

ELEKTROMOBILITÄT IN UNTERNEHMEN EINFÜHREN

PRAXISTIPPS UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN



Kontaktadresse

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und
Organisation IAO, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de

Helen Sawall

Telefon +49 711 970-2382
helen.sawall@iao.fraunhofer.de

URN-Nummer

urn:nbn:de:0011-n-5751997

Online verfügbar als Fraunhofer-ePrint

<http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-575199.html>

Titelbild

© Bildwerk - stock.adobe.com

Satz und Layout

Franz Schneider, Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, 2020

Wilhelm Bauer, Oliver Riedel, Thomas Renner (Hrsg.)

Daniel Stetter, Helen Sawall, Johannes Beck und Alexander Müller

ELEKTROMOBILITÄT IN UNTERNEHMEN EINFÜHREN

Praxistipps und Handlungsempfehlungen

INHALT

1 Einleitung	6
1.1 Vorwort	6
1.2 Hintergrund und Zielsetzung	7
2 Auswahl und Anschaffung von E-Fahrzeugen	9
2.1 Kapitelübersicht	9
2.2 Elektrofahrzeuge im Überblick	10
2.3 Vorteile der Anschaffung von E-Fahrzeugen und der Flottenumstellung	12
2.4 Angebot und Analyse potentieller Fahrzeuge	20
2.5 Genauere Betrachtung der Brennstoffzellentechnologie in Deutschland	33
3 Auswahl, Anschaffung und Aufbau Ladeinfrastruktur	35
3.1 Kapitelübersicht	35
3.2 Aktuelle Technologie	35
3.3 Themenbausteine Leitfaden Ladeinfrastruktur	36
3.4 Ausblick	39
4 Fördermöglichkeiten Ladeinfrastruktur	43
4.1 Kapitelübersicht	43
4.2 »Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland« des BMVI	43
4.3 »E-Taxi Ladeinfrastruktur« des Landes Baden-Württemberg	46
4.4 Pilotprojekt »Intelligente Netzanbindung von Parkhäusern und Tiefgaragen (INPUT)« des Landes Baden- Württemberg	48

5 Fördermöglichkeiten Fahrzeuge	50
5.1 Kapitelübersicht	50
5.2 »Umweltbonus« des BAFA	50
5.3 »Sofortprogramm saubere Luft« des BMVI	52
5.4 »Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellen- technologie (NIP)« des BMVI	55
5.5 Land Baden-Württemberg	56
6 Zusammenfassung	60
7 Quellenverzeichnis	62

ABKÜRZUNGEN

AC	Wechselstrom	L-Bank	Landeskreditbank Baden-Württemberg
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle	LSV	Ladesäulenverordnung
BEV	Batterieelektrofahrzeug	min	Minuten
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
CCS	Combined Charging System	NO ₂	Stickstoffdioxid
DC	Gleichstrom	NOx	Stickstoffoxide
engl.	englisch	OHG	Offene Handelsgesellschaft
EU	Europäische Union	ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
FCEV	Brennstoffzellenfahrzeug	PHEV	Plug-In-Hybrid-Fahrzeug
h	Stunde	REEV	Range-Extender-Fahrzeug
HEV	Hybridfahrzeug	Schuko	Schutzkontaktsteckdose
ICE	Fahrzeug mit Verbrennungsmotor	TCO	Total-Cost-of-Ownership
kg	Kilogramm	URL	Uniform Resource Locator
km	Kilometer	WEG	Wohnungseigentümergeinschaft
kW	Kilowatt	WLAN	Wireless Local Area Network
kWh	Kilowattstunde		
l	Liter		

ABBILDUNGEN UND TABELLEN

Abbildung 1:	Übersicht der wichtigsten Antriebstechnologien von Pkw (ICE, HEV, PHEV, REEV, FCEV und BEV).	11
Tabelle 1:	Vorteile von Elektrofahrzeugen (FCEV, BEV, PHEV) gegenüber konventionellen Verbrennern (ICE).	12
Abbildung 2:	Effizienz und normierter Energiebedarf der CO ₂ -neutralen Antriebstechnologien von Batterieelektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen sowie Verbrennern mit synthetischem Kraftstoff [14].	17
Abbildung 3:	Monatliche Gesamtbetriebskosten alternativ angetriebener Pkw unter Einbezug des Förderprogramms »Umweltbonus« des Bundes.	19
Tabelle 2:	Daten des Volkswagen e-up! (Stand: 11.2019) [16, 17]	21
Abbildung 4:	Foto des Volkswagen e-up! (Quelle: Volkswagen AG)	21
Tabelle 3:	Daten des BMW i3 (Stand: 11.2019) [18, 19]	22
Abbildung 5:	Foto des BMW i3 (Quelle: BMW AG)	22
Tabelle 4:	Daten des Smart EQ forfour (Stand: 11.2019) [20, 21]	22
Tabelle 5:	Daten des Nissan Leaf (Stand: 11.2019) [22, 23]	23
Tabelle 6:	Daten des Tesla Model 3 (Stand: 1.2020) [24, 25, 26]	23
Tabelle 7:	Daten des Hyundai IONIQ Elektro (Stand: 11.2019) [27]	23
Tabelle 8:	Daten des Volkswagen e-Golf (Stand: 11.2019) [28]	24
Abbildung 6:	Foto des Volkswagen e-Golf (Quelle: Volkswagen AG)	24
Tabelle 9:	Daten des Volkswagen e-Golf (Stand: 11.2019) [29]	24
Tabelle 10:	Daten des Opel Ampera-e (Stand: 11.2019) [30]	25
Tabelle 11:	Daten des Hyundai IONIQ Plug-In-Hybrid (Stand: 11.2019) [31]	25
Tabelle 12:	Daten des Toyota Prius Plug-in Hybrid (Stand: 11.2019) [32]	26
Abbildung 7:	Foto des Toyota Prius Plug-In (Quelle: Toyota Deutschland GmbH)	26
Tabelle 13:	Daten des Toyota Mirai (Stand: 11.2019) [33]	27
Abbildung 8:	Foto des Toyota Mirai (Quelle: Toyota Deutschland GmbH)	27
Tabelle 14:	Daten des Tesla Model S (Stand: 11.2019) [34, 35]	27
Tabelle 15:	Daten des Hyundai Nexo (Stand: 11.2019) [36]	28
Tabelle 16:	Daten des GLC F-Cell (Stand: 11.2019) [37, 38]	28
Tabelle 17:	Daten des Mercedes-Benz EQC (Stand: 11.2019) [39, 40]	29
Tabelle 18:	Daten des Audi e-tron (Stand: 11.2019) [41, 42]	29
Abbildung 9:	Foto des Audi e-tron (Quelle: Audi AG)	29
Tabelle 19:	Daten des Tesla Model X (Stand: 11.2019) [43]	30
Tabelle 20:	Daten des Nissan e-NV200 (Stand: 11.2019) [44]	30
Tabelle 21:	Daten des Mercedes-Benz eVito (Stand: 11.2019) [45, 46]	30
Tabelle 22:	Iveco Daily Electric (Stand: 11.2019) [47]	31
Tabelle 23:	Daten des Ford Transit Custom Plug-In-Hybrid (Stand: 11.2019) [48]	31

Tabelle 24:	Daten der Streetscooter-Modelle Work, Work L und Work XL (Stand: 11.2019) [49, 50]	32
Tabelle 25:	Daten des Renault Kangoo ZE (Stand: 11.2019) [51]	32
Tabelle 26:	Bestand an Brennstoffzellen- und Batterieelektro kraftfahrzeugen in Deutschland zum 1.1.2019 [57]	33
Tabelle 27:	Allgemeingültiger Leitfaden zur Ladeinfrastruktur – Planungsschritte.	37
Tabelle 28:	Allgemeingültiger Leitfaden zur Ladeinfrastruktur – Genehmigungsschritte.	38
Tabelle 29:	Allgemeingültiger Leitfaden zur Ladeinfrastruktur – Aufbauschritte.	38
Tabelle 30:	Allgemeingültiger Leitfaden zur Ladeinfrastruktur – Betriebsschritte.	39
Abbildung 10:	Verfahrensablauf des induktiven Ladens. © Fraunhofer ISE	41
Abbildung 11:	Schematische Darstellung eines Smart Grids.	41
Tabelle 31:	Ladeinfrastrukturförderung des BMVI.	44
Tabelle 32:	Förderung Fahrzeuge Umweltbonus.	51
Tabelle 33:	Einstufung von wirtschaftlich tätigen Unternehmen nach KMU-Definition.	53
Tabelle 34:	Förderrichtlinien Programm »BW-e-Gutschein«.	57
Tabelle 35:	Städte mit NO ₂ - Grenzwertüberschreitung [8]	57
Tabelle 36:	Förderrichtlinien Programm »BW-e-Gutschein« für E-Taxis	58
Tabelle 37:	Übersicht Fahrzeugangebot.	60
Abbildung 12:	Übersicht Förderprogramme Ladeinfrastruktur und Fahrzeuge.	61

1 EINLEITUNG

1.1 Vorwort

Nachhaltiges Handeln und ein schonender Umgang mit unserer Umwelt sind ein zunehmend wichtiger Bestandteil der Gesellschaft des 21. Jahrhunderts. Der Verkehr hat in Deutschland einen Anteil von 18 Prozent an den Treibhausgasemissionen und bietet neben der Umstellung der Energieerzeugung auf regenerative Energiesysteme eines der größten Einsparungspotentiale [1]. Weltweit ist der Umschwung hin zu alternativen Antriebskonzepten in vollem Gange, viele europäische Länder haben ein Ausstiegsdatum für Benzin- und Dieselfahrzeuge festgelegt: Frankreich und Großbritannien verbieten ab 2040 den Verkauf von Verbrennungsmotoren, die Niederlande bereits ab 2030 [2].

In Deutschland wird die Verkehrswende vom Bund, den Bundesländern und vielerorts auch auf kommunaler Ebene vorangetrieben. Durch den Umstieg von konventionellen auf alternative Antriebstechnologien kann der Pkw-Individualverkehr in eine nachhaltigere Mobilitätsform überführt werden. Eine Grundvoraussetzung dafür ist die Versorgung von Elektrofahrzeugen mit Strom aus erneuerbaren Energieträgern. Zu diesem Zweck wird der flächendeckende Ausbau von Ladeinfrastruktur bundesweit aktiv gefördert und vorangetrieben. Für die Verbreitung von Brennstoffzellenfahrzeugen ist der Ausbau von Wasserstofftankstellen erforderlich.

Zusätzlich zu den Bürgern können Unternehmen einen großen Beitrag zu einer nachhaltigen Mobilitätsentwicklung leisten. Neben der Einführung von Dienstfahrrädern im Rahmen eines betrieblichen Mobilitätsmanagements sowie der Förderung von ÖPNV-Tickets spielt die Elektrifizierung der eigenen Fahrzeugflotte sowie die Schaffung von Lademöglichkeiten für Mitarbeiter und externe Dritte hierbei eine entscheidende Rolle. Die vorliegende Informationsbroschüre soll Unternehmen in Bezug auf die Handlungsmöglichkeiten im Bereich der Elektromobilität informieren und sie bei einem Umstieg unterstützen.

1.2 Hintergrund und Zielsetzung

Sowohl in Heidelberg als auch in der gesamten Metropolregion Rhein-Neckar wird dem Umstieg auf nachhaltige Mobilitätslösungen eine hohe Bedeutung beigemessen. Das Engagement zeigt sich nicht nur in Form von kommunalen Förderprogrammen und dem Ausbau von Ladeinfrastruktur, sondern auch in der Durchführung von verschiedenen Projekten in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen. Die Inhalte dieser Broschüre wurden zu großen Teilen im Rahmen des Projekts »Elektromobilitätskonzept Stadt Heidelberg« in Zusammenarbeit mit der Stadt Heidelberg und den Stadtwerken Heidelberg vom Fraunhofer IAO erarbeitet. Da viele im Rahmen der Studie gewonnenen Erkenntnisse auch für Unternehmen relevant sind, welche nicht in der Metropolregion Rhein-Neckar ansässig sind, entstand die separate Veröffentlichung in Form der vorliegenden Broschüre. Dies geschah in Abstimmung mit der Stadt Heidelberg, welche als Auftraggeber der genannten Studie einen wichtigen Beitrag zur Entstehung geleistet hat.

Eine zentrale Erkenntnis, die durch eine im Rahmen des Projekts durchgeführte Unternehmensumfrage gewonnen wurde, war die Identifikation eines Informationsdefizits im Hinblick auf die Einführung von Elektromobilität in Unternehmen. Diese betraf vor allem die folgenden Bereiche:

- Es ist aktuell keine strukturierte Übersicht zu potentiellen Elektrofahrzeugen für Unternehmen und Unternehmensflotten vorhanden.
- Ein strukturierter Leitfaden für Unternehmen, welcher eine Anleitung zur Planung, Genehmigung und zum Aufbau sowie Betrieb von Ladeinfrastruktur bietet, ist ebenfalls nicht verfügbar. Existierende Ansätze einiger Städte sind zu spezifisch und daher nicht allgemein übertragbar.
- Es gibt keine übersichtliche Darstellung aller existierenden Förderprogramme (Bundes- und Landesebene) mit einer zusätzlichen Kennzeichnung der relevanten Förderprogramme für bestimmte Personengruppen

Ziel der vorliegenden Broschüre ist die Vermittlung von Informationen zur erfolgreichen Einführung von Elektromobilität in Unternehmen. Bestandteil davon ist eine Übersicht und ein Vergleich verschiedener Fahrzeuge mit alternativen Antriebstechnologien. Zum anderen ist ein Praxisleitfaden zur Planung, Genehmigung und zum Aufbau sowie Betrieb von Ladeinfrastruktur für Elektroautos und darüber hinaus eine Zusammenfassung aller aktuellen Förderinstrumente für den Erwerb von Elektrofahrzeugen sowie die Errichtung von Ladeinfrastruktur enthalten.

Bei den Informationen zu den jeweiligen Themen wurde darauf geachtet, diese praxisnah und somit anwendbar zu gestalten. Die sich herauskristallisierenden Standards werden in verschiedenen Kapiteln übersichtlich dargestellt. Damit sollen Potentiale nachvollziehbar aufgezeigt und Informationsdefizite reduziert werden.

Über die in dieser Broschüre gegebenen Informationen hinaus besteht ggf. weiterer Beratungsbedarf im Zuge der praktischen Umsetzung des Umstiegs auf elektrisch angetriebene Fahrzeuge. In diesem Zusammenhang wird eine enge Vernetzung und Zusammenarbeit mit Kommunen und lokalen Energieversorgern empfohlen.

2 AUSWAHL UND ANSCHAFFUNG VON E-FAHRZEUGEN

2.1 Kapitelübersicht

Der heutige Markt bietet eine Vielzahl verschiedener Antriebstechnologien für Kraftfahrzeuge und im Besonderen für Personenkraftwagen (Pkw). Kapitel 2.2 liefert einen Überblick über die gängigen und im folgenden betrachteten Antriebstechnologien.

Im Fokus der Broschüre stehen vorrangig Brennstoffzellen-, Batterieelektro- und Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge. Eine Auswahl der Vorteile (teil-)elektrischer Antriebstechnologien gegenüber einem konventionellen Verbrenner finden sich in Kapitel 2.3. Zudem werden die oben genannten Technologien in den Kategorien

- Lokale Schadstoffemissionen,
- Reichweite,
- Lade- und Tankvorgang,
- Energieeffizienz im Betrieb und
- Wirtschaftlichkeit (Total-Cost-of-Ownership-Analyse)

analysiert, um für den jeweiligen Einsatzzweck eine fundierte Entscheidung treffen zu können. In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit wird deutlich, dass alternativ angetriebene Fahrzeuge durch Subventionen und geringere Betriebs- und Fixkosten bereits zum heutigen Zeitpunkt teilweise konkurrenzfähig zu konventionellen Fahrzeugen sind.

Eine abschließende Marktanalyse des aktuellen Angebots an alternativ angetriebenen Fahrzeugmodellen zeigt, dass Elektrofahrzeuge in allen untersuchten Pkw-Kategorien erhältlich sind.

2.2 Elektrofahrzeuge im Überblick

Die Antriebsformen für die Mobilität der Zukunft sind bereits marktreif und können in vielen Bereichen Vorteile gegenüber der Nutzung von konventionellen Antrieben vorweisen. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die aktuell wichtigsten Antriebstechnologien bei Pkw.

Im Fokus dieser Informationsbroschüre stehen Batterieelektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge, welche die einzigen beiden Antriebskonzeptionen darstellen, die eine ausschließlich elektrische und damit emissionsfreie Fahrt ermöglichen. Plug-In-Hybride, die den Bedingungen des Elektromobilitätsgesetzes genügen, können das Ziel der emissionsfreien Fahrt für Kurzstrecken erreichen und werden ebenfalls thematisiert. Nach dem Elektromobilitätsgesetz gelten solche Plug-In-Hybride als Elektrofahrzeuge, die entweder einen CO₂-Ausstoß von 50 g/km nicht überschreiten oder über eine elektrische Reichweite von mindestens 40 km verfügen und extern aufladbar sind.

Seitdem die Produktion des BMW i3 Range Extender für den deutschen Markt eingestellt wurde, ist diese Antriebstechnologie auf dem Neuwagenmarkt kaum vertreten und wird dementsprechend nicht berücksichtigt.

Konventioneller Antrieb

Verbrenner (ICE)

Das Fahrzeug wird durch die Verbrennung von Mineralöl, Erdgas oder alternativen Kraftstoffen aus CO₂-neutralem Biogas angetrieben. Zudem können durch das Power-to-Liquid-Verfahren (PtL) synthetische Kraftstoffe aus Strom erzeugt werden.

Plug-In-Hybrid (PHEV)

In Erweiterung des Antriebskonzepts des Elektrohybrids kann die Batterie extern aufgeladen und das Fahrzeug auf Kurzstrecken hierdurch rein elektrisch gefahren werden.

Brennstoffzellenfahrzeug (FCEV)

Beim Tankvorgang zugeführter Wasserstoff wird mittels einer Brennstoffzelle während der Fahrt in elektrische Energie umgewandelt, welche nach der Zwischenspeicherung in einer Batterie letztendlich einen Elektromotor antreibt.

Elektrohybrid (HEV)

Der Antrieb des herkömmlichen Verbrenners wird um einen Elektromotor und eine Batterie ergänzt, die ausschließlich während der Fahrt geladen wird.

Range Extender (REEV)

Ein Elektromotor wird aus einer Batterie gespeist, die extern geladen wird. Bei langen Fahrtzeiten kann die Batterie während der Fahrt durch einen zusätzlich verbauten Verbrennungsmotor geladen werden.

Batterieelektrofahrzeug (BEV)

Ein Elektromotor wird durch eine Batterie gespeist, die extern an einem Stromanschluss aufgeladen werden kann und zusätzlich während des Bremsvorgangs Energie rückgewinnt.

Elektromobilität

Abbildung 1: Übersicht der wichtigsten Antriebstechnologien von Pkw (ICE, HEV, PHEV, REEV, FCEV und BEV).

2.3 Vorteile der Anschaffung von E-Fahrzeugen und der Flottenumstellung

Der Umstieg vom Verbrenner auf alternativ angetriebene Fahrzeuge (Batterieelektro-, Brennstoffzellen- und Plug-In-Hybridfahrzeuge) bietet folgende Vorteile, welche alle Elektrofahrzeuge im Sinne des Elektromobilitätsgesetzes teilen:

¹ Plug-In-Hybride im Sinne des Elektromobilitätsgesetzes: CO₂-Austoß von max. 50 g/km oder elektrische Reichweite von mindestens 40 km.

² Plug-In-Hybridfahrzeuge besitzen nur bei Kurzstrecken von weniger als circa 50 km und unter optimalen Bedingungen das Potential eines lokal emissionsfreien Fahrzeugs.

Tabelle 1: Vorteile von Elektrofahrzeugen (FCEV, BEV, PHEV) gegenüber konventionellen Verbrennern (ICE).

Antriebstechnologie	FCEV	BEV	PHEV ¹	ICE
Lokale Emissionsfreiheit (Kurzstrecke)	✓	✓	(✓) ²	✗
Lokale Emissionsfreiheit (Langstrecke)	✓	✓	✗	✗
Steuervorteil: Der zu versteuernde »geldwerte Vorteil« reduziert sich gegenüber einem Verbrenner um die Hälfte [1].	✓	✓	✓	✗
Imagegewinn für das Unternehmen: Kunden und Mitarbeitern wird der Eindruck eines nachhaltig agierenden und modernen Unternehmens vermittelt [2].	✓	✓	✓	✗
Befreiung von der Kfz-Steuer: Elektrofahrzeuge, die bis zum 31.12.2020 erstmalig zugelassen wurden bzw. werden, sind für 10 Jahre von der Kfz-Steuer befreit [3].	✓	✓	✓	✗
Langfristig erhöhter Wiederverkaufswert: Drohende Fahrverbote und das zunehmende Umweltbewusstsein der Bevölkerung werden Verbrenner in der Zukunft immer unattraktiver werden lassen.	✓	✓	(✓)	✗

Es wird deutlich, dass Plug-In-Hybride in Kategorien, die etwas über die Nachhaltigkeit der Antriebstechnologien aussagen, nur eingeschränkt Vorteile gegenüber konventionell angetriebenen Fahrzeugen besitzen.

Viele Eigenschaften der einzelnen Antriebstechnologien können nicht allgemeingültig bewertet werden. Vor- bzw. Nachteile ergeben sich in Abhängigkeit des Kontexts und jeweiligen Einsatzzwecks. Die Prioritäten bei der Entscheidungsfindung für die Auswahl eines Fahrzeugs variieren je nach Beschäftigungsfeld.

Im Folgenden werden die drei zuvor genannten elektrischen Antriebstechnologien in fünf verschiedenen Bereichen untereinander und mit einem konventionellen Verbrenner verglichen. Die Abwägung der Relevanz der unterschiedlichen Bereiche für das eigene Unternehmen sowie die Bewertung der verglichenen Eigenschaften im Rahmen der eigenen unternehmerischen Tätigkeit müssen durch das Unternehmen selbst erfolgen.

Lokale Schadstoffemission

Lokale Schadstoffe werden durch das Fahrzeug nach dem Tank- bzw. Ladevorgang emittiert. Jene Schadstoffe, die nur indirekt bei der Brennstoff- bzw. Stromerzeugung entstanden sind, werden als globale Schadstoffe bezeichnet und hängen stark von externen Faktoren ab, die nur in bedingtem Maße in Zusammenhang mit der Antriebsart stehen.

Zu den wichtigsten Schadstoffen, die durch einen Verbrennungsmotor emittiert werden, zählen das Treibhausgas CO₂ und die gesundheitsbeeinträchtigenden Schadstoffe NOx und Feinstaub. In Abhängigkeit von Motortechnologie und verwendeten Treibstoffen fällt die Verteilung der Schadstoffe unterschiedlich stark aus. Oftmals werden Systeme eingesetzt, welche unter anderem die Schadstoffe NOx und Feinstaub anteilig reduzieren können, dabei allerdings starken temperaturabhängigen Effizienzschwankungen unterliegen. Feinstäube, die durch Brems-, Reifen- und Fahrbahnabrieb entstehen, können nicht vermieden werden.

Durch den Einsatz eines Elektromotors können beim Brennstoffzellen- und Batterieelektroantrieb alle verbrennungsbedingten Schadstoffemissionen lokal vermieden werden. Zudem kann die Feinstaubbelastung durch den Bremsabrieb einer mechanischen Bremse weitestgehend vermieden werden, da Elektrofahrzeuge einen Großteil der Bremskraft durch Rekuperation (technisches Verfahren zur Rückgewinnung von Energie) erzeugen. Durch Reifen- und Fahrbahnabrieb emittieren jedoch auch Elektrofahrzeuge Feinstaub.

Auch Plug-In-Hybridfahrzeuge können sich auf Kurzstrecken die genannten Vorteile eines Elektroantriebs zu eigen machen. Wird allerdings eine Distanz von derzeit maximal circa 50 km überschritten, muss der Verbrennungsmotor zugeschaltet werden, woraufhin sich der Plug-In-Hybrid nicht umweltfreundlicher als ein konventioneller Verbrenner verhält. Lediglich die Fähigkeit der Rekuperation verbessert die Umweltstatistik eines Plug-In-Hybrids für Mittel- und Langstrecken. Eine optimale Ausnutzung des Potentials der Technologie ist somit stark von zurückgelegten Distanzen und dem gewissenhaften Laden der Batterie abhängig.

ICE

FCEV

BEV

PHEV

Reichweite

ICE

Der benötigte Treibstoff zum Betrieb eines Verbrennungsmotors kann durch das gut ausgebaut Tankstellennetz in Deutschland flächendeckend bezogen werden.

BEV

Die Reichweite eines vollgeladenen Batterieelektrofahrzeugs unterliegt einer großen Schwankungsbreite. Einige Kleinfahrzeuge sind für einen kleinen Aktionsradius ausgelegt und verfügen über eine Reichweite von circa 150 km, andere Fahrzeuge sind mit Reichweiten von über 500 km auch langstreckentauglich.

FCEV

Alle derzeit verfügbaren Brennstoffzellenfahrzeuge verfügen über eine Reichweite von über 500 km und sind damit langstreckentauglich.

PHEV

Plug-In-Hybride verfügen meist über eine elektrische Reichweite von derzeit weniger als 50 km und sind damit nur für Kurzstrecken eine nachhaltige Alternative zum konventionellen Fahrzeug. Durch den zusätzlichen konventionellen Antrieb kann das Fahrzeug dennoch für große Distanzen genutzt werden.

Lade und Tankvorgang

ICE

Der Tankvorgang eines konventionellen Verbrenners ist intuitiv und kann innerhalb weniger Minuten abgeschlossen werden.

BEV

Die Batterie kann an einer Ladestation im öffentlichen Raum, mittels einer Wallbox und sogar an einer Haushaltssteckdose geladen werden. Die Ladestecker sind in der gesamten EU einheitlich, wodurch Batterieelektrofahrzeuge mit allen Ladestationen kompatibel sind. An den meisten Ladestationen können Fahrzeuge innerhalb einiger Stunden aufgeladen werden. Zudem sind viele Autobahnraststätten mittlerweile mit Schnellladestationen ausgestattet, an denen sich die Ladezeit drastisch verringert. Das Joint Venture »Ionity«³ hat es sich zur Aufgabe gemacht, ein 350 kW-Ladenetz in Europa aufzubauen, welches eine Ladung für Reichweiten von mehreren hundert Kilometern in nur wenigen Minuten ermöglicht [4]. Derzeit sind allerdings nicht alle Batterieelektrofahrzeuge schnellladefähig, was zu deutlich höheren Ladezeiten bei diesen Fahrzeugen führt.

³ Ionity ist ein Joint Venture der BMW Group, der Daimler AG, der Ford Motor Company und der Volkswagen AG mit den Marken Porsche und Audi [4].

FCEV

Brennstoffzellenfahrzeuge können den Energieträger Wasserstoff an einer der aktuell 81 eröffneten Wasserstofftankstellen in Deutschland erhalten (Stand: 1.2020) [5]. In Zukunft werden voraussichtlich viele weitere Wasserstofftankstellen hinzukommen. Der Tankvorgang kann in 5 bis 10 Minuten beendet werden.

Die Batterie von Plug-In-Hybriden kann aufgrund ihrer Größe selbst bei schlechten Bedingungen an einer Haushaltssteckdose in circa 2 Stunden geladen werden. Der Mineralöltank eines Plug-In-Hybrids wird wie bei einem konventionellen Verbrennungsmotor an einer herkömmlichen Tankstelle gefüllt.

PHEV

Rohstoffbeschaffung zur Produktion

Für die Produktion eines Fahrzeugs werden zum Teil bedenkliche Rohstoffe eingesetzt, deren Förderung umweltschädlich ist oder unter menschenunwürdigen Verhältnissen erfolgt.

Bei der Produktion des Antriebsstrangs eines Verbrennungsmotors werden Seltene-Erd-Metalle eingesetzt und bei der Herstellung des Katalysators wird zudem Platin verbraucht, welches zu einem großen Teil in Südafrika unter menschenunwürdigen Verhältnissen gefördert wird [6].

ICE

Zur Produktion von Elektromotoren werden Seltene Erden benötigt, welche teilweise unter menschenunwürdigen Verhältnissen und unter großen Umweltbelastungen gefördert werden [7]. Die notwendige Menge an Seltenen Erden wird allerdings stets reduziert und Techniken zum Recycling werden entwickelt [8]. Bestandteil von Lithium-Ionen-Batterien, wie sie in Batterieelektrofahrzeugen häufig verbaut werden, sind die Metalle Lithium und Cobalt, welche teilweise unter umweltschädlichen Verhältnissen gefördert werden [9].

BEV

Auch im FCEV ist ein Elektromotor verbaut, für welchen Seltene Erden benötigt werden. Ebenso ist eine Batterie verbaut, welche allerdings weitaus kleiner dimensioniert ist und somit nicht in einem gleich großen Ausmaß die Metalle Lithium und Cobalt abgebaut werden müssen. Für den Brennstoffzellenantrieb werden allerdings zusätzliche Seltene Erden benötigt. Die Katalysatoren der Brennstoffzellen von FCEV enthalten wie jene des Verbrenners den umstrittenen Rohstoff Platin [6].

FCEV

Zusätzlich zu den genannten Umweltproblemen bei der Herstellung von Elektromotoren und der Batterie kommen bei einem Plug-In-Hybrid die Probleme eines Verbrennungsmotors hinzu.

PHEV

Endenergiebeschaffung (Brennstoff-, Wasserstoff- und Strombeschaffung)

Die Kraftstoffe, die für den Betrieb des Verbrennungsmotors benötigt werden, werden zum größten Teil aus Erdöl und -gas erzeugt, deren Förderung und Verarbeitung zu immensen Beeinträchtigungen der Umwelt führt. Hierzu zählen die dauerhafte Verschmutzung von Süß- und Salzwasser, die CO₂-Emissionen aufgrund eines hohen Energieverbrauchs und der Erdgasabfackelung (Gas-Flaring) sowie die Erzeugung großer Mengen von Sondermüll [10]. Alternativen hierzu bieten biologische oder synthetische Kraftstoffe. Biokraftstoffe werden aus Energiepflanzen gewonnen, welche bei einer Deckung des Energiebedarfs des Verkehrssektors unter aus-

ICE

schließlicher Verwendung von Biokraftstoffen einen erheblichen Teil der weltweit verfügbaren Ackerfläche beanspruchen würde [11]. Synthetische Kraftstoffe können aus ökologischem Strom gewonnen werden.

BEV

Batterieelektrofahrzeuge werden mit Strom aus dem elektrischen Energienetz geladen. Der tatsächliche ökologische Fußabdruck eines Batterieelektrofahrzeugs hängt daher neben den Einflussfaktoren in der Produktion von den Verfahren der Stromgewinnung zum Betrieb ab. Wird der benötigte Strom mittels eines Ökostromtarifs aus erneuerbaren Quellen bezogen oder durch eine lokale Photovoltaikanlage erzeugt, können CO₂-Emissionen im Betrieb vermieden werden.

FCEV

Eine Technologie, bei der Wasserstoff CO₂-neutral erzeugt werden kann, ist die Elektrolyse durch elektrischen Strom aus erneuerbaren Energiequellen. Neben der Herstellung von Wasserstoff können durch das Verfahren Erzeugungsspitzen des volatilen Stroms aus erneuerbaren Energien ausgeglichen werden, wodurch ein positiver Beitrag zur Realisierung der Energiewende geleistet werden kann. Derzeit verfügbarer Wasserstoff wird jedoch zu großen Teilen aus Erdgas hergestellt. [12, 13].

PHEV

Der ökologische Fußabdruck eines Plug-In-Hybrids hängt beim elektrischen Betrieb genauso wie beim Batterieelektrofahrzeug von der Art der Stromgewinnung ab. Bei der Verwendung des Verbrennungsmotors ist die Umweltbilanz des Plug-In-Hybrids der eines Verbrenners gleich zu setzen.

Energieeffizienz im Betrieb

⁴ Dies gilt für alle Antriebsarten, sofern die gewandelte elektrische Energie aus regenerativen, CO₂-neutralen Energiequellen stammt.

In Abbildung 2 wird die Effizienz im Betrieb von Batterieelektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen sowie von Verbrennern, die mit synthetischen Kraftstoffen angetrieben werden, miteinander verglichen. Die ausschließliche Betrachtung CO₂-neutraler Antriebsarten⁴ wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit gewählt.

Es handelt sich um eine Well-to-Wheel-Analyse der drei Antriebstechnologien, bei der die Effizienz der Energiekette von elektrischer hin zu mechanischer Energie betrachtet wird. Zu sehen ist die auf die Nutzenergie normierte Energiemenge, die in Form von elektrischer Energie benötigt wird, um in Folge der Verluste der Umwandlungs- und Transportkette ausreichend Energie zur Verfügung zu stellen.

Deutlich wird, dass Batterieelektrofahrzeuge sehr viel effizienter arbeiten als die beiden anderen Antriebstechnologien. Von 1,4 kWh elektrischer Energie kann in einem Batterieelektrofahrzeug 1 kWh genutzt werden, um das Fahrzeug anzutreiben. Für ein Brennstoffzellenfahrzeug muss zuvor die 2,8-fache Energiemenge in Form von elektrischer Energie zur Verfügung stehen, bei

einem Verbrenner mit synthetischem Kraftstoff ist es sogar die 8,7-fache Energiemenge. Ein Batterieelektrofahrzeug erreicht in dieser Betrachtung einen Wirkungsgrad von 70 Prozent, ein Brennstoffzellenfahrzeug 36 Prozent und ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor einen Wirkungsgrad von 11 Prozent. Der schlechte Wirkungsgrad des Verbrenners ist vor allem dem ineffizienten Antriebsstrang geschuldet: allein dieser kann nur 27 Prozent der zugeführten Energie des Treibstoffs in mechanische Energie umwandeln.

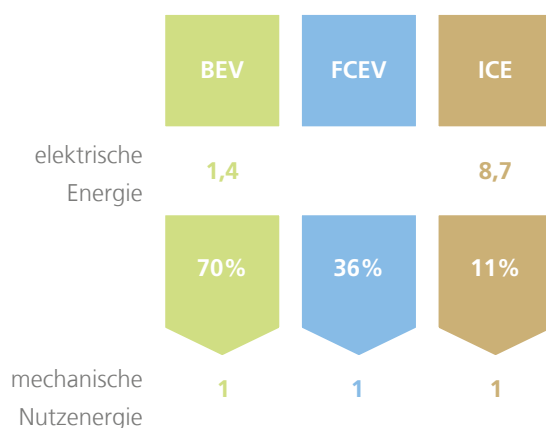


Abbildung 2: Effizienz und normierter Energiebedarf der CO₂-neutralen Antriebstechnologien von Batterieelektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen sowie Verbrennern mit synthetischem Kraftstoff [14].

Wirtschaftlichkeit

Nach einer im Jahr 2016 veröffentlichten Studie von puls Marktforschung sind die Kosten eines Fahrzeugs das wichtigste Entscheidungskriterium beim Fahrzeugkauf [15].

Durch eine Analyse der Total-Cost-of-Ownership (TCO), d. h. der Gesamtbetriebskosten eines Fahrzeugs, konnten die monatlichen Kosten für den Betrieb verschiedener Fahrzeuge unterschiedlicher Antriebstechnologien verglichen werden. Den untersuchten Elektrofahrzeugen wurden möglichst ähnliche Verbrenner oder Elektrohybride gegenübergestellt. Um den Pkw-Markt möglichst breit widerspiegeln zu können, wurden Elektrofahrzeuge aus mehreren Fahrzeugklassen (Kleinwagen, Kleintransporter, Kompaktfahrzeuge und SUV) untersucht.

Grundvoraussetzung für die Wahl der Batterieelektrofahrzeuge war die Verfügbarkeit eines möglichst ähnlichen Vergleichsmodells. Aufgrund der kleinen Fahrzeugauswahl wurden beide in Deutschland zulassungsfähigen Brennstoffzellenfahrzeuge unabhängig hiervon in die Analyse aufgenommen.

AUSWAHL UND ANSCHAFFUNG VON E-FAHRZEUGEN

In der Kategorie »Kompaktklasse« wurde der Toyota Prius trotz seines hybriden Antriebsstrangs anstelle eines konventionellen Verbrenners als Vergleichsfahrzeug herangezogen. Dies liegt darin begründet, dass der Toyota Mirai, der Toyota Prius-Plug-In und der Toyota Prius in Bauform und Ausstattungsvarianten viele Überschneidungen besitzen und kein in gleichem Maße geeigneter Verbrenner gefunden wurde.

Die folgenden Annahmen wurden getroffen:

- Betriebsdauer des Fahrzeugs: 4 Jahre
- Jährliche Laufleistung: 20 000 km
- Berücksichtigte Kosten: Bruttokaufpreis, Bruttowiederverkaufspreis⁵, Kfz-Steuer, durchschnittliche Werkstattkosten (Reparaturen, Reifenwechsel, Inspektion etc.), Treibstoff/Stromkosten
- Vernachlässigte Kosten: Kasko- und Haftpflichtversicherungen⁶, Pflegekosten, Geldwerter Vorteil der Elektrofahrzeuge, weitere nicht voraussehbare Kosten
- Die Energieträgerkosten wurden auf folgende Werte festgesetzt:
 - Benzin: 1,36 €/l
 - Diesel: 1,26 €/l
 - Wasserstoff: 9,50 €/kg
 - Strom: 0,30 €/kWh

⁵ Der Bruttowiederverkaufswert wurde für alle Fahrzeuge auf 40 Prozent des Bruttolistenpreises des jeweiligen Fahrzeugs festgelegt.

⁶ Versicherungskosten unterliegen großen Schwankungen, die von externen Faktoren (Alter und Fahrerfahrung des Versicherten, versicherter Personenkreis, Versicherungsumfang usw.) bestimmt werden.

⁷ Es wurden bereits die beim Autogipfel am 05.11.2019 beschlossenen erhöhten Förderungen für Elektrofahrzeuge einbezogen.

Es wurden sowohl die Gesamtbetriebskosten ohne Subventionen als auch die Kosten unter Einbeziehung des »Umweltbonus«⁷ des Bundes untersucht. Zur Verallgemeinerung der Analyseergebnisse wurde auf die Einbeziehung von Förderprogrammen auf Landes- und Kommunalebene verzichtet. Je nach Sitz eines Unternehmens stehen beim Kauf eines Elektrofahrzeugs dementsprechend eventuell höhere Förderbeträge zur Verfügung, welche die Gesamtkosten des Betriebs der alternativ angetriebenen Fahrzeuge erheblich senken können. Die Ergebnisse der TCO-Analyse sind in Abbildung 3 visualisiert.

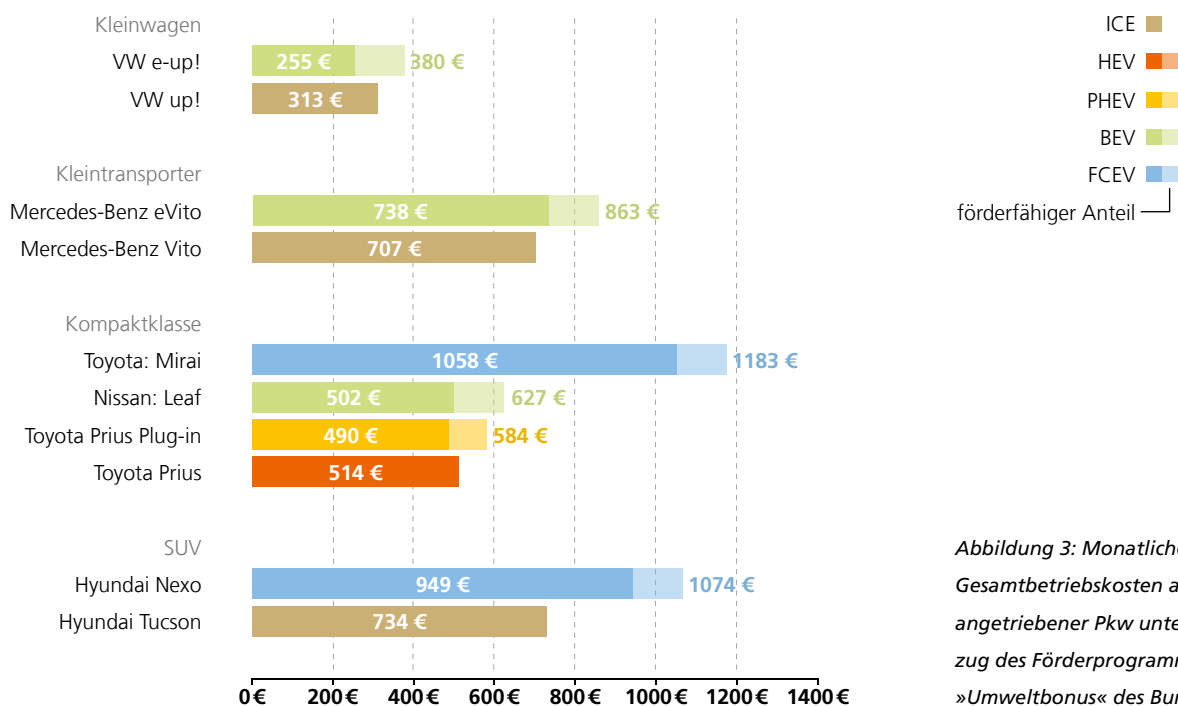


Abbildung 3: Monatliche Gesamtbetriebskosten alternativ angetriebener Pkw unter Einbezug des Förderprogramms »Umweltbonus« des Bundes.

Die untersuchten batterieelektrischen Fahrzeuge sind in den Kategorien Kleinwagen und Kompaktklasse in der Gesamtkostenbetrachtung trotz des höheren Kaufpreises günstiger als die konventionellen Vergleichsmodelle. In der Kategorie Kleintransporter ist das batterieelektrische Fahrzeug nur 4 Prozent teurer als in der Gesamtkostenbetrachtung. Der wasserstoffbetriebene SUV ist trotz der Förderung 29 Prozent teurer als das konventionelle Vergleichsmodell.

In der Kompaktklasse unterscheiden sich die Gesamtkosten des Hybridmodells, des Plug-In-Hybrids und des Batterieelektrofahrzeugs unter Einbeziehung der Subventionen nur marginal. Die Kosten des wasserstoffbetriebenen Toyota Mirai sind mehr als doppelt so hoch, wie die der drei zuvor genannten Antriebstechnologien. Diese Beobachtung kann auf den für die Kompaktklasse unüblich hohen Bruttolistenpreis des Fahrzeugs (78 600 €, Stand: 1.2020) zurückgeführt werden.

Besonders auffallend ist die vergleichsweise geringe Bedeutung des gegenüber den Vergleichsmodellen erhöhten Kaufpreises bei den batterieelektrischen Fahrzeugen für die monatlichen Gesamtkosten. Der Mercedes-Benz eVito ist nach dem Listenpreis circa 50 Prozent teurer als der entsprechende Verbrenner. Bei der Gesamtkostenanalyse schrumpfen die Mehrkosten des Elektroantriebs bereits ohne Förderungen auf circa 20 Prozent.

Noch gravierender fällt dies beim VW e-up! ins Gewicht, bei welchem sich die Mehrkosten von 70 Prozent beim Kauf im Laufe des Betriebs und durch den Wiederverkauf auf circa 20 Prozent bei der Gesamtkostenbetrachtung reduzieren.

2.4 Angebot und Analyse potentieller Fahrzeuge

Viele Automobilbauer bieten bereits Fahrzeuge mit alternativen Antrieben an, von denen im Folgenden eine Auswahl präsentiert wird. Dabei werden die Fahrzeuge in sechs Kategorien verglichen:

■ Antriebsart

Berücksichtigt werden Brennstoffzellenautos, batterieelektrischbetriebene sowie Plug-In-hybride Fahrzeuge.

■ Elektrische Reichweite

Sofern nicht anders gekennzeichnet, handelt es sich um die nach dem WLTP⁸-Verfahren bestimmte und in den NEFZ⁹-Standard umgerechnete Werte. Dies entspricht der aktuell vorgeschriebenen Prozedur zur Bestimmung des Verbrauchs. Die Reichweitensteigerung, welche bei einem Plug-In-Hybrid zusätzlich durch den konventionellen Antrieb erzielt wird, ist ausdrücklich nicht berücksichtigt.

■ Strom- / Wasserstoff- / Kraftstoffverbrauch

Sofern nicht anders gekennzeichnet, handelt es sich um die nach dem WLTP-Verfahren bestimmte und in den NEFZ-Standard umgerechnete Werte.

■ Ladevorgang

Es werden Informationen zur Ladedauer bzw. der Ladeleistung und Ladetechnologie bei Batterieelektrofahrzeugen geliefert.

■ Sitzplätze

Angegeben ist die Anzahl der Sitzplätze des Fahrzeugs.

■ Verfügbarkeit

Hier werden Informationen über die aktuelle Verfügbarkeit bzw. geplante Markteinführung des Fahrzeugs gegeben.

■ Bruttolistenpreis

Genannt ist der Grundpreis des Fahrzeugs. Der Kaufpreis dient lediglich der Information und liefert keine Aussage über die tatsächlichen Gesamtkosten eines Autos (vgl. Kapitel 2.3).

⁸ Die »Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP)« ist der aktuell gültige Fahrzyklus zur Bestimmung von Abgas- und Schadstoffemissionen.

⁹ Der »Neue europäische Fahrzyklus (NEFZ)« ist ein veralteter Fahrzyklus und wird seit dem 01.09.2017 schrittweise durch den WLTP-Zyklus abgelöst.

Kleinwagen

Volkswagen: e-up!	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	260 km
Stromverbrauch	12,7 bis 12,9 kWh/100 km
Ladevorgang	AC- und DC-Ladung, Ladeleistung von bis zu 40 kW, realistische Ladedauer: zwischen 0,5 h (DC-Schnellladung) und 9 h (Schuko)
Sitzplätze	2 oder 4
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	22 000 €

Tabelle 2: Daten des Volkswagen e-up! (Stand: 11.2019) [16, 17]



Abbildung 4: Foto des Volkswagen e-up! (Quelle: Volkswagen AG)

AUSWAHL UND ANSCHAFFUNG VON E-FAHRZEUGEN

BMW: i3	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	260 km
Stromverbrauch	13,1 bis 14,6 kWh/100 km (WLTP)
Ladevorgang	AC- und DC-Ladung; Ladeleistung von bis zu 50 kW, realistische Ladedauer: zwischen 0,5 h (DC-Schnellladung) und 16 h (Schuko)
Sitzplätze	4
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	37 550 €

*Tabelle 3: Daten des BMW i3
(Stand: 11.2019) [18, 19]*



*Abbildung 5: Foto des BMW i3
(Quelle: BMW AG)*

Smart: EQ forfour	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	153 km
Stromverbrauch	14,6 bis 17,3 kWh/100 km
Ladevorgang	AC-Ladung: Ladezeiten von 6 h (Schuko), 3,5 h (Wallbox), 40 min (22 kW Wallbox)
Sitzplätze	4
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	22 600 €

*Tabelle 4: Daten des Smart EQ
forfour (Stand: 11.2019) [20, 21]*

Kompaktklasse

Nissan: Leaf	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	270 km
Stromverbrauch	20,6 kWh/100 km
Ladevorgang	AC-Ladung: bis 6,6 kW; DC-Ladung: bis 50 kW, damit ist die Ladung von 20 % zu 80 % in einer Stunde möglich
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	36 800 €

Tabelle 5: Daten des Nissan Leaf (Stand: 11.2019) [22, 23]

Tesla: Model 3	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	350 km (Standard) bis 560 km (Long Range)
Stromverbrauch	14,1 bis 15,0 kWh/100 km
Ladevorgang	AC- und DC-Ladung: Ladeleistung von bis zu 120 kW an Tesla Superchargern
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist in drei Varianten verfügbar
Bruttolistenpreis	44 390 €

Tabelle 6: Daten des Tesla Model 3 (Stand: 1.2020) [24, 25, 26]

Hyundai: IONIQ Elektro	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	311 km
Stromverbrauch	13,8 kWh/100 km
Ladevorgang	AC- und DC-Ladung: bis zu 100 kW, damit Ladung von 0 bis 80 % in ca. 23 min möglich
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	33 300 €

Tabelle 7: Daten des Hyundai IONIQ Elektro (Stand: 11.2019) [27]

AUSWAHL UND ANSCHAFFUNG VON E-FAHRZEUGEN

Tabelle 8: Daten des Volkswagen e-Golf (Stand: 11.2019) [28]

Volkswagen: e-Golf	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	233 km
Stromverbrauch	13,8 bis 12,9 kWh/100 km
Ladevorgang	AC- und DC-Ladung: Ladezeiten zwischen 17 h (Haushaltssteckdose) und 45 min (DC-Schnell-ladung, 0 bis 80 %)
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Die Produktion des Fahrzeugs wird zum Jahresende 2019 eingestellt. Nachfolger ist der VW ID.3.
Bruttolistenpreis	31 900 €



Abbildung 6: Foto des Volkswagen e-Golf (Quelle: Volkswagen AG)

Tabelle 9: Daten des Volkswagen e-Golf (Stand: 11.2019) [29]

Volkswagen: ID.3	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	330 bis 550 km
Stromverbrauch	13,6 bis 14,0 kWh/100 km
Ladevorgang	AC- und DC-Ladung: Ladeleistung von bis zu 100 kW
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Geplante Auslieferung der ersten Fahrzeuge: Sommer 2020
Bruttolistenpreis	30 000 bis 45 000 €

Opel: Ampera-e

Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	520 km
Stromverbrauch	ca. 14,5 kWh/100 km
Ladevorgang	AC- oder DC-Ladung: bis zu 150 km Reichweite in 30 min (bei 50 kW)
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	42 990 €

Tabelle 10: Daten des Opel Ampera-e (Stand: 11.2019) [30]

Hyundai: IONIQ Plug-In-Hybrid

Antriebstechnologie	Plug-In-Hybridfahrzeug
Elektrische Reichweite	63 km
Stromverbrauch	10,3 kWh/100 km
Benzinverbrauch	1,1 l/100 km
Ladevorgang	AC-Ladung: bis zu 4,6 kW, damit vollständige Ladung in 2 h und 15 min möglich
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	32 000 €

Tabelle 11: Daten des Hyundai IONIQ Plug-In-Hybrid (Stand: 11.2019) [31]

AUSWAHL UND ANSCHAFFUNG VON E-FAHRZEUGEN

*Tabelle 12: Daten des Toyota
Prius Plug-in Hybrid
(Stand: 11.2019) [32]*

Toyota: Prius Plug-in Hybrid	
Antriebstechnologie	Plug-In-Hybridfahrzeug
Elektrische Reichweite	50 km
Stromverbrauch	9,9 kWh/100 km
Benzinverbrauch	1,3 l/100 km
Ladevorgang	AC-Ladung: 3 h Ladezeit (Schuko) bis zu 2 h (Wallbox)
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	37 200 €



*Abbildung 7: Foto des Toyota
Prius Plug-In (Quelle: Toyota
Deutschland GmbH)*

Toyota: Mirai

Antriebstechnologie	Brennstoffzelle
Elektrische Reichweite	500 km
Wasserstoffverbrauch	0,76 kg/100 km
Sitzplätze	4
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar. Im Jahr 2020 soll der Pkw durch den »Mirai II« abgelöst werden.
Bruttolistenpreis	78 600 €

Table 13: Daten des Toyota Mirai (Stand: 11.2019) [33]



Abbildung 8: Foto des Toyota Mirai (Quelle: Toyota Deutschland GmbH)

Mittelklasselimousinen

Tesla: Model S

Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	593 (Performance) bis 610 km (Long Range)
Stromverbrauch	22,0 bis 23,5 kWh/100 km
Ladevorgang	AC- und DC-Ladung: bis zu 120 kW; Ladezeiten von mehr als 20 h (Schuko) bis zu 0,8 h (80 % Ladezustand, Tesla Supercharger)
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	86 800 €

Table 14: Daten des Tesla Model S (Stand: 11.2019) [34, 35]

Sport Utility Vehicle (SUV)

*Tabelle 15: Daten des Hyundai
Nexo (Stand: 11.2019) [36]*

Hyundai: Nexo	
Antriebstechnologie	Brennstoffzelle
Elektrische Reichweite	756 km
Wasserstoffverbrauch	0,84 kg/100 km
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	69 000 €

*Tabelle 16: Daten des GLC F-Cell
(Stand: 11.2019) [37, 38]*

Mercedes-Benz: GLC F-Cell	
Antriebstechnologie	Brennstoffzelle mit Plug-In-Funktion (Brennstoffzellenfahrzeug, dessen Batterie zusätzlich extern geladen werden kann)
Elektrische Reichweite	478 km (Hybrid-Modus); davon rein batterieelektrisch: 50 km
Wasserstoffverbrauch	0,91 kg/100 km
Stromverbrauch	18,0 kWh/100 km
Ladevorgang	AC-Ladung: bis zu 7,4 kW, schnellste vollständige Ladung in ca. 90 min
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist ausschließlich als Mietfahrzeug für 799 € pro Monat verfügbar

Mercedes-Benz: EQC	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	471 km
Stromverbrauch	19,7 bis 20,8 kWh/100 km
Ladevorgang	AC- und DC-Ladung: Ladezeiten zwischen 12,5 h (bei 7,4 kW) und 40 min (bei 110 kW)
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar.
Bruttolistenpreis	71 281 €

Tabelle 17: Daten des Mercedes-Benz EQC (Stand: 11.2019) [39, 40]

Audi: e-tron	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	411 km
Stromverbrauch	23,7 bis 24,6 kWh/100 km
Ladevorgang	AC- und DC-Ladung: Ladeleistung von bis zu 150 kW, damit ist eine Ladung von 0 bis 80 % in ca. 30 min möglich
Sitzplätze	5
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar.
Bruttolistenpreis	83 350 €

Tabelle 18: Daten des Audi e-tron (Stand: 11.2019) [41, 42]



Abbildung 9: Foto des Audi e-tron (Quelle: Audi AG)

AUSWAHL UND ANSCHAFFUNG VON E-FAHRZEUGEN

Tabelle 19: Daten des Tesla Model X (Stand: 11.2019) [43]

Tesla: Model X	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	565 oder 542 km
Stromverbrauch	20,8 bis 21,7 kWh/100 km
Ladevorgang	AC- und DC-Ladung: bis zu 120 kW; Ladezeiten von mehr als 20 h (Schuko) bis zu 50 min (80 % Ladezustand, Tesla Supercharger)
Sitzplätze	5, 6 oder 7
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar.
Bruttolistenpreis	91 700 €

(Klein-)Transporter

Tabelle 20: Daten des Nissan e-NV200 (Stand: 11.2019) [44]

Nissan: e-NV200	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	275 km
Stromverbrauch	25,9 kWh/100 km
Ladevorgang	In Standardvariante max. 6,6 kW (Ladezeit: ca. 8,5 h), gegen Aufpreis bis zu 50 kW (Ladezeit von 0 bis 80 %: 40 bis 60 min)
Sitzplätze	2 (Kastenwagen), 5 oder 7
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar.
Bruttolistenpreis	34 105 €

Tabelle 21: Daten des Mercedes-Benz eVito (Stand: 11.2019) [45, 46]

Mercedes-Benz: eVito	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	150 bis 184 km
Stromverbrauch	27,1 kWh/100 km
Ladevorgang	max. 7,2 kW: Ladezeit von ca. 6 h
Sitzplätze	2 (Kastenwagen)
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	54 407 €

Iveco: Daily Electric	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	Bis zu 130 km
Stromverbrauch	Ca. 47 bis 65 kWh/100 km
Ladevorgang	Ladeleistung von bis zu 22 kW. Die Ladedauer liegt zwischen 2 h (bei 22 kW) und 24 h (bei 3,7 kW aus der Haushaltssteckdose/Schuko).
Sitzplätze	3 (Kastenwagen) bis 16 (Kleinbus)
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	Keine Angabe

*Tabelle 22: Iveco Daily Electric
(Stand: 11.2019) [47]*

Ford: Transit Custom Plug-In-Hybrid	
Antriebstechnologie	Plug-In-Hybridfahrzeug
Elektrische Reichweite	56 km
Stromverbrauch	24,2 kWh/100 km
Ladevorgang	Aufladung in 3 bis 4,5 h
Sitzplätze	3
Verfügbarkeit	Ab Oktober 2019 bestellbar.
Bruttolistenpreis	57 114 €

*Tabelle 23: Daten des Ford
Transit Custom Plug-In-Hybrid
(Stand: 11.2019) [48]*

Leichte Nutzfahrzeuge

Streetscooter: Work, Work L, Work XL	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Reichweite	101 bis 205 km
Stromverbrauch	Je nach Ausstattung (ca. 20 kWh/100 km)
Ladevorgang	Modelle Work & Work L: maximale Ladeleistung von ca. 3 kW, einphasig Modell Work XL: maximale Ladeleistung von ca. 11 kW, dreiphasig
Verfügbarkeit	Die Serienproduktion des Modells »Work XL« startete im Oktober 2018. Die beiden Modelle »Work« und »Work L« werden bereits durch einen Großteil der Fahrzeugflotte der Deutschen Post AG repräsentiert.
Bruttolistenpreis	Ab ca. 45 755 €

Tabelle 24: Daten der Streetscooter-Modelle Work, Work L und Work XL (Stand: 11.2019) [49, 50]

Renault: Kangoo ZE	
Antriebstechnologie	Batterieelektrofahrzeug
Elektrische Reichweite	230 km
Stromverbrauch	ca. 14,3 kWh/100 km
Sitzplätze	2 oder 5
Ladevorgang	max. 4,6 kW (Ladezeit: 9 h)
Verfügbarkeit	Das Fahrzeug ist verfügbar
Bruttolistenpreis	24 776 €

Tabelle 25: Daten des Renault Kangoo ZE (Stand: 11.2019) [51]

Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den zuvor beschriebenen Fahrzeugen nur um eine Auswahl der derzeit am deutschen Markt verfügbaren oder zukünftig geplanten Fahrzeuge handelt, es besteht dabei kein Anspruch auf Vollständigkeit.

Viele Automobilhersteller planen derzeit die Markteinführung weiterer Elektromodelle, welche das Angebot an Fahrzeugen mit alternativen Antrieben vergrößern werden: Volkswagen wird ab Mitte 2020 zunehmend durch die »ID. Familie« auf dem Batterieelektromarkt vertreten sein. Hierzu zählt der bereits in Produktion gegangene ID.3 sowie eine Oberklassenlimousine, ein SUV und ein Kleinbus, welche nachfolgend auf den Markt gebracht werden [52]. Volvo plant bis 2021 fünf Batterieelektrofahrzeuge auf den Markt zu bringen [53]. Toyota setzt derzeit neben der Brennstoffzellentechnologie vor allem auf den Hybridantrieb, welcher für eine Mehrheit

der Fahrzeugmodelle verfügbar ist. In Zukunft wird Toyota allerdings auch in den Batterieelektromarkt einsteigen [54]. Daimler hat den Verbrennungsmotor in den USA für die Kleinwagenmarke Smart bereits verboten und setzt ausschließlich auf batterieelektrische Antriebsvarianten [55]. Auch in Deutschland sind alle Smart-Modelle mit einem batterieelektrischen Antrieb verfügbar und der Abschied vom Benzinmotor für das Jahr 2020 geplant [56].

In den nächsten fünf Jahren werden viele neue innovative elektrifizierte Pkw-Modelle Marktreife erreichen. Der Umschwung der Automobilindustrie vom konventionellen Antrieb durch fossile Kraftstoffe hin zu nachhaltigen und umweltschonenden Antriebstechnologien ist bereits in vollem Gange.

2.5 Genauere Betrachtung der Brennstoffzellentechnologie in Deutschland

Im direkten Vergleich mit Batterieelektrofahrzeugen sind Brennstoffzellenfahrzeuge weltweit und speziell in Deutschland deutlich unterrepräsentiert: Zum 1. Januar 2019 waren in Deutschland 112 119 Batterieelektrofahrzeuge, jedoch nur 386 Brennstoffzellenfahrzeuge zugelassen [57]. Die Verteilung der Elektrofahrzeuge auf verschiedene Fahrzeugkategorien ist in Tabelle 26 dargestellt.

Antriebstechnologie	Pkw	Lkw	Zugmaschinen	Anderer ¹⁰	Summe
Batterieelektrisch	83 175	17 598	464	10 882	112 119
Brennstoffzelle (Wasserstoff)	372	1	2	11	386

Tabelle 26: Bestand an Brennstoffzellen- und Batterieelektrofahrzeugen in Deutschland zum 1.1.2019 [57]

Käuflich zu erwerben sind in Deutschland derzeit zwei Modelle mit Brennstoffzellenantrieb: der Toyota Mirai und der Hyundai Nexo. Ein weiterer Vertreter der Brennstoffzellentechnologie ist der Mercedes-Benz GLC F-Cell, welcher allerdings vorerst nur zur Miete angeboten werden wird [38].

Trotz der Subventionen für alternativ angetriebene Fahrzeuge, ist sowohl die Anschaffung als auch der Betrieb eines Wasserstoffautos mit hohen Kosten verbunden. Dies liegt nicht zuletzt an den geringen Absatzzahlen.

Das große Potential für Brennstoffzellenfahrzeuge steckt jedoch in der fluktuierenden Energieerzeugung durch erneuerbare Energien. Der einzige ökonomisch und ökologisch sinnvolle Umgang mit überschüssigem Strom, d. h. Strom, welcher nicht zeitgleich mit seiner Erzeugung verbraucht werden kann, ist die Speicherung. Mit Hilfe von Power-To-Gas-Anlagen kann

¹⁰ Hierzu zählen bei Batterieelektrofahrzeugen Kraftträder, Kraftomnibusse sowie unkategorisierbare sonstige Kfz und bei den Brennstoffzellenfahrzeugen ausschließlich Kraftomnibusse.

elektrische Energie aus dem Netz entnommen und in chemische Energie umgewandelt werden. Der hierbei erzeugte Wasserstoff kann direkt in das Gasnetz eingespeist und bei Bedarf in elektrische Energie rückgewandelt oder zum Antrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen genutzt werden [58].

Bei einer vollständigen Energieversorgung durch regenerative Energiequellen könnten Brennstoffzellenautos damit nicht nur lokal, sondern global emissionsfrei fahren und dabei einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung der Herausforderungen im Umgang mit erneuerbaren Energien leisten.

Im »Klimaschutzprogramm 2030« der aktuellen Bundesregierung wird der Brennstoffzellentechnologie auf mittel- und langfristige Sicht eine wichtige Bedeutung für den Mobilitätssektor zugewiesen. Die Bundesregierung plant bis zum Jahresende 2019 die Ausarbeitung der »Nationalen Wasserstoffstrategie« [59].

3 AUSWAHL, ANSCHAFFUNG UND AUFBAU LADEINFRASTRUKTUR

3.1 Kapitelübersicht

Der Bedarf an Ladeinfrastruktur wird in den kommenden Jahren aufgrund der intensiven Bemühungen seitens Politik und Wirtschaft, als Treiber der Elektromobilität in Deutschland, sowie der gesellschaftlichen Entwicklung hin zu nachhaltigeren Lebensformen aller Voraussicht nach stark ansteigen [1].

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur muss sowohl im öffentlichen Raum, wie auch im halböffentlichen und im privaten Raum, bei welchen Unternehmen eine entscheidende Rolle zukommt, vorangetrieben werden.

In Kapitel 3.2 wird ein Überblick über den aktuellen Status-Quo auf dem Gebiet der Ladesäulent Technologien gegeben. Eine praxisorientierte Unterstützung für Unternehmen bei der Implementierung von Ladeinfrastruktur für die eigene Flotte, Mitarbeiter und Kunden ist durch den in Kapitel 3.3 beschriebenen Leitfaden gegeben.

3.2 Aktuelle Technologie

Aktuell gibt es zwei verschiedene kabelgebundene Ladetechniken, welche in der Praxis angewendet werden: das Laden mit Wechselstrom (AC, engl. alternating current) oder mit Gleichstrom (DC, engl. direct current).

Im deutschen elektrischen Energienetz fließt auf der Spannungsebene, an welcher Ladestationen im Allgemeinen angeschlossen sind, Wechselstrom. Um die Batterie eines Elektrofahrzeugs laden zu können, muss der Wechselstrom zu Gleichstrom gewandelt werden. Geschieht dies bereits in der Ladestation, kann das Fahrzeug mit Gleichstrom geladen werden. Befindet sich der Gleichrichter hingegen im Fahrzeug, wird mit Wechselstrom geladen. Je größer die benötigte Ladeleistung, desto größer, schwerer und teurer ist der dafür benötigte Gleichrichter.

Hieraus lassen sich einige Schlussfolgerungen ableiten:

- Eine DC-Ladesäule ist aufgrund des integrierten Gleichrichters in der Regel teurer als eine AC-Ladesäule.
- DC-Ladesäulen werden erst bei hohen Ladeleistungen (> 22 kW) eingesetzt, bei denen die Kosten, das Gewicht und die Größe des Gleichrichters an Bedeutung gewinnen. Als Beispiel sind Schnellladestationen entlang von Autobahnen zu nennen.
- Falls kein Bedarf zum Schnellladen besteht, werden in der Regel AC-Ladesäulen als Normal-ladestationen vorgezogen.

Die überwiegende Mehrheit der aktuell installierten Ladestationen führen dem Fahrzeug Wechselstrom zu: Zum 9. Juni 2019 waren 16 913 AC-Ladestationen und 1 116 DC-Ladestationen bei der Bundesnetzagentur registriert [2].

3.3 Themenbausteine Leitfaden Ladeinfrastruktur

In diesem Kapitel werden in Form eines Leitfadens anwendbare und praxisnahe Informationen zum Thema Ladeinfrastruktur bereitgestellt. Folgende Themenblöcke sind relevant:

- Planung
- Genehmigung
- Aufbau
- Betrieb

Sowohl für Unternehmen, als auch für Kommunen oder Städte wird eine Orientierung an folgendem Leitfaden empfohlen. Dies soll gewährleisten, dass alle notwendigen Implementierungsschritte beachtet werden. Zusätzlich können im Rahmen einer Zusammenarbeit (z. B. zwischen Unternehmen und Stadt/Kommune) die jeweiligen Aufgaben- und Kostenverantwortlichen identifiziert bzw. bestimmt werden. Diese Verantwortlichen sind jedoch von Stadt zu Stadt bzw. Kommune zu Kommune unterschiedlich. Aus diesem Grund wird im nachfolgenden, allgemeingültigen Leitfaden (Tabelle 27 bis Tabelle 30) nicht darauf eingegangen. Detaillierte Ausführungen zu den einzelnen Implementierungsschritten sind in vielen Fällen auf Nachfrage bei der jeweiligen Kommune bzw. Stadt erhältlich. Der nachfolgende Leitfaden orientiert sich an den Inhalten des Online-Angebots »Starterset Elektromobilität«¹¹ der NOW GmbH.

¹¹ Der Leitfaden ist unter folgendem URL zu finden:
www.starterset-elektromobilitaet.de
(Abrufdatum: 4. Dezember 2019).

Planungsschritte	ggf. Erläuterung
Bestimmung Nutzungsgruppe	(halb-)öffentlich oder privat
Bestimmung Anzahl Ladepunkte	
Prüfung Standortvoraussetzungen	
verfügbare Parkraum	Vorhandensein von ausgewiesenen Parkständen ohne andere spezifische Nutzungszuweisungen und ohne jede zeitliche Einschränkung
Netzinfrastruktur	Verfügbarkeit Netzanschluss/Realisierung Netzanschluss ohne Schwierigkeiten
Anzahl Stellplätze	Anzahl der zur Verfügung stehenden (halb-)öffentlichen Stellplätze
Erreichbarkeit/Zugänglichkeit	Problemloses und ungehindertes Anfahren des Standorts durch zuvor bestimmte Nutzungsgruppen
Sichtbarkeit/Auffindbarkeit	hohe Sichtbarkeit zur Schaffung eines breiten Bekanntheitsgrads bei Bürgerinnen und Bürgern/einfache und schnelle Auffindbarkeit für Autofahrende sowie z. B. Kunden, welche ein Car-Sharing Angebot nutzen möchten
Integration in den Stadtraum	Anpassung an städtebauliche Gestaltungsprinzipien
intermodale Verknüpfung	Anbindung an ÖPNV
Anschlussleistung/Energieversorgung	Informationsbeschaffung zur Anschlusshöhe + Messung verfügbarer Leistung z. B. durch Stadtwerke oder Netzbetreiber
Auswahl Ladetechnologie	Wallbox, AC-/DC-Ladesäule, hauseigene Elektroinstallation, etc.
Auswahl Zugangs-/Nutzungsmodell	Authentifizierung über Ladekabel, Bargeld, RFID-Karte, NFC, etc.
Prüfung Interoperabilität	Kompatibilität der Ladeinfrastruktur mit gängigen Standards wie z. B. CCS (AC Typ 2, DC Combo 2)
Auswahl Abrechnungsmanagement bzw. Tarifmodell	Abrechnung nach Zeit, Energiemenge, kostenlos, pauschal, etc.
Lastmanagement	Reduzierung des Bedarfs der Anschlussleistung (dient zur Vermeidung von Lastspitzen)
Klärung Zeithorizont	zeitlicher Umfang von Antragsstellung über Planung, Genehmigung, Aufbau und Fertigstellung
Prüfung Zukunftsfähigkeit	Prüfung der zu bebauenden Fläche hinsichtlich Ausbaumöglichkeiten (vorhandene Kabelquerschnitte, Leerrohre, etc.)
Erfüllung Mess- und Eichrecht	Einhaltung des Mess- und Eichgesetzes (MessEG) sowie der Mess- und Eichverordnung (MessEV)

Tabelle 27: Allgemeingültiger Leitfaden zur Ladeinfrastruktur – Planungsschritte.

*Tabelle 28: Allgemeingültiger
Leitfaden zur Ladeinfrastruktur –
Genehmigungsschritte.*

Genehmigung	ggf. Erläuterung
Prüfung Förderinstrumente	kommunal, Landesebene, Bundesebene
Prüfung Zustimmung betroffener Personen/Gremien	Eigentümergeinschaft, Vermieter, Hausverwalter, etc.
Prüfung Garagenverordnung	siehe Verordnung des Wirtschaftsministeriums über Garagen und Stellplätze (Garagenverordnung – GaVO) in der Fassung vom 23. Februar 2017
Prüfung Denkmalschutz	Informationen z. B. bei der Gemeindeverwaltung oder dem Landratsamt
Prüfung Netzanschlussvertrag mit Netzbetreiber	Falls ein separater Anschluss an das Stromnetz erfolgt, muss ein Netzanschlussvertrag zw. dem Ladeinfrastruktur-Errichter/-betreiber und dem Netzbetreiber vereinbart werden

Aufbauschritte

Auswahl Fachpersonal

- Ladeinfrastrukturaufsteller
 - lizenzierter Elektroinstallateur

Installationsbedingungen prüfen	<ul style="list-style-type: none"> ■ bei Neuinstallation und Erweiterung einer elektrischen Anlage durch eine Elektrofachkraft durchzuführen ■ Beachtung DIN VDE 0100
Installation und Aufstellung Ladeinfrastruktur	Elektroinstallation (im Niederspannungsbereich) gemäß DIN VDE 0100 ausführen
Gefährdungsbeurteilung	u. a. Gewährleistung eines sicheren Betriebs nach EnWG
Kennzeichnung Parkplatz	Markierung, Signalisierung und Reservierung zur Erkennbarkeit der vorgesehenen Nutzung
Betriebssicherheitsprüfung (Inbetriebnahme)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Durchführung durch lizenzierten eingetragenen Elektrofachbetrieb ■ Prüfung und Dokumentierung aller sicherheitsrelevanten Aspekte ■ Betriebssicherheitsprotokoll

*Tabelle 29: Allgemeingültiger
Leitfaden zur Lade-
infrastruktur – Aufbauschritte.*

Betriebsschritte	ggf. Erläuterung
betriebliche Sicherheit und vorgeschriebene Prüfung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Umsetzen der betrieblichen Sicherheit und aller vorgeschriebenen Prüfungen (BetrSichV, TRBS, DIN VDE, ArbSchG, BGV A3) ■ Systematische Ermittlung von Gefahren ■ Implementierung von Schutzmaßnahmen entsprechend dem Stand der Technik
Notruf-/Serviceprozess	Festlegung des Meldeablaufprozesses sowie der Zuständigkeiten im Störfall (Notrufnummer, Störungsorganigramm)
Erweiterung oder Änderung der Infrastruktur	Im Rahmen einer Erweiterung bestehender Installationen um Ladestationen ist die jeweils gültige VDE 0100 ebenfalls zu beachten
Durchführung Zugangs- bzw. Nutzungsmodell	
Durchführung Abrechnungsmanagement bzw. Tarifmodell	
Betrieb bzw. Auswertung Backend	
Wartung	Festlegung eines Wartungsplans
Steuerbarkeit Ladevorgänge	inkludiert ggf. Sicherstellung Lastmanagement
Sicherstellung Roaming	Nutzung verschiedener Ladeinfrastrukturanbieter
Sicherstellung Ad hoc Zugang	

Tabelle 30: Allgemeingültiger Leitfaden zur Ladeinfrastruktur – Betriebsschritte.

3.4 Ausblick

Die Elektromobilität als Alternative zu herkömmlichen Antriebstechnologien rückt aufgrund intensiver Bemühungen der Politik und Wirtschaft immer weiter in den Fokus [3]. Um den Bedarf an effizienteren und situationsbedingten Lösungsmöglichkeiten für aktuelle und zukünftige Mobilitäts Herausforderungen zu decken, muss der Fokus auf eine beständige Neu- bzw. Weiterentwicklung gesetzt werden. Die in diesem Unterkapitel genannten Technologien und Aspekte geben einen Ausblick über zukünftige Entwicklungen.

Technik, politische Rahmensetzung sowie Richtlinien und Normen unterliegen einer hohen Dynamik. Als Unterstützung zu bestehenden Entwicklungen gedacht, müssen auch sie sich, parallel zur Technik, mit einer Neuauslegung bzw. Weiterentwicklung konfrontiert sehen.

Induktives Laden

Beim induktiven Laden wird kabellos Energie aus dem elektrischen Energienetz auf die Batterie im Elektrofahrzeug übertragen. Die dazu notwendige Einrichtung kann stationär als Grundplatte in einer Garage oder auf Parkplätzen angebracht sein. Die Energieübertragung erfolgt über elektromagnetische Wechselwirkungen [4].

Die Ladeinfrastruktur umfasst den Anschluss an die Energieversorgung, eine Ladeeinrichtung mit der notwendigen Leistungselektronik und eine stationäre Ladeplatte. Die Ladeeinrichtung kann fest installiert oder mobil sein. Über die Ladeplatte, welche eine Primärspule enthält, wird ein hochfrequentes magnetisches Wechselfeld aufgebaut. In der Sekundärspule, die am Fahrzeug angebracht ist, wird eine Spannung induziert, wodurch die Energie aufgenommen und über weitere Elektronik in den benötigten Gleichstrom umgewandelt wird, welcher für die Ladung der Hochvoltbatterie vonnöten ist [5].

Das induktive Laden erleichtert den Ladevorgang und stellt einen erheblichen Fortschritt gegenüber kabelgebundenen Ladetechnologien dar. Das Ladesystem benötigt keine Stecker, kein Ladekabel und keine sichtbare Ladesäule [6].

Induktives Laden kann sowohl im öffentlichen wie auch im privaten Bereich eingesetzt werden. Zu einem vollständig funktionierenden System gehören Netzanschluss, Gleichrichter, hochfrequenter Wechselrichter, Blindleistungskompensationsschaltung und Primärspule. Das Fahrzeug muss über eine Schnittstelle zum induktiven Laden verfügen, welche aus Sekundärspule, Blindleistungskompensation, Gleichrichter und Gleichsteller besteht [4, 5, 7].

Das induktive Laden könnte in Zukunft eine Alternative zur kabelgebundenen Ladetechnik darstellen. Als erster Automobilhersteller hat das Unternehmen BMW bereits ein induktives Ladesystem in den Handel gebracht. Die Kosten belaufen sich hierfür auf ca. 3000 € [8]. Aufgrund der geringen Ladeleistung und aus Effizienzgründen ist die Technik derzeit nicht verbreitet.

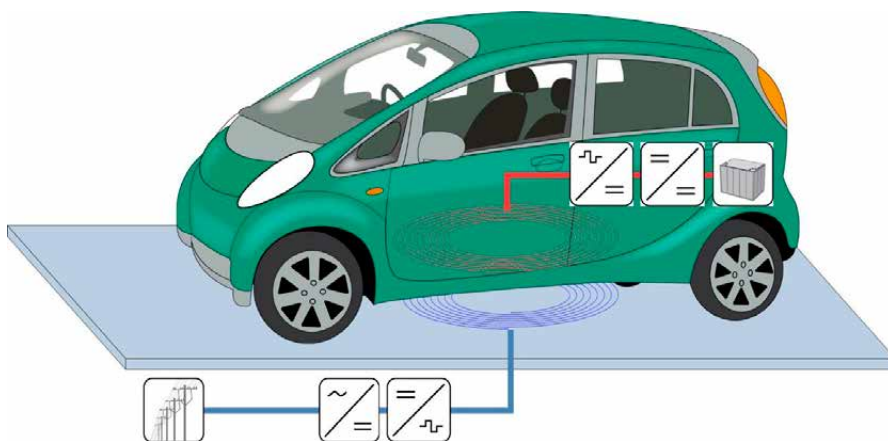


Abbildung 10: Verfahrensablauf des induktiven Ladens.
© Fraunhofer ISE

Intelligente Stromnetze – »Smart Grids«

In Smart Grids werden Lastflüsse aus der Erzeugung, der Speicherung und dem Verbrauch intelligent gesteuert. Hierdurch lässt sich ein effizienter Betrieb und eine sichere Energieversorgung trotz des steigenden Anteils der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gewährleisten. Durch eine zentrale Steuerung mit Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) oder dezentral organisierter Energiemanagementsysteme, werden diese Bestandteile optimal aufeinander abgestimmt. Smart Grids werden in Zukunft flächendeckend benötigt, um Leistungsschwankungen im elektrischen Energienetz ausgleichen zu können. Eine schematische Darstellung eines Smart Grids ist in Abbildung 11 zu finden [9].

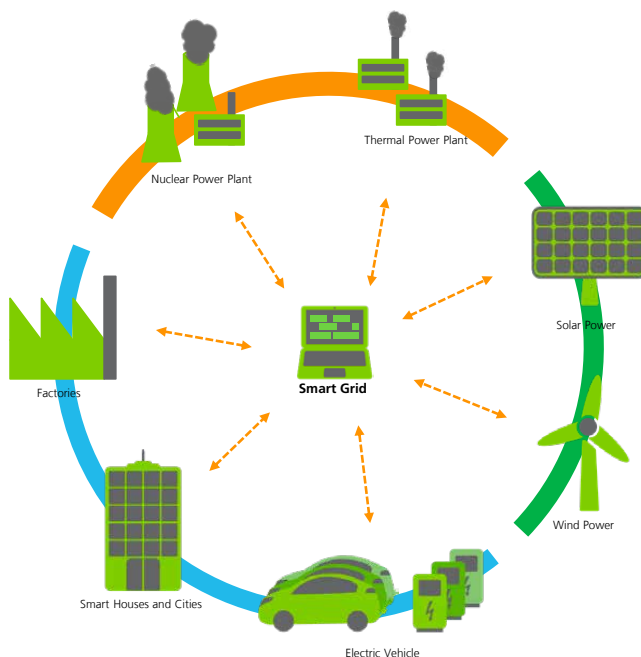


Abbildung 11: Schematische Darstellung eines Smart Grids.

Bedeutung von E-Fahrzeuge in der Zukunft

Die aktuellen Entscheidungen und das Vorgehen in Politik und Wirtschaft verdeutlichen, dass das Thema Elektromobilität an Zuspruch gewinnt. Auch in der öffentlichen Wahrnehmung rücken Elektrofahrzeuge immer weiter in den Fokus. Der Anteil der Fahrzeuge wird in den kommenden Jahren ansteigen [10].

Viele Automobilhersteller planen Ihre Fahrzeugflotten in den kommenden Jahren stark zu elektrifizieren und sehen das Elektroauto nicht mehr nur als Ergänzung, sondern als Ersatz- und Zukunftstechnologie für den konventionellen Antrieb in der Fahrzeugindustrie.

Der Grundbaustein für die Fahrzeugnutzung ist die Ladeinfrastruktur. Neben der Anzahl an Elektrofahrzeugen auf den Straßen wird auch die Anzahl der dazu benötigten Ladeinfrastruktur ansteigen. Das Laden der Batterie stellt auch aus Kundensicht einen entscheidenden Faktor dar, wenn es um die Attraktivität von Elektrofahrzeugen geht. Dem Kunden sollte u. a. durch eine flächendeckende Versorgung die Nutzung vereinfacht werden.

4 FÖRDERMÖGLICHKEITEN LADEINFRASTRUKTUR

4.1 Kapitelübersicht

Um für Unternehmen die Errichtung von Ladeinfrastruktur attraktiv zu gestalten, stellen finanzielle Subventionen einen wichtigen Ansatz dar. Aktuell existieren folgende Förderinstrumente für die Errichtung von Ladeinfrastruktur auf Bundes- sowie auf Landesebene in Baden-Württemberg:

- »Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland« des BMVI
- »E-Taxi Ladeinfrastruktur« des Landes Baden-Württemberg
- Pilotprojekt »Intelligente Netzanbindung von Parkhäusern und Tiefgaragen (INPUT)« des Landes Baden-Württemberg

Ein Förderaufruf besteht derzeit für das Programm »E-Taxis Ladeinfrastruktur« und das Pilotprojekt »INPUT«. Der vierte Förderaufruf für das Förderinstrument des BMVI ist abgelaufen (Stand: 1.2020). Konkrete Informationen zu einem nachfolgenden fünften Förderaufruf liegen zurzeit nicht vor.

Je nach Sitz des Unternehmens können eventuell weitere Förderprogramme auf kommunaler Ebene in Anspruch genommen werden. Für Unternehmen außerhalb Baden-Württembergs gilt es zu prüfen, ob ebenfalls Fördermöglichkeiten auf Landesebene zur Verfügung stehen.

4.2 »Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland« des BMVI

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) als Fördergeber zielt mit der »Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland« auf den Ausbau eines flächendeckenden Versorgungsnetzes ab.

Zuwendung

Antragsberechtigt sind natürliche und juristische Personen. Zu den antragsberechtigten Unternehmen gehören auch die Kommanditgesellschaft und die OHG. Eine Gesellschaft bürgerlichen Rechts (GbR) und eine Wohnungseigentümergeinschaft (WEG) sind nicht antragsberechtigt.

Geförderte Betriebstechnologie und Förderhöhe

Das BMVI fördert die für den Betrieb von Elektrofahrzeugen notwendige Ladeinfrastruktur (Serienprodukte). Die Förderung erfolgt als Investitionszuschuss, der sich auf Grundlage der jeweiligen zuwendungsfähigen Ausgaben für Normalladepunkte und Schnellladepunkte sowie für den Netzanschluss berechnet. Eine Förderung von Leasingraten oder Mietkosten ist ausgeschlossen. Der Eigenanteil des Antragstellers beträgt mindestens 50 Prozent der zuwendungsfähigen Kosten.

¹² Die Ladesäulen Bedarfskarte des BMVI ist unter der folgenden URL zu finden: <https://www.zdm-emob.de/Kartendarstellung/NLPuSLP4.html> (Abrufdatum: 15. Januar 2020).

Die Unterteilung zwischen blauen und grauen Bereichen lässt sich durch heranzoomen der Karte »S-LP« einstellen.

Die Förderhöhe variiert in Abhängigkeit der Ladeleistung (AC-/DC-Ladepunkte) sowie bei DC-Ladesäulen in Abhängigkeit vom Bedarf am jeweiligen Standort. Das BMVI unterteilt den Bedarf in blaue und graue Bereiche¹². Die blauen Bereiche weisen einen hohen Bedarf an DC-Ladesäulen auf, wohingegen für die grauen Bereiche ein geringer Bedarf an DC-Ladesäulen besteht.

Es ergeben sich folgende Förderquoten, welche auf die zuwendungsfähigen Ausgaben des Antragstellers berechnet werden: Normalladepunkte (3,7 bis einschließlich 22 kW)		max. 40 % bis höchstens 2500 € pro Ladepunkt
Schnellladepunkt ab 50 bis kleiner als 100 kW	Grauer Bereich	max. 30 % bis höchstens 9000 €
	Blauer Bereich	max. 50 % bis höchstens 12 000 €
Schnellladepunkt ab einschließlich 100 kW	Grauer Bereich	max. 30 % bis höchstens 23 000 €
	Blauer Bereich	max. 50 % bis höchstens 30 000 €
Netzanschluss		bis höchstens 5000 € für den Anschluss an das Niederspannungsnetz bis höchstens 50 000 € für den Anschluss an das Mittelspannungsnetz
Modernisierungsmaßnahme		max. 40 % der Investitionssumme (Höchstbeträge abhängig je nach Kategorie der Modernisierung, siehe oben)

Tabelle 31: Ladeinfrastrukturförderung des BMVI.

Die Förderung der Ladeinfrastruktur gilt pro Ladesäule. Der Netzanschluss wird pro Standort gefördert. Ein Netzanschluss alleine (ohne Installation einer Ladesäule) wird nicht gefördert.

Zuwendungsfähige Ausgaben für Normal- und Schnellladepunkte sind z. B.:

- Ladeeinrichtung
- Leistungselektronik
- Abgesetzte Leistungseinheiten
- Kennzeichnung
- Parkplatzmarkierung
- Anfahrschutz
- Beleuchtung
- Wetterschutz/Überdachung der Ladeeinrichtung
- Tiefbau
- Fundament
- Installation und Inbetriebnahme
- WLAN
- Vorbereitung der Ladeinfrastruktur für die spätere Unterstützung von ISO/IEC 15118 (Power Line Communication)

Zuwendungsfähige Ausgaben für den Netzanschluss sind z. B. (nur als Bestandteil eines Antrags auf die Förderung von Ladepunkten):

- Netzanschluss
- Zähleranschlusssäule
- Ertüchtigung eines bestehenden Netzanschlusses im Sinne von Nummer 2 der Förderrichtlinie
- Umspannstation
- Baukostenzuschuss
- Hardware/Software für gesteuertes und lastoptimiertes Laden
- Ausgaben für Aufrüstung und Ersatzbeschaffung bei zusätzlichem Mehrwert
- Pufferspeicher

Fördervoraussetzungen

Gefördert wird kartenbasiert nach dem Kriterium der flächendeckenden und nutzerorientierten Bedarfsdeckung und letztlich über das Kosten-Nutzen-Verhältnis des Ladeinfrastrukturaufbaus. Der Betreiber verpflichtet sich dazu, den Ladepunkt öffentlich zugänglich zu machen und diesen für eine Mindestdauer von sechs Jahren zu betreiben.

Voraussetzung für die Zuwendung für Ladeinfrastruktur ist, dass der für den Ladevorgang erforderliche Strom aus erneuerbaren Energien oder aus vor Ort eigenerzeugtem regenerativem Strom (z. B. Strom aus Photovoltaik-Anlagen) stammt.

Kombination mit anderen Förderprogrammen

Eine kumulierte Förderung in Verbindung mit anderen öffentlichen Förderprogrammen ist nicht möglich.

Antragsstellung

¹³ Der Antrag erfolgt direkt über das BAFA: <https://fms.bafa.de/BafaFrame/umweltbonus>
(Abrufdatum: 4. Dezember 2019).

Der Förderantrag muss online gestellt werden¹³. Das Förderprogramm ist keine dauerhafte Förderung. Der vierte Förderaufruf endete am 30. Oktober 2019. Konkrete Informationen über einen fünften Förderaufruf liegen derzeit nicht vor. (Stand: 27.11.2019)

In der Regel wird einem Antrag eine Vorhabenbeschreibung beigefügt. Eine kumulierte Antragsstellung über die Kommune oder Stadt ist entsprechend zu empfehlen.

Bei Bedarf können weitere Informationen den Quellen dieses Kapitels (vgl. [1, 2]) entnommen werden.

4.3 »E-Taxi Ladeinfrastruktur« des Landes Baden-Württemberg

Das Land Baden-Württemberg fördert den Bau und Betrieb von Ladeinfrastruktur für E-Taxis.

Zuwendung

Förderfähig sind natürliche und juristische Personen, die den oben genannten Bau und Betrieb von Ladeinfrastruktur für E-Taxis gewährleisten können. Der Sitz der Personen muss sich in Baden-Württemberg befinden.

Geförderte Betriebstechnologie und Förderhöhe

Gefördert wird Schnellladetechnologie für E-Taxis.

60 Prozent der zuwendungsfähigen Ausgaben für DC-Schnellladepunkte (mehr als 22 kW):

- bis 12 000 € pro Ladepunkt kleiner als 100 kW
- bis 30 000 € für Ladepunkte ab einschließlich 100 kW

60 Prozent der zuwendungsfähigen Ausgaben für den Netzanschluss:

- bis 5 000 € für den Anschluss an das Niederspannungsnetz
- bis 50 000 € für den Anschluss an das Mittelspannungsnetz

Zu den zuwendungsfähigen einmaligen Ausgaben gehören insbesondere:

- Anschaffung und Installation von Ladeinfrastruktur inkl. Leistungselektronik
- Tiefbau, Fundament, Installation und Inbetriebnahme
- Notwendiger Netzanschluss bzw. Ertüchtigung des bestehenden Netzanschlusses, alternativ Pufferspeicher zur Versorgung der Ladeinfrastruktur gemäß der Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Baden-Württemberg (Stand: Dezember 2017)
- Ausstattung mit Steuerungs- und Kommunikationsfunktionalitäten
- Kennzeichnung, Parkplatzmarkierung, Parkplatzsensoren
- Anfahrschutz, Beleuchtung, Wetterschutz/Überdachung
- WLAN

Fördervoraussetzungen

Zuwendungsvoraussetzungen:

- Die technischen Mindeststandards in Bezug auf die Ladestecker richten sich nach der Ladestützenverordnung (LSV) in der jeweils aktuellen Fassung.
- Eine ständige Zugänglichkeit für E-Taxis muss garantiert werden.
- Es muss Strom aus erneuerbaren Energien verwendet werden.
- Die Ladeinfrastruktur muss innerhalb von sechs Monaten nach Zugang des Zuwendungsbescheides in Betrieb genommen werden und mindestens 6 Jahre ab Fertigstellung an dem im Antrag definierten Ort in Baden-Württemberg in Betrieb sein.
- Es ist eine Bodenmarkierung und Beschilderung an den Stellplätzen der geförderten Ladeinfrastruktur anzubringen.
- Stell- bzw. Ladeplätze an der Ladestation müssen als taxiexklusiv ausgewiesen sein.
- Die Vorbereitung der Ladeinfrastruktur für die spätere Unterstützung der Umsetzung von ISO/IEC 15118 (Power Line Communication) wird empfohlen.
- Die Remotefähigkeit des Ladepunktes ist sicherzustellen.
- Die maximale Ladeleistung der Ladestation muss abwärtskompatibel sein.
- Meldepflichten und Netzanschlussbedingungen des Netzbetreibers sind einzuhalten.
- Die Ladestation muss mess- und eichrechtskonform betrieben werden.
- Die Ladestation muss nach dem aktuellen Stand der Technik hinsichtlich IT-Sicherheit und Datenschutz betrieben werden.
- Die Auffindbarkeit, Nutzbarkeit, einfache Zugänglichkeit (Authentifizierung und Abrechnung) und Preistransparenz sind zu gewährleisten.

Private bzw. betriebliche Ladestationen sind nicht förderfähig. Die Ladepunkte müssen grundsätzlich exklusiv öffentlich für E-Taxis nutzbar sein.

¹⁴ Der Antrag kann unter folgendem URL gestellt werden: <https://www.l-bank.de/produkte/finanzhilfen/e-taxis.html>

(Abrufdatum:
4. Dezember 2019).

Antragsstellung

Der Förderauftrag ist seit Juni 2019 ausgeschrieben. Die Antragstellung erfolgt online über ein Portal der Landeskreditbank Baden-Württemberg (L-Bank), welche vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg mit der Abwicklung der Förderung beauftragt ist.¹⁴

Bei Bedarf können weitere Informationen der Quelle dieses Kapitels (vgl. [3]) entnommen werden.

4.4 Pilotprojekt »Intelligente Netzanbindung von Parkhäusern und Tiefgaragen (INPUT)« des Landes Baden- Württemberg

Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg fördert Pilotprojekte, bei denen durch den Einbau von Ladeinfrastruktur für Elektromobilität in Parkhäuser, Parkplätze und Tiefgaragen die Anbindung an das Stromnetz beispielhaft aufgezeigt und intelligent umgesetzt wird.

Zuwendung

Förderfähig sind

- natürliche Personen, Unternehmen, rechtsfähige Personengesellschaften sowie juristische Personen des privaten Rechts,
- juristische Personen des öffentlichen Rechts und
- Hochschulen und außeruniversitäre Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen.

Zudem ist eine gemeinsame Antragsstellung durch mehrere Antragsteller (Konsortium) zulässig und ausdrücklich erwünscht. Darüber hinaus wird die Beteiligung eines Eigentümers der Parkhäuser, Parkplätze oder Tiefgaragen vorausgesetzt, sowie die Beteiligung eines Netzbetreibers als zumindest assoziiertem Partner angestrebt. Es können nur Projekte gefördert werden, die in Baden-Württemberg umgesetzt werden.

Geförderte Betriebstechnologie und Förderhöhe

Ziel ist die Förderung von innovativen intelligenten Lade-, Last- und Nutzungskonzepten für die Anwendungsfälle Parkhäuser, Parkplätze und Tiefgaragen. Daher erfüllen mögliche Projektbestandteile aus unterschiedlichen Kategorien wie »Hardware«, »standortbezogene Spitzenlastanalysen«, »Software« und »Dienstleistungen und Geschäftsmodelle« die Zuwendungsvoraussetzungen. In der Kategorie »Hardware« kann unter anderem die Förderung von Ladeinfrastruktur/Ladesäulen/Wallboxen, welche eine intelligente Netzanbindung unterstützen, beantragt werden.

Die Zuwendung wird im Wege der Projektförderung auf Antrag als Anteilsfinanzierung in Form eines Zuschusses gewährt. Die Summe der zuwendungsfähigen Ausgaben sollte mindestens 100 000 € betragen. Der Zuschuss beträgt bis zu 40 Prozent der förderfähigen Ausgaben, höchstens jedoch 500 000 € je Vorhaben.

Fördervoraussetzungen

Zuwendungen können nur für Projekte bewilligt werden, mit denen im Zeitpunkt der Bewilligung noch nicht begonnen worden ist. Darüber hinaus müssen diese so konzipiert sein, dass sich ihre Ergebnisse im Hinblick auf Technik und Wirtschaftlichkeit für eine Übertragung auf andere Parkhäuser, Parkplätze und Tiefgaragen eignen und eine Projektlaufzeit von 1,5 Jahren nicht überschritten wird.

Kombination mit anderen Förderprogrammen

Eine Kumulierung mit anderen Förderprogrammen des Landes Baden-Württemberg ist nicht zulässig. Eine Kumulierung mit anderen öffentlichen Förderprogrammen, z. B. der Europäischen Union oder des Bundes ist grundsätzlich zulässig und muss im Einzelnen geprüft werden.

Antragsstellung

Dem Förderverfahren geht ein Teilnahmewettbewerb mit Auswahlverfahren voraus. Anträge sind aktuell bis zum 20. März 2020 an den Projektträger zu richten¹⁵. Vermutlich wird alle 6 Monate eine Wiedervorlagemöglichkeit bestehen.

Bei Bedarf können weitere Informationen der Quelle dieses Kapitels (vgl. [4]) entnommen werden.

¹⁵ Mit der Betreuung und Umsetzung des Förderprogramms ist der Projektträger Karlsruhe (PTKA) beauftragt. Ansprechpartner ist Herr Dipl.-Ing. Roland Heintz (roland.heintz@kit.edu).

5 FÖRDERMÖGLICHKEITEN FAHRZEUGE

5.1 Kapitelübersicht

Neben einer Förderung für die Errichtung von Ladeinfrastruktur ist auch eine Steigerung der Attraktivität hinsichtlich des Fahrzeugkaufs notwendig. Aktuell existieren folgende sechs Förderinstrumente für den Fahrzeugwerb auf Bundes- und Landesebene in Baden-Württemberg:

- »Umweltbonus« des BAFA
- »Sofortprogramm saubere Luft« des BMVI
- »Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie« des BMVI
- »BW-e-Gutschein« des Landes Baden-Württemberg
- »E-Taxis« des Landes Baden-Württemberg

Zum aktuellen Zeitpunkt besteht kein Förderaufruf für das »Sofortprogramm saubere Luft« des BMVI. Die übrigen vier Förderinstrumente können derzeit in Anspruch genommen und teilweise untereinander kombiniert werden (Stand: 12.2019).

Je nach Sitz des Unternehmens können eventuell weitere Förderprogramme auf kommunaler Ebene in Anspruch genommen werden. Für Unternehmen außerhalb Baden-Württembergs gilt es zu prüfen, ob ebenfalls Fördermöglichkeiten auf Landesebene zur Verfügung stehen.

5.2 »Umweltbonus« des BAFA

Der Bund und die Automobilhersteller als Fördergeber bezuschussen die Anschaffung von alternativen Antriebstechnologien.

Zuwendung

Die Zuwendung gilt für Privatpersonen, Unternehmen, Stiftungen, Körperschaften und Vereine. Nicht antragsberechtigt sind Bund und Bundesländer sowie deren Einrichtungen, Kommunen, Automobilhersteller, die sich an der Finanzierung des Umweltbonus beteiligen sowie deren Tochtergesellschaften.

Geförderte Betriebstechnologie und Förderhöhe

Förderfähig sind batterieelektrische Fahrzeuge, Plug-In Hybride und Brennstoffzellenfahrzeuge¹⁶. Voraussetzung ist der Kauf oder das Leasing eines Fahrzeugs. Ebenfalls förderfähig sind Fahrzeuge, gleich welchen Antriebs, welche weniger als 50 g CO₂-Emissionen pro Kilometer aufweisen. Fahrzeugumrüstungen werden nicht bezuschusst.

Weiterhin können grundsätzlich nur solche Fahrzeuge gefördert werden, welche ab dem 18. Mai 2016 erstmalig in Deutschland zugelassen wurden und deren Nettolistenpreis 60 000 € nicht überschreitet. Hierdurch sind bspw. der Audi e tron quattro oder der Jaguar I-Pace von dieser Förderung ausgeschlossen. Von der 60 000 € Klausel ist seit dem 6. März 2018 das »Model S« des amerikanischen Automobilherstellers Tesla ausgenommen. Eine Übersicht der Förderbeträge liefert Tabelle 32.

Batterieelektro- und Brennstoffzellenfahrzeug	Bund: 2000 € Automobilhersteller: 2000 €	keine lokalen CO ₂ -Emissionen
Plug-In Hybrid und andere Antriebe	Bund: 1500 € Automobilhersteller: 1500 €	weniger als 50 g CO ₂ -Emission pro km

Der Anteil wird zum aktuellen Zeitpunkt jeweils zu gleichen Teilen durch Automobilhersteller und Bund getragen (Stand: 11.2019). Der Anteil, welcher von Seiten der Automobilhersteller getragen werden muss, wird beim Kauf abgezogen, der Anteil des Bundes muss nach dem Kauf beim Bundesamt für Wirtschaft- und Ausfuhrkontrolle beantragt werden.

Beim Autogipfel im Kanzleramt am 5. November 2019 wurde beschlossen, den Bundesanteil der Förderung für alle bisher geförderten Antriebstechnologien zu verdoppeln [2].

Zusätzlich ist der Erwerb eines akustischen Warnsystems (AVAS¹⁷) förderfähig. Dies muss zum Zeitpunkt des Erwerbs serienmäßig vom Hersteller oder durch eine autorisierte Werkstatt eingebaut worden sein. Der Einbau muss in ein gemäß der Richtlinie zu förderndes Fahrzeug erfolgt sein. Die Förderung beträgt pauschal 100 € pro Fahrzeug.

¹⁶ Die Liste der förderfähigen Fahrzeuge ist unter dem folgenden Link zu finden: www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/mob_liste_foerderfaehige_fahrzeuge.pdf?__blob=publicationFile&v=96 (Abrufdatum: 4. Dezember 2019).

Tabelle 32: Förderung Fahrzeuge Umweltbonus.

¹⁷ Elektrofahrzeuge sind bei geringen Geschwindigkeiten sehr leise und damit insbesondere für blinde und sehbehinderte Menschen schwer wahrnehmbar. Bei dem Acoustic Vehicle Alerting System (kurz: AVAS) handelt es sich um eine akustische Zusatzrichtung.

Fördervoraussetzungen

Folgende Voraussetzungen gelten für die Bewilligung eines Antrags:

¹⁸Die Liste der förderfähigen Fahrzeuge ist unter dem folgenden Link zu finden:
www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/emb_liste_foerderfaehige_fahrzeuge.pdf?__blob=publicationFile&v=96
(Abrufdatum: 16. Januar 2020).

- Der Netto-Listenpreis des Basismodells darf 60 000 € netto nicht überschreiten.
- Der Anteil der Automobilhersteller an der Fördersumme wird vom Kaufpreis abgezogen. Der Anteil des Bundes muss nach dem Kauf des Fahrzeugs auf Initiative des Käufers beantragt werden.
- Das Fahrzeugmodell muss sich auf der Liste der förderfähigen Fahrzeuge¹⁸ befinden.
- Der Erwerb (Kauf oder Leasing) sowie die Erstzulassung müssen ab dem 18. Mai 2016 erfolgt sein.
- Das Fahrzeug muss im Inland auf den Antragsteller zugelassen werden (Erstzulassung) und mindestens sechs Monate zugelassen bleiben.
- Fahrzeuge müssen zu einer der Klassen M1 und N1 bzw. N2 gehören, soweit diese mit einer Fahrerlaubnis der Klasse B im Inland geführt werden dürfen.

Kombination mit anderen Förderprogrammen

Eine Kombination mit anderen Förderprogrammen ist zulässig.

Antragsstellung

¹⁹Der Antrag erfolgt direkt über das BAFA: <https://fms.bafa.de/BafaFrame/umweltbonus>
(Abrufdatum: 4. Dezember 2019).

Die Antragstellung erfolgt über ein Online-Portal.¹⁹ Die Förderung kann erst nach dem Abschluss eines Kauf- oder Leasingvertrags beantragt werden.

Bei Bedarf können weitere Informationen der Quelle dieses Kapitels (vgl. [3]) entnommen werden.

5.3 »Sofortprogramm saubere Luft« des BMVI

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur fördert mit dem »Sofortprogramm saubere Luft« u. a. die Elektrifizierung des urbanen Verkehrs. Gefördert wird die Anschaffung von Batterieelektro- und Plug-In-Hybridfahrzeugen. Brennstoffzellenfahrzeuge werden nicht gefördert.

Zuwendung

Das Sofortprogramm saubere Luft richtet sich an Städte, Gemeinden, Landkreise, Zweckverbände, Landesbehörden, kommunale und Landesunternehmen sowie sonstige Betriebe und Einrichtungen, die in kommunaler Trägerschaft stehen oder gemeinnützigen Zwecken dienen. Für

kommunale Eigenbetriebe ohne eigene Rechtspersönlichkeit ist die jeweilige Kommune antragsberechtigt. Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft sind antragsberechtigt, sofern die Kommune bestätigt, dass die Maßnahme Teil eines kommunalen Elektromobilitätskonzeptes ist.

Geförderte Betriebstechnologie und Förderhöhe

Die Beschaffung von Neufahrzeugen bzw. von Fahrzeugen mit einer maximalen Laufleistung von 1000 km wird gefördert. Eine Förderung von Leasingraten oder Mietkosten ist ausgeschlossen.

Zur Bestimmung der Fördersumme werden in einem ersten Schritt die Investitionsmehrkosten für ein Elektrofahrzeug, d. h. die Differenz zwischen dem Listenpreis²⁰ eines förderungsfähigen Fahrzeuges und einem Referenzfahrzeug, berechnet. In einem weiteren Schritt wird die Förderquote bestimmt, welche sich für wirtschaftlich agierende Unternehmen zwischen 40 Prozent und 60 Prozent bewegt. Gefördert wird der durch die Förderquote bestimmte Anteil an den Investitionsmehrkosten. Die Förderquote hängt von den Geschäftszahlen und der Größe des antragstellenden Unternehmens ab und kann Tabelle 33 entnommen werden.

Kategorie	Mitarbeiterzahl	Umsatz	Bilanzsumme	Förderquote
Klein	Unter 50	Max. 10 Mio. €	Max. 10 Mio. €	60 %
Mittelgroß	Unter 250	Max. 50 Mio. €	Max. 43 Mio. €	50 %
Groß	sonst			40 %

Bei der Bestimmung der Unternehmenskategorie ist zu beachten, dass sowohl die Mitarbeiterzahl, als auch der Umsatz oder die Bilanzsumme einer Kategorie erfüllt sein müssen, um dieser zugeordnet werden zu können. Es müssen mindestens zwei Fahrzeuge pro Antrag beschafft werden. Der Antrag ist online zu stellen.²¹

In nicht wettbewerblichen Bereichen wird die Fahrzeugbeschaffung im Regelfall mit 75 Prozent der Investitionsmehrkosten gefördert, bei finanzschwachen Kommunen sogar mit 90 Prozent.

²⁰ Falls das antragstellende Unternehmen vorsteuerabzugsberechtigt ist, werden die Netto-Listenpreise herangezogen. Ist dies nicht der Fall, wird mit den Brutto-Listenpreisen gerechnet.

Tabelle 33: Einstufung von wirtschaftlich tätigen Unternehmen nach KMU-Definition.

²¹ Der Antrag muss über das Easy-Online-Portal gestellt werden: <https://foerderportal.bund.de/easyonline> (Abrufdatum: 4. Dezember 2019).

Fördervoraussetzungen

- Es sind mindestens zwei förderfähige Fahrzeuge pro Antrag erforderlich.
- Das Fahrzeug muss über einen Zeitraum von mindestens zwei Jahren ab Kauf im Eigentum des Antragsstellers verbleiben.
- Die Anschaffung des Fahrzeugs muss für Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft innerhalb eines Zeitraums von einem Jahr nach Bewilligung des Förderantrags stattfinden.
- Für alle anderen Zuwendungsempfänger stehen 18 Monate für die Anschaffung zur Verfügung.
- Plug-In-Hybridfahrzeuge, die eine Reichweite unter ausschließlicher Nutzung der elektrischen Antriebsmaschine von mindestens 50 km erreichen oder eine CO₂-Emission von 50 g/km unterschreiten, sind ebenfalls förderfähig.
- Fokus der Fördermaßnahme sind straßengebundene Elektrofahrzeuge der europäischen Fahrzeugklassen M1-M3 (Pkw/Busse), der Klassen N1-N3 (Nfz) sowie L2e, L5e, L6e, L7e (Leichtfahrzeuge) gemäß Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates.
- Nicht förderfähig sind Fahrzeuge mit Antriebsbatterie auf Bleibasis.

Kombination mit anderen Förderprogrammen

Grundsätzlich ist eine Förderung in Kombination mit anderen Förderprogrammen möglich. Es besteht jedoch eine Abhängigkeit zur Art der Förderung durch das andere Förderprogramm (Prüfung in Einzelfällen durch das BMVI).

Antragsstellung

Ein Antrag für eine Förderung im Rahmen des »Sofortprogramms saubere Luft« erfordert in der Regel eine Vorhabenbeschreibung. Dementsprechend ist eine gebündelte Antragsstellung über Städte und Kommunen beim BMVI empfohlen.

Da dieses Programm kein dauerhaftes Förderprogramm ist, kann eine Bewerbung nur innerhalb der veröffentlichten Fristen der einzelnen Förderaufrufe erfolgen. Aktuell gibt es keinen Förderaufruf.

Bei Bedarf können weitere Informationen den Quellen dieses Kapitels (vgl. [4, 5, 6]) entnommen werden.

5.4 »Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)« des BMVI

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur fördert mit dem »Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)« die Anschaffung von Brennstoffzellenfahrzeugen. Fokus ist die Förderung von Brennstoffzellenfahrzeugen im ÖPNV und in Flotten.

Zuwendung

Förderfähig sind Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. In begründeten Ausnahmefällen können auch Vorhaben von Gebietskörperschaften sowie weiteren rechtsfähigen Organisationen gefördert werden. Insbesondere sollen kleine und mittlere Unternehmen zur Antragsstellung ermutigt werden. Die Fahrzeuge müssen im Linienverkehr des ÖPNV oder in einer Fahrzeugflotte eingesetzt werden.

Geförderte Betriebstechnologie und Förderhöhe

Die Förderung gilt als Investitionszuschuss mit einer Förderquote von bis zu 40 Prozent der Differenzkosten eines Brennstoffzellenfahrzeugs zu einem konventionell angetriebenen Fahrzeug. Diese Kosten beziehen sich auf einen Vergleich zwischen einem von Art und Ausstattungsmerkmalen ähnlichen Referenzfahrzeug (auf Basis der Grundausstattung) und dem Brennstoffzellenfahrzeug. Für kleine und mittlere Unternehmen kann ein zusätzlicher Bonus von 20 Prozent respektive 10 Prozent gewährt werden, sofern das Vorhaben andernfalls nicht durchgeführt werden kann (Kategorisierung der Unternehmen: siehe Tabelle 33). Die Investitionsmehrausgaben je Fahrzeugmodell sind vom BMVI in Anlage 1 zum Förderaufruf 5/2018 festgelegt. Die einzigen momentan förderfähigen Modelle sind der Toyota Mirai sowie der Hyundai Nexi (Beschreibung siehe Kapitel 2.2).

Fördervoraussetzungen

Es sind mindestens drei förderfähige Fahrzeuge pro Antrag erforderlich.

Kombination mit anderen Förderprogrammen

Das Förderprogramm ist derzeit nicht mit dem Umweltbonus des BAFA kombinierbar.

Antragsstellung

Ein Antrag für eine Förderung im Rahmen des NIP erfordert in der Regel eine Vorhabenbeschreibung. Dementsprechend ist eine gebündelte Antragsstellung über Städte und Kommunen beim BMVI empfohlen. Der Antrag ist online zu stellen.²²

Bei Bedarf können weitere Informationen der Quelle dieses Kapitels (vgl. [7]) entnommen werden.

²² Der Antrag muss über das Easy-Online-Portal gestellt werden: <https://foerderportal.bund.de/easyonline> (Abrufdatum: 4. Dezember 2019).

5.5 Land Baden-Württemberg

5.5.1 »BW-e-Gutschein«

Auf Landesebene fördert das Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg im Rahmen des Förderprogramms »BW-e-Gutschein« den Betrieb und den Unterhalt von batterie-elektrischen Fahrzeugen sowie die Errichtung von Ladeinfrastruktur.

Zuwendung

Als antragsberechtigt gelten folgende Zuwendungsempfänger:

- Fahrschulbetriebe
- Carsharing-Unternehmen
- Pflege- und Sozialdienste
- Bürgerbusvereine
- Unternehmen mit ÖPNV-Servicefahrzeugen
- Kommunale Betriebe
- Kommunen
- Medizinische Dienste
- Landkreise
- Gewerbetreibende mit Lieferverkehr

Diese Zuwendungsempfänger müssen nach dem Stichtag 1. 2017 in Baden-Württemberg ein neues Elektrofahrzeug (gemäß § 2 Nr. 2 EmoG) bestellen und zulassen und damit überwiegend in Baden-Württemberg verkehren.

Geförderte Betriebstechnologie und Förderhöhe

Bezuschusst wird die Anschaffung rein elektrisch angetriebener Fahrzeuge. Hierzu zählen Brennstoffzellen- und Batterieelektrofahrzeuge. Fahrzeugumrüstungen werden nicht bezuschusst.

Die Zuwendung kann für Betriebs-, Unterhaltungs- sowie Ladeinfrastrukturkosten für Elektrofahrzeuge (Pkw, vierrädrige (Leicht-)Kraftfahrzeuge, leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 t) mit Elektroantrieb bis zu einem maximalen Nettolistenpreis von 60 000 € gemäß § 2 Nr. 2 und Nr. 4 EmoG (maximal 100 Fahrzeuge in der Programmlaufzeit) verwendet werden.

Die Fördersumme wird als Festbetrag in Form eines Zuschusses für gewerbliche und kommunale E-Flotten gewährt. Unterschieden wird hinsichtlich des Einsatzgebietes eines Fahrzeugs (siehe Tabelle 34).

Einsatzgebiet des Fahrzeugs	Vertragsabschluss	Fördersumme (pro Fahrzeug)
Einsatz in Gebieten mit NO ₂ -Grenzwertüberschreitung	Neukauf	5000 €
	Leasing	1666,66 € / a (maximal 3 Jahre) bei geleasteten Elektrofahrzeugen
Einsatz in anderen Gebieten von Baden-Württemberg	Neukauf	3000 €
	Leasing	1000 € / a bei geleasteten Elektrofahrzeugen

Tabelle 34: Förderrichtlinien Programm »BW-e-Gutschein«.

In Tabelle 35 sind jene Städte aufgelistet, welche nach dem Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg als Gebiete mit NO₂-Grenzwertüberschreitung gelten.

Backnang	Mannheim
Esslingen	Marbach
Freiburg	Mühlacker
Heidenheim	Pleidelsheim
Heilbronn	Ravensburg
Herrenberg	Reutlingen
Leinfelden-Echterdingen	Steinheim
Leonberg	Stuttgart
Ludwigsburg	Tübingen

Tabelle 35: Städte mit NO₂-Grenzwertüberschreitung [8]

Fördervoraussetzungen

- es dürfen maximal 100 Fahrzeuge pro Antrag bezuschusst werden und der maximale Nettolistenpreis je Fahrzeug von 60 000 € darf nicht überschritten werden.
- Kauf und Leasing umfasst Fahrzeuge der EG Fahrzeugklassen M1 oder N1
- Einsatz des Fahrzeugs überwiegend in Baden-Württemberg
 - bei Kauf: mindestens drei Jahre
 - bei Leasing: während der kompletten Leasingdauer (maximal drei Jahre)
- bestellen, kaufen oder leasen nach Erhalt des Zuwendungsbescheids

Kombination mit anderen Förderprogrammen

Eine Kombination mit der Bundesförderung (Umweltbonus) ist zulässig. Ebenso kann der »BW-e-Gutschein« mit anderen Förderprogrammen kombiniert werden.

²³ Der Antrag kann unter folgendem URL gestellt werden: <https://www.l-bank.de/formular-assistent/fh/bw-e-gutschein-antrag.html> (Abrufdatum: 4. Dezember 2019).

Antragsstellung

Der Förderaufruf gilt als dauerhafte Förderung und ist seit Juni 2019 ausgeschrieben. Die Antragstellung erfolgt online über ein Portal der Landeskreditbank Baden-Württemberg (L-Bank), welche vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg mit der Abwicklung der Förderung beauftragt ist.²³

Bei Bedarf können weitere Informationen den Quellen dieses Kapitels (vgl. [9 ,10]) entnommen werden.

5.5.2 »E-Taxis«

Auf Landesebene fördert das Land Baden-Württemberg den Betrieb, Unterhalt und die Ladeinfrastruktur von batterieelektrischen E-Taxis.

Zuwendung

Als antragsberechtigt gelten:

- Taxibetriebe und
- Mietwagenbetriebe nach dem Personenbeförderungsgesetz,

die nach dem Stichtag 1. November 2017 in Baden-Württemberg ein neues Elektrofahrzeug bestellen und zulassen und damit überwiegend in Baden-Württemberg verkehren.

Geförderte Betriebstechnologie und Förderhöhe

Durch dieses Fördermittel wird die Anschaffung von Batterieelektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen bezuschusst. Die Zuwendung kann auch für Unterhaltungs- sowie Ladeinfrastrukturkosten von E-Taxis verwendet werden. Eine Anschaffung des E-Fahrzeugs ist jedoch die Voraussetzung.

Die Fördersumme wird als Festbetrag in Form eines Zuschusses gewährt. Unterschieden wird hinsichtlich der Art des Erwerbs (siehe Tabelle 36):

Art des Erwerbs	Fördersumme
Kauf	8000 € als Pauschalbetrag
Leasing	2667 € / a (max. 3 Jahre)

Tabelle 36: Förderrichtlinien Programm »BW-e-Gutschein« für E-Taxis

Fördervoraussetzungen

- Kauf und Leasing umfassen Fahrzeuge der EG Fahrzeugklassen M1 oder N1
- Einsatz im Taxibetrieb überwiegend in Baden-Württemberg
 - bei Kauf: mindestens 3 Jahre
 - bei Leasing: während der kompletten Leasingdauer (maximal drei Jahre)
- bestellen, kaufen oder leasen nach Erhalt des Zuwendungsbescheids

Kombination mit anderen Förderprogrammen

Eine Kombination mit der Bundesförderung (Umweltbonus) ist zulässig. Ebenso kann der »BW-e-Gutschein« für E-Taxis mit städtischen E-Taxi-Förderprogrammen (wie z. B. der Landeshauptstadt Stuttgart) und der Förderung der netzdienlichen Photovoltaik-Batterie-speicher kombiniert werden.

Antragsstellung

Der Förderaufruf ist seit Juni 2019 ausgeschrieben. Die Antragstellung erfolgt online über ein Portal der Landeskreditbank Baden-Württemberg (L-Bank), welche vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg mit der Abwicklung der Förderung beauftragt ist.²⁴

Bei Bedarf können weitere Informationen der Quelle dieses Kapitels (vgl. [11]) entnommen werden.

²⁴ Der Antrag kann unter folgendem URL gestellt werden: <https://www.l-bank.de/produkte/finanzhilfen/e-taxis.html> (Abrufdatum: 4. Dezember 2019).

6 ZUSAMMENFASSUNG

In dem folgenden Abschnitt werden die Kapitel 2, 4 und 5 tabellarisch zusammengefasst. Der Leser erhält hierdurch einen strukturierten Überblick über das Angebot potentieller Fahrzeuge (vgl. Tabelle 37), die Fördermöglichkeiten für Ladeinfrastruktur (vgl. Abbildung 12) und die Fördermöglichkeiten für Fahrzeuge (vgl. Abbildung 12).

²⁵ Die angegebenen Reichweiten entsprechen den Herstellerangaben.

Kategorie	Modell	Antrieb	Elektrische Reichweite ²⁵
Kleinwagen	Volkswagen e-up!	BEV	260 km
	BMW i3	BEV	260 km
	Smart EQ forfour	BEV	153 km
Kompaktklasse	Nissan Leaf	BEV	270 km
	Tesla Model 3	BEV	350 bis 560 km
	Hyundai IONIQ Elektro	BEV	311 km
	Volkswagen e-Golf	BEV	233 km
	Volkswagen ID.3	BEV	330 bis 550 km
	Opel Ampera-e	BEV	520 km
	Hyundai IONIQ Plug-In-Hybrid	PHEV	63 km
	Toyota Prius Plug-In Hybrid	PHEV	50 km
	Mercedes Benz C-Klasse 350e	PHEV	31 km
	Toyota Mirai	FCEV	500 km
Mittelklasse	Tesla Model S	BEV	593 bis 610 km
SUV	Hyundai Nexo	FCEV	756 km
	Mercedes-Benz GLC F-Cell	FCEV	478 km
	Mercedes-Benz EQC	BEV	471 km
	Audi e-tron	BEV	411 km
	Tesla Model X	BEV	565 oder 542 km
Kleintransporter	Nissan e-NV200	BEV	275 km
	Mercedes-Benz eVito	BEV	150 bis 184 km
	Iveco Daily Electric	BEV	130 km
	Ford Transit Custom PHEV	PHEV	56 km
Nutzfahrzeuge	Streetscooter Modelle	BEV	101 bis 205 km
	Renault Kangoo ZE	BEV	230 km

Tabelle 37: Übersicht Fahrzeugangebot.

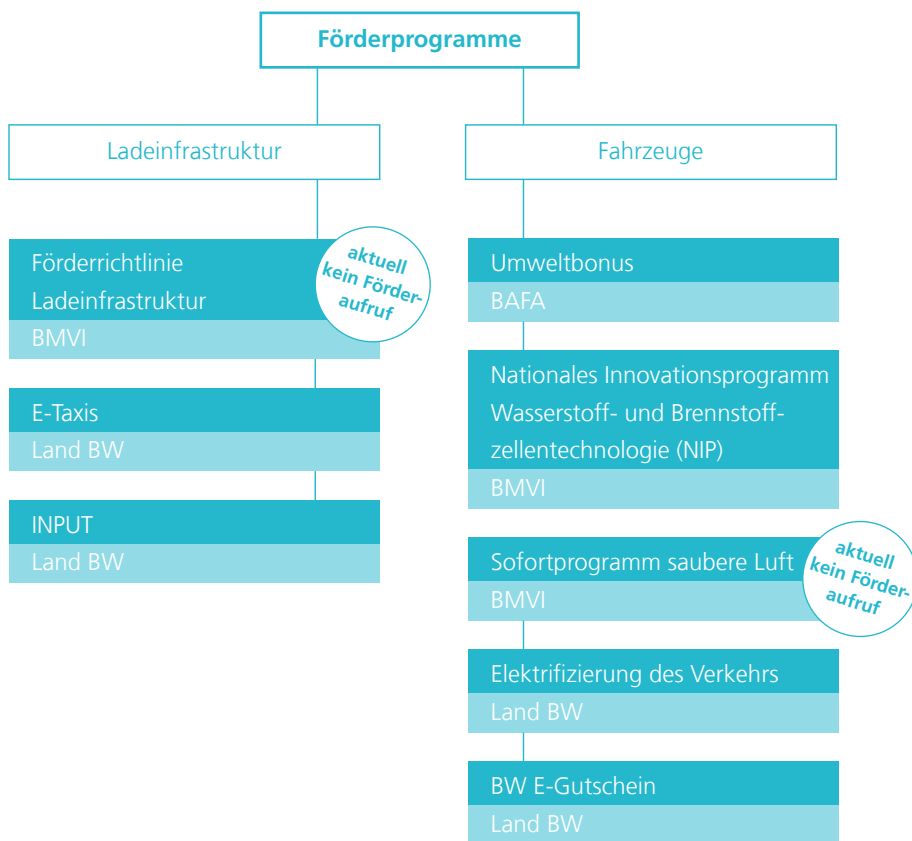


Abbildung 12: Übersicht Förderprogramme Ladeinfrastruktur und Fahrzeuge.

7 QUELLENVERZEICHNIS

Kapitel 1

- [1] Umweltbundesamt: Emissionsquellen. 10.1.2016, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [2] Welt: Diese Länder planen die Abschaffung des Verbrennungsmotors. 21.4.2016, <https://www.welt.de/motor/modelle/article154606460/Diese-Laender-planen-die-Abschaffung-des-Verbrennungsmotors.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019

Kapitel 2

- [1] Haufe: Halbierung des geldwerten Vorteils für Elektro-Dienstwagen ab 2019. 26.2.2019, https://www.haufe.de/personal/entgelt/lohnsteuer-2019-steueraenderungen/lohnsteuer-2019-steuervorteile-fuer-elektro-dienstwagen_78_467654.html, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [2] Starting Up: Nachhaltigkeit in Unternehmen – Vorteile im Überblick. <https://www.starting-up.de/praxis/organisation/nachhaltigkeit-in-unternehmen-vorteile-im-ueberblick.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [3] ADAC: Förderung für Elektroautos: Hier gibt es Geld. 18.7.2019, <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/e-mobilitaet/kaufen/foerderung-elektroautos/>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [4] Ionity: Homepage. <https://ionity.eu/en/where-and-how.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [5] H2 Mobility: Homepage. <https://h2.live/>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [6] Bahadur, Aisha; et al.: Edles Metall – Unwürdiger Abbau. Platin aus Südafrika und die Verantwortung deutscher Unternehmen. April 2018

- [7] ZDF: Der wahre Preis der Elektroautos. 9.9.2018, <https://www.zdf.de/dokumentation/planet-e/planet-e-der-wahre-preis-der-elektroautos-100.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [8] Wirtschaftswoche: Wie sich Seltene Erden recyceln lassen. <https://www.wiwo.de/technologie/umwelt/rohstoffe-alternativen-ohne-seltene-erden/8784164-4.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [9] Elsner, Christine: E-Autos: Ein nur scheinbar sauberes Geschäft. 9.9.2018, <https://www.zdf.de/nachrichten/heute/scheinbar-saubere-elektromobilitaet-100.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [10] BUKOLD, Steffen; FEDDERN, Jörg (Greenpeace e. V.): Öl. Report 2016
- [11] Weitz, Michael: Biokraftstoffe– Potenzial, Zukunftsszenarien und Herstellungsverfahren im wirtschaftlichen Vergleich. Hamburg: Diplomica, 2006
- [12] JOST; FICHTNER; et al.: GermanHy – Woher kommt der Wasserstoff in Deutschland bis 2050? Aus dem Jahr 2009.
- [13] Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR): Infos zum Wasserstoff. Aus dem Jahr 2005, <http://www.iwr.de/wasserstoff/wasserstoff-infos.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [14] BOLLMANN; NEUHAUSEN et al. (PricewaterhouseCoopers): From CO₂-neutral fuels to emission-free driving. November 2017.
- [15] LeaseTrend: Studienreport – Was Autokäufer wollen. Mai 2016, http://www.leasetrend.de/download/LeaseTrend_Studie_Was_Autokaeufer_wollen_0616.pdf, Datum des Aufrufs des Dokumentes: 7.8.2019
- [16] Volkswagen: Homepage. <https://www.volkswagen.de/de/models/e-up.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [17] ADAC: VW e-Up: Endlich ein erschwingliches Elektroauto. <https://www.adac.de/der-adac/motorwelt/reportagen-berichte/auto-innovation/vw-e-up/>, Datum des Aufrufs: 6.11.2019

- [18] BMW: Homepage. www.bmw.de/de/neufahrzeuge/bmw-i/i3/2017/auf-einen-blick.html, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [19] ADAC: Homepage. www.adac.de/infotestrat/autodatenbank/autokatalog/detail.aspx?-mid=294684&show=autotes, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [20] Smart: Homepage. <https://www.smart.com/de/de/index/smart-eq-forfour-453.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [21] ADAC: Homepage. <https://www.adac.de/infotestrat/autodatenbank/autokatalog/detail.aspx?mid=288070&show=fahrzeugdaten>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [22] Nissan: Homepage. <https://www.nissan.de/fahrzeuge/neuwagen/leaf/varianten-preise.html#grade-LEAFZE1A-1>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [23] ADAC: Homepage. <https://www.adac.de/infotestrat/autodatenbank/autokatalog/detail.aspx?mid=283357&show=autotest>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [24] Tesla Motors: Homepage. https://www.tesla.com/de_DE/support/model-3-ordering-faq#standard, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [25] Tesla Motors: Homepage. <https://www.model3.info/de/tesla-model-3-technische-daten>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [26] ADAC: Homepage. <https://www.adac.de/der-adac/motorwelt/reportagen-berichte/auto-innovation/tesla-model-3/>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [27] Hyundai: Homepage. https://www.hyundai.news/fileadmin/de/Pressemappen/Ioniq/IONIQ_2017_5_Technische_Daten.pdf, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [28] Volkswagen: Homepage. <https://www.volkswagen.de/de/models/e-golf.html?intcmp=WS-eMobility-Modelle-ShowroomeGolf>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [29] ADAC: VW ID.3: So kommt das Volks-Elektroauto. <https://www.adac.de/der-adac/motorwelt/reportagen-berichte/auto-innovation/vw-id-3/>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [30] Opel: Homepage. <https://www.opel.de/fahrzeuge/ampera-e/uebersicht.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019

- [31] Hyundai: Homepage. https://www.hyundai.news/fileadmin/de/Pressemappen/Ioniq/IO-NIQ_2017_5_Technische_Daten.pdf, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [32] Toyota: Homepage. <https://www.toyota.de/automobile/plug-in-hybridauto.json>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [33] ADAC: Homepage. <https://www.adac.de/infotestrat/autodatenbank/autokatalog/detail.aspx?mid=251604&show=fahrzeugdaten>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [34] ADAC: Homepage. <https://www.adac.de/infotestrat/autodatenbank/autokatalog/detail.aspx?mid=281679&show=autotest>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [35] Tesla Motors: Homepage. https://www.tesla.com/de_DE/models, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [36] ADAC: Homepage. <https://www.adac.de/der-adac/motorwelt/reportagen-berichte/auto-innovation/fahrbericht-hyundai-nexo/>, Datum des Aufrufs: 7.11.2019
- [37] Mercedes-Benz: Homepage. <https://www.mercedes-benz.com/de/mercedes-benz/fahrzeuge/personenwagen/glc/der-neue-glc-f-cell/>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [38] ADAC: Homepage. 29.10.2019, <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/mercedes/mercedes-glc-fuel-cell/>; Datum des Aufrufs: 21.1.2020
- [39] Mercedes-Benz: Homepage. <https://mercedes-benz-eqc.de/?owda=e-mobility+project+eq>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [40] ADAC: Homepage. <https://www.adac.de/infotestrat/autodatenbank/autokatalog/detail.aspx?mid=294014&bezeichnung=mercedes-eqc-400-4matic>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [41] Audi: Homepage. <https://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen/tron/audi-e-tron.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [42] Focus: Elektro-SUV mit Panzer-Akku: Audis neuer Stromer im Detail. 8.5.2018, https://www.focus.de/auto/elektroauto/adac-motorwelt-audi-e-tron-quattro-suv-unter-strom_id_8814120.html, Datum des Aufrufs: 7.8.2019

- [43] Tesla Motors: Homepage. https://www.tesla.com/de_DE/modelx, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [44] Nissan: Homepage. <https://www.nissan.de/fahrzeuge/neuwagen/e-nv200/reichweite-auf-laden.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [45] Mercedes-Benz: Homepage. <https://www.mercedes-benz.de/vans/de/vito/e-vito-panel-van>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [46] Mercedes-Benz: Homepage. <https://www.jetzt-elektrovan.mercedes-benz.de/evito.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [47] Iveco: Homepage. <https://www.iveco.com/austria/neufahrzeuge/pages/daily-blue-power-electric.aspx>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [48] Ford: Homepage. <https://www.ford.de/produktneuheiten/der-neue-ford-transit-custom-plug-in-hybrid>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [49] Streetscooter: Homepage. <https://www.streetscooter.eu/de/>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [50] Tölke und Fischer Gruppe: Homepage. <https://www.toefi.de/de/streetscooter-modelle.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [51] Renault: Homepage. <https://www.renault.de/modellpalette/renault-modelluebersicht/kangoo-ze.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [52] Volkswagen: Homepage. <https://www.volkswagen.de/de/electric-mobility/id-family.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [53] Volvo: Homepage. <https://www.volvocars.com/de/volvo/innovationen/nachhaltige-mobilitaet>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [54] Automotive News Europe: Toyota to add EV to European lineup. 6.3.2019, <https://europe.autonews.com/automakers/toyota-add-ev-european-lineup-2021>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [55] Smart: Homepage. <https://www.smartusa.com/>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019

- [56] Daimler: Homepage. <https://www.daimler.com/produkte/pkw/smart/smart-e-mobilitaet.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [57] Schriftliche Auskunft des Kraftfahrtbundesamts (KBA)
- [58] Strategieplattform Power to Gas: Homepage. <http://www.powertogas.info/>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [59] Bundesregierung: Eckpunkte für das Klimaschutzprogramm 2030. Auch abrufbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975232/1673502/768b67ba939c-098c994b71c0b7d6e636/2019-09-20-klimaschutzprogramm-data.pdf?download=1>, Datum des Aufrufs: 4.12.2020

Kapitel 3

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Die Zukunft fährt elektrisch. 13.3.2018, <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Elektromobilitaet/Elektromobilitaet-kompakt/elektromobilitaet-kompakt.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [2] Bundesnetzagentur: Liste der Ladesäulen. 9. Juni 2019, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulenkarte/Ladesaeulenkarte_node.html, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [3] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Die Zukunft fährt elektrisch. 13.3.2018, <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Elektromobilitaet/Elektromobilitaet-kompakt/elektromobilitaet-kompakt.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [4] Schraven, Sebastian; et. al.: Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung. Karlsruhe, 2010. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2010/WP8-2010_Induktive-Ladung-EV.pdf, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [5] Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE/AK EMOBILITY.60: Der Technische Leitfaden: Ladeinfrastruktur Elektromobilität, zweite Version. Juli 2016. https://www.vde.com/resource/blob/988408/750e290498bf9f75f50_bb-86d520caba7/leitfaden-elektromobilitaet-2016--data.pdf, Datum des Aufrufs: 7.8.2019

- [6] Reichert, Stefan: Induktives Ladesystem – Ladeinfrastruktur für eine gemeinschaftliche Mobilität. <https://www.gemo.fraunhofer.de/de/technologien/induktives-ladesystem.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [7] Institut für Elektrische Energiewandlung der Universität Stuttgart: Induktives Laden von Elektrofahrzeugen. <https://www.iew.uni-stuttgart.de/forschung/kontaktlose-energieuebertragung/cet-von-evs/>
Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [8] Elektroauto News: Plug-In-Hybrid induktiv Laden – BMW bietet ab Juli entsprechende Lösung an. 28.05.2018, <https://www.elektroauto-news.net/2018/plug-in-hybrid-induktiv-laden-bmw>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [9] Kompetenznetzwerk Smart Grids: Homepage. <http://www.smartgrids-net.de/>
Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [10] Wietschel, Martin; et. al.: Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge. Karlsruhe, September 2013, <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2013/Fraunhofer-ISI-Markthochlaufszszenarien-Elektrofahrzeuge-Zusammenfassung.pdf>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019

Kapitel 4

- [1] NOW GmbH: Dritter Aufruf zur Antragseinreichung. 19.11.2018, https://www.now-gmbh.de/content/3-bundesfoerderung-ladeinfrastruktur/1-foerderrichtlinie-foerderaufufe/20181119_dritter-foerderaufuf.pdf, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [2] Bundesministerium für Verkehr Baden-Württemberg: Bekanntmachung des Ministeriums für Verkehr Baden-Württemberg – Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Baden-Württemberg. https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/Elektromobilitaet_Foerderrichtlinie_Ladeinfrastruktur_12_17.pdf, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [3] Landeskreditbank Baden-Württemberg: BW-e-Gutschein. <https://www.l-bank.de/produkte/finanzhilfen/bw-e-gutschein.html>, Datum des Aufrufs: 3.12.2019
- [4] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Förderaufuf Pilotprojekt INPUT. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/strategiedialog-automobilwirtschaft/input/>, Datum des Aufrufs: 13.2.2020

Kapitel 5

- [1] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Liste der förderfähigen Elektrofahrzeuge. 31.7.2019, http://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/emob_liste_foerderfaehige_fahrzeuge.pdf;jsessionid=6059258F043D6CC3C5B44390E7E4896A.2_cid362?__blob=publicationFile&v=43, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [2] Bundesregierung: So funktioniert der neue Umweltbonus. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/umweltbonus-1692646>, Datum des Aufrufs: 2.12.2019
- [3] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Homepage. <https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Elektromobilitaet/elektromobilitaet.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [4] Projektträger Jülich: Förderrichtlinie Elektromobilität. 5.12.2017, https://www.ptj.de/lw_resource/datapool/systemfiles/cbox/1481/live/lw_bekdoc/frl_elektromobilitaet_bmvi.pdf, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [5] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Übersicht Fördermöglichkeiten Sofortprogramm saubere Luft 2017 bis 2020. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/uebersicht-foerdermoeglichkeiten-sofortprogramm-saubere-luft-2017-2020.pdf?__blob=publicationFile
- [6] Projektträger Jülich: Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur – FAQ Bezüglich Antragstellung. <https://www.ptj.de/projektfoerderung/elektromobilitaet-bmvi/invest/faq>
- [7] NOW GmbH: Aufruf zur Antragseinreichung zur Förderung von brennstoffzellenfahrzeugen im ÖPNV und in Flotten. Februar 2017, https://www.now-gmbh.de/content/2-bundesfoerderung-wasserstoff-und-brennstoffzelle/1-foerderrichtlinien/nip2_foerderaaufruf_oepnv_02_2017.pdf, Datum des Aufrufs: 7.8.2019 sowie Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Bekanntmachung der Neufassung der Förderrichtlinie für Maßnahmen der Marktaktivierung im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff. Und Brennstoffzellentechnologie Phase 2. 18.10.2017, <https://www.now-gmbh.de/content/2-bundesfoerderung-wasserstoff-und-brennstoffzelle/1-foerderrichtlinien/foerderrichtlinie-fuer-massnahmen-der-marktaktivierung-vom-18-oktober-2017.pdf>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [8] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: Wir fördern Ihre E-Fahrzeuge. <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/elektromobilitaet/foerderung-elektromobilitaet/e-fahrzeuge/>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019

QUELLENVERZEICHNIS

- [9] L-Bank: Homepage. <https://www.l-bank.de/binaries/content/documents/allgemein/finanzhilfen/dokumente/bw-e-gutschein/erlauterung/erlauterung/hippocms%3Adownloadversions/hippocms%3Afile>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019
- [10] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg: Homepage. <https://vm.baden-wuerttemberg.de/index.php?id=13676>
Datum des Aufrufs: 1.6.2019
- [11] L-Bank: Homepage. <https://www.l-bank.de/produkte/finanzhilfen/e-taxis.html>, Datum des Aufrufs: 7.8.2019



