



Hochschule Neu-Ulm
University of Applied Sciences

Bachelorarbeit
im Bachelorstudiengang
Wirtschaftsingenieurwesen (B.Eng.)
an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Neu-Ulm

**Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektroautos am Standort Prittwitzstraße der
Technischen Hochschule Ulm**

Erstkorrektor: Prof. Dr. Stephan Schlüter
Zweitkorrektor: Prof. Dr. Peter Renze

Verfasser/-in: Richard Braun (Matrikel-Nr.: 277038)

Thema erhalten: 17.06.2024
Arbeit abgegeben: 15.10.2024

I. Inhaltsverzeichnis

II. Abbildungsverzeichnis	III
III. Tabellenverzeichnis	IV
0. Abstract	1
1. Einleitung	2
2. Elektroautos	3
2.1 Politische Themen	3
2.2 Klimabilanz von Elektroautos	4
2.3 Gesetzgebung	10
3. Ladeinfrastruktur	11
3.1 Ladesäulen im Vergleich zu Tankstellen	11
3.2 Arten von Ladesäulen	11
3.2.1 Normalladesäulen	12
3.2.2 Schnelladesäulen	13
3.2.3 Induktives Laden	14
3.2.4 Intelligentes Stromnetz	15
4. Ladesäulen am Standort Hochschule	19
5. Stromerzeugung und Verbrauch des Stroms	20
5.1 Stromerzeugung - Photovoltaikanlage	20
5.2 Stromverbrauch der Hochschule	23
5.3 Stromverbrauch beim Laden von Elektroautos	26
5.3.1 Stromverbrauch Elektroautos	27
5.3.2 Stromverbrauch Ladesäulen	28
5.4 Nettoergebnis Stromerzeugung und Verbrauch	29
6. Kosten und Einnahmen	30
6.1 Anschaffungs-, Entstehungs- und Betriebskosten	30
6.2 Einnahmen und Tarifmodelle	31
6.3 Ergebnis der Kosten und Einnahmen	33
7. Fazit	34
8. Literaturverzeichnis	35

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Feinstaubemissionen (PM) in mg/km (2019)	5
Abbildung 2: Stickoxidemissionen über den Gesamtlebenszyklus verschieden angetriebener Fahrzeuge in Milligramm pro Kilometer	6
Abbildung 3: Treibhausgasemissionen der heutigen Beispielfahrzeuge der Kompaktklasse über den Lebensweg in Abhängigkeit von der Lebensfahrleistung	7
Abbildung 4: Treibhausgasemissionen Kompakt-Pkw Baujahr 2020	8
Abbildung 5: Wirkungsgrad von Elektroautos, Brennstoffzellen-Pkws und Benziner	9
Abbildung 6: Gängiges Lastprofil eines Haushalts mit und ohne Elektrofahrzeug	16
Abbildung 7: Lageplan Technische Hochschule Ulm.....	20
<i>Abbildung 8: Stromverbrauch THU 2017</i>	<i>23</i>
Abbildung 9: Durchschnittlicher Stromverbrauch THU über einen Tag 2017	24
Abbildung 10: Stromverbrauch THU 2018.....	25
Abbildung 11: Durchschnittlicher Stromverbrauch THU über einen Tag 2018	26

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ladestationen im Vergleich – Normalladestationen	12
Tabelle 2: Ladezeiten der zehn beliebtesten Elektroautos 2023.....	13
Tabelle 3: Ladestationen im Vergleich - Schnellladestation.....	13
Tabelle 4: Erlös des Stromverkaufs mit Intraday Preisen	18
Tabelle 5: Energiebilanz der Photovoltaikanlage.....	23
Tabelle 6: Stromverbräuche	29
Tabelle 7: Stromverbräuche nach Abzug des erzeugten Stroms der Photovoltaik-Anlage ..	29
Tabelle 8: Kosten der Photovoltaikanlage	30
Tabelle 9: Anschaffungskosten der Ladesäulen	31
Tabelle 10: Strompreise	32
Tabelle 11: Stromverkauf - Einnahmen pro Jahr	33
Tabelle 12: Zusammenfassung der Kosten und Einnahmen	33

0. Abstract

Nachdem am Standort Albert-Einstein-Allee der Technischen Hochschule Ulm ein Energiepark eröffnet worden ist, stellt sich die Frage, ob der Standort Prittwitzstraße mit einer Photovoltaikanlage und Ladesäulen für Elektroautos ausgebaut werden soll. Studien indizieren, dass Elektroautos im Vergleich zu Benzin- oder Dieselaautos über einen gesamten Lebenszyklus umweltfreundlicher sind. Auch Förderungen beim Kauf von elektrisch betriebenen Automobilen geben Anreize, auf Elektroautos umzusteigen. Durch die Euro-7 Norm kann es für Automobilhersteller in der Zukunft schwieriger werden, Autos mit Verbrennungsmotoren auf den Markt zu bringen.

Es gibt verschiedene Ladesäulenarten, welche man an der Hochschule aufbauen könnte. Die Normalladesäule, wie beispielsweise AC-Ladesäulen, sind die am weitesten verbreiteten Ladesäulen in Deutschland. Die Schnellladesäule kann im Vergleich schneller laden, ist aber kostenintensiver. Es gibt auch die Option, induktiv zu laden. Das ist angenehmer für den Nutzer, weil er sein Elektroauto nicht per Hand anschließen muss. Deswegen ist es möglich, autonome Fahrzeuge ohne Eingriff zu laden. Der Aufbau einer solchen Station ist jedoch meist teurer. Sinnvoll für das Stromnetz ist es, die Elektroautos in einem intelligenten Stromnetz einzubinden, wobei die Elektrowagen als Batteriespeicher dienen und die Besitzer der Autos durch die Bereitstellung Geld verdienen können. Dies ist in Deutschland gerade noch nicht ausgereift genug, um es flächendeckend und sinnvoll einsetzen zu können.

Die Hochschule ist der perfekte Standort für Ladesäulen, weil die Studenten und die Beschäftigten an der Hochschule einige Zeit im Gebäude verbringen. Die meisten Leute sind einige Stunden am Standort und deswegen reicht es aus, Normalladesäulen aufzubauen. Im Durchschnitt verbraucht die Hochschule 14.702,97 Kilowatt pro Tag und 614 Kilowatt pro Stunde. Im Jahr sind das hochgerechnet 5.337.178 Kilowatt.

Eine Photovoltaikanlage mit der Größe von zwei Drittel der Dachfläche, also 5.349,47 Quadratmeter, kann im Jahr 1.146.875,26 Kilowattstunden erzeugen. Das Laden der Elektroautos benötigt im Durchschnitt 565.576,5 Kilowatt im Jahr.

Wenn man den erzeugten Strom an den Ladesäulen für den 1,5-fachen Wert des Strompreises der Hochschule verkauft und den Rest in der Hochschule nutzt, kann man im Jahr ohne Steuern 186.125,47 € verdienen beziehungsweise einsparen. Unter Berücksichtigung der Steuern sind es noch 144.492,34 €. Die Anschaffungskosten der Anlagen liegen bei 924.750 € und die Amortisationszeit bei ungefähr 6,4 Jahren. Die Lebenszeit der Photovoltaikanlage beträgt 25 bis 30 Jahre und die der Ladesäulen 10 Jahre.

1. Einleitung

Der neue Standort der Technischen Hochschule Ulm an der Albert-Einstein-Allee ist ein Effizienzhaus Plus Gebäude und wird „Reallabor der Energiewende“ genannt. Der gesamte Bedarf an Energie und Wärme wird im Gebäude selbst hergestellt. Wenn es einen Überschuss gibt, wird dieser in das Netz abgegeben. [1][2] Anfang 2023 wurde ein Batteriespeicher in diesen neuen Energiepark eingebaut. Der Energiepark sollte nach Angaben der Technischen Hochschule Ulm bis Anfang 2024 sukzessive in Betrieb gehen. [3] Am 10.07.2024 war es dann so weit und der Energiepark wurde eröffnet. [4]

Das Land Baden-Württemberg möchte ihren gesamten Gebäudebestand bis 2050 klimaneutral gestalten. [2] Deswegen kommt nach der Fertigstellung und Inbetriebnahme des Effizienzhaus Plus Gebäudes und der Eröffnung des Energieparks die Frage auf, ob das ältere Gebäude an der Prittwitzstraße auch erneuert werden soll beziehungsweise ob auch dort neue Anlagen im Bereich Energie aufgebaut werden sollen. Gerade mit den steigenden Neuzulassungen von Elektroautos stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist, neue Ladestationen für diese am Standort Prittwitzstraße aufzustellen. [5] Damit die elektrisch betriebenen Wagen auch mit klimafreundlichem Strom fahren können, wäre es auch sinnvoll, eine Photovoltaikanlage auf dem Dach des Gebäudes aufzubauen.

Zu Beginn der Arbeit wird auf Elektroautos und auf die Gesetzgebung in Bezug auf Elektroautos eingegangen. Danach werden verschiedene Ladesäulen und Ladearten vorgestellt und beleuchtet. Anschließend wird betrachtet, ob sich der Standort Hochschule für den Aufbau von Ladesäulen eignet und welche Ladesäulen angeschafft werden sollen. Im weiteren Verlauf wird ein möglicher Aufbau einer Photovoltaikanlage auf dem Dach der Technischen Hochschule Ulm angeschaut und danach wird der Stromverbrauch der Hochschule näher beleuchtet. Zuletzt werden die Kosten für die Anschaffung und den Betrieb der Photovoltaikanlage und der Ladesäulen mit den entstehenden Einnahmen durch die Ladesäulen und die Photovoltaikanlage verrechnet.

2. Elektroautos

Elektroautos sind Automobile, welche mit elektrischem Strom betrieben werden. Es gibt vier Arten von Elektroautos. Die Hybridfahrzeuge (HEV – Hybrid Electric Vehicle), bei denen die Batterie durch einen Verbrennungsmotor geladen wird und von außen keine weitere Energie der Batterie hinzugefügt werden kann. Die Plug-in-Hybride (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle), bei denen die Batterie auch über den Verbrennungsmotor geladen werden kann, aber auch durch das Stromnetz mit einem externen Stromanschluss. Hybridfahrzeuge haben somit zwei Motoren. Einen Verbrennungsmotor und einen Elektromotor. Die nächsten beiden Fahrzeuge haben hingegen nur einen elektrischen Motor. Es gibt Brennstoffzellen-Fahrzeuge (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle), bei denen während der Fahrt elektrische Energie aus Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt wird. Zuletzt gibt es noch die rein elektrischen Autos (BEV – Battery Electric Vehicle), bei denen die Batterie größer ist als bei vergleichbaren Hybriden und wie bei den Plug-in Hybriden können diese durch einen externen Stromanschluss geladen werden. [6] In dieser Arbeit handelt es sich um rein elektrische Fahrzeuge, wenn es sich um Elektroautos handelt.

2.1 Politische Themen

Der Umwelt- und Klimawandel ist eines der wichtigsten Probleme für die Deutschen. Anfang April 2024 ist durch den „ARD-DeutschlandTREND“ eine Umfrage über die wichtigsten politischen Probleme in Deutschland geführt worden. Das Ergebnis dieser Umfrage zeigt, dass der Umweltschutz und der Klimawandel Platz fünf der wichtigsten Probleme belegt haben. politischen Probleme in Deutschland geführt worden. Das Ergebnis dieser Umfrage zeigt, dass der Umweltschutz und Klimawandel Platz fünf der wichtigsten Probleme belegt. [7]

Im Frühjahr 2023 ist der Umwelt- und Klimawandel in einer Umfrage der Europäischen Kommission auf Platz drei. Für fast ein Viertel der Deutschen ist der Klimawandel das wichtigste Problem für Deutschland. Im Sommer 2022 ist der Umwelt- und Klimawandel auch auf Platz drei, aber nur für ein Fünftel der Deutschen ist es das wichtigste Problem. Bei beiden Umfragen landen die steigenden Preise und die Inflation auf Platz eins. Einwanderung ist im Frühjahr 2023 auf Platz zwei und Energieversorgung ist im Sommer 2022 auf dem zweiten Platz. [8]

Wie man damit sehen kann, ist der Klimawandel und der Umweltschutz ein wichtiges Thema in Deutschland. Ein anderes wichtiges Thema in Deutschland sind Fahrzeuge und dabei vor

allem Autos. Henning Kagermann, der damalige Leiter der „Nationale[n] Plattform Zukunft der Mobilität“, welche in der vergangenen Legislaturperiode eine Expertenkommission für den Deutschen Bundestag im Bereich Mobilität war, sagte in einem Interview mit der ZEIT ONLINE zum Thema Tempolimit Folgendes: „Deutschland ist Autoland. Es gibt nur wenige Länder, die wie wir Autos in großem Stil produzieren und exportieren. Dafür sind wir weltweit berühmt, und diese Branche spielt eine wichtige Rolle.“ [9][10]

2.2 Klimabilanz von Elektroautos

Aus dem Zusammenschluss der eben genannten Themen Automobile und der Klimawandel ergibt sich das Elektroauto. Das Elektroauto ist auf den ersten Blick ein klimafreundliches Fortbewegungsmittel, welches beim Fahren deutlich weniger direkte Schadstoffe abgibt als ein Auto mit einem Verbrennungsmotor.

Aber auch wenn das Elektroauto keine direkten Emissionen durch das Verbrennen des Treibstoffs herbeiführt, entstehen trotzdem Emissionen in anderen Bereichen.

Beispielsweise kann man in Abbildung 1 sehen, dass in einer Studie aus dem Jahr 2019 die Feinstaubbelastung von Elektroautos bei der Fahrzeugherstellung und Strombereitstellung höher ist, als es bei einem Benziner oder Diesel der Fall ist. [11]

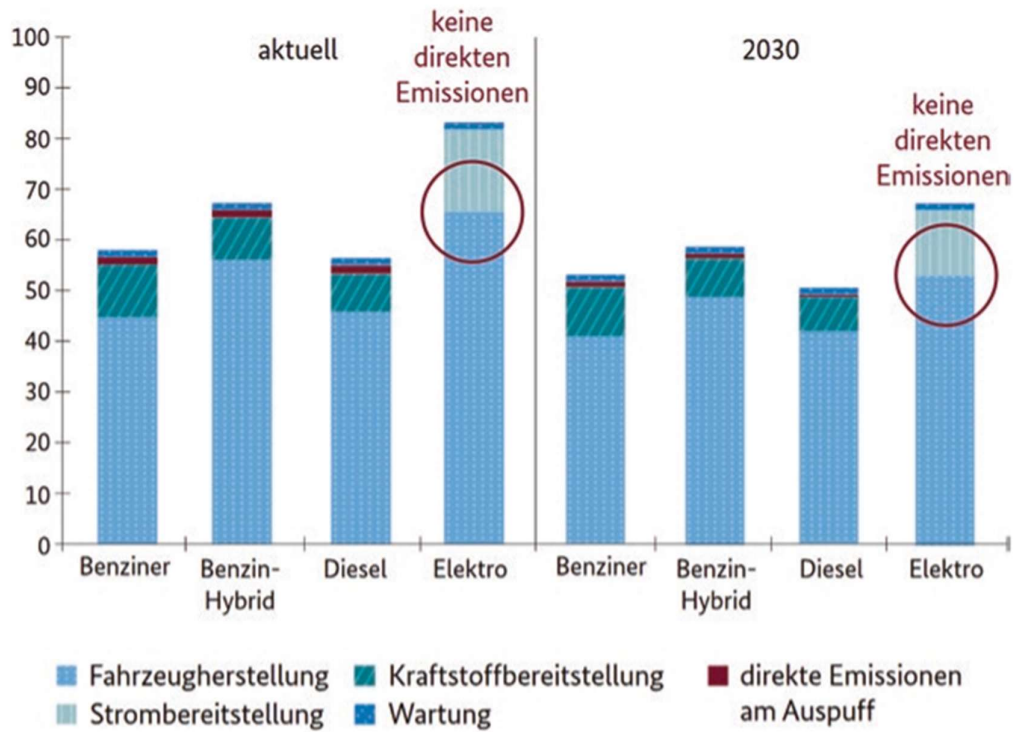


Abbildung 1: Feinstaubemissionen (PM) in mg/km (2019)

Quelle: Zapf, et al. [11]

Bei den Stickoxidemissionen schneidet das Elektroauto aktuell deutlich besser ab als die Konkurrenz, wie in Abbildung 2 zu sehen ist.

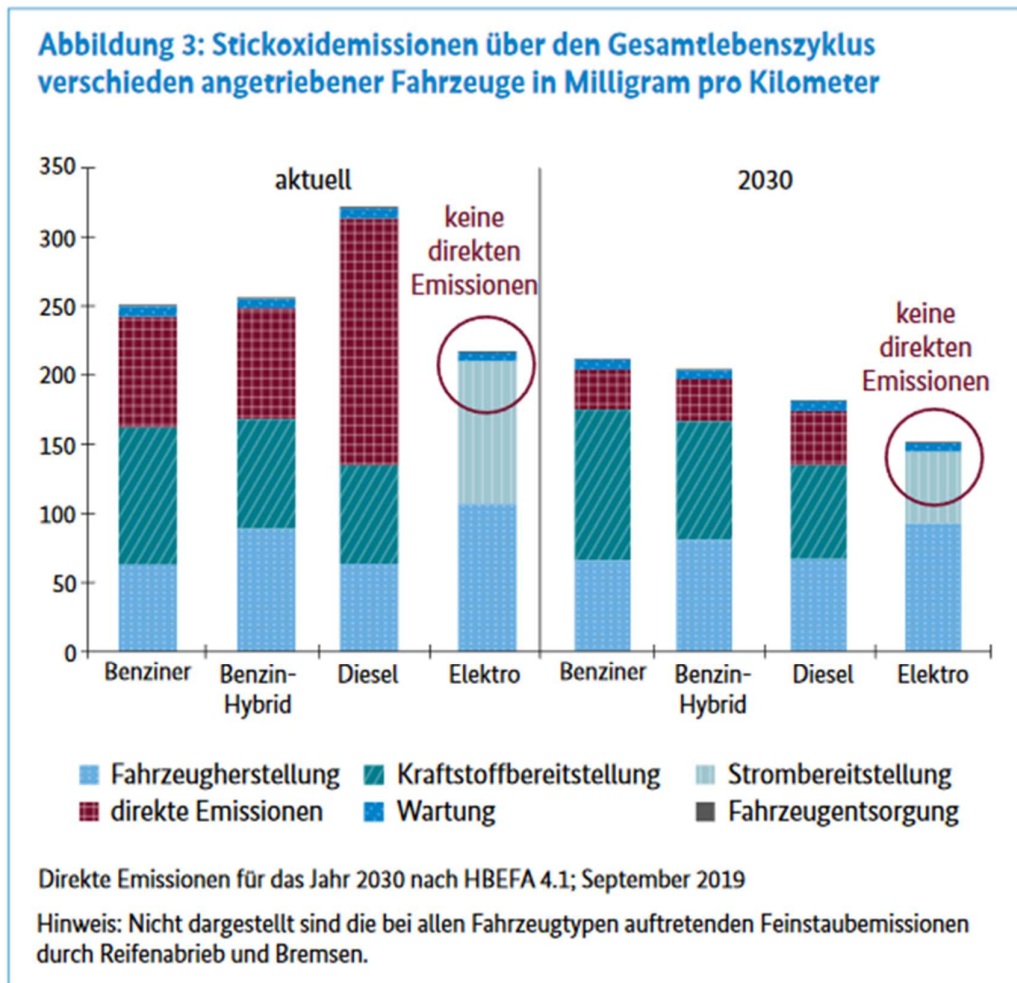


Abbildung 2: Stickoxidemissionen über den Gesamtlebenszyklus verschieden angetriebener Fahrzeuge in Milligramm pro Kilometer

Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz [12]

Die Strombereitstellung ist neben der Fahrzeugherstellung der größte Schadstoffverursacher bei einem Elektroauto. Die Emissionen bei der Strombereitstellung können durch die Verwendung von erneuerbaren Energien gesenkt werden, wodurch das Elektroauto noch besser abschneiden würde.

Agora Verkehrswende stellt mit den Berechnungen des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg die Treibhausgasemissionen für einen Beispielwagen mit verschiedenen Antrieben bildlich dar. [13]

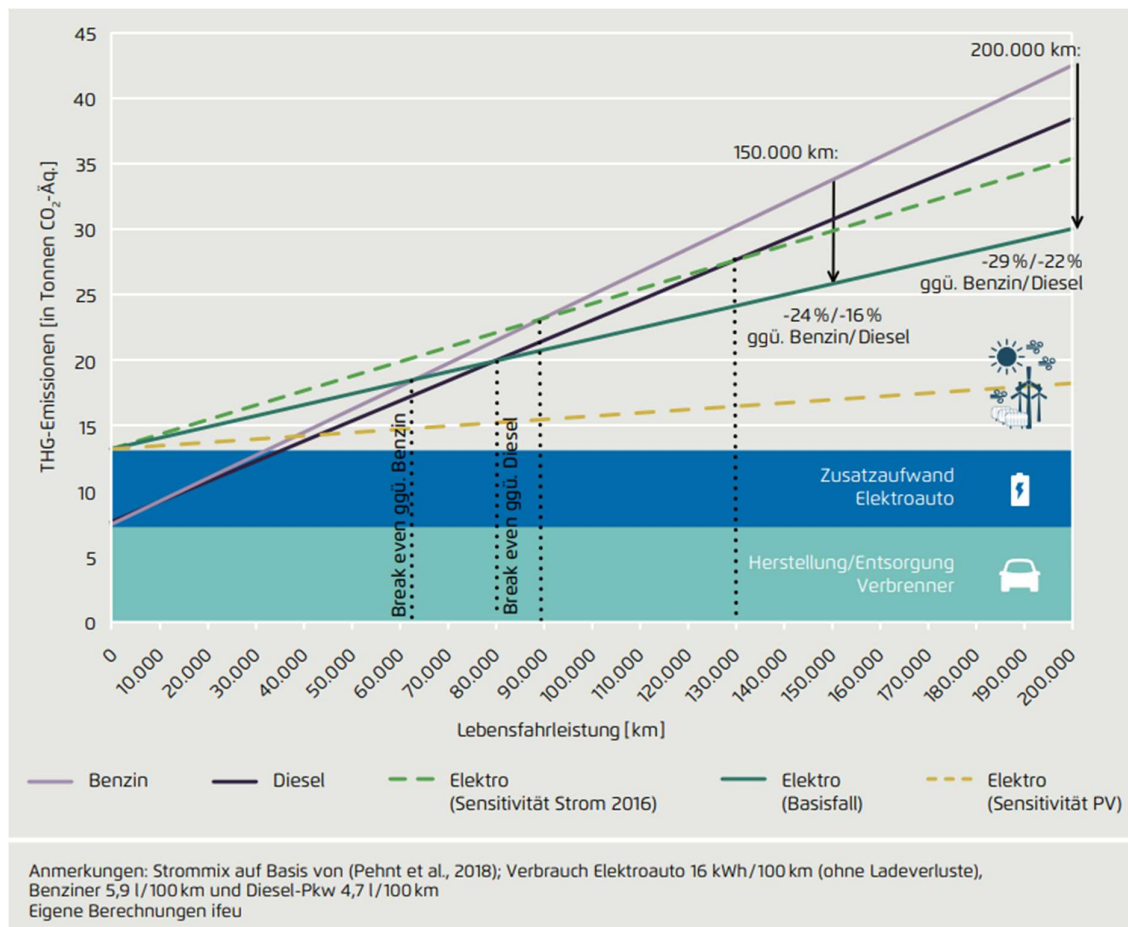


Abbildung 3: Treibhausgasemissionen der heutigen Beispielfahrzeuge der Kompaktklasse über den Lebensweg in Abhängigkeit von der Lebensfahrleistung

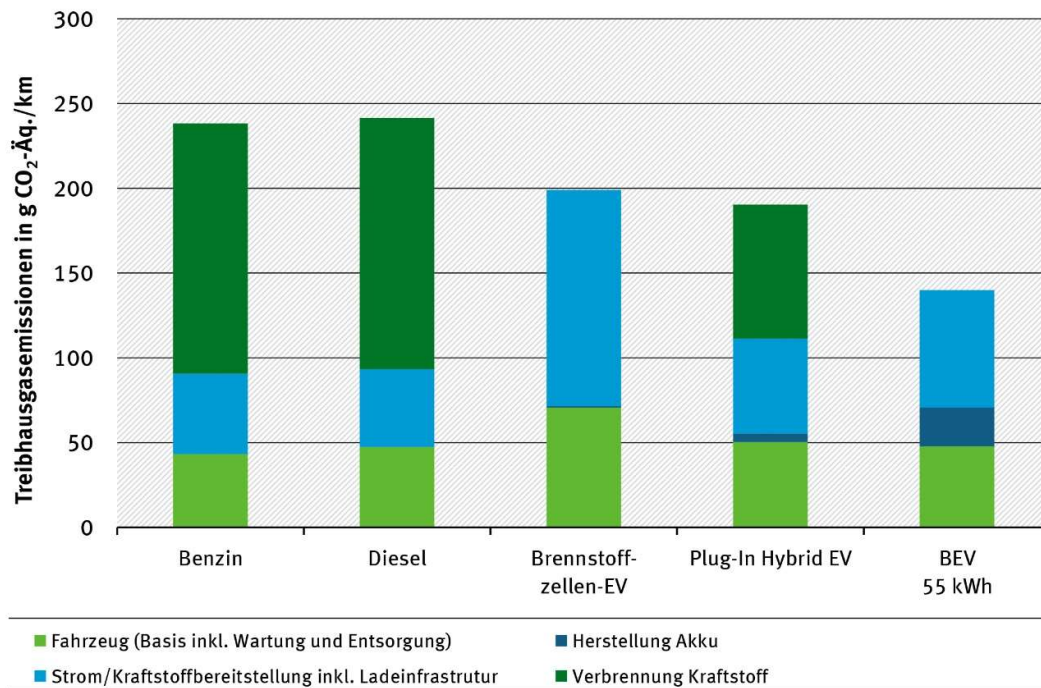
Quelle: Agora Verkehrswende, eigene Berechnungen ifeu [13]

Das Elektroauto startet an einem höheren Wert an Treibhausgasen, stößt aber im nachfolgenden Nutzungszeitraum einen niedrigeren Emissionswert aus. Das Benzinfahrzeug überholt das Elektroauto schon nach 60.000 gefahrenen Kilometern und der Dieselmwagen nach 80.000 Kilometern. Hierbei wird verglichen mit dem Basisfall, welcher eine Prognose für das Jahr 2030 ist. Der Fall Elektro (Sensitivität Strom 2016) ist eine eher pessimistische Annahme mit dem Strommix aus dem Jahr 2016. Wie man in der Abbildung sehen kann, ist der Punkt, an dem sich das Elektroauto mit dem Benzin- und dem Dieselmwagen kreuzt, erst deutlich später. In beiden Fällen ist somit eine Einsparung an Treibhausgasemissionen gegenüber Diesel- und Benzinfahrzeugen möglich. Bei 150.000 Kilometern Fahrleistung sind es im Basisfall 24 % Einsparung im Vergleich zum Benzin- und 16 % im Vergleich zum Dieselmwagen. Bei 200.000 Kilometern sind es schon 29 % bzw. 22 %. Diese Einsparung wird noch deutlich größer, wenn das Elektroauto nur mit erneuerbaren Energien lädt. Im Fall Elektro (Sensitivität PV) lädt das elektrisch betriebene Auto nur mit dem Strom einer

Photovoltaikanlage. Der Ausgleichspunkt entsteht dadurch schon deutlich früher als im Basisfall für das Jahr 2030. Die Einsparung der Treibhausgasemissionen beträgt bei 200.000 Kilometern schon über die Hälfte der entstehenden Emissionen im Vergleich zum Benziner und zum Dieselauto. [13]

Treibhausgasemissionen Kompakt-Pkw Baujahr 2020

im gesamten Lebenszyklus pro Fahrzeugkilometer im konservativen (GreenLate) Szenario



Quelle: Projektergebnisse „Umweltbilanz von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen“; FKZ 3720 57 1010

Abbildung 4: Treibhausgasemissionen Kompakt-Pkw Baujahr 2020

Quelle: Umweltbundesamt, Projektergebnisse „Umweltbilanz von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen“; FKZ 3720 57 1010 [14]

Bei einer konservativen Sicht auf die Verringerung der Treibhausgase bis 2050, dem sogenannten GreenLate-Szenario, stoßen die Elektroautos über ihren gesamten Lebenszyklus weniger Treibhausgase pro gefahrenen Kilometer aus als Benziner und Diesel. [14][15] Jedoch kann man auch hier wieder sehen, dass bei der Fahrzeugherstellung und Strombereitstellung des Elektrofahrzeugs mehr Emissionen entstehen. [14] Deswegen ist es vor allem für Elektroautos wichtig, dass ein möglichst großer Anteil des Stroms mit einem Minimum an Treibhausgasen produziert wird.

Der Anteil an erneuerbaren Energien am Stromverbrauch wächst in Deutschland. Während im Jahr 2000 nur 6 % des Gesamtstromverbrauchs erneuerbar gewesen sind, steigt der Anteil bis 2016 schon auf 31,8 %. 2022 sind es schon 46,2 %. Im Jahr 2023 steigt der Anteil um weitere 5,6 Prozentpunkte auf 51,8 % und somit ist zum ersten Mal mehr als die Hälfte des Gesamtstromverbrauchs mithilfe von erneuerbaren Energien gedeckt worden. [16] Bei der Strombereitstellung für Elektroautos werden deshalb immer weniger Schadstoffe freigesetzt und die Elektrofahrzeuge werden umweltfreundlicher.

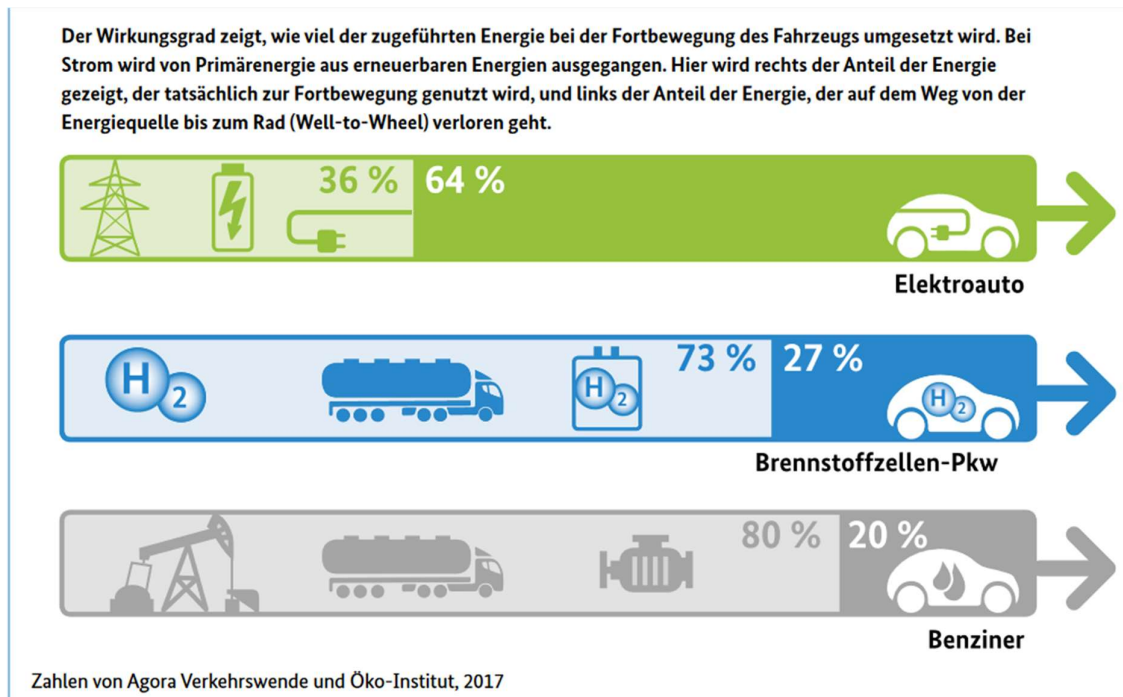


Abbildung 5: Wirkungsgrad von Elektroautos, Brennstoffzellen-Pkws und Benzinern

Quelle: BMU/maristeiner Grafik-Design [17]

Ein weiterer Vorteil der Elektroautos ist deren hoher Wirkungsgrad. Bei einem Elektromotor werden ungefähr 80 % der hinzugefügten Energie umgesetzt. Selbst wenn man Verluste beim Laden und der Herstellung der bereitgestellten Energie hinzufügt, ist man noch immer bei 64 %, wenn man davon ausgeht, dass es sich um erneuerbare Energien handelt. Bei einem Fahrzeug, welches mit Brennstoffzellen und somit mit Wasserstoff tankt, liegt der Wirkungsgrad nur bei 27 %. Bei einem Benzinern sind es nur noch in etwa 20 %. [17] Durch diesen hohen Wirkungsgrad können Elektroautos sparsamer mit der getankten Energie umgehen. Somit verschwendet ein Elektrofahrzeug im Vergleich zu Fahrzeugen, welche Benzin oder Wasserstoff tanken, deutlich weniger Energie und kann deswegen klimafreundlicher sein.

2.3 Gesetzgebung

Es gibt wegen des Klimawandels durch die Gesetzgebung neben dem Umweltschutz noch weitere Anreize für Elektrofahrzeuge.

Ein Grund für eine Privatperson, sich ein Elektroauto zuzulegen, ist die Förderung der Bundesregierung für elektrisch betriebene Fahrzeuge. Diese bekommen besondere Privilegien, wie beispielsweise eigene Parkplätze nur für Elektrofahrzeuge. [18] Die Idee hinter dieser Förderung ist es, Anreize zu schaffen, um mehr Elektrowagen auf die deutschen Straßen zu bekommen und somit den Umstieg auf ein nachhaltigeres und klimafreundlicheres Fortbewegungsmittel einfacher zu gestalten. Dies ist ein wichtiger Punkt, um die Klimaziele der Europäischen Union und der Bundesregierung Deutschlands zu erreichen. [19] Bis zum 17. Dezember 2023 war es außerdem möglich gewesen, einen Umweltbonus bei dem Erwerb von elektrischen Fahrzeugen zu erhalten. Dieser ist seit 2016 für rund 2,1 Millionen Elektrofahrzeuge ausbezahlt worden und hat insgesamt zehn Milliarden Euro ergeben. [20]

Die Europäische Union gibt mit dem „Fit for 55“ Paket Vorgaben für die Automobilhersteller, welche sich positiv für vollelektrisch betriebene Fahrzeuge auswirken. Bis 2030 sollen 55 Prozent aller Netto-Treibhausgasemissionen eingespart werden. Daher auch der Name „Fit for 55“. 15 % aller Emissionen entstehen durch Nutzfahrzeuge. Diese sollen bis 2030 deutlich gesenkt und bis 2035 um 100 % reduziert werden. Fahrzeuge, die ab 2035 zugelassen werden, dürfen somit bei der Fahrt kein CO₂ mehr ausstoßen. [21] Elektroautos haben dies jetzt schon, aber bis 2035 soll sich der Anteil an erneuerbaren Energien für den Strommix auf 100 % erhöhen, um auch dort die Emissionen zu senken. [22]

Ein erster Schritt für die Europäische Union ist die Euro-7 Norm. Diese befasst sich vor allem mit den Abgasen von Neufahrzeugen. Bei Fahrzeugen werden in Zukunft nicht nur wie bisher Partikel mit mindestens 23 Nanometern an Größe gemessen, sondern auch die Partikel bis zu einer Größe von zehn Nanometern. [23] Dies macht es für Verbrennungsmotoren schwieriger, in der Europäischen Union zugelassen zu werden. Da bei Elektrofahrzeugen keine direkten Emissionen entstehen, ergibt dies somit keinen Unterschied für die Zulassung elektrischer Fahrzeuge.

3. Ladeinfrastruktur

Die Ladeinfrastruktur besteht aus einigen unterschiedlichen Arten von Ladesäulen und Ladearten. Diese können je nach Art der Ladesäule verschiedene Vorteile mit sich bringen. Im Folgenden werden einige verschiedene Arten vorgestellt und beleuchtet.

3.1 Ladesäulen im Vergleich zu Tankstellen

Nach den vielen Neuerungen und Anreizen, auf elektrisch betriebene Fahrzeuge umzusteigen, stellt sich die Frage, wie diese geladen werden sollen. Bei Diesel- oder Benzinfahrzeugen geht es einfach und schnell. Es muss nur bis zur nächsten Tankstelle gefahren werden und in kurzer Zeit kann der komplette Tank vollgefüllt werden. In Deutschland gibt es ungefähr 14.500 Tankstellen für Autos, die Benzin oder Diesel tanken, und 66.243 Ladeeinrichtungen für Elektroautos. [24][25] Die Probleme der Ladeeinrichtungen sind jedoch die Wartezeit und die Verfügbarkeit. Um die Verfügbarkeit zu erhöhen, sind bis 2028 ungefähr 8.000 neue Schnellladepunkte an Tankstellen vorgesehen. [26] Während man bei einem Diesel oder Benziner aber nur kurz an einer Tankstelle hält, muss man mit einem elektrisch betriebenen Auto einen freien Ladeplatz finden und dann lädt das Fahrzeug über eine längere Zeit auf.

3.2 Arten von Ladesäulen

Laut der Shell Deutschland GmbH kann das Laden eines Elektrofahrzeugs zwischen 30 Minuten und 14 Stunden dauern. [27] Diese Zeit variiert je nach Fahrzeug und Ladestation.

3.2.1 Normalladesäulen

Normalladesäulen haben eine Ladeleistung von bis zu 23 Kilowatt. Ladesäulen mit Normalladepunkten sind die am weitesten verbreiteten Ladesäulen in Deutschland. Die 66.243 Ladesäulen in Deutschland haben insgesamt 123.449 Ladepunkte, an die ein Auto angeschlossen werden kann. Von diesen 123.449 Ladepunkten sind 98.216 Normalladepunkte. Also fast 80 % aller Ladepunkte in Deutschland sind Normalladepunkte. Unter diesen gibt es große Unterschiede. Eine öffentliche Ladesäule hat beispielsweise mehr Ladeleistung als eine normale Haushaltssteckdose. [25]

Ladestationen im Vergleich			
Art der Ladestation	Ladedauer (in Stunden)	Ladeleistung (in Kilowatt)	Beschreibung
Haushaltssteckdose	~8-14	~2,3	Aufladen mit gesondertem Ladekabel an Wechselstrom-Steckdosen des Hauses
Haushaltssteckdose mit Wallbox	~2-6	~3,6-22	Wandladestationen für drinnen wie draußen, Steckverbindung für Ladekabel
Öffentliche Ladesäule AC	~2-4	~10-22	Wachsendes Netz an öffentlichen Stationen, oft gesondertes Ladekabel und Ladekarte nötig

Tabelle 1: Ladestationen im Vergleich – Normalladestationen

Quelle: Shell Deutschland GmbH [27]

Die Normalladepunkte haben eine Leistung von bis zu 22 Kilowatt. [25] Je mehr Ladeleistung ein Ladepunkt hat, desto schneller lädt die Batterie. Vorausgesetzt, das Stromnetz schafft es, genug Energie an die Ladestation zu senden. Es kommt aber nicht nur auf die Ladeleistung an.

Automodell	Ladezeit AC	Ladezeit Haushaltssteckdose
Tesla Model Y	6 Stunden	28 Stunden
Audi Q4 50 e-tron	6,5 Stunden	50 Stunden
Volkswagen ID.4	6 Stunden	19 Stunden
Fiat 500 e	2,5 Stunden	8 Stunden
Mercedes-Benz EQA	10 Stunden	35 Stunden
Volkswagen ID.3 Pure	5,5 Stunden	16,5 Stunden
Opel Corsa E	5,5 Stunden	17 Stunden
SKODA Enyaq	6 Stunden	19 Stunden
Hyundai KONA	3 Stunden	14,5 Stunden
Cupra Born	5,5 Stunden	27 Stunden

Tabelle 2: Ladezeiten der zehn beliebtesten Elektroautos 2023

Quelle: The Mobility House [28]

Wie man in Tabelle 2 sehen kann, weichen die Ladezeiten von den verschiedenen Fahrzeugen bei gleicher Ladeleistung deutlich ab.

3.2.2 Schnellladesäulen

Ladesäulen mit Schnellladepunkten reduzieren die benötigte Zeit, welche zum Laden der Batterie benötigt wird, indem die Ladeleistung und somit die Kilowattanzahl erhöht wird. Jede Ladesäule mit einer Leistung von mindestens 23 Kilowatt ist eine Schnellladesäule. Auch bei dieser Art von Ladesäulen kann es große Unterschiede in der Ladezeit geben. Die benötigte Zeit für den Ladevorgang ist hierbei niedriger als die Ladezeit bei einer Normalladestelle.

Ladestationen im Vergleich			
Art der Ladestation	Ladedauer (in Stunden)	Ladeleistung (in Kilowatt)	Beschreibung
Öffentliche Ladesäule DC	~0,5-1	~50-150	Schnelles Laden mit Gleichstrom benötigt besondere Fahrzeugtechnik

Tabelle 3: Ladestationen im Vergleich - Schnellladestation

Quelle: Shell Deutschland GmbH [27]

Die neueren der rein elektrischen Fahrzeuge haben die Möglichkeit, das schnelle Laden zu nutzen. Es gibt aber frühere vollelektrische Autos, welche diese Möglichkeit nicht haben. Plug-

in-Hybride können meist das Schnellladen auch nicht nutzen, da ihre Batterie dafür zu klein ist. [29]

Wenn es noch schneller mit dem Laden gehen muss, gibt es noch das High Power Charging, welches ab einer Ladeleistung von 150 Kilowatt beginnt. Ein anderer Name für das High Power Charging ist das Ultraschnellladen. Nach oben gibt es theoretisch keine Grenze, jedoch muss der Ladestecker ab einer bestimmten Ladeleistung gekühlt werden, um nicht zu überhitzen. Es werden inzwischen Stecker mit einer Leistung von bis zu 500 Kilowatt beworben. [30][31] Auch nicht jedes Elektroauto ist mit der Technik ausgestattet, um das Laden mit solchen Ladeleistungen zu ermöglichen. Allein in Deutschland gibt es 6.621 Ladepunkte mit einer Leistung von über 299 Kilowatt. [25]

Der Vorteil der Schnelllader mit ihrer hohen Ladeleistung kann auch zu einem Problem werden. Das Stromnetz muss genug Energie zur Verfügung haben, um Ladesäulen mit solch einer Ladeleistung bedienen zu können. Nicht jede Infrastruktur kann diesen benötigten Anforderungen standhalten. Somit kann es sein, dass zuerst die Strominfrastruktur erweitert werden muss, bevor schnell geladen werden kann. Eine Möglichkeit, um dieses Problem zu lösen, sind Stromspeicher, welche die Energie aufnehmen und während des Ladevorgangs wieder abgeben, wodurch das Stromnetz weniger belastet wird. [32]

3.2.3 Induktives Laden

Um das Laden angenehmer für den Ladenden zu machen, ist das induktive Laden ein wichtiger Fortschritt. Bei dem induktiven Laden wird das Auto nicht über ein Kabel an eine Ladesäule angeschlossen. Der Elektrowagenbesitzer muss also kein Ladekabel mit sich führen, um das Auto induktiv zu laden. Außerdem ist es so möglich, das Fahrzeug autonom zu laden, da das Auto nur an die Ladestation gefahren werden muss, um den Ladevorgang zu starten. [33] Statt wie beim Normal- oder Schnellladen wäre es auch möglich, während der Fahrt zu laden, weil das induktive Laden über elektromagnetische Felder funktioniert. Über diese Felder wird elektrische Energie in das System eingeführt. [34]

Beim induktiven Laden kann zwischen drei Hauptmethoden unterschieden werden. Die erste Option ist das statische Laden, bei dem es wie bei den Ladesäulen bestimmte Orte gibt, an denen das Auto stehen muss, um zu laden. Das statische Laden ist somit perfekt für Parkplätze. Die zweite Methode ist ein quasi-dynamisches Laden, bei dem die Ladefelder an Wartepunkten in der Straße eingelassen sind. Diese Wartepunkte können beispielsweise bei Bushaltestellen oder bei Ampeln sein. Es sind somit Punkte, bei denen das Auto

möglicherweise für eine Zeit halten muss, bevor es weiterfahren darf. Die dritte Methode ist das dynamische Laden, bei dem die Ladefläche die ganze Straße sein kann. Die benötigten Kabel für das Laden können in die Straßen miteingebaut werden, wodurch auch während der Fahrt die Batterie geladen werden kann. [35]

Auch wenn dies einige Vorteile mit sich bringt, gibt es auch Nachteile. Das induktive Laden funktioniert bisher noch meist langsamer als das Laden mit einem Kabel. [36] Gerade beim statischen Laden kann es also sinnvoll sein, lieber an der Ladesäule zu laden. Beim dynamischen Laden hingegen ist dies kein Problem, da der Autobesitzer keine zusätzliche Zeit benötigt, um das Auto zu laden, wodurch die Wartezeit an Ladesäulen oder die benötigte Anzahl an Ladesäulen verringert werden kann. Jedoch ist der Aufbau des dynamischen Ladens teurer, als es bei dem statischen Laden oder bei den Ladesäulen ist. Aus diesem Grund ist es ökonomisch sinnvoller, das statische Laden oder die Ladestation zu bevorzugen. [35]

3.2.4 Intelligentes Stromnetz

Das intelligente Stromnetz versucht Lastspitzen zu glätten. Hierbei kann es sein, dass bei einem Elektroauto vor dem Start des Ladevorgangs zuerst gewartet wird, bis die Strombelastung im Netz gesunken ist. Die Idee dahinter ist es, möglichst nur Energien aus erneuerbaren Quellen zu nutzen. Wenn gerade nicht genug Strom aus diesen Quellen erzeugt wird, dann lädt das Auto erst mal nicht oder weniger. Dadurch werden die Emissionen reduziert. Gerade bei Elektrofahrzeugen, die über einen längeren Zeitraum wie beispielsweise über die Nacht laden, kann es sehr sinnvoll sein, mit dem Aufladen etwas zu warten, um Emissionen zu reduzieren. [37] Der Wagen sollte trotzdem bis zum Ende des Ladezeitraumes vollgeladen sein und es wird dadurch klimafreundlicher geladen. Es ist für den Systembetreiber auch möglich, weitere Daten wie Wetterdaten zu analysieren, wodurch die Qualität von Vorhersagen und die Flexibilität im Stromnetz gesteigert werden kann. [38]

Ein weiterer Punkt, um diese Flexibilität zu steigern, ist das bidirektionale Laden oder auch das V2G (Vehicle to Grid). Beim Vehicle to Grid wird das Fahrzeug als ein Speicher für die Energie benutzt und kann diese dann wieder an das Stromnetz abgeben. In der Abbildung 6 ist ein gängiges Lastprofil für einen Haushalt aufgezeigt, bei dem das Elektrofahrzeug normal geladen wird. Wenn dies jedoch jeder Haushalt genau so macht, dann würde das Stromnetz nicht genug Energie für alle Fahrzeuge bereitstellen können. Gerade bei solchen Fällen oder auch anderen Zeitpunkten, an denen mehr Strom benötigt wird, kann es Sinn ergeben, die

Batterien von Elektroautos mit in das Stromnetz einzubinden, um auch die Spitzenlasten ohne Probleme bewältigen zu können. [39][40]

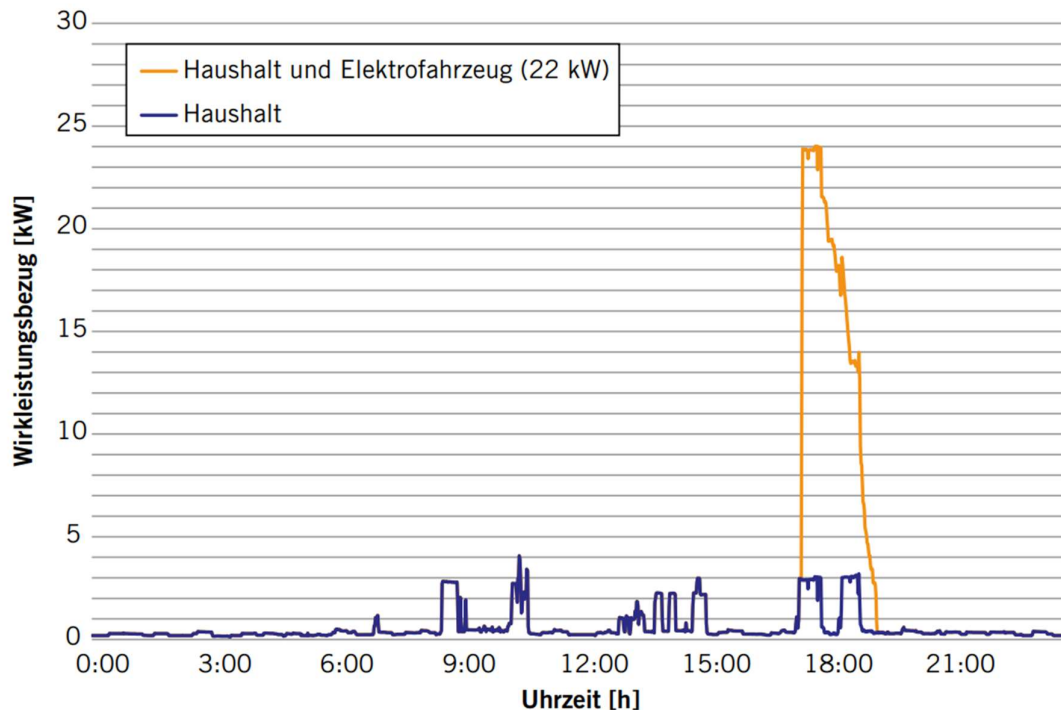


BILD 1 Gängiges Lastprofil eines Haushalts mit und ohne Elektrofahrzeug (© Netze BW)

Abbildung 6: Gängiges Lastprofil eines Haushalts mit und ohne Elektrofahrzeug

Quelle: Wunsch [39]

Das bidirektionale Laden hat nicht nur Vorteile. Der neue Anschluss von vielen Elektrofahrzeugen kann zu einer zusätzlichen Belastung des Stromnetzes führen. Einige Teile des Stromnetzes und der Stromversorgungsunternehmen müssen möglicherweise deswegen vorher erneuert oder verbessert werden, und die Wartungskosten würden ansteigen. [40] Außerdem sind viele der Elektrofahrzeuge gar nicht für das bidirektionale Laden ausgelegt und können diese Technik somit nicht benutzen. Bei Nissan oder anderen Fahrzeugherstellern aus Asien ist dies oftmals kein Problem, da vor allem aufgrund des Erdbebenrisikos in Japan die Fahrzeuge das bidirektionale Laden eingebaut haben, um im Fall eines Erdbebens als Notstromaggregat fungieren zu können. [41] Auch Ladesäulen und Ladestecker müssen vorher umgerüstet oder erneuert werden, bevor sie das bidirektionale Laden nutzen können. Moderne Wechselstromladesäulen können schon heutzutage bidirektionales Laden nutzen. [42] Ein weiteres Problem besteht in der Lebensdauer der Batterie. Da die Batterie einen großen Teil des Autopreises ausmacht, sind viele

Elektroautobesitzer hierbei sehr vorsichtig. Eine Batterie hat zwei Hauptkriterien, welche die Lebenszeit bestimmen. Der erste Punkt ist die Kalenderzeit. Diese ist die verbleibende Lebensdauer ohne jegliche Berücksichtigung von Ladungen. Der zweite Punkt ist die Zykluslebensdauer, bei der es eine bestimmte Anzahl an Lade- und Entladevorgängen gibt, bevor die Batterie ihre nutzbare Kapazität abbaut. [43][44] Dies ist beispielsweise auch bei Handyakkus gut zu sehen. Wegen dieses Verschleißes an der Zykluslebensdauer der Batterie sind viele Leute skeptisch. Gerade auch da es noch einige Unsicherheiten im Bereich des bidirektionalen Ladens gibt und die Garantien für die Batterien meist nur für das unidirektionale Laden ausgelegt sind. [42]

In Turin hat man 2021 schon das bidirektionale Laden mit Elektroautos getestet. Dort hat man sich gegen die Befürchtungen des Batterieverschleißes ausgesprochen. Es heißt dort, dass in Batterien auch chemische Prozesse stattfinden, welche die Leistung beeinträchtigen können, wenn die Batterie für längere Zeit nicht benutzt wird. [42] Inzwischen gibt es auch in Deutschland Handlungsempfehlungen zum bidirektionalen Laden. [45]

Der Elektroautobesitzer kann mit dem bidirektionalen Laden auch Vorteile für sich erzielen. Es ist für den Wagenhalter eine Option, das Fahrzeug als eine Art Notstromaggregat zu verwenden, wie es in Teilen Japans schon der Fall ist. Es ist auch möglich, mit dem Verkauf des Stroms der Batterie Geld zu verdienen. In der Tabelle wurde der mögliche Erlös für den Verkauf durchgerechnet. Benutzt wurden hierfür Intraday-Preise. Diese aktualisieren sich jede Viertelstunde an den Strombörsen und werden zum Planen, Kaufen und Verkaufen des Stroms benutzt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass keine zusätzlichen Kosten durch Abgaben, Steuern oder Gebühren entstehen. [46][47] Bei einer Transaktionsgebühr von 0,3 € pro Megawattstunde könnten die Ergebnisse um 96 bis 99 % reduziert werden. [46]

Bezeichnung	Arbeitsplatz	Wohnanlage ohne Wochenende	Wohnanlage mit Wochenende
Parkdauer	09:00 - 17:00	18:00 - 08:00	18:00 - 08:00 + 15:00 - 12:00 (Wochenende)
Preis pro Periode	0,14 €	0,18 €	0,20 €
Perioden pro Woche	160	224	448
Einnahmen pro Woche	22,40 €	40,32 €	89,60 €
Perioden im Jahr	8320	11648	23296
Einnahmen im Jahr	1.164,80 €	2.096,64 €	4.659,20 €

Tabelle 4: Erlös des Stromverkaufs mit Intraday Preisen

Quelle: Teske, et al. [46]

Es bestehen somit finanzielle Anreize für den Verkauf des Stroms. Allerdings wird derzeit in Deutschland eine Doppelbelastung befürchtet. Da es bisher noch nicht eindeutig geregelt ist, wie der Stromverkauf über das bidirektionale Laden zu sehen ist, kann es zu doppelter Besteuerung des Stroms kommen. [48] Gerade auch wenn man das Elektroauto als eine Art Aggregator für das Stromnetz bereitstellt, um die Flexibilität und Speicherkapazität des Netzes zu erhöhen, und dafür anteilig bezahlt wird, ist man in Deutschland steuerrechtlich ein Kleinunternehmer. [49]

Ein Beispiel für ein gelungenes bidirektionales Projekt zeigt Tesla in Kalifornien. Hier hat sich Tesla mit dem Unternehmen Pacific Gas & Electric zusammengesgeschlossen, um ein virtuelles Kraftwerk aufzubauen. [50] Es geht hierbei zwar hauptsächlich um Photovoltaikanlagen an Häusern, aber es zeigt trotzdem, wie es auch mit den Elektroautos funktionieren könnte. Der Besitzer kann entscheiden, wie viel Strom er abgeben möchte und ob er diesen abgeben will. Mark, einer der Teilnehmer dieses Systems, hat im Jahr 2022 ungefähr 300 Kilowattstunden an das Netz abgegeben und 574,77 Dollar dafür bekommen. [51] Im Jahr 2023 wurde das System etwas weniger benutzt und Mark hat nur 352,94 Dollar erwirtschaftet. [52] Bei einem Durchschnitt von 12,49 Cent pro Kilowattstunde im Jahr 2022 und 12,72 Cent im Jahr 2023 kann sich hierbei der Verkauf für zwei Dollar für jede Kilowattstunde deutlich lohnen. [53][54]

4. Ladesäulen am Standort Hochschule

Auch wenn die Standortwahl in diesem Fall schon für den Standort Prittwitzstraße der Technischen Hochschule Ulm vorgeschrieben ist, gibt es einige Gründe, warum eine Hochschule ein geeigneter Standort für Ladesäulen ist. Der erste Punkt ist, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, die deutlich bessere Klimabilanz der Elektrofahrzeuge. Mit Ladestationen an der Hochschule wird für die Besucher ein Anreiz geschaffen, mit dem Elektroauto zur Hochschule zu kommen. Außerdem kann es je nach Modell finanzielle Vorteile bringen. Diese sind möglich für die Schule selbst, wenn deren eigener Strom, welcher beispielsweise durch eine Photovoltaikanlage erzeugt wird, an die Studenten oder andere Personen verkauft wird. Aber auch für die Studenten und Beschäftigten, welche den Strom am Standort möglicherweise kostengünstiger bekommen als bei anderen Ladesäulen.

Ein Problem hierbei ist, dass die meisten Leute zu der gleichen Zeit an den Standort kommen, da die Vorlesungen zur gleichen Zeit starten. Eine Idee, dieses Problem zu beheben, ist es, Algorithmen zu benutzen, welche Vorhersagen treffen und somit entscheiden, wie und wann jedes Auto geladen wird. Dafür können Daten wie Wetterberichte, der Grundlaststromverbrauch, die Leistung der Photovoltaikanlage und Informationen über die normale Anfahrtszeit und Abfahrtszeit von Elektroautos genutzt werden. [55]

Da die meisten Personen für längere Zeit am Gebäude sind, müssen die Fahrzeuge nicht wirklich schnell geladen werden. Es sollte also eine Normalladesäule mit bis zu 22 Kilowatt Ladeleistung ausreichen. Ladesäulen mit 15 bis 22 Kilowatt Ladeleistung sind in Deutschland am weitesten verbreitet. [25] Um für möglicherweise kürzere Besuche vorbereitet zu sein, könnten Ladesäulen mit bis zu 50 Kilowatt Sinn ergeben. Der Kauf von Ladesäulen, welche bidirektionales Laden unterstützen, ist zurzeit noch nicht notwendig, weil die Umsetzung und die rechtlichen Voraussetzungen dieser Technologie in Deutschland noch nicht geregelt sind, sondern es bisher nur eine Handlungsempfehlung gibt. [45]

5. Stromerzeugung und Verbrauch des Stroms

Nach der Auswahl der Ladesäulen und des Standorts stellt sich die Frage, wie viel Strom für das Laden von Elektroautos benötigt wird, wie viel Strom das Gebäude benötigt und wie groß der Anteil ist, welcher durch eine Photovoltaikanlage gedeckt wird.

5.1 Stromerzeugung - Photovoltaikanlage

Um eine ungefähre Größe und Leistung für eine mögliche Photovoltaikanlage am Standort Prittwitzstraße zu bestimmen, wird diese mit der schon fertiggestellten Anlage des Neubaus an der Albert-Einstein-Allee verglichen.

Die Anlage auf dem Neubau hat eine Größe von rund 2.000 Quadratmetern. [1] Nach einer Google Earth Messung hat das Gebäude eine Dachfläche von ungefähr 3.000 Quadratmetern. [56] Die Anlage beansprucht somit 66 % der Dachfläche.

Die Google Earth Messung des Standorts Prittwitzstraße, bei der die Dachfläche einiger Gebäude abgemessen wurde, ergab eine Dachfläche von ungefähr 8.000 Quadratmetern. [56] Die abgemessenen Gebäude sind die Laboratorien (C), der Seminarbau Nord (A), der Seminarbau Süd (B), die Verwaltung (E), die Mensa (G), das Kernlabor (H), die Aula und weitere Laboratorien (L).

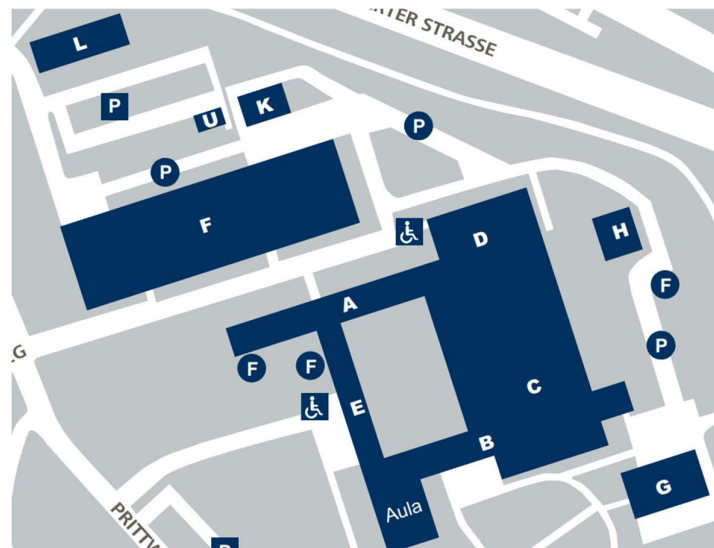


Abbildung 7: Lageplan Technische Hochschule Ulm

Quelle: Technische Hochschule Ulm [57]

Bei den Gebäuden CAD-Konstruktion (D) und Laboratorien, Rechenzentrum (F) ist die Dachfläche nicht mitgezählt worden, da diese kein flaches Dach besitzen und somit nicht mit Sicherheit eine Photovoltaikanlage darauf aufgebaut werden kann. Bei dem Kernlabor (H) wurden nur zwei Drittel der Dachfläche aus demselben Grund gezählt.

Wenn nun auch davon ausgegangen wird, dass 66 % der Dachfläche für die Photovoltaikanlage verwendet werden können, dann ergibt das eine Fläche von 5.349,47 Quadratmetern. Bei derselben Modulgröße wie auf dem Neubau wären dies 1.555 Module, während der Neubau selbst nur 601 Module besitzt. [58]

Um die aus den 1.555 Modulen mögliche Photovoltaik-Energie zu bestimmen, wird wieder mit der Anlage auf dem Neubau verglichen. Hierbei wird die Energiebilanz der PV-Anlage (Photovoltaik-Anlage) genutzt und mit neueren Daten bestückt. [59] Beispielsweise hat sich die Globalstrahlung in den letzten Jahren verändert und ist inzwischen höher geworden, weswegen dort ein aktualisierter Wert benutzt wird. [60]

Für die meisten anderen Werte werden dieselben Werte wie beim Neubau benutzt, da es sich um ein deutlich älteres Gebäude handelt und es somit mehr Verschwendungen haben wird, aber sich auch die Technik für Photovoltaikanlagen in den letzten Jahren weiterentwickeln konnte und die Verschwendungen damit ausgleichen könnte. [61]

Name	Rechnungsweg	Rechnungswert	Wert	Einheit
Globalstrahlung horizontal	Wetterdienst [60]		1.230,00	kWh/m ²
Abweichung vom Standardspektrum	-0,50 %	-6,15	1.223,85	kWh/m ²
Bodenreflexion (Albedo)	0,24 %	2,93724	1.226,79	kWh/m ²
Ausrichtung und Neigung der Modulebene	-1,28 %	-15,70287667	1.211,08	kWh/m ²
Modulunabhängige Abschattung	-0,51 %	-6,176530253	1.204,91	kWh/m ²
Reflexion an Moduloberfläche	-0,84 %	-10,1212258	1.194,79	kWh/m ²
Globalstrahlung auf Modul			1.194,79	kWh/m²
Fläche PV-Anlage P	2/3 Google Earth Messung [56]	5.349,47		m ²
Globalstrahlung PV-Anlage P			6.391.471,13	kWh
Verschmutzung	-1,50 %	-95.872,06694	6.295.599,06	kWh
STC-Konversion (Modul-Nennwirkungsgrad 20,32 %)	-79,68 %	-	1.279.265,73	kWh
PV Nennenergie		5.016.333,333	1.279.265,73	kWh
Modulspezifische Teilabschattung	-2,37 %	-30.318,59779	1.248.947,13	kWh
Schwachlichtverhalten	-1,50 %	-18.734,20698	1.230.212,92	kWh
Abweichung von der Nenn-Modultemperatur	-0,87 %	-10.702,85245	1.219.510,07	kWh
Dioden	-0,11 %	-1.341,46108	1.218.168,61	kWh
Mismatch (Herstellerangaben)	-1 %	-12.181,68611	1.205.986,93	kWh
Mismatch (Verschaltung/Abschattung)	-0,66 %	-7959,513706	1.198.027,41	kWh
PV-Energie (DC) ohne Wechselrichter-Abregelung			1.198.027,41	kWh
Unterschreitung der DC-Startleistung	-0,02 %	-239,6054823	1.197.787,81	kWh
Abregelung wegen MPP-Spannungsbereich	-0,02 %	-239,5575612	1.197.548,25	kWh
Abregelung wegen max. AC-Leistung/cos phi	-0,08 %	-958,0385987	1.196.590,21	kWh
MPP Anpassung	-0,08 %	-957,2721678	1.195.632,94	kWh
PV-Energie (DC)/Energie am WR-Eingang			1.195.632,94	kWh
Abweichung der Eingangs- von der Nennspannung	-0,11 %	-1.315,196231	1.194.317,74	kWh
DC/AC-Wandlung	-2,51 %	-29.977,37531	1.164.340,37	kWh
Kabelverluste Gesamt	-1,50 %	-17.465,10549	1.146.875,26	kWh

Netzeinspeisung/PV-Energie (AC) abzgl. Standby-
Verbrauch

1.146.875,26 kWh

Tabelle 5: Energiebilanz der Photovoltaikanlage

Quelle: BW Pluss Energietechnik GmbH [59]

Es bleiben also nach diversen Verlusten in etwa 1.150.000 Kilowattstunden oder 1.150 Megawattstunden übrig. Um diesen erzeugten Strom der Photovoltaikanlage zu 100 % nutzen zu können, wird möglicherweise ein Batteriespeicher benötigt.

5.2 Stromverbrauch der Hochschule

Für den Stromverbrauch der Hochschule hat Prof. Dr. Stephan Schlüter Daten des Stromverbrauchs der Technischen Hochschule Ulm (THU) von 2017 und von 2018 bereitgestellt. Im Jahr 2017 wurden 5.337.178 Kilowatt verbraucht, welche sich wie folgt über das Jahr aufgeteilt haben:

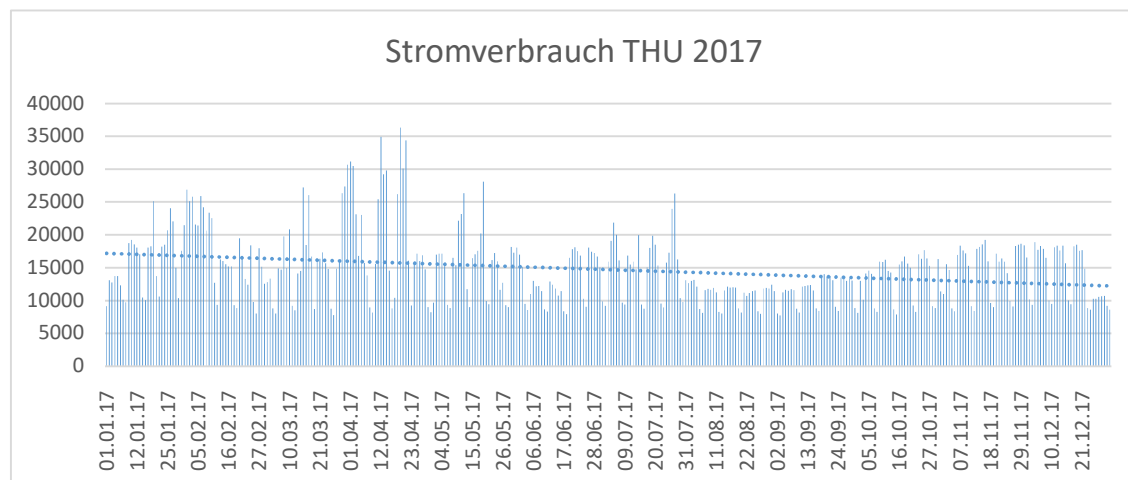


Abbildung 8: Stromverbrauch THU 2017

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten 2017 der Technischen Hochschule Ulm [62]

Linke Achse: Stromverbrauch in Kilowatt; Untere Achse: Datum

In der Abbildung des Stromverbrauchs über ein Jahr kann man an der Trendlinie sehen, dass sich der Stromverbrauch über das Jahr hinweg verringert hat. Im Durchschnitt ist der Verbrauch bei 14.702,97 Kilowatt pro Tag und 614 Kilowatt pro Stunde gewesen. Nicht jede

Stunde eines Tages hat hierbei den gleichen Verbrauch, da dieser sich über den Tag hinweg verändert.

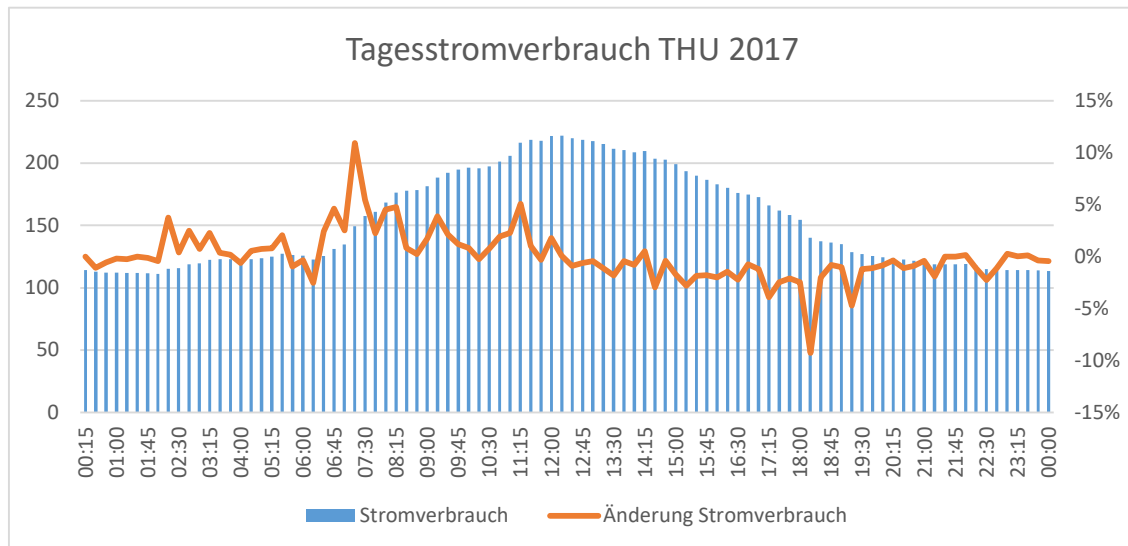


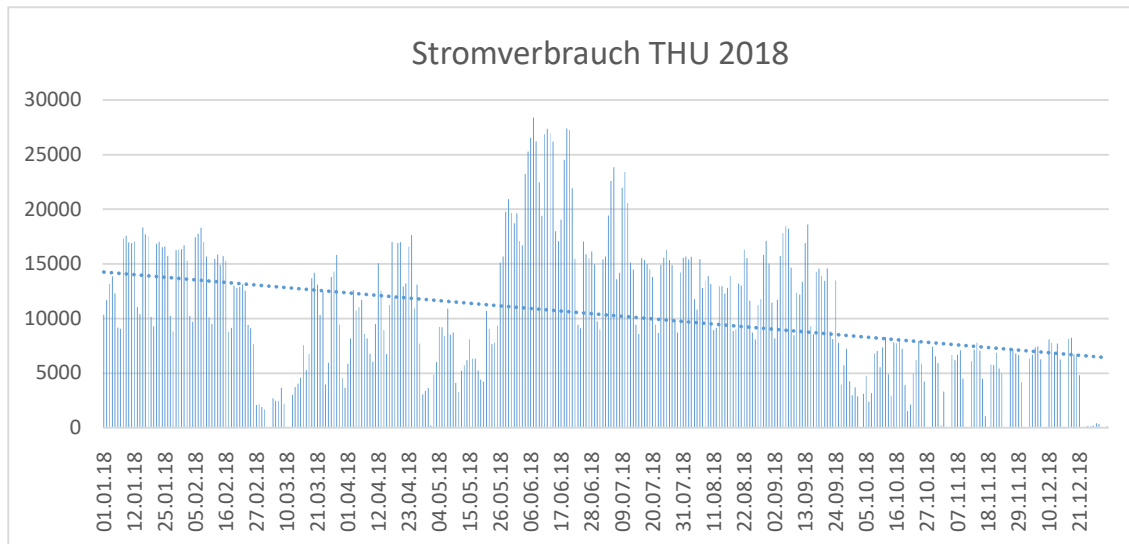
Abbildung 9: Durchschnittlicher Stromverbrauch THU über einen Tag 2017

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten 2017 der Technischen Hochschule Ulm [62]

Linke Achse: Verbrauch in Kilowatt; Untere Achse: Uhrzeit in Viertelstunden; Rechte Achse: Änderung des Stromverbrauchs in Prozent zur Viertelstunde davor

Auffällig in der Abbildung des Stromverbrauchs über einen Tag hinweg ist die große prozentuale Steigerung des Stromverbrauchs um 11 % von 7:00 Uhr auf 7:15 Uhr und die große Verringerung um über 9 % von 18:00 Uhr auf 18:15 Uhr. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass die meisten Leute bis um sieben Uhr in der Hochschule sind und um ungefähr 18 Uhr wieder gehen.

Im Jahr 2018 hat die Hochschule nach den Daten insgesamt 3.784.404 Kilowatt benötigt, welche sich wie folgt aufteilen:



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten 2018 der Technischen Hochschule Ulm [63]

Abbildung 10: Stromverbrauch THU 2018

Linke Achse: Stromverbrauch in Kilowatt; Untere Achse: Datum

Bei den Daten von 2018 fallen direkt Punkte auf, bei denen der Stromverbrauch fast null oder genau null ist. Dies kann wegen verschiedener Gründe sein. Ein Beispiel hierfür sind Stromausfälle, bei denen kein Strom verbraucht werden kann, da kein Strom am Gebäude ankommt. Ein weiteres und wahrscheinlicheres Beispiel sind Datenfehler, bei denen es einen Fehler bei der Speicherung, Bereitstellung, Aufnahme oder Sonstigem gegeben hat.

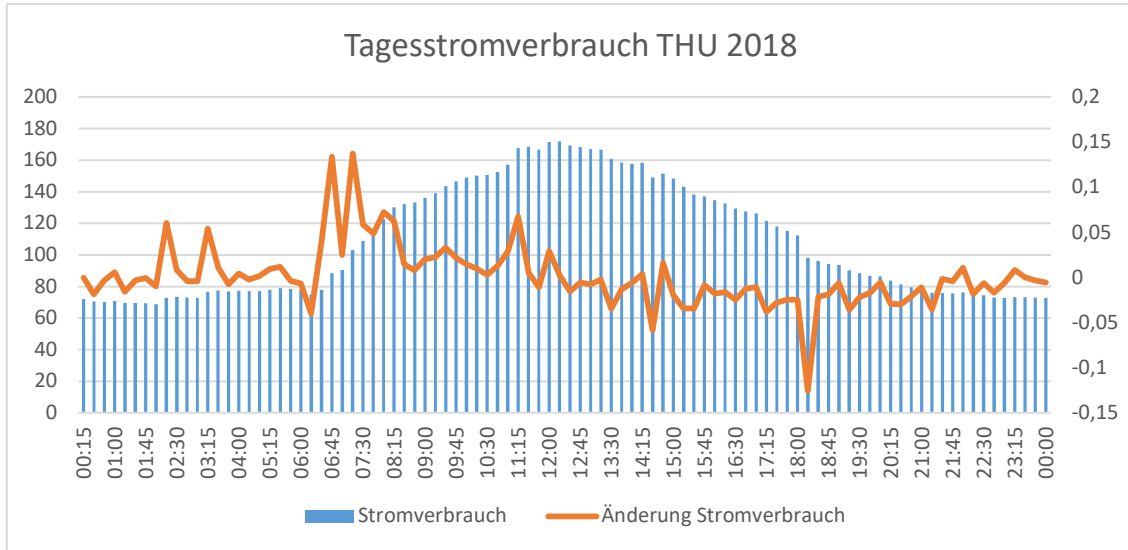


Abbildung 11: Durchschnittlicher Stromverbrauch THU über einen Tag 2018

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten 2018 der Technischen Hochschule Ulm [63]

Linke Achse: Verbrauch in Kilowatt; Untere Achse: Uhrzeit in Viertelstunden; Rechte Achse: Änderung des Stromverbrauchs in Prozent zur Viertelstunde davor

Im Vergleich zur Auswertung des Tagesstromverbrauchs 2017 fällt im Verbrauch des Jahres 2018 direkt auf, dass es zwei große Steigerungen beim Stromverbrauch gibt. Wie im Jahr 2017 gibt es auch eine Steigerung von 7:00 Uhr auf 7:15 Uhr. Diese Steigerung ist jedoch größer als im Jahr zuvor mit 13,7 %, während es 2017 nur 11 % waren. Eine halbe Stunde vorher, also von 6:30 Uhr auf 6:45 Uhr, ist eine weitere Steigerung mit 13,4 % zu sehen. 2018 kann es also sein, dass einige Leute schon früher zu der Hochschule gekommen sind.

Da, wie vorhin erwähnt, einige Daten aus dem Jahr 2018 fehlen könnten, wurde im Weiteren hauptsächlich mit den Daten von 2017 gerechnet.

5.3 Stromverbrauch beim Laden von Elektroautos

Der Strom, welcher zum Aufladen von Elektrofahrzeugen benötigt wird, wird im Folgenden durch zwei verschiedene Möglichkeiten berechnet.

5.3.1 Stromverbrauch Elektroautos

Um den möglichen Stromverbrauch beim Laden von Elektroautos an der Hochschule bestimmen zu können, müssen wir erst mal wissen, wie viele Personen mit einem Elektroauto zur Hochschule kommen. Zurzeit hat die Technische Hochschule Ulm 3363 Studenten und 368 Beschäftigte. Dies sind zusammen 3731 Personen, welche jeden Tag in der Hochschule erscheinen können. [64]

Aus einer Umfrage des Centrums für Hochschulentwicklung zum Thema Verkehrsmittel für den Weg zur Hochschule hat sich ergeben, dass im Jahr 2018 von den 649 Befragten in Ulm 26,3 % mit dem Auto oder Motorrad zur Hochschule kommen. [65] Daraus ergeben sich 981 Autos oder Motorräder jeden Tag. Von diesen 981 Verkehrsmitteln sind im Durchschnitt 14,6 % Elektroautos und 5,2 % Plug-in-Hybride. Um den steigenden Marktanteil von Elektroautos auszugleichen, werden im Weiteren die Motorräder zu den Autos gezählt und die Plug-in-Hybride werden zu den Elektroautos gezählt. [66] Von den 981 Autos sind somit 19,8 % oder auch 194 Autos, die elektrisch geladen werden können. Da die Technische Hochschule Ulm neben dem Standort Prittwitzstraße noch den Standort Albert-Einstein-Allee hat, werden die Personen und somit auch die Autos gleich auf beide Standorte aufgeteilt, womit nur noch 97 Elektroautos pro Standort übrigbleiben.

Um nun die benötigte Ladung auszurechnen, welche ein Auto nach dem Pendeln bis zur Hochschule laden könnte, wird eine ungefähre Pendelstrecke benötigt. Nach einer Analyse des Centrums für Hochschulentwicklung geht hervor, dass bei mehr als 50 % der Studierenden sich die Hochschule weniger als 50 Kilometer weit entfernt befindet. Bei Fächern wie Maschinenbau, welcher auch an der Technischen Hochschule Ulm anzufinden ist, sind es nur 33 Kilometer. [67][68] Da es sich bei der Analyse um mehr als 50 % handelt, aber die Technische Hochschule Ulm auch andere Studiengänge anbietet, wird im Folgenden von einer Pendelstrecke von 40 Kilometern ausgegangen.

Neben der Pendelstrecke ist auch der Verbrauch des Elektroautos wichtig, um den benötigten Strom zum Laden des Fahrzeugs zu berechnen. Hierbei wird der Verbrauch des Elektroautos mit den meisten Zulassungen genommen, da dieser rein rechnerisch das Elektroauto ist, welches am häufigsten am Standort laden würde. Das Elektroauto mit den meisten Zulassungen ist von Januar bis Juni 2024 das Tesla Model Y. [69] Das Tesla Model Y hat einen offiziellen Stromverbrauch von 17,3 Kilowattstunden pro 100 Kilometer. [70] Daraus ergibt sich ein Verbrauch von 6,92 Kilowatt für jede einfache Pendelstrecke.

Wenn also jedes Elektroauto nach dem Pendelweg laden würde, dann werden pro Tag 672,24 Kilowatt benötigt, um diese wieder vollständig zu laden. Bei 30 Ladestationen, die täglich ein

Elektroauto laden, sind es 207,6 Kilowatt, während es bei 2 Autos pro Tag 415,2 Kilowatt sind. Es kann davon ausgegangen werden, dass nicht jedes Auto jeden Tag geladen wird, aber dafür die benötigte Ladung höher ist. Das Maximum an Ladung für ein Elektroauto ist die Kapazität der Batterie. Diese ist bei dem Tesla Model Y bei 60 Kilowattstunden. [71] Das Maximum an Ladung, die am Tag benötigt werden kann, beträgt somit bei 5828,6 Kilowatt. Bei einer Anzahl von 30 Ladestationen und einer Ladung pro Tag wären es 1800 Kilowatt.

Zur Ermittlung des Jahresverbrauchs ist die Anzahl der Hochschultage im Jahr erforderlich. Diese sind laut dem akademischen Kalender der Technischen Hochschule Ulm 174 Tage im Jahr. [72][73] Wenn alle Autos geladen werden, benötigt man daher mindestens 116.969,2 Kilowatt und maximal 1.014.183,9 Kilowatt. Bei 30 Ladestationen, die täglich einmal laden, sind es minimal 36.122,4 Kilowatt und maximal 313.200 Kilowatt.

Da aber weder der minimale noch der maximale Verbrauch wahrscheinlich sind, macht ein durchschnittlicher Wert der beiden Verbräuche mehr Sinn. Dieser liegt bei 565.576,5 Kilowatt im Jahr. Bei nur 30 Ladungen am Tag ist der Durchschnitt bei 174.661,2 Kilowatt im Jahr.

5.3.2 Stromverbrauch Ladesäulen

Ein zweiter Weg, um auf den Verbrauch beim Laden von Elektroautos zu kommen, ist es, statt den Elektroautos die Ladesäulen als Verbraucher anzusehen. Wie in Kapitel 4 schon besprochen wurde, sind Ladesäulen mit 22 Kilowatt oder 50 Kilowatt Ladeleistung am sinnvollsten für den Standort Hochschule, wobei die Ladesäulen mit 22 Kilowatt eine ausreichende Leistung aufweisen sollten. Wie in Kapitel 5.2 aufgezeigt wurde, sind die meisten Personen von 7:00 Uhr bis 18:00 Uhr am Standort. Das ergibt einen Zeitraum von elf Stunden, in dem Elektroautos geladen werden können.

Eine Ladesäule mit 22 Kilowatt Ladeleistung kann in den elf Stunden pro Tag bis zu 242 Kilowatt laden. Über das Hochschuljahr hinweg sind es 42.108 Kilowatt pro Ladesäule. Bei 30 Ladesäulen sind es im Jahr somit 1.263.240 Kilowatt.

Eine Ladesäule mit 50 Kilowatt Ladeleistung schafft in derselben Zeit bis zu 550 Kilowatt pro Tag. Auf das Jahr gerechnet sind es 95.700 Kilowatt pro Ladesäule. Die 30 Ladesäulen können somit im Jahr 2.871.000 Kilowatt an Elektroautos abgeben.

5.4 Nettoergebnis Stromerzeugung und Verbrauch

Die Ergebnisse aus den Rechnungen der Kapitel 5.1, 5.2 und 5.3 sind wie folgt:

Stromverbräuche	Werte Pro Jahr	Einheit
Netzeinspeisung/PV-Anlage	1.146.875,26	kWh
Elektroauto Verbrauch min.	-116.969,20	kWh
Elektroauto Verbrauch max.	-1.014.183,85	kWh
Elektroauto Verbrauch Durchschnitt	-565.576,53	kWh
30x Ladesäule 22 KW max.	-1.263.240,00	kWh
30x Ladesäule 50 KW max.	-2.871.000,00	kWh
THU 2017	-5.337.178,00	kWh
THU 2018	-3.751.452,00	kWh

Tabelle 6: Stromverbräuche

Wenn man nun die Stromverbräuche einzeln von dem erzeugten Strom der PV-Anlage abzieht, kommt man auf folgendes Ergebnis:

PV-Anlage - Stromverbräuche	PV-Anlage - X (einzeln)	Einheit
Elektroauto Verbrauch min.	1.029.906,06	kWh
Elektroauto Verbrauch max.	132.691,41	kWh
Elektroauto Verbrauch Durchschnitt	581.298,73	kWh
30x Ladesäule 22 KW max.	-116.364,74	kWh
30x Ladesäule 50 KW max.	-1.724.124,74	kWh
THU 2017	-4.190.302,74	kWh
THU 2018	-2.604.576,74	kWh

Tabelle 7: Stromverbräuche nach Abzug des erzeugten Stroms der Photovoltaik-Anlage

In den Tabellen 5 und 6 ist zu erkennen, dass die Photovoltaik-Anlage es schafft, den Verbrauch der Elektroautos zu bedienen. Wenn die Ladesäulen durchgehend für die elf Stunden laufen würden, dann reicht die Photovoltaik-Anlage nicht mehr aus. Die Anlage ist außerdem nicht ausreichend, um das gesamte Gebäude mit Strom zu versorgen, da der Verbrauch des Gebäudes höher ist. Bei dem wahrscheinlicheren Fall des Stromverbrauchs der Elektroautos, dem „Elektroauto Verbrauch Durchschnitt“, bleiben noch 581.298,73 Kilowattstunden übrig, welche danach noch im Hochschulgebäude genutzt werden können. Zieht man diese dann vom Stromverbrauch der Hochschule im Jahr 2017 ab, bleiben damit noch 3.609.004 Kilowattstunden übrig.

6. Kosten und Einnahmen

Die Ladesäulen und die Photovoltaikanlage kosten Geld, können aber auch Einnahmen erwirtschaften. Im folgenden Abschnitt werden die Kosten der Anlagen und deren mögliche Gewinne erläutert.

6.1 Anschaffungs-, Entstehungs- und Betriebskosten

Die Anschaffung der Photovoltaikanlage und der Ladesäulen kann einiges kosten. Die in Kapitel 5.1 beschriebene Photovoltaikanlage hat eine Fläche von 5.349,47 Quadratmeter und besteht aus 1555 Modulen. Wenn wir annehmen, dass ein Modul 500 Watt aufbringen kann und der Preis 0,3 € pro Watt beträgt, dann kostet jedes Modul ungefähr 150 €. [74] Bei 1555 Modulen ergibt das 233.250 €. Die Module sind bei den Anschaffungskosten einer Photovoltaikanlage nur ein Drittel der gesamten Kosten. [75] Die Anschaffungskosten der PV-Anlage betragen somit insgesamt 699.750 €. Die jährlichen Betriebskosten belaufen sich auf ein bis zwei Prozent der Anschaffungskosten und sind Kosten von ungefähr 10.496,25 € jedes Jahr. [75] Die Produktion des Stroms führt zu variablen Kosten in Form von Stromentstehungskosten. Diese belaufen sich bei einer Photovoltaikanlage im Megawatt-Bereich, wie es bei dieser der Fall wäre, bei 4 bis 7 Cent pro Kilowattstunde. [75] Im weiteren Verlauf wird angenommen, dass diese Kosten bei 6 Cent pro Kilowattstunde liegen. Dies führt jährlich zu Kosten von 68.812,52 €.

PV Anlage	Kosten	Einheit	Kommentar
Solarmodule	233.250	€	150 € pro Modul
Anschaffungskosten	699.750	€	Modulkosten = 33 % [75]
Betriebskosten pro Jahr	10.496,25	€	1-2 % Anschaffungskosten [75]
Stromentstehungskosten pro Jahr	68.812,52	€	6 ct/kWh [75]

Tabelle 8: Kosten der Photovoltaikanlage

Eine Normalladesäule kostet 2500 € in der Anschaffung. Der Netzanschluss jeder Ladesäule wird in Höhe von 2000 € veranschlagt. Für die Genehmigung und Planung werden 1000 € angenommen. Die Baukosten pro Ladesäule belaufen sich auf 2000 €. Jede Ladesäule wird jährlich mit Betriebskosten in Höhe von 750 € belastet. Die Preise für die Schnellladesäulen sind deutlich höher. [76] Folglich sind die Normalladesäulen für die Hochschule sinnvoller.

Ladesäule	Normal	30x Normal	Schnell	30x Schnell
Hardware	2500 €	75.000 €	15.000 €	450.000 €
Netzanschlusskosten	2000 €	60.000 €	5000 €	150.000 €
Genehmigung/Standort/Planung	1000 €	30.000 €	1500 €	45.000 €
Baukosten	2000 €	60.000 €	3500 €	105.000 €
Betriebskosten pro Jahr	750 €	22.500 €	1500 €	45.000 €

Tabelle 9: Anschaffungskosten der Ladesäulen

Quelle: Deloitte [76]

Die Kosten der Photovoltaikanlage und auch die Kosten der Ladesäulen könnten durch Subventionen des Staates günstiger werden. [77][78]

6.2 Einnahmen und Tarifmodelle

Obwohl der Aufbau einer Photovoltaikanlage und der Ladesäulen einen positiven Einfluss auf die Besucher der Technischen Hochschule Ulm und die Umwelt haben kann, besteht ein Problem. Die Kosten für den Aufbau und den Betrieb der Anlagen müssen bezahlt werden.

Eine Möglichkeit ist es, den erzeugten Strom in das Stromnetz einzuspeisen. Bei der Einspeisung des erzeugten Stroms in das Netz werden 10,47 Cent pro Kilowattstunde erzielt. [79] Eine weitere Option besteht darin, den Strom in der Hochschule zu nutzen, anstatt ihn aus dem Netz zu beziehen. Der Strompreis für einen Nicht-Haushalt wie die Hochschule, der einen solchen Verbrauch hat, beträgt 20,14 Cent pro Kilowattstunde. [80] Die dritte Möglichkeit besteht darin, den Strom für die Ladesäulen zu verwenden.

Bei den Ladesäulen wird je nach Tarif verschieden viel Geld eingenommen. Bei den verschiedenen Tarifen gibt es drei Hauptpunkte. Die Stromkosten für jede Kilowattstunde, die Grundgebühr, die bei jedem Ladevorgang zu zahlen ist, und die Blockiergebühr, bei der jede Minute Standzeit meist nach vier Stunden berechnet wird. [81]

Bei öffentlichen Normalladesäulen beträgt der Strompreis 55 Cent pro Kilowattstunde und bei Schnellladesäulen 66 Cent. [82] Der durchschnittliche Strompreis für Privathaushalte liegt bei nur 41,75 Cent pro Kilowattstunde. [83]

Strompreise	Kosten	Einheit
Strompreis Hochschule	0,2014	€/kWh
Strompreis Haushalt	0,4175	€/kWh
Normale Ladesäule AC	0,55	€/kWh
Schnell-Ladesäule DC	0,66	€/kWh

Tabelle 10: Strompreise

Um den Studenten und Beschäftigten an der Technischen Hochschule Ulm zugutezukommen, kann es Sinn ergeben, den Preis niedrig zu halten. Eine Möglichkeit wäre es, den 1,5-fachen Strompreis der Hochschule zu nutzen. Jede Kilowattstunde würde somit nur 30,21 Cent kosten und wäre somit günstig. Dieser Wert wird im Weiteren als Strompreis der Ladesäulen angenommen. Der Preis pro Kilowattstunde sollte dabei unter dem Standardpreis von anderen Anbietern gehalten werden, um das Laden an der Hochschule für den Elektrofahrzeughalter sinnvoll zu machen. Eine Grundgebühr ist an der Hochschule nicht erforderlich, kann jedoch eingesetzt werden. Eine Blockiergebühr kann Sinn ergeben, da durch diese mehr Personen ihr Elektroauto laden können, ist jedoch auch nicht nötig. Diese sollte erst nach einigen Stunden Blockierzeit beginnen.

Für Personen, die keine Studenten oder Beschäftigte an der Hochschule sind, könnte der Preis erhöht werden. Man könnte beispielsweise den zweifachen Strompreis der Hochschule oder auch den ungefähren Standardpreis von anderen Ladesäulenanbietern verwenden. Diese Preise sollten nicht zu niedrig sein, damit Studenten und Beschäftigte der Hochschule genügend Ladeplätze für ihre Elektroautos haben. Auch eine Grundgebühr oder eine höhere oder früher einsetzende Blockiergebühr kann sinnvoll sein.

Da der in Kapitel 5.3.1 errechnete durchschnittliche Verbrauch für die Elektroautos kleiner ist als der von der Photovoltaikanlage erzeugte Strom, muss der verbleibende Strom neben den Ladesäulen auch noch an einer anderen Stelle genutzt werden. Hierbei ist es am sinnvollsten, den restlichen Strom im Hochschulgebäude zu nutzen. Dies wird im Folgenden als Ladesäulen-Mix bezeichnet. Der Ertrag „Hochschule“ basiert auf der möglichen Einsparung durch das Nutzen des erzeugten Stroms in der Hochschule anstelle des Kaufs des Stroms mit dem normalen Strompreis der Hochschule. In der Tabelle „Stromverkauf – Einnahmen pro Jahr“ sind die Stromentstehungskosten, die bei der Erzeugung des Stroms entstehen, bereits berücksichtigt.

PV-Strom Verwendung	Gesamtertrag	Einheit
Netzeinspeisung	51.265,32	€/Jahr
Hochschule	162.168,16	€/Jahr
Ladesäule	277.658,50	€/Jahr
Ladesäulen-Mix	219.121,72	€/Jahr

Tabelle 11: Stromverkauf - Einnahmen pro Jahr

6.3 Ergebnis der Kosten und Einnahmen

Die Kosten und Einnahmen durch die Photovoltaikanlage und die Ladesäulen sind im Folgenden aufgeführt:

Anschaffungskosten	Gesamtkosten	Einheit
PV-Anlage	699.750,00	€
30x Normalladesäulen	225.000,00	€
kumulierte Kosten	924.750,00	€

Betriebs- & Wartungskosten	Gesamtkosten	Einheit
PV-Anlage	10.496,25	€/Jahr
30x Normalladesäulen	22.500,00	€/Jahr
kumulierte Kosten	32.996,25	€/Jahr

PV-Strom Verwendung	Gesamteinnahmen	Einheit
Netzeinspeisung	51.265,32	€/Jahr
Hochschule	162.168,16	€/Jahr
Ladesäule	277.658,50	€/Jahr
Ladesäulen-Mix	219.121,72	€/Jahr

Tabelle 12: Zusammenfassung der Kosten und Einnahmen

Aus den jährlichen Kosten und Einnahmen bei Verwendung des Ladesäulen-Mix ergeben sich Anschaffungskosten in Höhe von 924.750,00 € und jährliche Betriebs- und Wartungskosten in Höhe von 32.996,25 €, wenn kein Verschleiß und keine Steuern berücksichtigt werden. Der Jahresgewinn liegt somit bei 186.125,47 €. Bei diesem Gewinn ergibt sich eine Amortisationszeit der Anlagen von ungefähr 5 Jahren. Die Kosten der Anlagen wären also nach diesen 5 Jahren mit den Gewinnen gedeckt. Der jährliche Gewinn mit 19 % Umsatzsteuer liegt bei 144.492,34 € und die Amortisationszeit beträgt ungefähr 6,4 Jahre. Die Lebensdauer von Photovoltaikanlagen liegt bei 25 bis 30 Jahren. [75] Bei den Ladestationen kann eine Laufzeit von 10 Jahren angenommen werden. [84]

7. Fazit

Die Investition in Ladesäulen und in eine Photovoltaikanlage an der Technischen Hochschule Ulm lohnt sich rein rechnerisch. Mit Umsatzsteuer beträgt die Amortisationszeit ungefähr 6,4 Jahre. Bei den Ladesäulen wird eine Laufzeit von 10 Jahren angenommen. Die Lebensdauer einer Photovoltaikanlage beträgt 25 bis 30 Jahre. Somit können nach der Amortisationszeit in neue Ladestationen investiert oder Gewinne erzielt werden, die man in anderen Bereichen einsetzen könnte, um die Hochschule zu verbessern. Auch die Elektroautobesitzer unter den Studenten und Beschäftigten an der Hochschule haben durch den Aufbau eine Möglichkeit, ihren Wagen zu einem guten Preis und an einem für sie günstig gelegenen Ort zu laden. Neben den finanziellen Aspekten spielen auch Umweltaspekte eine Rolle. Durch die Errichtung von Ladesäulen und einer Photovoltaikanlage kann man den Verkauf und die Nutzung von Elektroautos stärken. Diese setzen im Vergleich zu Benzin- oder Dieselfahrzeugen deutlich weniger Schadstoffe während der Fahrt frei und sind dadurch auf dem Weg zur Hochschule umweltfreundlicher. Der erneuerbare Strom aus der Photovoltaikanlage kann für die Umwelt besser sein als Strom aus dem Netz, welcher möglicherweise aus umweltschädlichen Quellen kommen kann. Die einzige Frage, die noch offen bleibt, ist die Frage, ob es sinnvoll ist, die Anlagen heute schon zu kaufen, da die Preise für Photovoltaikmodule immer weiter fallen. [75] Für die Umwelt und den Anreiz, umweltfreundliche Fahrzeuge zu nutzen, ist es heute bereits sinnvoll, die Anlagen zu kaufen.

Alles in allem ist der Ausbau von Ladesäulen und einer Photovoltaikanlage an der Technischen Hochschule Ulm sowohl für die Umwelt als auch für die Studierenden, Beschäftigten, Besucher und auch für die Hochschule von Vorteil.

8. Literaturverzeichnis

[1] Vermögen und Bau Baden-Württemberg Betriebsleitung (2021): Technische Hochschule Ulm - Ersatzneubau Oberer Eselsberg, [Online] Verfügbar unter: <https://www.vermoegenundbau-bw.de/projekte/projekt-detail/technische-hochschule-ulm-ersatzneubau-oberer-eselsberg> (Zugriff am 05.07.2024)

[2] Technische Hochschule Ulm (2023): Neues Campus-Gebäude offiziell übergeben - Nach knapp dreijähriger Bauzeit übergibt das VBA den Neubau am Oberen Eselsberg., [Online] Verfügbar unter: https://www.thu.de/de/Seiten/News_Eroeffnung_neues_Campusgebaeude.aspx (Zugriff am 07.07.2024)

[3] Technische Hochschule Ulm (2023): Der größte Batteriespeicher Ulms am Campus AEA der Technischen Hochschule Ulm, [Online] Verfügbar unter: https://www.thu.de/de/Seiten/News_Energiepark_Batteriespeicher.aspx (Zugriff am 05.07.2024)

[4] Oliver Helmstädter (2024): Neuer Energiepark der Hochschule Ulm ist mehr als ein „Meilenstein“, Hrsg.: Augsburg Allgemeine, [Online] Verfügbar unter: <https://www.augsburger-allgemeine.de/neu-ulm/thu-eroeffnet-in-ulm-energiepark-102864019> (Zugriff am 10.07.2024)

[5] Impey Ben (2024): Anzahl der Neuzulassungen von Elektroautos in Deutschland von 2003 bis Juni 2024, Hrsg.: Statista [Online] Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/244000/umfrage/neuzulassungen-von-elektroautos-in-deutschland/> (Zugriff am 05.07.2024)

[6] envia Mitteldeutsche Energie AG: Welche Arten von E-Autos gibt es?, [Online] Verfügbar unter: <https://www.enviam.de/elektromobilitaet/wissenswertes/tipps-rund-ums-elektroauto/welche-arten-von-e-autos-gibt-es#01> (Zugriff am 07.07.2024)

[7] Statista, Statista Research Department (2024): **Welches ist Ihrer Meinung nach das wichtigste politische Problem in Deutschland, das vordringlich gelöst werden muss? Und welches ist das zweitwichtigste.,** [Online] Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28353/umfrage/wichtigste-von-der-politik-zu-loesende-probleme-in-deutschland/> (Zugriff am 04.07.2024)

[8] Statista, Statista Research Department (2023): **Welches sind Ihrer Meinung nach die wichtigsten Probleme, denen Deutschland derzeit gegenübersteht?,** [Online] Verfügbar

unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2739/umfrage/ansicht-zu-den-wichtigsten-problemen-deutschlands/> (Zugriff am 04.07.2024)

[9] NMP – Nationale Plattform Zukunft der Mobilität: Über uns - Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität., [Online] Verfügbar unter: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/die-npm/> (Zugriff am 04.07.2024)

[10] Zeit Online (2019): Deutschland ist Autoland - Mit der vermeintlichen Tempolimit-Forderung hat die Verkehrskommission eine Debatte ausgelöst. Ihr Vorsitzender Henning Kagermann hält andere Maßnahmen für sinnvoller., [Online] Verfügbar unter: <https://www.zeit.de/mobilitaet/2019-02/henning-kagermann-tempolimit-andreas-scheuer-verkehrspolitik> (Zugriff am 04.07.2024)

[11] Zapf Martin, Pengg Hermann, Bütler Thomas, Bach Christian, Weindl Christian (2021) : Kosteneffiziente und nachhaltige Automobile – Bewertung der realen Klimabelastung und der Gesamtkosten – Heute und in Zukunft, Auflage 2, Verlag: Springer Vieweg, S. 52

[12] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2021): Luftschadstoffe und Lärm: Mehr Elektroautos – mehr Lebensqualität?, [Online] Verfügbar unter: <https://www.bmuv.de/themen/verkehr/elektromobilitaet/luft-und-laerm> (Zugriff am 05.07.2024)

[13] Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von Elektroautos - Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial., Auflage 2, S. 34-38

[14] Umweltbundesamt (2024): Klimavorteil für E-Autos bestätigt – Für mehr Klimaschutz im Verkehr müssen Marktanteile elektrischer Pkw schnell steigen., [Online] Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimavorteil-fuer-e-autos-bestaetigt> (Zugriff am 09.10.2024)

[15] Umweltbundesamt (2019): RESCUE scenario GreenLate., [Online] Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/climate-energy/climate-protection-energy-policy-in-germany/a-resource-efficient-greenhouse-gas-neutral-germany/rescue-scenario-greenlate> (Zugriff am 09.10.2024)

[16] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (Stand: Februar 2024), S. 5

[17] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2021): Lohnt sich der Betrieb eines Elektroautos?, [Online] Verfügbar unter:

<https://www.bmuv.de/themen/verkehr/elektromobilitaet/effizienz-und-kosten> (Zugriff am 06.07.2024)

[18] Bundesministerium der Justiz, Bundesamt der Justiz: Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge 1 (Elektromobilitätsgesetz - EmoG) - § 3 Bevorrechtigungen

[19] Harendt Bertram, Doser Jan Wolfgang, Dietrich Nina, Mayer Christian A., Erling Uwe M. (2018): Elektromobilitätsgesetz (EmoG) - Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge - Berichterstattung 2018, Hrsg.: Deutsches Dialog Institut GmbH, Frankfurt am Main, S.8

[20] Die Bundesregierung (2023): Umweltbonus läuft aus, [Online] Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/eenergie-und-mobilitaet/faq-umweltbonus-1993830> (Zugriff am 05.07.2024)

[21] Europäischer Rat, Rat der Europäischen Union (2024): „Fit für 55“ - Was ist das Paket „Fit für 55“?, [Online] Verfügbar unter: <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/fit-for-55/> (Zugriff am 05.07.2024)

[22] Die Bundesregierung (2023): EU-Umweltrat: Nur noch CO2-frei fahren., [Online] Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/europa/verbrennermotoren-2058450> (Zugriff am 05.07.2024)

[23] Europäische Union, Europäisches Parlament, Europäischer Rat (2024): REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on type-approval of motor vehicles and engines and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, with respect to their emissions and battery durability (Euro 7), amending Regulation (EU) 2018/858 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulations (EC) No 715/2007 and (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council, Commission Regulation (EU) 582/2011, Commission Regulation (EU) 2017/1151, Commission Regulation (EU) 2017/2400 and Commission Implementing Regulation (EU) 2022/1362., S.8

[24] Impey Ben (2024): Anzahl der Tankstellen in Deutschland von 1950 bis 2023, Hrsg.: Statista [Online] Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2621/umfrage/anzahl-der-tankstellen-in-deutschland-zeitreihe/> (Zugriff am 06.07.2024)

[25] Bundesnetzagentur (2024): Ladeinfrastruktur (LIS) in Zahlen (Stand: 1. Januar 2024), [Online] Verfügbar unter:

<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/Ladesaeulenkarte/start.html> (Zugriff am 06.07.2024)

[26] Die Bundesregierung (2024): Schnelles Laden an Tankstellen., [Online] Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/ladestrom-an-tankstellen-2289108> (Zugriff am 07.07.2024)

[27] Shell Deutschland GmbH (2023): Ladezeit E-Auto: Ladedauer, Akkus Akkupflege und Lademöglichkeiten von Elektroautos erklärt., [Online] Verfügbar unter: [https://www.shell.de/geschaeftskunden/shell-card-tankkarten/shell-card-blog/ladezeit-e-auto.html#:~:text=Ladestationen%3A%20Je%20nach%20Ladestation%20brauchen,\(maximal%2045%20kW\)%20erreicht.](https://www.shell.de/geschaeftskunden/shell-card-tankkarten/shell-card-blog/ladezeit-e-auto.html#:~:text=Ladestationen%3A%20Je%20nach%20Ladestation%20brauchen,(maximal%2045%20kW)%20erreicht.) (Zugriff am 07.07.2024)

[28] The Mobility House (2023): Charging time summary of EVs., [Online] Verfügbar unter: https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/article/charging-time-summary (Zugriff am 07.07.2024)

[29] evesco: THE ULTIMATE GUIDE TO DC FAST CHARGING., [Online] Verfügbar unter: <https://www.power-sonic.com/blog/the-ultimate-guide-to-dc-fast-charging/#:~:text=DC%20fast%20charging%20bypasses%20this,being%20output%20to%20the%20vehicle.> (Zugriff am 07.07.2024)

[30] Phoenix Contact Deutschland GmbH: Die Technologie für Schnellladestationen., [Online] Verfügbar unter: <https://www.phoenixcontact.com/de-de/technologien/high-power-charging> (Zugriff am 07.07.2024)

[31] Delta Electronics, Inc. (2024): Delta Launches 500kW DC Ultra-fast Electric Vehicle Charger UFC 500 for Public and Heavy-Duty Applications., [Online] Verfügbar unter: <https://www.delta-emea.com/en-GB/news/delta-launches-500kw-dc-ultra-fast-electric-vehicle-charger-ufc-500-for-public-and-heavy-duty-applications> (Zugriff am 07.07.2024)

[32] Cunha A, Brito FP, Martins J, Rodrigues N, Monteiro V, Afonso JL, Ferreira P. (2016): Assessment of the use of vanadium redox flow batteries for energy storage and fast charging of electric vehicles in gas stations., Hrsg.: Elsevier Ltd., S. 1480

[33] Joffe Christopher (2019): Modellbasierter Entwurf und Charakterisierung eines induktiven Ladesystems für Elektrofahrzeuge., Hrsg.: Universitätsbibliothek Erlangen-Nürnberg, S.2

[34] Zhang Xi, Zhu Chong, Song Haitao (2022): Wireless Power Transfer Technologies for Electric Vehicles., Hrsg.: Springer Nature Singapore Pte Ltd., Shanghai China, S.6

- [35] Aydin E., Aydemir M.T., Aksoz, A., El Baghdadi M., Hegazy O. (2022): Inductive Power Transfer for Electric Vehicle Charging Applications: A Comprehensive Review., Hrsg.: Energies, S.2
- [36] Elektrik Living (2024): Wireless EV Charging Pros and Cons Analyzed [2024]., [Online] Verfügbar unter: [Wireless EV Charging Pros and Cons Analyzed \[2024\] - Elektrik Living](#) (Zugriff am 07.07.2024)
- [37] Fattori Fabrizio, Anglani Norma, Muliere Giuseppe (2014): Combining photovoltaic energy with electric vehicles, smart charging and vehicle-to-grid., Hrsg.: Elsevier Ltd., Pavia Italien, S. 439
- [38] Schlund Jonas (2021): Electric Vehicle Charging Flexibility for Ancillary Services in the German Electrical Power System., Hrsg.: Universitätsbibliothek Erlangen-Nürnberg, S.25
- [39] Wunsch Markus (2020): Vorbereitung des Stromnetzes für die Mobilitätswende., Hrsg.: MTZ Motortech, Stuttgart Deutschland, S. 65
- [40] Wu Yu, Wang Ziliang, Huangfu Yigeng, Ravey Alexandre, Chrenko Daniela, Gao Fei (2022): Hierarchical Operation of Electric Vehicle Charging Station in Smart Grid Integration Applications — An Overview., Hrsg.: Elsevier Ltd., S.2
- [41] Ortmann Maximilian (2022): Geschäftsmodellanalyse für Vehicle-to-Grid-Anwendungen., Hrsg.: Hochschule Ruhr West, Gladbeck, S. 8-23
- [42] Roeder Susanne (2021): Das Auto als Pufferspeicher., Hrsg.: MTZ Motortech, Ludwigsburg Deutschland, S. 9-12
- [43] Farzin Hossein, Fotuhi-Firuzabad Mahmud, Moeini-Aghtaie Moein (2016): A Practical Scheme to Involve Degradation Cost of Lithium-Ion Batteries in Vehicle-to-Grid Applications., Hrsg.: IEEE, S. 1730-1731
- [44] Zhou Chengke, Qian Kejun, Allan Malcolm, Zhou Wenjun (2011): Modeling of the Cost of EV Battery Wear Due to V2G Application in Power Systems., Hrsg.: IEEE, S. 1041-1042
- [45] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2024): Expertengremium legt Handlungsempfehlungen zum bidirektionalen Laden vor - Kluckert: Elektroautos als Stromspeicher nutzen., [Online] Verfügbar unter: [BMDV - Expertengremium legt Handlungsempfehlungen zum bidirektionalen Laden vor \(bund.de\)](#) (Zugriff am 08.07.2024)
- [46] Teske Franz, Fehle Adrian, Praß Julian, Franke Jörg (2021): Adapted pricing scheme for the integration of vehicle-to-grid into the energy system., Hrsg.: IEEE, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Deutschland, S. 3-6

[47] Europex: EPEX SPOT - EUROPEAN POWER EXCHANGE., [Online] Verfügbar unter: <https://www.europex.org/members/epex-spot/> (Zugriff am 08.07.2024)

[48] Leippi Andre, Otteny Felix, Zernickel Melina, Klinger Anna-Lena (2024): Power Transfer Vehicle-to-Home (V2H) - Einsatz extern geladener bidirektionaler Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur in Wohngebieten - Eine simulationsbasierte Potenzialanalyse., Hrsg.: Wilhelm Bauer, Oliver Riedel, Katharina Hölzle, Daniel Stetter, Fraunhofer-Institut, S.30-31

[49] Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2024): Bidirektionales Laden diskriminierungsfrei ermöglichen - Handlungsempfehlungen des Beirats der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur zur Umsetzung der Maßnahme 47 des Masterplans Ladeinfrastruktur II, Hrsg.: NOW GmbH, S.28

[50] Lambert Fred (2022): Tesla launches new virtual power plant that pays Powerwall owners to help end brownouts., Hrsg.: electrek, [Online] Verfügbar unter: <https://electrek.co/2022/06/23/tesla-virtual-power-plant-pays-powerwall-owners-help-end-brownouts/> (Zugriff am 08.07.2024)

[51] Mahkus (2023): Tesla Solar Panels & Powerwalls: February 2023 Update., [Online] Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=V6zGBby_Tvg (Zugriff am 08.07.2024)

[52] Mahkus (2024): Tesla Solar Panels & Powerwalls: January 2024 Update., [Online] Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=AJEIql3s7ok> (Zugriff am 08.07.2024)

[53] U.S. Chamber of Commerce Global Energy Institute (2022): 2022 Average Electricity Retail Prices., [Online] Verfügbar unter: <https://www.globalenergyinstitute.org/2022-average-us-electricity-prices> (Zugriff am 08.07.2024)

[54] U.S. Chamber of Commerce (2023): Where Were the Highest and Lowest Electricity Prices in 2023? - U.S. electricity prices vary across the nation in 2023, with the highest rates in the Northeast and California. - 2023 Average U.S. Electricity Prices., [Online] Verfügbar unter: <https://www.uschamber.com/energy/2023-average-u-s-electricity-retail-prices> (Zugriff am 08.07.2024)

[55] Wu Di, Zeng Haibo, Lu Chao, Boulet Benoit (2017): Two-Stage Energy Management for Office Buildings With Workplace EV Charging and Renewable Energy., Hrsg.: IEEE, S. 226-227

[56] Eigene Messung mithilfe von Google Earth (<https://earth.google.com/web/>)

[57] Technische Hochschule Ulm (2021): CAMPUSPLÄNE - Technische Hochschule Ulm., [Online] Verfügbar unter:

https://www.thu.de/de/Downloads/22_01_20_Infoblatt_Campuspl%C3%A4ne_SIT21.pdf

(Zugriff am 12.07.2024)

[58] Bundesnetzagentur, Marktstammdatenregister (2021): „Ul, THU, w-Bau, PV1“, [Online] Verfügbar unter:

<https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Detail/IndexOeffentlich/3318328#technischedaten> (Zugriff am 12.07.2024)

[59] BW Pluss Energietechnik GmbH (2020): Ihre PV-Anlage von BW Pluss Energietechnik GmbH., S. 8

[60] Deutscher Wetterdienst: Global-, Diffus- und Direktstrahlung (Monats- und Jahressummen sowie Abweichungen), [Online] Verfügbar unter:

https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/strahlungskarten_sum.html;jsessionid=7CD_B4F1389F1E5DA7234EB5C48DD85CD.live11041?nn=16102#buehneTop (Zugriff am 12.07.2024)

[61] Wettengl Steffen (2010): Architekt der Hochschule Ulm gestorben., [Online] Verfügbar unter: <https://web.archive.org/web/20190302024606/http://www.wettengl.info/Blog/?p=266>

(Zugriff am 12.07.2024)

[62] VB-BW Amt Ulm - Fachhochschule (2017): LG_DE00064589075013020AAXXXX6102686_20190111081152_1., Hrsg.: Technische Hochschule Ulm

[63] VB-BW Amt Ulm - Fachhochschule (2018): LG_DE00064589075013020AAXXXX6102686_20190111081111_1., Hrsg.: Technische Hochschule Ulm

[64] Technische Hochschule Ulm, Herzig Judith (2023): Technische Hochschule Ulm – JAHRESBERICHT 2022/2023., Hrsg.: Rektorat der Technischen Hochschule Ulm, S. 8, 22

[65] Berghoff Sonja, Hachmeister Cort-Dennis (2018): Verkehrsmittel für den Weg zur Hochschule - Wie Studierende ihre Hochschule erreichen - gestern und heute., Hrsg.: CHE gemeinnütziges Centrum für Hochschulentwicklung, S. 13

[66] Gießel Andre (2024): Pkw-Neuzulassungen Juni 2024: Weniger E-Autos als im Vorjahr., Hrsg.: ADAC, [Online] Verfügbar unter: <https://www.adac.de/news/neuzulassungen-kba/>

(Zugriff am 12.07.2024)

[67] TAGESSPIEGEL (2024): Wegziehen fürs Studium?: Viele junge Menschen bleiben in der Nähe ihrer Heimat., [Online] Verfügbar unter: <https://www.tagesspiegel.de/wissen/wegziehen->

[furs-studium-viele-junge-menschen-bleiben-in-der-nahe-ihrer-heimat-11535752.html](#) (Zugriff am 12.07.2024)

[68] Technische Hochschule Ulm: Maschinenbau - Bachelor of Engineering (B.Eng.), [Online] Verfügbar unter: https://www.thu.de/de/Seiten/Studiengang_MB.aspx (Zugriff am 12.07.2024)

[69] Bay Lukas (2024): Das sind die meistverkauften Elektroautos in Deutschland 2024., Hrsg.: Handelsblatt, [Online] Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/mobilitaet/elektromobilitaet/bmw-mercedes-tesla-das-sind-die-beliebtesten-elektroautos-2024/100013654.html> (Zugriff am 12.07.2024)

[70] Tesla: Model Y., [Online] Verfügbar unter: https://www.tesla.com/de_de/modely (Zugriff am 12.07.2024)

[71] Electric Vehicle Database: Tesla Model Y., [Online] Verfügbar unter: <https://ev-database.org/car/1743/Tesla-Model-Y#battery> (Zugriff am 12.07.2024)

[72] Technische Hochschule Ulm (2024): Akademische Semesterplanung - Academic Semesterplanung - Sommer 2024., [Online] Verfügbar unter: https://intranet.hs-ulm.de/sites/rek/zentraledokumente/studiumundlehre/akad.semesterplanung/Documents/2024_Sommer.pdf (Zugriff am 12.07.2024)

[73] Technische Hochschule Ulm (2024): Akademische Semesterplanung - Academic Semesterplanung - Winter 2024/25., [Online] Verfügbar unter: https://intranet.hs-ulm.de/sites/rek/zentraledokumente/studiumundlehre/akad.semesterplanung/Documents/2024-2025_Winter.pdf (Zugriff am 12.07.2024)

[74] Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Bosch & Partner GmbH (2019): Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz - Teilvorhaben II c: Solare Strahlungsenergie, Hrsg.: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, S. 40

[75] Wirth Harry (2024): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland., Hrsg.: Fraunhofer ISE, Fassung 03.04.2024, S. 8-9 (97-98)

[76] Deloitte GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2018): E-Mobility – Ladeinfrastruktur als Geschäftsfeld., S. 5

[77] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023): Fragen und Antworten zu Photovoltaikanlagen auf Dachflächen., [Online] Verfügbar unter: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/erneuerbare->

energien/sonnenenergie/photovoltaik/dachflaechen-photovoltaik/faq-photovoltaikanlagen-auf-dachflaechen (Zugriff am 13.07.2024)

[78] Baden-Württemberg (2023): Land startet großflächige Förderung von Ladeinfrastruktur., [Online] Verfügbar unter: <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/land-startet-grossflaechige-foerderung-von-ladeinfrastruktur-1> (Zugriff am 13.07.2024)

[79] Bundesnetzagentur (2024): EEG-Förderung und -Fördersätze., [Online] Verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EEG_Foerderung/start.html (Zugriff am 13.07.2024)

[80] Statistisches Bundesamt (Destatis) (2024): Ergebnis 61243-0005 - Strompreise für Nicht-Haushalte: Deutschland, Halbjahre, Jahresverbrauchsklassen, Preisarten., Stand: 13.07.2024, [Online] Verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=tabelleErgebnis&selectionname=61243-0005&language=de#abreadcrumb> (Zugriff am 13.07.2024)

[81] Wallner Irene (2024): E-Auto laden – Kosten, Ladetarife & Ladekarten im Vergleich., Hrsg.: Carwow, [Online] Verfügbar unter: <https://www.carwow.de/ratgeber/elektroauto/ladetarife-vergleich> (Zugriff am 13.07.2024)

[82] Impey Ben (2024): Strompreise an Ladesäulen für Elektroautos in Deutschland nach ausgewählten Betreiber im Jahr 2024 (in Euro pro Kilowattstunde)., Hrsg.: Statista, [Online] Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/882563/umfrage/strompreise-an-e-auto-ladesaeulen-nach-betreiber-in-deutschland/> (Zugriff am 13.07.2024)

[83] Statistisches Bundesamt (Destatis) (2024): Preise - Erdgas- und Stromdurchschnittspreise., [Online] Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Erdgas-Strom-Durchschnittspreise/inhalt.html> (Zugriff am 13.07.2024)

[84] Hecht Christopher, Das Saurav, Bussar Christian, Sauer Dirk Uwe (2020): Representative, empirical, real-world charging station usage characteristics and data in Germany., Hrsg.: Elsevier, S. 4