

Bachelorarbeit

Öffentliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge: Eine vergleichende Studie der europäischen Länder

Verfasser

Raphael Hug

Betreuer

Dr. Mario Gellrich

Institution

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften

(ZHAW) School of Management and Law

Studiengang Wirtschaftsinformatik

Abgabedatum

26. Mai 2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Management Summary	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage.....	1
1.2 Problemstellung	1
1.3 Forschungslücke	2
1.4 Beitrag und Zielsetzung.....	2
1.5 Forschungsfrage	2
1.6 Abgrenzung	3
1.7 Aufbau der Arbeit.....	3
2 Stand der Forschung	3
2.1 Begriffsdefinition	3
2.2 Elektromobilität.....	4
2.2.1 Historische Entwicklung der Elektromobilität	4
2.2.2 Elektrofahrzeugtypen.....	5
2.2.3 Entwicklung und Akzeptanz der Elektrofahrzeuge	6
2.3 Ladeinfrastruktur	7
2.3.1 Unterscheidung öffentlicher, halbprivater und privater Ladeinfrastruktur ...	7
2.3.2 Entwicklung der öffentlichen Infrastruktur	8
2.3.3 Operators von öffentlichen Ladestationen.....	9
2.3.4 Aufbau der Ladestation	9
2.3.5 Stromarten und Leistung	9
2.3.6 Steckertypen	10
2.3.7 Nutzung der öffentlichen Ladeinfrastruktur	11
2.3.8 Optimierung der öffentlichen Ladeinfrastruktur	12
2.3.9 Förderung der öffentlichen Ladeinfrastruktur	13
2.3.10 Benutzerpräferenzen der öffentlichen Ladeinfrastruktur	14
3 Methodik.....	15
3.1 Daten.....	15
3.1.1 Lemnet.....	15
3.1.2 ACEA	16

3.1.3	Eurostat.....	17
3.2	Datenaufbereitung	19
3.2.1	Lemnet.....	19
3.2.2	ACEA	20
3.2.3	Eurostat.....	20
3.3	Datenanalyse.....	21
4	Ergebnisse.....	22
4.1	Analyse der Datenbasis	22
4.1.1	Ladestationen.....	22
4.1.2	Steckertypen	24
4.1.3	Leistung und Stromstärke.....	25
4.1.4	Operators	25
4.1.5	Fahrzeugdaten.....	26
4.1.6	Einflussfaktoren.....	27
4.2	Analyse der Zusammenhänge.....	28
4.2.1	Ladestationen und dichtebezogene Kennzahlen.....	28
4.2.2	Ladestationen und wirtschaftliche Kennzahlen.....	32
4.2.3	Ladestationen und infrastrukturelle Kennzahlen.....	34
5	Diskussion	37
5.1	Analyse der Datenbasis	37
5.1.1	Ladestationen.....	37
5.1.2	Steckertypen	37
5.1.3	Leistung und Stromstärke.....	38
5.1.4	Operators	38
5.1.5	Fahrzeugdaten.....	38
5.1.6	Einflussfaktoren.....	39
5.2	Analyse der Zusammenhänge.....	39
5.2.1	Ladestationen und dichtebezogene Kennzahlen.....	39
5.2.2	Ladestationen und wirtschaftliche Kennzahlen.....	40
5.2.3	Ladestationen und infrastrukturelle Kennzahlen.....	41
6	Schlussfolgerung	42
7	Literaturverzeichnis	44
8	Anhang	49

Management Summary

Der Strassenverkehr ist für rund 12 Prozent der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich. Die Entwicklung der Elektromobilität gilt dabei als wichtiger Treiber, um diese Emissionen zu reduzieren. Eine fortschreitende Elektromobilität setzt jedoch eine solide Ladeinfrastruktur für die Elektrofahrzeuge voraus. Obwohl in Europa in den letzten Jahren ein starker Anstieg der Ladeinfrastruktur verzeichnet wurde, gibt es immer noch erhebliche Unterschiede zwischen den europäischen Ländern. Deshalb wird im Rahmen dieser Bachelorarbeit die Ladeinfrastruktur in Europa auf die Dichte, Steckertypen und Leistung analysiert und Faktoren untersucht, die einen Einfluss auf die öffentliche Ladeinfrastruktur in Europa haben. Diese Einflussfaktoren sind dichtebezogen, wirtschaftlich und infrastrukturell und werden mit explorativen und statistischen Methoden dargelegt. Die Studie zeigt, dass die Ladeinfrastruktur einen signifikanten Zusammenhang mit dem Bruttoinlandprodukt und der Anzahl Zugpassagiere der analysierten Länder aufweist. Dabei wurde nur ein geringer Zusammenhang zur Arbeitslosenquote und dem Strompreis festgestellt. Weiter hat die Dichte an Elektrofahrzeugen wenig Einfluss auf die Dichte der Ladeinfrastruktur. Viele Datenpunkte enthalten jedoch auch positive Ausreisser, weshalb die Schlussfolgerung der Studie ergibt, dass nationale Strategien und regulatorische Massnahmen von entscheidender Bedeutung für die Förderung der Elektromobilität sind. Dies bestätigen die Länder Deutschland, Österreich, Niederlande und Norwegen. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden Handlungsempfehlungen für Betreiber von Ladestationen und Regierungen abgeleitet. Diese umfassen Investitionen in die Ladeinfrastruktur, Schaffung von Anreizen zur Nutzung von Elektrofahrzeugen durch steuerliche Vorteile oder Subventionen und Erweiterung des Angebots von Ladestationen an verschiedenen Standorten, um die Zugänglichkeit und Bequemlichkeit des Ladens zu erhöhen. Diese Erkenntnisse aus der Beantwortung der Forschungsfrage sollen als Grundlage für weitere Forschungsarbeiten dienen. Ausserdem können Regierungen und Operators Handlungen daraus ableiten, die zu einer optimalen Ausgestaltung der Ladeinfrastruktur dienen können. Eine Ausweitung der Untersuchung auf mehr Länder und einen längeren Zeitraum könnte ein umfassenderes Verständnis der Trends und Muster in der Entwicklung der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Europa ermöglichen. Darüber hinaus könnten weitere potenzielle Einflussfaktoren zur Analyse hinzugezogen werden, um weitere Erkenntnisse zur Akzeptanz von Elektrofahrzeugen zu generieren.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die wichtigsten Steckertypen	10
Abbildung 2: Verfügbare Lemnet-Daten einer Ladestation in Winterthur	15
Abbildung 3: Python Code für den Eurostat-API Zugriff.....	18
Abbildung 4: Anzahl Ladestationen in Europa (NUTS-2).....	23
Abbildung 5: Anzahl Steckertypen.....	24
Abbildung 6: Anteil Fastcharger, Typ 2 und andere Stecker pro Land.....	24
Abbildung 7: Analyse der Stromstärke	25
Abbildung 8: Vergleich von Ladestationen pro 1.000 Einwohner und pro 1.000 PEV .	29
Abbildung 9: Vergleich von Stecker pro 1.000 Einwohner und pro 1.000 PEV	29
Abbildung 10: Dichte der Ladestationen in Europa pro 1.000 Einwohner (NUTS-2)...	30
Abbildung 11: Dichte der Stecker in Europa pro 1.000 Einwohner (NUTS-2)	31
Abbildung 12: Stecker und PEV pro 1.000 Einwohner.....	32
Abbildung 13: Ladestationen pro 1.000 Einwohner und BIP	33
Abbildung 14: Stecker pro 1.000 Einwohner und BIP	33
Abbildung 15: Stecker pro 1.000 Einwohner und Arbeitslosenquote.....	34
Abbildung 16: Regression Ladestationen pro 1.000 Einwohner und Strompreis	35
Abbildung 17: Regression Ladestationen pro 1.000 Einwohner und Zugpassagiere.....	36
Abbildung 18: Regression Ladestationen pro 1.000 Einwohner und Zugpassagiere.....	36
Abbildung 19: Boxplot Anzahl Ladestationen pro 1.000 Einwohner	49
Abbildung 20: Boxplot Anzahl Stecker pro 1.000 Einwohner.....	49
Abbildung 21: Ladestationen pro 1.000 PEV und BIP	50
Abbildung 22: Stecker pro 1.000 PEV und BIP	50
Abbildung 23: Korrelationsanalyse Ladeinfrastruktur und Arbeitslosenquote.....	51
Abbildung 24: Korrelationsanalyse Ladeinfrastruktur und Strompreis	51
Abbildung 25: Regression Stecker pro 1.000 Einwohner und Strompreis.....	52
Abbildung 26: Korrelationsanalyse Ladeinfrastruktur und Anzahl Zugpassagiere	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fahrzeugtypen	6
Tabelle 2: Anzahl Ladestandorte pro Land	16
Tabelle 3: Beschreibung der Eurostat Daten	18
Tabelle 4: Zusammengefasste Steckertypen.....	20
Tabelle 5: Stecker pro Ladestation	24
Tabelle 6: Analyse der Leistung.....	25
Tabelle 7: Anzahl Operators.....	26
Tabelle 8: Fahrzeugdaten.....	26
Tabelle 9: Einflussfaktoren.....	28

Abkürzungsverzeichnis

A	Ampere
AC	Wechselstrom
ACEA	Automobile Manufacturers' Association
ALQuote	Arbeitslosenquote
BEV	Battery Electric Vehicles
Bev_Dichte	Bevölkerungsdichte
BIP	Bruttoinlandprodukt pro Kopf
DC	Gleichstrom
EVSE	Electrical Vehicle Supply Equipment
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicles
H2ICE	Wasserstoff Internal Combustion Engine
HEV	Hybrid Electric Vehicles
kW	Kilowatt
NUTS	Nomenclature des Unités territoriales statistiques
Operators	Betreiber von Ladestationen
PHEV	Plug-in-Hybrid Electric Vehicles
Regex	Regulärer Ausdruck

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Bedenken bezüglich der Treibhausgasemissionen und deren Auswirkungen auf die Umwelt nehmen kontinuierlich zu. Dies bestätigt sich im jährlichen Sorgenbarometer der Credit Suisse (o. J.), bei dem das Thema Umwelt als die grösste Sorge der Schweizerinnen und Schweizer eingestuft wurde. Der Strassenverkehr ist dabei für etwa 12 Prozent der globalen Emissionen verantwortlich (Ritchie et al., 2020). Die Entwicklung der Elektromobilität gilt somit als zentrale Grösse, um den CO₂-Ausstoss im Verkehrssektor zu reduzieren (Ritchie et al., 2020). Um diese Emissionen zu reduzieren, setzt sich auch die Europäische Kommission ambitionierte Ziele bis 2050 (Statharas et al., 2019, S. 1). Viele Szenarien der EU setzen dabei eine deutliche Erhöhung der Elektrifizierung des Strassenverkehrs voraus (Statharas et al., 2019, S. 1). Neben der Entwicklung von Technologie und der Politik ist dabei die Verfügbarkeit der privaten sowie der öffentlichen Ladeinfrastruktur ein wichtiger Aspekt für die Akzeptanz der Elektromobilität (Chakraborty et al., 2019, S. 255). Die Bereitschaft, Elektrofahrzeuge zu nutzen, korrelieren mit der Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Ladestationen (Chakraborty et al., 2019, S. 256). Dies hat Auswirkungen auf den Erfolg der Elektromobilität und kann somit zur Reduktion der Emissionen im Verkehrssektor führen.

1.2 Problemstellung

Obwohl in Europa in den letzten Jahren ein starker Anstieg der Ladeinfrastruktur verzeichnet wurde, gibt es immer noch erhebliche Unterschiede zwischen den europäischen Ländern (Falchetta & Noussan, 2021, S. 1). Diese Unterschiede können auf diverse Faktoren zurückzuführen sein, die die Entwicklung und Implementierung von Ladeinfrastrukturen beeinflussen (LaMonaca & Ryan, 2022, S.1). Eine detaillierte Analyse möglicher Faktoren und deren Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Ladestationen in den verschiedenen europäischen Ländern ist für ein umfassendes Verständnis dieser Problematik deshalb wichtig. Informationen aus Ländern mit fortgeschrittener Ladeinfrastruktur könnten anderen Ländern dabei helfen, mögliche Handlungen abzuleiten, um ihre eigene Ladeinfrastruktur zu verbessern. So können beispielsweise effektivere Anreizsysteme implementiert werden, welche die private und öffentliche Investition in die Errichtung von Ladeinfrastruktur verbessern. Ausserdem erhalten Betreiber von Ladestationen (Operators) einen Einblick über eine bessere Planung und Platzierung der Ladestationen.

1.3 Forschungslücke

Die Unterschiede in der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge zwischen europäischen Ländern stellen ein interessantes Forschungsgebiet dar. Es gibt jedoch wenig umfassende Untersuchungen, welche die Zusammenhänge zwischen den dichtebezogenen, wirtschaftlichen und infrastrukturellen Einflussfaktoren und der Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur in den verschiedenen Ländern untersuchen. Eine detaillierte Analyse der Faktoren könnte dazu beitragen, die derzeitigen Unterschiede besser zu verstehen. Damit können zukünftige Strategien für den Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur effektiver gestaltet werden.

1.4 Beitrag und Zielsetzung

Mit explorativen und statistischen Methoden soll in dieser Arbeit die öffentliche Ladeinfrastruktur von europäischen Ländern analysiert werden. Dazu wird die Ladeinfrastruktur der verschiedenen Länder verglichen und verschiedene Einflussfaktoren herangezogen. Dieser Vergleich soll dazu dienen, Erkenntnisse über den dichtebezogenen, wirtschaftlichen und infrastrukturellen Zusammenhang zwischen den Einflussfaktoren und der Ladeinfrastruktur zu gewinnen. Die Erkenntnisse aus der Beantwortung der Forschungsfrage sollen als Grundlage für weitere Forschungsarbeiten dienen. Ausserdem können Regierungen und Operators Handlungen ableiten, die zu einer optimalen Ausgestaltung der Ladeinfrastruktur dienen können.

1.5 Forschungsfrage

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit gilt es, die folgende Forschungsfrage zu beantworten:

Welche Faktoren haben einen Einfluss auf die öffentliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Europa?

Um diese Forschungsfrage zu untersuchen, werden weitere Teilfragen formuliert:

1. Wie unterscheidet sich die Ladeinfrastruktur in den einzelnen Ländern in Bezug auf die Dichte der Infrastruktur, deren Steckertypen, Leistung und Stromstärke?
2. Welche Zusammenhänge gibt es zwischen dichtebezogenen, wirtschaftlichen und infrastrukturellen Einflussfaktoren und der Ladeinfrastruktur?

1.6 Abgrenzung

Die Analyse in dieser Arbeit befasst sich primär mit der öffentlichen Ladeinfrastruktur und deren Einflussfaktoren. Die private Ladeinfrastruktur wird ebenfalls erwähnt, jedoch nicht in der Analyse berücksichtigt. Ausserdem beschränkt sich die Studie auf die europäischen Länder, da diese einen ähnlichen politischen und wirtschaftlichen Rahmen bieten.

1.7 Aufbau der Arbeit

Diese Bachelorarbeit beginnt im Kapitel 2 mit dem Stand der Forschung, wobei zuerst die unterschiedlichen Begriffe definiert werden. Anschliessend wird der aktuelle Stand der Elektromobilität beleuchtet, um anschliessend den Stand der Forschung zu der Ladeinfrastruktur darzulegen. Im Kapitel 3 folgt die Methodik, welche die Datengrundlage sowie das Vorgehen der Datenaufbereitung und Analyse erläutert. Im Kapitel 4 werden die Ergebnisse der explorativen und der statistischen Analyse präsentiert. Anschliessend werden die Ergebnisse im Kapitel 5 diskutiert und im Kapitel 6 werden die Schlussfolgerungen daraus gezogen.

2 Stand der Forschung

Als Einleitung in den Stand der Forschung werden die Begrifflichkeiten im ersten Abschnitt unter 2.1 genauer erklärt. Anschliessend wird übergeordnet in Kapitel 2.2 die Entwicklung der Elektromobilität erklärt. Darin enthalten ist die Differenzierung der einzelnen Elektrofahrzeugtypen sowie deren Entwicklung und Akzeptanz. In Abschnitt 2.3 wird die Ladeinfrastruktur detailliert erläutert. Auch hier werden die einzelnen Begrifflichkeiten definiert und unterschieden, bevor einzelne Komponenten der Ladeinfrastruktur beschrieben werden. Die Untersuchung diverser Studien in den Bereichen Nutzung, Optimierung, Förderung und Benutzerpräferenzen der Ladeinfrastruktur sowie die Analyse des grössten Operators von Ladestationen sind darin enthalten.

2.1 Begriffsdefinition

Für ein besseres Verständnis der Arbeit werden einleitend grob die wichtigsten Begriffe vom Stand der Forschung und des Titels der Bachelorarbeit erklärt und es wird wo nötig darauf hingewiesen, in welchem Abschnitt weiterführende Informationen zu finden sind. Diese Arbeit ist eine vergleichende Studie der öffentlichen Ladeinfrastruktur für

Elektrofahrzeuge in europäischen Ländern. Übergeordnet steht der Begriff Elektromobilität, welcher sich auf den Einsatz von Elektrofahrzeugen bezieht, die ganz oder teilweise durch elektrische Energie aus Batterien angetrieben werden (Infineon Technologies AG, o. J.). Elektrofahrzeuge können in verschiedenen Formen und Grössen auftreten, darunter Fahrräder, Motorräder, Autos, Lastwagen, Busse, Tram und Züge (Ajanovic et al., 2021, S. 2). Jeder dieser Fahrzeugtypen hat spezifische Anforderungen hinsichtlich der Leistung, Reichweite und Ladeinfrastruktur (Ajanovic et al., 2021, S. 2). In dieser Arbeit werden unter Elektrofahrzeugen primär elektrische Personenwagen definiert. Die einzelnen Typen werden im Kapitel 2.2.2 näher erläutert. Da die Elektrofahrzeuge auf eine Energiezufuhr angewiesen sind, benötigen diese eine Ladeinfrastruktur. Der Begriff Ladeinfrastruktur wie auch die Präzisierung der öffentlichen Ladeinfrastruktur wird in Kapitel 2.3 genauer aufgezeigt. Grob handelt es sich dabei um Ladestationen, welche für die Öffentlichkeit ohne Einschränkung zugänglich sind (LaMonaca & Ryan, 2022, S. 2). Die vorliegende Studie vergleicht konkret 16 verschiedene Länder in Europa, welche im Kapitel 3.1.1 dargestellt sind. Im Stand der Forschung werden gewisse Themen zusätzlich weltweit beleuchtet, um ein besseres Verständnis der Materie zu erhalten. Wie bereits erwähnt, steht übergeordnet der Begriff Elektromobilität, weshalb dieser im nächsten Abschnitt erläutert wird.

2.2 Elektromobilität

2.2.1 Historische Entwicklung der Elektromobilität

Die weltweite Geschichte der Elektromobilität reicht bis ins 19. Jahrhundert zurück (Ajanovic et al., 2021, S. 4). Mit der Erfindung der Batterie, der ersten Erzeugung eines magnetischen Feldes aus elektrischem Strom und der Erfindung des Elektromagneten wurde die Basis für den Bau des ersten Elektromotors gelegt (Doppelbauer, 2014). Moritz Jacobi erfand den ersten rotierenden Elektromotor und kurz später erbauten 1835 Stratingh und Becker einen Elektromotor, der ein kleines Modellfahrzeug antrieb (Doppelbauer, 2014). Ab 1880 und den folgenden Jahrzehnten wurde die Elektromobilität stark weiterentwickelt (Høyer, 2008, S. 64). Anfangs 1900 waren Elektromotoren für Personenwagen sogar führend und rund dreimal weiter verbreitet als Verbrennungsmotoren (Situ, 2009). Ab 1930 wurde das Elektrofahrzeug jedoch von Benzinfahrzeugen als führende Technologie abgelöst, da diese günstiger in Massenproduktion hergestellt werden konnten und der Benzinpreis stark an Wert einbüsste (Situ, 2009). Anschliessend stockte die Entwicklung der Elektromobilität, bis Anfang 1970 die Energiekrise sowie aufkommende Umweltprobleme die Elektromobilität wieder förderte (Situ, 2009). Zu Beginn des 21.

Jahrhunderts gab es grosse technologische Fortschritte, jedoch waren die erste Versuche von Elektrofahrzeugen wenig erfolgreich (Ajanovic et al., 2021, S. 5). Dies war auf die hohen Batteriekosten, die geringe Reichweite, limitierte Ladeinfrastruktur und die langen Ladezeiten zurückzuführen (Ajanovic et al., 2021, S. 5). Die jüngste Vergangenheit, das Aufkommen von Tesla und den Einfluss von Hybridfahrzeugen werden im Kapitel 2.2.3 näher erläutert. Im öffentlichen Sektor war die Implementation von Elektrofahrzeugen erfolgreicher. Die Anfänge machten Eisenbahnunternehmen, die zu Beginn des 20. Jahrhunderts mit der Elektrifizierung begannen und somit erste Dampflokomotiven ersetzten (Ajanovic et al., 2021, S. 5). Die Elektrifizierung schritt aufgrund des ersten Weltkrieges langsam voran, weshalb die Mehrheit der Länder weltweit Anfang 1930 eine Elektrifizierung des Eisenbahnnetzes von unter 20 Prozent hatten (Ajanovic et al., 2021, S. 6). Einzig die Schweiz hatte zu diesem Zeitpunkt bereits eine Elektrifizierung von fast 50 Prozent (Ajanovic et al., 2021, S. 6). Ab dem zweiten Weltkrieg Schritt der Ausbau des Eisenbahnnetzes weiter voran und zum heutigen Stand weisen viele Länder eine Elektrifizierung von über 50 Prozent auf (Ajanovic et al., 2021, S. 6). Die Elektromobilität hat sich somit besonders im öffentlichen Sektor bewährt. Eine Studie in Österreich zeigt, dass 2018 rund 95 Prozent der totalen Kilometer von Elektrofahrzeugen von Zügen, Trams und Bussen gemacht werden (Ajanovic et al., 2021, S. 2). Im nächsten Kapitel werden die Elektrofahrzeugtypen genauer unterschieden, um anschliessend deren Akzeptanz zu ermitteln.

2.2.2 Elektrofahrzeugtypen

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Ladeinfrastruktur. Dennoch ist ebenso eine Analyse der Elektroautos relevant, da diese die Ladeinfrastruktur nutzen. De Haan et al. (2021, S. 2) zeigen in ihrem Bericht die unterschiedlichen Elektrofahrzeugtypen auf. Dies Informationen aus diesem Bericht wurden für die untenstehende Tabelle 1 übernommen und auf die wesentlichen Informationen gekürzt. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf PEV, da FCEV eine separate Infrastruktur benötigen, um Wasserstoff zu tanken (De Haan et al., 2021, S. 2). Wie bereits erwähnt, ist der Anteil der gefahrenen Kilometer von Elektroautos im Vergleich zu anderen Elektrofahrzeugen noch gering. Deshalb wird in einem nächsten Schritt die Entwicklung und Akzeptanz von Elektroautos weiter untersucht.

Tabelle 1: Fahrzeugtypen (Quelle: de Haan et al., 2021, S. 2)

Elektrofahrzeuge	BEV	Battery Electric Vehicles sind reine Elektrofahrzeuge mit extern aufladbarer Batterie, ohne internen Energieumwandler wie Verbrennungsmotor oder Brennstoffzelle.
	PHEV	Plug-in-Hybrid Electric Vehicles haben immer eine extern aufladbare Batterie und können rein elektrisch fahren, typischerweise 20 bis 80 km. Bei «parallelen PHEV» treibt ein Verbrennungsmotor direkt die Antriebsachse an.
	PEV	Plug-in Electric Vehicles sind eine Kombination aus BEV und PHEV (Hardman et al., 2018, S. 508).
	FCEV	Fuel Cell Electric Vehicles sind Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge, die aus dem Energieträger Wasserstoff in einer Brennstoffzelle Strom für ihren Elektroantrieb erzeugen. FCEV brauchen immer eine separate H2-Tankstelleninfrastruktur.
Keine Elektrofahrzeuge	HEV	Hybrid Electric Vehicles (Hybridfahrzeuge). Wie PHEV verfügen HEV zwar über eine Batterie, welche aber nur als temporärer Energiespeicher verwendet wird. Die Batterie lässt sich nicht extern aufladen.
	H2ICE	Wird Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor (ICE Internal Combustion Engine) direkt verbrannt, ist es ein Verbrennerauto.

2.2.3 Entwicklung und Akzeptanz der Elektrofahrzeuge

Die Entwicklung und Akzeptanz von Elektrofahrzeugen stellt einen entscheidenden Aspekt bei der Umsetzung der Elektromobilität dar (Chakraborty et al., 2019, S. 255). Seit der ersten Phase der Elektromobilitätsentwicklung, die in Abschnitt 2.2.1 dargelegt wurde, gab es bedeutende Fortschritte und Meilensteine. Ein entscheidender Wendepunkt in der Entwicklung von Elektroautos war die Einführung des Tesla Roadster im Jahr 2008 (Mangram, 2012, S. 296). Das Fahrzeug galt als erstes Elektroauto mit einer Reichweite von mehr als 400 Kilometern, was die öffentliche Wahrnehmung von Elektroautos als leistungsfähige und praktische Fahrzeuge erhöhte (Mangram, 2012, S. 296). Parallel dazu hat die Entwicklung von Hybridfahrzeugen ebenfalls einen wichtigen Beitrag zur Elektromobilität geleistet. Diese Fahrzeuge, die sowohl einen Verbrennungsmotor als auch einen Elektromotor nutzen, fungieren als eine wichtige Übergangstechnologie auf dem Weg zu vollständig elektrischen Fahrzeugen (Høyer, 2008, S. 68). Die Akzeptanz von PEV und PHEV erreichte 2017 einen wichtigen Meilenstein, als erstmals über eine

Million Elektrofahrzeuge weltweit verkauft wurden (Hertzke et al., 2018, S. 2). Verschiedene Faktoren spielen bei der Akzeptanz von Elektrofahrzeugen eine Rolle, darunter die Verbesserung der Infrastruktur, die Reduzierung der Fahrzeugkosten, die Verbesserung der Fahrzeugleistung und die zunehmende gesellschaftliche Anerkennung der Notwendigkeit, den CO₂-Fussabdruck zu reduzieren (Broadbent et al., 2018). Im folgenden Abschnitt wird deshalb die Ladeinfrastruktur weiter analysiert.

2.3 Ladeinfrastruktur

2.3.1 Unterscheidung öffentlicher, halbprivater und privater Ladeinfrastruktur

Die Ladeinfrastruktur ist entscheidend für die Akzeptanz und Verbreitung von Elektrofahrzeugen, da sie Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeugnutzerinnen und -nutzer gewährleistet (Funke et al., 2019, S. 224). Die Ladeinfrastruktur lässt sich in die öffentliche, halbprivate und die private Infrastruktur einteilen. Die öffentliche Ladeinfrastruktur bezieht sich auf Ladestationen, die für die Allgemeinheit zugänglich sind und in der Regel an öffentlichen Orten wie Parkplätzen, Einkaufszentren, Tankstellen oder entlang von Hauptverkehrsachsen installiert sind (LaMonaca & Ryan, 2022, S. 2). Diese Ladestationen können von verschiedenen Betreibern verwaltet werden, wie beispielsweise Energieversorgern, Supermärkten, Tankstellen oder andere privaten Unternehmen (Lemnet, o. J. a). Die halbprivate Infrastruktur ist nur unter gewissen Voraussetzungen zugänglich (Dwyer et al., 2021, S. 8). Zur halbprivaten Infrastruktur gehören zum Beispiel Parkplätze von Arbeitgebern oder Hotels, zu denen nur Angestellte oder Hotelgäste Zugang haben (Dwyer et al., 2021, S. 8). Hier wird die Lademöglichkeit als zusätzlicher Anreiz angeboten, um so möglicherweise zusätzliche Kundengruppen anziehen (Dwyer et al., 2021, S. 8). Die private Ladeinfrastruktur hingegen bezieht sich auf Ladestationen, die in privaten Bereichen installiert sind und somit nur für bestimmte Nutzergruppen zugänglich sind (LaMonaca & Ryan, 2022 S. 2). Dazu zählen beispielsweise Ladestationen in Wohngebäuden, Firmenparkplätzen oder Garagen (LaMonaca & Ryan, 2022, S. 2). Sie bieten den Vorteil, dass Elektrofahrzeugnutzerinnen und -nutzer ihr Fahrzeug bequem zu Hause oder am Arbeitsplatz laden können (LaMonaca & Ryan, 2022, S. 3). Für den täglichen Gebrauch reicht das Laden zuhause oder am Arbeitsplatz meistens aus, weshalb rund 90 Prozent der Ladungen in privaten Ladestationen durchgeführt werden (De Haan et al., 2021, S. 14; Hardman et al., 2018, S. 515). Auch wenn die Mehrheit der Ladungen zuhause durchgeführt werden, ist die öffentliche Ladeinfrastruktur von grosser Bedeutung, da diese für längere Reisen und für die Akzeptanz der Elektrofahrzeuge gebraucht werden (LaMonaca & Ryan, 2022, S. 3). Im nächsten Abschnitt wird deshalb die Entwicklung

der öffentlichen Ladeinfrastruktur näher beleuchtet, um die Fortschritte, Herausforderungen und Chancen im Prozess zu einer flächendeckenden Versorgung mit Ladestationen zu untersuchen.

2.3.2 Entwicklung der öffentlichen Infrastruktur

In den Anfangsjahren der Elektromobilität war die öffentliche Ladeinfrastruktur begrenzt und unzureichend (Falchetta & Noussan, 2021, S. 1). Dies verursachte unter anderem Besorgnis bei potenziellen Elektrofahrzeugnutzerinnen und -nutzern hinsichtlich der Verfügbarkeit von Ladestationen, ein Phänomen, das als «Reichweitenangst» bekannt ist (Noel et al., 2019, S. 96). Um diese Angst zu reduzieren und die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen zu erhöhen, musste neben der Verbesserung der Fahrzeuge auch die öffentliche Ladeinfrastruktur ausgebaut und verbessert werden (LaMonaca & Ryan, 2022, S. 1). In den letzten Jahren hat sich die öffentliche Ladeinfrastruktur jedoch erheblich weiterentwickelt (Falchetta & Noussan, 2021, S. 7). Viele industrialisierte Länder fördern den Ausbau von Ladestationen (LaMonaca & Ryan, 2022, S. 9). Die Zusammenarbeit zwischen Regierungen, Energieversorgern, Automobilherstellern und anderen Unternehmen führte zu einem signifikanten Anstieg der öffentlich zugänglichen Ladestationen in vielen Ländern und Städten (Falchetta & Noussan, 2021, S. 7 ff.). Trotz der Fortschritte gibt es jedoch immer noch Herausforderungen, die den weiteren Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur verlangsamen. Dazu gehören beispielsweise die unterschiedlichen Standards der Anschlüsse, die Finanzierung und Wirtschaftlichkeit von Ladestationen, das Fehlen eines einheitlichen Bezahlsystems oder standardisierter Geräte, die Integration der Ladeinfrastruktur in das Stromnetz und viele weitere Aspekte (Das et al., 2020, S. 22). Ob das private Laden auch in Zukunft überwiegen wird oder ob sich künftig öffentliche Ladestationen etablieren werden, hängt von diversen Faktoren ab. Dabei ist die Reichweite des Elektrofahrzeugs, die Aufnahmeladeleistung, die Verfügbarkeit von privaten Ladestationen und die Verfügbarkeit und Preise der öffentlichen Ladestationen von Relevanz (de Haan et al., 2021, S. 14). Durch die sinkenden Kosten von Elektroautos ist zu erwarten, dass immer mehr Haushalte mit mittlerem oder niedrigem Einkommen Elektrofahrzeuge nutzen werden, die möglicherweise keine Lademöglichkeit zuhause haben, insbesondere in urbanen Gebieten (Falchetta & Noussan, 2021, S. 2). Dies würde einen zusätzlichen Bedarf an öffentlichen Ladestationen generieren (Falchetta & Noussan, 2021, S. 2).

2.3.3 Operators von öffentlichen Ladestationen

Eine wichtige Komponente der öffentlichen Ladeinfrastruktur sind deren Operators. In Europa gibt es eine ausgeprägte Anbieterdiversifikation, jedoch werden je nach Quelle unterschiedliche Grössenordnungen genannt. Das EV-Magazin zählt Shell, BP und Siemens zu den grössten Anbietern von Ladestationen (Swallow, 2023). Oftmals wird auch Tesla als grosser Anbieter genannt, welcher besonders bei den Schnellladestationen eine sehr hohe Dichte aufweist (Prospero Events Group, 2021; Rika, 2023). Des weiteren zählt EV-Box B.V. zu den grössten Anbietern mit rund 500'000 Ladeanschlüssen in über 70 Ländern weltweit (EVBox, o. J.). Innogy eMobility Solutions GmbH ist ein deutsches Energieunternehmen, dass ebenfalls viele Ladestationen bereitstellt (Presseportal, 2022). Die Unternehmung wurde im 2022 in die Compleo Charging Solutions AG Gruppe integriert, welche ebenfalls ein führender Komplettanbieter für Ladetechnologie in Europa darstellt (Presseportal, 2022). Auch Allego B.V. ist ein europäischer Anbieter von Ladeinfrastruktur und hat rund 40'000 Ladestationen in Europa in Betrieb (Allego, o. J.). Um nun die Ladeinfrastruktur weiter im Detail zu beleuchten, wird im folgenden Abschnitt der Aufbau der Ladestation dargestellt.

2.3.4 Aufbau der Ladestation

In dieser Arbeit wird oft der Begriff Ladestationen verwendet. Konkret wird jedoch zwischen den Begriffen Ladestation, Electrical Vehicle Supply Equipment (EVSE) und Konnektoren (Stecker) unterschieden (OICP, 2018). Eine Ladestation kann mehrere EVSEs haben und diese können wiederum mehrere Konnektoren haben, wobei jedoch nur ein Konnektor pro EVSE aktiv sein kann (OICP, 2018). Hat beispielsweise eine Ladestation ein EVSE und zwei Anschlüsse, kann nur ein Anschluss verwendet werden und der zweite wird als belegt angezeigt (Driivz, 2023). Hätte diese Ladestationen zwei EVSEs könnten beide Stecker gleichzeitig aktiv sein (Driivz, 2023). Die Anzahl der EVSE bestimmen damit, wie viele Fahrzeuge angeschlossen werden können und wie die Energie zwischen den Fahrzeugen verteilt wird (Driivz, 2023). Dies wird auch als Lastmanagement bezeichnet und trägt dazu bei, eine Überlastung des Stromnetzes zu vermeiden und die Energieeffizienz zu maximieren (Driivz, 2023). In den folgenden zwei Kapiteln werden die Steckertypen, die Stromarten und die Leistung näher untersucht.

2.3.5 Stromarten und Leistung

Beim Laden von Elektrofahrzeugen gibt es zwei Stromarten, die zum Einsatz kommen. Zum einen ist dies der Wechselstrom und zum anderen der Gleichstrom (Viter, 2022).

Wechselstrom (AC) ist die häufigste Form der elektrischen Energie, die in Haushalten und an vielen öffentlichen Ladestationen zur Verfügung steht (Viter, 2022). Der Strom fließt hier direkt vom Stromkreislauf in das Fahrzeug und wird dort in Gleichstrom konvertiert (Viter, 2022). Die Ladeleistung von AC-Ladestationen variiert, wobei die meisten EVSE's Leistungen zwischen 3,7 Kilowatt (kW) und 22 kW anbieten (Raff et al., 2019, S. 4; Viter, 2022). Diese Art des Ladens ist besonders für längere Standzeiten, wie beispielsweise über Nacht oder während der Arbeit geeignet (Raff et al., 2019). Gleichstrom (DC) hingegen wird für Schnellladestationen verwendet, die eine höhere Leistung bieten und somit die Ladezeit von Elektrofahrzeugen erheblich verkürzen (Viter, 2022). DC-Ladestationen konvertieren den Wechselstrom aus dem Netz in Gleichstrom, der direkt in die Fahrzeugbatterie fließt (Viter, 2022). Die Ladeleistung von DC-Schnellladestationen variiert in der Regel zwischen 50 kW und 350 kW (Viter, 2022). Aufgrund der höheren Leistung und der damit verbundenen schnelleren Ladezeit eignen sich DC-Ladestationen besonders für Situationen, in denen eine kurze Ladezeit erforderlich ist (Raff et al., 2019).

2.3.6 Steckertypen

Die meisten Elektrofahrzeuge sind sowohl mit AC- als auch mit DC-Ladeanschlüssen ausgestattet, wobei die Steckertypen je nach Region und Fahrzeugmodell variieren können (Sanguesa et al., 2021, S. 386). In Europa sind die Steckertypen im IEC-62196 Standard geregelt (Raff et al., 2019, S. 2). In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Steckertypen für Elektrofahrzeuge in Europa vorgestellt. Bei den Steckertypen sind unterschiedliche Systeme im Einsatz, was auf verschiedene Stromnetze und Standardisierungen zurückzuführen ist (Baumann, 2022).




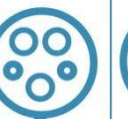
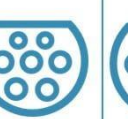



	Haushalts - Steckdose	CEE Steckdose „blau“	CEE Steckdose „rot“	Typ 1 Stecker	Typ 2 Stecker	Tesla Supercharger	CSS Stecker Combo 2	CHAdeMo Stecker
Lade-Art	AC-Wechselspannung					DC-Gleichspannung		
Bauform Ladestecker, Ladesteckdose								
Maximale Ladeleistung	einphasig bis zu 2,3 kW	einphasig bis zu 3,7 kW	dreiphasig bis zu 22 kW	einphasig bis zu 7,4 kW	dreiphasig bis zu 43 kW	bis zu 120 kW	bis zu 350 kW	bis zu 150 kW

Abbildung 1: Die wichtigsten Steckertypen (Quelle: Baumann, 2022)

Die wichtigsten Steckertypen sind in der Abbildung 1 dargestellt. Die Stecker unterscheiden sich dabei wie bereits im Abschnitt 2.3.5 beschrieben zwischen AC und DC. Die klassische Haushaltssteckdose ist je nach Land unterschiedlich. In der Schweiz ist der CH Typ verbreitet, in Deutschland und den umliegenden Ländern der Schuko Typ und in Frankreich der France typ e (ElektroautoCoach, o. J.; Baumann, 2022). Diese Stecker sollten aber nur zur Notladung verwendet werden, da diese aus thermischen Gründen nicht für einen mehrstündigen Betrieb mit hoher Leistung ausgelegt sind (ElektroautoCoach, o. J.). Der blaue CEE-Stecker ist einphasig und ist anders als die Haushaltsstecker zur Dauerbelastung auf 16 Ampere (A) festgelegt (Baumann, 2022). Der rote CEE-Stecker ist dreiphasig und weist eine wesentlich höhere Leistung als der blaue Stecker auf (Baumann, 2022). Der Stecker Typ 1 gilt als Standard für asiatische Elektrofahrzeuge und ist deshalb in Europa weniger verbreitet (Baumann, 2022). In Europa ist der Typ 2 Anschluss als Standard weit verbreitet, da die deutschen Autohersteller wie Audi, BMW und Mercedes auf diesen Standard setzen (Baumann, 2022). Von den AC-Steckern weist der Typ 2 deutlich die höchste Leistung auf und ist auch im Gebrauch sehr robust (Baumann, 2022). Die DC-Stecker gelten als Schnelllader, da diese eine wesentlich höhere Leistung als die AC-Stecker aufweisen. Der CCS Stecker ist in Europa weit verbreitet, da dieser eine Erweiterung des Typ 2 Steckers darstellt (Baumann, 2022). Wie in der Abbildung 1 ersichtlich ist, werden unter dem Typ 2 Stecker zwei weitere Kontakte hinzugefügt, welche die Möglichkeit der DC-Ladung ermöglicht (Baumann, 2022). Der CHAdeMo Stecker gilt als japanischer Standard Steckertyp und wird von den asiatischen Herstellern Nissan, Toyota unterstützt (Baumann, 2022). Der Tesla Supercharger wird von den hauseigenen Ladestationen von Tesla verwendet und ist ebenfalls eine modifizierte Version des Typ 2 Steckers (Baumann, 2022). Erwähnenswert ist jedoch, dass bei diesen Ladesäulen nur Tesla Fahrzeuge geladen werden können (Baumann, 2022).

2.3.7 Nutzung der öffentlichen Ladeinfrastruktur

Da nun die Basis für den Aufbau der Ladestationen, die Stromarten und die Steckertypen gelegt ist, wird die Nutzung der öffentlichen Ladeinfrastruktur in diesem Abschnitt genauer analysiert. Die Nutzung der öffentlichen Ladeinfrastruktur hat in den letzten Jahren zugenommen, was auf das Wachstum der Elektromobilität und den steigenden Bedarf an Ladestationen zurückzuführen ist (Falchetta & Noussan, 2021, S. 1). Eine Reihe von Studien haben sich sowohl mit technischen Aspekten als auch mit Bedarfsanalysen beschäftigt. In einer Untersuchung von Hecht et al. (2020, S. 5f) wurde das Ladeverhalten von Elektrofahrzeugen in Deutschland analysiert. Die Studie ergab, dass die Auslastung der

Konnektoren selten über 20 Prozent liegt. Dabei zeigte sich, dass Konnektoren mit geringerer Leistung häufiger genutzt werden als solche mit höherer Leistung. Schnellladestationen werden vorwiegend für Reisen oder an Wochenenden eingesetzt. Schnellladestationen weisen im Durchschnitt eine Ladezeit von etwa 20 Minuten auf, während mittelschnelle Ladestationen rund 40 Minuten und langsame Ladestationen zwischen 8 und 10 Stunden benötigen. Öffentliche Schnellladestationen erfahren im Vergleich zu anderen Stationstypen die höchste tägliche Nutzungsfrequenz.

Hardinghaus et al. (2020, S. 9f) haben in ihrer Studie das Ladeverhalten von Elektrofahrzeugnutzerinnen und -nutzer in Berlin analysiert. Die Analyse hat ergeben, dass die Dichte der Ladeinfrastruktur für die aktuelle Nutzung ausreichend ist. Es sei jedoch zu erwarten, dass die Anzahl Ladestationen für die zukünftige Nutzung nicht mehr ausreichend sei, weshalb die Planung und Erweiterung weitergeführt werden sollen. Ausserdem wurde erwähnt, dass Ladestationen vielfach fast so lange blockiert sind durch parkierende Fahrzeuge wie die Ladung der Batterie dauert. Dieses Problem tritt bei Schnellladestationen weniger auf, da die Nutzerinnen und Nutzer den Ladevorgang mehr als Tanken und nicht als Parken ansehen.

2.3.8 Optimierung der öffentlichen Ladeinfrastruktur

Eine effiziente Planung und Platzierung von Ladestationen sind entscheidend, um die Dichte und Verteilung der Infrastruktur zu optimieren. In diesem Abschnitt werden Studien untersucht, die sich sowohl mit der Anzahl der benötigten Ladestationen als auch mit deren Standorten befassen. Hardinghaus et al. (2020, S. 9f) stellten in ihrer Studie fest, dass die Verteilung der Ladestationen in Berlin sehr ungleichmässig ist und eine starke Konzentration im Stadtzentrum aufweist. Eine optimale Planung der Ladestationen könnte diese Situation verbessern. Zudem sind viele Ladestationen durch parkende Autos blockiert (Hardinghaus et al., 2020, S. 9). Hier wird empfohlen, das Tarifmodell der Ladestationen anzupassen, um solche Blockaden zu reduzieren (Hardinghaus et al., 2020, S. 9). Hecht et al. (2020, S. 5f) untersuchten ebenfalls die Wirtschaftlichkeit von Ladestationen. Bei den üblichen Kosten von 30 bis 50 Cent pro kWh waren nur wenige Ladestationen profitabel, selbst bei höheren Preissegmenten waren maximal 38 Prozent der Stationen profitabel. Auch in diesem Fall wird eine Anpassung des Tarifmodells empfohlen (Hecht et al., 2020, S. 9). In einer Literaturübersicht von Hardman et al. (2018, S. 519) wurde zudem eruiert, dass etwa 10 Schnellladestationen pro 1'000 PEV als ausreichend erachtet werden. Mit dem heutigen System in vielen Ländern bauen viele private Operators jedoch nur Ladestationen, wo diese auch Ertrag abwerfen (Mortimer et al.,

2022, S. 13). Dies führt zum Risiko, dass weniger Ladestationen in ländlicheren Gebieten gebaut werden, da diese nicht genügend lukrativ sind (Mortimer et al., 2022, S. 13). Deshalb ist die öffentliche Förderung ebenfalls zentral für die öffentliche Ladeinfrastruktur, weshalb diese im nächsten Abschnitt behandelt wird.

2.3.9 Förderung der öffentlichen Ladeinfrastruktur

Die Förderung der öffentlichen Ladeinfrastruktur ist ein wichtiger Schritt, um den Ausbau zu beschleunigen und die Verbreitung von Elektrofahrzeugen zu erhöhen (Broadbent et al., 2018, S. 1). Die meisten Förderungsprogramme der Länder beinhalten dabei finanzielle Anreize, Subventionen oder Informationskampagnen (Broadbent et al., 2018, S. 6). Finanzielle Anreize sind wichtig, da Untersuchungen zeigen, dass Elektrofahrzeuge erst dann an Popularität gewinnen, wenn sie preislich mit Verbrennungsmotoren konkurrieren können (Lévy et al., 2017). In Europa zeigt jedoch eine Studie, dass hohe Kaufsubventionen für Elektrofahrzeuge weniger Effektivität zeigen, ohne zusätzliche Investitionen in die Ladeinfrastruktur (Harrison & Thiel, 2017). Bei der Implementierung von Förderungsprogrammen waren einige Länder erfolgreicher als andere (Broadbent et al., 2018, S. 6). Norwegen und Dänemark beispielsweise weisen ein sehr dichtes Netz an Ladeinfrastruktur sowie an Elektrofahrzeugen auf, da diese Länder bereits früh in diese Technologie investiert haben (Broadbent et al., 2018, S. 7). Norwegen gewährt Elektrofahrzeugnutzern zudem die kostenlose Nutzung von Autofahren, Busspuren oder kostenloser Strom an öffentlichen Ladestationen, was zur Förderung der Elektromobilität führen kann (Broadbent et al., 2018, S. 7). Das Vereinigten Königreich wird in der Studie als negatives Beispiel erwähnt, da die Subvention der Regierung für den Kauf von Elektrofahrzeugen wenig positive Auswirkung zeigte (Broadbent et al., 2018, S. 8). Ein Grund dafür ist die unzureichende Implementierung von Strategien zur Erweiterung des Ladeinfrastrukturnetzes (Broadbent et al., 2018, S. 8). In London waren beispielsweise bis zu 40 Prozent der öffentlichen Ladestationen zu einem bestimmten Zeitpunkt ausser Betrieb (Broadbent et al., 2018, S. 8). Die Studie hebt auch die mangelnde zentrale Verantwortung für die Wartung der Ladeinfrastruktur im Vereinigten Königreich hervor (Broadbent et al., 2018, S. 8). Zusammenfassend sind aus der Studie von Broadbent et al. (2018, S. 6ff) unterschiedliche Empfehlungen abzuleiten. Die Subvention des Kaufpreises zusammen mit dem Ausbau der Ladeinfrastruktur gelten als wichtige Förderungsmaßnahmen. Weiter ist es wichtig, die Konsumenten mit Informationen zu Elektrofahrzeugen und Ladestandorten zu versorgen. Zudem können weiterführende Massnahmen wie diese von Norwegen zu einer besseren Elektromobilität führen.

2.3.10 Benutzerpräferenzen der öffentlichen Ladeinfrastruktur

Um eine effektive Ladeinfrastruktur zu entwickeln, ist es wichtig, die Bedürfnisse und Präferenzen der Nutzer zu berücksichtigen. Da der Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge kostenintensiv ist, soll für die begrenzten Ressourcen eine maximale Nutzerzufriedenheit erreicht werden (Globisch et al., 2019, S. 54). Eine Studie von Funke et al. (2019, S. 237) zeigt, dass insbesondere für längere Fahrten Schnellladestationen an Autobahnen bevorzugt werden, um die Reichweite der Elektrofahrzeuge zu erhöhen. Es ist jedoch auch wichtig, dass die Elektrofahrzeuge mit den Ladestationen kompatibel sind (Hardman et al., 2018, S. 519). Eine Umfrage von Globisch et al. (2019, S. 54) mit rund 1'000 deutschen Elektrofahrzeugbesitzerinnen und -besitzer untersucht die Attraktivität der öffentlichen Ladeinfrastruktur aus Sicht der Nutzerinnen und Nutzer. Dabei wurden die räumliche Abdeckung, die Ladedauer und die Nutzungskosten untersucht. Ein zentrales Ergebnis der Studie war, dass die Mehrheit der Autofahrer nicht bereit ist, eine Grundgebühr für die Nutzung der öffentlichen Ladeinfrastruktur zu zahlen. Ausserdem haben Schnellladestationen in Städten und entlang der Autobahnen einen starken Einfluss auf die Bewertung der öffentlichen Ladeinfrastruktur. Im Gegensatz dazu hat die räumliche Abdeckung mit Ladepunkten einen schwächeren Einfluss (Globisch et al., 2019, S. 54). Aus einer Studie von Anderson et al. (2018, S. 341) geht hervor, dass es bezüglich der Leistung drei Benutzerpräferenzen gibt. Erstens besteht eine Präferenz für Mittelschnelle (22 kW AC) Ladestationen. Zweitens ergab die Studie, dass langsame Ladung (3.7 kW AC) für häufig genutzte Stationen akzeptabel ist, wenn die Fahrzeuge über einen längeren Zeitraum geparkt werden. Drittens werden Schnellladestationen (ab 50 kW DC) eher für selten genutzte Stationen bevorzugt. Die Studie sagt aus, dass die Infrastrukturstrategie der Länder eine Mischung aus unterschiedlichen Stationseigenschaften verfolgen soll. Ausserdem soll es Infrastruktur geben, wo Menschen bereits parken, mit einem ergänzenden Schnellladenetzwerk für seltenes Laden (Anderson et al., 2018, S. 341).

3 Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik zur Analyse der Unterschiede in der öffentlichen Ladeinfrastruktur in Europa erläutert. In einem ersten Schritt wird dargelegt, welche Daten für die Analyse verwendet wurden. Im Anschluss wird aufgezeigt, wie die Bereinigung der Daten erfolgt ist und in einem dritten Schritt, wie die Datenanalyse durchgeführt wurde. Da in dieser Bachelorarbeit primär drei Datenquellen untersucht wurden, werden in den Kapitel Daten und Datenaufbereitung weiter untersucht.

3.1 Daten

3.1.1 Lemnet

Für die Analyse der Ladeinfrastruktur wird die Datenbasis von Lemnet genutzt. Lemnet ist eine europäische Organisation, die unabhängige und neutrale Informationen zur Ladeinfrastruktur bereitstellt (Lemnet, o. J. a). Die Daten von Lemnet sind frei zugänglich und umfassen Informationen über Ladestationen in 18 europäischen Ländern (Lemnet, o. J. b). Der Grossteil der Daten steht als zip-Datei zum Download zur Verfügung und ist aufgeteilt in 18 Lemnet GPX-Dateien und in drei ParkCharge GPX-Dateien. In der nachfolgenden Abbildung 2 sind die verfügbaren Lemnet-Daten einer Ladestation in Winterthur dargestellt.

```
<wpt lat="47.496249"lon="8.732178">  
<name><![CDATA[CH-8400 Winterthur (Nr. 7136)]]></name>  
<desc><![CDATA[- Unternehmung Parkhäuser und Parkplätze der Stadtpolizei , Zeughausstrasse 68 ,  
http://www.stapo.winterthur.ch/, parkplatzverwaltung@win.ch, +4152-267 58 08- 4x Steckdose CEE rot 400V/16A  
(16A, 3-ph), 4x Steckdose CH Typ 25 (16A, 3-ph) / Freier Zugang / Stromkosten: kostenlos / Standort: Parkhaus  
Teuchelweiher, 4 reservierte Parkplätze für Elektromobile im 1. UG, unmittelbar vor der Ausfahrt / Parken: 07:00h  
bis 22:00h: ca. CHF 2,00/h, 22:00h bis 07:00h CHF 0.50/h Hinweis: Die Parkplätze sind schräg zur Fahrtrichtung und  
für's Vorwärtsparkieren ausgelegt. Rückwärts einparken ist mit grösseren Fahrzeugen etwas umständlich. Da die  
Ladeplätze nahe bei der Ausfahrt platziert sind, gibt es dort (im Gegensatz zum übrigen Bereich des Parkhauses)  
Mobilfunkempfang, was sehr praktisch ist für die Fernabfragen per Handy App.Eintrag/Korrektur: 10-Sep-2015Aktiv  
gemeldet am: 28-Jan-2017]]></desc>  
</wpt>
```

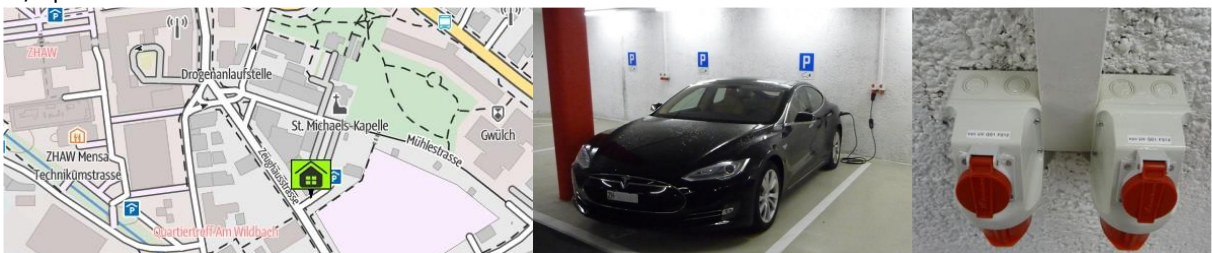


Abbildung 2: Verfügbare Lemnet-Daten einer Ladestation in Winterthur (Quelle: Lemnet, O. J. c)

Der Text in der Abbildung 2 zeigt die verfügbaren Daten im XML-Format und ist gegliedert in unterschiedliche Elemente. Das Hauptelement zeigt einen Waypoint (wpt), welcher die Längen- und Breitengrade der Ladestation enthält. Anschliessend ist das Element «name» ersichtlich, welches den Namen der Ladestation angibt. Abschliessend ist das Element «desc» aufgeführt, welches die Beschreibung der Ladestation darstellt. Jede Beschreibung enthält dabei strukturiert die Adresse, die Anzahl der verfügbaren Steckdosen sowie deren Typen und Leistung. Zudem sind das Erfassungs- oder Bearbeitungsdatum der Daten vermerkt. In einigen Fällen sind auch Angaben zum Zugang und zu Parkmöglichkeiten vorhanden. Des Weiteren können Freitextinformationen erfasst werden, in denen beispielsweise Gebühren, Belegungsmöglichkeiten oder ähnliche Details aufgeführt sind. Auf der Website von Lemnet ist es zudem möglich, weitere Details der Ladestation abzurufen (Lemnet, o. J. c). Einige dieser Informationen sind in den Bildern der Abbildung 2 ersichtlich. Die Ladestation kann mit der Suchfunktion auf der Karte dargestellt werden, wobei mit dem Klick auf die Ladestation teilweise die Daten zur Belegung und Bilder der Station vorhanden sind. Der vorliegende Datensatz enthält jedoch keine strukturierten Informationen zur Anzahl EVSE pro Koordinate, deren Belegung und deren Aufbau. Der Park+Charge-Datensatz wurde aufgrund seiner geringen Relevanz und mangelnder Transparenz nicht in die Analyse einbezogen. Eine Stichprobenprüfung der Datengrundlage ergab eine hohe Zuverlässigkeit. Dennoch übernimmt Lemnet keine Haftung für die bereitgestellten Daten, da diese von verschiedenen Benutzerinnen und Benutzern erfasst werden (Lemnet, o. J. d). Der Lemnet-Datensatz enthält zum Stand der Arbeit Informationen zu 87'110 Ladestandorten in 18 verschiedenen europäischen Ländern. Die Länder sowie die Anzahl der Stationen sind in der Tabelle 2 ersichtlich. Aufgrund der geringen Anzahl wurden die Daten von Lichtenstein und Andorra nicht weiter berücksichtigt.

Tabelle 2: Anzahl Ladestandorte pro Land

Land	DE	NL	FR	AT	IT	CH	SE	DK	BE	NO	ES	PL	HU	CZ	SK	PT	LI	AD
Anzahl	33'107	19'644	9'417	5'676	5'461	4'153	2'240	1'964	1'601	1'207	1'074	478	445	287	229	90	29	8

3.1.2 ACEA

Für die Analyse der Fahrzeugdaten wird primär die Datenquelle von der European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) beigezogen (ACEA, 2023). ACEA ist ein Verband, der mit den 14 grössten Fahrzeughersteller in Europa zusammenarbeitet (ACEA, o. J.). Der verwendete Report liefert im pdf-Format aktuelle und historische Fahrzeugdaten zu 29 verschiedenen Ländern. Zu den verfügbaren Fahrzeugdaten zählen

die Fahrzeugtypen, deren Alter und deren Anteil an den verschiedenen Treibstofftypen. Weiter ist die Motorisierungsrate sowie einige Kennzahlen zum Besitz von Fahrzeugen aufgeführt. Die stichprobenartige Überprüfung hat ergeben, dass die Gesamtanzahl der Fahrzeuge sehr gut mit den offiziellen Quellen der einzelnen Länder übereinstimmt. Beispielsweise waren 2021 in der Schweiz gemäss Bundesamt für Statistik (o. J.) 4.71 Millionen Fahrzeuge und darunter 1.52 Prozent BEV registriert. Im Datensatz von ACEA sind 4.78 Millionen Fahrzeuge und 1.5 Prozent BEV hinterlegt. Gleich verhält es sich beim Datensatz von Österreich. Dort sind gemäss Bundesministerium (o. J., S. 5) 5.13 Millionen Fahrzeuge und darunter 1.49 Prozent BEV registriert. Im Datensatz von ACEA sind ebenfalls 5.13 Millionen Fahrzeuge und 1.50 Prozent BEV angegeben. Einzig in Österreich, Schweiz und Italien sind die Werte für die PHEV nicht verfügbar. Diese werden in Kapitel 3.2.2 manuell ergänzt.

3.1.3 Eurostat

Zusätzlich wird die Datenbank von Eurostat für die Analyse dichtebezogener, wirtschaftlicher und infrastruktureller Einflussfaktoren genutzt. Eurostat ist das offizielle statistische Amt der Europäischen Union und stellt diverse Datensätze zur Verfügung (Eurostat, o. J. a). Auf diese Datensätze kann über einen vordefinierten Parameter zugegriffen werden. In dieser Arbeit werden die Einflussfaktoren gemäss der Tabelle 3 analysiert. In der Tabelle ist angegeben, welches der zugehörige Parameter ist und welche Daten zur Verfügung stehen. Die Attribute beinhalten jeweils die angegebenen Werte (values), die zeitliche Frequenz (freq), welche in den meisten Fällen für jährlich steht, die Geopolitische Meldeeinheit (geo), welche den Ländercode darstellt, sowie die Zeit (time), welche die Jahreszahl angibt. Das Attribut values stellt in der Population die Bevölkerung am 1. Januar (indic_de) des jeweiligen Landes dar (Eurostat, o. J. b). Die Bevölkerungsdichte wird in Personen pro Quadratkilometer (unit) angegeben (Eurostat, o. J. c). Bei der Bevölkerungsdichte ist der letzte Wert für 2019 (time) angegeben. Bei allen anderen Datensätze wird das Jahr 2021 gewählt. Das BIP pro Kopf wird zu Marktpreisen (na_item) angegeben (Eurostat, o. J. d). In dieser Arbeit wird die Masseinheit (unit) Euro pro Kopf (CP_EUR_HAB) gewählt. Bei der Arbeitslosenquote wird die Altersklasse (age) auf 15 – 74 Jahre festgelegt und nicht zwischen den Geschlechtern (sex) unterschieden (Eurostat, o. J. e). In dieser Arbeit wird die Masseinheit (unit) als Prozent der Bevölkerung insgesamt (PC_POP) gewählt. Beim Strompreis werden in values die Preise der Elektrizität für Haushaltskunden dargestellt (Eurostat, o. J. f). In dieser Arbeit werden die Zahlen für das 1. Halbjahr 2021 gewählt. Die Daten sind hier für die Schweiz und die Niederlande

nicht vorhanden. Die Daten der Schweiz werden im Kapitel 3.2.3 manuell hinzugefügt. Der Datensatz für die beförderten Passagiere gibt die Anzahl beförderten Zugpassagiere in Tausendern (unit) an. Die Daten für die Niederlanden, Belgien, Polen und Ungarn sind hier nicht enthalten.

Tabelle 3: Beschreibung der Eurostat Daten

Datensätze	Beschreibung	Parameter	Enthaltene Attribute
Population	Per 1.1.2021	tps00001	values/freq/indic_de/geo/time
Bevölkerungsdichte (Bev_Dichte)	Pro km ²	demo_r_d3dens	values/freq/unit/geo/time
BIP pro Kopf (BIP)	In EUR	tec00001	values/freq/na_item/unit/geo/ time
Arbeitslosenquote (ALQuote)	Alter 15 - 74	tps00203	values/freq/age/unit/sex/geo/ time
Strompreis	1. HJ 2021 pro kWh	nrg_pc_204	values/freq/product/consom/ unit/tax/currency/geo/time
Beförderte Fahrgäste (Zugpassagiere)	2021	rail_pa_total	values/unit/geo/time

```
In [1]: 1 from eurostatapiclient import EurostatAPIClient
2 VERSION = '1.0'
3 FORMAT = 'json'
4 LANGUAGE = 'en'
5 client = EurostatAPIClient(VERSION, FORMAT, LANGUAGE)
6 dataset = client.get_dataset('tps00001')
7 dataframe = dataset.to_dataframe()
8 dataframe.head(5)
```

```
Out[1]:
```

	values	freq	indic_de	geo	time
0	439942305.0	A	JAN	EU27_2020	2011
1	440552661.0	A	JAN	EU27_2020	2012
2	441257711.0	A	JAN	EU27_2020	2013
3	442883888.0	A	JAN	EU27_2020	2014
4	443666812.0	A	JAN	EU27_2020	2015

Abbildung 3: Python Code für den Eurostat-API Zugriff

In der Abbildung 3 ist ersichtlich, wie im Jupiter Notebook mit der Programmiersprache Python auf den Datensatz der Population zugegriffen werden kann. In der ersten Zeile wird der Eurostat API Client importiert. In den Zeilen zwei bis fünf werden die Parameter für den Client angegeben. Anschliessend wird in der Zeile sechs der Parameter

eingegeben, der in der Tabelle 3 ersichtlich ist. Abschliessend wird das Dataset in ein Dataframe umgewandelt und die ersten fünf Datensätze ausgegeben.

3.2 Datenaufbereitung

3.2.1 Lemnet

Im folgenden Abschnitt wird die Aufbereitung der Lemnet-Daten aus Abschnitt 3.1.1 erläutert. Wie zuvor beschrieben, wurden die Daten vom Server abgerufen, aus den XML-Dateien extrahiert und in einem Dataframe gespeichert. Im Datensatz wurden keine Duplikate gefunden, jedoch wurde ein fehlerhafter Datensatz mit den Koordinaten Längengrad 2.0 und Breitengrad 2.0 identifiziert und für die weitere Analyse ausgeblendet. Das XML-Element «desc» enthält eine Vielzahl von Daten, die grob im folgenden Format gespeichert sind:

(1) Adresse \n	(2) __x Steckdosen Typ (Leistung)	(3) Weiteres + Freitext
----------------	-----------------------------------	-------------------------

Um die Daten zu den Anzahl Steckertypen und Leistung näher zu untersuchen, wurde Teil (2) extrahiert und analysiert. Zunächst wurden alle Daten ab dem ersten «\n» abgetrennt, da alle Datensätze in Teil (1) dieselbe Struktur aufwiesen. Der zweite Schritt bestand darin, die teilweise unstrukturierten Daten in Teil (3) zu behandeln. Eine «if»-Schleife wurde verwendet, um alle Inhalte nach einer schliessenden Klammer «)» zu entfernen, wenn keine weitere schliessende Klammer «)» und kein weiteres «x» folgt. Diese Methode wurde gewählt, da die Struktur in Teil (2) immer ein «x» und eine schliessende Klammer «)» enthält. Da jedoch im Freitext in Teil (3) teilweise diese Zeichen weiter vorkamen, mussten 16 Datensätze manuell bearbeitet werden. Um die Steckertypen in Teil (2) weiter zu untersuchen, wurden Füllwörter entfernt und für die 22 verschiedenen Steckertypen separate Spalten mit dem Wert 0 im DataFrame hinzugefügt. Anschliessend wurde eine Funktion erstellt, die mithilfe eines regulären Ausdrucks (Regex) die gewünschten Daten extrahiert. Der Regex-Ausdruck «r'(\d+)\s*x\s*' + column» sucht nach dem Steckertyp in der Spalte. Anschliessend wird das «x» identifiziert und die Zeichen vor dem «x» extrahiert. Die Werte werden anschliessend aufsummiert und es ist pro Ladestation erkennbar, welche Steckertypen wie oft vorkommen. Dies ergibt 22 verschiedene Steckertypen. Einige davon wurden zur besseren Übersichtlichkeit wie in der Tabelle 4 ersichtlich zusammengefasst. Die linke Spalte stellt dabei den zusammengefassten Wert dar. Die Daten zur Leistung (kW) und der Stromstärke (A) wurden ebenfalls analysiert. Einige Steckertypen geben jedoch nicht den kW-Wert an, andere nicht den A-Wert. Deshalb werden diese Variablen separat analysiert. Die Daten der Leistung wurden mit

der Regex «r'(\d+(?:\.\d+)?)kw» bearbeitet, die alle Werte in den Klammern extrahiert, die vor dem Wert «kw» stehen. Eine sehr ähnliche Regex wurde für die Stromstärke verwendet «r'(\d+(?:\.\d+)?)a» um die A-Werte zu extrahieren. Die Leistung weist 197 verschiedene Werte auf, die Stromstärke 65.

Tabelle 4: Zusammengefasste Steckertypen

iec typ3	iec typ3c und iec typ3a
cee blau	cee blau 230v/16a und cee+ blau 230v
cee rot	cee rot 400v/16a, cee rot 400v/32a, cee rot 400v/63a und cee+ rot 400v'
ch	ch typ 13, ch typ 23, ch typ 25 und ch typ 15
tesla	tesla supercharger und hpc tesla
andere	energybus und cei 23, typ 1

3.2.2 ACEA

Wie im Abschnitt 3.1.2 erwähnt, sind die Daten für Österreich, Schweiz und Italien zu den PHEV nicht verfügbar. Deshalb wurden diese manuell ergänzt. Die PHEV-Daten von Österreich wurden anteilmässig von der Anzahl Personenkraftwagen berücksichtigt (Bundesministerium, o. J., S. 5). Bei der Schweiz wurde der Anteil PHEV Fahrzeuge von 0.949 Prozent verwendet (Bundesamt für Statistik, o. J.). Für Italien wurde der Anteil PHEV von 0.3 Prozent berücksichtigt. (UNRAE, o. J., S. 106).

3.2.3 Eurostat

In diesem Abschnitt wird die Datenaufbereitung der Eurostat Daten dargelegt. Beim Datensatz der Strompreise sind die Daten für die Schweiz und den Niederlanden nicht verfügbar. Der Strompreis für das Jahr 2021 der Schweiz wurde deshalb manuell ergänzt und beträgt 20.5 Rappen pro Kilowattstunde (Eidgenössische Elektrizitätskommission, 2020). Dieser Betrag wurde mit dem Jahresmittelkurs von 1.081 von Schweizer Franken in Euro umgewandelt (Eidgenössische Steuerverwaltung, 2022). Für die Niederlande konnte kein klarer Wert eruiert werden, weshalb die Niederlande für die Analyse der infrastrukturellen Faktoren nicht weiter berücksichtigt wird. Der Datensatz der Zugpassagiere wurde ebenfalls bearbeitet. Da die Anzahl Zugpassagiere wenig aussagt, wurde diese ins Verhältnis zur Population gestellt und mit 1000 multipliziert. Dies ergibt die

Anzahl Zugpassagiere pro Person. Hier sind die Daten für Belgien, Niederlande, Polen und Ungarn nicht verfügbar und werden deshalb nicht für die Analyse berücksichtigt.

3.3 Datenanalyse

In diesem Abschnitt werden die Analysemethoden dargelegt, welche für die Erstellung der Ergebnisse im Kapitel 4 verwendet wurden. Die Datenanalyse wurde durchgeführt, nachdem die Datenaufbereitung im Abschnitt 3.2 abgeschlossen war. Bei der Datenanalyse kommen sowohl explorative als auch statistische Analysemethoden zum Einsatz. In der explorativen Datenanalyse wurden die Daten mit grafischen und nicht grafischen Methoden untersucht, um Muster und Trends in den Daten zu identifizieren. Die grafische Analyse wurde durch die Erstellung von Balkendiagrammen, Scatterplots oder Boxplots umgesetzt. Weiter wurden mit Hilfe von Geodaten Choroplethenkarten erstellt, welche grafisch jeweils die NUTS-2 Regionen der einzelnen Länder darstellen. NUTS steht für Nomenclature des Unités territoriales statistiques und wird in der Europäischen Union für grenzüberschreitende statistische Vergleiche verwendet (Statistisches Bundesamt, o. J.). NUTS-2 Regionen haben normalerweise zwischen 0.8 – 3 Millionen Einwohner (Statistisches Bundesamt, o. J.). Für die nicht grafische Analyse wurden primär Tabellen verwendet. In der statistischen Datenanalyse wurden die Daten univariat und bivariat untersucht, um die Beziehungen zwischen den Variablen zu verstehen. Dabei wurden statistische Methoden wie Korrelationsanalysen und lineare Regressionen durchgeführt. In den Korrelationsanalysen wird der Pearson-Korrelationskoeffizient (R) verwendet, der das Ausmass und die Richtung einer linearen Beziehung zwischen zwei stetigen Variablen misst (Universität Zürich, o. J.). Werte nahe bei +1 deuten auf eine starke positive Korrelation hin, während Werte nahe bei -1 eine starke negative Korrelation anzeigen (Universität Zürich, o. J.). Ein Wert nahe bei 0 würde darauf hindeuten, dass es keine lineare Korrelation zwischen den Variablen gibt (Universität Zürich, o. J.). In Bezug auf Regressionen erklärt R-Quadrat, wie gut die Daten in das Regressionsmodell passen. Es handelt sich dabei um den Prozentsatz der abhängigen Variablen Variation, der durch die unabhängige Variable erklärt wird (Universität Zürich, o. J.). Sowohl bei Korrelationsanalysen als auch bei Regressionen werden P-Werte ermittelt. Der P-Wert ist ein Mass für die statistische Signifikanz und bestimmt, ob der beobachtete Effekt in der Stichprobe aufgrund von Zufall entstanden sein könnte (Universität Zürich, o. J.). Ein niedriger P-Wert (in der Regel $<0,05$) weist darauf hin, dass die Nullhypothese abgelehnt werden kann (Universität Zürich, o. J.).

4 Ergebnisse

In einem ersten Schritt wurde im Kapitel 4.1 die Datenbasis analysiert. Darin enthalten ist die Analyse der einzelnen Parameter, ohne deren Zusammenhänge zu analysieren. Zuerst wurden die Lemnet Daten in den Kapiteln 4.1.1 – 4.1.4 ausgewertet, anschliessend im Kapitel 4.1.5 die Fahrzeugdaten von ACEA und abschliessend die Einflussfaktoren von Eurostat im Kapitel 4.1.6. In einem zweiten Schritt folgt die Analyse der Zusammenhänge im Kapitel 4.2. Dabei wurden jeweils die Lemnet Daten mit den Daten von ACEA und Eurostat verglichen. Zuerst wurden im Abschnitt 4.2.1 die Ladestationen mit den Dichtebezogenen Kennzahlen wie der Bevölkerungsdichte (BEV-Dichte), der Population und den Fahrzeugdaten (PEV) verglichen. Anschliessend wurden im Abschnitt 4.2.2 die Ladestationen mit den wirtschaftlichen Kennzahlen verglichen, wobei das BIP pro Kopf (BIP) und die Arbeitslosenquote (ALQuote) analysiert wurden. Abschliessend wurden die Ladestationen mit den infrastrukturellen Einflussfaktoren verglichen, wobei die Stromkosten und die Nutzung der öffentlichen Verkehrsmittel (Anz_Passagiere) verglichen wurden.

4.1 Analyse der Datenbasis

4.1.1 Ladestationen

In der Abbildung 4 sind die verfügbaren Ladestationen aus dem Lemnet-Datensatz in einer Choroplethen-Karte dargestellt. Die vorliegende Karte illustriert die Verteilungsdichte von Ladestationen in den NUTS-2-Regionen Europas. Die farbliche Darstellung der Legende verdeutlicht, dass gelbe Regionen die höchste Anzahl an Ladestationen mit über 799 Stationen aufweisen, wohingegen dunkelblaue Regionen tiefe Werte ausweisen. Länder, die in grau dargestellt sind, sind im Lemnet-Datensatz nicht enthalten. Wichtig ist ausserdem zu erwähnen, dass die gelbe Gruppierung einige Ausreisser enthält. In den Niederlanden gibt es eine Region mit 4918 und eine mit 3273 Ladestationen. Insgesamt hat die Niederlande sechs Regionen mit über 1000 Ladestationen, Deutschland zehn und Österreich eine. Somit ist besonders die hohe Dichte an Ladestationen in Mitteleuropa auffällig, insbesondere in den Niederlanden, Deutschland, Österreich und auch der Schweiz. Frankreich zeigt hingegen eine heterogene Verteilung. Dort zeigen einige Regionen eine hohe Dichte an Ladestationen, wohingegen andere eine niedrige Dichte aufweisen. Polen, Spanien und Portugal weisen sehr tiefe Werte an Ladestationen pro NUTS-2 Region aus.

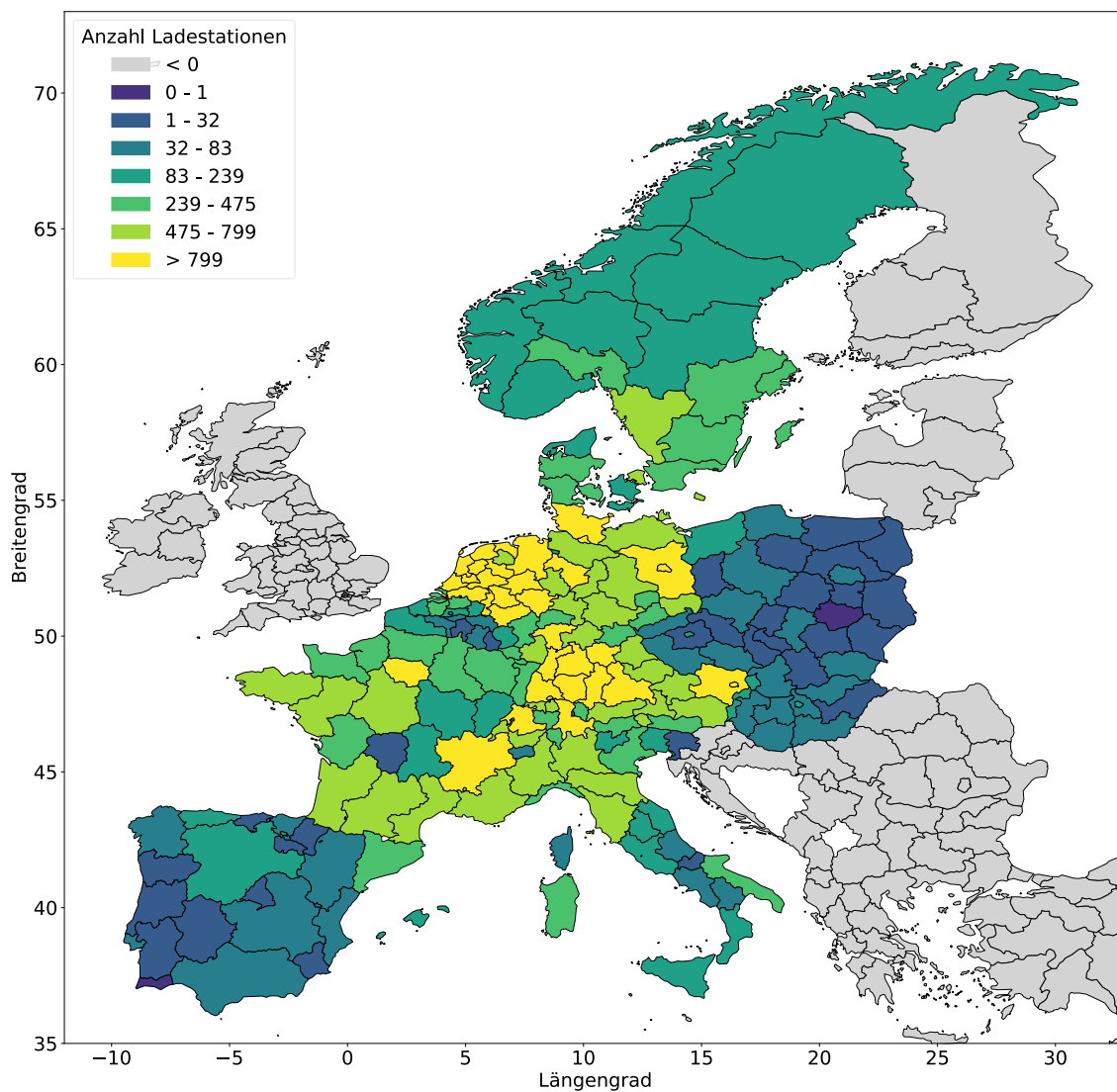


Abbildung 4: Anzahl Ladestationen in Europa (NUTS-2)

Tabelle 5 präsentiert die absolute Anzahl der Ladestationen und Stecker in Zahlen. Wenn diese beiden Werte ins Verhältnis gesetzt werden, ergibt sich die durchschnittliche Anzahl von Steckern pro Ladestation. Norwegen weist mit 6.1 Steckern pro Ladestation den höchsten Wert auf. Die Niederlande, die absolut die zweitmeisten Ladestationen besitzen, verzeichnen hingegen eine deutlich niedrigere Quote von 1.8 Steckern pro Ladestation. Zu beobachten ist, dass die Skandinavischen Länder mit Norwegen, Dänemark und Schweden alle eine höhere Steckeranzahl pro Ladestation aufweisen als andere Länder. Diese unterschiedlichen Steckertypen werden nun im folgenden Abschnitt näher betrachtet.

Tabelle 5: Stecker pro Ladestation

Land	NO	FR	DK	SE	CH	SK	CZ	DE	PL	AT	HU	IT	ES	BE	NL	PT
Stecker	7340	38593	7954	7677	12050	653	807	94288	1291	14935	1121	11418	2069	2958	35927	153
Ladestationen	1207	9417	1964	2240	4153	229	287	33104	478	5676	445	5461	1074	1601	19644	90
Stecker_P_Ladestation	6.1	4.1	4.0	3.4	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.5	2.1	1.9	1.8	1.8	1.7

4.1.2 Steckertypen

In diesem Abschnitt wurden die Steckertypen genauer untersucht. In einem ersten Schritt wurden diese absolut über alle Länder verglichen. Dies ist in Abbildung 5 ersichtlich.

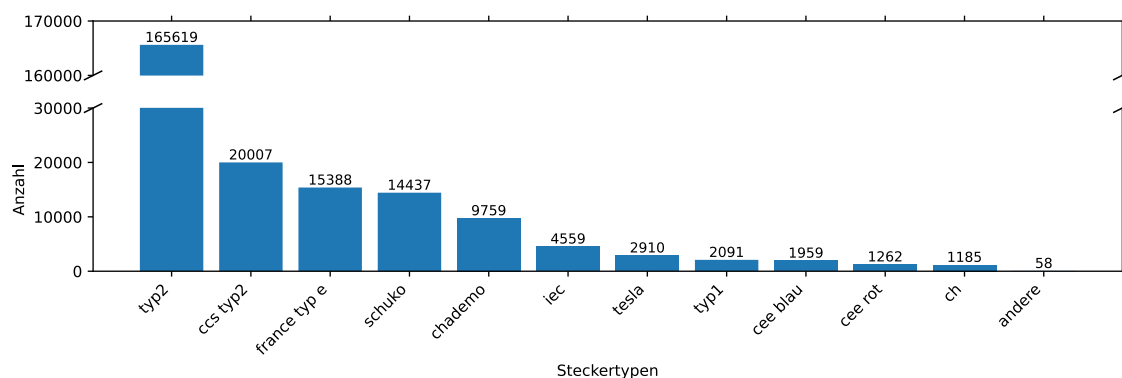


Abbildung 5: Anzahl Steckertypen

Die Vertikale stellt dabei die Anzahl und die Horizontale die verschiedenen Steckertypen dar. Es ist zu erkennen, dass rund 69 Prozent der insgesamt rund 240'000 Anschlüsse in Europa vom Typ 2 sind. Weitere rund 14 Prozent sind Fastcharger (CCS Typ 2, CHAdEMO und Tesla). Die übrigen Steckertypen machen rund 17 Prozent der gesamten Anzahl aus und zählen primär zu den Haushaltssteckdosen wie Schuko oder CH. Es ist zu erkennen, dass Tesla als Vorreiter der Elektromobilität nur rund 2'900 Anschlüsse in Europa hat. Die Aufteilung der einzelnen Typen pro Land ist in Abbildung 6 ersichtlich.

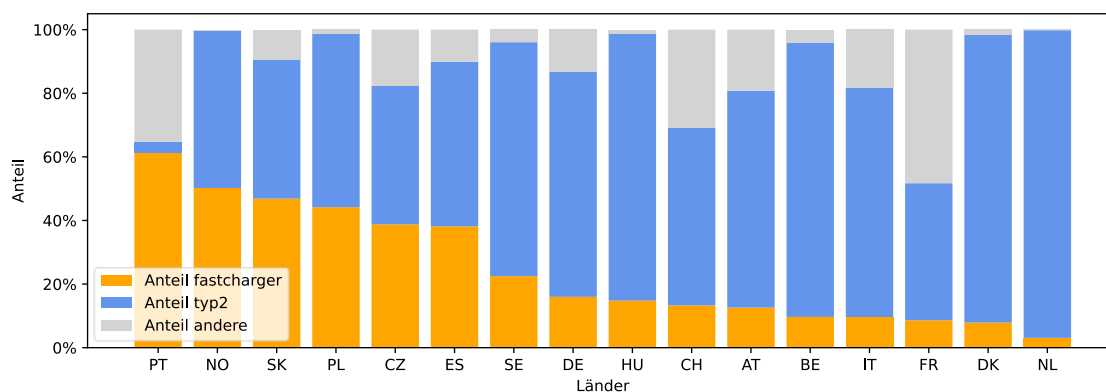


Abbildung 6: Anteil Fastcharger, Typ 2 und andere Stecker pro Land

Der Anteil an Schnellladestationen (Fastcharger) variiert zwischen den Ländern: In Portugal ist der Anteil mit über 60 Prozent am höchsten, während dieser in den Niederlanden mit etwa 3 Prozent am niedrigsten ausfällt. Die Verteilung des Typ 2 Steckers zeigt ein entgegengesetztes Muster. Die Niederlande verzeichnen mit über 96 Prozent den höchsten Anteil an Typ 2 Steckern, während Portugal den geringsten Anteil aufweist. Insgesamt lässt sich beobachten, dass in den meisten Ländern der Typ 2 Stecker gegenüber anderen Steckertypen deutlich dominiert.

4.1.3 Leistung und Stromstärke

Die Leistung und die Stromstärke sind je nach Steckertyp und Land verschieden. In der nachfolgenden Tabelle 6 und der Abbildung 7 werden die Leistung und die Stromstärke genauer untersucht. Die Tabelle 6 zeigt die gruppierten Werte der Steckertypen, welche die Leistung in kW angegeben haben. Es ist auffällig, dass die grosse Mehrheit der Werte in der Gruppe 40 bis 60 kW befinden. Der Grund dafür ist, dass 57.6 Prozent aller kW-Werte den Wert 50 aufweisen. Die Abbildung 7 zeigt die Anteile der Stromstärken. 48.5 Prozent der Steckertypen, welche die Stromstärke in A angegeben haben, weisen den Wert 32A auf und rund 41 Prozent den Wert 16A. In der Kategorie Andere sind 61 weitere Werte zusammengefasst, die in unter 1 Prozent der Fälle vorkommen.

Tabelle 6: Analyse der Leistung

Group 1	Count 1	Group 2	Count 2
0-40 kw	2591	240-280 kw	62
40-80 kw	13717	280-320 kw	560
80-120 kw	537	320-360 kw	523
120-160 kw	2043	360-400 kw	32
160-200 kw	230	400-440 kw	18
200-240 kw	47	440-480 kw	15

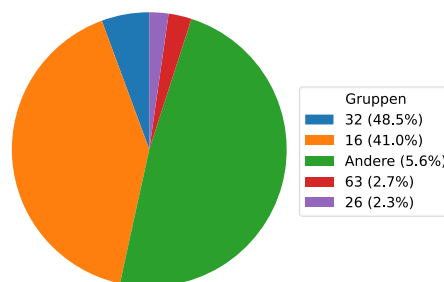


Abbildung 7: Analyse der Stromstärke

4.1.4 Operators

Da in Lemnet die Daten von verschiedenen Personen oder Institutionen erfasst werden können, werden in diesem Abschnitt die Erfasserinnen und Erfasser aufgezeigt, welche die meisten Ladestandorte bereitgestellt haben. Insgesamt haben fast 9000 verschiedene Personen und Institutionen Ladestandorte erfasst. Davon haben 14 Unternehmungen über

1'000 Datenpunkte bereitgestellt. Die grössten Anbieter der Tabelle 7 wurden im Kapitel 2.3.3 im Stand der Forschung näher vorgestellt.

Tabelle 7: Anzahl Operators

Operator	Anzahl	Operator	Anzahl
EV-Box B.V.	5875	Enel X S.r.l.	1631
innogy eMobility Solutions GmbH	4141	EnBW AG	1535
Allego B.V.	3584	New Motion Deutschland GmbH	1174
New Motion (NL)	2340	Enel X	1072
NUON	2021	CLEVER A/S	1055
Last Mile Solutions	1772	Lidl Dienstleistung GmbH & Co. KG	1020
EVnetNL	1720	Elli	1006

4.1.5 Fahrzeugdaten

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des ACEA-Datensatzes und den manuell hinzugefügten Daten erläutert. In der nachfolgenden Tabelle 8 sind diese dargestellt.

Tabelle 8: Fahrzeugdaten

	Land	Anz_Fahrzeuge	Anteil_BEV	Anteil_PHEV	Anteil_PEV	Anz_PEV
1	AT	5133836	1.5	0.6	2.1	106784
2	BE	5851682	0.9	2.0	2.9	169699
3	CH	4779304	1.5	0.9	2.4	117045
4	CZ	6293125	0.1	0.1	0.2	12586
5	DE	48540878	1.3	1.2	2.5	1213522
6	DK	2781860	2.4	2.8	5.2	144657
7	ES	25344776	0.3	0.3	0.6	152069
8	FR	38738590	1.0	0.8	1.8	697295
9	HU	4017574	0.5	0.5	1.0	40176
10	IT	39822723	0.3	0.3	0.6	238936
11	NL	9142277	2.8	1.5	4.3	393118
12	NO	2802246	16.2	6.3	22.5	630505
13	PL	25869804	0.1	0.1	0.2	51740
14	PT	5410000	0.8	0.9	1.7	91970
15	SE	4986750	2.2	3.8	6.0	299205
16	SK	2645785	0.1	0.1	0.2	5292

Die Zahl der registrierten Fahrzeuge ist in Deutschland und Frankreich am grössten. Der Anteil an BEV ist mit 16.2 Prozent in Norwegen verhältnismässig sehr gross, wohingegen sich die meisten Datensätze bei rund 1 bis 2 Prozent befinden. Am zweithöchsten ist der Anteil BEV in den Niederlanden mit 2.8 Prozent, gefolgt von Dänemark und Schweden. Beim Anteil PHEV verhält es sich ähnlich, da viele Länder einen ähnlich hohen Anteil PHEV und BEV haben. Norwegen hat mit 6.3 Prozent Anteil PHEV jedoch einen deutlich geringeren Anteil, ebenso verhält es sich bei Österreich. Schweden und Belgien sind die einzigen Länder, die einen deutlich höheren Anteil PHEV gegenüber BEV aufweisen. Da PHEV und BEV unter PEV zusammengeschlossen werden, ergibt sich die Summe daraus. Norwegen weist entsprechend auch hier mit Abstand den grössten Wert mit 22.5 Prozent auf. Gefolgt von Schweden mit 6 Prozent und Dänemark mit 5.2 Prozent. Polen, Tschechien und die Slowakei weisen die tiefsten Werte aus. Absolut betrachtet hat Deutschland mit 1.2 Millionen PEV Fahrzeugen die grösste Elektrofahrzeugflotte.

4.1.6 Einflussfaktoren

Dieses Kapitel beschreibt die verschiedenen Einflussfaktoren, um anschliessend die Zusammenhänge zu analysieren. Die Tabelle 9 umfasst dichtebezogene, ökonomische und infrastrukturellen Einflussfaktoren. Darunter die Population, die Bevölkerungsdichte, den Anteil von PEV, das BIP, die Arbeitslosenquote, den Strompreis und die Anzahl der Zugpassagiere pro Person. Beim Vergleich der Daten innerhalb von Europa gibt es teilweise grosse Unterschiede. Die Population wird pro Land absolut dargestellt. Die Bevölkerungsdichte variiert stark, wobei die Niederlande mit 507 Einwohner pro km² den höchsten und Norwegen mit 17 Einwohner pro km² den niedrigsten Wert aufweisen. Der Anteil von PEV wurde bereits im vorherigen Kapitel differenziert. Die ökonomischen Unterschiede sind im Bruttoinlandsprodukt ersichtlich. Dabei fällt Polen mit 15'100 BIP pro Kopf mit dem tiefsten Wert und die Schweiz mit einem rund viermal höheren Wert von 77'750 auf. Die Arbeitslosenquote zeigt ebenfalls eine hohe Varianz, wobei Spanien mit 9.6 die höchste und Tschechien mit 1.9 die niedrigste Quote aufweist. Unterschiede lassen sich auch bei den Strompreisen erkennen, wobei Deutschland den höchsten Wert mit 25 Cent pro kWh und Ungarn den niedrigsten Wert mit 10 Cent pro kWh verzeichnet. Es ist wichtig zu beachten, dass für die Niederlande keine Daten zum Strompreis vorliegen. Ebenso sind bei der Anzahl Zugpassagiere pro Person für einige Länder keine Werte vorhanden. Auch dort sind die Unterschiede sehr hoch, wobei die Schweiz mit 48 Fahrten pro Person den höchsten und Italien mit 8 Fahrten pro Person die niedrigste Anzahl hat. Die Ergebnisse dieser Analyse zeigen teilweise grosse Unterschiede zwischen den

Ländern. Deshalb werden im folgenden Abschnitt die Faktoren mit den Daten zu den Ladestationen verglichen, um allfällige Zusammenhänge abzuleiten.

Tabelle 9: Einflussfaktoren

	Land	Population	Bev_Dichte	Anteil_PEV	BIP	ALQuote	Strompreis	Anz_Zugpassagiere
1	AT	8932664	107.6	2.1	45370	4.2	0.1746	24.35
2	BE	11554767	377.3	2.9	43350	3.8	0.2343	NaN
3	CH	8670300	215.1	2.4	77750	3.9	0.2216	48.55
4	CZ	10494836	138.2	0.2	22270	1.9	0.1381	12.87
5	DE	83155031	235.2	2.5	43290	2.5	0.2549	21.18
6	DK	5840045	138.5	5.2	57520	3.6	0.1516	22.96
7	ES	47398695	93.8	0.6	25500	9.6	0.1560	8.83
8	FR	67656682	106.1	1.8	36660	4.9	0.1726	13.22
9	HU	9730772	107.1	1.0	15870	2.7	0.1005	NaN
10	IT	59236213	201.5	0.6	30230	5.3	0.1958	8.30
11	NL	17475415	507.3	4.3	48790	3.1	NaN	NaN
12	NO	5391369	17.3	22.5	76630	3.2	0.1190	7.68
13	PL	37840001	123.6	0.2	15100	2.1	0.1374	NaN
14	PT	10298252	113.0	1.7	20870	4.4	0.1909	11.72
15	SE	10379295	25.2	6.0	51680	6.5	0.1506	15.85
16	SK	5459781	112.0	0.2	18110	4.5	0.1301	8.40

4.2 Analyse der Zusammenhänge

4.2.1 Ladestationen und dichtebezogene Kennzahlen

In diesem Abschnitt werden die Ladestationen und die dichtebezogenen Kennzahlen analysiert. In einem ersten Schritt wird verglichen, ob es Unterschiede bezüglich der Dichte der Ladestationen pro 1'000 Einwohner und pro 1'000 PEV gibt. Diese Auswertung ist in Abbildung 8 dargestellt. Die blauen Säulen stellen die Ladestationen pro 1'000 Einwohner dar. Es ist erkennbar, dass die Niederlande mit mehr als einer Ladestation pro 1'000 Einwohner mit Abstand den höchsten Wert aufweisen. Ebenfalls einen hohen Wert mit über 0.6 Ladestationen pro 1'000 Einwohner weist Österreich auf. Portugal und Polen weisen die tiefsten Werte aus. Die gelben Säulen beschreiben die Ladestationen pro 1'000 PEV. Erkennbar ist, dass Österreich ein wenig mehr Ladestationen pro 1'000 PEV aufweist als die Niederlande. Ausserdem gibt es einen Ausreisser bei der Slowakei, diese weisen den drittgrössten Wert auf nach Österreich und den Niederlanden. Ausserdem fällt

Norwegen auf, die im Vergleich zur Dichte der Ladestationen pro 1'000 Einwohner einen wesentlich tieferen Wert aufweisen. Wichtig zu beachten ist die Skalierung, die pro 1'000 Einwohner bis maximal 1.2 Ladestationen und bei 1'000 PEV bis maximal 60 Ladestationen reicht.

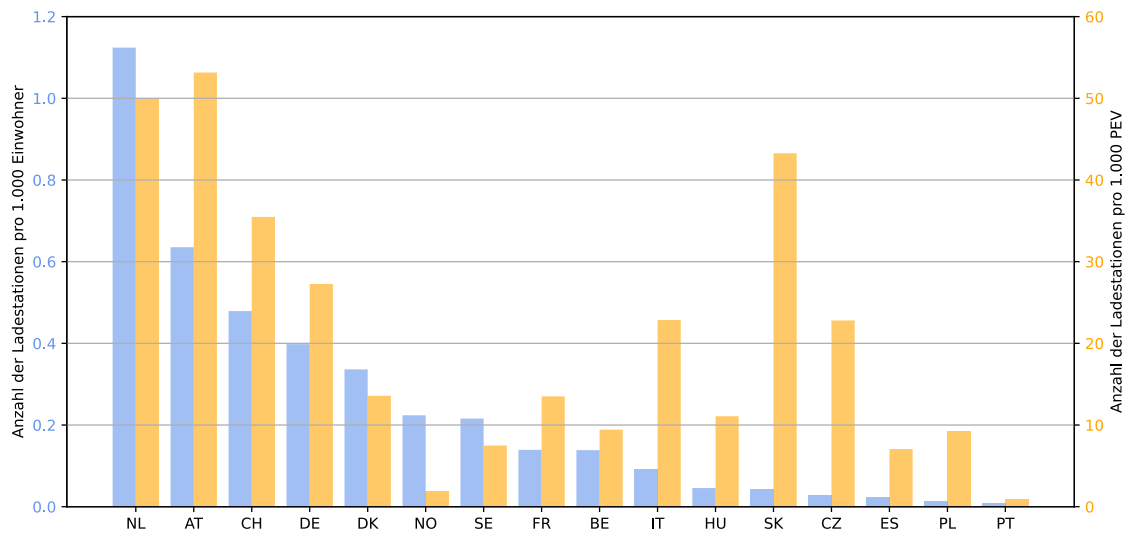


Abbildung 8: Vergleich von Ladestationen pro 1.000 Einwohner und pro 1.000 PEV

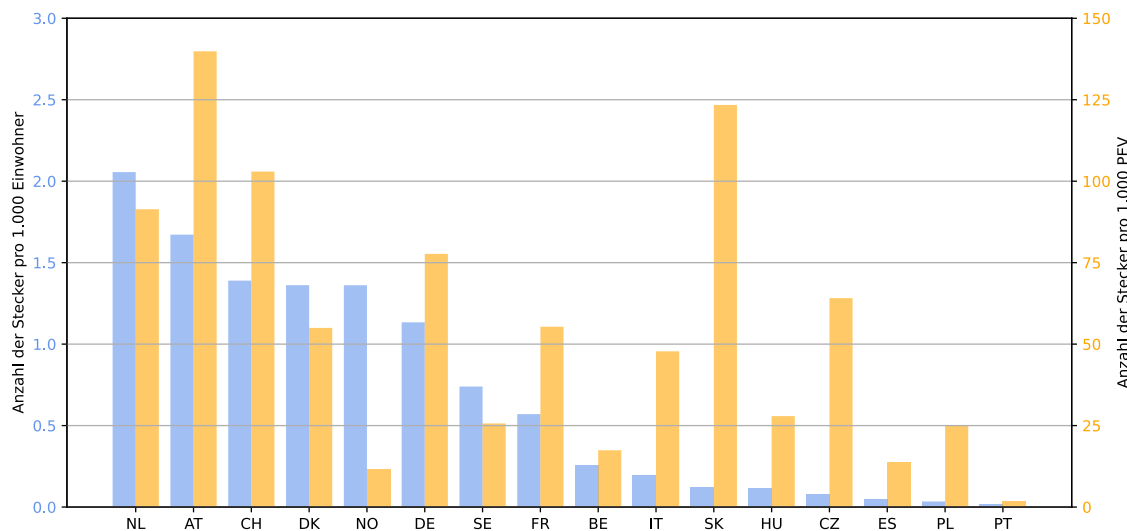


Abbildung 9: Vergleich von Stecker pro 1.000 Einwohner und pro 1.000 PEV

Als Vergleich sind in der Abbildung 9 die Anzahl Stecker pro 1'000 Einwohner und PEV dargestellt. Hier fällt die Skalierung anders aus. Diese reicht pro 1'000 Einwohnern bis maximal 3 Stecker und pro 1'000 PEV bis maximal 150 Stecker. Erkennbar ist, dass der Abstand zwischen den Niederlanden und Österreich bei der Anzahl Stecker pro 1'000 Einwohner deutlich geringer ausfällt wie bei den Ladestationen. Genau umgekehrt

verhalten sich die Werte bei den PEV. Ausserdem ist erkennbar, dass Dänemark und Norwegen einen höheren Wert bei der Anzahl Stecker pro 1'000 Einwohner als Deutschland aufweist. Österreich hat erneut den höchsten Wert pro 1'000 PEV, gefolgt von der Slowakei und der Schweiz. Anschliessend wird die Anzahl Ladestationen nun mit der Bevölkerungsdichte der einzelnen NUTS-2 Regionen analysiert. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 10 ersichtlich.

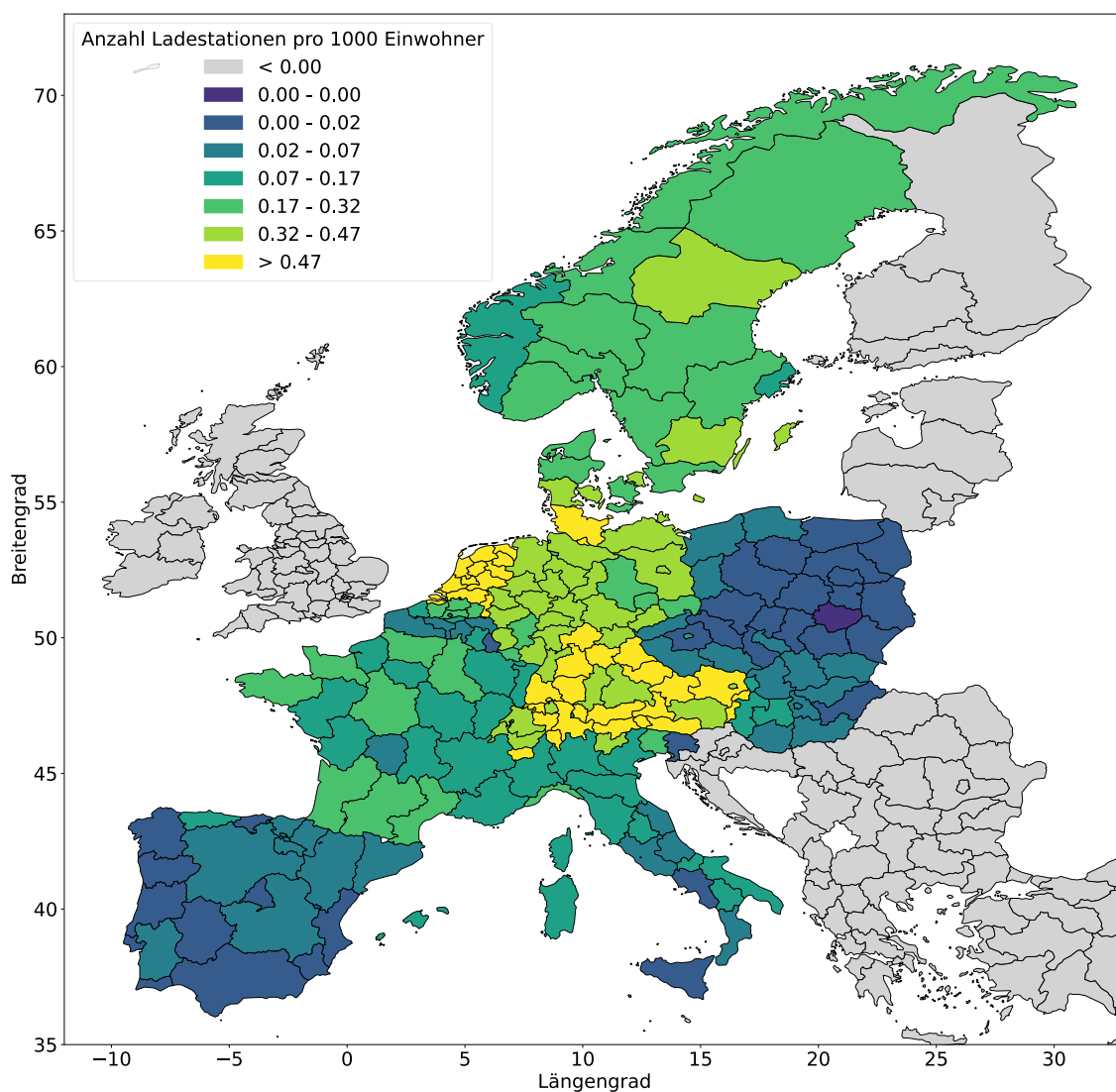


Abbildung 10: Dichte der Ladestationen in Europa pro 1.000 Einwohner (NUTS-2)

Im Vergleich zur Abbildung 4 ist zu erkennen, dass viele Regionen eine ähnliche Farbcodierung haben. Jedoch ist ersichtlich, dass besonders Süddeutschland, Österreich und die Schweiz eine sehr hohe Dichte an Ladestationen im Vergleich zur Bevölkerungsdichte der einzelnen NUTS-Region aufweisen. Das gleiche ist für die Niederlanden zutreffend. Die ländlicheren Regionen von Norwegen und Schweden weisen nun eine höhere Dichte

auf, In Frankreich und Italien wurden jedoch einige Bereiche dunkler eingefärbt. Von den Werten weisen 10 Regionen einen höheren Wert als eine Ladestation pro 1000 Einwohner auf. Darunter sind sieben Werte in den Niederlanden, davon der höchste Wert 1.92 und drei Werte in Österreich, davon der höchste Wert 1.11. Weitere Unterschiede sind in der Abbildung 11 zu erkennen, bei welcher die Dichte der Stecker in Europa dargestellt wurde.

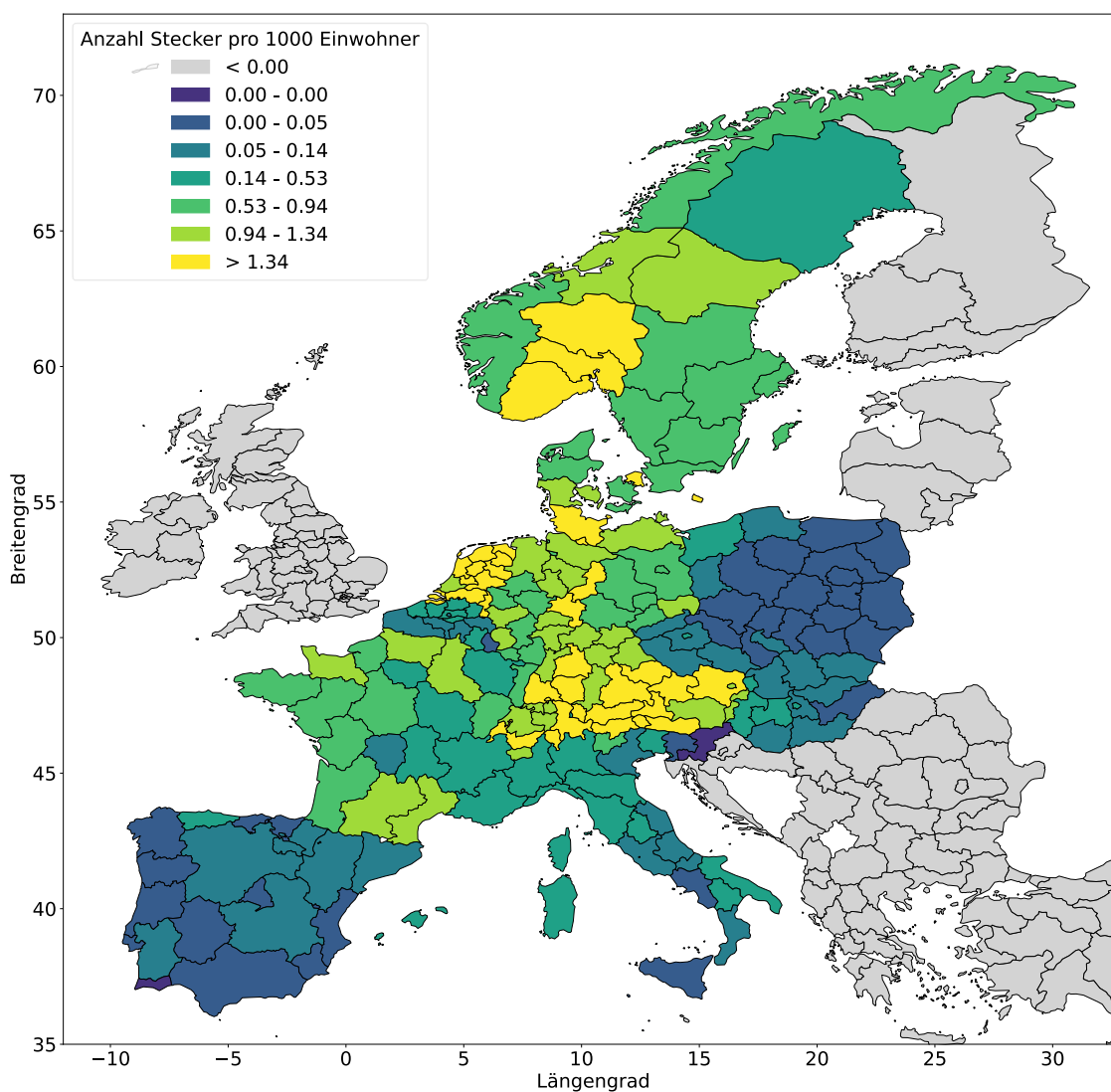


Abbildung 11: Dichte der Stecker in Europa pro 1.000 Einwohner (NUTS-2)

Im Vergleich zu Abbildung 10 ist zu erkennen, dass erneut viele Regionen ähnlich eingefärbt sind. Interessant ist die Veränderung in Norwegen, die besonders in den südlichen Regionen höhere Werte beinhaltet. Von den Werten weisen zehn Regionen einen höheren Wert als 2.4 auf, wovon die Niederlande sechs Werte, Österreich drei und die Schweiz ein Wert über 2.4 hat. Der höchste Wert liegt erneut in den Niederlanden mit 3.67 Steckern pro 1000 Einwohnern, gefolgt vom Tessin in der Schweiz welches einen Wert von 3.60 Steckern pro 1000 Einwohnern aufweist. Diese Erkenntnisse sind ebenfalls in den

erstellten Boxplot-Grafiken in Abbildung 19 und 20 im Anhang ersichtlich. Eine weitere Beobachtung zeigt die Abbildung 12, welche die Stecker sowie die PEV pro 1'000 Einwohner vergleicht.

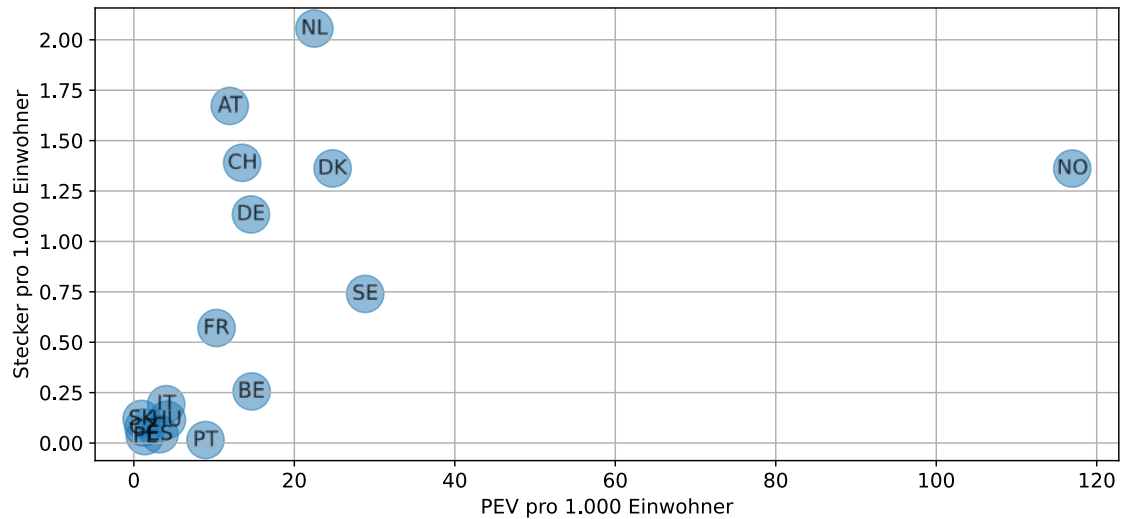


Abbildung 12: Stecker und PEV pro 1.000 Einwohner

Diese Abbildung zeigt mit Norwegen einen klaren Ausreisser mit fast 120 PEV pro 1'000 Einwohner. Zudem weisen die Niederlande, Dänemark und Schweden über 20 PEV pro 1'000 Einwohner auf. Die Y-Achse zeigt die Stecker pro 1'000 Einwohner, wobei die Niederlande mit über 2 den höchsten Wert aufweist.

4.2.2 Ladestationen und wirtschaftliche Kennzahlen

In diesem Abschnitt werden die Ladestationen und die wirtschaftlichen Kennzahlen analysiert. Dabei wird im ersten Teil das BIP analysiert und im zweiten Teil die Arbeitslosenquote. In der Abbildung 13 wird das BIP der einzelnen Länder mit der Dichte der Ladestationen verglichen. Die Berechnungen in der Abbildung 13 haben eine Korrelation von 0.53 zwischen dem BIP und der Anzahl der Ladestationen pro 1000 Einwohner ergeben, wobei der p-Wert 0.034 beträgt. Dies deutet darauf hin, dass es eine moderate positive Korrelation zwischen diesen beiden Variablen gibt. Es gibt jedoch einige Ausreisser in den Daten. Deutschland, Österreich und die Niederlande weisen im Vergleich eine höhere Anzahl Ladestationen pro 1000 Einwohner auf als die restlichen Länder. Ausserdem haben die Schweiz und Norwegen ein deutlich höheres BIP als die anderen Länder.

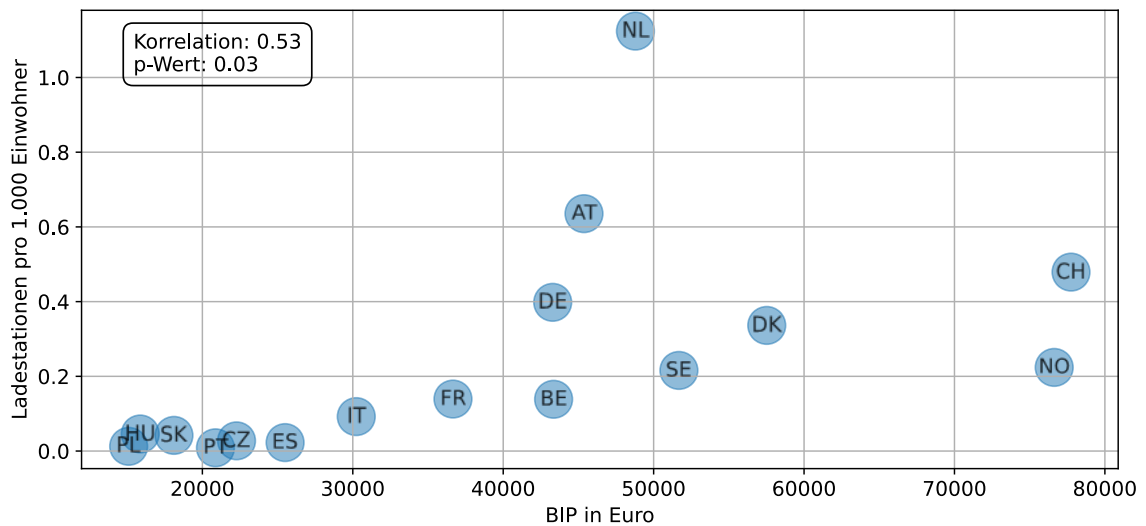


Abbildung 13: Ladestationen pro 1.000 Einwohner und BIP

In der Abbildung 14 ist der Zusammenhang zwischen den Steckern pro 1000 Einwohner und dem BIP dargestellt. Die Berechnungen zeigen hier eine Korrelation von 0.78 zwischen dem BIP und der Anzahl der Stecker pro Einwohner und einen p-Wert von 0.0004. Dies deutet darauf hin, dass es eine starke positive Korrelation zwischen diesen beiden Variablen gibt. Auch hier sind Norwegen und die Schweiz in Bezug auf das BIP als Ausreisser zu verstehen. Ausserdem hat auch hier Österreich und die Niederlande eine hohe Anzahl Stecker pro 1000 Einwohner. Dies ist auch bei Dänemark zu beobachten. Bei beiden Abbildungen weisen Polen, Ungarn, Slowakei, Portugal, Tschechien und Spanien das niedrigste BIP auf und auch eine verhältnismässig niedrige Anzahl an Ladestationen und Steckern pro 1000 Einwohner.

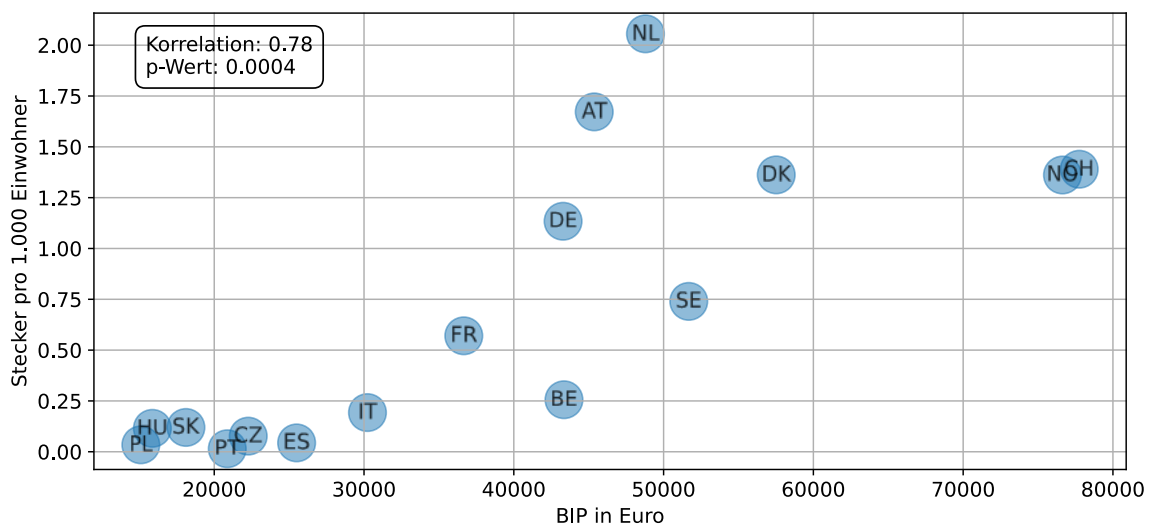


Abbildung 14: Stecker pro 1.000 Einwohner und BIP

Weitere Berechnungen sind im Anhang ersichtlich, bei welchen in Abbildung 21 und 22 die Ladestationen und Stecker pro 1000 PEV mit dem BIP verglichen wurden. Beide Berechnungen zeigen einen tiefen Zusammenhang mit einer Korrelation von 0.11 beziehungsweise 0.16. Ausserdem wurde der Zusammenhang zwischen der Arbeitslosenquote und der Ladeinfrastruktur analysiert. Die Abbildung 15 zeigt, dass zwischen dem Parameter Arbeitslosenquote und der Ladeinfrastruktur kein klarer Zusammenhang ersichtlich ist.

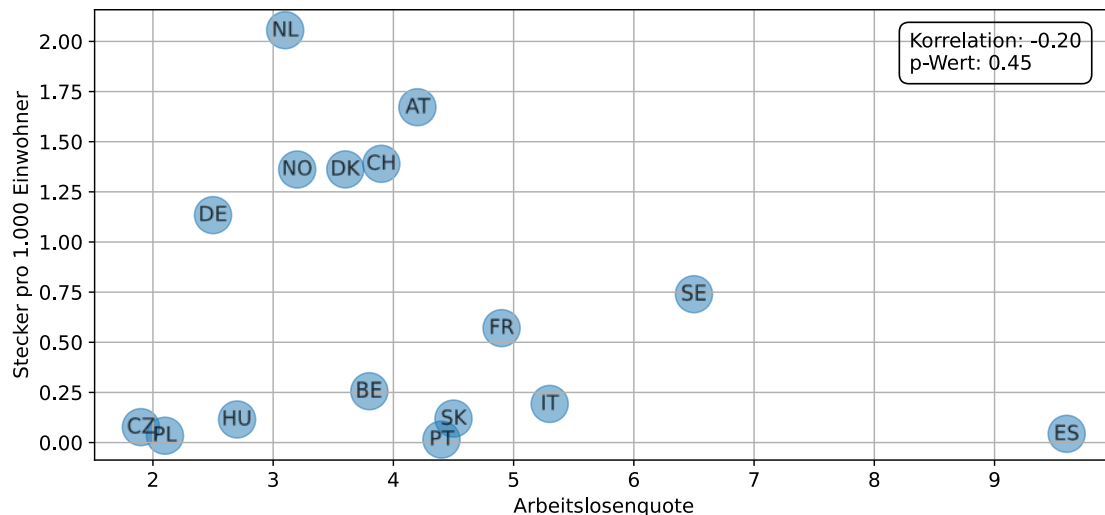


Abbildung 15: Stecker pro 1.000 Einwohner und Arbeitslosenquote

Die Korrelationsanalyse zwischen den Stecker pro 1000 Einwohner und der Arbeitslosenquote ergibt eine Korrelation von -0.20 und einen p-Wert von 0.45. Spanien ist ausserdem als deutlicher Ausreisser zu erkennen mit einer Arbeitslosenquote von über 9 Prozent. Tschechien hat zwar den tiefsten Wert bei der Arbeitslosenquote, jedoch auch einer der tiefsten Werte bei den Steckern pro 1000 Einwohner. Die Korrelationsanalyse der anderen Kennzahlen der Ladeinfrastruktur sind im Anhang in der Abbildung 23 ersichtlich und ergeben sehr ähnliche Werte.

4.2.3 Ladestationen und infrastrukturelle Kennzahlen

In diesem Abschnitt wurden die Ladestationen und die infrastrukturellen Kennzahlen analysiert. Zunächst wurde der Einfluss des Strompreises auf die Anzahl der Ladestationen betrachtet, gefolgt von einer Untersuchung der Verbindung zwischen der Anzahl der Zugpassagiere in den jeweiligen Ländern und der Anzahl der Ladestationen. In Abbildung 16 ist der Zusammenhang zwischen den Ladestationen pro 1.000 Einwohner und dem Strompreis dargestellt. Es lässt sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen

diesen beiden Variablen feststellen, das R-Quadrat 0.17 und der p-Wert 0.13 ergibt. Deutschland, Belgien und die Schweiz haben den höchsten Strompreis, dennoch verfügt die Schweiz über etwa viermal mehr Ladestationen pro 1.000 Einwohner als Belgien. Ungarn zeigt sich als Ausnahme, mit dem niedrigsten Strompreis und ebenfalls einem der niedrigsten Werte für Ladestationen pro 1.000 Einwohner. Ähnlich steht Österreich als Ausnahme da, mit der höchsten Anzahl an Ladestationen pro 1.000 Einwohner, obwohl der durchschnittliche Strompreis im mittleren Bereich liegt.

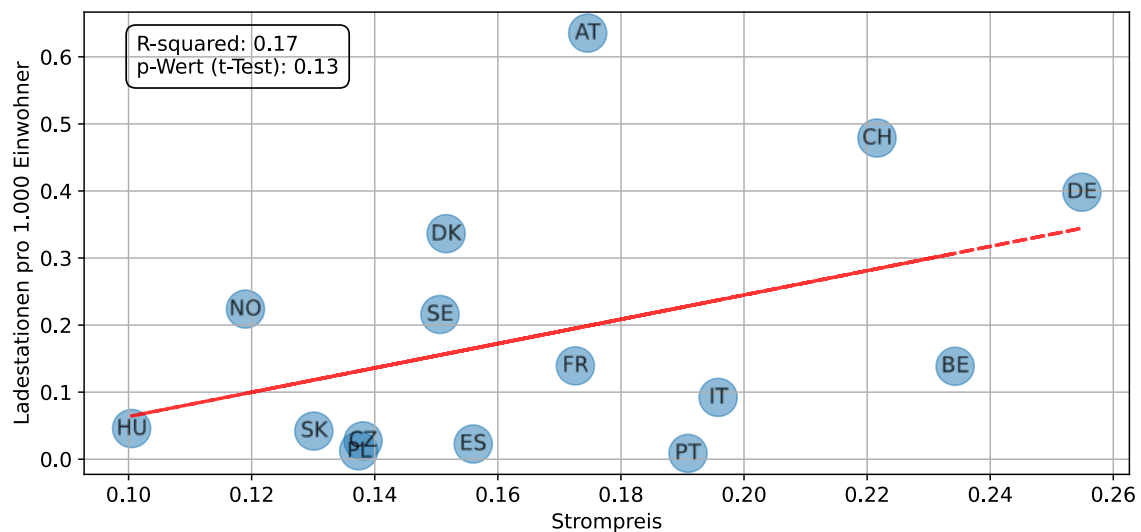


Abbildung 16: Regression Ladestationen pro 1.000 Einwohner und Strompreis

Zusätzliche Korrelationsberechnungen wurden in Abbildung 24 im Anhang durchgeführt. Hier zeigt sich, dass die Anzahl der Ladestationen pro 1.000 Einwohner im Vergleich zum Strompreis eine maximale Korrelation von 0.41 aufweist, was sich im R-Quadrat ($0.41^2 = 0.17$) der Abbildung 16 widerspiegelt. Abbildung 25 im Anhang verdeutlicht zudem, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Anzahl der Stecker pro 1.000 Einwohner und dem Strompreis gibt. Ein weiterer infrastruktureller Aspekt ist die Anzahl der Zugpassagiere, die den Gebrauch der öffentlichen Infrastruktur darstellt. Eine Regressionsanalyse dieser Variable im Vergleich zu den Ladestationen pro 1.000 Einwohner ist in Abbildung 17 dargestellt. Mit einem R-Quadrat von 0.54 und einem p-Wert von 0.01 lässt sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen diesen Variablen erkennen. Trotzdem gibt es Ausreisser, wie die Schweiz, die etwa doppelt so viele Zugpassagiere pro Einwohner im Vergleich zu Österreich hat. Österreich weist jedoch mit Abstand die meisten Ladestationen aus. Ähnliche Muster sind in Abbildung 18 zu

beobachten, in der die Ladestationen mit der Anzahl der Zugpassagiere verglichen wurden.

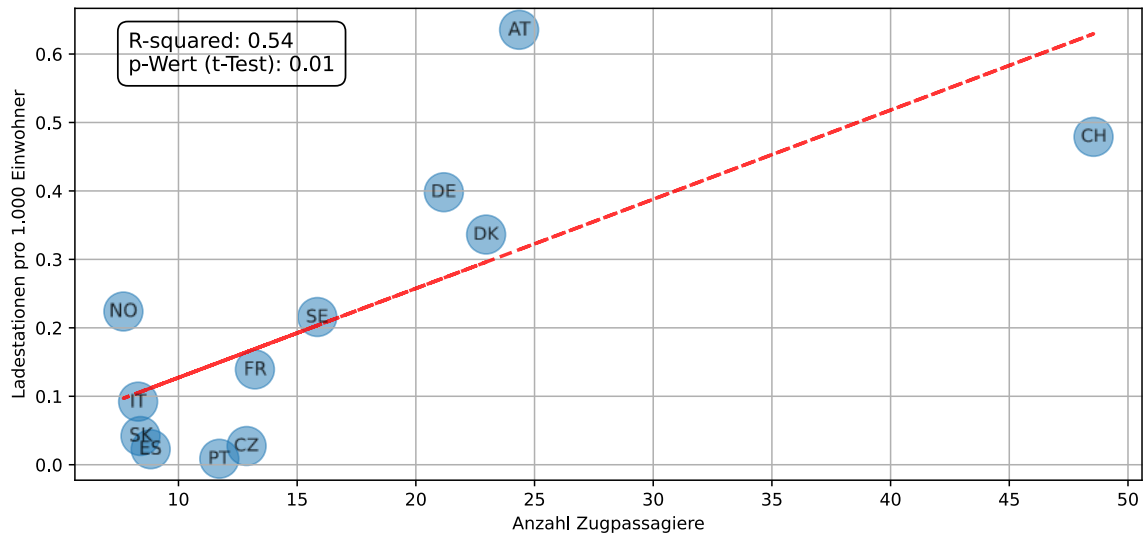


Abbildung 17: Regression Ladestationen pro 1.000 Einwohner und Zugpassagiere

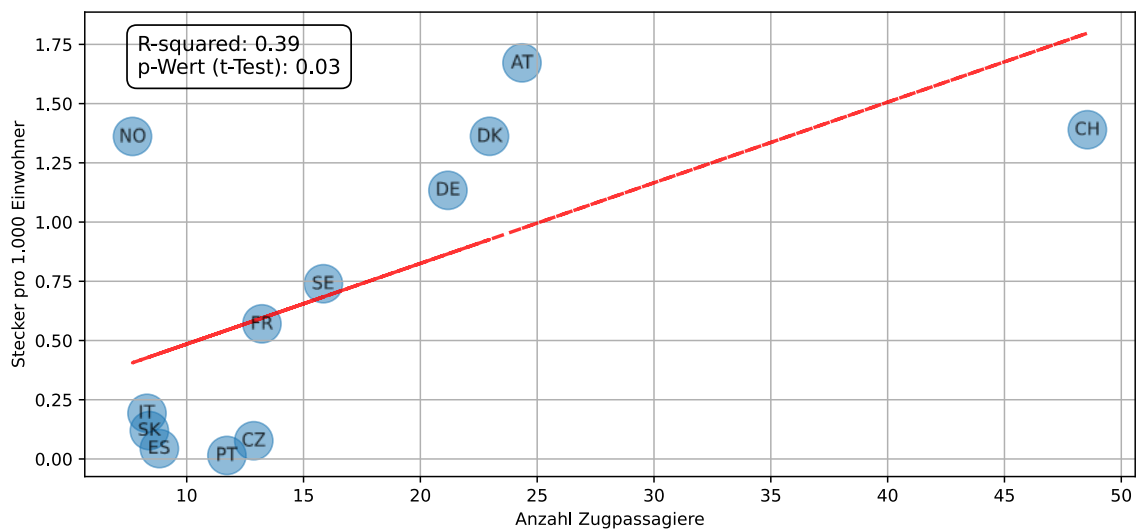


Abbildung 18: Regression Ladestationen pro 1.000 Einwohner und Zugpassagiere

Diese Analyse zeigt einen weniger ausgeprägten Zusammenhang, wobei die Schweiz wiederum als Ausreißer in Bezug auf die Anzahl der Zugpassagiere hervorsteht. Des Weiteren ist Norwegen bemerkenswert, welches trotz einer geringen Anzahl von Zugpassagieren eine hohe Dichte an Ladestationen pro 1.000 Einwohner aufweist. Zusammengefasst lassen sich die Korrelationsanalysen mit weiteren Kennzahlen der Ladeinfrastruktur in Abbildung 26 im Anhang einsehen.

5 Diskussion

5.1 Analyse der Datenbasis

5.1.1 Ladestationen

Die Ergebnisse aus Kapitel 4.1.1 illustrieren die Verteilung der Ladestationen für Elektrofahrzeuge in den NUTS-2-Regionen Europas sowie die Verteilung der Stecker pro Ladestation. Es ist spannend zu erkennen, dass die Verteilung der Ladestationen in Europa sehr heterogen ist. Wie im Kapitel 4.2.2 zu erkennen war, scheinen wohlhabendere Länder eine höhere Verteilungsdichte an Ladestationen zu haben. Dabei könnten auch andere Faktoren wie eine stärkere Förderpolitik für Elektrofahrzeuge oder eine höhere Akzeptanz und Nachfrage nach Elektrofahrzeugen in diesen Ländern eine Rolle spielen (Broadbent et al., 2018; Chakraborty et al., 2019). Es ist jedoch wichtig, diese Ergebnisse auch im Kontext innerhalb eines Landes zu betrachten. Die hohe Anzahl an Ladestationen in bestimmten Regionen könnte teilweise auf eine hohe Bevölkerungsdichte und eine stärkere Urbanisierung zurückzuführen sein. Daher wird dieser Aspekt in Kapitel 5.2.1 genauer untersucht. Darüber hinaus könnten regionale Unterschiede in der wirtschaftlichen Entwicklung, der Verkehrspolitik oder der Nachfrage nach Elektrofahrzeugen ebenfalls für die unterschiedliche Verteilung verantwortlich sein (Falchetta & Noussan, 2021, S. 15). Eine weitergehende Untersuchung dieser Aspekte wäre daher hilfreich. Es ist auch zu beachten, dass Abbildung 4 lediglich die Standorte der Ladestationen und nicht die EVSE abbildet. Daher wurde in einem zweiten Schritt die Anzahl der Stecker untersucht. Besonders hervorzuheben sind hier die skandinavischen Regionen. Da dort die Anzahl Stecker pro Ladestation deutlich höher ist als in anderen Regionen, ist die Dichte im Vergleich zu den Ladestationen höher.

5.1.2 Steckertypen

In Europa dominiert mit 69 Prozent klar der Stecker Typ 2, was auf die Normung und Harmonisierung der Ladegeräte in der EU zurückzuführen ist (Baumann, 2022). Die geringe Anzahl von Tesla Ladestationen ist auffallend, da Tesla oft als Vorreiter der Elektromobilität angesehen wird (Rika, 2023). Dies könnte auf die Beschränkung der Tesla Ladeinfrastruktur zurückzuführen sein, dass nur mit Tesla Fahrzeugen kompatibel ist (Baumann, 2022). Der Anteil an Schnellladestationen zwischen den Ländern ist sehr heterogen. Dies könnte auf unterschiedliche Strategien und Prioritäten in der nationalen Infrastrukturplanung hinweisen, wie auch Hecht et al. (2020) in seiner Studie beschreibt.

5.1.3 Leistung und Stromstärke

Die Analyse der Leistung zeigt, dass sich die grosse Mehrheit der Stecker rund 40 bis 60 kW Leistung aufweisen. Dies deckt sich ebenfalls damit, dass nur ein geringer Anteil der Stecker Fastcharger oder Haushaltssteckdosen sind. Die hohe Konzentration bei der Stromstärke ist darauf zurückzuführen, dass im Lemnet-Datensatz die Typ 2 Stecker nur in Ampere angegeben werden. Die gebündelte Leistung und auch die Stromstärke zeigt erneut eine Tendenz einer Normung und Harmonisierung der Ladegeräte (Baumann, 2022). Interessant ist jedoch, dass sowohl bei der Leistung wie auch bei der Stromstärke viele unterschiedliche Werte identifiziert wurden. Dies könnte jedoch auf spezielle lokale Anforderungen an das Stromnetz zurückzuführen sein, da sich die Leistung aus dem Produkt der Stromstärke und der Spannung zusammensetzt (Raff et al., 2019, S. 5; Maingau Energie, o. J.).

5.1.4 Operators

Die Ergebnisse aus Kapitel 4.1.4 verdeutlichen die Rolle der verschiedenen Betreiber im europäischen Ladestationsmarkt. Nahezu 9000 verschiedene Personen und Institutionen haben Ladestationen erfasst. Dies zeigt, dass die Ladeinfrastruktur in Europa von vielen verschiedenen Akteuren bereitgestellt werden, die von grossen Unternehmen bis hin zu einzelnen Personen reichen. Es ist jedoch hervorzuheben, dass 14 Unternehmen den Grossteil der Ladestationen bereitgestellt haben mit jeweils über 1000 Datenpunkten. Dies zeigt, dass trotz der Vielfalt der Anbieter eine Konzentration auf einige wenige Akteure besteht. Dies könnte ein Indiz für die Reife des Marktes sein, da grössere Unternehmen in der Lage sind, Skaleneffekte zu nutzen und ein breiteres Angebot an Dienstleistungen anzubieten. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Anzahl der von einem Unternehmen bereitgestellten Ladestationen nicht unbedingt die Qualität oder die Benutzerfreundlichkeit der Ladestationen widerspiegelt (Globisch et al., 2019, S. 54). Insgesamt zeigen diese Ergebnisse, dass der europäische Markt für Ladeinfrastruktur eine Mischung aus Konzentration und Diversität aufweist. Dies könnte sowohl Chancen als auch Herausforderungen für die zukünftige Entwicklung des Marktes darstellen.

5.1.5 Fahrzeugdaten

Die Daten aus Kapitel 4.1.5 liefern interessante Erkenntnisse über die Verteilung von Elektrofahrzeugen in den verschiedenen europäischen Ländern. Beispielsweise könnte die hohe Verbreitung von PEV in Norwegen auf die umfangreichen staatlichen Anreize zurückzuführen sein, die dort zur Förderung von Elektrofahrzeugen eingesetzt werden

(Broadbent et al., 2018, S. 7). Ähnlich könnte auch der hohe Anteil auf den Wohlstand zurückzuführen sein. Andere Länder wie beispielsweise die Schweiz weisen jedoch eine deutlich tiefere PEV-Quote auf. Es ist möglich, dass die Verbreitung in Norwegen auf die hohe Akzeptanz und die politischen Anreize zurückzuführen sind, die den Kauf und Gebrauch dieser Fahrzeugtypen begünstigen (Chakraborty et al., 2019, S. 255; Broadbent et al., 2018, S. 7). Auf der anderen Seite könnte die geringe Verbreitung von Elektrofahrzeugen in Ländern wie Polen, Tschechien und der Slowakei auf eine Kombination von Faktoren zurückzuführen sein. Darunter möglicherweise eine weniger entwickelte Ladeinfrastruktur, geringere Kaufkraft oder fehlende staatliche Anreize.

5.1.6 Einflussfaktoren

Die Ergebnisse dieser Analyse zeigen erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern. Weshalb diese Unterschiede bestehen, wird in dieser Arbeit nicht weiter vertieft. Jedoch werden im folgenden Abschnitt die Faktoren mit den Daten zu den Ladestationen verglichen, um mögliche Zusammenhänge zu ermitteln.

5.2 Analyse der Zusammenhänge

5.2.1 Ladestationen und dichtebezogene Kennzahlen

Die Analyse der dichtebezogenen Kennzahlen der Ladestationen verdeutlicht, dass die Niederlande mit deutlichem Abstand die höchsten Werte pro Einwohner aufweisen. Erstaunlich ist hierbei, dass Norwegen in dieser Messgrösse nicht besonders heraussticht. Eine Untersuchung der Dichte von Ladestationen pro PEV zeigt, dass Norwegen hier einen bemerkenswert niedrigen Wert aufweist, während Österreich den höchsten Wert verzeichnet. Dies legt nahe, dass Länder mit einer höheren Dichte an Ladestationen im Vergleich zu PEV tendenziell noch nicht über eine grosse Anzahl an PEV verfügen. Weiter zeigen die Daten, dass die Niederlande, Österreich, Schweiz und Deutschland gut für einen weiteren Zuwachs an PEVs aufgestellt sind, da sie eine hohe Dichte an Ladestationen pro Einwohner aufweisen. Darüber hinaus ist es erwähnenswert, dass Länder wie die Slowakei, die den dritthöchsten Wert an Ladestationen pro 1000 PEVs aufweisen, wahrscheinlich auf die geringe Verfügbarkeit von PEVs in diesen Regionen zurückzuführen sind. Im Vergleich dazu zeigt die Analyse der Steckerdichte, dass die skandinavischen Länder im Verhältnis zu den Ladestationen höhere Werte aufweisen, da pro Ladestation eine grössere Anzahl von Steckern zur Verfügung steht. Bei Betrachtung dieser Werte in einer Karte wird deutlich, dass insbesondere Süddeutschland, die Schweiz, Österreich und die Niederlande eine hohe Dichte pro Einwohner aufweisen. Beim Vergleich der

Steckerdichte verändert sich dieses Bild geringfügig, jedoch verzeichnen auch Teile Norwegens neu hohe Werte. In Deutschland lässt sich beispielsweise ein deutlicher Unterschied zwischen Nord und Süd erkennen, der vermutlich auf wirtschaftliche Unterschiede zurückzuführen ist (Wolf, 2016). Diesbezüglich ist interessant, dass in der Schweiz das Muster der Steckerdichte gegenteilig zu sein scheint, mit niedrigeren Werten in der Zentral- und Nordschweiz und höheren Werten in der Westschweiz. Es ist anzunehmen, dass die allgemein hohe Dichte in den Niederlanden wahrscheinlich auf zusätzliche Fördermassnahmen zurückzuführen ist. Schliesslich zeigt Norwegen im Hinblick auf die PEV-Dichte klar seine führende Position und Rolle als Vorreiter. Besonders bei der Akzeptanz und Verbreitung von PEVs können andere Länder viel von Norwegens Erfahrung lernen. Auffällig ist jedoch, dass Norwegen in Bezug auf die Kennzahlen der Ladestationen niedrigere Werte als andere Länder aufweist. Dies legt nahe, dass die Ladeinfrastruktur nicht unbedingt der primäre Treiber für die Akzeptanz von PEVs ist. Es ist jedoch auch erkennbar, dass kein europäisches Land mit einer schlechten Ladeinfrastruktur hohe PEV-Werte aufweist.

5.2.2 Ladestationen und wirtschaftliche Kennzahlen

Die Analyse der Beziehung zwischen den Ladestationen und wirtschaftlichen Indikatoren bietet aufschlussreiche Erkenntnisse. Die beobachtete moderat positive Korrelation zwischen dem BIP und der Anzahl der Ladestationen pro 1000 Einwohner könnte darauf hindeuten, dass wohlhabendere Länder generell mehr Ressourcen in den Aufbau einer Infrastruktur für Elektrofahrzeuge investieren können. Dies könnte wiederum ein Indikator für eine höhere Akzeptanz und Verbreitung von Elektrofahrzeugen in Ländern mit höherem BIP sein. Es ist jedoch wichtig, die Rolle von Ausreissern zu berücksichtigen. Deutschland, Österreich und die Niederlande weisen nicht die höchsten BIP-Werte auf, scheinen jedoch in Bezug auf Ladestationen pro Einwohner besonders engagiert zu sein. Dies könnte auf spezifische nationale Strategien oder regulatorische Massnahmen hinweisen, die die Entwicklung der Ladeinfrastruktur fördern. Ausserdem weisen die Ausreisser Schweiz und Norwegen im Vergleich ein sehr hohes BIP auf, was das Bild ebenfalls verändert. Die starke positive Korrelation zwischen dem BIP und der Anzahl der Stecker pro 1000 Einwohner könnte ebenfalls auf die Bereitschaft reicherer Länder hinweisen, in eine ausgereifte Ladeinfrastruktur zu investieren. Es ist jedoch bemerkenswert, dass einige Länder wie Dänemark trotz ihres nicht so hohen BIP eine hohe Anzahl an Steckern pro 1000 Einwohner aufweisen. Dies könnte auf andere unterstützende Faktoren wie staatliche Anreize oder eine grössere Akzeptanz von Elektrofahrzeugen hinweisen.

Im Gegensatz dazu scheint das BIP jedoch nicht den gleichen Einfluss auf die Anzahl der Ladestationen und Stecker pro 1000 PEV zu haben. Es wäre spannender, das BIP mit der Anzahl PEV zu vergleichen, da eine hohe PEV-Anzahl die Dichte an Ladestationen verschlechtert. In Bezug auf die Arbeitslosenquote lässt die Analyse keinen starken Zusammenhang zur Ladeinfrastruktur erkennen. Dies deutet darauf hin, dass die Wirtschaftsgesundheit eines Landes, gemessen an der Arbeitslosenquote, möglicherweise keinen direkten Einfluss auf die Entwicklung einer Ladeinfrastruktur hat. Die Ergebnisse deuten insgesamt darauf hin, dass wirtschaftliche Faktoren bei der Entwicklung einer Ladeinfrastruktur eine Rolle spielen können, aber nicht die alleinigen Bestimmungsgrößen sind. Es ist daher wichtig, weitere Untersuchungen durchzuführen, um ein vollständiges Bild von den Faktoren zu erhalten, die die Verbreitung von Ladestationen in verschiedenen Kontexten beeinflussen.

5.2.3 Ladestationen und infrastrukturelle Kennzahlen

Die Beziehung zwischen den infrastrukturellen Kennzahlen und den Ladestationen wurde ebenfalls untersucht, wobei die Variablen Strompreis und die Anzahl der Zugpassagiere berücksichtigt wurden. Es wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Strompreis und der Ladeinfrastruktur festgestellt. In Bezug auf die Verteilung der Ladestationen kann nur 17 Prozent der Variation in der Anzahl der Ladestationen durch den Strompreis erklärt werden, was recht gering ist. Auch andere Merkmale der Ladestation korrelieren nicht mit dem Strompreis. Spannend ist hier, dass die Steigung der Regressionsgeraden sogar positiv war, was bedeutet, dass Länder mit einem höheren Strompreis auch eine höhere Dichte an Ladestationen haben. Ausserdem wurde eine signifikante Beziehung zwischen der Anzahl der Zugpassagiere und der Anzahl der Ladestationen mit einem R-Quadrat von 0.54 und einem p-Wert von 0.01 festgestellt. Dies könnte darauf hindeuten, dass Länder mit einer höheren Nutzung des öffentlichen Verkehrs auch eine höhere Anzahl an Ladestationen aufweisen. Dies könnte zum einen aufgrund eines höheren Bewusstseins für umweltfreundliche Verkehrsmittel sein. Zum anderen investieren diese Länder vermutlich allgemein mehr in die Infrastruktur, was dem Bahnverkehr wie auch der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge zugutekommt. Interessant ist auch die Rolle der Ausreisser in diesen Analysen. Beim Strompreis gibt es viele Länder, die vom Trend abweichen. Bei der Anzahl Zugpassagiere sticht die Schweiz sehr deutlich heraus, die ein hohes Passagieraufkommen hat.

6 Schlussfolgerung

Die vorliegende Bachelorarbeit hat eine Reihe von wichtigen Ergebnissen hervorgebracht. Ein Hauptergebnis ist, dass das BIP der grösste Einflussfaktor auf die Dichte und Verfügbarkeit von Ladestationen für Elektrofahrzeuge in den untersuchten europäischen Ländern darstellt. Länder mit höherem BIP tendieren somit dazu, mehr Ressourcen in den Aufbau einer robusten Ladeinfrastruktur zu investieren. Es gibt jedoch bemerkenswerte Ausreisser wie Deutschland, Österreich und die Niederlande, die trotz eines mittelgrossen BIPs eine beeindruckende Anzahl von Ladestationen pro Einwohner aufwiesen. Dies deutet auf die Rolle nationaler Strategien und regulatorischer Massnahmen bei der Förderung von Elektrofahrzeugen hin. Die Untersuchung der Beziehung zwischen der Anzahl der Ladestationen und der Anzahl der Zugpassagiere ergab eine moderate positive Korrelation, was auf ein höheres Umweltbewusstsein und eine generelle Präferenz für nachhaltigere Verkehrsmittel in diesen Ländern hindeuten könnte. Der Strompreis wie auch die Arbeitslosenquote weisen keinen Einfluss auf die Dichte der Ladestationen auf. Zudem zeigt die Analyse, dass die Dichte der Ladeinfrastruktur nur bedingt etwas über die effektive Verbreitung von PEV aussagt und somit nur einen Faktor in der Akzeptanz der PEV darstellt.

Die vorliegende Studie hat auch einige Limitationen. Erstens beinhalten die verwendeten Daten nur Informationen über Ladestandorte und Steckertypen, jedoch keine Angaben über EVSE, die für Vergleiche in der Ladeinfrastruktur besser geeignet wären. Zweitens wurden bei den Einflussfaktoren nur Daten aus dem Jahr 2021 berücksichtigt, was eine eingeschränkte Zeitspanne darstellt. Es wäre wertvoll, Daten aus mehreren Jahren zu betrachten, um Trends und Entwicklungen besser zu verstehen. Schliesslich sind nicht alle Länder von Europa in den Lemnet Daten enthalten, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse einschränkt.

Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Studie können mehrere Handlungsempfehlungen für Betreiber von Ladestationen und Regierungen abgeleitet werden. Erstens ist es sinnvoll, in den Ausbau ihrer Ladeinfrastruktur investieren, um die Verbreitung von Elektrofahrzeugen zu fördern. Hierbei könnten sie von den Erfahrungen und Strategien von Ländern wie Deutschland, Österreich und den Niederlanden lernen. Zweitens sollten Regierungen Anreize schaffen, um die Nutzung von Elektrofahrzeugen attraktiver zu machen, beispielsweise durch steuerliche Vorteile oder Subventionen, bei welchem Norwegen als

Vorbild dient. Drittens sollten Betreiber von Ladestationen ihr Angebot an verschiedenen Standorten erweitern, um die Zugänglichkeit und Bequemlichkeit des Ladens zu erhöhen.

Diese Studie bietet eine solide Basis für zukünftige Forschungen. Zunächst wäre es interessant, die Untersuchung auf mehr Länder und einen längeren Zeitraum auszudehnen, um ein umfassenderes Verständnis der Trends und Muster in der Entwicklung der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Europa zu erhalten. Darüber hinaus wäre es wertvoll, andere potenzielle Einflussfaktoren in die Analyse einzubeziehen. Dazu könnten beispielsweise kulturelle oder soziale Faktoren zählen, um weitere Erkenntnisse zur Akzeptanz von PEV zu generieren. Schliesslich könnte eine vertiefende Untersuchung der Rolle nationaler Strategien und regulatorischer Massnahmen aufzeigen, wie verschiedene politische Ansätze zur Förderung von Elektrofahrzeugen beitragen können. Dies könnte wertvolle Erkenntnisse für Regierungen und Betreiber von Ladestationen bieten, um effektive Strategien zur Förderung der Elektromobilität zu entwickeln und umzusetzen.

7 Literaturverzeichnis

- ACEA. (o. J.). *About ACEA*. <https://www.acea.auto/about-acea/>
- ACEA. (2023). *Vehicles in use - Europe 2023*. ACEA - European Automobile Manufacturers' Association. <https://www.acea.auto/files/ACEA-report-vehicles-in-use-europe-2023.pdf>
- Ajanovic, A., Haas, R., & Schrödl, M. (2021). On the Historical Development and Future Prospects of Various Types of Electric Mobility. *Energies*, *14*(4), 1070. <https://doi.org/10.3390/en14041070>
- Allego. (o. J.). *About*. <https://www.allego.eu/about>
- Anderson, J. E., Lehne, M., & Hardinghaus, M. (2018). What electric vehicle users want: Real-world preferences for public charging infrastructure. *International Journal of Sustainable Transportation*, *12*(5), 341–352. <https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1372538>
- Baumann, M. (2022, Juni 1). *Wichtigste E-Auto Ladestecker und Kabeltypen im Überblick*, <https://www.homeandsmart.de/ladestecker-ladekabel-ein-ueberblick>
- Broadbent, G. H., Drozdowski, D., & Metternicht, G. (2018). Electric vehicle adoption: An analysis of best practice and pitfalls for policy making from experiences of Europe and the US. *Geography Compass*, *12*(2), e12358. <https://doi.org/10.1111/gec3.12358>
- Bundesamt für Statistik. (o. J.). *Strassenfahrzeuge – Bestand, Motorisierungsgrad*. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge/strassenfahrzeuge-bestand-motorisierungsgrad.html>
- Bundesministerium. (o. J.). *Elektromobilität in Österreich*. https://www.austriatech.at/assets/Uploads/Publikationen/PDF-Dateien/969df21d1a/ZahlenDatenFakten_2021_12_D.pdf
- Chakraborty, D., Bunch, D. S., Lee, J. H., & Tal, G. (2019). Demand drivers for charging infrastructure-charging behavior of plug-in electric vehicle commuters. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *76*, 255–272. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.09.015>
- Credit Suisse. (o. J.). *Sorgenbarometer*. <https://www.credit-suisse.com/about-us/de/research-berichte/studien-publikationen/sorgenbarometer.html>
- Das, H. S., Rahman, M. M., Li, S., & Tan, C. W. (2020). Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review.

- Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109618.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109618>
- De Haan, P., Rosser, S., Clausdeinken, H., Ribi, F., & Koller, L. (2021). *Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2021*. https://www.ebp.ch/sites/default/files/2021-03/2021-03-08_EBP_CH_EmobSzen_PKW_2021.pdf
- Doppelbauer, M. (2014, September 24). *Die Erfindung des Elektromotors 1800-1854*. Karlsruhe Institut für Technologie, Elektrotechnisches Institut. <https://www.eti.kit.edu/1376.php>
- Driivz. (2023, Februar 5). *What is Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE)?* Driivz. <https://driivz.com/glossary/electric-vehicle-supply-equipment-evse/>
- Dwyer, S., Moutou, C., Nagrath, K., Wyndham, J., McIntosh, L., & Chapman, D. (2021). An Australian Perspective on Local Government Investment in Electric Vehicle Charging Infrastructure. *Sustainability*, 13(12), Art. 12. <https://doi.org/10.3390/su13126590>
- Eidgenössische Elektrizitätskommission. (2020, September 3). *Leicht sinkende Strompreise 2021*. <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-80288.html>
- Eidgenössische Steuerverwaltung. (2022). *Jahresmittelkurs*. <https://www.estv.admin.ch/dam/estv/de/dokumente/wpe/Jahresmittelkurse/jahresmittelkurse2021.pdf.download.pdf/jahresmittelkurse2021.pdf>
- Elektroauto Coach. (o. J.). *Ladeinfrastruktur*. <http://www.elektroautocoach.ch/wissenswertes/ladeinfrastruktur/>
- Eurostat (o. J. a). *Who we are*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/about-us/who-we-are>
- Eurostat (o. J. b). *Population on 1 January*. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/tps00001>
- Eurostat (o. J. c). *Population density by NUTS 3 region*. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/demo_r_d3dens
- Eurostat (o. J. d). *Gross domestic product at market prices*. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/tec00001>
- Eurostat (o. J. e). *Total unemployment rate*. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/tps00203>
- Eurostat (o. J. f). *Electricity prices for household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)*. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/nrg_pc_204
- EVBox. (o. J.). *About*. <https://evbox.com/en/about>

- Falchetta, G., & Noussan, M. (2021). Electric vehicle charging network in Europe: An accessibility and deployment trends analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *94*, 102813. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102813>
- Funke, S. Á., Sprei, F., Gnann, T., & Plötz, P. (2019). How much charging infrastructure do electric vehicles need? A review of the evidence and international comparison. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *77*, 224–242. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.10.024>
- Globisch, J., Plötz, P., Dütschke, E., & Wietschel, M. (2019). Consumer preferences for public charging infrastructure for electric vehicles. *Transport Policy*, *81*, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.05.017>
- Hardinghaus, M., Löcher, M., & Anderson, J. E. (2020). Real-world insights on public charging demand and infrastructure use from electric vehicles. *Environmental Research Letters*, *15*(10), 104030. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba716>
- Hardman, S., Jenn, A., Tal, G., Axsen, J., Beard, G., Daina, N., Figenbaum, E., Jakobsson, N., Jochem, P., Kinnear, N., Plötz, P., Pontes, J., Refa, N., Sprei, F., Turrentine, T., & Witkamp, B. (2018). A review of consumer preferences of and interactions with electric vehicle charging infrastructure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *62*, 508–523. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.04.002>
- Harrison, G., & Thiel, C. (2017). An exploratory policy analysis of electric vehicle sales competition and sensitivity to infrastructure in Europe. *Technological Forecasting and Social Change*, *114*, 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.007>
- Hecht, C., Das, S., Bussar, C., & Sauer, D. U. (2020). Representative, empirical, real-world charging station usage characteristics and data in Germany. *ETransportation*, *6*, 100079. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2020.100079>
- Hertzke, P., Müller, N., Schenk, S., & Wu, T. (2018, Mai 4). *The global electric-vehicle market is amped up and on the rise*. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-global-electric-vehicle-market-is-amped-up-and-on-the-rise>
- Høyer, K. G. (2008). The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*, *16*(2), 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2007.11.001>
- Infineon Technologies AG. (o. J.). *Elektromobilität: Definition, Funktion, Vorteile - Infineon Technologies*. <https://www.infineon.com/cms/de/discoveries/elektromobilitaet/>

- LaMonaca, S., & Ryan, L. (2022). The state of play in electric vehicle charging services – A review of infrastructure provision, players, and policies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111733. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111733>
- Lemnet. (o. J. a). *Impressum*. <https://www.lemnet.org/de/impressum>
- Lemnet. (o. J. b). *Downloads*. <https://www.lemnet.org/de/downloads>
- Lemnet. (o. J. c). *Map* <https://www.lemnet.org/de/map/?destination=winterthur%20Technikumstr>.
- Lemnet. (o. J. d). *AGB*. <https://www.lemnet.org/de/agb>
- Lévy, P. Z., Drossinos, Y., & Thiel, C. (2017). The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership. *Energy Policy*, 105, 524–533. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.054>
- Maingau Energie. (o. J.). *Watt, Volt, Ampere einfach erklärt*. <https://www.maingau-energie.de/blog/watt-volt-ampere-einfach-erklart>
- Mangram, M. E. (2012). The globalization of Tesla Motors: A strategic marketing plan analysis. *Journal of Strategic Marketing*, 20(4), 289–312. <https://doi.org/10.1080/0965254X.2012.657224>
- Mortimer, B. J., Hecht, C., Goldbeck, R., Sauer, D. U., & De Doncker, R. W. (2022). Electric Vehicle Public Charging Infrastructure Planning Using Real-World Charging Data. *World Electric Vehicle Journal*, 13(6), Art. 6. <https://doi.org/10.3390/wevj13060094>
- Noel, L., Zarazua de Rubens, G., Sovacool, B. K., & Kester, J. (2019). Fear and loathing of electric vehicles: The reactionary rhetoric of range anxiety. *Energy Research & Social Science*, 48, 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.10.001>
- OICP. (2018). *Open intercharge Protocol for Charge Point Operators*. https://assets.website-files.com/602cf2b08109ccbc93d7f9ed/60534f2e20d0f87be17ba21b_oicp-cpo-2.2.pdf
- Presseportal (2022, Januar 12). *Compleo schliesst Übernahme der innogy eMobility Solutions GmbH erfolgreich ab*. <https://www.presseportal.ch/de/pm/100082744/100883813>
- Prospero Events Group. (2021, November 1). *Top 8 EV Charging Operators in the World*. <https://www.prosperevents.com/top-ev-charging-operators-in-the-world/>
- Raff, R., Golub, V., Pelin, D., & Topić, D. (2019). Overview of charging modes and connectors for the electric vehicles. *2019 7th International Youth Conference on Energy (IYCE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IYCE45807.2019.8991586>

- Rika, M. (2023, März 20). *Close to Half Million EV Charging Points in the European Union but More is Needed*. <https://statzon.com/insights/ev-charging-points-europe>
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). *Emissions by sector*. <https://our-worldindata.org/emissions-by-sector>
- Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. *Smart Cities*, 4(1), Art. 1. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010022>
- Situ, L. (2009). Electric Vehicle development: The past, present & future. 2009 *3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA)*, 1–3.
- Statharas, S., Moysoglou, Y., Siskos, P., Zazias, G., & Capros, P. (2019). Factors Influencing Electric Vehicle Penetration in the EU by 2030: A Model-Based Policy Assessment. *Energies*, 12(14), Art. 14. <https://doi.org/10.3390/en12142739>
- Statistisches Bundesamt. (o. J.). *NUTS-Klassifikation*. https://www.destatis.de/Europa/DE/Methoden-Metadaten/Klassifikationen/UebersichtKlassifikationen_NUTS.html
- Swallow, T. (2023, Februar 15). *Top 10 electric vehicle charging providers in Europe*. <https://evmagazine.com/top10/top-10-electric-vehicle-charging-providers-in-europe>
- Universität Zürich. (o. J.). *Korrelation nach Bravais-Pearson*. http://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/zusammenhaenge/korrelation.html
- UNRAE. (o. J.). *L'AUTO 2021*. Unione Nazionale Rappresentanti Autoveicoli Esteri. [https://unrae.it/files/AnnualReportUNRAE_2021_web%20\(002\)_62b4197f91522.pdf](https://unrae.it/files/AnnualReportUNRAE_2021_web%20(002)_62b4197f91522.pdf)
- Viter, I. (2022, August 5). *Was ist der Unterschied zwischen AC- und DC-Laden?* <https://monta.com/de/blog/was-ist-der-unterschied-zwischen-ac-und-dc-laden/>
- Wolf, A. (2016). *Das wirtschaftliche Süd-Nord-Gefälle in Deutschland: Aktuelle Befunde und Ursachen*. *HWWI Policy Paper*, 99. <https://www.econstor.eu/handle/10419/146632>

8 Anhang

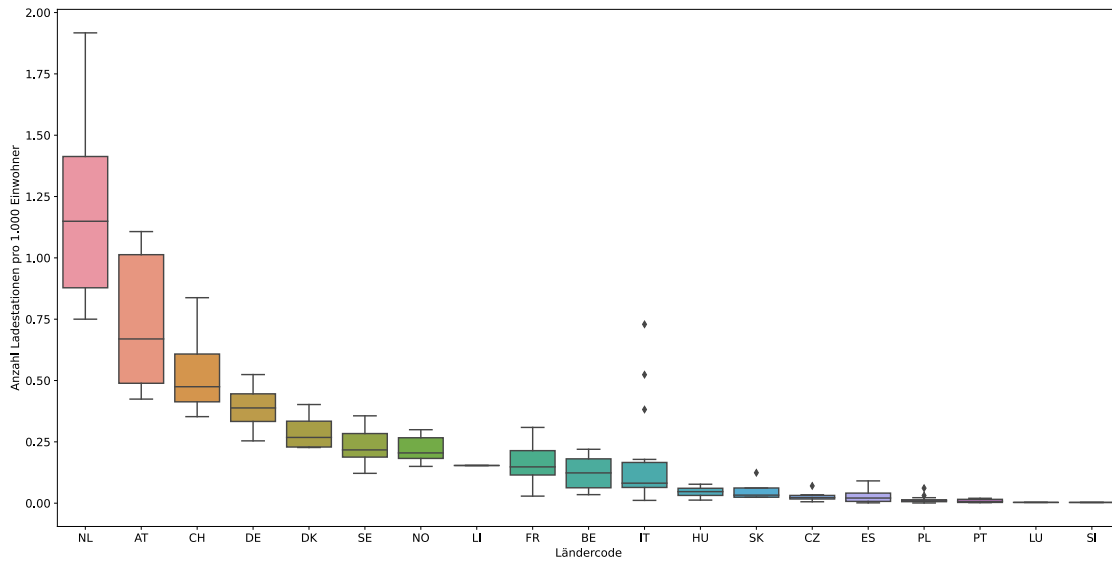


Abbildung 19: Boxplot Anzahl Ladestationen pro 1.000 Einwohner

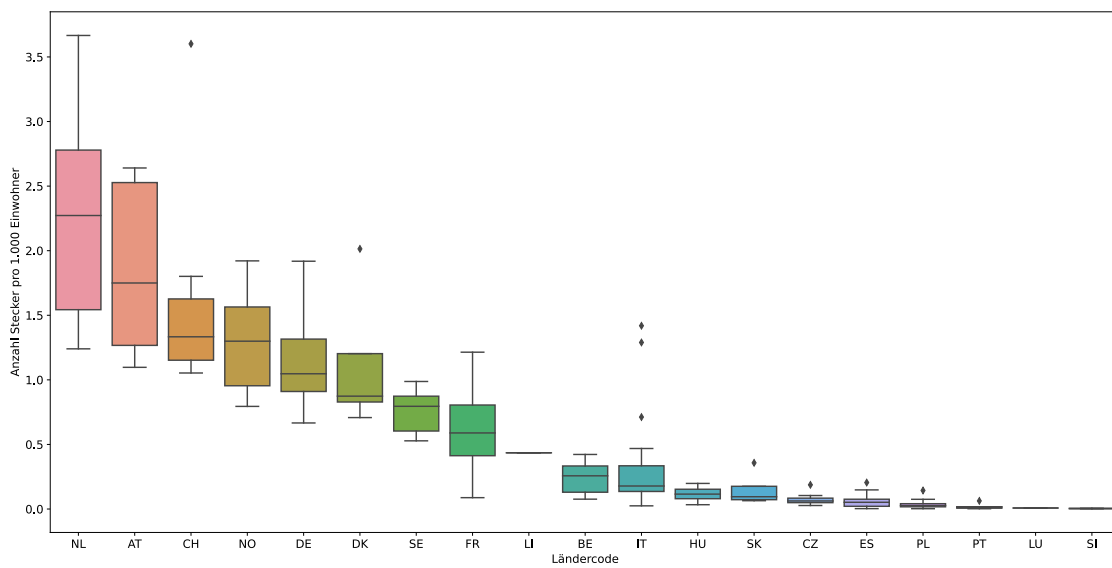


Abbildung 20: Boxplot Anzahl Stecker pro 1.000 Einwohner

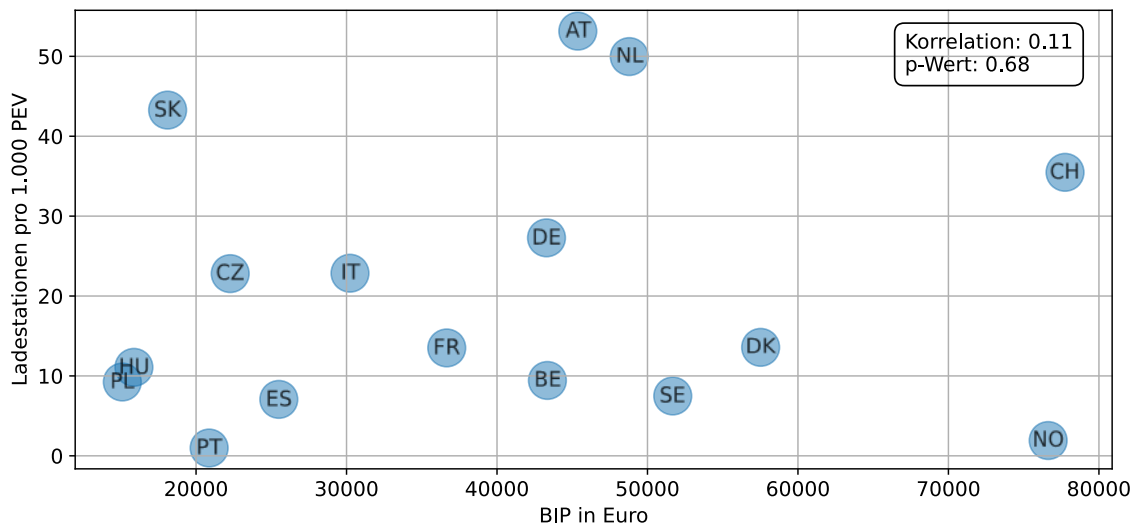


Abbildung 21: Ladestationen pro 1.000 PEV und BIP

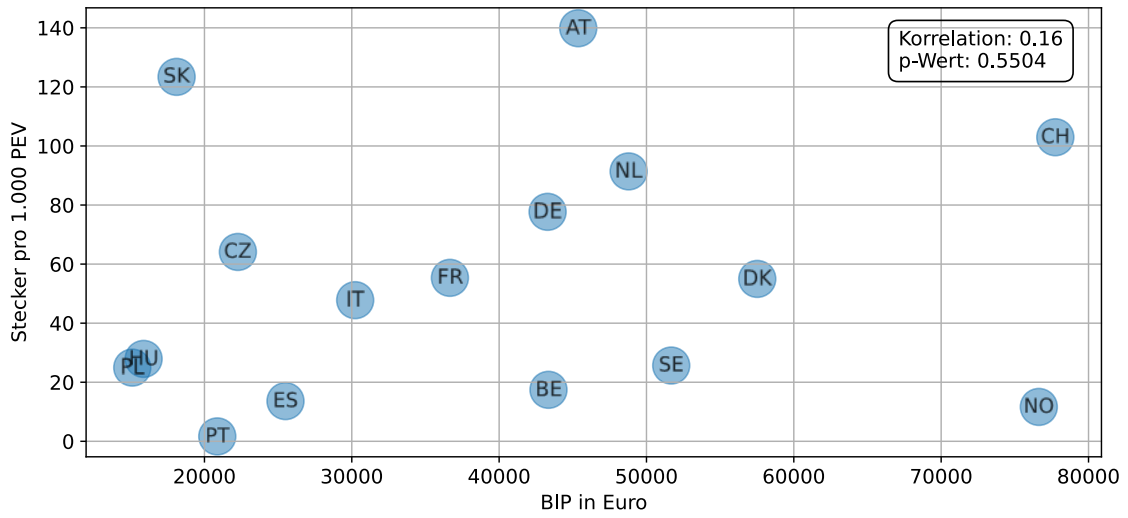


Abbildung 22: Stecker pro 1.000 PEV und BIP

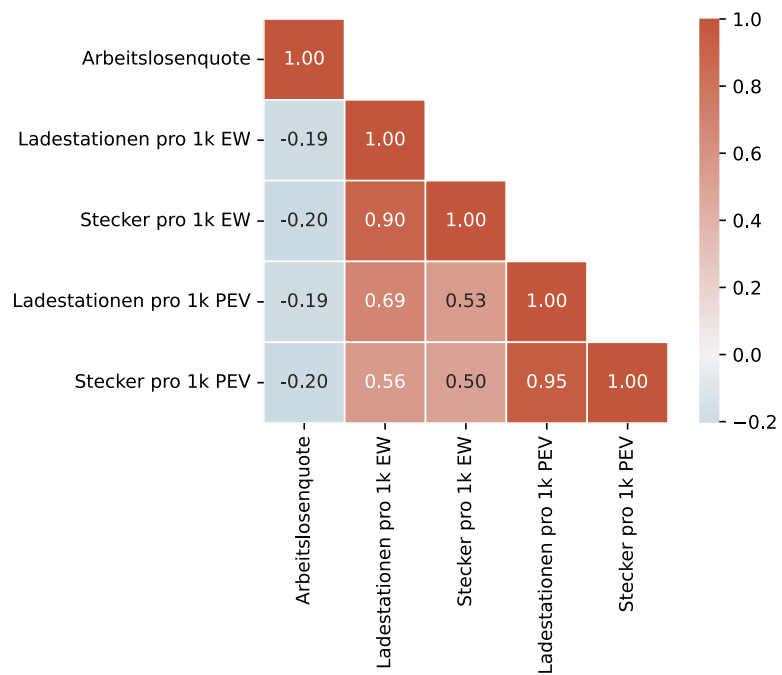


Abbildung 23: Korrelationsanalyse Ladeinfrastruktur und Arbeitslosenquote

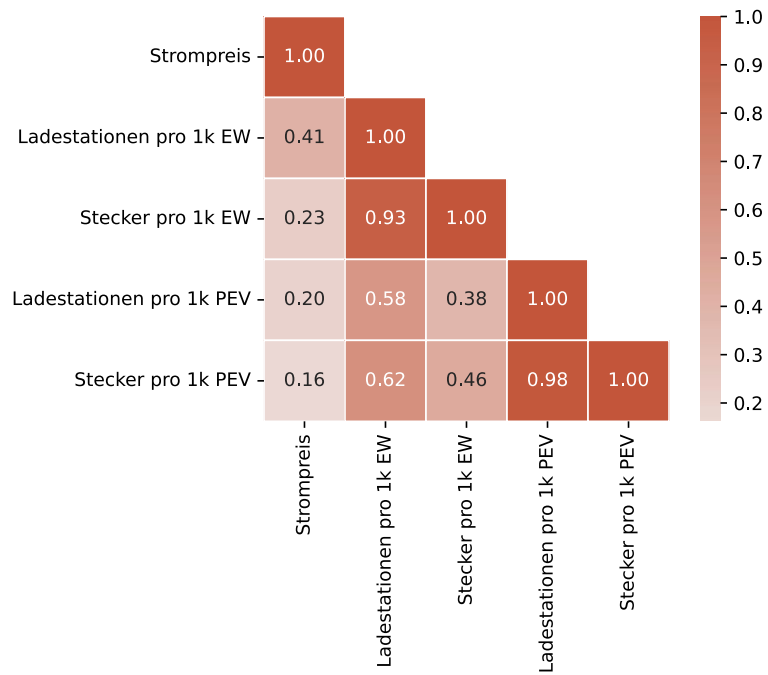


Abbildung 24: Korrelationsanalyse Ladeinfrastruktur und Strompreis

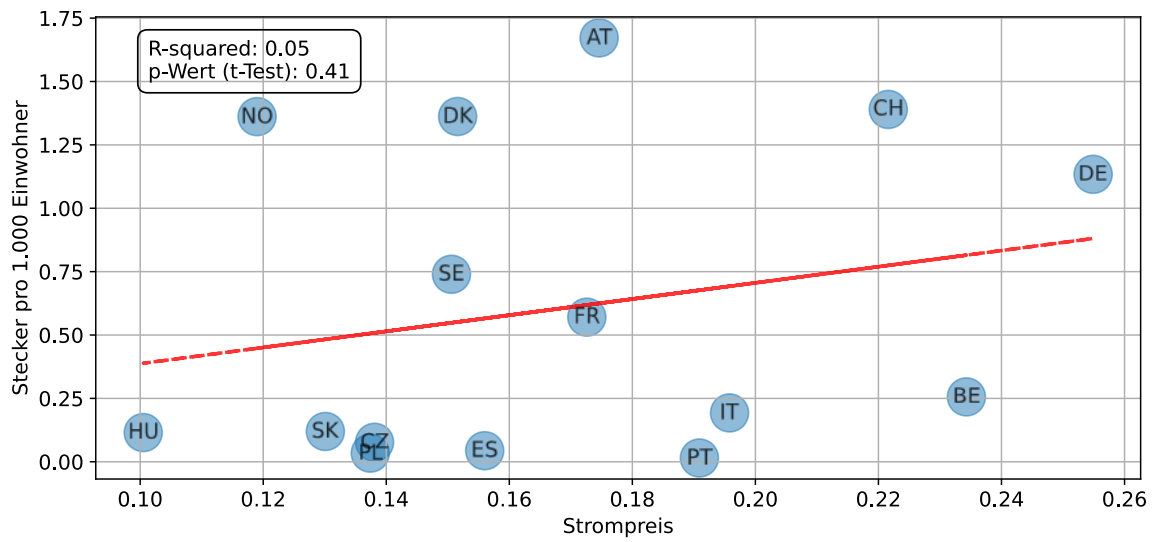


Abbildung 25: Regression Stecker pro 1.000 Einwohner und Strompreis



Abbildung 26: Korrelationsanalyse Ladeinfrastruktur und Anzahl Zugpassagiere