffizienten nochmals weniger, verglichen mit dem linearen Trend in Modell (3). Auch ist dieses Modell näher an der Spezifikation des Hauptmodells mit den Zeit-Dummies (2). Durch den Vergleich der vier Spezifikationen miteinander kann erkannt werden, dass alle Anreizsysteme unabhängig von der Modellwahl konsistent bleiben. Der grösste Unterschied zeigt sich in der Variable *Mautpreis/km*, in welcher sich nicht die Signifikanz verändert, sondern sich das Ausmass des Koeffizienten durch das Hinzufügen von Zeit-Dummies halbiert. Trotz allem kann argumentiert werden, dass die Modellierung (2), in welcher für Makroschocks kontrolliert wird, die effizienteste und sicherste aller vier Modellen in Tabelle B4 darstellt. Abbildung 6 hat bereits gezeigt, dass der BEV-Verkaufsanteil über die Zeit gar keinem linearen Trend folgt, sondern von einigen Schocks geprägt wird. Auch bei der Entwicklung der Technologie von BEVs ist es unglaublich einen linearen Trend zu unterstellen. Ein exponentieller Trend käme der Realität schon näher. Die Ergebnisse des Hauptmodells in Tabelle 5 könnten also herausgefordert werden, im Sinne, dass der Effekt der Ladestationen überbewertet und der Effekt der Mautpreise pro Kilometer unterbewertet sei.

⁵³ Vergleiche dazu Kapitel 5.2. Es war gemäss Datensatz nicht möglich Schliessungen von Ladestationen zu berücksichtigen. Somit kann diese Variable mit der Zeit nur ansteigen.

7.4 Diskussion

In diesem Abschnitt der Arbeit werden die empirischen Ergebnisse im Zusammenhang mit den zwei aufgestellten Hypothesen und den bisherigen Resultaten ähnlicher Studien reflektiert. Darüber hinaus werden die theoretischen Grundlagen mit den Resultaten hinterfragt und Empfehlungen für künftige Forschung abgegeben.

Gemäss den Resultaten hat die lokale Bereitstellung eines öffentlichen Ladenetzwerks durch die Regierung signifikant positive Effekte auf die Adaption von BEVs. Dieses Ergebnis ist konsistent bezüglich allen Sensitivitätsanalysen, wie auch bezüglich bisherigen Studienergebnissen (Egnér & Trosvik, 2018; Mersky et al., 2016; Sierzchula et al., 2014). In Übereinstimmung mit Hypothese 1 spielt die Verfügbarkeit eines guten Ladenetzwerks oder deren Ausbreitung eine entscheidende Rolle für den Nutzen aus BEVs. Ein schlecht verbreitetes Ladenetzwerk erhöht somit das Defizit der Reichweite von BEVs im Vergleich zu ICEVs. Des Weiteren erklären Unterschiede in der Dichte des Ladenetzwerks zwischen einzelnen Provinzen die unterschiedlichen Adaptionsgeschwindigkeiten von BEVs von einer Provinz zur anderen. In Übereinstimmung mit der zweiten Hypothese, nimmt der Effekt des Ladenetzwerks auf die Verbreitung von BEVs im Zeitverlauf ab. Je mehr sich das Ladenetzwerk dem Tankstellennetzwerk angleicht, desto mehr wird parallel dazu ihr Effekt abflachen. Ladestationen sollten also dort gebaut werden, wo ihr Nutzen am grössten ist. Namentlich auf Streckenabschnitten mit viel täglichem Verkehr, aber auch in ländlichen Regionen, um mögliche Reichweiteprobleme zu überwinden. Darüber hinaus ist die Verfügbarkeit von vielen Ladestationen/-punkte in urbanen Regionen wichtig, da in dicht besiedelten Wohnumfelder Lademöglichkeiten von zuhause (aus Platzgründen) eingeschränkt sind. Die norwegische Regierung hat mit ihrem Staatsunternehmen Transnova bis Ende 2017 ein gut verbreitetes, nationales Ladenetzwerk aufgebaut. Ein weiterer Ausbau zur Überwindung der Reichweiteproblematik wäre gemäss den Resultaten zunächst in den nördlicheren Provinzen notwendig, was eventuell auch deren BEV-Adaption weiter fördern würde. Eine Umrüstung bestehender normaler Ladestationen zu Schnell-Ladestationen sollte ebenfalls weiter im Fokus bleiben. Im Gegensatz zur Reichweiteproblematik von BEVs, welche in Norwegen bereits gut gelöst wird, sollte sich die Regierung in Zukunft auch vermehrt auf die Übernutzungsproblematik bei Ladestationen fokussieren. Es sollten entsprechend nicht nur die Anzahl Ladestationen ausgebaut, sondern auch deren Ladepunkte, um allfällige Wartezeiten durch weitere Zunahme des Marktanteils von BEVs abzufedern.

Ebenfalls signifikante positive Effekte auf die Adaption von BEVs hat das Anreizsystem des kostenlosen Passierens von Mautstationen. Auch diese Variable bleibt in allen Sensitivitätsanalysen konsistent, was das Resultat aus Tabelle 5 nochmals belegt. In Übereinstimmung mit Hypothese 1,

reduziert eine mögliche Einsparung bei den Gebühren der Mautstationen die variablen Kosten von BEVs, was eine Verkaufssteigerung nach sich zieht. In Provinzen mit höheren Gebühren können mit BEVs im Vergleich zu ICEVs überdurchschnittlich hohe Kosten eingespart werden. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Adaptionsgeschwindigkeiten von BEVs einzelner Provinzen. Auch Hypothese 2 wird nicht verworfen, denn die Signifikanz und somit der Effekt der Staatsmassnahme des kostenlosen Passierens von Mautstationen verändert sich im Verlauf der Zeit: von anfänglich keinem Effekt im Jahr 2011 bis 2013, bis zu einem stark signifikant positiven Effekt in den Jahren 2014 bis 2015 und gegen Ende der Untersuchungsperiode 2016 bis 2017, einer Abflachung des Effekts. Das Resultat in der ersten Periode stimmt mit der Studie von Mersky et al. (2016) überein, welche in einer Cross-Sectional-Analyse für das Jahr 2012 auf Ebene der Gemeinden keinen signifikanten Koeffizienten für Mautstationen in Norwegen findet. Die signifikant positiven, mit der Zeit abflachenden Koeffizienten in den zwei Folgeperioden deuten auf eine Abnahme des Effekts des kostenlosen Passierens von Mautstationen auf den Verkauf von BEVs hin. Die Einsparungen aus dem kostenlosen Passieren von Mautstationen senken die variablen Kosten von BEVs enorm und gleichen die Total Cost of Ownership (TCO) vermehrt denjenigen der ICEVs an (Figenbaum, 2018, S. 17; Malvik et al., 2013, S. 1001). Die Aufhebung der Befreiung von Mautgebühren für BEVs gemäss dem durch die Regierung veröffentlichtem NTP (2017) senkt künftig den relativen Preisvorteil von BEVs. Dies erklärt die Abnahme des Effekts in den letzten Perioden.

Der Einfluss des Fahrens auf HOV-Linien auf die Adaption von BEVs ist gemäss den Resultaten dieser Studie nicht signifikant. In Anlehnung an bisherige Studien (Diamond, 2009; Mersky et al., 2016), kann Hypothese 1 in Bezug auf dieses Anreizsystem verworfen werden. Die Erhöhung des Anteils an HOV-Linien im Verhältnis zum gesamten Strassennetz bewirkt nicht eine massive Zeiteinsparung für BEV-Fahrer, welche den Nutzen aus BEVs im Vergleich zu ICEVs signifikant erhöht. Damit einem BEV-Fahrer durch dieses Regierungsinstrument überhaupt eine Zeitersparnis entspringen kann, ist es notwendig, dass die HOV-Linien sich dort befinden, wo es des Öfteren zu Verkehrsüberlastungen kommt. Diese Voraussetzung kann anhand der hohen Korrelation zwischen den Variablen *HOV Anteil* und *Bevölkerung/km²* bestätigt werden (vgl. Tabelle 4). Hypothese 2 hingegen wird angenommen und das Anreizsystem der Erlaubnis von BEVs auf HOV-Linien hat unterschiedliche Effekte auf die Adaption von BEVs über den Zeitverlauf. In der Periode 2011 bis 2013 findet sich ein signifikant positiver Effekt durch die Erlaubnis von HOV-Linien auf die Adaption von BEVs. Die Nicht-Signifikanz oder Abflachung des Effekts dieses Anreizsystems in den Folgeperioden ist ebenfalls in der Studie von Diamond (2009) zu erkennen. Je länger dieses Anreizsystem im Einsatz ist und je höher der Marktanteil von darauf erlaubten Fahrzeugen beträgt, desto häufiger sind Verkehrsüberlastungen auf solchen Linien zu beobachten.

Dies war auch der entscheidende Grund, warum die norwegische Regierung die Gemeinden in Bezug auf die HOV-Politik per 2017 ermächtigte (NTP, 2017, S.155). Somit können die Ergebnisse dieser Arbeit belegt werden.

Ähnliche Ergebnisse wie zum HOV-Anteil ergeben sich bei der Analyse potentieller Einsparungen auf den Fähren: Hypothese 1 wird abgelehnt, Hypothese 2 hingegen angenommen. Der Effekt des kostenlosen Transports auf Fähren auf den BEV-Verkaufsanteil ist gemäss dieser Studie nicht signifikant, jedoch gibt es Unterschiede in den Effekten über die Zeit. In der Anfangsperiode von 2011 bis 2013 findet diese Studie einen signifikant positiven Einfluss, doch dieser ist wiederum insignifikant in den Folgejahren. Wie bei den kostenlosen Mautgebühren für BEV-Besitzer wurde auch das Anreizsystem des kostenlosen Fährtransports im NTP (2017) durch die Regierung überarbeitet. Die neuen Gebühren von bis zu 50% derjenigen der ICEVs bestätigen das Ergebnis der Abnahme des Effekts dieses Anreizsystems.

Gemäss den Ergebnissen dieser Arbeit hat die norwegische Regierung mit der Implementierung von Anreizsystemen für einen Grossteil der positiven Entwicklung des BEV-Marktes gesorgt. Die Neoklassische Theorie besagt, dass rationale Individuen bei ökonomischen Entscheidungen unter perfekter Information ständig ihren Nutzen maximieren. Ein starker BEV-Verkaufsanteil deutet also darauf hin, dass Individuen einen höheren Nutzen durch den Kauf eines BEV haben, im Vergleich zum Kauf eines ICEV. Wie in den Studien von Figenbaum (2018) und Malvik et al. (2013) gezeigt wird, sind die TCO von BEVs tiefer wie diejenigen gleichwertiger ICEVs, was somit den Nutzen beim Kauf eines BEVs erhöht. Kostenloses Passieren von Mautstationen, kostenloser Transport auf Fähren oder HOV-Linien-Zugang sind durch die Regierung gesetzte Anreize, die eine Erhöhung des Nutzens von BEVs zum Ziel haben. Wie bereits in den theoretischen Grundlagen dieser Arbeit unter Kapitel 4 aufgezeigt, setzt die Regierung solche Anreizsysteme zur Korrektur eines Marktversagens ein. Dass zum Beispiel für das Anreizsystem des kostenlosen Transports auf Fähren kein signifikanter Effekt in dieser Arbeit gefunden wird, deutet darauf hin, dass dieses Anreizsystem nicht (oder jedenfalls nur bis 2013) dazu beigetragen hat, das Marktversagen und damit die Reduktion von THG-Emissionen zu korrigieren. Hingegen das Anreizsystem des kostenlosen Passierens von Mautstationen für BEVs hat einen signifikant positiven Effekt. Dies wiederum zeigt, dass die Investition der Regierung in dieses Anreizsystem (Ausfall der Einnahmen an Mautgebühren von BEVs) den richtigen Anreiz schafft zur Internalisierung der positiven Externalität (vgl. Kapitel 4.1). Negative Externalitäten, durch Auspuffabgase beim Fahren von ICEVs, können entweder im Kaufpreis von ICEVs oder in deren variablen Kosten (Diesel-/Benzinpreise) internalisiert werden. Gemäss Figenbaum (2018) sind die Kaufpreise von BEVs im Schnitt noch immer höher als diejenigen vergleichbarer ICEVs. Doch durch die Erhebung der MwSt. und

Registrierungssteuer auf ICEVs und die Ausnahme für BEVs ist der relative Kaufpreis von BEVs geringer. Die variablen Kosten von ICEVs sind durch hohe Besteuerung der Benzin und Dieselpreise ebenfalls höher als Strompreise zum Antrieb der BEVs. Dies zeigt, wie die norwegische Regierung die negativen Externalitäten internalisiert und zur Korrektur des Marktversagens beiträgt.

Zusammengefasst kann ein gutes Ladenetzwerk in Kombination mit finanziellen Anreizsystemen die Adaptionraten von BEVs erhöhen. Diese Arbeit zeigt auf, dass die norwegische Regierung zwischen den Jahren 2010 und 2017 einen erheblichen Beitrag zur Adaption von BEVs geleistet hat. Doch wie in den weiteren Ergebnissen ersichtlich wurde, befindet sich der BEV-Markt in Norwegen nicht mehr in der Einführungsphase des Lebenszyklus einer neuen Technologie. Die Annäherung der Technologie zwischen BEVs und ICEVs macht sie heute fast zu Substituten und somit ist für die weitere Entwicklung des BEV-Marktes in Norwegen weniger Förderung durch die Regierung notwendig. Die Situation in Norwegen im Jahr 2010 darf nicht mit derjenigen von heute verglichen werden. Die Aufgabe der Regierung ist es nicht mehr, die Anzahl frühzeitiger Anwender zu erhöhen, sondern ein konstantes Wachstum von BEVs aufrechtzuerhalten. Damit ist Norwegen auf dem richtigen Weg bei der Erreichung ihres Ziels einer grünen Mobilität bis 2025.

Diese Arbeit untersucht die Auswirkungen der Anreizsysteme in Norwegen über eine Periode von 2010 bis 2017. Für zukünftige Forschung wäre es interessant, die Entwicklung des BEV-Marktes, nach der Veröffentlichung des NTP (2017) durch die Regierung im Jahre 2017, zu analysieren. Somit könnte der Effekt der Veränderung und teils Abschaffung einzelner Anreizsysteme (Erlaubnis des Verbots von BEVs auf HOV-Linien oder die Einführung von Gebühren bis max. 50% bei Mautstationen und Fähren) angeschaut werden, was wiederum einen erweiterten Blick bezüglich der Stärke dieser Anreizsysteme auf die Adaption von BEVs geben würde. Weiter wäre eine simultane Analyse zu derjenigen in dieser Arbeit, aber mit Daten auf Ebene der Gemeinden (422 Gemeinden gegenüber 18 Provinzen), spannend. Damit könnten die Effekte der lokalen Regierungsmassnahmen auf die BEV-Adaption noch detaillierter untersucht werden. Als Erweiterung könnten die Gemeinden auch nach demographischen und geographischen Kriterien gruppiert werden, was bei der Modellierung eines RE-Schätzers hilfreich wäre. Die Berücksichtigung von genügend zeitinvarianten Variablen in der Modellgleichung (z.B. Temperaturunterschiede, Kultur, Meter über Meer) würden dazu beitragen die RE-Annahmen zu akzeptieren und diesen Schätzer effizient zu messen.

Die norwegischen Anreizsysteme zur Förderung der BEVs gehen über diejenigen, welche in dieser Arbeit untersucht wurden, hinaus. Das Anreizsystem des kostenlosen Parkierens konnte aus

Datengründen nicht berücksichtigt werden. Zum Teil können BEVs in Norwegen kostenlos parkieren und gleichzeitig ihr BEV aufladen. Die Daten zu den Ladestationen von NOBIL zeigen aber nicht, an welchen Ladestationen dies möglich ist. Es kann also sein, dass ein Teil des Anreizsystems des kostenlosen Parkierens in der Analyse dieser Arbeit zusammen mit den Ladestationen gemessen wurde. Wären diese Informationen verfügbar, könnten die Effekte der Ladestationen und des kostenlosen Parkierens auf die Adaption von BEVs separat gemessen werden. Eine Variable, welche den Anteil von kostenlosen Parkplätzen im Verhältnis zur gesamten Anzahl Parkplätzen einer Provinz misst, wäre entsprechend interessant.

8. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war einerseits die Effekte der lokalen Anreizsysteme der Regierung in Norwegen auf die Adaption von BEVs in einem Zeitraum von 2010 bis 2017 zu messen. Andererseits, die unterschiedlichen Effekte dieser Anreizsysteme über den Zeitverlauf aufzudecken. Dafür wurden Verkaufszahlen von BEVs im Verhältnis zu anderen Antriebsarten von Personenfahrzeugen verwendet und auf vier lokale Anreizsysteme regressiert.

Die Resultate zeigen, dass ein dichtes Ladenetzwerk einen signifikant positiven Einfluss auf die Adaption von BEVs hat. Weiter sind die Einsparungen für BEVs durch kostenloses Passieren von Mautstationen genügend gross, um ebenfalls die Adaption von BEVs positiv zu beeinflussen. Diese zwei Resultate bleiben ferner konsistent unter verschiedenen Modellspezifikationen und Sensitivitätstests. Für lokale Anreizsysteme wie die Erlaubnis zur Benutzung von HOV-Linien oder der kostenlose Transport auf Fähren, konnten nur in der Anfangsperiode von 2011 bis 2013 signifikant positive Effekte auf die Adaption von BEVs gefunden werden. Die neue Regelung im NTP (2017) für Maut- und Fährengelben sowie der Zugang auf HOV-Linien für BEVs hat zur Abnahme dieser drei Anreizsysteme gegen Ende der Untersuchungsperiode beigetragen. Vermehrte Verzögerungen für öffentliche Verkehrsmittel auf HOV-Linien durch höheren BEV-Marktanteil und die kontinuierliche Annäherung der Technologie und damit Substituierbarkeit von BEVs und ICEVs werden als Gründe für die Überarbeitung dieser Anreizsysteme durch die Regierung angesehen.

Die Resultate dieser Arbeit zeigen weiter, dass Politiker bei der Implementierung lokaler Anreizsysteme lokale Hindernisse überdenken müssen. Beispielsweise sollte ein Ausbau des Ladenetzwerks dort stattfinden, wo ein mögliches Reichweiteproblem für BEVs auftauchen könnte. Ladepunkte pro Ladestation hingegen sollten dort ausgebaut werden, wo die Möglichkeit einer Überbelastung durch gleichzeitiges Laden am ehesten auftreten könnte. Das Resultat der Abnahme des Effekts der Anzahl Ladestationen auf die Adaption von BEVs über die Zeit weist für Norwegen darauf hin, dass ein künftiger Ausbau von Ladestationen vor allem in den nördlichen Provinzen notwendig sein wird, wobei die Anzahl Ladepunkte in städtischen Regionen den grössten Nutzen nach sich ziehen.

Zusammengefasst zeigt diese Arbeit, dass die norwegische Regierung zwischen den Jahren 2010 und 2017 mit einer Kombination aus einem guten Ladenetzwerk und finanziellen Anreizsystemen einen erheblichen Beitrag zur Adaption von BEVs geleistet hat. Doch die norwegische Situation zwischen 2010 und 2017 darf nicht mit derjenigen von heute verglichen werden. Der BEV-Markt hat sich in dieser Zeitperiode stark verändert und Anpassungen der Regulierungen werden in Zukunft weiter notwendig sein. Auch können die Resultate dieser Arbeit nicht unverändert auf andere

Länder wie beispielsweise die Schweiz übertragen werden, Parallelen hingegen sind sicher ableitbar. Bereits der Strommix, der in Norwegen zu 98% aus erneuerbaren Energien stammt, ist als wesentliche Voraussetzung zur Förderung der E-Mobilität nicht mit der Schweiz vergleichbar (60% erneuerbare Energien). Auch wenn die THG-Emissionen des Transportsektors in Norwegen nur knapp ein Fünftel der totalen THG-Emissionen ausmachen, wird Norwegen immer wieder als treibendes Land der Elektromobilität angesehen. Norwegen befindet sich auf bestem Weg zur Erreichung des Ziels einer emissionsfreien Mobilität bis Ende 2025 und kann somit diesbezüglich als Vorbild für andere Länder angesehen werden.

Literaturverzeichnis

- BAFU. (2017). Kenngrößen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz 1990–2015. *Eidgenössisches Departement Für Umwelt, Verkehr, Energie Und Kommunikation UVEK*.
- BAFU. (2018, September 28). *Klimawandel*. Retrieved November 6, 2018, from <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/klimawandel.html>.
- Berry, S., Levinsohn, J., & Pakes, A. (1995). Automobile Prices in Market Equilibrium. *Econometrica*, *63*(4), 841–890.
- Bjerkan, K. Y., Nørbech, T. E., & Nordtømme, M. E. (2016). Incentives for promoting Battery Electric Vehicle (BEV) adoption in Norway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *43*, 169–180.
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1979). A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation. *Econometrica*, *47*(5), 1287–1294.
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2009). *Microeconometrics Using Stata*. Texas: Stata Press.
- Chandra, A., Gulati, S., & Kandlikar, M. (2010). Green drivers or free riders? An analysis of tax rebates for hybrid vehicles. *Journal of Environmental Economics and Management*, *60*(2), 78–93.
- Diamond, D. (2009). The impact of government incentives for hybrid-electric vehicles: Evidence from US states. *Energy Policy*, *37*(3), 972–983.
- Egnér, F., & Trosvik, L. (2018). Electric vehicle adoption in Sweden and the impact of local policy instruments. *Energy Policy*, *121*, 584–596.
- European Commission. (2016a). *Reducing CO2 emissions from passenger cars*. Retrieved November 6, 2018, from https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en.
- European Commission. (2016b). *Transport emissions*. Retrieved November 9, 2018, from https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_en.
- Evans, J. D. (1996). *Straightforward Statistics for the Behavioral Sciences*. Brooks/Cole Publishing Company.
- Fearnley, N., Pfaffenbichler, P., Figenbaum, E., & Jellinek, R. (2015). E-vehicle policies and incentives - assessment and recommendations. *Institute of Transport Economics, TØI Report No. 1421*, 88.
- Figenbaum, E. (2018). Electromobility status in Norway: Mastering long distances - the last hurdle to mass adoption. *Institute of Transport Economics, TØI Report No. 1627*, 88.
- Figenbaum, E., & Kolbenstvedt, M. (2013). Electromobility in Norway: experiences and opportunities with electric vehicles. *Institute of Transport Economics, TØI Report No. 1281*.

- Figenbaum, E., & Kolbenstvedt, M. (2016). Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle Users. *Institute of Transport Economics, TØI Report No. 1492*.
- Figenbaum, E., Kolbenstvedt, M., & Elvebakk, B. (2014). Electric vehicles - environmental, economic and practical aspects. *Institute of Transport Economics, TØI Report No. 1329*, 88.
- Franke, G. R. (2010). Multicollinearity. In *Wiley International Encyclopedia of Marketing*. American Cancer Society.
- Gallagher, K. S., & Muehlegger, E. (2011). Giving green to get green? Incentives and consumer adoption of hybrid vehicle technology. *Journal of Environmental Economics and Management*, 61(1), 1–15.
- Haugh, D., Mourougane, A., & Chatal, O. (2010). The Automobile Industry in and Beyond the Crisis. *OECD Economics Department Working Papers*, 745.
- Horbach, J. (2008). Determinants of environmental innovation—New evidence from German panel data sources. *Research Policy*, 37(1), 163–173.
- IEA. (2013). *Global EV Outlook: Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020*. Retrieved November 10, 2018, from <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVO Outlook 2013.pdf>.
- IEA. (2017). *Energy Policies of IEA Countries: Norway 2017 Review*. Retrieved November 15, 2018, from <https://webstore.iea.org/energy-policies-of-iea-countries-norway-2017-review>
- Jaffe, A. B., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2005). A tale of two market failures: Technology and environmental policy. *Ecological Economics*, 54(2), 164–174.
- Koenker, R. (1981). A note on studentizing a test for heteroscedasticity. *Journal of Econometrics*, 17(1), 107–112.
- Lee, H., & Lovellette, G. (2011). Will Electric Cars Transform the U.S. Market? *Social Science Research Network SSRN*. Scholarly Paper No. ID 1927351.
- Li, J. (2017). Compatibility and Investment in the U.S. Electric Vehicle Market. *Harvard University*, (Seminar in Environmental Economics and Policy), 50.
- Malvik, H. V., Hannisdahl, O. H., & Wensaas, G. B. (2013). The future is electric! The EV revolution in Norway—explanations and lessons learned. *ECEEE Summer Study Proceedings*.
- Mankiw, N. G., & Taylor, M. P. (2011). *Economics* (2nd Revised edition edition). Cengage Learning.
- Mersky, A. C., Sprei, F., Samaras, C., & Qian, Z. (Sean). (2016). Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption in Norway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46, 56–68.
- Mundlak, Y. (1978). On the Pooling of Time Series and Cross Section Data. *Econometrica*, 46(1), 69–85.

- NEA. (2017, March 21). *Norway's climate*. Retrieved November 9, 2018, from <http://www.environment.no/topics/climate>.
- Nijboer, M. (2010). The Contribution of Natural Gas Vehicles to Sustainable Transport. *IEA Energy Working Papers*. No. 2010/11.
- Nordpool. (2018). *Electricity Average*. Retrieved November 5, 2018, from Thomson Reuters Datastream.
- NTP. (2017). Nasjonal transportplan 2018–2029. Melding til Stortinget. *Government White Paper to the Parliament*. Meld. St. 33 (2016-2017). Det Kongelige Samferdselsdepartement. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286fe86bb28bd/no/pdfs/stm201620170033000dddpdfs.pdf>.
- OFV. (2018). *Bilåret 2017*. Retrieved November 20, 2018, from http://www.ofv.no/get-file.php/136179-1514971517/Dokumenter/OFV%20Frokostm%C3%B8ter/OFV%20frokostm%C3%B8te%20om%20Bil%C3%A5ret%202017_%203.%20januar%202018.pdf.
- Sierzechula, W., Bakker, S., Maat, K., & van Wee, B. (2014). The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 68, 183–194.
- SSB. (2013). Statistical Yearbook of Norway 2013. *Statistisk Sentralbyrå*, (132nd issue).
- SSB. (2018a). *Key figures for the population*. Retrieved January 6, 2019, from <https://www.ssb.no/en/befolkning/nokkeltall/population>.
- SSB. (2018b). *Table 07307: Road traffic volumes, by main type of vehicle and home county of vehicle owner. Average per vehicle (C) 2005 - 2017*. Retrieved December 6, 2018, from <https://www.ssb.no/en/statbank/table/07307>.
- SSB. (2018c). *Table 08921: Educational attainment, by county, age and sex (C) 1980 - 2017*. Retrieved December 8, 2018, from <https://www.ssb.no/en/statbank/table/08921>.
- SSB. (2018d). *Table 08940: Greenhouse gases, by source, energy product and pollutant 1990 - 2017*. Retrieved November 6, 2018, from <https://www.ssb.no/en/statbank/table/08940>.
- SSB. (2018e). *Table 10540: Unemployed persons registered at the Employment Office 15-74 years, by age (per cent) (M) 1999M01 - 2017M11*. Retrieved December 8, 2018, from <https://www.ssb.no/en/statbank/table/10540>.
- SSB. (2018f). *Table 10678: Average income account for households, by type of household (C) 2006 - 2017*. Retrieved December 7, 2018, from <https://www.ssb.no/en/statbank/table/10678>.
- SSB. (2018g). *Table 11342: Population and area, by region, contents and year*. Retrieved December 7, 2018, from <https://www.ssb.no/en/statbank/table/11342>.
- White, H. (1980). A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity. *Econometrica*, 48(4), 817–838.

- Wooldridge, J. M. (2002). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data, Second Edition*. MIT Press.
- Wooldridge, J. M. (2012). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (5th Edition). Mason, OH: South Western, Cengage Learning.
- Yoo, W., Mayberry, R., Bae, S., Singh, K., (Peter) He, Q., & Lillard, J. W. (2014). A Study of Effects of MultiCollinearity in the Multivariable Analysis. *International Journal of Applied Science and Technology*, 4(5), 9–19.

Anhang

A. Methodik

Tabelle A1: Variance Inflation Factors

Hauptmodell (alle Variablen)		
Variable	VIF	1/VIF
Ladestationen/km (lagged)	8.44	0.118436
HOVAnteil	41.72	0.023967
Mautpreis/km	10.77	0.092845
Fährenpreis/km	1.09	0.914397
Strompreis/MWh	1.14	0.875605
AVKT	2.18	0.458516
Einkommen	4.49	0.222562
Bildung	13.38	0.074764
Bevölkerungsdichte	37.02	0.027015
Arbeitslosenquote	1.11	0.901057
Mittelwert	12.14	

Tabelle A2: Variance Inflation Factors

Hauptmodell (reduziert)		
Variable	VIF	1/VIF
Ladestationen/km (lagged)	8.32	0.120133
HOVAnteil	10.05	0.099544
Mautpreis/km	7.92	0.126268
Fährenpreis/km	1.05	0.948462
Strompreis/MWh	1.12	0.896439
AVKT	1.78	0.561726
Einkommen	1.54	0.648325
Arbeitslosenquote	1.07	0.934799
Mittelwert	4.11	

Abbildung A1: Heteroskedastizität

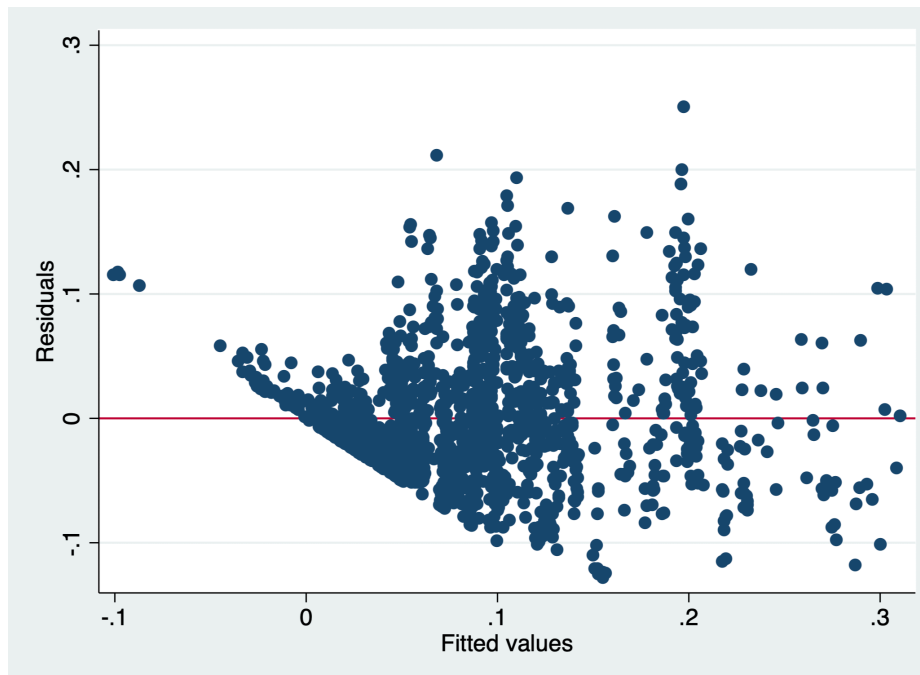


Tabelle A3: Heteroskedastizitäts-Tests

	White's Test	Breusch & Pagan-Test
Chi ²	373.12	169.80
Probability>Chi ²	0.0000	0.0000

Tabelle A4: Serial Correlation Test

	Wooldridge-Test
F(1, 17)	12.940
Probability>F	0.0022

Tabelle A5: Random-Effekt-Test

Breusch-Pagan Lagrangian Multiplier Test	
Chibar ² (01)	8442.88
Probability> Chibar ²	0.0000

Tabelle A6: RE vs FE

	Hausmann-Test	Joint Wald-Test
Chi ²	67.84	
Probability>Chi ²	0.0000	
F(8, 17)		0.87
Probability>F		0.5560

B. Sensitivität

Tabelle B1: HOVkm anstelle von HOVAnteil

	(1)	(2)
	FE	RE
<i>Anreizsysteme</i>		
Ladestationen/km	0.915*** (0.329)	0.699 (0.426)
HOVkm	0.004*** (0.001)	0.003*** (0.001)
Mautpreis/km	0.573*** (0.142)	0.707 (0.440)
Fährenpreis/km	6.04e-05 (1.26e-04)	5.89e-05 (8.30e-05)
<i>Kontrollvariablen</i>		
Strompreis	2.99e-05 (2.60e-05)	8.80e-05*** (3.31e-05)
AVKT	0.016 (0.012)	0.016 (0.026)
Einkommen	1.66e-04 (1.29e-04)	9.99e-05 (1.89e-04)
Arbeitslosenquote	0.012*** (0.003)	0.015* (0.009)
Konstante	-0.449** (0.195)	-0.403 (0.402)
Beobachtungen	1512	1512
Anzahl Provinzen	18	18
Chi ²	6733	
Zeit FE	Ja	Ja
Provinzen FE	Ja	Nein

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Standardfehler sind auf Provinzebene „geclustert“.

Tabelle B2: Regression ohne Kontrollvariablen

	(1)	(2)
	FE	RE
Ladestationen/km	1.532*** (0.383)	1.572*** (0.401)
HOVAnteil	0.035 (0.025)	-0.012 (0.023)
Mautpreis/km	0.477*** (0.145)	0.772 (0.474)
Fährenpreis/km	-3.79e-06 (1.32e-04)	1.71e-05 (8.91e-05)
Konstante	0.025** (0.012)	-0.012 (0.014)
Beobachtungen	1512	1512
Anzahl Provinzen	18	18
Chi ²	5969	
Zeit FE	Ja	Ja
Provinzen FE	Ja	Nein

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Standardfehler sind auf Provinzebene „geclustert“.

Tabelle B3: POLS und FGLS

	(1) POLS	(2) FGLS	(3) FGLSCOR
<i>Anreizsysteme</i>			
Ladestationen/km	2.220*** (0.642)	1.723*** (0.308)	1.383*** (0.237)
HOVAnteil	-0.086* (0.041)	-0.013 (0.020)	-0.006 (0.016)
Mautpreis/km	0.743* (0.412)	0.399*** (0.137)	0.195* (0.105)
Fährenpreis/km	1.81e-05 (2.16e-05)	-3.16e-05 (9.23e-05)	-1.34e-04* (8.15e-05)
<i>Kontrollvariablen</i>			
Strompreis	1.51e-04* (7.18e-05)	3.16e-05 (2.52e-05)	3.65e-06 (2.17e-05)
AVKT	0.010 (0.011)	-0.022** (0.011)	-0.008 (0.009)
Einkommen	3.38e-04*** (7.28e-05)	2.70e-04** (1.37e-04)	7.97e-05 (1.17e-04)
Arbeitslosenquote	0.011 (0.008)	0.018*** (0.003)	0.010*** (0.003)
Konstante	-0.485*** (0.162)	0.072 (0.200)	0.070 (0.168)
Beobachtungen	1512	1512	1512
Anzahl Provinzen	18	18	18
Chi ²		7078	490434
Zeit FE	Ja	Ja	Ja
Provinzen FE	Nein	Ja	Ja

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. POLS: Standardfehler sind auf Provinzebene „geclustert“;

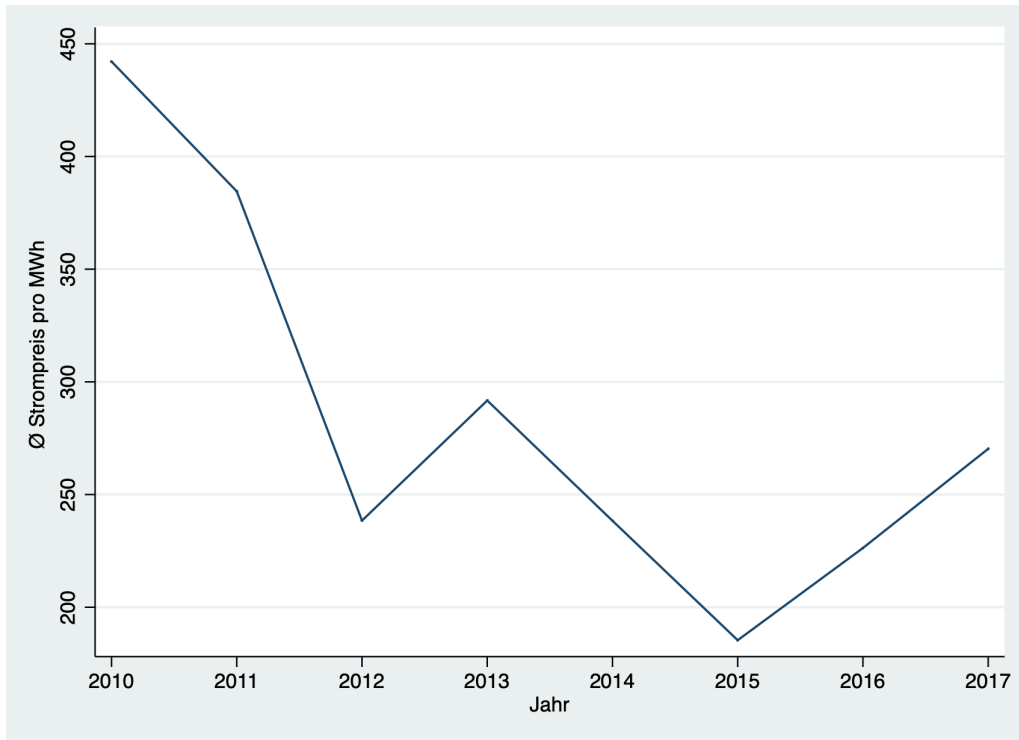
FGLS und FGLSCOR verwenden robuste Standardfehler.

Tabelle B4: Verschiedene Zeitspezifikationen

	(1)	(2)	(3)	(4)
	Ohne Dummies	Zeit-Dummies	Zeittrend	Exponentieller Zeittrend
<i>Anreizsysteme</i>				
Ladestationen/km	1.448*** (0.498)	1.478*** (0.385)	1.264*** (0.480)	1.454*** (0.462)
HOVAnteil	0.016 (0.032)	0.019 (0.025)	0.021 (0.031)	-0.002 (0.030)
Mautpreis/km	0.941*** (0.184)	0.562*** (0.146)	0.995*** (0.179)	0.909*** (0.175)
Fährenpreis/km	2.94e-04 (2.29e-04)	-3.54e-05 (1.28e-04)	6.58e-05 (2.16e-04)	-1.44e-06 (2.05e-04)
<i>Kontrollvariablen</i>				
Strompreis	4.01e-05*** (1.00e-05)	3.45e-05 (2.59e-05)	3.88e-05*** (9.76e-06)	2.32e-05** (1.05e-05)
AVKT	-1.25e-04 (1.17e-02)	-4.16e-04 (1.21e-02)	5.00e-03 (1.12e-02)	-6.84e-03 (1.10e-02)
Einkommen	1.02e-03*** (7.78e-05)	2.92e-04** (1.32e-04)	3.46e-04*** (1.07e-04)	4.46e-04*** (1.07e-04)
Arbeitslosenquote	0.013*** (0.004)	0.018*** (0.003)	0.016*** (0.003)	0.020*** (0.004)
Konstante	-0.848*** (0.220)	-0.262 (0.201)	-1.274*** (0.217)	4.105*** (1.382)
Zeittrend			0.001*** (0.001)	-0.014*** (0.004)
Exponentieller Zeittrend				1.2e-05*** (3.05e-06)
Beobachtungen	1512	1512	1512	1512
Anzahl Provinzen	18	18	18	18
Chi ²	2109	6391	2438	2686
Zeit FE	Nein	Ja	Nein	Nein
Provinzen FE	Ja	Ja	Ja	Ja

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$. Standardfehler sind auf Provinzebene „geclustert“.

Abbildung B1: Entwicklung des Strompreises pro MWh



UNIVERSITÄT BASEL

Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät Studiendekanat

Peter Merian-Weg 6
Postfach
CH-4002 Basel

Tel. +41 (0)61 267 33 55
Fax +41 (0)61 267 13 16
studiendekanat-wwz@unibas.ch
<http://www.wwz.unibas.ch>

Plagiats-Erklärung

Ich bezeuge mit meiner Unterschrift, dass meine Angaben über die bei der Abfassung meiner Arbeit benutzten Hilfsmittel sowie über die mir zuteil gewordene Hilfe in jeder Hinsicht der Wahrheit entsprechen und vollständig sind.

Ich habe das Merkblatt zu Plagiat und Betrug vom 22. Februar 2011 gelesen und bin mir der Konsequenzen eines solchen Handelns bewusst.

Vor- und Nachname: Björn Fosse

Matrikelnummer: 2012-056-776

Titel der schriftlichen Arbeit:

Auf dem Weg zu einer emissionsfreien Mobilität: Effekt von Anreizsystemen in Norwegen

erstellt im Rahmen der Lehrveranstaltung: _____

Art der Arbeit: Masterarbeit

Datum: 31.01.2019

Unterschrift: 