

BACHELOR THESIS
Timo Schümmer

Analyse öffentlicher Daten zum Markthochlauf der Elektromobilität in Deutschland

FAKULTÄT TECHNIK UND INFORMATIK
Department Informations- und Elektrotechnik

Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Information and Electrical Engineering

Timo Schümmer

Analyse öffentlicher Daten zum Markthochlauf der Elektromobilität in Deutschland

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang *Bachelor of Science Regenerative Energiesysteme und Energie-
management*
am Department Informations- und Elektrotechnik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Kolja Eger
Zweitgutachter: Prof. Dr. Martin Lapke

Eingereicht am: 21.12.2022

Timo Schümmer

Thema der Arbeit

Analyse öffentlicher Daten zum Markthochlauf der Elektromobilität in Deutschland

Kurzzusammenfassung

Der Markthochlauf der Elektromobilität in Deutschland ist im Wesentlichen abhängig von der Entwicklung der Ladepunktzahl und den Elektrofahrzeugzulassungen. Herausfordernd für die Gesellschaft, die Industrie und die Politik ist die Qualität und die geforderte Geschwindigkeit der Entwicklungen einzuhalten, um die selbst gesteckten Ziele zu erreichen und die globale Erwärmung auf ein Minimum zu reduzieren.

Aufgabe dieser Ausarbeitung ist es, verschiedene öffentlich zugängliche Datensätze miteinander zu kombinieren und Zusammenhänge aufzuzeigen, die das Ergebnis des Markthochlaufs beeinflussen können. Grundlage dafür bieten Datenreihen unterschiedlicher Bundesämter, die von einem Datenanalyseprogramm geografisch und werteppezifisch auf die Landkreise Deutschlands aufbereitet werden. Interpretativ sind anschließend gewonnene Erkenntnisse zu aktuellen Zusammenhängen und möglichen zukünftigen Verläufen formuliert.

Wird zum Beispiel von einem jährlichen Wachstum der Ladepunkte und der Elektrofahrzeuge ausgegangen, sind große Zunahmen nötig, um die Ziele von einer Millionen Ladepunkte und zehn Millionen Elektrofahrzeugzulassungen bis 2030 zu erreichen. Mit einer minimalen Wachstumsrate von 36 % für den Ladepunktzubau und 48 % für die E-Zulassungen pro Jahr wird klar, dass nur mit einem gleichmäßigen, regional unabhängigen Wachstum ein Erfolg erzielt werden kann. Der aktuelle Stand zeigt jedoch, dass besonders finanziell schwache Landkreise wie die der neuen Bundesländer unterdurchschnittlich viele Elektrofahrzeuge verzeichnen.

Timo Schümmer

Title of Thesis

Analysis of public data on the market ramp-up of electromobility in Germany

Abstract

The market ramp-up of electromobility in Germany is essentially dependent on the development of the number of charging points and electric vehicle registrations. The challenge for society, industry and politics is to maintain the quality and the required speed of developments in order to achieve the goals we have set ourselves and to reduce global warming to a minimum.

The task of this elaboration is to combine different publicly available data sets and to show correlations that may influence the outcome of the market ramp-up. The basis for this is provided by data series from various federal offices, which are processed geographically and value-specifically to the counties of Germany by a data analysis program. Interpretative findings are then formulated on current correlations and possible future trends.

For example, if future annual growth in charging points and electric vehicles is assumed, large increases are needed to achieve the goals of one million charging points and ten million electric vehicle registrations by 2030. With a minimum growth rate of 36 % for charging point additions and 48 % for e-registrations per year, it is clear that success can only be achieved with steady, regionally independent growth. However, the current status shows that particularly financially weak counties such as those in the new federal states are registering below-average numbers of electric vehicles.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | vii |
| Tabellenverzeichnis | ix |
| Abkürzungen | x |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Grundlagen Elektromobilität | 3 |
| 2.1 Definition Elektromobilität | 3 |
| 2.1.1 Unterschiede des Elektroantriebes zum konventionellen Verbrennerantrieb | 3 |
| 2.1.2 Akkumulatoren und Ladetechnik | 5 |
| 2.2 politischer Rahmen | 6 |
| 2.2.1 Einsparziele im Verkehrssektor | 7 |
| 3 Daten | 10 |
| 3.1 Datenbeschaffung | 10 |
| 3.1.1 Problematiken in der Datenbeschaffung | 10 |
| 3.2 Datenpräsentation | 12 |
| 3.2.1 Korrelationsberechnung | 12 |
| 3.2.2 Geografische Darstellung | 12 |
| 3.2.3 Verlaufsdarstellung | 13 |
| 3.3 Implementierung | 13 |
| 4 Ergebnisse der Datenanalyse | 16 |
| 4.1 Aktueller Stand der Landkreise | 16 |
| 4.1.1 Absolute Zahlen zu Ladepunkten und Elektrofahrzeugzulassungen | 16 |
| 4.1.2 Bezug der Datenreihen auf Einwohner*innen | 19 |
| 4.1.3 Verhältnis von Ladepunkten zu Elektrofahrzeugen | 22 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.1.4 | Anteil der Elektrofahrzeuge | 24 |
| 4.2 | Finanzielle Unterschiede der Landkreise im Bezug auf die Elektromobilität | 25 |
| 4.2.1 | Einkommensstruktur | 25 |
| 4.2.2 | Bezug der Datenreihen auf das durchschnittliche Bruttoeinkommen | 26 |
| 4.3 | Auswirkungen der Bevölkerungsdichte auf die Elektromobilität | 30 |
| 4.3.1 | Bevölkerungsdichte der Landkreise | 30 |
| 4.3.2 | Bezug der Datenreihen auf die Bevölkerungsdichte | 31 |
| 4.4 | Entwicklung und Zukunftstrend des Markthochlaufs | 35 |
| 4.4.1 | Entwicklung der Ladeinfrastruktur | 35 |
| 4.4.2 | Entwicklung der Elektrofahrzeugzulassungen | 39 |
| 4.5 | Photovoltaik-Anlagen und ihr Zusammenhang mit der Elektromobilität . . | 42 |
| 4.5.1 | Verteilung der privaten PV-Anlagen | 42 |
| 4.5.2 | Bezug der Datenreihen auf die privaten Photovoltaik (PV)-Anlagen | 45 |
| 5 | Interpretation der Datenanalyse | 48 |
| 5.1 | Aktueller Stand der Landkreise | 48 |
| 5.2 | Einkommensstrukturen im Bezug auf die Elektromobilität | 50 |
| 5.3 | Bevölkerungsdichte | 51 |
| 5.4 | Markthochlauf der Elektromobilität | 53 |
| 5.5 | Zusammenhang zwischen PV-Anlagen und der Elektromobilität | 56 |
| 6 | Fazit | 58 |
| | Literaturverzeichnis | 60 |
| A | Anhang | 67 |
| | Selbstständigkeitserklärung | 68 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Volkswagen battery electric vehicle (BEV) Plattform. Beispiel eines Purpose-Design [52] | 4 |
| 2.2 | Sektorenziele nach Klimaschutzplan 2050 | 7 |
| 2.3 | Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland und Ziele nach Klimaschutzgesetz | 8 |
| 4.1 | absolute Ladepunktzahl | 17 |
| 4.2 | absolute Anzahl der Elektrofahrzeugzulassungen | 18 |
| 4.3 | Verhältnis von Elektrofahrzeugzulassungen pro 100.000 Einwohner*innen . | 20 |
| 4.4 | Verhältnis von Ladepunkten pro 100.000 Einwohner*innen | 21 |
| 4.5 | Ladepunktzahl pro Elektrofahrzeugzulassung | 23 |
| 4.6 | prozentualer Anteil der Elektrofahrzeugzulassungen | 24 |
| 4.7 | durchschnittliches Bruttoeinkommen der Landkreisbevölkerung | 26 |
| 4.8 | Verhältnis von Elektrofahrzeugzulassungen (E-Zulassungen) im Bezug auf das durchschnittliche Bruttoeinkommen | 27 |
| 4.9 | Verhältnis von Ladepunkten im Bezug auf das durchschnittliche Bruttoeinkommen | 29 |
| 4.10 | Bevölkerungsdichte | 30 |
| 4.11 | Verhältnis von Ladepunkten zur Bevölkerungsdichte | 32 |
| 4.12 | Verhältnis von Elektrofahrzeugzulassungen zur Bevölkerungsdichte | 33 |
| 4.13 | Zubau aller Ladepunkte über die Jahre 2010 bis 2021 | 35 |
| 4.14 | Realzahlen der Ladepunktzahl und Elektrofahrzeugzulassungen | 37 |
| 4.15 | Realzahlen und mögliche Verläufe der Ladepunktzahl bis 2030 | 37 |
| 4.16 | Entwicklung der Ladeleistung nach Ladepunktklassen aufgeschlüsselt | 38 |
| 4.17 | Elektrofahrzeugzulassungen zwischen den Jahren 2019 und 2021 | 39 |
| 4.18 | Realzahlen und mögliche Verläufe der Elektrofahrzeugzulassungen bis 2030 | 41 |
| 4.19 | Anzahl der PV-Anlagen unter 15 kilo Watt peak (kWp) | 42 |
| 4.20 | Anzahl der PV-Anlagen unter 15 kWp für die Jahre 2019 bis 2021 | 44 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.21 | Anzahl der angemeldeten Heimspeicher in den Jahren 19 bis 21 | 44 |
| 4.22 | Verhältnis zwischen dem durchschnittlichen Bruttoeinkommen und der Anzahl an PV-Anlagen unter 15 kWp | 45 |
| 4.23 | Verhältnis zwischen der Bevölkerungsdichte und PV-Anlagen unter 15 kWp | 47 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------|---|----|
| 4.1 | Absolute Ladepunktanzahl | 17 |
| 4.2 | absolute Anzahl der Elektrofahrzeugzulassungen | 19 |
| 4.3 | Ladepunkte, Einwohner*innen und das Verhältnis der beiden Datenreihen | 20 |
| 4.4 | E-Zulassungen, Einwohner*innen und das Verhältnis der beiden Datenreihen | 22 |
| 4.5 | E-Zulassungen, Ladepunkte und das Verhältnis der beiden Datenreihen . . | 23 |
| 4.6 | Zulassungen, E-Zulassungen, prozentualer Anteil der Elektrofahrzeugzu- lassung | 25 |
| 4.7 | durchschnittliches Bruttoeinkommen | 27 |
| 4.8 | Verhältnis von E-Zulassungen im Bezug auf das durchschnittliche Brutto- einkommen | 28 |
| 4.9 | Verhältnis von Ladepunkten im Bezug auf das durchschnittliche Brutto- einkommen | 29 |
| 4.10 | Bevölkerung pro 100 km ² | 31 |
| 4.11 | Bevölkerungsdichte, Ladepunkte und das Verhältnis der beiden Datenreihen | 32 |
| 4.12 | Bevölkerungsdichte, E-Zulassungen und das Verhältnis der beiden Daten- reihen | 34 |
| 4.13 | Anzahl und prozentualer Anteil der Ladepunktklassen in Bevölkerungs- dichtegruppen aufgeteilt | 34 |
| 4.14 | Zubauraten von Ladepunkten zwischen 2018 und 2021 | 36 |
| 4.15 | Zuwachs der Elektrofahrzeugzulassungen in den Jahren 2018 bis 2021 . . . | 40 |
| 4.16 | Anzahl der PV-Anlagen unter 15 kWp | 43 |
| 4.17 | Verhältniswerte zwischen PV-Anlagen und dem durchschnittlichen Brutto- einkommen | 46 |
| 4.18 | Platzierung der Millionenstädte im Bezug auf das Verhältnis von PV- Anlagen und der Bevölkerungsdichte | 47 |

Abkürzungen

A Ampere.

Akku Akkumulator.

ARS Amtlicher Regionalschlüssel.

BEV battery electric vehicle.

CCS combined charging system.

CHAdeMo charge de move.

CO₂ Kohlenstoffdioxid.

CO₂e CO₂-Äquivalent.

E-Zulassung Elektrofahrzeugzulassung.

E-Zulassungen Elektrofahrzeugzulassungen.

HEV hybrid electric vehicle.

IEA Internationale Energieagentur.

kW kilo Watt.

kWp kilo Watt peak.

Mrd. Milliarden.

PHEV plug-in hybrid electric vehicle.

Abkürzungen

PV Photovoltaik.

REEV range extended electric vehicle.

z. B. zum Beispiel.

ÖPNV Öffentlicher Personennahverkehr.

1 Einleitung

Der immer lauter werdende Wunsch der deutschen Bevölkerung nach Klimaschutz hat die letzten Jahre politisch und kulturell geprägt. Die Bereitschaft zur Veränderung hat sowohl eine neue Bundesregierung geformt als auch die Akzeptanz neuer klimaschonenden Technologien gestärkt. So ist in den vergangenen vier Jahren besonders das Elektrofahrzeug als Alternative zum Verbrennerfahrzeug in Deutschland etabliert worden. Ein starker Zuwachs der Ladepunkte und Elektrofahrzeugzulassungen sind Indikatoren für einen wachsenden Markt. Auf dem Weg zur Klimaneutralität ist unter anderen auch der Verkehrssektor verpflichtet worden, die Emissionen zu reduzieren. Die Elektromobilität als Schlüsselement für den Individualtransport wird deshalb durch Subventionierungen und Zielsetzungen der Regierung bis 2030 eine außergewöhnliche Rolle für das Erreichen der Emissionsreduktion spielen.

Doch der Markthochlauf hängt nicht nur von politischen Anstrengungen, sondern auch von weiteren Faktoren ab. Sowohl regionale, wirtschaftliche und demografische Unterschiede beeinflussen den Fortschritt der einzelnen Landkreise.

Werden die Differenzen der Geschwindigkeit und Qualität des Markthochlaufs nicht berücksichtigt, ist nicht nur das Erreichen der gesteckten Emissionsreduktions-Ziele gefährdet, sondern verschärft dies potenziell auch regionale Benachteiligungen.

Um sowohl die Erfolgsgeschichten als auch die Schief lagen einiger Landkreise aufzuzeigen, werden in dieser Ausarbeitung verschiedene Datensätze miteinander kombiniert und anschließend grafisch und tabellarisch dargestellt und interpretiert. Die gewählten Daten beinhalten sowohl aktuelle Zahlen der Ladepunkte und Elektrofahrzeugzulassungen als auch die Entwicklungen der vergangenen Jahre. In Verbindung gesetzt werden diese zum Beispiel mit der Einkommensstruktur, der Bevölkerungsdichte oder den privaten PV-Anlagen, sodass im Verlauf dieser Arbeit verschiedene Thesen formuliert werden können. Darüber hinaus werden verschiedene Wachstumsverläufe präsentiert, die das Erreichen der gesteckten Marktziele ermöglichen. Dabei garantiert die Verwendung von frei zugänglichen, aktuellen Daten von staatlichen Institutionen eine solide Grundlage, die aufge-

schlüsselt auf die Landkreise einen tiefgehenden regionalen Einblick bieten.

Ein eigens für diese Ausarbeitung geschriebenes Programm übernimmt die nötige Datenaufbereitung und Visualisierung, die individuell für jede behandelte Fragestellung angepasst wird. Aus den miteinander in Relation gesetzten Datenreihen werden anschließend aufgedeckte Zusammenhänge der Ergebnisse klar benannt und mit einem Korrelationskoeffizienten mathematisch gestützt.

2 Grundlagen Elektromobilität

In diesem Kapitel werden allgemeine Informationen über die Elektromobilität vermittelt. Bestandteil dieser Erläuterung sind zum einen die Definitionen des Begriffs 'Elektromobilität' als auch ein grober Umriss der Potenziale und dem Hintergrund der momentan andauernden Verkehrswende hin zur Elektromobilität. Das erklärte Grundwissen soll dazu beitragen, Zusammenhänge und Inhalte der folgenden Kapitel besser zu verstehen.

2.1 Definition Elektromobilität

Laut der aktuell amtierenden Bundesregierung umfasst der Begriff 'Elektromobilität' alle Fahrzeuge, die von einem Elektromotor angetrieben werden. Dabei gilt die Einschränkung, dass die Energie für den Antrieb größtenteils aus dem Stromnetz bezogen werden muss [14]. Somit schließt der Begriff 'Elektromobilität' nur folgende drei Arten ein:

Reine Elektrofahrzeuge (BEV), Fahrzeuge mit Range Extender, also rein elektrisch betriebene Fahrzeuge mit zusätzlichem Stromaggregat (range extended electric vehicle (REEV)), sowie Hybridfahrzeuge mit Stromanschluss zum externen Laden (plug-in hybrid electric vehicle (PHEV)). Bei dieser Definition fallen sowohl Hybrid Fahrzeuge ohne Plug-In Funktion (hybrid electric vehicle (HEV)) und Fahrzeuge mit Brennstoffzelle heraus. Auch wenn die Definition der Bundesregierung REEV und PHEV mit einschließt, wird in dieser Ausarbeitung ausschließlich das BEV betrachtet. Grund dafür ist die geringe Relevanz der REEV für den deutschen Markt und das Auslaufen der Förderung für PHEV ab 2023 [4].

2.1.1 Unterschiede des Elektroantriebes zum konventionellen Verbrennerantrieb

Bei der Produktion von Elektrofahrzeugen gibt es zwei Arten (Conversion-/ Purpose-Design) von Aufbauten, die angewendet werden.

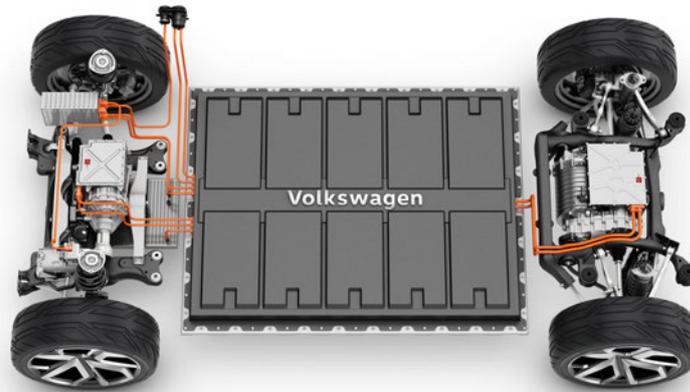


Abbildung 2.1: Volkswagen BEV Plattform. Beispiel eines Purpose-Design [52]

Im Conversion-Design wird eine bereits bestehende, auf Verbrennermotor optimierte Fahrzeugplattform als Grundstruktur für das neue Elektrofahrzeug verwendet, während für ein Purpose-Design eine eigene, auf die Anforderungen eines Elektrofahrzeugs zugeschnittene Fahrzeugplattform entwickelt wird [37]. In den letzten Jahren wurde hauptsächlich im Conversion-Design gebaut, doch das Purpose-Design wird zunehmend beliebter bei den Herstellern [43]. Mit dem geplanten Beschluss der Europäischen Union, die Kohlenstoffdioxid (CO_2)-Emissionen von Personenkraftwagen bis 2035 um 100 % zu reduzieren, steigen fast alle Autohersteller auf die Produktion von Grund auf neu entwickelten Elektrofahrzeugen um [34]. In den Zahlen der geplanten rein elektrisch betriebenen Fahrzeugmodelle der kommenden Jahre ist ein starker Anstieg zu erkennen [43].

Die in Zukunft von Volkswagen verwendete Unterkonstruktion (zu sehen in Abbildung 2.1) bietet eine modulare Basis für den Großteil aller zukünftigen Elektrofahrzeuge der Marke Volkswagen. Eine einzige Plattform für nahezu alle Fahrzeuge bietet große Vorteile in Bezug auf Effizienz, Unterhaltung und Produktion.

Ein Elektrofahrzeug unterscheidet sich größtenteils durch die Antriebstechnik sowie den Energiespeicher von einem konventionellen Benzin- oder Dieselfahrzeug. Genau wie bei Verbrennerfahrzeugen beansprucht der Energiespeicher bei Elektrofahrzeugen den größten Platzanteil im Antriebsstrang [37]. Durch die geringere Energiedichte der Akkumulator (Akku) im Vergleich zu Benzin oder Diesel, ist nicht nur das Volumen, sondern auch das Gewicht erhöht. Volkswagen spricht von einem Mehrgewicht durch die Akkus von ungefähr 300kg [51]. Um aus dem Mehrgewicht einen Vorteil zu erlangen, werden Elektrofahrzeugplattformen so entwickelt, dass der Akku im Fahrzeugboden verbaut werden kann. Durch eine solche Platzierung wird sowohl Staufläche im Innenraum als auch ein verbessertes Fahrverhalten durch einen niedrigen Schwerpunkt geschaffen [51].

2.1.2 Akkumulatoren und Ladetechnik

Laut einer Definition der EnBW spricht man ab einer Leistung von 50 kilo Watt (kW) vom Schnellladen und ab einer Leistung von 300 kW vom Ultraschnellladen [31].

Akkus sind schon seit Jahren in Geräten dieser Welt verbaut. Typischerweise sind dies Lithium Ionen Akkus, die durch ihre vergleichbar hohe Leistungsdichte bei geringem Gewicht auch in der Elektromobilität verwendet werden [37]. In einem Elektrofahrzeug sind häufig hunderte Zellen zusammengeschlossen, sodass sie ein großes Akkupack bilden. Ein solcher Zusammenschluss bietet sowohl Vorteile bei der Abgabe und Aufnahme von Leistung, der Sicherheit und der Modularität [37]. Die Leistungsaufnahme sowie die Leistungsabgabe sind komplex und erfordern viel Forschung und Präzision. Um die Fahrzeughalter*in zu entlasten, werden in Deutschland grundsätzlich vier Ladesysteme angeboten [30]:

Die einfachste Variante stellt die Wallbox dar, die die Leistung aus dem Hausnetz bezieht und an privaten Häusern der nutzenden Personen verbaut ist. Dafür wird typischerweise der in Deutschland entwickelte Wechselstromstecker Typ 2 verwendet, der auch an öffentlichen Ladepunkten genutzt wird. Mit einer maximalen Leistung von 22 kW und einer maximalen Strombelastung von 63 Ampere (A) bietet das System nur ein begrenztes Potenzial für die Langstreckenmobilität [30].

Der combined charging system (CCS)-Stecker ist eine Weiterentwicklung des Wechselstrom Typ 2, bei der die Ladeleistung per Gleichstrom übertragen wird. Durch die Gleich-

stromübertragung ist es möglich, die gleichrichtende Elektronik außerhalb vom Fahrzeug zu verbauen, um Platz und Gewicht einzusparen. Die maximale Ladeleistung liegt für einen CCS-Stecker bei bis zu 50 kW [30].

Das europäische Hochleistungssystem charge de move (CHAdeMo) lädt mit einer maximalen Gleichstromladeleistung von 300 kW und ist somit die schnellste Option, den Akku aufzuladen. Auch wenn viele Standorte aus Kostengründen bisher nur 50 kW unterstützen, bildet das CHAdeMo Netz die Grundlage für die Langstreckenmobilität in Deutschland und Europa [30].

Bidirektionales Laden

Die Technologie des bidirektionalen Ladens ermöglicht sowohl die Leistungsaufnahme als auch die Leistungsabgabe eines Elektrofahrzeugs. Während in Deutschland erst im zweiten Quartal 2023 über die rechtlichen und technischen Anforderungen beraten wird [18], ist das bidirektionale Laden in Ländern wie Japan, China oder Norwegen bereits seit mehreren Jahren in Benutzung. Durch die Fähigkeit, Leistung an das Stromnetz zu liefern, entstehen verschiedene Anwendungsmöglichkeiten, die relevante Vorteile mit sich bringen. So kann ein Elektrofahrzeug anstelle eines Akku-Speichers (auch Heimspeicher) für eine autarke Stromversorgung für Häuser verwendet werden [28]. Wird die Betrachtung weiter gefasst, kann das lokale Stromnetz durch das bidirektionale Laden entlastet werden [28]. Elektrofahrzeuge können so, teure Speicheranlagen ersetzen und als Regelleistungsspeicher verwendet werden [28].

Regelleistungskraftwerke sind schnell schaltbare Kraftwerke, die Stromspitzen ausgleichen und so zur Netzstabilität beitragen [28].

2.2 politischer Rahmen

Immer mehr Menschen fordern einen klaren politischen Weg hin zu mehr Klimaschutz [20]. Grundlage für einen politischen Kurs ist nicht nur das Interesse der Bevölkerung, sondern auch das Pariser Abkommen von 2015 [7]. An der Klimakonferenz 'COP21' beteiligten sich 197 Staaten der Welt, um gemeinsam gegen die Klimakrise aktiv zu werden [7]. Vorrangiges Ziel des Abkommens ist eine Reduktion von ausgestoßenen Emissionen

der einzelnen Staaten durch selbst gesteckte Etappenziele. Eine Eindämmung der Erderwärmung soll damit auf einen Wert möglichst unter 1,5 °C, maximal unter 2 °C erreicht werden [7]. Alle fünf Jahre werden laut Abkommen neue ambitioniertere Ziele der Staaten gesteckt, während eine Kommission den bisherigen Kurs überprüft [7].

Im November 2016 verabschiedet die Bundesregierung den 'Klimaschutzplan 2050' [8], der den Fahrplan zu weniger Emissionsausstoß festlegt. Darin festgehalten sind die Emissionseinsparungsziele für die einzelnen Sektoren [8].

Von zentraler Bedeutung ist dabei, wie in Abbildung (2.2) zu sehen, der Energiewirtschaftssector, wohingegen die Einsparmöglichkeiten im Verkehrssektor deutlich geringer ausfallen. Trotzdem spielt auch der Verkehrssektor eine zentrale Rolle bei der Einhaltung der gesetzten Ziele.

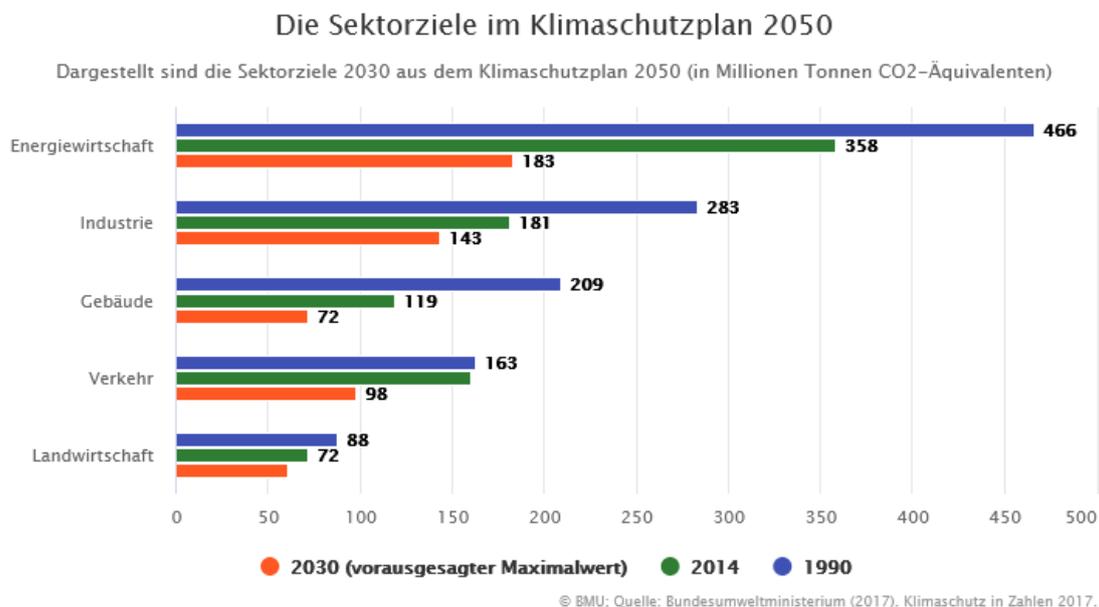


Abbildung 2.2: Sektorenziele nach Klimaschutzplan 2050

2.2.1 Einsparziele im Verkehrssektor

Der Verkehrssektor ist laut Umweltbundesamt für rund 20 % der deutschen CO₂-Äquivalent (CO₂e)-Emissionen verantwortlich [1]. Darüber hinaus ist der Verkehrssektor der einzige Sektor, der die Emissionen in den vergangenen 10 Jahren nicht mindern konnte. Es wurde

lediglich eine kurzzeitige Reduktion während der Covid-19 Pandemie 2020-2021 verzeichnet [1]. Auch die beschlossenen Änderungen des Verkehrsministerium zur Reduktion der Treibhausgasemission reichen laut Umweltbundesamt nicht aus, um dem Klimaschutzgesetz gerecht zu werden [1]. Bis 2030 entsteht so eine 41 Millionen Tonnen schwere Differenz zwischen den erreichten und den nötigen Reduktionen. Abbildung 2.3 zeigt eine Darstellung, erstellt vom Umweltbundesamt, die über die Pläne und Differenzen aufklärt.

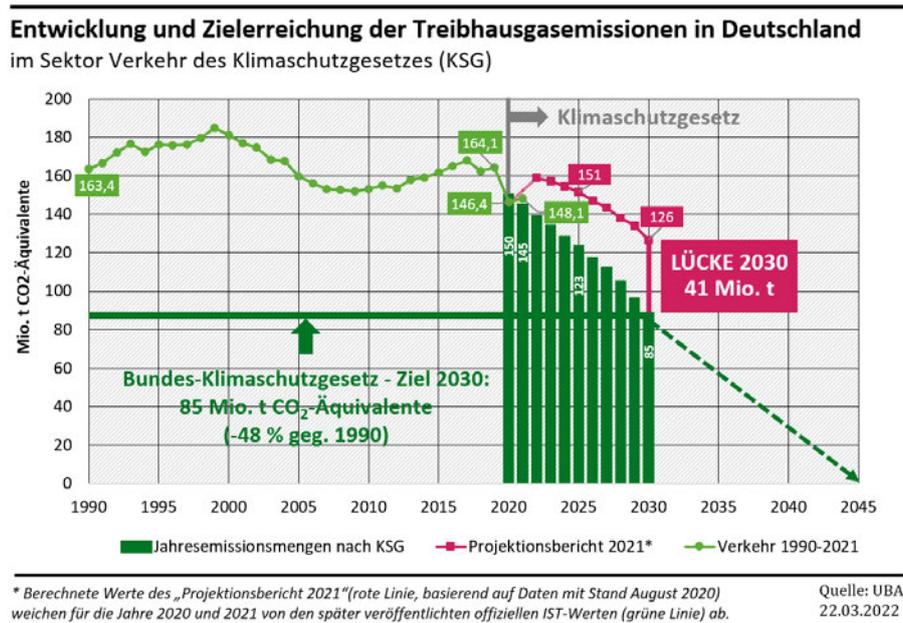


Abbildung 2.3: Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Deutschland und Ziele nach Klimaschutzgesetz

Der Verkehrssektor muss laut Bundesklimaschutzgesetz [11], bis 2030 eine CO₂e-Reduktion von 48 % im Vergleich zu 1990 erreichen. Demnach dürfen 2030 maximal 85 Millionen CO₂e ausgestoßen werden. Um das deutsche Ziel, bis 2045 klimaneutral zu werden, erreichen zu können, muss auch der Verkehrssektor massiv umstellen und ist verpflichtet, keine weiteren Emissionen ab dem Jahr 2045 mehr auszustoßen [49][11].

CO₂e ist eine Messeinheit zur Vereinheitlichung von klimaschädlichen Gasen. Abfallprodukte wie Methan oder Lachgas sind weitaus klimaschädlicher, als CO₂. Um diese Gase ebenfalls simpel in Rechnungen mit einzubeziehen, wurde das CO₂e entwickelt, in dem jedes Gas einem Faktor entspricht. So hat CO₂ den Faktor 1, Methan den Faktor 25 oder Stickstofffluorid den Faktor 17200 [54].

Im vom Verkehrsministerium veröffentlichten Reduktionsplan ist eine umfassende Liste an angestrebten Änderungen aufgenommen worden [21]. Für diese Ausarbeitung werden nur Punkte erörtert, die für die Elektromobilität relevant sind.

Instrument für die Emissionsreduktion sind dabei laut der Bundesregierung auch rein elektrisch fahrende Personenkraftwagen [21]. Diese werden seit 2019 mit einer Kaufprämie von bis zu 6.000€ bezuschusst. Zusätzlich entfällt die Kfz-Steuer [21]. So soll der Markthochlauf der Elektrofahrzeuge unterstützt werden, um bis 2030 zehn Millionen Elektrofahrzeugen eine Zulassung zu erteilen [21]. Weiter wird der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur staatlich gefördert. Die Fördersumme kann dabei bis zu 80 % der Baukosten decken um das Ziel der Inbetriebnahme von einer Millionen Ladepunkte bis 2030 zu erreichen [49]. Dabei handelt es sich um Ladepunkte auf öffentlichem Grund sowie auf betrieblichen Geländen. Zusätzlich hat die Bundesregierung 1.000 Schnellladestandorte ausgeschrieben, um auch die Langstreckenmobilität attraktiv zu machen [21].

Verschiedene Initiativen fordern die Reduktion der Gesamtzulassungszahlen in Deutschland [36]. Der bereits andauernde Umschwung hin zur klimaverträglicheren Mobilität soll weiter genutzt werden, um auch Verkehrsarten abseits des motorisierten Individualtransports zu unterstützen. Die Förderung der Bahninfrastruktur, des öffentlichen Nahverkehrs sowie der Fahrradinfrastruktur können die Reduktion der Emissionen besonders in Großstädten massiv vorantreiben [2][3].

3 Daten

3.1 Datenbeschaffung

Der Umstieg von Verbrennermotoren hin zur Elektromobilität ist ein aktuelles und viel diskutiertes Thema. Es existieren viele öffentliche zugängliche Berichterstattungen und Datensätze über den Markthochlauf und den aktuellen Stand des Umschwungs, die für diese Arbeit herangezogen werden können. Verschiedene Bundesämter publizieren aktuelle Zahlen wie zum Beispiel über Fahrzeugzulassungen, Ladepunkten, Einwohner*innenzahlen und Einkommensschlüssel der einzelnen Landkreise. Auf diesen offiziellen Daten beruhen große Teile dieser Thesis.

3.1.1 Problematiken in der Datenbeschaffung

Vergleichbarkeit

Die unterschiedlichen Publikationen der verschiedenen Bundesämtern entsprechen keiner einheitlichen Formatsrichtlinie. So wird das Ladepunktregister halbjährig, die Zulassungszahlen vierteljährlich und die Marktstammdaten der Kraftwerke täglich aktualisiert. Darüber hinaus sind die unterschiedlichen Datensätze teils schwer miteinander vergleichbar. Während bei Ladepunkten und Kraftwerken das Inbetriebnahmedatum mit veröffentlicht wird, sind bei den Zulassungs- oder Einkommenszahlen nur Gesamtwerte verfügbar.

Weiter ist problematisch, dass Elektrofahrzeuge von der Zulassungsstelle vor 2018 in die Kategorie der 'alternativen Antriebe' gezählt wurde. In dieser Kategorie sind unter anderen auch Wankelmotor, LPG und Wasserstofffahrzeuge mit eingeschlossen, wodurch diese Daten für diese Ausarbeitung unbrauchbar werden.

Datenzuordnung

Der Versuch, die Landkreise über ihre Namen einander zuzuordnen, scheiterte an Schreibfehlern, unterschiedlichen Benennungen und der Zusammenfassung von kleineren Landkreisgruppen. Alternativ verwendet wird der Amtlicher Regionalschlüssel (ARS), der aus dem Landesschlüssel, der Nummer des Regierungsbezirks und der Kreisnummer zusammen gesetzt wird. Diese Kennnummer ist in den meisten hier verwendeten Publikationen wieder zu finden, wobei nur das Ladepunktregister [17] über die Postleitzahlen zugeordnet werden muss.

Eine Anfrage an das Statistische Bundesamt ergab, dass eine Kombination aus zwei Tabellen zur Herstellung des Bezugs zwischen Postleitzahlen und dem ARS verwendet werden muss. Durch die Lizenzierung der Postleitzahlen von kreisfreien Städten durch die Deutsche Post ist es den Bundesämtern nicht gestattet, Tabellen mit entsprechenden Zuordnungen zu veröffentlichen. Die vom Statistischen Bundesamt empfohlene Publikation über das Bruttoeinkommen der einzelnen Landkreise kann für die Zuordnung der Postleitzahlen zu entsprechendem ARS verwendet werden. In dieser Tabelle fehlen jedoch die kreisfreien Städte, deren Postleitzahlen und ARS in dieser Ausarbeitung von einer aus Open Street Map exportierten Quelle ergänzt werden. So ist es möglich, eine Zuordnungsrate von 98 % bei 361 Landkreisen zu erreichen.

Fehler in Daten

Auch wenn Bundesämter als seriöse Quelle einzustufen sind, müssen die Datensätze trotzdem mit Vorsicht verwendet werden. So sind im Ladepunktregister vermehrt Rechtschreibfehler in den Landkreisnamen zu finden, teils werden Ladepunkte mit 15 kW als Schnellladepunkte deklariert oder es sind falsche Einheiten benutzt worden, sodass ein Ladepunkt unrealistisch hohe Laderaten bietet.

Recherche

Auffällig bei der Kontextrecherche sind Publikationen der Bundesregierung, die nur wenige Monate alt sind und weiterführende Querverweise zu ähnlichen Artikeln beinhalten, jedoch auf ungültigen Links beruhen.

3.2 Datenpräsentation

Die Datenaufarbeitung wird weitestgehend in eigens für diese Ausarbeitung geschriebene Programme durchgeführt. Die gesammelten und aufbereiteten Datenreihen werden auf unterschiedliche Art präsentiert, die im Folgenden erläutert werden.

3.2.1 Korrelationsberechnung

Korrelationen werden genutzt, um einen direkten Zusammenhang zwischen zwei Datenreihen zu errechnen. Dabei werden die Daten gegeneinander verrechnet oder aufeinander aufgetragen. In dieser Ausarbeitung werden Pearsons Korrelationsuntersuchungen durchgeführt, die lineare Korrelationen aufzeigen können. Ergebnis einer solchen Untersuchung ist der Korrelationskoeffizient r der zwischen minus eins und plus eins ausschlägt. Dabei ist der Koeffizient r wie folgend zu interpretieren:

- $0,0 \leq r \leq 0,2 \Rightarrow$ kein bis geringer linearer Zusammenhang
- $0,2 < r \leq 0,5 \Rightarrow$ schwacher bis mäßiger linearer Zusammenhang
- $0,5 < r \leq 0,8 \Rightarrow$ deutlicher linearer Zusammenhang
- $0,8 < r \leq 1,0 \Rightarrow$ hoher bis perfekter linearer Zusammenhang

Die in dieser Ausarbeitung verwendeten Datensätze beinhalten viele Extremwerte einzelner Landkreise. Um den Einfluss dieser auf die Korrelationsberechnungen zu reduzieren, werden stark ausfallende Datenpunkte per Winsorizing abgeschwächt. In dieser Ausarbeitung werden jeweils fünf Prozent der höchsten und niedrigsten Werte an den nächststärken / schwächsten Datenpunkt angeglichen. Somit behalten die ausreißenden Landkreise weiterhin ihren Einfluss, manipulieren dabei jedoch das Ergebnis weniger.

3.2.2 Geografische Darstellung

Die gesammelten und aufgearbeiteten Daten werden in unterschiedlicher Weise veranschaulicht und dargestellt. Als primäre Art der Visualisierung wird das Auftragen der Daten auf eine Choroplethenkarte verwendet. Sie bietet eine einfache Veranschaulichung vieler Datenpunkte, die schnell miteinander verglichen werden können, indem eine farbliche Codierung Aufschluss über ihren zu zeigenden Wert gibt. Mit dieser Bereitstellung

der Daten wird außerdem ermöglicht, geografische Unterschiede zu erkennen und nachfolgend tiefergehend zu betrachten.

In dieser Ausarbeitung wird eine Farbcodierung von weiß über hellblau nach lila genutzt. Die Visualisierungen arbeiten außerdem mit einem Überhang, der an die Daten angepasst wird. Dadurch wird verhindert, dass ein ausreißender Landkreis mit sehr hohen Zahlenwerten die Skala verschiebt und Details in schwächeren Landkreisen verloren gehen.

3.2.3 Verlaufsdarstellung

Der Trendverlauf, also der Verlauf von gegebenen Datenpunkten über mehrere Jahre, wird auf unterschiedliche Arten dargestellt. Eine Veranschaulichung durch Boxplot Abbildungen ermöglicht die genauere Betrachtung des Durchschnitts mehrerer Landkreise in einem Jahr. Jedes Jahr wird dabei durch eine Box dargestellt, die die Datenstreuung der Landkreise aufzeigt.

Darüber hinaus werden Liniengraphen verwendet, um mehrere Verläufe nebeneinander zu präsentieren. Besonders passend wird diese Veranschaulichung in Sektion 5.4 genutzt, um die Entwicklung der vergangenen Jahre und der kommenden Jahre prägnant darzustellen.

3.3 Implementierung

Zur Programmierung der datenverarbeitenden und visualisierenden Programme wurde für diese Ausarbeitung Python 3.9.8 gewählt. Anders als andere Programmiersprachen wie Java oder C, bietet Python sowohl eine komfortable Benutzung als auch einen großen Umfang an eigenen Libraries zur Datenverarbeitung als auch für die Visualisierung. Als Programmierumgebung wurde zudem Visual Studio Code 1.73.1 in Kombination mit dem Jupyter 4.11.1 Format verwendet. Eine nahtlose Anbindung des Git Repositories, als auch die visuell ansprechende Einarbeitung des Jupyter Formats sind wesentliche Faktoren für die Wahl der Programmierumgebung gewesen.

Das Jupyter Format verzichtet auf die Grundstruktur eines in Python geschriebenen Programmes. So ist es möglich, schnell und unkompliziert kleine Programmstücke zu implementieren, die unabhängig voneinander ausgeführt werden können. Das ist besonders in der datenverarbeitenden Programmierung von großem Vorteil, weil Fehler schnell-

ler identifiziert und behoben werden können, ohne dass die Datenverarbeitung erneut durchlaufen werden muss.

Die Libraries Pandas 1.5.0 und numpy 1.23.3 übernehmen die wesentlichen Datenstruktur- und Rechnungsaufgaben. Per Einlesefunktion werden die Datentabellen in einem Dataframe gespeichert und anschließend verarbeitet. Dataframes erleichtern die Handhabung von großen Datenmengen durch das Format eines zwei dimensional Arrays erheblich. Durch die Textbenennung der Spalten ist die Bedienung simpler als bei alternativen Strukturen.

Als Visualisierungstool wurde die Folium 0.12.1 Bibliothek aufgrund von einem großen Umfang sowie der geringen Komplexität der Funktionen ausgewählt. Genutzt wird in den Visualisierungen eine Choroplethkarte, die Datensätze mit geografischen Grenzen verbindet und entsprechend ihrem Skalenwert einfärbt. Folium bietet eine eigene Funktion zur Erstellung von Choroplethkarten an.

Als Quelle für die geografischen Grenzen wird die Funktion mit einer GeoJson Datei [10] bespeist, die vom Bundesamt für Kartografie und Geodäsie bereitgestellt wird. Entsprechende Grenzen werden den Landkreisen per ARS und Landkreisnamen zugeordnet. Über der ARS werden in der Folium Choroplethfunktion die Werte zugeordnet.

Für Skalen mit personalisierten Farben und Überhang benötigt es zusätzliche Module wie die Bibliothek Banca 0.5.0, die sich exklusiv um den stufenfreien Farbverlauf der Skalawerte kümmert.

Aufgrund der Abwesenheit einer Bildspeicherfunktion in Foilum, wird eine weitere Bibliothek dafür verwendet. Die Pillow 9.2.0 Library bietet das Speichern von Bildern aus HTML Seiten an. Dabei wird auf ein Geckodriver zurückgegriffen der die zuständigen Unterfunktionen bietet und abseits der Python Programmierung arbeitet. Durch das Abspeichern einer gesamten HTML Seite ergibt sich der Nachteil des 16:9 Format, in dem über die geografischen Grenzen Deutschlands auch große Teile der benachbarten Länder abgebildet werden.

Zur Errechnung und Darstellung der Korrelationswerte wird die seaborn 0.12.0 Bibliothek verwendet. Eine einfache Handhabung bieten schnelle Vorteile gegenüber anderen Möglichkeiten der Errechnung und Darstellung. Seaborn ist anders als weitere Python

Bibliotheken in der Lage, eine Winsorizing Transformation durchzuführen, die für diese Ausarbeitung relevant ist. Darüber hinaus kann über die `lplot` Funktion eine Trendlinie eingefügt werden, die rein Visuell einen Eindruck über den Korrelationskoeffizienten r gibt.

Die Erstellung der Trendlinien in Sektion 5.4 basieren auf Datensätzen, die per Python Programmierung aufgearbeitet wurden sind, jedoch in Excel 2209 für eine anschaulichere Darstellung in Grafiken umgewandelt worden. Excel bietet im Vergleich zu gängigen Python Libraries die Möglichkeit, schlichte und übersichtliche Abbildungen schnell und einfach zu erstellen.

4 Ergebnisse der Datenanalyse

Um einen klaren Überblick über den aktuellen Stand des Markthochlaufs in Deutschland zu erlangen, werden folgend zuerst unterschiedliche essenzielle Zahlen präsentiert. Aufgeschlüsselt sind alle Daten auf die deutschen Landkreise. Die in Tabellenform dargestellten Ergebnisse enthalten immer die Zahlenwerte der Landkreise mit den zehn höchsten und niedrigsten fünf Werten.

4.1 Aktueller Stand der Landkreise

Grundlage für die Berechnungen ist eine Datei des Bundesamts für Kartografie und Geodäsie [10], in der sowohl die genauen Grenzen der 361 Landkreise als auch ihre Namen und ARS verzeichnet sind.

4.1.1 Absolute Zahlen zu Ladepunkten und Elektrofahrzeugzulassungen

Gestartet wird mit Abbildung 4.1, in der die Verteilung der insgesamt 56.357 öffentlichen Ladepunkte auf die Landkreise aufgeschlüsselt sind. In genutzter Datenquelle [17] sind nur Ladepunkte aufgelistet, deren Betreiber*innen einer Veröffentlichung der Daten zugestimmt und den Registrierungsprozess vollendet haben. Somit ist davon auszugehen, dass in Deutschland mehr Ladepunkte in Betrieb sind als hier aufgezeigt werden.

Entsprechende Zahlenwerte für die Verteilung der öffentlichen Ladepunkte bietet Tabelle 4.1, in der die zehn Landkreise mit den meisten Ladepunkten sowie den fünf Landkreisen mit der niedrigsten Anzahl aufgelistet sind.

Eine hohe Anzahl an Ladepunkten ist besonders in Großstädten wie Berlin (1.847 Ladepunkte), Hamburg (1.580 Ladepunkte) und München (1.475 Ladepunkte) zu finden. Auffällig ist zwischen den Großstädten der kleinere Landkreis Nordfriesland, der mit

4 Ergebnisse der Datenanalyse

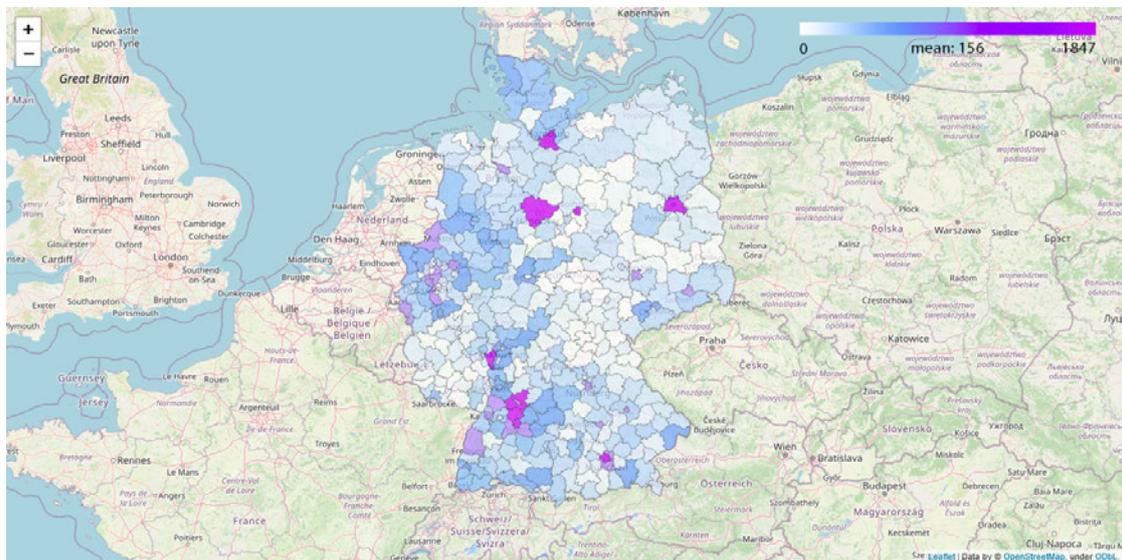


Abbildung 4.1: absolute Ladepunktzahl

| Landkreis | Ladepunkte |
|---------------------|------------|
| Berlin | 1847 |
| Hamburg | 1580 |
| München Stadt | 1475 |
| Nordfriesland | 1473 |
| Dithmarschen | 1168 |
| Hannover | 1114 |
| Stuttgart | 1106 |
| Wolfsburg | 992 |
| Groß-Gerau | 952 |
| Saale-Holzland | 951 |
| — | — |
| Lichtenfels | 25 |
| Neunkirchen | 24 |
| Mülheim an der Ruhr | 22 |
| Lüchow-Dannenberg | 21 |
| Offenbach am Main | 17 |

Tabelle 4.1: Absolute Ladepunktzahl

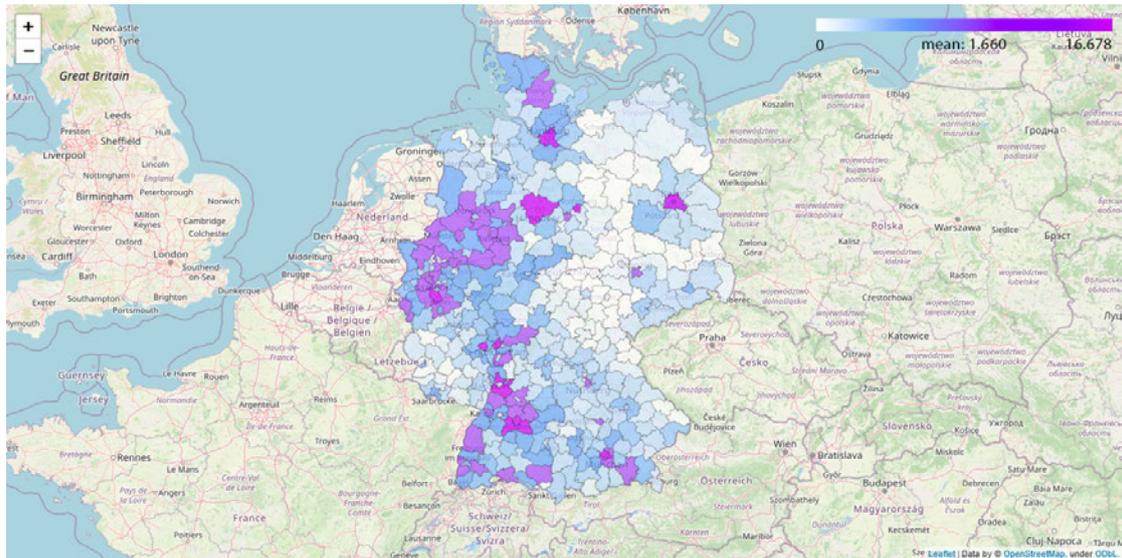


Abbildung 4.2: absolute Anzahl der Elektrofahrzeugzulassungen

1.473 Ladepunkten nur knapp unter der Stadt München liegt. Für Großstädte untypisch niedrige Zahlen sind derweil im Rhein-Ruhr-Gebiet zu finden, in dem Köln (509 Ladepunkte), Essen (514 Ladepunkte) und Düsseldorf (465 Ladepunkte) angesiedelt sind. Eine leichte Benachteiligung der neuen Bundesländer ist erkennbar.

In Abbildung 4.2 wird die absolute Anzahl der Elektrofahrzeugzulassungen der Landkreise aufgezeigt. Verzeichnet sind in der Quelle vom Straßenverkehrsamt [24] zur Mitte 2022, 593.766 Elektrofahrzeuge, womit die rein elektrisch angetriebenen Fahrzeuge einen Gesamtanteil von 1,3 % der in Deutschland zugelassenen Automobile ausmacht.

Tabelle 4.2 listet die Landkreise mit den zehn höchsten und niedrigsten fünf Elektrofahrzeugzulassungen auf.

Wie bei der absoluten Anzahl der Ladepunkte, stechen deutsche Großstädte auch bei den absoluten Elektrofahrzeugzulassungen hervor. Berlin (16.678 E-Zulassungen) erneut an Platz eins. Mit geringem Abstand folgend: die Stadt München (15.529 E-Zulassungen) und Hamburg (13.078 E-Zulassungen). Sowohl Stuttgart (8.397 E-Zulassungen) als auch Wolfsburg (7.112 E-Zulassungen) profitieren als kleinere Landkreise von den vor Ort ansässigen Automobilherstellern Mercedes-Benz, Porsche sowie Volkswagen. Ebenfalls im mittleren Bereich der Skala angesiedelt sind an Stuttgart angrenzende Landkreise.

| Landkreis | Elektrofahrzeugzulassungen |
|-----------------------|----------------------------|
| Berlin | 16678 |
| München Stadt | 15529 |
| Hamburg | 13078 |
| Stuttgart | 8397 |
| Wiesbaden | 8309 |
| Hannover | 7773 |
| Wolfsburg | 7112 |
| Frankfurt am Main | 6647 |
| Böblingen | 6558 |
| — | — |
| Kyffhäuser | 235 |
| Oberspreewald-Lausitz | 233 |
| Sömmerda | 221 |
| Hildburghausen | 206 |
| Sonneberg | 194 |

Tabelle 4.2: absolute Anzahl der Elektrofahrzeugzulassungen

Darüber hinaus sind viele Landkreise im Rhein-Ruhr-Gebiet im mittleren Bereich der Skala vertreten.

4.1.2 Bezug der Datenreihen auf Einwohner*innen

Wird der Kontext erweitert, indem unterschiedliche Parameter miteinander kombiniert werden, lassen sich folgende Abbildungen und Zahlenwerte ausarbeiten. Abbildung 4.3 zeigt das Verhältnis der Landkreise zwischen Ladepunkten und 100.000 Einwohner*innen.

Zahlenwerte vom Verhältnis zwischen Ladepunkten und Einwohner*innen, präsentiert Tabelle 4.3. Aufgelistet werden die zehn am besten und fünf schlechtesten abschneidenden Landkreise.

Mit großem Abstand steht der Landkreis Wolfsburg mit einem Verhältnis von 801 vor Ingolstadt (Verhältnis von 181) und Groß Gerau (Verhältnis von 345). Sowohl die Wirtschaftsleistung von Wolfsburg, Ingolstadt, Groß-Gerau, Heilbronn als auch von Regensburg ist im Wesentlichen mit der ansässigen Automobilindustrie verknüpft.

In der regionalen Betrachtung ist eine Abstufung von Süden nach Norden erkennbar. Darüber hinaus konnte eine starke lineare Korrelation festgestellt werden. Mit einem Kor-

4 Ergebnisse der Datenanalyse

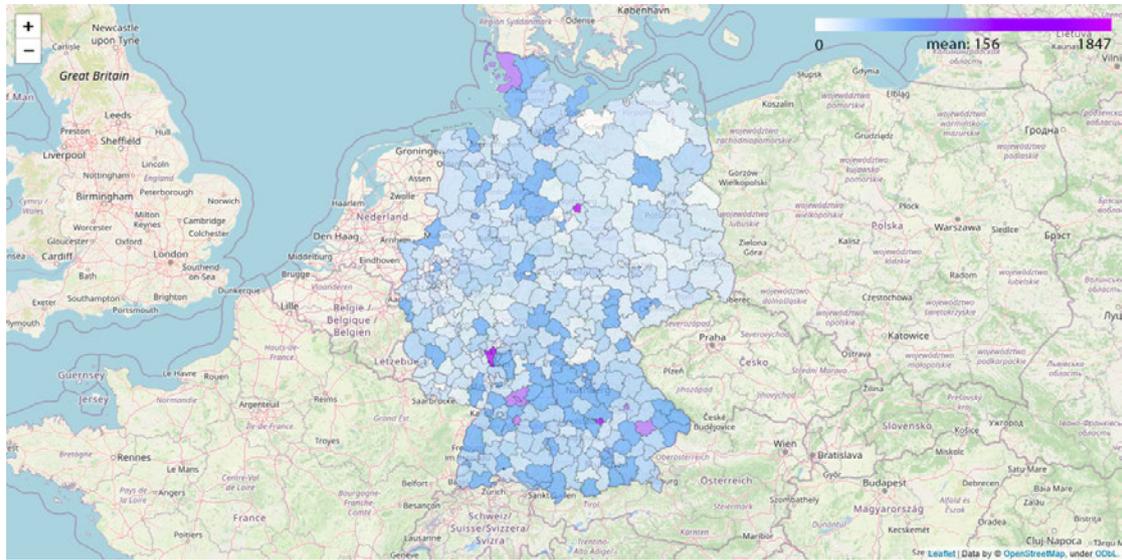


Abbildung 4.3: Verhältnis von Elektrofahrzeugzulassungen pro 100.000 Einwohner*innen

| Landkreis | Ladepunkte | Einwohner | Verhältnis |
|------------------------------------|------------|-----------|------------|
| Wolfsburg | 992 | 123840 | 801,03 |
| Ingolstadt | 522 | 136952 | 381,16 |
| Groß-Gerau | 952 | 275807 | 345,17 |
| Heilbronn | 344 | 126458 | 272,03 |
| Regensburg | 380 | 152270 | 249,56 |
| Nordfriesland | 1473 | 672862 | 218,92 |
| Heilbronn | 634 | 346363 | 183,04 |
| Stuttgart | 1106 | 630305 | 175,47 |
| Dithmarschen | 1168 | 671121 | 174,04 |
| Dingolfing-Landau | 163 | 97244 | 167,62 |
| ----- | | | |
| Birkenfeld | 124 | 912865 | 13,58 |
| Offenbach am Main | 17 | 130892 | 12,99 |
| Mülheim an der Ruhr | 22 | 170921 | 12,87 |
| Südwestpfalz/Pirmasens/Zweibrücken | 55 | 518695 | 10,60 |
| Donnersberg | 35 | 370891 | 9,44 |

Tabelle 4.3: Ladepunkte, Einwohner*innen und das Verhältnis der beiden Datenreihen

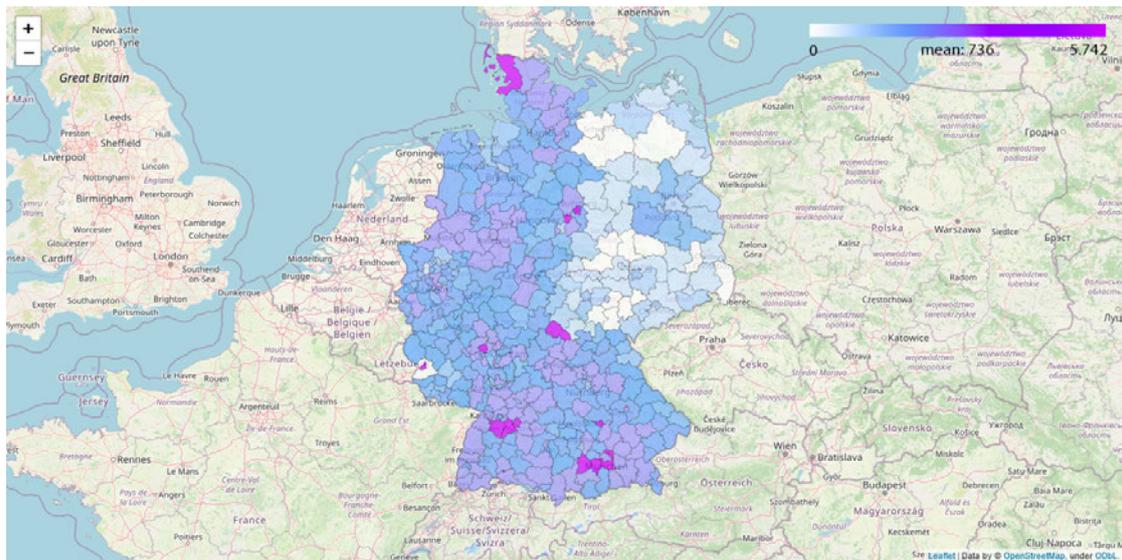


Abbildung 4.4: Verhältnis von Ladepunkten pro 100.000 Einwohner*innen

relationswert von $r = 0,767$ gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen der Anzahl der Einwohner*innen und der Anzahl an Ladepunkten in einem Landkreis.

Als passendes Pendant ist in Abbildung 4.4 das Verhältnis von Elektrofahrzeugzulassungen je 100.000 Einwohner*innen aufgetragen.

Die folgende Tabelle 4.4 listet die besten zehn und schlechtesten fünf Landkreise im Bezug auf ihr Verhältnis zwischen Einwohner*innen und Elektrofahrzeugzulassungen auf.

In dieser Betrachtung sind kleinere Landkreise im wesentlichen Vorreiter. So ist Wolfsburg (5.742 Elektrofahrzeuge pro 100.000 Einwohner*innen) erneut an erster Stelle mit weitem Abstand vor Wiesbaden (2.982 Elektrofahrzeuge pro 100.000 Einwohner*innen) und Ingolstadt (2.374 Elektrofahrzeuge pro 100.000 Einwohner*innen). Besonders auffällig ist eine klare Grenze der neuen Bundesländer im östlichen Teil Deutschlands. Alle Landkreise der neuen Bundesländer sind im unteren Bereich der Skala angesiedelt.

Es konnte nur eine schwache Korrelation zwischen den beiden Datenreihen festgestellt werden. Der Korrelationskoeffizient liegt bei $r = 0,335$.

| Landkreis | E-Zulassungen | Einwohner*innen | Verhältnis |
|---------------------|---------------|-----------------|------------|
| Wolfsburg | 7112 | 123840 | 5742,89 |
| Wiesbaden | 8309 | 278609 | 2982,32 |
| Ingolstadt | 3252 | 136952 | 2374,55 |
| Trier | 2241 | 110674 | 2024,87 |
| Braunschweig | 4823 | 248561 | 1940,37 |
| Böblingen | 6558 | 392898 | 1669,14 |
| München Land | 5241 | 349685 | 1498,78 |
| Starnberg | 1999 | 136610 | 1463,30 |
| Stuttgart | 8397 | 630305 | 1332,21 |
| Calw | 1897 | 160149 | 1184,52 |
| Uckermark | 340 | 605549 | 56,15 |
| Eichsfeld | 509 | 1050533 | 48,45 |
| Eifel Bitburg-Prüm | 729 | 1506743 | 48,38 |
| Birkenfeld | 393 | 912865 | 43,05 |
| Ludwigslust-Parchim | 588 | 1378215 | 42,66 |

Tabelle 4.4: E-Zulassungen, Einwohner*innen und das Verhältnis der beiden Datenreihen

4.1.3 Verhältnis von Ladepunkten zu Elektrofahrzeugen

Häufig genutzt wird in diversen Diskussionen und Analysen das Verhältnis von Elektrofahrzeugen und Ladepunkten. Dieses Verhältnis wird verwendet, um den Ausbau entsprechender Regionen zu bewerten. Abbildung 4.5 zeigt entsprechendes Verhältnis zwischen Elektrofahrzeugzulassungen und Ladepunkten. Diese Werte der Abbildung und Tabelle sind so errechnet worden, dass ein hoher Zahlenwert für ein gutes Verhältnis steht.

Tabelle 4.5 zeigt entsprechend die Verhältnisse der besten zehn und schlechtesten fünf Landkreise.

Bei dieser Berechnung sind einige der in den neuen Bundesländern gelegenen Landkreise im oberen Bereich der Skala wieder zu finden. Erneut vertreten sind Groß Gerau, Heilbronn und Regensburg, die eine Ausnahme zu den anderen Landkreisen bilden. In Tabelle 4.5 finden besonders kleine Landkreise mit durchschnittlich vielen Ladepunkten und wenigen Elektrofahrzeugzulassungen Platz. Großstädte sind hingegen nicht vertreten und markieren im Vergleich den unteren Bereich der Landkreise.

Mit einem Korrelationswert von $r = 0,81$ ist eine hohe lineare Korrelation erkennbar. In Landkreisen mit vielen Elektrofahrzeugzulassungen wurde der Infrastrukturausbau be-

4 Ergebnisse der Datenanalyse

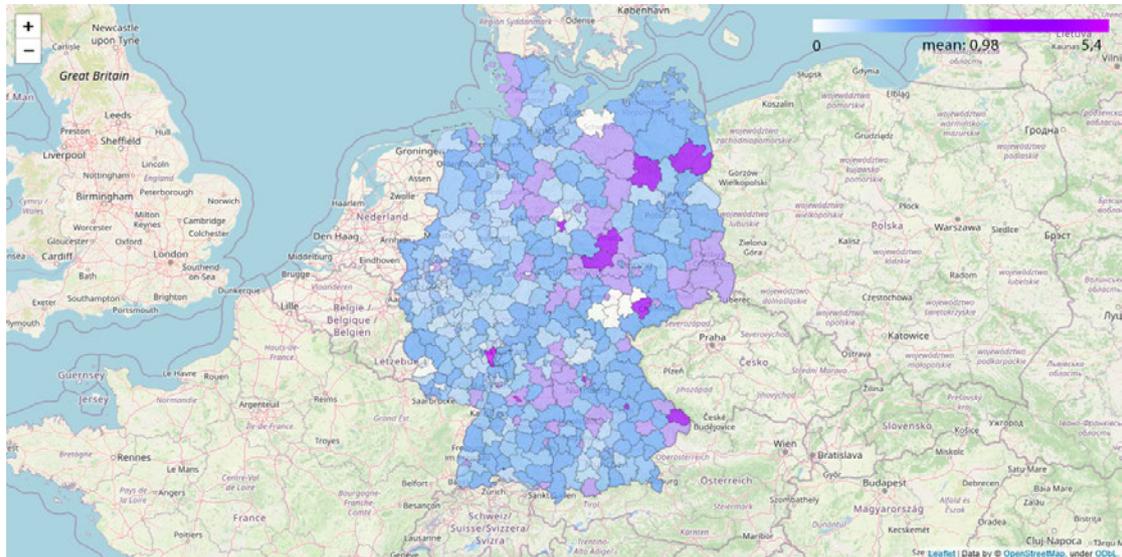


Abbildung 4.5: Ladepunktanzahl pro Elektrofahrzeugzulassung

| Landkreis | Elektrofahrzeugzulassung (E-Zulassung) | Ladepunkte | Verhältnis |
|---------------------|--|------------|------------|
| Groß-Gerau | 1762 | 952 | 0,54 |
| Heilbronn | 783 | 344 | 0,44 |
| Ostprignitz-Ruppin | 312 | 90 | 0,29 |
| Regensburg | 1367 | 380 | 0,28 |
| Uckermark | 340 | 93 | 0,27 |
| Freyung-Grafenau | 449 | 114 | 0,25 |
| Salzgitter | 478 | 115 | 0,24 |
| Salzland | 469 | 110 | 0,23 |
| Zwickau | 1420 | 306 | 0,22 |
| Fürth | 800 | 173 | 0,22 |
| _____ | _____ | _____ | _____ |
| Braunschweig | 4823 | 136 | 0,03 |
| Wiesbaden | 8309 | 214 | 0,03 |
| Offenbach am Main | 732 | 17 | 0,02 |
| Peine | 1088 | 27 | 0,02 |
| Mülheim an der Ruhr | 1183 | 22 | 0,02 |

Tabelle 4.5: E-Zulassungen, Ladepunkte und das Verhältnis der beiden Datenreihen

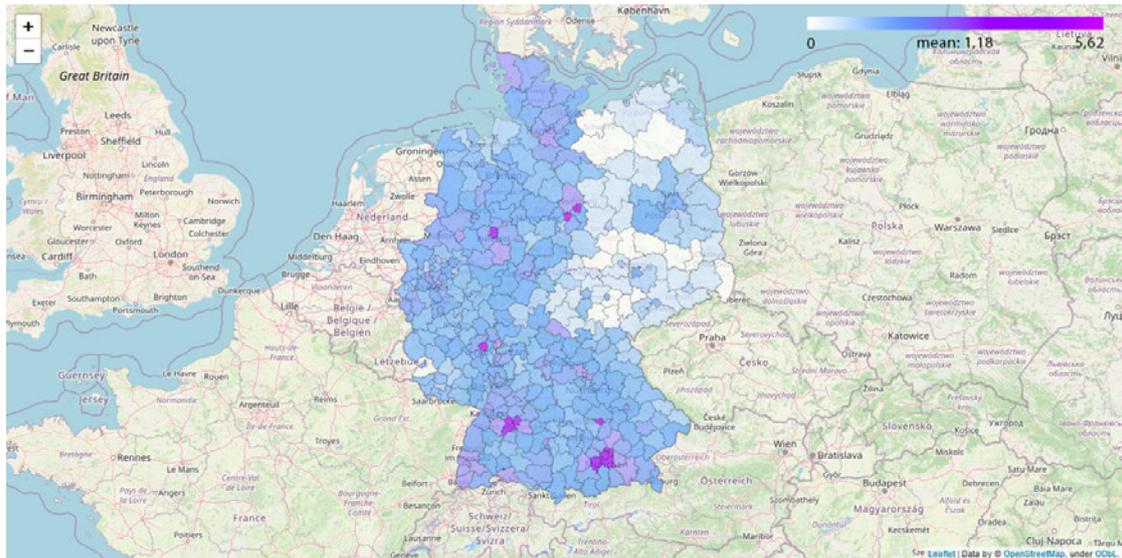


Abbildung 4.6: prozentualer Anteil der Elektrofahrzeugzulassungen

sonders vorangetrieben. Ob die Elektrofahrzeuge zu einem schnelleren Ausbau oder viele Ladepunkte für eine höhere Akzeptanz gesorgt haben, ist nicht erkennbar.

4.1.4 Anteil der Elektrofahrzeuge

Verschiedene Klimaschutzszenarien beinhalten massive Einsparungen im Verkehrssektor. Ein wesentlicher Teil dieser Szenarien geht von einem Rückgang der Verbrennermotoren hin zu Elektromotoren aus. Folgende Abbildung 4.6 zeigt den Anteil an Elektrofahrzeugen in den einzelnen Landkreisen.

Die Verhältniszahlenwerte der Abbildung wie der Tabelle 4.6 sind in Prozent aufgeschlüsselt.

Außer bei an Berlin angrenzenden Landkreisen sticht die Grenze der im geografischen Osten liegenden Landkreise heraus. Wolfsburg steht auf Platz eins der besten Verhältnisse mit einem Wert von 5,6 %. Weitere Spitzenlandkreise sind Wiesbaden (4,3 %), Ingolstadt (3,6%), Braunschweig (3,3 %) und Stuttgart (2,8 %).

Ein hoher, nahezu perfekter Zusammenhang zwischen hohen Fahrzeugzulassungen und Elektrofahrzeugzulassungen kann dank einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,874$ aufgezeigt werden. Desto mehr Fahrzeuge in einem Landkreis angemeldet werden, desto mehr Elektrofahrzeuge werden zugelassen.

| Landkreis | E-Zulassung | Gesamtzulassungen | Verhältnis |
|-----------------------------|-------------|-------------------|------------|
| Wolfsburg | 7112 | 126444 | 5,62 |
| Wiesbaden | 8309 | 191628 | 4,34 |
| Ingolstadt | 3252 | 96916 | 3,36 |
| Braunschweig | 4823 | 145129 | 3,32 |
| Stuttgart | 8397 | 302792 | 2,77 |
| Böblingen | 6558 | 257554 | 2,55 |
| Starnberg | 1999 | 89156 | 2,24 |
| München | 5241 | 238718 | 2,20 |
| München Stadt | 15529 | 744826 | 2,08 |
| Bielefeld | 3589 | 176926 | 2,03 |
| ----- | ----- | ----- | ----- |
| Salzland | 469 | 105452 | 0,44 |
| Elbe-Elster | 281 | 63445 | 0,44 |
| Mecklenburgische Seenplatte | 642 | 146616 | 0,44 |
| Görlitz | 581 | 143721 | 0,40 |
| Oberspreewald-Lausitz | 233 | 65553 | 0,36 |

Tabelle 4.6: Zulassungen, E-Zulassungen, prozentualer Anteil der Elektrofahrzeugzulassung

4.2 Finanzielle Unterschiede der Landkreise im Bezug auf die Elektromobilität

Elektrofahrzeuge sind trotz starker Subventionierung der Bundesregierung in der Anschaffung immer noch teurer als konventionelle Verbrennerfahrzeuge [5]. Somit ist die Frage der Finanzierung ein wesentlicher Faktor bei der Entscheidung der Antriebsart. Folgend wird betrachtet, welche Zusammenhänge zwischen dem Einkommen der Bevölkerung und der Infrastruktur sowie den Zulassungszahlen bestehen.

4.2.1 Einkommensstruktur

Die finanzielle Kaufkraft hängt maßgeblich vom durchschnittlichen Bruttoeinkommen eines Landkreises ab. Für die weitere Analyse wurde zuerst das durchschnittliche Bruttoeinkommen aller Landkreise in Abbildung 4.7 aufgetragen.

Die deutschen Landkreise haben eine große Variabilität in der Höhe des durchschnittlichen Bruttoeinkommens. So verdienen die Menschen in Deutschland durchschnittlich

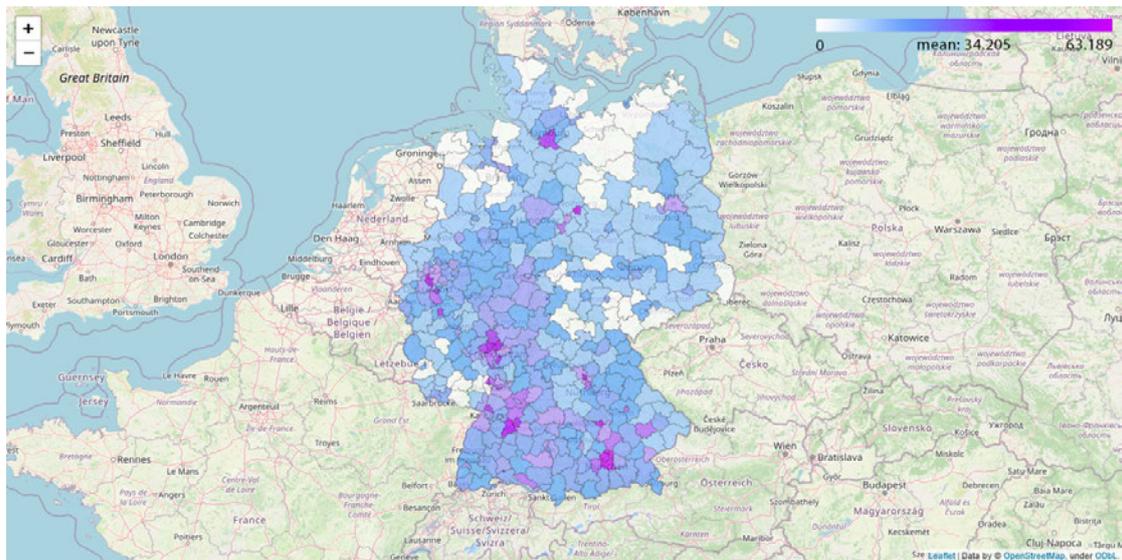


Abbildung 4.7: durchschnittliches Bruttoeinkommen der Landkreisbevölkerung

4.100€ brutto im Monat [46]. Tabelle 4.7 zeigt die Aufteilung auf die Landkreise mit Zahlenwerten.

Wolfsburg (63.189 €) als Landkreis mit den höchsten Bruttolöhnen hat einen klaren Abstand vor den restlichen Landkreisen. Der geografische Süden-Westen Deutschlands hat ein höheres Einkommenslevel als der Nord/Osten. Besonders Großstädte wie München (50.609 €) haben einen erhöhten Wert.

4.2.2 Bezug der Datenreihen auf das durchschnittliche Bruttoeinkommen

Folgend sind in Abbildung 4.8 und Abbildung 4.9 die durchschnittlichen Einkommen der Landkreisbevölkerung in Bezug gesetzt. Abbildung 4.8 zeigt das Verhältnis der durchschnittlichen Einkommen zu Elektrofahrzeugzulassungen. Die benutzten E-Zulassungs- sowie Ladepunktzahlen wurden zusätzlich auf die Einwohner*innen normiert. Ein hoher Wert symbolisiert eine hohe Elektrofahrzeuganzahl bei geringem Durchschnittseinkommen. Ein Wert gegen 'Null' dagegen wenige Elektrofahrzeugzulassungen trotz einem hohem Durchschnittseinkommen.

Tabelle 4.8 listet sowohl Landkreise mit den höchsten zehn sowie niedrigsten fünf Verhältniswerten auf.

| Landkreis | durchschnittliches Bruttoeinkommen |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Wolfsburg | 63189 |
| Ingolstadt | 52640 |
| München | 51631 |
| München Stadt | 50609 |
| Erlangen | 50281 |
| Böblingen | 50244 |
| Frankfurt am Main | 49639 |
| Stuttgart | 49375 |
| Ludwigshafen am Rhein | 48949 |
| <hr/> | |
| Aurich/Emden | 27973 |
| Trier-Saarburg | 27949 |
| Wittmund | 27659 |
| Plön | 27532 |
| Südwestpfalz/Pirmasens/Zweibrücken | 26936 |

Tabelle 4.7: durchschnittliches Bruttoeinkommen

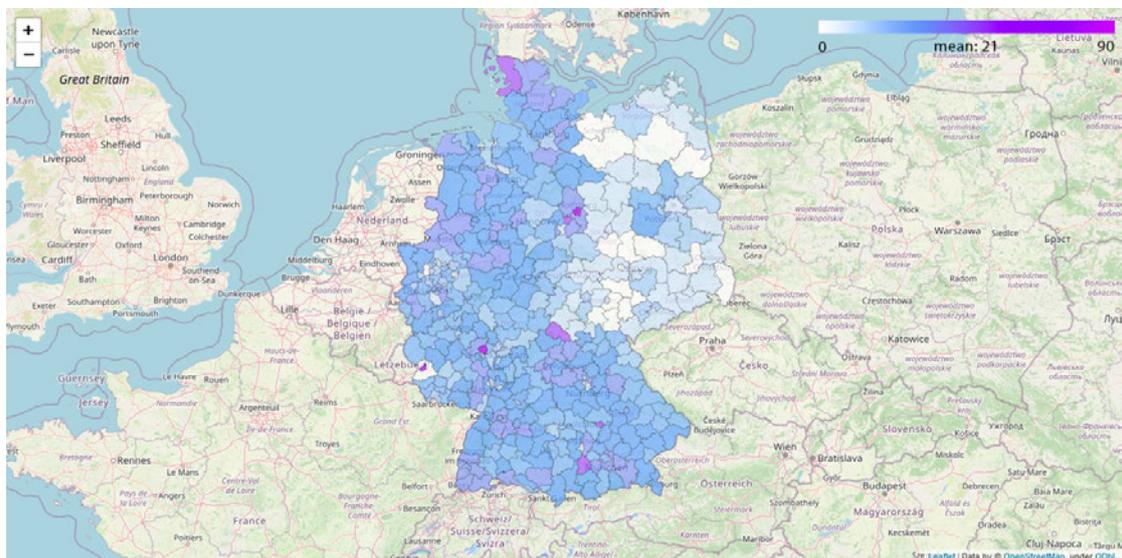


Abbildung 4.8: Verhältnis von E-Zulassungen im Bezug auf das durchschnittliche Bruttoeinkommen

| Landkreis | Durchschnittliches Bruttoeinkommen | E-Zulassung | Verhältnis |
|---------------------|---------------------------------------|-------------|------------|
| Wolfsburg | 63189 | 7112 | 90,884 |
| Wiesbaden | 43553 | 8309 | 68,476 |
| Trier | 34025 | 2241 | 59,511 |
| Braunschweig | 39932 | 4823 | 48,592 |
| Ingolstadt | 52640 | 3252 | 45,109 |
| Calw | 34355 | 1897 | 34,479 |
| Starnberg | 42842 | 1999 | 34,156 |
| Böblingen | 50244 | 6558 | 33,221 |
| Paderborn | 33086 | 3318 | 32,524 |
| Emmendingen | 33696 | 1920 | 32,388 |
| Uckermark | 30659 | 340 | 1,831 |
| Eichsfeld | 28509 | 509 | 1,7 |
| Eifel Bitburg-Prüm | 32345 | 729 | 1,496 |
| Ludwigslust-Parchim | 29451 | 588 | 1,449 |
| Birkenfeld | 30226 | 393 | 1,424 |

Tabelle 4.8: Verhältnis von E-Zulassungen im Bezug auf das durchschnittliche Bruttoeinkommen

Auf Grundlage der zuvor behandelten Datenreihen wurde der Korrelationskoeffizient auf einen Wert von $r = 0,366$ errechnet. Somit ist eine schwache lineare Korrelation zwischen dem durchschnittlichen Bruttoeinkommen und der Anzahl an Elektrofahrzeugzulassungen nachgewiesen. Es besteht also nur ein mäßiger Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Bruttoeinkommen eines Landkreises und der Elektrofahrzeugzulassungen. Die Landkreisbetrachtung bietet jedoch keine Grundlage auf das Einzelverhalten der Menschen zu schließen.

In der Visualisierung in Abbildung 4.9 ist das Verhältnis von durchschnittlichem Bruttoeinkommen zu ausgebauten Ladepunkten dargestellt. Ein hoher Verhältniswert stellt viele Ladepunkte bei geringem Durchschnittseinkommen dar. Umgekehrt symbolisiert der Wert 'Null' wenige Ladepunkte trotz eines hohen Durchschnittseinkommens.

Tabelle 4.9 zeigt entsprechende Zahlenwerte der besten zehn und schlechtesten fünf Landkreise.

Mit einem Korrelationswert von $r = 0,263$ ist nur eine schwache lineare Korrelation zwischen den Datenreihen nachgewiesen. Trotzdem sind auf der Bestenliste besonders

4 Ergebnisse der Datenanalyse

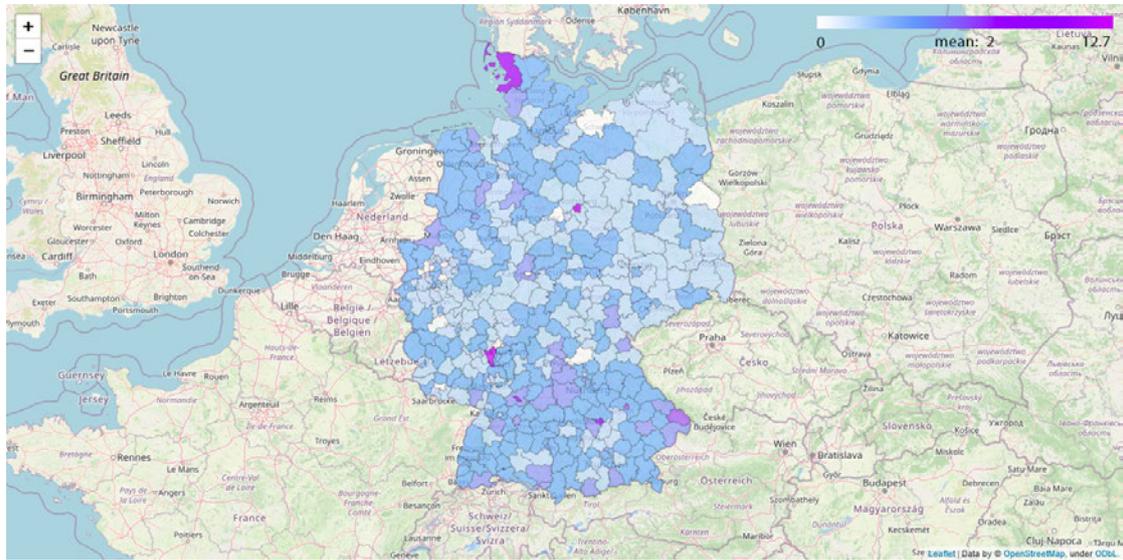


Abbildung 4.9: Verhältnis von Ladepunkten im Bezug auf das durchschnittliche Bruttoeinkommen

| Landkreis | Ladepunkte | Bruttoeinkommen | Verhältnis |
|-----------------------------|------------|-----------------|------------|
| Wolfsburg | 63189 | 992 | 12,677 |
| Groß-Gerau | 41059 | 952 | 8,407 |
| Ingolstadt | 52640 | 522 | 7,241 |
| Heilbronn | 38715 | 344 | 7,026 |
| Nordfriesland | 29842 | 330 | 6,616 |
| Regensburg | 42399 | 380 | 5,886 |
| Freyung-Grafenau | 29589 | 114 | 4,917 |
| Passau | 30116 | 278 | 4,772 |
| Dithmarschen | 30353 | 187 | 4,623 |
| Südliche Weinstrasse/Landau | 31621 | 156 | 4,453 |
| Leverkusen | 43653 | 41 | 0,573 |
| Kassel | 37623 | 42 | 0,555 |
| Ludwigshafen am Rhein | 48949 | 42 | 0,497 |
| Offenbach am Main | 38643 | 17 | 0,336 |
| Mülheim an der Ruhr | 39159 | 22 | 0,329 |

Tabelle 4.9: Verhältnis von Ladepunkten im Bezug auf das durchschnittliche Bruttoeinkommen

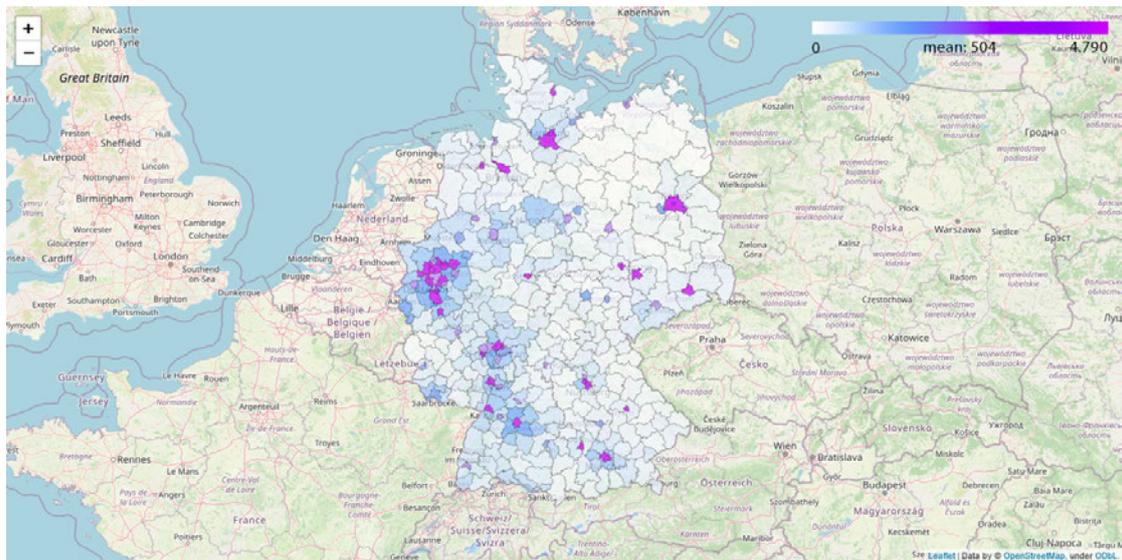


Abbildung 4.10: Bevölkerungsdichte

Landkreise mit hohen Bruttogehältern aufgelistet. Auch in dieser Betrachtung sind Autostädte oder Landkreise mit Bezug zu Automobilherstellern stark vertreten. Eine leichte Abstufung von Süd über West nach Ost ist regional erkennbar.

4.3 Auswirkungen der Bevölkerungsdichte auf die Elektromobilität

Betrachtet werden in folgenden Ausarbeitungen verschiedene Datenreihen zur Bevölkerungsdichte der einzelnen Landkreise.

4.3.1 Bevölkerungsdichte der Landkreise

Um einen generellen Eindruck zur grundsätzlichen Aufteilung der Landkreise zu generieren, ist in Abbildung 4.10 nur die Bevölkerungsdichte aufgetragen.

Nachfolgende Tabelle 4.10 stellt die Zahlenwerte über die Bevölkerungsdichte der zehn dichtesten besiedelte Landkreise und der fünf geringsten besiedelte Landkreise zur Verfügung.

| Landkreis | Personen pro 100 km ² |
|--------------------|----------------------------------|
| München Stadt | 4790 |
| Berlin | 4112 |
| Frankfurt am Main | 3077 |
| Herne | 3052 |
| Stuttgart | 3040 |
| Offenbach am Main | 2916 |
| Düsseldorf | 2854 |
| Essen | 2769 |
| Nürnberg | 2765 |
| Oberhausen | 2718 |
| <hr/> | |
| Lüchow-Dannenberg | 40 |
| Ostprignitz-Ruppin | 39 |
| Uckermark | 38 |
| Altmark Salzwedel | 36 |
| Prignitz | 36 |

Tabelle 4.10: Bevölkerung pro 100 km²

Die Betrachtung der Bevölkerungsdichte zeigt die Metropolregionen im höheren Bereich der Skala. Besonders das Rhein-Ruhr-Gebiet in dem unter anderem die Städte Düsseldorf (2.854 Personen pro 100 km²) und Essen (2.769 Personen pro 100 km²) liegen, die unter den zehn am dichtest besiedelten Landkreisen gehören. Die Stadt München (4.790 Personen pro 100 km²) ist die Stadt mit den meisten Menschen auf 100 km².

4.3.2 Bezug der Datenreihen auf die Bevölkerungsdichte

Wird die Ladepunktdatenreihe mit in die Analyse gezogen, ergibt sich die Visualisierung 4.11. Gezeigt werden in dieser die Ladepunkte im Verhältnis zur Bevölkerungsdichte.

Tabelle 4.11 listet die Ladepunktanzahl, die Bevölkerungsdichte sowie das Verhältnis auf. Aufgelistet sind hier die zehn Landkreise mit den höchsten sowie die fünf mit den geringsten Verhältnissen.

Die regionale Betrachtung gibt keinen Aufschluss über punktuelle Benachteiligungen. Auffällig ist jedoch, dass Metropolregionen geringere Verhältniswerte erreichen. Trotzdem ist nur eine schwache lineare Korrelation zwischen den Datenreihen nachweisbar. Der Korrelationskoeffizient erreicht lediglich einen Wert von $r = 0,263$. Es besteht demnach

4 Ergebnisse der Datenanalyse

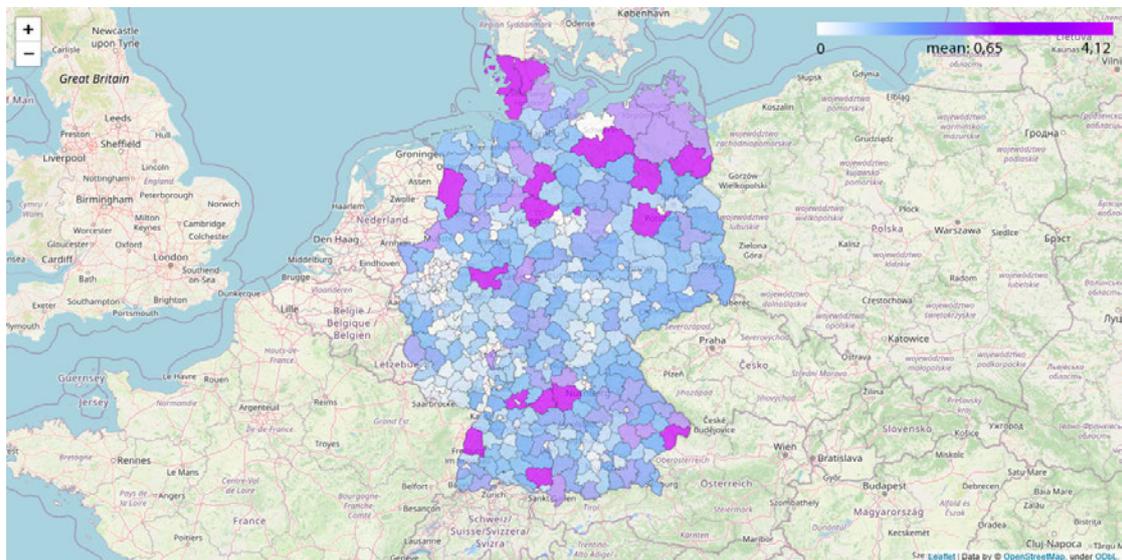


Abbildung 4.11: Verhältnis von Ladepunkten zur Bevölkerungsdichte

| Landkreis | Bevölkerungsdichte | Ladepunkte | Verhältnis |
|-----------------------|--------------------|------------|------------|
| Nordfriesland | 80 | 330 | 4,12 |
| Ludwigslust-Parchim | 44 | 112 | 2,55 |
| Uckermark | 38 | 93 | 2,45 |
| Ostprignitz-Ruppin | 39 | 90 | 2,31 |
| Hannover | 503 | 1114 | 2,21 |
| Passau | 126 | 278 | 2,21 |
| Dithmarschen | 93 | 187 | 2,01 |
| Heilbronn | 315 | 632 | 2,01 |
| Ansbach | 94 | 187 | 1,99 |
| Schwäbisch Hall | 133 | 250 | 1,88 |
| <hr/> | | | |
| Leverkusen | 2078 | 41 | 0,02 |
| Kassel | 1882 | 42 | 0,02 |
| Ludwigshafen am Rhein | 2229 | 42 | 0,02 |
| Mülheim an der Ruhr | 1872 | 22 | 0,01 |
| Offenbach am Main | 2916 | 17 | 0,01 |

Tabelle 4.11: Bevölkerungsdichte, Ladepunkte und das Verhältnis der beiden Datenreihen

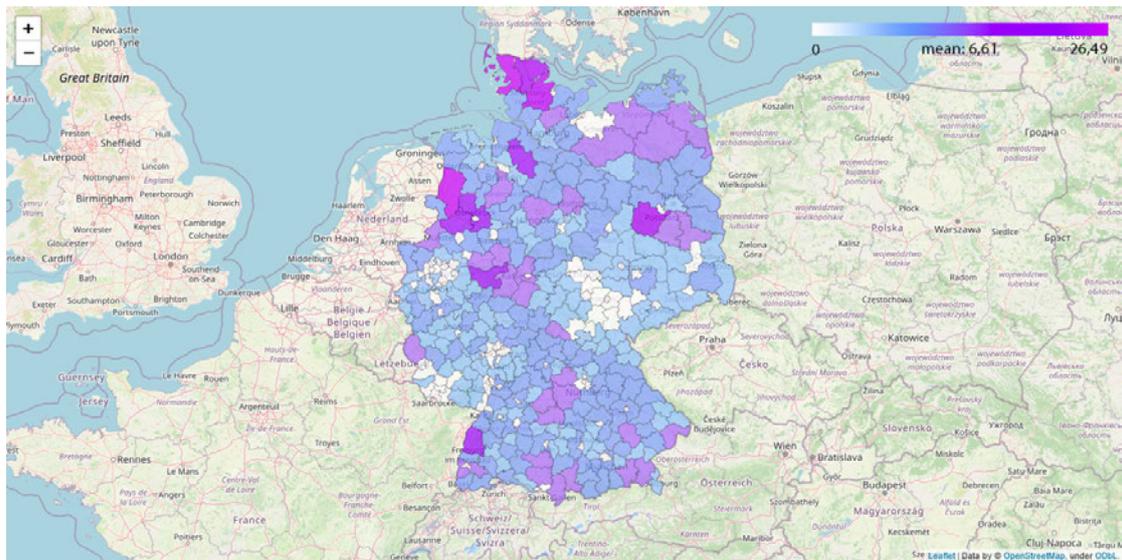


Abbildung 4.12: Verhältnis von Elektrofahrzeugzulassungen zur Bevölkerungsdichte

kaum direkter Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und der Ladepunkanzahl.

Folgend werden die Elektrofahrzeugzulassungen ins Verhältnis mit der Bevölkerungsdichte gesetzt. Die Ergebnisse werden durch Abbildung 4.12 dargestellt.

Passend dazu werden die Zahlenwerte der zehn am besten und fünf schlechtesten abschneidenden Landkreisen in Tabelle 4.12 aufgezählt.

Ein hoher Verhältnis-Wert lässt auf eine geringe Bevölkerungsdichte bei vielen Elektrofahrzeugzulassungen schließen, während Landkreise im unteren Bereich der Skala eine hohe Bevölkerungsdichte bei wenigen Elektrofahrzeugen aufweisen.

In der Visualisierung ist ein recht homogenes Bild der Verteilung zu erkennen. Die neuen Bundesländer haben kein schlechteres Verhältnis als der westliche Bereich von Deutschland. Geringe Verhältniswerte haben dabei alle Millionenstädte (Berlin (4,06), Hamburg (5,33), München (2,09) und Köln (2,24)).

Die gleichmäßige Verteilung wird von einer mäßig starken Korrelation bestätigt. Mit einem Wert von $r = 0,366$ ist ein mäßiger Zusammenhang zwischen der Besiedlungsdichte und den Elektrofahrzeugzulassungen errechnet worden.

| Landkreis | Bevölkerungsdichte | E-Zulassung | Verhältnis |
|----------------------------------|--------------------|-------------|------------|
| Nordfriesland | 80 | 2119 | 26,49 |
| Emsland | 114 | 2588 | 22,7 |
| Rendsburg-Eckernförde/Neumünster | 125 | 2613 | 20,9 |
| Schleswig-Flensburg/Flensburg | 98 | 1955 | 19,95 |
| Potsdam-Mittelmark/Brandenburg | 84 | 1613 | 19,2 |
| Ortenau | 233 | 4002 | 17,18 |
| Osnabrück (Umland) | 169 | 2805 | 16,6 |
| Hochsauerland | 132 | 2174 | 16,47 |
| Rotenburg (Wümme) | 79 | 1298 | 16,43 |
| Steinfurt | 250 | 4073 | 16,29 |
| <hr/> | | | |
| Fürth | 2024 | 800 | 0,4 |
| Oberhausen | 2718 | 1081 | 0,4 |
| Halle (Saale) | 1762 | 689 | 0,39 |
| Offenbach am Main | 2916 | 732 | 0,25 |
| Herne | 3052 | 556 | 0,18 |

Tabelle 4.12: Bevölkerungsdichte, E-Zulassungen und das Verhältnis der beiden Datenreihen

In der Datenquelle [44] werden die deutschen Landkreise in drei Verstädterungskategorien eingeteilt, die von hoher über mittlerer hin zu geringer Verstädterung reicht. Tabelle 4.13 zeigt die durchschnittlichen totalen Werte und prozentualen Anteile der Ladepunkte, aufgeteilt in die Verstädterungsgrade und die Ladepunktklasse.

Wie in Tabelle 4.13 bereits ersichtlich, ist kein Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und der Ladepunktklasse nachweisbar. Mit Korrelationswerten von $r = -0,08$ zwischen der Bevölkerungsdichte und Ultraschnellladepunkten, $r = -0,06$ zwischen der Bevölkerungsdichte und Schnellladepunkten, $r = 0,06$ zwischen der Bevölkerungsdichte

| | Ultraladepunkt | Schnellladepunkt | Normalladepunkt | Total |
|------------------------|----------------|------------------|-----------------|-------|
| Hohe Verstädterung | 8,4 | 38,5 | 214,2 | 261,1 |
| Mittlere Verstädterung | 14,5 | 43,7 | 183,5 | 241,7 |
| geringe Verstädterung | 11,3 | 34,9 | 146,9 | 193,1 |
| Hohe Verstädterung | 3,22 % | 14,75 % | 82,04 % | 100 % |
| Mittlere Verstädterung | 6 % | 18,08 % | 75,92 % | 100 % |
| geringe Verstädterung | 5,85 % | 18,07 % | 76,07 % | 100 % |

Tabelle 4.13: Anzahl und prozentualer Anteil der Ladepunktklassen in Bevölkerungsdichtegruppen aufgeteilt

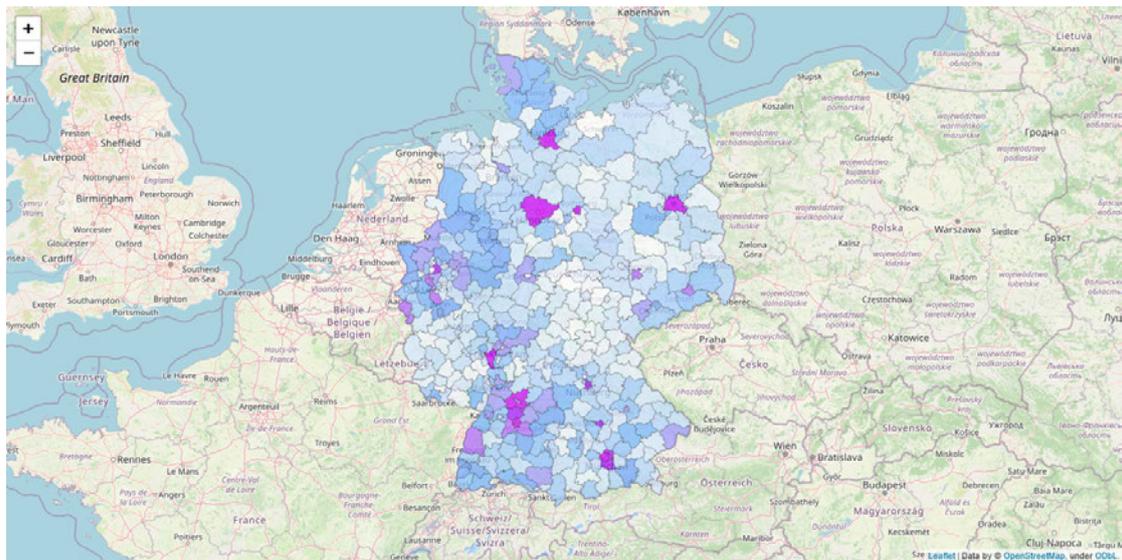


Abbildung 4.13: Zubau aller Ladepunkte über die Jahre 2010 bis 2021

und Normalladepunkten und einem Wert von $r = -0,06$ zwischen der Bevölkerungsdichte und dem Anteil an Normalladepunkten ist in keiner möglichen Konstellation nachgewiesen, dass die Bevölkerungsdichte Einfluss auf den Ausbaustand der Ladepunktclassen hat. Bei dieser Analyse sind keine Wallboxen in die Berechnung eingeflossen. Andere Quellen wie [27] sprechen von klaren Korrelationen zwischen den privaten Ladepunkten und der Bevölkerungsdichte.

4.4 Entwicklung und Zukunftstrend des Markthochlaufs

Die Betrachtung der Datenreihen über die vergangenen Jahre kann Aufschluss über die Entwicklung sowie dem Trend für die zukünftigen Jahre bieten.

4.4.1 Entwicklung der Ladeinfrastruktur

Wird zunächst die Entwicklung der Ladepunktanzahl zwischen den Jahren 2018 und 2021 abgebildet, entsteht eine Karte wie Abbildung 4.13 sie zeigt.

Tabelle 4.14 listet sowohl die zehn Landkreise mit den höchsten Zubauraten zwischen 2018 und 2021 als auch die fünf Landkreise mit den niedrigsten Zubauraten.

| Landkreis | 2019 | 2020 | 2021 | 2018 bis 2021 |
|----------------------|------|------|------|---------------|
| Berlin | 264 | 661 | 227 | 1152 |
| Stuttgart | 27 | 418 | 604 | 1049 |
| Hannover | 275 | 219 | 550 | 1044 |
| Wolfsburg | 81 | 197 | 639 | 917 |
| Gross-Gerau | 386 | 23 | 506 | 915 |
| München Stadt | 523 | 215 | 141 | 879 |
| Hamburg | 278 | 171 | 288 | 737 |
| Heilbronn | 110 | 373 | 108 | 591 |
| Ingolstadt | 283 | 145 | 36 | 464 |
| Nürnberg | 105 | 52 | 307 | 464 |
| <hr/> | | | | |
| Weimarer Land/Weimar | 4 | 7 | 6 | 17 |
| Sonneberg | 0 | 0 | 13 | 13 |
| Hildburghausen | 2 | 5 | 5 | 12 |
| Offenbach am Main | 2 | 7 | 2 | 11 |
| Unstrut-Hainich | 4 | 0 | 4 | 8 |

Tabelle 4.14: Zubauraten von Ladepunkten zwischen 2018 und 2021

Besonders stark vertreten sind Metropolregionen sowie Großstädte, die im Vergleich zu kleinen Landkreisen ein wesentlich höheres Budget für den Ausbau der Ladeinfrastruktur zur Verfügung haben. Auffällig ist erneut die Präsenz der kleinen, aber stark repräsentierten Autostädte wie Wolfsburg. Mit 917 Ladepunkten Zubau liegt der Landkreis mit knapp 125.000 Einwohner*innen noch vor der Millionenstadt München.

Alle in der Tabelle aufgezählten Landkreise liegen weit über der durchschnittlichen Anzahl von 124 Ladepunkten zwischen 2018 und 2021. In den einzelnen Jahren lag der Durchschnitt zwischen 2018 und 2019 bei 34, zwischen 2019 und 2020 bei 37 und zwischen 2020 und 2021 bei 52 Ladepunkten.

In Kombination mit den Zulassungen ist in Abbildung 4.14 der Verlauf des Zubaus von Ladepunkten von 2010 bis 2021 aufgetragen.

Die Betrachtung der fortlaufenden Entwicklungsmöglichkeiten sind relevant für den Erfolg der politischen Ziele, die von der Bundesregierung für das Jahr 2030 getroffen wurden. In der Abbildung 4.15 sind unterschiedliche Varianten eines künftigen Verlaufs aufgezeigt. Bei allen hier gezeigten Graphen handelt es sich nicht um Prognosen, sondern um einfache Aufzählungen der möglichen Entwicklungen.

4 Ergebnisse der Datenanalyse

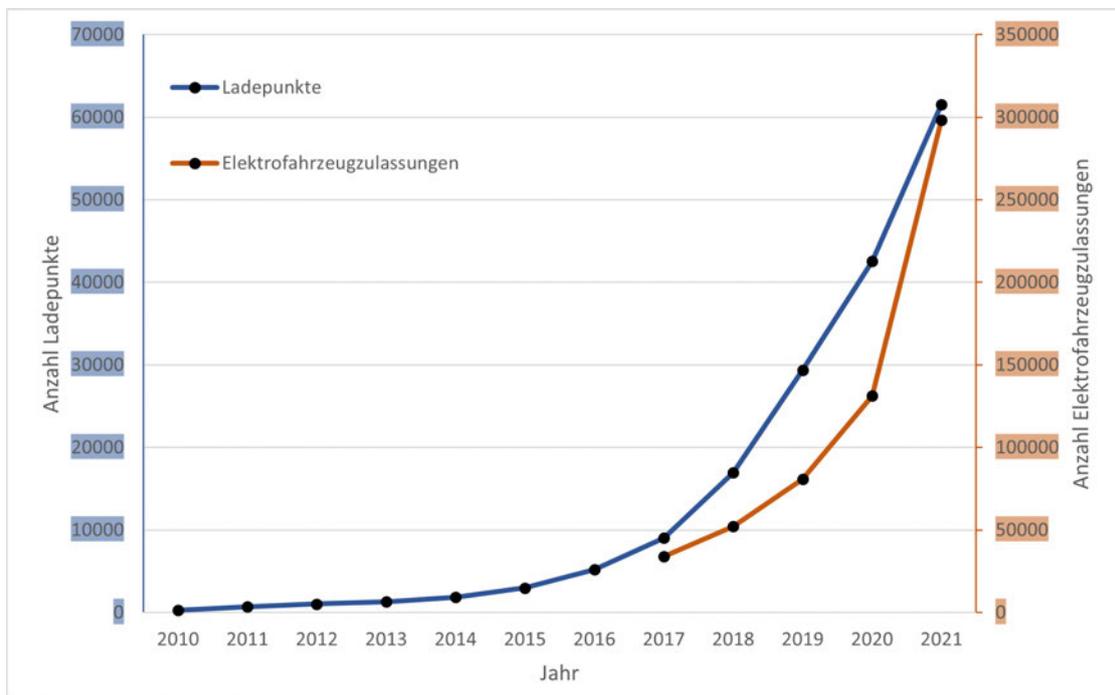


Abbildung 4.14: Realzahlen der Ladepunktanzahl und Elektrofahrzeugzulassungen

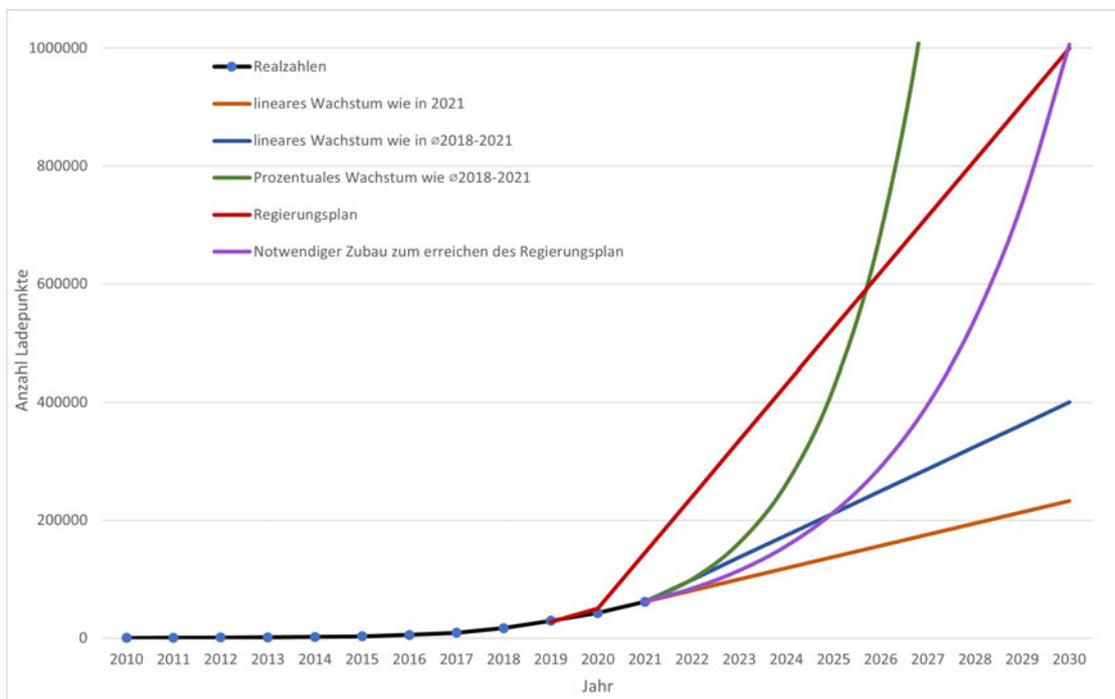


Abbildung 4.15: Realzahlen und mögliche Verläufe der Ladepunktanzahl bis 2030

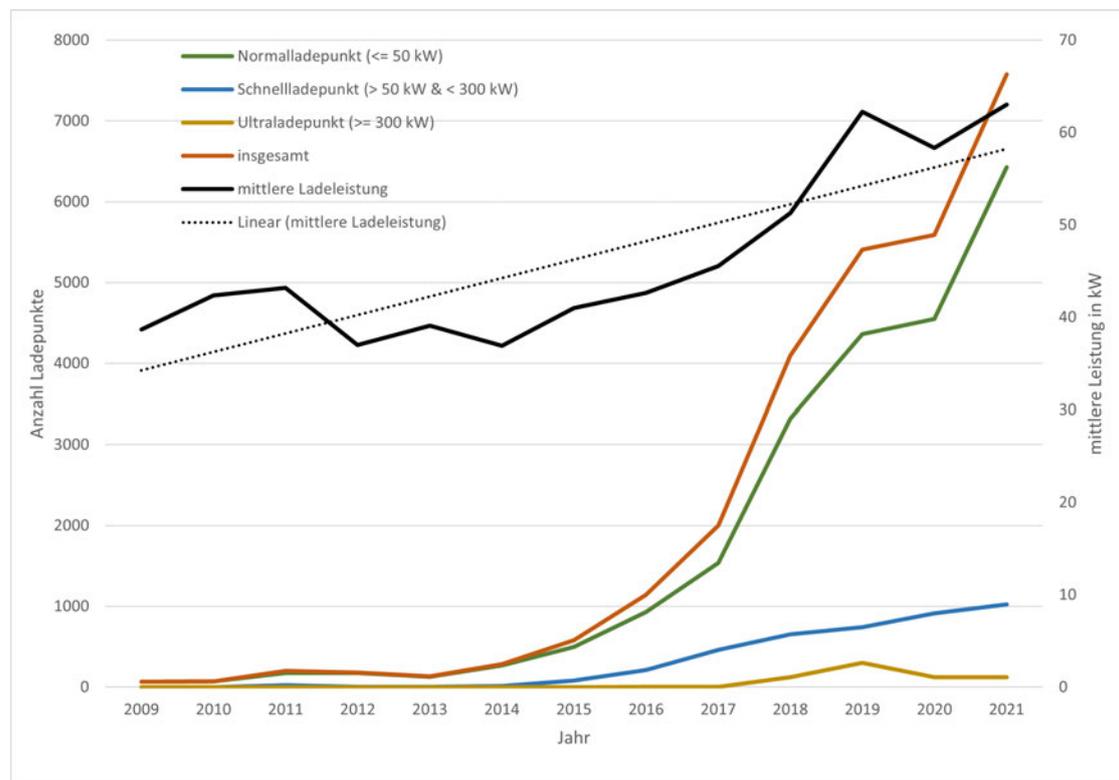


Abbildung 4.16: Entwicklung der Ladeleistung nach Ladepunktklassen aufgeschlüsselt

Die Ziele der Bundesregierung von einer Millionen Ladepunkten bis 2030 können mit einem exponentiellen Wachstum der Zubaurate von zusätzlichen 36,4 % pro Jahr erreicht werden. Bleibt die Rate wie in den Jahren zwischen 2018 und 2021 bei 62 % pro Jahr überschreitet Deutschland die Millionen Marke bereits 2027. Weitere Betrachtungen gehen von gleichbleibenden linear ansteigenden Verläufen aus. So ist das Ziel weder mit einem gleichbleibenden Zubau von 2021 mit 19.003 Ladepunkten pro Jahr noch mit dem Durchschnitt aus den Jahren zwischen 2018 und 2021 von 44.600 zu erreichen.

Darüber hinaus ist die Analyse der Entwicklung, Ladepunktklassen und mittleren Leistung der Ladepunkte in Abbildung 4.16 aufgeführt.

Basierend auf der Grundaussage, dass die mittlere Ladeleistung über die gezeigten Jahre stark zunimmt, bietet eine genauere Betrachtung Aufschluss über den Hintergrund. Während Normalladepunkte schon vor der Jahrtausendwende verbaut wurden, gibt es die ersten Schnellladepunkte seit 2011 und Ultraschnellladepunkte erst seit 2016. Seitdem

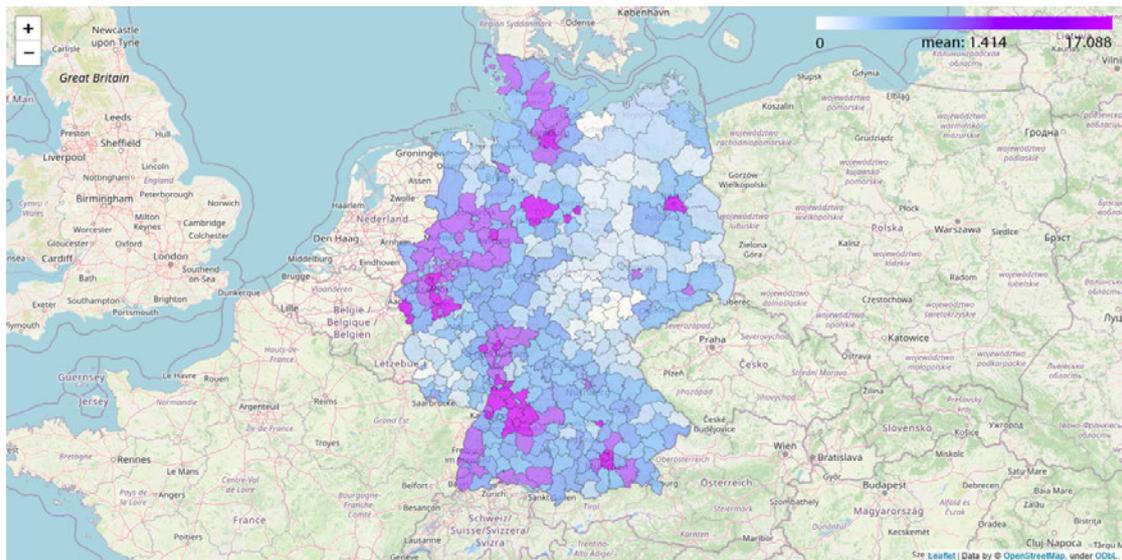


Abbildung 4.17: Elektrofahrzeugzulassungen zwischen den Jahren 2019 und 2021

sind für beide Klassen leicht steigende Verläufe aufgezeigt. Trotz einer kurzen Stagnation im Jahr 2020 ist auch bei der Anzahl der Normalladepunkte ein klares Wachstum zu erkennen.

4.4.2 Entwicklung der Elektrofahrzeugzulassungen

Für die Analyse der Elektrofahrzeugzulassungen stehen die Zahlen ab 2017 zur Verfügung. Auf Grundlage dieser zeigt Abbildung 4.17 die geografischen Verteilungen der Elektrofahrzeugzulassungen zwischen 2019 und 2021.

Auch bei den absoluten Zahlen der Fahrzeugzulassungen sind besonders Metropolregionen und Großstädte bevorzugt in den oberen Bereichen der Skala wiederzufinden. Eine leichte Abgrenzung zu den neuen Bundesländern ist dabei wie schon in Abbildung 4.2 zu erkennen.

Eine Betrachtung der Zahlenwerte, die in Tabelle 4.15 aufgeführt sind, bestätigt die vorreitende Rolle der genannten Regionen.

Eine Entwicklung, wie sie Abbildung 4.14 zeigt, lässt auf die Verteilung der Wachstumsraten der Elektrofahrzeugzulassungen über die Jahre schließen.

Die weitere Entwicklung der Zulassungszahlen ist von verschiedenen Faktoren abhängig, die in dieser Ausarbeitung nicht in ausreichender Tiefe behandelt werden, um akkurate

| Landkreis | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2018 bis 2021 |
|----------------|------|------|------|------|---------------|
| München Stadt | 2287 | 3122 | 5695 | 8271 | 19375 |
| Berlin | 2007 | 2713 | 4886 | 9085 | 18691 |
| Hamburg | 1387 | 2233 | 3395 | 7035 | 14050 |
| Wolfsburg | 639 | 683 | 2054 | 9495 | 12871 |
| Stuttgart | 1193 | 1590 | 2712 | 5033 | 10528 |
| Böblingen | 869 | 1253 | 1930 | 3648 | 7700 |
| Hannover | 684 | 961 | 1534 | 3616 | 6795 |
| München | 582 | 1372 | 1579 | 2934 | 6467 |
| Köln | 750 | 820 | 1547 | 3204 | 6321 |
| Ludwigsburg | 625 | 875 | 1323 | 2826 | 5649 |
| Wittmund | 16 | 20 | 42 | 115 | 193 |
| Kyffhäuser | 11 | 20 | 33 | 113 | 177 |
| Sonneberg | 14 | 29 | 42 | 85 | 170 |
| Sömmerda | 10 | 23 | 43 | 90 | 166 |
| Hildburghausen | 9 | 15 | 30 | 93 | 147 |

Tabelle 4.15: Zuwachs der Elektrofahrzeugzulassungen in den Jahren 2018 bis 2021

Prognosen für die Zukunft zu erstellen. Deshalb bietet Abbildung 4.18 einen Einblick in verschiedene mögliche Szenarien, die eintreten können.

Das von der Bundesregierung gesetzte Ziel von zehn Millionen Elektrofahrzeugen in Deutschland bis zum Jahr 2030 ist mit starken Anstiegen zu erreichen. Um das Ziel zu erfüllen, reicht ein exponentielles Wachstum von mindestens 48 % pro Jahr aus. So würde auch eine gleichbleibende Zuwachsrate von 74 % wie der Durchschnitt zwischen den Jahren 2018 und 2021 zum Erfolg führen. Eine lineare Weiterführung der zuletzt erreichten 166.986 (2021) oder 140.685 (Durchschnitt von 2018 bis 2021) Elektrofahrzeugzulassungen verfehlt hingegen das Ziel.

Das Szenario 'Net Zero 2050' der Internationale Energieagentur (IEA) [36] verlangt einen Anteil an Elektrofahrzeugen im Jahr 2030 von 60 %, was einer Anzahl von knapp 29.100.000 Fahrzeugen entspricht, um die Klimaziele der Bundesregierung zu erfüllen [8]. Für den Anteil von 60 % muss ein jährliches Wachstum von 67 % bis 2030 gehalten werden.

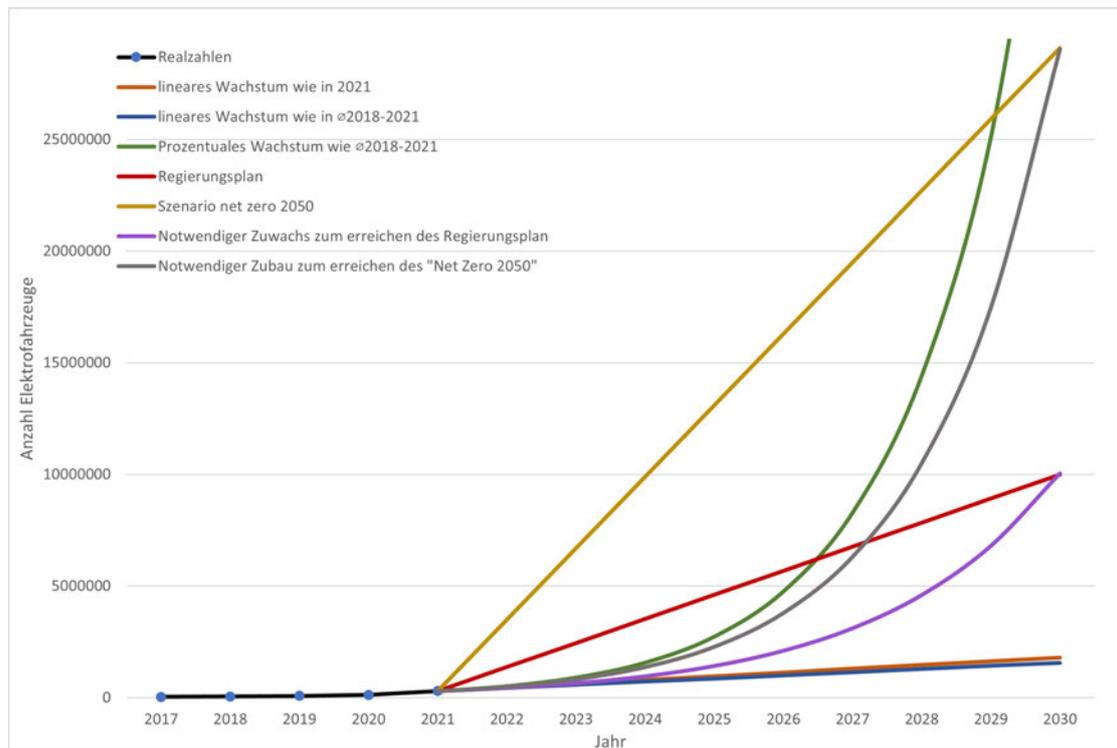


Abbildung 4.18: Realzahlen und mögliche Verläufe der Elektrofahrzeugzulassungen bis 2030

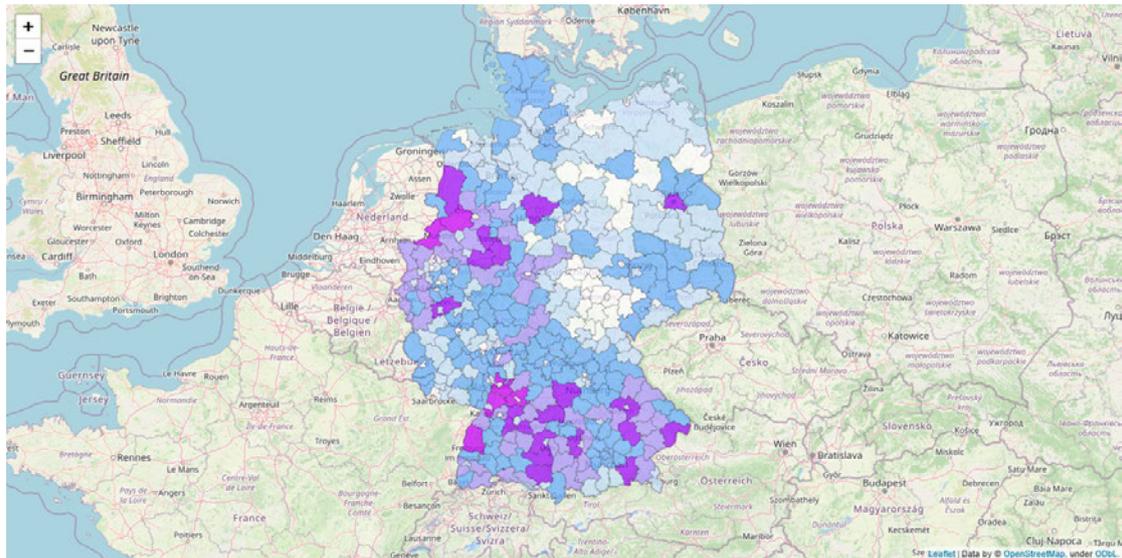


Abbildung 4.19: Anzahl der PV-Anlagen unter 15 kWp

4.5 Photovoltaik-Anlagen und ihr Zusammenhang mit der Elektromobilität

Fragestellung fünf beschäftigt sich mit möglichen Zusammenhängen zwischen PV-Anlagen auf privaten Dächern und der Elektromobilität. Dabei werden die zuvor zusammengetragenen Datenreihen mit den öffentlich zugänglichen Listen der Kraftwerke in Deutschland [16] in Verbindung gesetzt. Das Augenmerk liegt im Besonderen auf den PV-Anlagen mit einer Leistung von unter 15 kWp, die in dieser Ausarbeitung als privat betrieben angesehen werden.

4.5.1 Verteilung der privaten PV-Anlagen

Den Anfang macht in Abbildung 4.19 die reine Anzahl aller PV-Anlagen unter 15 kWp. In Deutschland gemeldet und aktiv sind 2,5 Millionen PV-Kraftwerke, wovon 76 %, also 1,9 Millionen PV-Anlagen unter 15 kWp leisten.

In Tabelle 4.16 sind die Zahlenwerte der höchsten zehn und niedrigsten fünf Landkreise zur absoluten Anzahl von PV-Anlagen unter 15 kWp aufgezeigt.

Erkennbar in Abbildung 4.19 ist eine Abstufung der Installationszahlen in nord-östlicher Richtung. Vermehrt verbaut werden PV-Anlagen unter 15 kWp in ländlichen Regionen,

| Landkreis | PV-Anlagen < 15 kWp | Heimspeicher |
|-------------------|---------------------|--------------|
| Ortenau | 19224 | 4983 |
| Borken | 18710 | 4797 |
| Steinfurt | 18322 | 5151 |
| Rhein-Neckar | 18199 | 5403 |
| Karlsruhe | 17666 | 4739 |
| Heilbronn | 16257 | 3786 |
| Passau | 15110 | 3820 |
| Rhein-Sieg | 14878 | 4878 |
| Hannover | 14701 | 6049 |
| Augsburg | 14351 | 5118 |
| <hr/> | | |
| Remscheid | 919 | 326 |
| Jena | 816 | 349 |
| Sonneberg | 775 | 223 |
| Bremerhaven | 644 | 227 |
| Offenbach am Main | 505 | 115 |

Tabelle 4.16: Anzahl der PV-Anlagen unter 15 kWp

sodass Großstädte (außer Berlin (Platz 19: 12.858 PV-Anlagen und 15 kWp)) und Metropolregionen im unteren Bereich der Skala zu finden sind. Besonders Baden-Württemberg sticht mit vermehrt hohen Zahlen hervor. Im mitteldeutschen Bereich ist die geringste Anzahl an Anlagen zu finden.

Um im späteren Verlauf eine aussagekräftige Aussage im Bezug auf die Elektrofahrzeugzulassungen und Ladepunkte treffen zu können, ist es erforderlich, die Inbetriebnahme der PV-Anlagen mit in die Betrachtung einzuarbeiten. Folgende Boxplot Abbildungen zeigen den Trendverlauf der Jahre 2019 bis 2021 Abbildung 4.20.

Darüber hinaus ist der zeitliche Zuwachs von Heimspeichern interessant und wird in Abbildung 4.21 gezeigt.

Ein stetiger Zuwachs beider Datenreihen ist in den Jahren 2019 bis 2021 zu verzeichnen. Mit einem Korrelationswert von $r = 0,94$ ist eine nahezu perfekte lineare Korrelation zwischen den absoluten Zahlen der PV-Anlagen mit einer Leistung von unter 15kWp und der Anzahl der Akku-Speicher bewiesen. Landkreise, die besonders viele PV-Anlagen verbauen, sind prädestiniert für eine hohe Anzahl an verbauten Akku-Speichern.

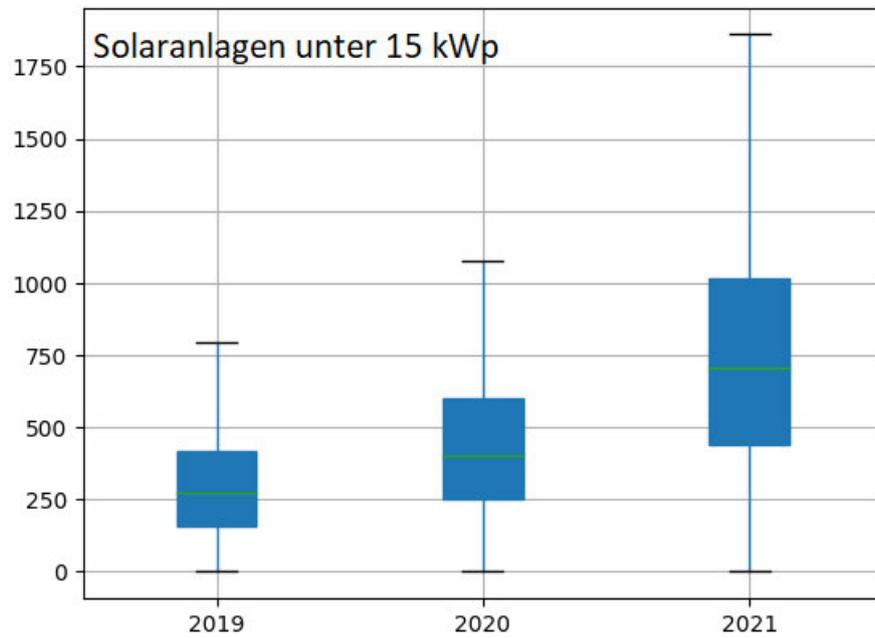


Abbildung 4.20: Anzahl der PV-Anlagen unter 15 kWp für die Jahre 2019 bis 2021

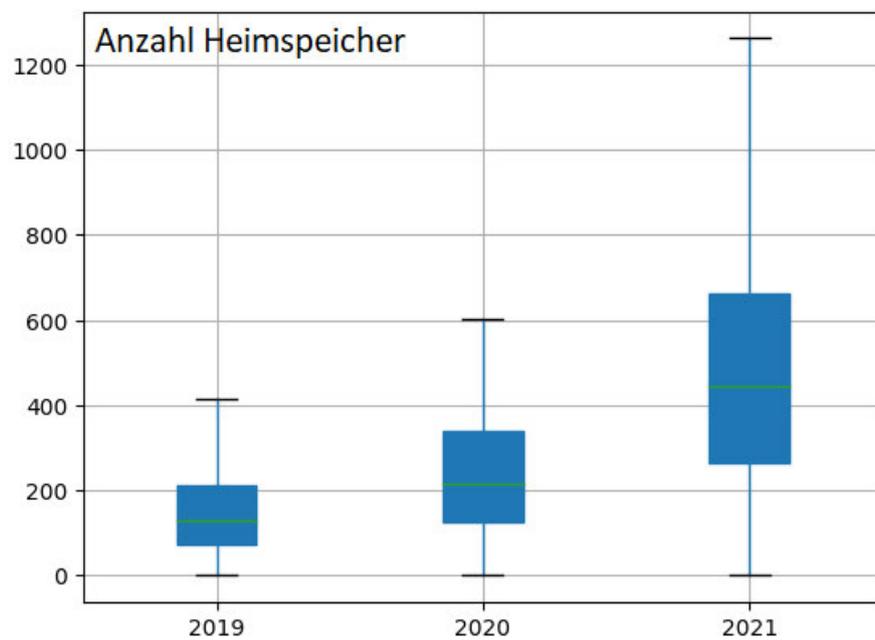


Abbildung 4.21: Anzahl der angemeldeten Heimspeicher in den Jahren 19 bis 21

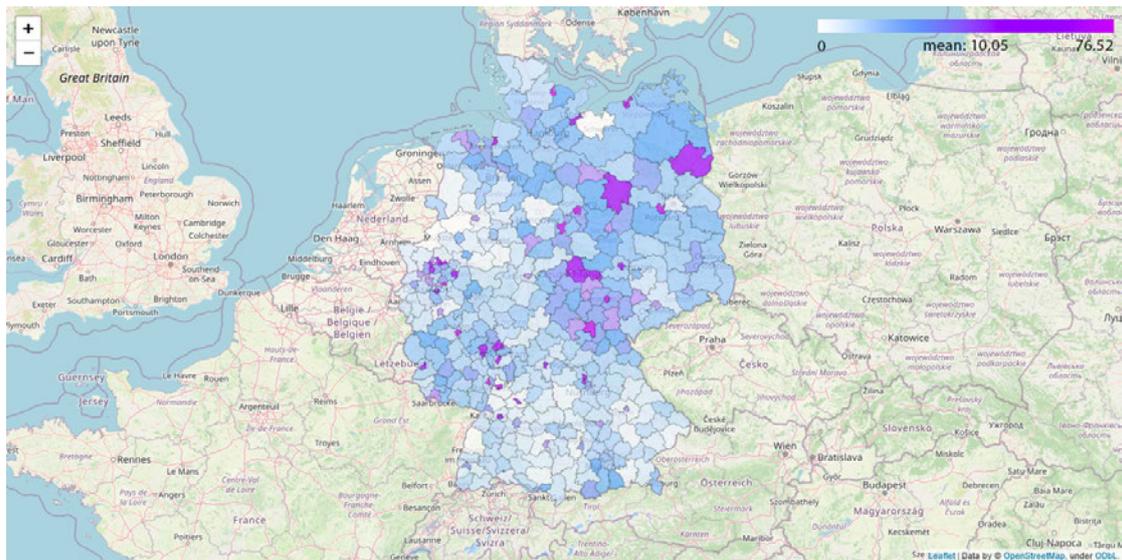


Abbildung 4.22: Verhältnis zwischen dem durchschnittlichen Bruttoeinkommen und der Anzahl an PV-Anlagen unter 15 kWp

Besonders seit dem Jahr 2018 sind große Zuwachsraten bei den Elektrofahrzeugzulassungen und PV-Anlagen verzeichnet worden. Um aussagekräftige Korrelationsfaktoren errechnen zu können, wurden folgend nur PV-Anlagen mit einem Inbetriebnahmedatum nach 2018 betrachtet. Das Ergebnis der Berechnung des Korrelationskoeffizienten von $r = 0,61$ zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen den Elektrofahrzeugzulassungen und der Anschaffungen von PV-Anlagen mit einer Leistung von unter 15kWp auf. Darüber hinaus ist auch eine Korrelation zwischen der Ladepunktanzahl und der PV-Anlagen mit einem Wert von $r = 0,45$ nachgewiesen. Diese Zusammenhänge lassen die Fragestellungen nach der Relevanz vom durchschnittlichen Bruttoeinkommen und dem Zusammenhang zur Bevölkerungsdichte interessant werden.

4.5.2 Bezug der Datenreihen auf die privaten PV-Anlagen

Deshalb wird der Zusammenhang zwischen dem Kauf einer PV-Anlage und dem durchschnittlichen Bruttoeinkommen der Landkreise in Abbildung 4.22 aufgezeigt.

Im höheren Bereich der Skala liegen demnach Landkreise, die ein hohes Durchschnittsbruttoeinkommen, aber wenige PV-Anlagen unter 15 kWp verbaut haben. Tabelle 4.17 zeigt entsprechend die zehn Landkreise mit den höchsten und den niedrigsten Skalenwerten.

| Landkreis | PV-Anlage < 15kWp | Einkommen | Verhältnis |
|-------------------|-------------------|-----------|------------|
| Offenbach am Main | 505 | 38643 | 76,52 |
| Bremerhaven | 644 | 37322 | 57,95 |
| Jena | 816 | 36420 | 44,63 |
| Heidelberg | 966 | 41054 | 42,5 |
| Remscheid | 919 | 37276 | 40,56 |
| Sonneberg | 775 | 29027 | 37,45 |
| Potsdam | 994 | 36655 | 36,88 |
| Herne | 924 | 33962 | 36,76 |
| Rostock | 960 | 33954 | 35,37 |
| Wolfsburg | 1833 | 63189 | 34,47 |
| ----- | ----- | ----- | ----- |
| Karlsruhe | 17666 | 37023 | 2,1 |
| Passau | 15110 | 30116 | 1,99 |
| Ortenau | 19224 | 34321 | 1,79 |
| Steinfurt | 18322 | 31688 | 1,73 |
| Borken | 18710 | 31633 | 1,69 |

Tabelle 4.17: Verhältniswerte zwischen PV-Anlagen und dem durchschnittlichen Bruttoeinkommen

Mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,13$ ist keine lineare Korrelation nachgewiesen. Das bestätigt auch die geografische Analyse der Daten, die einen mittleren Skalenwert im Bereich der einkommensschwachen Regionen zeigt. Besonders kleine Landkreise stehen durch hohe Verhältniswerte hervor. Ein Zusammenhang zwischen dem Kauf einer PV-Anlage und dem Einkommen einzelner Haushalte ist jedoch weiterhin nicht auszuschließen.

Wird versucht, einen Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und der Anzahl an PV-Anlagen mit einer Leistung von unter 15 kWp herzustellen wird mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = -0,317$ ein mäßiger Zusammenhang festgestellt.

Die regionalen Unterschiede stützen, das Bild indem besonders Großstädte schlecht abschneiden. So zählen alle deutschen Millionenstädte zu den zehn Landkreisen mit den schlechtesten Verhältniswerten zwischen der Bevölkerungsdichte und der PV-Anlagenanzahl (siehe Tabelle 4.18).

Über die gezeigten Daten hinaus wird in Abbildung 4.23 die regionale Differenz dargestellt.

| Platz | Landkreis | PV-Anlagen | Bevölkerungsdichte | Verhältnis |
|-------|-------------------|------------|--------------------|------------|
| 351 | Rostock | 960 | 1153 | 459,2 |
| 352 | Kiel | 1110 | 2078 | 450,12 |
| 353 | München Stadt | 6642 | 4790 | 446,31 |
| 354 | Köln | 4732 | 2675 | 436,73 |
| 355 | Bremen | 2336 | 1781 | 412,3 |
| 356 | Offenbach am Main | 505 | 2916 | 385,81 |
| 357 | Düsseldorf | 2336 | 2854 | 376,46 |
| 358 | Berlin | 12858 | 4112 | 350,92 |
| 359 | Hamburg | 5920 | 2453 | 319,57 |
| 360 | Frankfurt am Main | 2312 | 3077 | 302,58 |

Tabelle 4.18: Platzierung der Millionenstädte im Bezug auf das Verhältnis von PV-Anlagen und der Bevölkerungsdichte

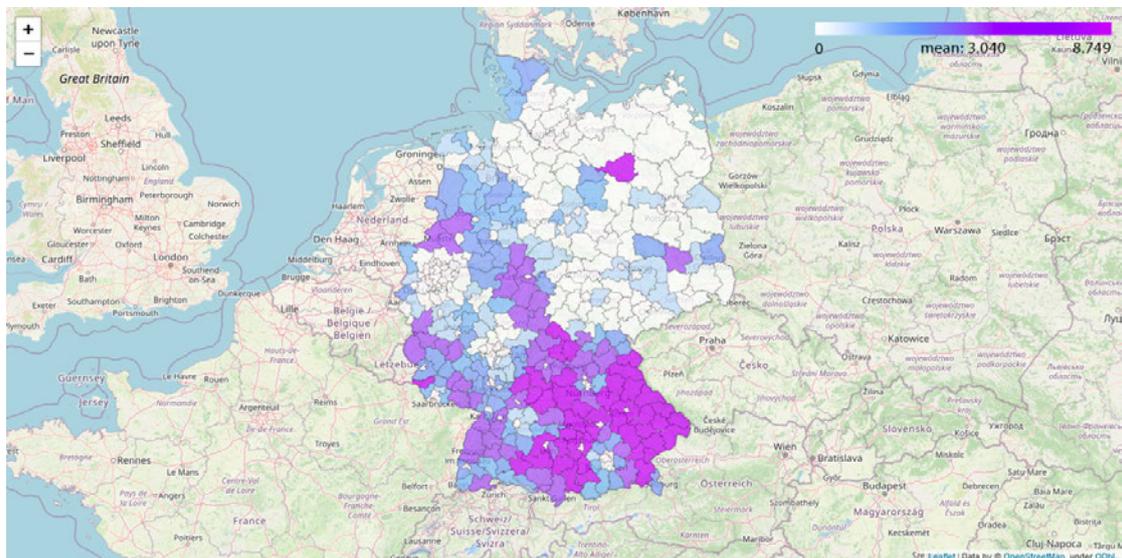


Abbildung 4.23: Verhältnis zwischen der Bevölkerungsdichte und PV-Anlagen unter 15 kWp

5 Interpretation der Datenanalyse

5.1 Aktueller Stand der Landkreise

Die nachfolgende Analyse steigt tief in unterschiedliche Zusammenhänge in Bezug auf die Elektromobilität ein. Um einen passenden Einstieg zu gewähren und gleichzeitig die Grundlage für weiterführende Aussagen zu errichten, wird zunächst der aktuelle Stand der Elektromobilität aufgeschlüsselt. Die wichtigsten Komponenten, an denen der Markthochlauf gemessen werden kann, sind sowohl die Elektrofahrzeugzulassungen als auch die öffentlichen Ladepunkte.

Die Datenanalyse basiert im wesentlichen auf öffentlichen Datenreihen von verschiedenen Bundesämtern. So verkündete die Bundesnetzagentur zum Beispiel, dass zum 01. August 2022 insgesamt 65.801 öffentliche Ladepunkte in Deutschland im Betrieb sind. Davon sind 10.231 Schnellladepunkte. Vergleicht man diese Daten mit denen aus dem vorherigen Jahr, ergibt sich ein Anstieg der angeschlossenen Ladepunkte von 31 %. Bei Schnellladepunkten sogar ein Anstieg von 49% innerhalb von einem Jahr [15].

Bei der regionalen Aufschlüsselung sticht Hessen als vorreitendes Bundesland in Bezug auf den Ausbau der Ladeinfrastruktur heraus. Allein in Hessen gab es vergangenes Jahr einen Zuwachs an Ladepunkten von 56 % im Vergleich zum Vorjahr [15]. Zurückzuführen ist der starke Anstieg auf die Stadt Rüsselsheim im Landkreis Groß Gerau (Bundesland Hessen). Dort ansässig ist der Automobilhersteller Opel, der im Jahr 2017 den Umschwung zur Elektromobilität angekündigt hat und seit dem Jahr 2020 auch rein elektrische Fahrzeuge vertreibt [29]. Der Umschwung des Herstellers steht möglicherweise in einem direkten Zusammenhang mit dem starken Ausbautrend der Ladeinfrastruktur.

Bei Betrachtung der generierten Landkarten (Abbildung 4.2, 4.1), sind Landkreise mit ansässiger Automobilbranche in den oberen Bereichen der Skalenwerte wiederzufinden.

Die Automobilhersteller und die zuliefernde Industrie beeinflussen maßgeblich die Einkommensstrukturen, Zulassungszahlen und Infrastrukturinvestitionen der Landkreise. So ist allein der Automobilindustrie ein Anteil von 4,7 % des deutschen Bruttoinlandsprodukts zuzuschreiben. Durch den großen Einfluss der Automobilbranche auf die Einwohner*innen, die Politik sowie das Investitionsverhalten der entsprechenden Landkreise ist ein direkter Zusammenhang zu einem weiter fortgeschrittenen Markthochlaufs nicht auszuschließen. Direkte Beispiele für die aufgestellte These sind Wolfsburg (Volkswagen), Stuttgart (Daimler und Porsche) und Regensburg (BMW), in denen die Zahlen überdurchschnittlich hohe Werte für vergleichbar kleine Bevölkerungszahlen einnehmen (siehe Tabelle 4.4, 4.3, 4.7, 4.6).

Wird die absolute Anzahl der Ladepunkte und E-Zulassungen in Relation zu Einwohner*innen gesetzt verteilen sich die Landkreise auf der Bestenliste neu, sodass ländliche Landkreise mit wenigen Einwohner*innen besser abschneiden als Großstädte (siehe Abbildung 4.54.4). Zusätzlich profitieren erneut Landkreise mit ansässiger Automobilindustrie von dieser Betrachtung. Landkreise wie Wolfsburg oder Groß Gerau beheimaten nur einen geringen Bevölkerungsanteil weisen aber einen starken Zubau von Ladepunkten auf. Besonders Wolfsburg sticht immer wieder durch stark ausreißende Werte heraus, siehe zum Beispiel (z. B.) Tabelle 4.4. Grund für diesen erfolgreichen Infrastrukturausbau ist mitunter das 2016 unterzeichnete 'Wolfsburg digital Memorandum' [53], das entwickelt wurde um Wolfsburg umfassend digital aufzubessern und attraktiver für die Industrie und Bevölkerung zu machen. Wesentlichen Einfluss auf die Planung, Durchführung und Finanzierung hat die Firma Volkswagen AG, die als zweite Partei neben der Stadt Wolfsburg im Vertrag eingeschlossen ist [53]. Das Investieren der Automobilhersteller basiert jedoch nicht auf Freiwilligkeit, sondern wurde im politischen Rahmen mit eingebunden. Im 'Masterplan Ladeinfrastruktur' [18] wurde 2020 festgelegt, dass deutsche Fahrzeughersteller mindestens 30.000 Ladepunkte beisteuern müssen. So kommt es, dass in einer kleinen Stadt überdurchschnittlich viele Ladepunkte zur Verfügung stehen.

Unterschiedliche wissenschaftliche Ausarbeitungen haben herausgefunden, dass Menschen, die in Ein- und Zweifamilienhäusern wohnen, besonders häufig Elektrofahrzeuge zulassen [27]. Typischerweise stehen Ein- und Zweifamilienhäuser im ländlichen oder suburbanen Raum, in denen weitläufigere Strecken mit Privatfahrzeugen zurückgelegt werden und Fahrzeuge vermehrt auf privaten Grundstücken Platz finden. So ergibt sich eine potenzielle Erklärung für eine erhöhte Anzahl an private Ladepunkte in ländlichen Räumen [27].

Diese Erkenntnis kann Grundlage der These sein, dass Großstädte vermehrt in den Ausbau von öffentlichen Ladepunkten investieren, um der geringen Anzahl der privaten Wallboxen entgegenzuwirken und ein gutes Verhältnis zwischen E-Zulassungen und Ladepunkten beizubehalten. Am Beispiel von Hamburg, in dem bereits 2014 ein 'Masterplan' veröffentlicht wurde, in dem Prognosen, Ziele und Umsetzungspläne im Bezug auf die Elektromobilität deklariert werden [35], kann die erhöhte Handlungsbereitschaft erkannt werden. So sollen allein im Hamburger Raum bis 2025, 2000 Ladepunkte errichtet werden, zusätzlich zu weiteren Ultraschnellladepunkten.

Die aufgestellte These wird in Kapitel 5.3 untersucht.

5.2 Einkommensstrukturen im Bezug auf die Elektromobilität

In Deutschland existiert seit mehreren Jahrzehnten eine besonders stark ausgeprägte Automobilkultur, die weiterhin Teil des Alltags ist [23]. So gibt die deutsche Bevölkerung, 2021 im Durchschnitt 37.790€ für einen Neuwagen aus, wobei der Trend des Preises weiter stark steigend ist [25]. Mit steigendem Anteil an Elektrofahrzeugen ist zu erwarten, dass sich dieser Trend weiter verstärken wird. Elektrofahrzeuge müssen derzeit subventioniert werden, um eine Chancengleichheit auf dem Automobilmarkt herzustellen [12]. Diese Subventionen sind nicht nur nötig, um die erhöhten Produktions- und Entwicklungskosten der neuen Antriebsart zu unterstützen, sondern dient auch dazu, die erhöhten Preise der Elektrofahrzeuge mit dem seit mehreren Jahren gleichbleibenden Durchschnittsgehältern der deutschen Bevölkerung von 4100 € brutto im Monat anzugleichen [47].

Die errechnete lineare Korrelation zwischen dem durchschnittlichem Bruttoeinkommen und den normierten Elektrofahrzeugzulassungen zeigt mit einem Wert von $r = 0,52$, dass bisher besonders Landkreise mit höherem Einkommen vermehrt Elektrofahrzeuge verzeichnen. Erkennbar ist dies ebenfalls in der geografischen Aufarbeitung Abbildung 4.8, in der Abgrenzungen zu Landkreisen mit geringeren Bruttoeinkommen zu erkennen sind. Speziell die neuen Bundesländer sowie die Rheinland-Pfalz und Saarland Region schneiden unterdurchschnittlich ab.

Im Bereich der ehemaligen DDR kann bis heute eine geringere Kaufkraft, weniger Einkommen und eine weniger ausgeprägte Export- und Importaktivität beobachtet werden

[6]. Zusätzlich wirkt die Abwanderung von Menschen aus den neuen Bundesländern seit der Wiedervereinigung Deutschlands. Dabei bilden viele hochgebildete Menschen den Großteil dieser Bewegung in die westlichen und südlichen Regionen Deutschlands [26]. Relevant für die Elektromobilität ist diese Bewegung, weil besonders jüngere hochgebildete Menschen den größten Anteil an Elektrofahrzeugkäufer*innen stellt [27].

Ein anderes Bild zeichnet die Abbildung 4.9, die gebaute Ladepunkte pro 100.000 Einwohner*innen auf das durchschnittliche Bruttoeinkommen bezieht. Zwischen dem Fortschritt der einzelnen Landkreise liegt eine wesentlich geringere Differenz. Lediglich ein leichter Anstieg Richtung Süden ist erkennbar. Die errechnete Korrelation mit einem Wert von $r = 0,420$ bestätigt die Annahme, dass der Ausbau der Ladeinfrastruktur nur gemäßig mit dem durchschnittlichen Bruttoeinkommen zusammenhängt.

Grund für den schwachen Zusammenhang kann die Transfer- oder Ausgleichszahlung an die neuen Bundesländern die seit der Wiedervereinigung von Deutschland sein, die von den alten Bundesländern geleistet wird. So wurde im Zeitraum zwischen 2005 und 2019 eine Gesamtsumme von 156,6 Milliarden (Mrd.) € zur Verfügung gestellt [38]. Dieses Geld ist auch für den Ausbau der Infrastruktur genutzt worden.

Anders als in den alten Bundesländern haben sich bis vor Kurzem keine Automobilhersteller in den Landkreisen der neuen Bundesländer angesiedelt, die den Ausbau von lokalen Infrastrukturprojekten vorantreiben. Neuansiedlungen von Automobilherstellern wie Tesla in Brandenburg bieten aber zukünftig entsprechende Chancen für ganze Landkreise, um massiv Geld in den Ausbau der Ladeinfrastruktur zu investieren [41]. Darüber hinaus versprechen weitere geplante Großproduktionsstandorte wesentliche Verbesserungen für die Elektrofahrzeugzulassungszahlen und das durchschnittliche Einkommen [41].

5.3 Bevölkerungsdichte

Basierend auf den zuvor in Abschnitt 5.1 gezeigten Daten, kann die These überprüft werden, ob Großstädte mehr öffentliche Ladepunkte errichten als Landkreise die ländlichere Regionen umfassen. Grundlage für diese Annahme ist die Anzahl der Ein- und Zweifamilienhäuser, die in ländlichen Regionen einen höheren Anteil der Baustruktur einnimmt und besonders prädestiniert für private Ladepunkte sind. Wird zur Überprüfung der These der Korrelationswert zwischen den öffentlichen Ladepunkten und der Bevölkerungsdichte errechnet, kann eine deutliche Korrelation mit einem Wert von $r = 0,5$ aufgezeigt werden.

Während benachbarte Ausarbeitungen [27] negative Korrelationen zwischen den verwendeten Datenreihen angeben, wird in dieser Arbeit ein anderes Bild gezeichnet, dass eine Grundlegend andere Aussage trifft. Die Besonderheit der hier verwendeten Daten ist die Abwesenheit der privaten Ladepunkte, sowie die breite Datengrundlage, die auf der Landkreisebene basiert. So lassen sich die Aussagen kombinieren, dass vermehrt private Ladepunkte in ländlichen Regionen und öffentliche Ladepunkte in städtischen, dicht besiedelten Regionen verbaut werden [27].

Über diese einfache Betrachtung der Ladepunktanzahl hinaus kann auch die Ladepunkt-klasse mit in die These eingeschlossen werden. Ladepunkte mit einer Leistung von über 50 kW werden auch als Langstreckenladeinfrastruktur bezeichnet [40] und sollen mit einem schnellen Ladevorgang dazu beitragen, auch weite Strecken für Elektrofahrzeughalter*innen attraktiv zu machen. Lange Strecken werden typischerweise im ländlichen Raum zurückgelegt, weshalb besonders an Autobahnraststätten in gering besiedelten Regionen ein stark ausgebautes Netz an Schnellladepunkten interessant ist [40].

Die Betrachtung der einzelnen Korrelationen zwischen den Ladepunkt- und der Bevölkerungsdichte zeigt einen mäßigen Zusammenhang, der mit Werten von $r = 0,35$ für Schnellladepunkte und $r = 0,18$ für Ultraschnellladepunkte aufzeigt, dass zumindest Schnellladepunkte vermehrt in gering besiedelten Landkreisen verbaut werden.

Da diese Aussage jedoch auf einer kleinen Datenbasis von 2487 Ultraschnellladepunkten und 9295 Schnellladepunkten beruht, ist die Aussagekraft eingeschränkt.

Ein anderer Ansatz, basiert auf der Ortsbeschreibung, die ebenfalls im Ladesäulenregister [17] verzeichnet sind. Durch eine Filterung der Begriffe 'Autobahn', 'Raststätte' und ähnlichen, ist es möglich festzustellen, dass mindestens 24,7 % der Schnellladepunkte in direkter Nähe zu Fernverbindungsstraßen in Betrieb sind. Berücksichtigt werden dabei nur Ladepunkte die klar zuordenbar sind. Ladepunkte in städtischen Landkreisen weisen in häufigen Fällen, nur eine Adresse und keine Beschreibung des Standorts auf, weshalb von einer hohen Dunkelziffer ausgegangen werden muss.

Unabhängig von der Bevölkerungsdichte wird der Anteil der Schnellladepunkte in den gesetzten Zielen nicht klar deklariert. Zwar gibt es z. B. Anforderungen an die Mineralölwirtschaft, bis 2026 75 % der Tankstellen mit Schnellladepunkten mit einer Mindestleistung von 150 kW auszustatten [18], darüber hinaus gibt es jedoch keine konkreteren

politischen Vorgaben. Erst im Jahr 2023 soll eine Arbeitsgruppe Schnellladepunkte in ganz Deutschland bedarfsgerecht ausschreiben [18].

5.4 Markthochlauf der Elektromobilität

Bei der Betrachtung des Markthochlaufs der Elektromobilität in Deutschland sind besonders die Ladepunktzahl und die Elektrofahrzeugzulassungen verlässliche Kennzahlen, um den bisherigen Verlauf zu bewerten und Aussagen über verschiedene Zukunftsszenarien zu formulieren.

Die Betrachtung der kombinierten Trendabbildung 4.14 lässt durch fast durchgehend wachsende Anstiegsraten in den vergangenen Jahren auf einen wachsenden Markt schließen. Durch fehlende Daten in den, von verschiedenen Bundesämtern, zur Verfügung gestellten Quellen kann der Verlauf der Elektrofahrzeugzulassungen vor 2018 nicht dargestellt werden. Laut einer Ausarbeitung des Fraunhofer Instituts [39], entwickelte sich der Bestand der Elektrofahrzeuge bis 2019 nur sehr langsam. Erst durch die politischen Förderungen und dem Aufbau der allgemeinen Akzeptanz in der Bevölkerung kam es ab 2019 zu einem massiven Wachstum [39].

Norwegen, Deutschland und Frankreich als dominierende Kräfte des europäischen E-Mobilitätsmarkts haben eine besondere Bedeutung für den Verlauf der zukünftigen Entwicklung eingenommen. Mit einem kombinierten Anteil von 54,5 % der Elektrofahrzeugen in Europa entscheiden diese drei Länder über die Geschwindigkeit des Markthochlaufs. Ambitionierte Ziele wie die der deutschen Bundesregierung sind deshalb ein wichtiger Faktor zur erfolgreichen Etablierung der Elektromobilität. In einem Strategiebrief der Europäischen Union wird das Ziel von drei Millionen Ladepunkten bis 2030 formuliert [33]. Allein Deutschland würde demnach bei Erreichen des Verkehrsplans, ein Drittel der gesamten Ladepunkte in Europa stellen [45].

Auch wenn die deutsche Ladepunktentwicklung der vergangenen Jahre im europäischen Vergleich überdurchschnittlich stark verlief, sind die Wachstumsraten dennoch nicht ausreichend zum Erreichen der deutschen Ausbauziele [39]. In Abbildung 4.15 sind unterschiedliche Szenarien aufgelegt, die mögliche Verläufe darstellen, wobei es sich dabei lediglich um mögliche Entwicklungen und keine Prognosen handelt.

Klar erkennbar ist, dass das Erreichen der ein Millionen Ladepunkt Marke mit einem linearen Verlauf, basierend auf den Wachstumsraten der letzten Jahre nicht ausreicht. Stattdessen ist das Erreichen des Zieles durch ein exponentielles Wachstum realistischer

durchführbar. Wird von einem jährlichen Anstieg von mindesten 38,4 % ausgegangen, wird die Marke von einer Millionen Ladepunkten vor 2030 erreicht (siehe Abbildung 4.15).

Durch viel Forschung und Entwicklung in einem neuen Markt ist es möglich, besonders am Anfang große Fortschritte zu erzielen. So ist auch die mittlere Ladeleistung durch immer neue Ergebnisse unterschiedlicher Forschungen über die Jahre gestiegen 4.16. Die Einführung der Schnellladepunkte 2014 sind mitverantwortlich für den Anstieg der Gesamtladeleistung. Zusätzlich werden seit 2016 Ultraschnellladepunkte verbaut, die in den kommenden Jahren vermehrt in Betrieb genommen werden [22].

Für die Elektrofahrzeugzulassung wurde genau wie für die Ladepunktzahl ebenfalls deutsche sowie europäische Ziele formuliert. Auf europäischer Ebene sollen laut einem Strategieplan [33] bis zum Jahr 2030 mindestens 30 Millionen Elektrofahrzeuge angemeldet sein, während die Bundesregierung 10 Millionen Elektrofahrzeuge für Deutschland plant [13]. Beim Erreichen der Ziele würden die deutschen Elektrofahrzeuge ein Drittel der europäischen Elektrofahrzeuge ausmachen. Schon jetzt ist Deutschland eines der Länder mit den meisten Elektrofahrzeugzulassungen und stellt 30 % der europäischen Gesamtzulassungen [39]. Mit einem Prozentsatz von 1,3 % Elektrofahrzeugen in Deutschland ist der inländische Marktanteil vergleichbar gering. Über den Vergleich mit Norwegen, mit einem Anteil von 54 % Elektrofahrzeugzulassungen, lässt sich erblicken, welche Auswirkungen die deutsche Automobilindustrie und deren Umschwung auf Europa und den Markthochlauf der Elektromobilität haben wird.

Passend dazu werden in der Abbildung 4.18 verschiedene Szenarien für die nächsten Jahre dargestellt. Bei den gezeigten Verläufen handelt es sich explizit nicht um Prognosen, sondern um mögliche Wege, die gesteckten Ziele zu erreichen.

Eine Betrachtung der bisherigen realen Zahlen zeigt trotz verschiedener weltweiter Krisen, einen kontinuierlichen Anstieg der Elektrofahrzeugzulassungen. Sowohl die Covid-19 Pandemie zwischen 2019 und 2021 als auch der russische Angriffskrieg auf die Ukraine in 2022 haben zu Einbrüchen in der Produktion und dem Vertrieb von Fahrzeugen geführt [50]. Zwar spricht die IEA von einer Dämpfung der Elektrofahrzeug Entwicklung. Dennoch ist, anders als bei Fahrzeugen mit Verbrennermotoren, kein Einbruch der Zulassungszahlen von Elektrofahrzeugen verzeichnet worden. Das Ausbleiben des Wachstumseinbruchs lässt auf ein stabiles Interesse der Bevölkerung und der Wirksamkeit der

politischen Subventionierung schließen.

Wird von einem weitestgehend linearen Wachstum der Elektrofahrzeugzulassungen wie in den Jahren zwischen 2018 und 2021 in den nächsten Jahren ausgegangen, wird das Ziel für 2030 trotzdem klar verpasst. Realistischer als ein massiver Anstieg der linearen Wachstumsrate ist z. B. ein exponentielles Wachstum von etwa 47,8 %, dass die 10 Millionen Marke vor 2030 knapp erreichen würde. Eine solch große Anstiegsrate über mehrere Jahre beizubehalten stellt die Industrie jedoch vor Komplikationen. So werden spezielle Chip als auch Akku-Fabriken erst in den nächsten Jahren fertiggestellt [41]. Abhängig ist der Erfolg der Ziele im wesentlichen von der Handlungsbereitschaft der Politik und Automobilhersteller.

Doch auch wenn der Elektromobilitätsmarkt bis 2030 die gesteckten Ziele erreicht und den angesetzten Trend weiter führt, steht der Emissionsausstoß des Verkehrssektors weiterhin im Konflikt mit der Emissionsneutralität, die für 2050 angesetzt worden ist [8][9][36]. Im 'Global Outlook 2022' [36] von der IEA werden verschiedene Szenarien detailliert aufgearbeitet und präsentiert. Das 'Net Zero 2050' Szenario ist darauf ausgerichtet, die Klimaschutzpläne der Bundesregierung einzuhalten und den einzelnen Sektoren Anforderungen zu bestimmten Meilensteinen zu setzen. Für den Verkehrssektor ist das Erreichen eines Elektrofahrzeuganteils von 60 % notwendig, um die Emissionsgrenzen einzuhalten. Bei etwa 48,5 Millionen zugelassenen Fahrzeugen in Deutschland entspricht das 28,8 Millionen Elektrofahrzeugen bis 2030.

Auch dieser Wert ist in Abbildung 4.18 eingezeichnet. Wird wieder von einem exponentiellen Wachstum ausgegangen, muss pro Jahr 66,3 % Zuwachs der Elektrofahrzeugzulassungen realisiert werden. In Betracht der Entwicklung der letzten Jahren, die im Mittel 74,5 % Zuwachs verzeichnet haben, scheinen die nötigen 66,3 % der kommenden Jahre erreichbar zu sein. Verstärkend wirken kommende Sanktionen gegen Verbrennerfahrzeuge, Subventionierungen von Elektrofahrzeugen und die Anstrengungen, alternative Mobilitätsformen wie den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) oder das Fahrradfahren attraktiv zu machen [2][48][3].

5.5 Zusammenhang zwischen PV-Anlagen und der Elektromobilität

Die Betrachtung der lokalen Energieproduktion, kann möglicherweise Aufschluss über das Kauf- und Investitionsverhalten eines Landkreises und seiner Bevölkerung geben. Betrachtet werden folgend PV-Anlagen, die in zwei Kategorien (Klein und Großkraftwerke) aufgeteilt wurden. Kleinkraftwerke sind mit einer Leistung unter 15 kWp benannt, während Großkraftwerke alle darüber liegenden Leistungsgrößen einschließen. Die Intention der Aufteilung ist, eine Unterscheidung zwischen privaten Dachanlagen und Großanlagen zu ermöglichen. Mit einer solchen Aufteilung soll es möglich sein eine Korrelation zwischen privaten PV-Anlagen und Elektrofahrzeugzulassungen und Ladepunkten zu errechnen. Darüber hinaus wird wieder eine geografische Darstellung produziert.

Nach anhaltender Rezession in der Photovoltaikindustrie zwischen den Jahren 2012 und 2017, erholt sich der PV-Markt immer weiter [42]. Grundlage für das erneute Wachsen der Installationszahlen ist nicht nur der politische Umschwung seit den Bundestagswahlen 2021, sondern auch die finanzielle und ökologische Entlastung des nutzenden Haushalts [42]. Mit dem parallel anlaufenden Elektromobilitätsmarkt ergeben sich verschiedene Anwendungsbereiche in denen der Energiesektor mit dem Verkehrssektor gekoppelt werden kann.

So besteht das Potential per bidirektionaler Ladetechnologie das Stromnetz zu erweitern und zu entlasten, sodass Schwankungen der PV- und Windenergieproduktion abgefangen werden können [28]. Ähnliche Anwendungsszenarien können in privaten Haushalten angewandt werden, bei denen das Elektrofahrzeug als Heimspeicher agiert und in Kombination mit einer PV-Anlage die Autarkie des Hauses unterstützt. Alternativ kann das Elektrofahrzeug mit überschüssigem PV-Strom für den Transport geladen wird. Ein intelligentes System koordiniert und steuert die verschiedenen Abläufe dabei, sodass eine Einspeisung in das lokale Stromnetz nur in seltenen Fällen notwendig ist.

Eine deutliche Korrelation von $r = 0,61$ zwischen den Datenreihen der Elektrofahrzeugzulassungen und der Anzahl an privaten PV-Anlagen zeigt, dass dieses Potential bereits genutzt wird und regionale Unterschiede eine untergeordnete Rolle spielen.

Aufgrund der Gleichstellung der einkommenschwachen Landkreise, wird weiterführend ein Zusammenhang zwischen der Einkommenstruktur und den privaten PV-Anlagen gesucht. Mit einem Korrelationswert von $r = 0,123$ wird die regionale Betrachtung gestärkt,

sodass die Aussage getroffen werden kann, dass Landkreise mit einem geringeren Einkommensschnitt keine Benachteiligung in den Installationszahlen von PV-Anlagen erfährt. Möglich ist die Erklärung über neue Geschäftsmodelle, die ein Leasing von Dachkraftwerken anbieten. So bieten unterschiedliche Firmen den Service eines Gesamtpaketes an, in dem sowohl die PV-Anlage, der Wechselrichter, der Heimspeicher und potentiell auch eine private Ladestation auf Kosten der Firmen geplant und installiert wird. Der Haushalt zahlt weiterhin verbrauchte Leistung, profitiert jedoch von den Annehmlichkeiten des grünen Stroms, der Wallbox und vergünstigten Tarifen [32].

Über solch neue Geschäftsmodelle hinaus, werden neu gebaute PV-Anlagen seit 2002 vom deutschen Staat subventioniert und durch eine garantierte Einspeisevergütung abgesichert [19]. Um eine erneute Flaute in der Photovoltaikindustrie zu verhindern und den Anteil der erneuerbaren Energien bis 2030 auf 80 % anzuheben, wurde 2022 im 'Osterpaket' [19] der Bundesregierung eine Erhöhung der Ausbaugeschwindigkeit durch unterschiedliche Maßnahmen festgelegt. Teil der genutzten Instrumente ist die erneute Anhebung der Einspeisevergütung, die schnellere Genehmigung und die Mitfinanzierung von PV-Anlagen durch lokale Kommunen [19].

Für eine erweiterte Betrachtung der Zusammenhänge der PV-Anlagen und der Elektromobilität wird die Bevölkerungsdichte herangezogen, die in Abbildung 4.23 aufgezeigt wird. Besonders stark ausgeprägt ist auf der Darstellung die Differenz der Verhältniswerte zwischen der süddeutschen und nord-ostdeutschen Landkreise zu erkennen. Darüber hinaus schneiden Großstädte durch besonders niedrige Skalenwerte in den Verlauf ein. Das Bild der gering vertretenen dicht besiedelten Regionen wird durch einen negativen Korrelationswert von $r = -0,317$ bestätigt.

In der Annahme, dass öffentliche Ladepunkte vermehrt in Regionen errichtet werden in denen wenige private Ladepunkte in Betrieb sind, lässt sich über den Korrelationskoeffizienten $r = 0.257$ zwischen den öffentlichen Ladepunkten und der Anzahl an privaten PV-Anlagen die These aufstellen, dass PV-Anlagen, wie private Ladepunkte, besonders in suburbanen und ländlichen Regionen installiert werden. Grundlage für eine solche Aussage ist erneut die erhöhte Präsenz der Ein- und Zweifamilienhaushalte, die eine Installation von vielen PV-Anlagen begünstigt.

6 Fazit

Die Aufarbeitung der verschiedenen Datensätze hat die unterschiedlichsten Ergebnisse hervorgebracht. Die Betrachtung der vergangenen Jahre hat dabei besonders deutlich gezeigt, dass der Markthochlauf der Elektromobilität politischen als auch gesellschaftlichen Rückhalt hat und die Entwicklung in Deutschland in den nächsten Jahren entscheidend für den erfolgreichen Markthochlauf in ganz Europa ist.

Die Betrachtung der aktuellen Zahlen hat dabei das Grundgerüst für die Bewertung der kommenden Jahre gebildet. Eine qualitativ hochwertige Entwicklung in den deutschen Landkreisen hat eine hohe Wichtigkeit, die dringend beibehalten oder verbessert werden muss. Während der Ausbau der Ladepunkte recht homogen über die verschiedenen Regionen verteilt ist, gibt es bei den Elektrofahrzeugzulassungen stark zurückfallende Landkreise. Besonders finanziell benachteiligte Regionen wie die neuen Bundesländer liegen häufig unter dem deutschen Durchschnitt der angemeldeten Elektrofahrzeuge. Verschiedene mögliche Ursachen wie die Abwanderung von hochgebildeten Menschen oder der fehlenden Automobilindustrie sind identifiziert worden und sollten in Zukunft erneut überprüft werden. Besonders an den geplanten Standorten der Automobilhersteller sollten starke Verbesserungen in der Ladepunktzahl, dem durchschnittlichen Einkommen und den Elektrofahrzeugzulassungen der umliegenden Landkreise verzeichnet werden.

Die Betrachtung der Landkreise mit ansässiger Automobilindustrie hat deutlich gezeigt, wie viel Einfluss die Industrie auf die Bevölkerung und die Politik hat. Kleine Landkreise wie Wolfsburg oder Groß Gerau profitieren, unabhängig von einer gesetzlichen Verpflichtung oder auf Freiwilligkeit basierend, offensichtlich von der Unterstützung der Fahrzeughersteller.

Ebenfalls von Bedeutung sind die Erkenntnisse, die über die Analyse der Einkommensstruktur deutlich geworden sind. Sowohl die Elektrofahrzeugzulassungen als auch die Ladepunkte sind deutlich mit dem durchschnittlichen Bruttoeinkommen der Landkreise verbunden. Trotzdem wurde in der geografischen Aufarbeitung der Ladepunktzahlen eine recht homogene Verteilung und nur geringe Benachteiligungen in finanziell schwächeren

Regionen erkennbar.

Darüber hinaus wurde über den deutliche Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Bruttoeinkommen und der Bevölkerungsdichte die Brücke hin zu den privaten Ladepunkten geschlagen. Die These, dass dichter besiedelte Landkreise vermehrt öffentliche Ladepunkte errichten, konnte bestätigt werden. In einer erweiterten Ausarbeitung, die mit engeren kleiner gefächerten Daten arbeitet, kann in Zukunft die erweiterte These überprüft werden, ob dichter besiedelte Landkreise die geringere Anzahl an privaten Ladepunkten mit einer erhöhten Zubaurate von öffentlichen Ladepunkten kompensieren.

Im gleichen Zuge ist es möglich, die genauere Aufschlüsselung der Installationsorte von privaten PV-Anlagen zu analysieren. Bereits mit den 'groben' Daten dieser Arbeit konnte eine Korrelation zwischen einer geringen Bevölkerungsdichte und einer erhöhten PV-Anlagenanzahl nachgewiesen werden.

Mit einem besonders aussagekräftigen Ergebnis bildet das Kapitel der möglichen Zukunftsverläufe einen guten Anhaltspunkt für zukünftige Ausarbeitungen. In ähnlichen Arbeiten, Artikeln oder in Plänen der Bundesregierung wenig vertreten sind konkrete Zahlen zum Erreichen der gesetzten Emissionsreduktionsziele. Durch die klaren Aussagen über die minimal nötige Wachstumsrate bei einem exponentiellen Verlauf wird die Dimension der Vorhaben der Bundesregierung und der Europäischen Kommission deutlich. Stetig steigende Zulassungszahlen und Ladepunktzubauten sind besonders in Zeiten, die stark von Weltkrisen beeinflusst werden, schwer zu erreichen. Nur mit robusten, stetig aktualisierten Maßnahmen und Handlungswillen der Industrie und Bevölkerung sind die Ziele realistisch erreichbar.

Literaturverzeichnis

- [1] *Klimaschutz im Verkehr.* <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/klimaschutz-im-verkehr#undefined>. – Accessed: 2022-12-17
- [2] *Radverkehr.* <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/radverkehr#gtgt-umweltfreundlich-und-klimaschonend>. – Accessed: 2022-12-17
- [3] *Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr.* <https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleich-der-durchschnittlichen-emissionen-0>. – Accessed: 2022-12-17
- [4] *Wegfall der Förderung für Plug-In-Hybride.* https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/Neuen_Antrag_stellen/neuen_antrag_stellen.html. – Accessed: 2022-12-17
- [5] ADAC: *Kostenvergleich Elektro, Benzin oder Diesel: Was ist günstiger?* <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/autokosten/elektroauto-kostenvergleich/>. – Accessed: 2022-09-09
- [6] BLUM, Ulrich ; BUSCHER, Herbert S. ; GABRISCH, Hubert ; GÜNTHER, Jutta ; HEIMPOLD, Gerhard ; LANG, Cornelia ; LUDWIG, Udo ; ROSENFELD, Martin T. W. ; SCHNEIDER, Lutz: Ostdeutschlands Transformation seit 1990 im Spiegel wirtschaftlicher und sozialer Indikatoren. 2. aktualisierte und verbesserte Auflage. Halle (Saale) : Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung Halle (IWH), 2010 (1/2009). – IWH-Sonderheft. – URL <http://hdl.handle.net/10419/140916>. urn:nbn:de:gbv:3:2-23474. – ISBN 978-3-941501-02-7
- [7] BMUV: *Die Klimakonferenz in Paris.* <https://www.bmu.de/themen/klimaschutz-anpassung/klimaschutz/internationale-klimapolitik/pariser-abkommen>. – Accessed: 2022-08-26

- [8] BMUV: *Der Klimaschutzplan 2050 – Die deutsche Klimaschutzlangfriststrategie.* <https://www.bmuv.de/themen/klimaschutz-anpassung/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimaschutzplan-2050>. – Accessed: 2022-08-26
- [9] BUNDESAMT FÜR DIGITALES UND VERKEHR: *Elektromobilität mit Batterie | Förderrichtlinie Elektromobilität.* <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Elektromobilitaet/Elektromobilitaet-mit-batterie/elektromobilitaet-mit-batterie.html>. – Accessed: 2022-10-14
- [10] BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE: *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder | Einkommen (Kreise).* <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/nicht-administrative-gebietseinheiten/gebietseinheiten-1-250-000-ge250.html>. – Accessed: 2022-12-10
- [11] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ / BUNDESAMT FÜR JUSTIZ: *Bundes-Klimaschutzgesetz.* <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html>. 2019. – Accessed: 2022-09-04
- [12] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ: *Förderung der Elektromobilität.* <https://www.bmuv.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/foerderung>. – Accessed: 2022-11-25
- [13] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG: *Elektromobilität | Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter.* <https://www.bmdv.bund.de/blaetterkatalog/catalogs/235170/pdf/complete.pdf>. – Accessed: 2022-11-07
- [14] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ: *Elektromobilität (Definition i.S. der Bundesregierung).* <https://www.erneuerbar-mobil.de/glossar/elektromobilitaet-definition-der-bundesregierung>. – Accessed: 2022-08-17
- [15] BUNDESNETZAGENTUR: *2. Überblick über die öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur zum 01. August 2022.* <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/start.html>. – Accessed: 2022-09-28

- [16] BUNDESNETZAGENTUR: *Auszug der öffentlichen Daten des Marktstammdatenregisters.* <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Datendownload>. – Accessed: 2022-12-10
- [17] BUNDESNETZAGENTUR: *Elektromobilität: Öffentliche Ladeinfrastruktur.* <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/start.html>. – Accessed: 2022-12-10
- [18] BUNDESREGIERUNG: *Masterplan Ladeinfrastruktur II.* https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur-2.pdf?__blob=publicationFile. – Accessed: 2022-12-16
- [19] BUNDESREGIERUNG: *Osterpaket für Energiewende vom Bundesrat gebilligt.* <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/novellierung-des-eeg-gesetzes-2023972>. – Accessed: 2022-12-17
- [20] BUNDESREGIERUNG: *Umwelt- und Klimaschutz bei Deutschen hoch im Kurs.* <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/umwelt-und-klimaschutz-wichtig-1899276>. – Accessed: 2022-08-26
- [21] BUNDESREGIERUNG: *Klimaschonender Verkehr.* <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschonender-verkehr-1794672>. 2022. – Accessed: 2022-09-04
- [22] BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT: *Ausbau leistungsstarker Schnellladesäulen gewinnt weiter an Fahrt.* <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/ausbau-leistungsstarker-schnellladesaeulen-gewinnt-weiter-an-fahrt/>. – Accessed: 2022-12-17
- [23] CHRISTOPH REIMANN: *Der Deutsche wird noch lange im Auto sitzen.* <https://www.deutschlandfunk.de/kulturwandel-in-der-autofahrernation-der-deutsche-wird-noch-100.html>. – Accessed: 2022-12-17
- [24] DAS KRAFTFAHRT-BUNDESAMT: *Monatliche Neuzulassungen November 2022 - FZ1.* https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/MonatlicheNeuzulassungen/monatl_neuzulassungen_node.html. – Accessed: 2022-12-10

- [25] DEUTSCHE AUTOMOBIL TREUHAND GMBH (DAT): *DAT REPORT 2022*. https://www.dat.de/fileadmin/user_upload/DAT-report2022_Kurzbericht.pdf. – Accessed: 2022-11-25
- [26] DEUTSCHER BUNDESTAG: *Transferzahlungen an die ostdeutschen Bundesländer*. <https://www.bundestag.de/resource/blob/550094/8e17e37a176c0f9c69150314bed6894d/WD-4-033-18-pdf-data.pdf>. – Accessed: 2022-09-18
- [27] DR. DANIEL RÖMER, DR. JOHANNES STEINBRECHER, KFW RESEARCH: *Die Elektromobilität nimmt Fahrt auf – doch wer setzt sich eigentlich ans Steuer?* <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2021/Fokus-Nr.-331-Mai-2021-EMobilitaet.pdf>. – Accessed: 2022-09-28
- [28] DR. HÅVARD NYMOEN, TIM KIMPEL, CHRISTOPHER KASCHADE: *Initiative „Bidirektionales Laden“*. <https://ceco.de/user/pages/downloads/14.bidirektionales-laden-von-eautos-als-schlüssel-zur-flexibilisierung-des-energiesystems/Initiative%20Bidirektionales%20Laden%20Positionspapier%20M%C3%A4rz%202022.pdf>. – Accessed: 2022-12-17
- [29] ELEKTROAUTO-NEWS.NET: *Opel Zukunftspläne wurden bekannt gegeben: profitabel, elektrisch und global*. <https://www.elektroauto-news.net/2017/opel-zukunftsplaene-bekannt-pace-profitabel-elektrisch-global>. – Accessed: 2022-09-30
- [30] ELEKTROMOBILITÄT NRW: *Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur – ein Leitfaden für Kommunen*. https://www.elektromobilitaet.nrw/fileadmin/Daten/Download_Dokumente/Kommunen/08_Broschuere_Aufbau_oeff_Lis_ElektroMobilitaet_NRW_Technische_Grundlagen.pdf. – Accessed: 2022-12-17
- [31] ENBW: *Schnell oder ultraschnell: So viel Power haben Schnellladestationen für Elektroautos*. <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/laden/schnellladen/>. 2022. – Accessed: 2022-10-14
- [32] ENPAL: *Enpal Produktvorstellung*. <https://www.enpal.de/produkt>. – Accessed: 2022-12-17

- [33] EUROPEAN COMMISSION: *Sustainable Smart | Mobility Strategy*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_2329. – Accessed: 2022-12-02
- [34] EUROPÄISCHER RAT: *Paket „Fit für 55“: Allgemeine Ausrichtungen des Rates zu Emissionsreduktionen und ihren sozialen Auswirkungen*. <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2022/06/29/fit-for-55-council-reaches-general-approaches-relating-to-emissions-reductions-and-removals-and-their-social-impacts/>. – Accessed: 2022-08-17
- [35] HY SOLUTIONS: *Masterplan Ladeinfrastruktur der Freien und Hansestadt Hamburg*. <https://www.hysolutions.de/das-hamburger-modell/>. – Accessed: 2022-09-02
- [36] INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR: *Global EV Outlook 2022 | Securing supplies for an electric future*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/e0d2081d-487d-4818-8c59-69b638969f9e/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf>. – Accessed: 2022-11-07
- [37] KARLE, Anton: Berechnungen. In: *Elektromobilität*. München : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Mai 2021, S. 233–243
- [38] KURZ UND KNAPP / BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG: *Solidarpakt*. <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/20546/solidarpakt/>. – Accessed: 2022-09-18
- [39] M, Gnann T; Speth S; Plötz P; Wietschel M; K.: : Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge – Rückblick und Ausblick bis 2030. Working Papers Sustainability and Innovation, No. S 05/2022. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI. – Forschungsbericht. – URL https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2022/WP05-2022_Markthochlaufszszenarien_E-Fahrzeuge_GNT-final.pdf
- [40] MINISTERIUM FÜR VERKEHR - BADEN-WÜRTTEMBERG: *Ladeinfrastruktur für Baden-Württemberg*. <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/elektromobilitaet/ladeinfrastruktur>. – Accessed: 2022-12-17
- [41] MITTELDEUTSCHER RUNDFUNK: *Bringt E-Mobilität Ostdeutschland auf die Überholspur?* <https://www.mdr.de/nachrichten/jahresrueckblick/>

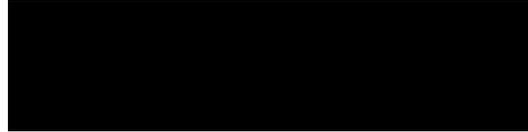
- e-mobilitaet-ostdeutschland-autoindustrie100.html. – Accessed: 2022-09-18
- [42] SOLAR POWER EUROPE: *Enpal Produktvorstellung*. <https://www.solarpowereurope.org/insights/market-outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2021#downloadForm>. – Accessed: 2022-12-17
- [43] STATISTA: *Geplante Anzahl neuer Modelle von Elektroautos ausgewählter Automobilhersteller von 2021 bis 2030*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1245831/umfrage/geplante-elektromodelle-ausgewaehelter-automobilhersteller/>. – Accessed: 2022-08-17
- [44] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Kreisfreie Städte und Landkreise nach Fläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte am 31.12.2021*. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/04-kreise.html;jsessionId=66EF86CF9EA66B4DF111AD9DBA83CB75.live722>. – Accessed: 2022-12-10
- [45] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Straßenverkehr: Dominanz des Autos ungebrochen*. <https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Verkehr/Auto.html>. – Accessed: 2022-12-02
- [46] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Verdienste 2021: Durchschnittlich 4 100 Euro brutto im Monat*. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Verdienste/Verdienste-Verdienstunterschiede/verdienste-branchen.html>. – Accessed: 2022-10-02
- [47] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen*. https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/Publikationen/Downloads-Inlandsprodukt/inlandsprodukt-vierteljahr-pdf-2180120.pdf?__blob=publicationFile. – Accessed: 2022-11-25
- [48] TAGESSCHAU: *Einigung auf klimaneutrale Neuwagen*. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/neuwagen-emissionsfrei-eu-101.html>. – Accessed: 2022-12-17
- [49] UMWELT BUNDESAMT: *Klimaschutz im Verkehr*. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/klimaschutz-im-verkehr#ziele>. 2021. – Accessed: 2022-09-04

- [50] VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE: *Coronakrise sorgt im 1. Halbjahr 2020 für beispiellosen Einbruch auf internationalen Pkw-Märkten.* <https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/200716-Corona-Krise-sorgt-im-ersten-Halbjahr-2020-f-r-beispiellosen-Einbruch-auf-den-internationalen-Pkw-Maerkten>. – Accessed: 2022-12-17
- [51] VOLKSWAGEN: *Elektroautos – welche Rolle spielt das Gewicht?* <https://www.volkswagen.de/de/elektrofahrzeuge/elektromobilitaet-erleben/e-mobilitaet/elektroautos-welche-rolle-spielt-das-gewicht.html>. 2022. – Accessed: 2022-08-17
- [52] VOLKSWAGEN: *Modularer E-Antriebs-Baukasten.* <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/modularer-e-antriebs-baukasten-3677>. 2022. – Accessed: 2022-08-17
- [53] VOLKSWAGEN AG, STADT WOLFSBURG: *#WolfsburgDigital - Eine Initiative der Stadt Wolfsburg und der Volkswagen AG.* <https://wolfsburgdigital.org/wp-content/uploads/wolfsburg-digital-Memorandum-of-Understanding-neu.pdf>. – Accessed: 2022-10-01
- [54] ZWISCHENSTAATLICHER AUSSCHLUSS FÜR KLIMAÄNDERUNG (IPCC): *Klimaänderung 2007 | Synthesebericht.* <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/IPCC2007-SYR-german.pdf>. 2007. – Accessed: 2022-12-05

A Anhang

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.



Ort

Datum

Unterschrift im Original