

E-Mobilitätskonzept

Landkreis Emsland

Teilkonzept E-Fahrzeuge



Greven, Dezember 2018



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Koordiniert durch:



Projekträger:



Auftraggeber:

Landkreis Emsland
Kreishaus Meppen
Ordeniederung 1
49716 Meppen

Bearbeitung:

Carolin Dietrich (Energienlenker, Projektleitung)
Tim Kräutner (Energienlenker, Projektbearbeitung)
Dr.-Ing. Katja Engelen (BSV, Projektbearbeitung)

Inhalt

1 Einleitung.....	5
1.1 Anreize zur Förderung von E-Fahrzeugen	5
1.2 Technische Grundlagen	7
2 Status-quo	8
2.1 E-Fahrzeuge im Landkreis Emsland	8
2.2 Stromerzeugung durch erneuerbare Energien.....	8
3 Zukünftiger Energiebedarf für E-Fahrzeuge	10
4 E-Mobilität als Stromspeicher	17
5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen.....	21
5.1 Landkreiseigener Fuhrpark.....	21
5.2 Potenzialanalyse	23
5.2.1 Kleinwagenklasse.....	24
5.2.2 Kompaktklasse	27
5.2.3 Mittelklasse.....	30
5.2.4 Nutzfahrzeugklasse.....	33
5.2.5 Zusammenfassung TCO-Betrachtung	36
6 Projekte im Landkreis Emsland.....	39
6.1 (E-)Fahrzeugsharing im Landkreis Emsland	39
6.2 Nutzung von E-Fahrzeugen im ländlichen Raum.....	40
7 Anhang.....	41
7.1 Ladedauer unterschiedlicher Fahrzeugmodelle	41
8 Literatur	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3: Durchschnittliche Jahresfahrleistung innerhalb der Fahrzeugklassen des Landkreises Emsland.....	23
Tabelle 4: Kostenkalkulation Ladeinfrastruktur	24
Tabelle 5: TCO-Vergleich Kleinwagen [VW 2018e, VW 2018c, BMW AG 2018, Renault 2018b].	26
Tabelle 6: TCO-Vergleich Kompaktklasse [Audi AG 2018a, Nissan 2018, VW 2018b]	28
Tabelle 7: TCO-Analyse Mittelklasse [Audi AG 2018b, VW 2018d, Hyundai 2018b, Hyundai 2018a]	31
Tabelle 9: TCO-Analyse Nutzfahrzeugklasse [Citroen 2018, VW 2018a, Peugeot 2017, Renault 2018a].....	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gegenüberstellung verschiedener Antriebsformen (Quelle: VDA 2017).....	7
Abbildung 2: Anzahl der im Landkreis Emsland gemeldeten Pkw nach Energieträgern (Quelle: Kraftfahrzeugbundesamt 2018).	8
Abbildung 3: Anteile der erneuerbaren Energien an der Stromproduktion im Landkreis Emsland 2015 (Quelle: eigene Darstellung auf Datengrundlage von EcoRegion 2018).	9
Abbildung 4:Entwicklung der Fahrleistung im Trendszenario.....	13
Abbildung 5: Entwicklung der Fahrleistung im Maximalszenario.....	14
Abbildung 6:Entwicklung der Fahrleistungen nach Verbrennern und Nutzfahrzeugen.	15
Abbildung 7: Entwicklung des Endenergiebedarfes im Verkehrssektor.	15
Abbildung 8: Anteil des Endenergiebedarfes von E-Fahrzeugen am EE-Strom ohne weitere Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien im Landkreis Emsland.....	16
Abbildung 9: Anteil des Endenergiebedarfes von E-Fahrzeugen am EE-Strom mit Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien im Landkreis Emsland.	16
Abbildung 10: Integration von Elektroautos in das Stromnetz (Quelle: © WWF/LichtBlick SE; 2017).	18
Abbildung 11: Scoring in der Kleinwagenklasse	27
Abbildung 12: Scoring in der Kompaktwagenklasse	29
Abbildung 13: Scoring in der Mittelklasse	32
Abbildung 15: Scoring in der Nutzfahrzeugklasse	36
Abbildung 16: Einflussfaktoren des Fahrzeugvergleiches.....	38

1 Einleitung

Um eine klimafreundliche Mobilität zu fördern, hat sich die Bundesregierung zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2020 insgesamt eine Million Elektrofahrzeuge auf die Straße zu bringen. Nach aktuellen Prognosen der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) wird dieses Ziel voraussichtlich im Jahre 2022 erreicht (vgl. NPE 2018: 6).

Der Landkreis Emsland unterstützt das Ziel der Bundesregierung, Mobilität zukunftsorientiert weiterzuentwickeln. Dabei soll der Fokus im Landkreis Emsland auf dem Thema E-Mobilität liegen. Vor diesem Hintergrund sind folgende Rahmenbedingungen im Landkreis Emsland relevant: Insgesamt werden im Landkreis Emsland 116 % (Stand: 2015) des Gesamtstromverbrauchs aus erneuerbaren Energien (EE) erzeugt. Dieser Wert ist seitdem deutlich angestiegen (u. a. durch die Errichtung weiterer Windenergieanlagen und durch Repowering bestehender Windenergieanlagen) und liegt deutlich über der Zielsetzung der Bundesregierung, die für das Jahr 2030 ein Ziel von 50 % EE-Anteil am Stromverbrauch vorgibt. Der im Emsland produzierte Strom aus Windenergie-, Biomasse- und PV-Anlagen kann zukünftig – im Sinne der Sektorenkopplung – vermehrt für E-Fahrzeuge genutzt werden. Die Speicherkapazitäten von E-Fahrzeugen können dabei in Zukunft als dezentrale Stromspeicher eingesetzt werden.

Vor diesem Hintergrund verfolgt der Landkreis Emsland folgende Zielsetzungen:

- Steigerung des Anteils der Elektrofahrzeuge im Landkreis
- schrittweiser Umbau der kommunalen Flotte auf Elektromobilität
- Ermittlung von Potenzialen von E-Fahrzeugen als dezentrale Stromspeicher
- Bedarfsgerechter Ausbau von Ladeinfrastruktur im Landkreis
- Identifizierung alternativer Systeme sowie innovativer Lösungen für den Einsatz von E-Bussen.

Auf die ersten drei Punkte wird im Rahmen des Teilkonzeptes E-Fahrzeuge eingegangen, der vierte Punkt zum Thema Ladeinfrastruktur wird im Teilkonzept Landinfrastruktur und der fünfte Punkt zu den E-Bussen wird im Teilkonzept E-ÖPNV abgehandelt.

1.1 Anreize zur Förderung von E-Fahrzeugen

Zur Förderung von E-Mobilität wird in erster Linie das Vorhandensein von öffentlicher Ladeinfrastruktur aufgeführt. Mit dem Thema Lademöglichkeiten für E-Fahrzeuge befasst sich das Teilkonzept Ladeinfrastruktur. Daneben gibt es allerdings noch weitere Anreize zur Förderung von E-Mobilität in Deutschland, die nachfolgend dargestellt werden.

Umweltbonus

Die Bundesregierung hat zusammen mit der Automobilindustrie eine Kaufprämie in Höhe von 4.000 EUR für batterieelektrische Fahrzeuge und in Höhe von 3.000 EUR für Plug-in-Hybride festgelegt. Gefördert werden dabei Fahrzeuge mit einem Nettolistenpreis bis zu 60.000 EUR. Insgesamt steht eine Summe von 1,2 Milliarden EUR zur Verfügung, von denen 50 % der Bund und die andere Hälfte die Automobilhersteller tragen (vgl. NPE 2018: 8). Insgesamt wurden bereits (Stand: 31. Oktober 2018) 83.967 E-Fahrzeuge gefördert (vgl. BAFA 2018).¹

Steuerliche Vergünstigungen

Für die Nutzung von E-Fahrzeugen (→ gilt nicht für Hybride) gibt es eine zehnjährige Befreiung von der Kraftfahrzeugsteuer. Diese Befreiung gilt zunächst bis zum 31.12.2020. Zudem wird das kostenlose Laden beim Arbeitgeber zunächst nicht mehr als geldwerter Vorteil angesehen. Dadurch steht dem Arbeitgeber eine Einkommenssteuerbefreiung für die vom Arbeitgeber gewährten Vorteile, wie das kostenlose Aufladen des E-Fahrzeuges oder eine vom Arbeitnehmer zur Verfügung gestellte bzw. bezuschusste Ladeinfrastruktur (vgl. NPE 2018: 9).

Elektromobilitätsgesetz (EmoG)

Das Elektromobilitätsgesetz (EmoG) von Juni 2015, bietet Kommunen die Möglichkeit, E-Fahrzeuge beim Parken, bei der Nutzung von Sonderfahrzonen (z. B. Busspuren) und bei den Parkgebühren bevorzugt zu behandeln. So können Kommunen im öffentlichen Raum besondere Parkplätze an Ladestationen für E-Fahrzeuge reservieren, oder Parkgebühren für E-Fahrzeuge reduzieren bzw. erlassen. Zudem können E-Fahrzeuge von Zufahrtsbeschränkungen ausgenommen werden. Die konkreten Entscheidungen liegen im jeweiligen Ermessen der zuständigen kommunalen Straßenverkehrsbehörden.

Weitere Vergünstigungen beim Betrieb

Neben den zuvor genannten Anreizen und Vergünstigungen für E-Fahrzeugnutzer, gibt es weitere Vergünstigungen. Derzeit bieten etwa einige Versicherer vergünstigte Versicherungsbedingungen für E-Fahrzeuge an. Zudem liegen die Wartungskosten von E-Fahrzeugen im Durchschnitt 35 % unter denen von konventionellen Verbrennern (s. dazu Kap. 5).

Für elektrische Nutzfahrzeuge gibt es seit Ende 2014 eine Sonderregelung, die es ermöglicht, E-Kleintransporter von 4,25 t mit einem Pkw-Führerschein (Führerschein B) zu führen.

¹ Davon waren 52.393 rein batterieelektrische Fahrzeuge, 31.549 Plug-in-Hybride und 25 Brennstoffzellenfahrzeuge (vgl. BAFA 2018).

1.2 Technische Grundlagen

Der Schwerpunkt des Teilkonzeptes liegt auf den rein batteriebetriebenen E-Fahrzeugen. Diese zeichnen sich durch eine Lithium-Ionen-Batterie als einzigen Energiespeicher im Fahrzeug aus, die ausschließlich über eine externe Stromzufuhr geladen werden kann.

Das Elektromobilitätsgesetz unterscheidet insgesamt drei Typen von elektrisch betriebenen Fahrzeugen: Das reine Batterieelektrofahrzeug, das von außen aufladbare Hybridelektrofahrzeug sowie das Brennstoffzellenfahrzeug. Laut EmoG § 2 zeichnet sich ein **reines Batterieelektrofahrzeug** dadurch aus, dass es einen Antrieb aufweist, dessen Energiewandler ausschließlich elektrische Maschinen sind und dessen Energiespeicher von außerhalb des Fahrzeugs wieder aufladbar sind. Ein **Hybridelektrofahrzeug** ist demgegenüber ein Fahrzeug mit einem Antrieb, der über mindestens zwei Arten von Energiewandlern (wovon mindestens ein Energiewandler als elektrische Antriebsmaschine fungiert) und Energiespeichern (wovon mindestens einer von außerhalb des Fahrzeugs elektrisch wieder aufladbar sein muss) verfügt (vgl. EmoG § 2). Als **Brennstoffzellenfahrzeuge** gelten Fahrzeuge mit einem Antrieb dessen Energiewandler ausschließlich aus Brennstoffzellen und mindestens einer elektrischen Antriebsmaschine bestehen (vgl. EmoG § 2).

Neben diesen Formen der Elektromobilität gibt es noch weitere Mischformen des elektrifizierten Fahrens. Einen kurzen Überblick gibt folgende Abbildung:

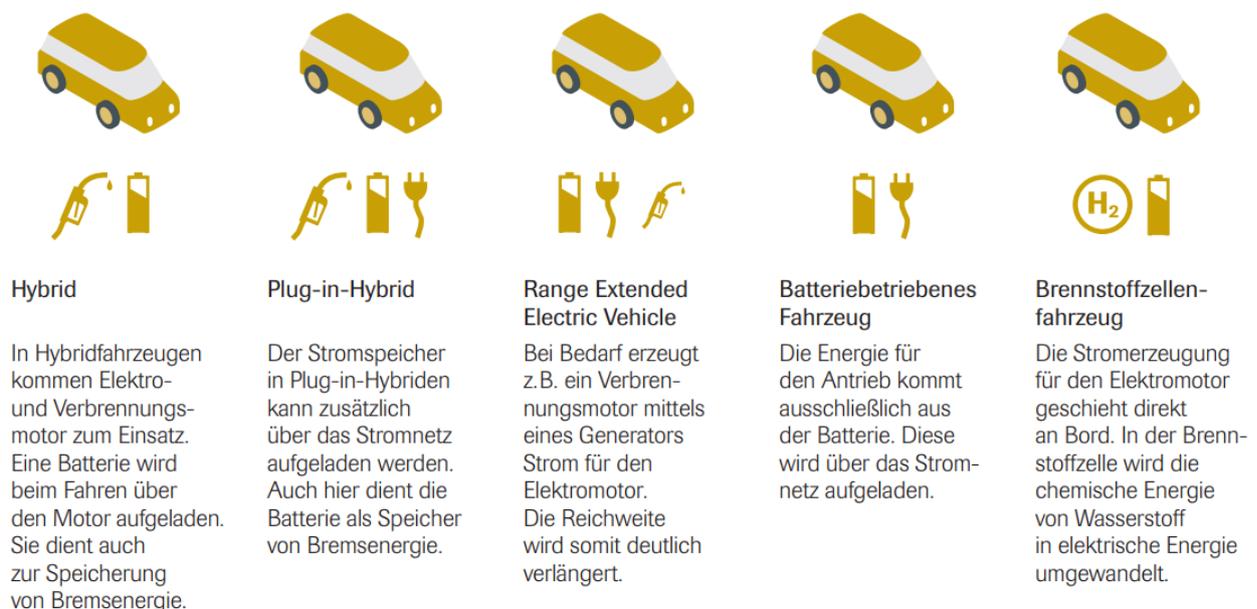


Abbildung 1: Gegenüberstellung verschiedener Antriebsformen (Quelle: VDA 2017).

2 Status-quo

2.1 E-Fahrzeuge im Landkreis Emsland

In der nachfolgenden Abbildung ist die Anzahl der im Landkreis Emsland gemeldeten Pkw nach Energieträgern dargestellt. Insgesamt sind im Landkreis Emsland 135 rein elektrische Fahrzeuge gemeldet. Werden Hybridfahrzeuge hinzugezogen, ergibt sich eine Summe von 515 E-Pkw im Landkreis.

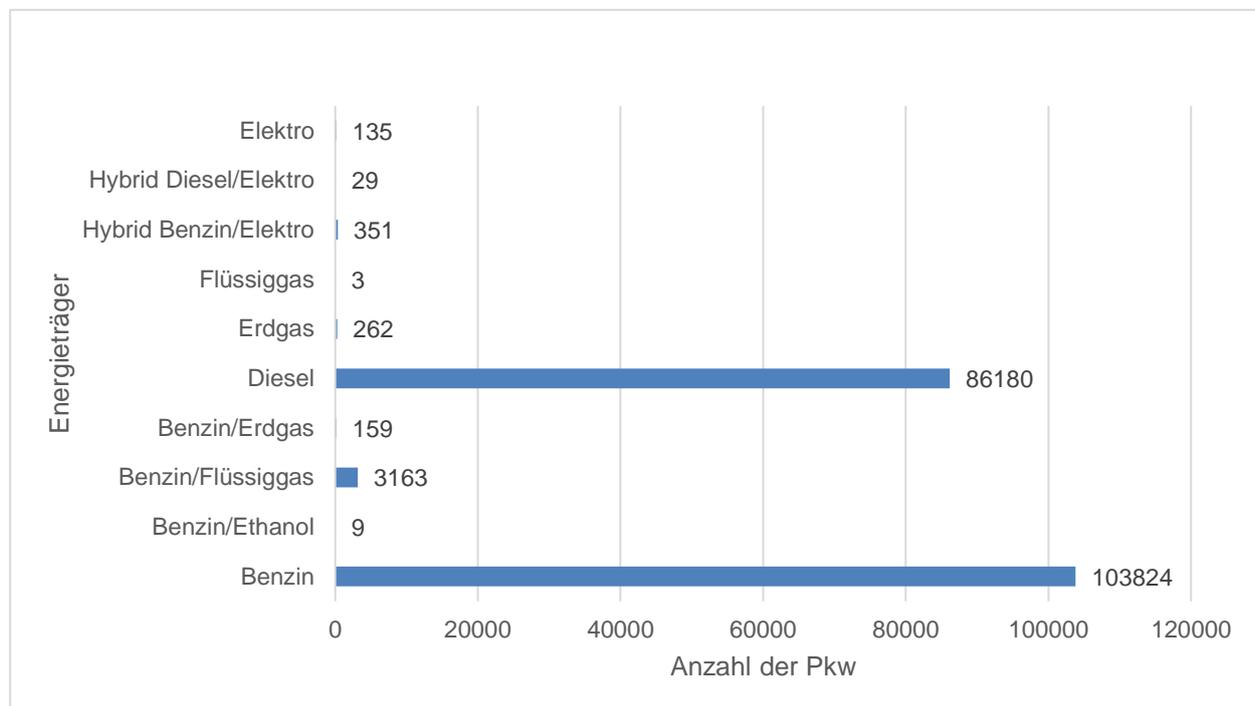


Abbildung 2: Anzahl der im Landkreis Emsland gemeldeten Pkw nach Energieträgern (Quelle: Kraftfahrzeugbundesamt 2018).

2.2 Stromerzeugung durch erneuerbare Energien

Im Jahre 2015 werden insgesamt 2.561.393 MWh EE-Strom im Landkreis Emsland produziert. Den größten Anteil am erneuerbaren Strom hat die Windenergie mit 51 %, gefolgt von Biogas mit 34 % (s. nachfolgende Abbildung). EE-Strom aus PV-Anlagen macht immerhin noch 15 % aus, wohingegen Strom aus Wasserkraftwerken mit 698 MWh vernachlässigbar gering ist.

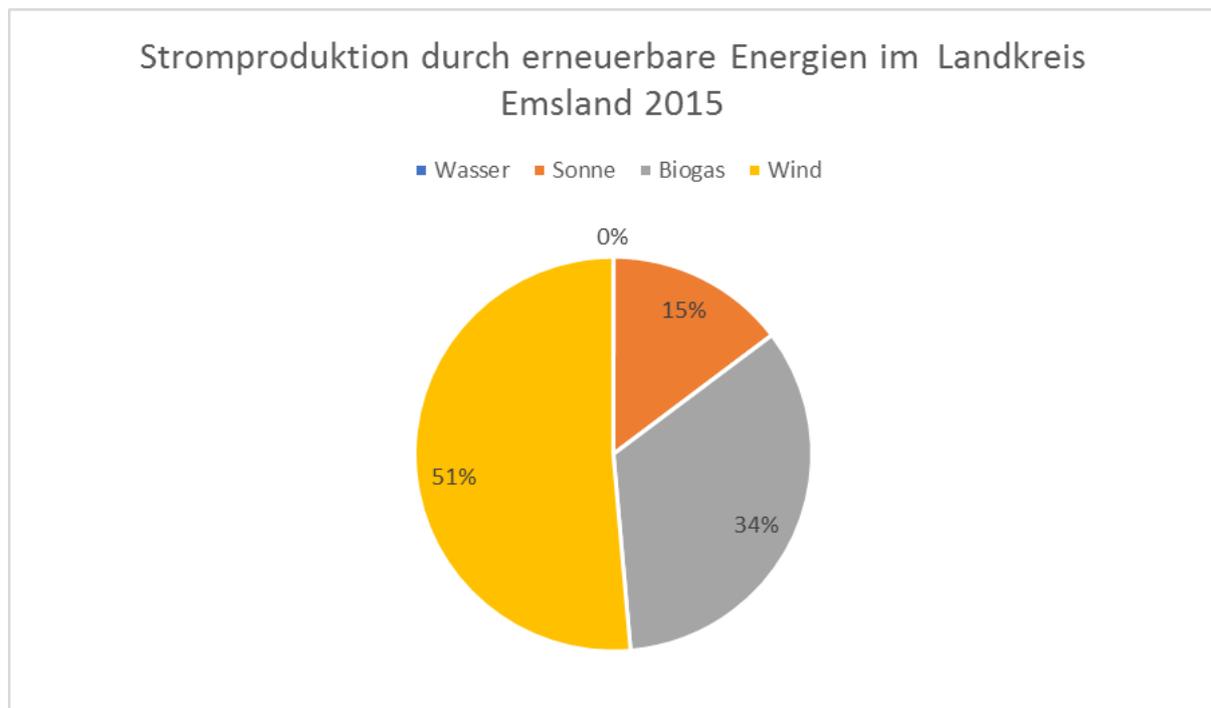


Abbildung 3: Anteile der erneuerbaren Energien an der Stromproduktion im Landkreis Emsland 2015 (Quelle: eigene Darstellung auf Datengrundlage von EcoRegion 2018).

Insgesamt hat der erneuerbare Strom 2015 einen Anteil von ca. 116 % am derzeitigen Stromverbrauch des Landkreises. Neuere Zahlen zeigen einen steigenden Anteil an erneuerbaren Energien im Landkreis. Vor diesem Hintergrund möchte der Landkreis Emsland den „überschüssigen“ EE-Strom über den Sektor Mobilität nutzen. Daher werden nachfolgend Szenarien zur Entwicklung des verkehrsbezogenen Strombedarfes im Landkreis aufgezeigt (s. Kap. 3).

3 Zukünftiger Energiebedarf für E-Fahrzeuge

Um abschätzen zu können, wie hoch der zukünftige Strombedarf von E-Fahrzeugen sein kann, werden nachfolgend zwei Szenarien dargestellt. Sie zeigen auf, wie sich in Zukunft die Fahrleistungen und die damit verbundenen Energiebedarfe von Verbrennern und E-Fahrzeugen im Landkreis unter bestimmten angenommenen Rahmenbedingungen verändern können.

Für die nachfolgenden Potenzialberechnungen werden vorhandene Daten, wie zurückgelegte Fahrzeugkilometer und der Endenergieverbrauch des Sektors Verkehr auf Landkreisebene, verwendet. Des Weiteren werden für die Verkehrsmengenentwicklung und die Effizienzsteigerungen je Verkehrsmittel, Faktoren aus der Studie „Klimaschutzszenario 2050“ (vgl. Öko-Institut et al. 2015: 223 ff) herangezogen.

Die Potenzialberechnungen erfolgen für ein Trend- und für ein ambitioniertes Maximalszenario. Für das Trendszenario werden die Faktoren aus dem „Aktuelle-Maßnahmen-Szenario“, für das Maximalszenario Faktoren aus dem „Klimaschutzszenario 95 (KS95)“ verwendet (vgl. Öko-Institut et al. 2015: 223 ff).

Folgende Datengrundlagen wurden verwendet:

- Erneuerbare-Energien-Anteile (EE-Anteile) / Endenergieverbräuche aus der aktuellen Endenergie- und THG-Bilanz des Landkreises Emsland (Bilanzjahr 2015)
- Fahrleistungen Status-quo: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu)
- Fahrzeug-Bestand des Landkreises Emsland: Kraftfahrtbundesamt (KBA)
- Faktoren Effizienzsteigerungen, Entwicklung von E-Fahrzeugen und Verbrennern: Öko-Institut

Nachfolgend werden die Randbedingungen, die für die beiden Szenarien als Annahmen gelten dargestellt.

Randbedingungen „Trend-Szenario“

Die Personenverkehrsnachfrage steigt in Summe bis 2050 an und wird durch zwei Aspekte bestimmt:

- Die Kraftstoffpreise für Benzin und Diesel steigen nur in geringem Maße an (ca. 0,8 % / a). Dies führt bei höherer Fahrzeugeffizienz und steigendem Wohlstand der Bevölkerung zu einer verbilligten individuellen Mobilität.

Zukünftiger Energiebedarf für E-Fahrzeuge

- Der Anteil an Personen mit einem Zugang zu einem Pkw nimmt zu, wodurch die Möglichkeit zur Wahrnehmung des verbilligten individuellen Mobilitätsangebotes steigt. Dies führt zum Anstieg der täglichen Fahrten mit dem Pkw bis 2050.
- Für den Güterverkehr wird eine Zunahme der Gesamtverkehrsnachfrage aufgrund eines Anstiegs des Export- und Transitverkehrs auf der Straße vorhergesagt (eine Verlangsamung dieser Trends findet ab 2040 statt).
- Für die Verkehrszwecke Freizeit und Beruf wird eine Zunahme der Fahrten mit Distanzen unter 100 km angenommen. Dieser Effekt verlangsamt sich allerdings bis 2030 durch die nachlassende Steigerungsrate und die sinkenden Einwohnerzahlen, bis er in 2050 nicht mehr sichtbar ist. (vgl. Öko-Institut et al. 2015: 223).
- Für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (INFz) gilt darüber hinaus Folgendes: Verschiebung von E-Fahrzeugen liegt schwerpunktmäßig auf Hybridfahrzeugen und Range-Extendern – ohne großartige Reichweiteneinschränkungen – es gibt eher wenige rein elektrische Fahrzeuge.

Randbedingungen „Maximal-Szenario“

- Es wird eine umfassendere Änderung des Mobilitätsverhaltens jüngerer Menschen vorausgesetzt:
 - Personen besitzen weniger einen eigenen Pkw, sondern nutzen stattdessen vermehrt Car-Sharing-Angebote
 - der intermodale Verkehrsanteil erhöht sich, wobei hier das Fahrrad als Verkehrsmittel eine zentrale Rolle spielt.
- Weitere Annahmen:
 - veränderte Geschwindigkeiten
 - eine erhöhte Auslastung der Pkw (erhöhte Besetzungsgrade)
 - Verteuerung des motorisierten Individualverkehrs (MIV)
- Rückgang der Personenverkehrsnachfrage: es findet eine Verkehrsverlagerung zum Fuß- und Radverkehr statt
- Geringerer Endenergiebedarf: Veränderungen bei der Verkehrsnachfrage und die Elektrifizierung des Güterverkehrs (→ Oberleitungs-Lkw gewinnen an Bedeutung)

Zukünftiger Energiebedarf für E-Fahrzeuge

- Bis zum Jahr 2030 ist die Reduktion des Endenergiebedarfes vor allem auf die Effizienzsteigerung der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor im Personen- und Güterverkehr, die Verlagerung von Gütertransporten auf die Schiene und die Reduktion des MIV zurückzuführen. Die Elektrifizierung des Verkehrssektors findet größtenteils später, zwischen 2030 und 2050 statt (vgl. Öko-Institut et al. 2015: 236).

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der Fahrleistung im Trend- sowie im Maximalszenario auf. Dabei wird deutlich, dass die Fahrleistungen des MIV, der leichten Nutzfahrzeuge und der Lkw im Trendszenario bis 2050 ansteigen. Die Fahrleistung der Busse nimmt bis 2050 leicht ab.

Zukünftiger Energiebedarf für E-Fahrzeuge

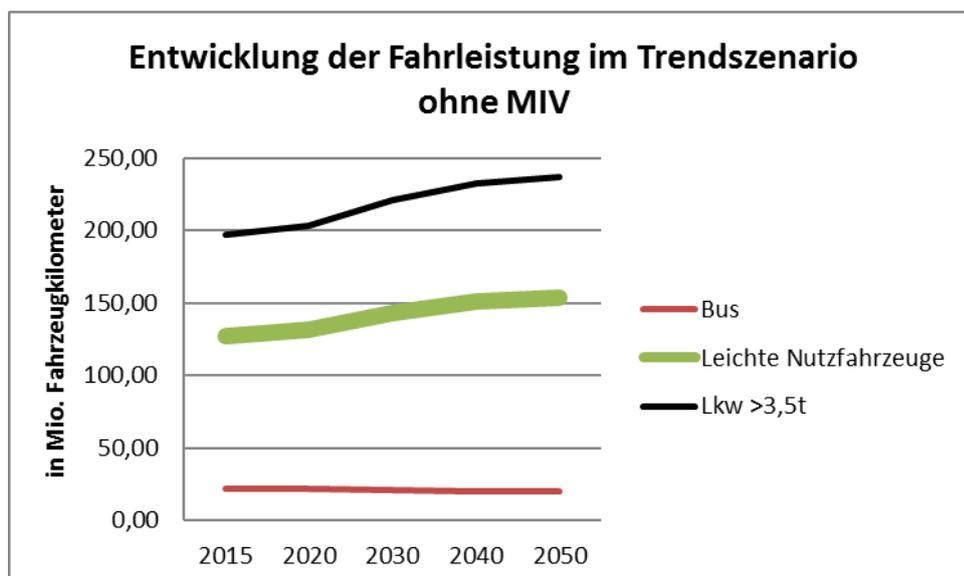
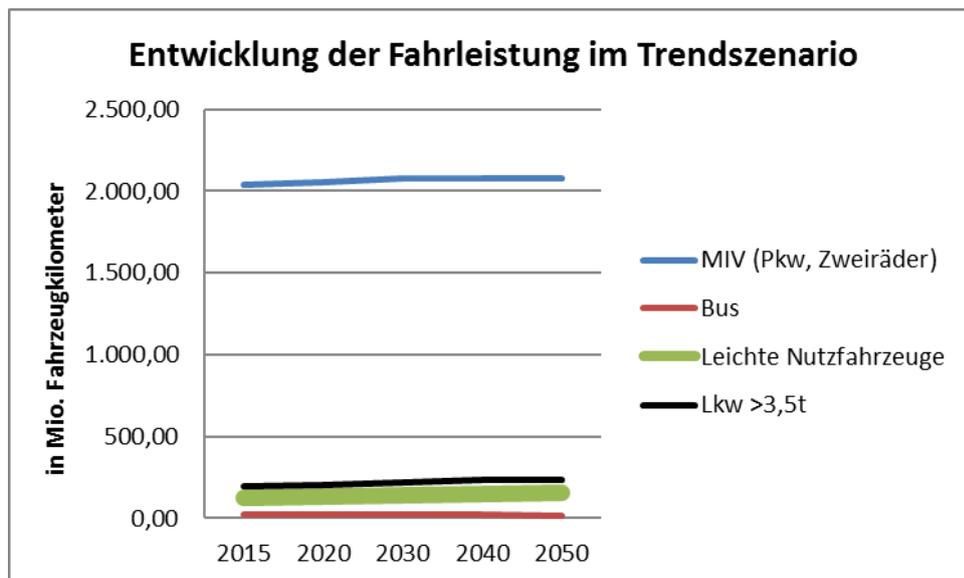


Abbildung 4: Entwicklung der Fahrleistung im Trendszenario.

Demgegenüber sinkt die MIV-bedingte Fahrleistung im Maximalszenario bis 2050 stark ab. Die Fahrleistungen der leichten Nutzfahrzeuge und der Lkw nehmen insgesamt bis 2030 zu und verringern sich dann bis 2050 wieder.

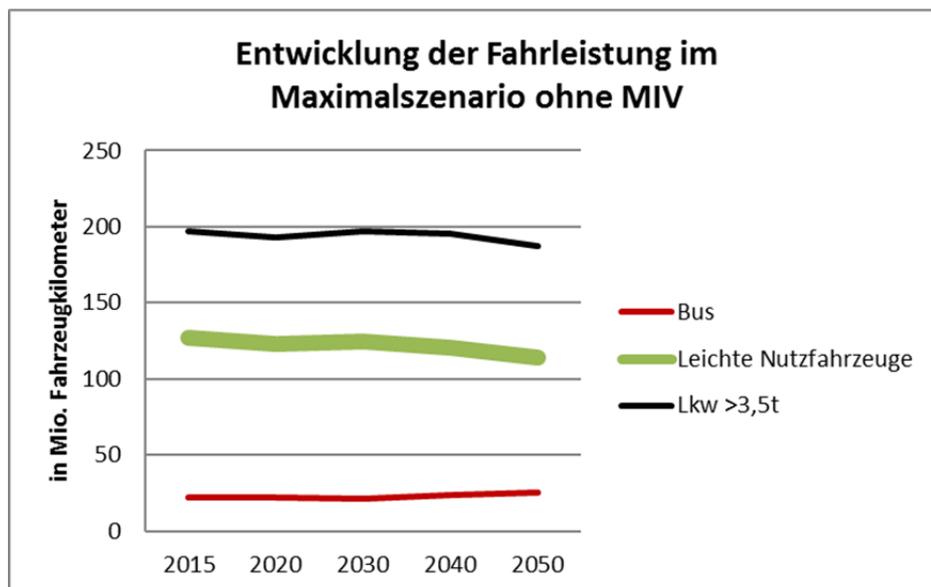
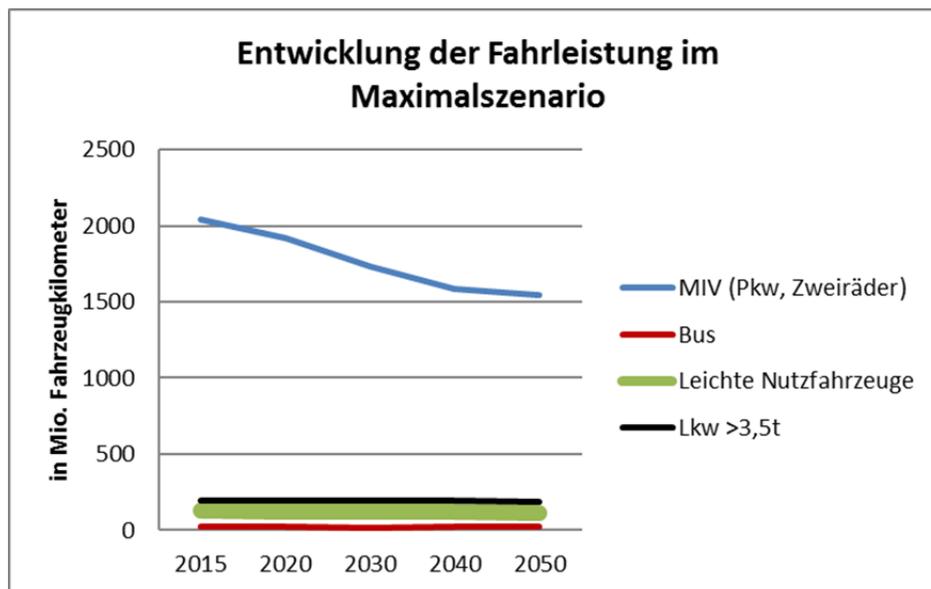


Abbildung 5: Entwicklung der Fahrleistung im Maximalszenario.

Neben der Veränderung der Gesamtfahrleistung im Verkehrssektor, verschiebt sich auch der Anteil der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zugunsten von Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb (s. Abbildung 6). Im Maximalszenario ist zu erkennen, dass nach 2030 die Fahrleistung der E-Fahrzeuge die Fahrleistung der Verbrenner übertrifft. Für das Trendszenario gilt dies nicht. Hier ist die Fahrleistung der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor noch immer über der Fahrleistung der E-Fahrzeuge.

Zukünftiger Energiebedarf für E-Fahrzeuge

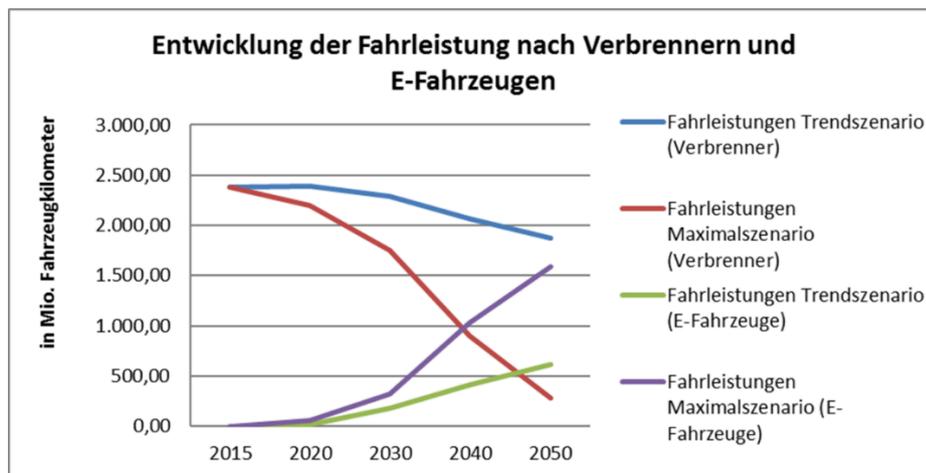


Abbildung 6: Entwicklung der Fahrleistungen nach Verbrennern und Nutzfahrzeugen.

Auf diesen Grundlagen werden nachfolgend die Endenergiebedarfe und Endenergieeinsparpotenziale für das Trend- und das Maximalszenario berechnet. Die Endenergiebedarfe sind bis 2050 im Trendszenario auf 67 % und im Maximalszenario auf 32 % zurückgegangen. Dadurch liegen die Einsparpotenziale bis 2050 im Trendszenario bei 33 % und im Maximalszenario bei 68 % (s. Abbildung 7).

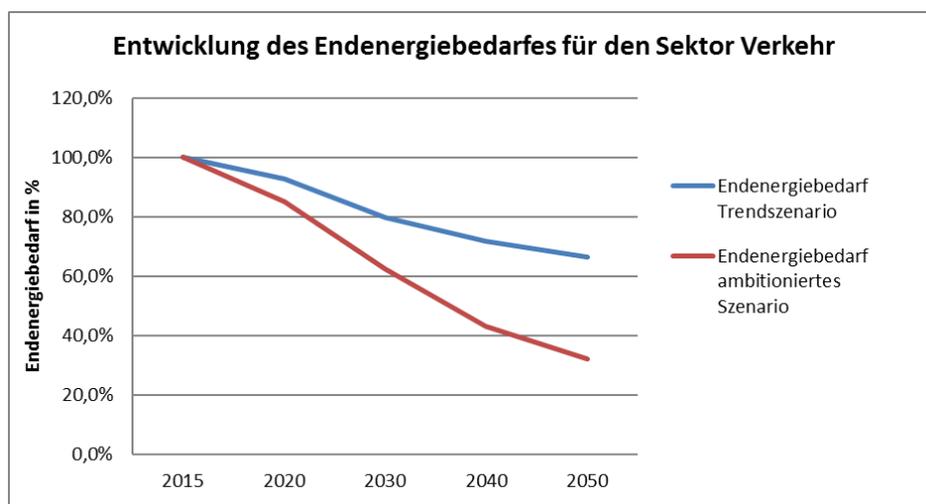


Abbildung 7: Entwicklung des Endenergiebedarfes im Verkehrssektor.

Darüber hinaus wird nachfolgend der Anteil des zukünftigen verkehrsinduzierten Strombedarfes am erneuerbar produziertem Strom dargestellt. Bei gleichbleibender Stromproduktion (Stand 2015)

Zukünftiger Energiebedarf für E-Fahrzeuge

liegt der Anteil des Strombedarfes für E-Fahrzeuge 2050 im Trendszenario bei gut 5 % und im Maximalszenario bei knapp 16 %. ²

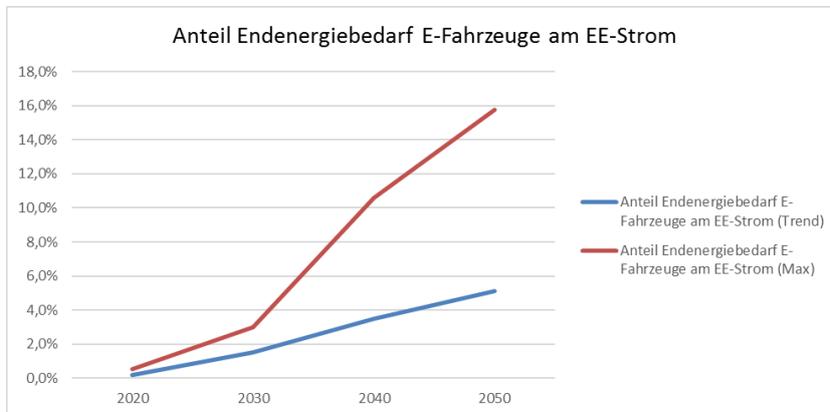


Abbildung 8: Anteil des Endenergiebedarfes von E-Fahrzeugen am EE-Strom ohne weitere Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien im Landkreis Emsland.

Bei weiter ansteigender EE-Stromproduktion im Landkreis Emsland³ liegt der Anteil des Strombedarfes für E-Fahrzeuge 2050 im Trendszenario bei gut 4,4 % und im Maximalszenario bei knapp 13 %.

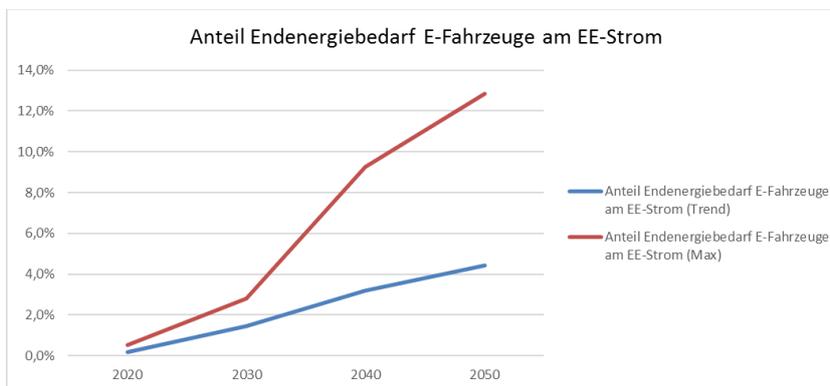


Abbildung 9: Anteil des Endenergiebedarfes von E-Fahrzeugen am EE-Strom mit Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien im Landkreis Emsland.

² Der Anteil der leichten Nutzfahrzeuge (INFz) am EE-Strom beträgt 2050 im Maximalszenario 1 % und im Trendszenario 0,2 %.

³ Annahme Trendszenario: Steigerung des EE-Stromanteils alle 10 Jahre um 5 %. Annahme Maximalszenario: Steigerung des EE-Stromanteils alle 10 Jahre um 7 %.

4 E-Mobilität als Stromspeicher

E-Mobilität bringt vor dem Hintergrund eines steigenden EE-Anteils am Stromverbrauch im Landkreis Emsland zwei Vorteile mit sich: Zum einen können durch E-Fahrzeuge, die mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden, die THG-Emissionen (insbesondere lokal) reduziert werden. Zum anderen können E-Fahrzeuge als kurz- bzw. mittelfristige Zwischenspeicher für den Ausgleich der volatilen Einspeisung der erneuerbaren Energien fungieren. Denn die Verfügbarkeit von Wind- und Solarenergie ist stark abhängig von den Wetterverhältnissen vor Ort.

Daher wird im nachfolgenden Kapitel E-Mobilität als Stromspeicher der aktuelle Stand zum Thema Vehicle to Grid (V2G) näher erläutert. Unter Vehicle to Grid wird grundsätzlich ein „Konzept zur Rückspeisung von gespeicherter Energie in Fahrzeugbatterien von reinen Elektroautos und Plug-In-Hybridautos in das elektrische Versorgungsnetz“ (Richter/Steiner 2011: 1) gefasst.

Vehicle to Grid (V2G)

Die Energieproduktion war bisher immer eine Angelegenheit großer Versorgungsunternehmen, eingebunden in eine zentrale Netzstruktur. Mit zunehmenden Anteilen erneuerbaren Energien an der Stromproduktion steigt das Problem, mit den stark schwankenden Residuallasten umgehen zu müssen. Die Residuallast beschreibt den Anteil am gesamten deutschen Stromverbrauch, der unabhängig von den unbeständigen Energieträgern Sonne und Wind ist (= der Stromanteil, der nicht regenerativ erzeugt wird). Eine nationale Durchschnittsbetrachtung ist für Regionen mit einer hohen Produktion an erneuerbaren Energien, wie dem Landkreis Emsland und / oder limitiertem Netzzugang wenig hilfreich. Damit wächst der Druck, flexible Lasten in sektorenübergreifenden Smart Grid-Lösungen zu integrieren. Durch ein dezentrales Lastmanagement können Bedarf und Angebot an Energie besser ausgeglichen werden. Diese Art der Netzorganisation wird auch „schlaue Netze“ genannt und zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Dezentralität bietet den Vorteil einer effizienteren Versorgung mit einer transparenten Lastenzuschreibung und Lastenverteilung (vgl. Canzler/Knie 2013).

Eine Möglichkeit, um das Problem mit den stark schwankenden Residuallasten zu lösen, ist die Integration von Elektroautos ins Stromnetz. So ergibt sich ein interessanter Spielraum für den Stromeinspeiser, wenn bspw. bei einer Nachtladung lediglich vereinbart wird, dass morgens um 7 Uhr die Batterie des Elektroautos vollständig geladen sein soll, das Fahrzeug aber bereits ab 21 Uhr an der Steckdose hängt. Innerhalb von 10 Stunden kann das Energieversorgungsunternehmen dann gesteuert laden, wenn es zur Stabilisierung den andernorts nicht nachgefragten Strom „loswerden“ möchte.

Die Flexibilität kann durch das bidirektionale Laden nochmals erhöht werden. Bei erhöhtem Strombedarf im Netz kann dann eine Rückspeisung aus der Batterie erfolgen (vgl. Abbildung 10).



Abbildung 10: Integration von Elektroautos in das Stromnetz (Quelle: © WWF/LichtBlick SE; 2017).

"Vehicle to Grid" (V2G) in der Praxis

In einem Feldversuch wurde bereits die Praxistauglichkeit und die Nutzerakzeptanz von Elektromobilität erprobt. Im Mittelpunkt standen die Potenziale der Elektromobilität in Bezug auf die Integration der erneuerbaren Energien ins Stromnetz. Ferner wurde das natürliche Verhalten der Nutzer in Hinblick auf die Elektromobilität und Steuerbarkeit des Ladeverhaltens untersucht. Der Aufbau und Betrieb von Ladeinfrastruktur sowie die Erfahrungen mit dem Elektrofahrzeug und dessen Komponenten (vgl. Vattenfall 2011).

Des Weiteren wird in Langzeittests die Kopplung von Elektrofahrzeugen mit Photovoltaikanlagen untersucht. Die Fahrzeuge sollen einen Teil ihres Strombedarfs direkt aus den Solarmodulen aufnehmen und somit das Netz in der Mittagsspitze weniger belasten (vgl. Webseite Solar o. J.).

Insgesamt ist Vehicle to Grid nur umsetzbar, wenn das E-Fahrzeug an die Ladeinfrastruktur angeschlossen ist und die Nutzer mit einer Rückspeisung der Energie ins Netz einverstanden sind. Es ist bisher aber nicht absehbar, in welchem Umfang private Nutzer über das Nachtladezeitfenster hinaus die Kontrolle über den Ladezeitraum ihres Fahrzeuges abgeben werden. Eine potenzielle Zielgruppe für gesteuertes Laden sind Pendler, die auf Betriebsparkplätzen ihr Fahrzeug ans Netz anschließen und damit zur Absorption der PV-Mittagsspitze beitragen. Weitergehende Chancen eröffnet der professionelle Flottenbetrieb: Sowohl das zeitlich versetzte Puffern als auch das bidirektionale Laden ist deshalb vor allem für Flotten von Unternehmen eine realistische Perspektive, weil diese ein vorausschauendes Lastenmanagement wesentlich einfacher und verbindlicher gewährleisten können, als es durch die individuelle Nutzung bei privaten Pkw möglich ist.

Alle Prognosen gehen von sinkenden Batteriepreisen aus. Dies hat zur Folge, dass Anschaffungskosten für Elektrofahrzeuge sinken und zudem Kosten für die Integration von Batteriespeichern in Smart Grids reduziert werden können. Damit würden die Rahmenbedingungen geschaffen werden, die Speicherkapazitäten der Fahrzeuge als Puffer für die fluktuierend einspeisenden regenerativen Energien zu nutzen.

Neben den Anschaffungspreisen ist auch die Lebensdauer der Batteriespeicher für V2G-Konzepte von Bedeutung. Die Batterielebensdauer ist abhängig vom tatsächlichen Alter der Batterie (in Jahren) und der Zyklen-Lebensdauer (Anzahl der möglichen Entladungen und Wiederaufladungen). Herstellerangaben zufolge ist die Lebensdauer der Batterien nicht mehr systemrelevant: Je nach Batterietyp ergibt sich eine Lebensdauer von 8-10 Jahren und bis zu 7.000 Ladezyklen (vgl. FGSV 2018: 20). Das ergibt bspw. bei 3.000 Ladezyklen und einer elektrischen Reichweite von 100 km eine potenzielle Reichweite von rund 300.00 km (vgl. FGSV 2018: 20). Je nach Zyklen-Lebensdauer könnten weitere Ladezyklen durch V2G-Anwendungen genutzt werden, ohne dass dies zu Lasten der Fahrzeugnutzung für Mobilitätszwecke ging. Problematisch ist es jedoch, wenn die Lebensdauer der Batterie durch V2G vor dem Lebensende des E-Fahrzeugs endet und ausgetauscht werden muss. Damit würden sich die Batteriekosten für den Fahrzeugnutzer verdoppeln. Dies wiederum hätte zur Folge, dass die Mindesteinnahmen durch V2G (€ pro eingespeiste kWh Strom) sehr hoch angesetzt werden müssten, um eine Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten (vgl. Richter/Steiner 2011: 47).

Ein weiterer Aspekt, der gegen V2G spricht, ist dass die Lebensdauer einer Batterie ansteigt, wenn diese nur auf 80 % der Maximalkapazität aufgeladen wird. Dementsprechend kann es unter bestimmten Rahmenbedingungen (regelmäßige Pendelstrecken) vorteilhafter für den Nutzer sein, keine V2G-Anwendung zu nutzen (vgl. Richter/Steiner 2011: 48).

E-Mobilität als Stromspeicher

Angesichts des steigenden Anteils an Strom aus erneuerbaren Energien, könnte es in Zukunft vermehrt zu der Situation kommen, dass die Stromproduzenten mehr Strom erzeugen als der Markt benötigt (= negative Residuallast). Welche Bedeutung stationäre Batterien und batterieelektrische Fahrzeuge für die Dämpfung der der negativen Residuallast haben können, hängt nicht nur von ihrer Größe, der nutzbaren Kapazität und ihrer Netzfähigkeit, sondern auch davon ab, ob es gelingt, wirtschaftlich tragfähige Puffermodelle zu etablieren. Diese wiederum dürften nur dann zu realisieren sein, wenn genügend Zeitintervalle als Speicheroption vergütet werden.

Insgesamt werden zwar viele Modell- und Forschungsprojekte zum Thema V2G durchgeführt, eine praxisnahe Anwendung scheitert derzeit allerdings noch an der mangelnden Wirtschaftlichkeit des Konzeptes. Vor dem Hintergrund der steigenden EE-Stromproduktion im Landkreis Emsland und einer zunehmenden Anzahl an E-Fahrzeugen, kann das V2G-Modell zukünftig Einsatz finden. Energieversorger nutzen derzeit schon Mobilitätsstromtarife, um das Laden von E-Fahrzeugen zu managen. Diese könnten zukünftig ggf. auch mit V2G gekoppelt werden.

5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

Total Cost of Ownership (TCO) ist ein ganzheitlicher Ansatz, der alle anfallenden Kosten im gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeuges berücksichtigt und damit eine belastbare Entscheidungsgrundlage für Kommunen und Unternehmen bei anstehenden Fahrzeuganschaffungen darstellt.

Zum wirtschaftlichen Vergleich verschiedener Fahrzeugmodelle, wurde der vom Öko-Institut e.V. im Rahmen des Schaufenster Elektromobilität entwickelte *TCO-Rechner* verwendet (vgl. Öko-Institut e.V.). Dieser berücksichtigt alle anfallenden Kosten beim gewerblichen Betrieb eines Fahrzeuges und ermöglicht die Gegenüberstellung von herkömmlichen Fahrzeugmodellen und Elektrofahrzeugen. Dazu gehören Kostenbestandteile, die sich aus den Fixkosten und den laufenden Kosten ergeben. Zu den **Fixkosten** der Fahrzeugbeschaffung zählen:

- der Anschaffungspreis und
- die Kosten für die zu errichtende Ladeinfrastruktur.

Die **laufenden Kosten** ergeben sich hingegen aus:

- den Kraftstoffkosten,
- den Schmierstoffkosten,
- den anfallenden Aufwendungen für die Wartung und Reparatur des Fahrzeuges,
- den Inspektionskosten,
- den Versicherungskosten und
- der fälligen Kraftfahrzeugsteuer.

Dem gegenüber werden **kostensenkende Faktoren** berücksichtigt, die sich aus:

- Kaufprämien,
- Abschreibungen gemäß AfA und
- dem Restwert des Fahrzeuges nach seiner Nutzungsdauer

zusammensetzen. Durch die gesamtheitliche Betrachtung dieser Wirtschaftlichkeitsfaktoren wird eine belastbare Betrachtung der zu erwartenden Kosten für die Nutzung eines Fahrzeuges möglich. Auf diese Weise lässt sich auch die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von E-Fahrzeugen darstellen.

5.1 Landkreiseigener Fuhrpark

Das TCO-Kalkulationsmodell wird das Potenzial zum Austausch bestehender Fuhrparkbestände des Landkreises Emsland durch Elektrofahrzeuge deutlich machen und aufzeigen, wie sich die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Elektromobilität gegenwärtig darstellt.

Das anschließende Ziel sollte es sein, spezifische Fahrzeugmodelle des landkreiseigenen Fuhrparks zu identifizieren, die für eine zeitnahe Substitution durch Elektrofahrzeuge in Frage kommen.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

Dabei sind zum einen jene Bestandsfahrzeuge zu fokussieren, deren Leasingverträge in einem kurz- bis mittelfristigen Zeitraum auslaufen. Dieser Zeitraum kann beispielsweise auf das aktuelle und das kommende Kalenderjahr beschränkt werden. Zum anderen sind aber auch solche Bestandsfahrzeuge von Relevanz, die sich bereits seit mehreren Jahren im Eigentum des Landkreises befinden. Geht man davon aus, dass die technische Funktionsfähigkeit eines Fahrzeuges auf einen gewissen Zeitraum beschränkt ist und neue Entwicklungen zu einer veralteten Technologie führen, sind diese Fahrzeugmodelle im Rahmen eines kurz- bis mittelfristigen Austausches ebenfalls zu betrachten.

Im Rahmen weiterführender Überlegungen sind die hier ermittelten Substitutionspotenziale der Elektromobilität somit auf konkrete Bestandsfahrzeuge zu übertragen. Dabei sind relevante Fahrzeuge mittels einer Fuhrparkanalyse zu identifizieren, die für eine Substitution in Frage kommen und durch konkurrenzfähige Elektrofahrzeuge ersetzt werden können. Die Ergebnisse der nachfolgenden Potenzialanalyse geben somit eindeutige Hinweise auf Möglichkeiten zur Fuhrparkumstellung und zum Austausch von relevanten Bestandsfahrzeugen durch geeignete Elektromobile.

5.2 Potenzialanalyse

Zur Ermittlung der Austauschpotenziale durch Elektromobilität sind den dargestellten Bestandsfahrzeugen geeignete Elektrofahrzeugmodelle wirtschaftlich gegenüberzustellen. Zu diesem Zweck wurden innerhalb der jeweiligen Fahrzeugklasse aktuell verfügbare Elektrofahrzeuge ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass sie hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften eine konkurrenzfähige Alternative zu den bestehenden Fahrzeugen darstellen. Der angestrebte Wirtschaftlichkeitsvergleich geht davon aus, dass bestehende Fahrzeuge des Fuhrparks abgeschafft und

- entweder durch den Neukauf des identischen Fahrzeugmodells
- oder eines vergleichbaren Elektrofahrzeuges

ersetzt werden. Demnach bezieht sich die TCO-Analyse auf den Vergleich herkömmlicher Benzin- und Dieselfahrzeuge mit einem oder mehreren technisch konkurrenzfähigen Elektrofahrzeugen. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass sich die betrachtete Konkurrenzfähigkeit der Elektromobilität vor allem aus der Fahrzeugleistung und dem Stau- bzw. Gepäckraum ergibt. Hinsichtlich der möglichen Reichweite pro Tank-/Ladefüllung kann die Elektromobilität gegenwärtig keine konkurrenzfähige Alternative darstellen. Daher ist im Einzelfall zu prüfen, ob für den spezifischen Verwendungszweck eines jeweiligen Fahrzeuges, die mögliche Reichweite des E-Fahrzeugs ausreicht. Dies sollte Bestandteil der weiteren Überlegungen und einer konkreten Fuhrparkanalyse sein.

Eine grundlegende Einflussgröße der Wirtschaftlichkeitsberechnung stellt die jährliche Laufleistung der betrachteten Fahrzeuge dar. Diese wurde innerhalb der verschiedenen Fahrzeugklassen auf Grundlage der durchschnittlichen Jahresfahrleistung des gegenwärtigen Fahrzeugbestandes ermittelt. Dabei ergaben sich die nachfolgenden Durchschnittswerte, die der TCO-Analyse zugrunde gelegt wurden.

Tabelle 1: Durchschnittliche Jahresfahrleistung innerhalb der Fahrzeugklassen des Landkreises Emsland.

Fahrzeugklasse	durchschnittliche Jahresfahrleistung
Kleinwagen	20.000 km
Kompaktklasse	29.000 km
Mittelklasse	35.000 km
Nutzfahrzeuge	20.000 km

Weitere Einflussgrößen, die im Rahmen der TCO-Analyse manuell bestimmt wurden, beziehen sich zum einen auf eine angenommene Haltedauer von insgesamt 8 Jahren. Zum anderen wurden die Kraftstoffkosten bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren auf Grundlage der durchschnittlichen Benzin- und Dieselpreise aus den letzten 12 Monaten berechnet. Dabei ergab sich ein Preis von

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

1,417 € pro Liter Benzin und 1,236 € pro Liter Diesel (vgl. MWV 2018). Bei Elektrofahrzeugen wurden die Kraftstoffkosten hingegen aus dem durchschnittlichen Gewerbestrompreis aus dem Jahre 2016 abgeleitet. Dieser belief sich auf 21,7 Cent/kWh (vgl. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen 2017: 229).

Ebenfalls individuell zu bestimmen waren die Kosten der Fixkostenkalkulation. Dabei wurden die Anschaffungskosten mittels der vom Hersteller veröffentlichten Listenpreise bestimmt. Es wurden jeweils die Kosten der geringsten Ausstattungs- und Motorisierungsvariante eines spezifischen Fahrzeuges verwendet. Bei der TCO-Analyse für Elektrofahrzeuge wurde der Umweltbonus in Höhe von 4.000 Euro berücksichtigt und von den Anschaffungskosten abgezogen. Ein dritter Bestandteil sind die Fixkosten für die benötigte Ladeinfrastruktur. Da der Landkreis Emsland bisher über Ladesäulen mit einer Leistung von 2*11 kW verfügt, wurden der TCO-Analyse vor dem Hintergrund des fortlaufenden technologischen Fortschrittes, die Kosten einer 2*22 kW Ladesäule zugrunde gelegt. Da eine Ladesäule jeweils von zwei Elektrofahrzeugen genutzt werden kann, wurden die kalkulierten Kosten für die Errichtung und den Betrieb der Ladeinfrastruktur bei der TCO-Analyse eines Fahrzeuges halbiert. Die veranschlagten Ladeinfrastrukturkosten setzen sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

Tabelle 2: Kostenkalkulation Ladeinfrastruktur

Kostenbestandteile		Kalkulation (brutto)	Quelle
Investitionskosten (einmalig)	Hardware	6.843 €	Hier wurde die Ladesäule <i>Mennekes Basic 22</i> (400 V AC, 32 A, 2*11 kW Ladeleistung Mode 3) als Referenz verwendet (vgl. Mennekes 2018)
	Netzanschluss	2.000 €	vgl. NPE 2015
	Genehmigung, Planung, Standortsuche	1.000 €	
	Montage, Baukosten, Beschilderung	2.000 €	
Wartungs- und Betriebskosten (pro Jahr)	Wartung- und Entstörung, Vertragsmanagement und Abrechnung, IT-System und Kommunikation	1.200	

5.2.1 Kleinwagenklasse

In der Kleinwagenklasse wurde auf Seiten der verbrennungsmotorischen Antriebe das Benzin- und Dieselfahrzeug *VW Polo* für den Wirtschaftlichkeitsvergleich ausgewählt. Elektrisch betriebene Alternativen stellen die Fahrzeuge *VW e-up*, *BMW i3* und *Renault Zoe* dar. Die Gegenüberstellung

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

im Rahmen der TCO-Analyse zeigt, dass alle Elektrofahrzeuge mit einem Aufpreis über den gesamten Nutzungszeitraum verbunden sind. Die höchste wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit weist der *VW e-up* mit 2.330 € Mehrkosten im Vergleich zur Benzin-Variante und 4.170 € zur Diesel-Variante des *Polos* auf. Der *Renault Zoe* kann leicht erhöhte Vorteile gegenüber dem *VW e-up* hinsichtlich der maximalen Reichweite aufweisen, wird aber auch mit 2.420 € zusätzlichen Mehrkosten kalkuliert. Das teuerste Fahrzeugmodell stellt der *BMW i3* dar. Mit Gesamtkosten in Höhe von 38.9730 € übersteigt er die Diesel- und Benziner-Variante des *VW Polos* um 9.556 € bis 11.400 €. Dafür bietet er mit 300 km die geringsten Reichweiteneinschränkungen unter den dargestellten Elektrofahrzeugen in der Kleinwagenklasse.

Alle Elektrofahrzeuge weisen deutlich reduzierte CO₂-Emissionen im Vergleich zu den herkömmlich betriebenen Fahrzeugmodellen auf. Auf lokaler Ebene profitieren sie durch ihre Emissionsfreiheit und auch hinsichtlich ihrer energiebedingten Emissionen können sie deutliche Vorteile aufweisen. Diesbezüglich belaufen sich die Reduktionspotenziale

- des *VW e-up* auf 80,3 bis 83,1 %,
- des *BMW i3* auf 77,9 bis 81,0 % und
- des *Renault Zoe* auf 78,3 bis 81,3 %

im Vergleich zu den beiden *Polo*-Modellen (vgl. Tabelle 3).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

Tabelle 3: TCO-Vergleich Kleinwagen [VW 2018e, VW 2018c, BMW AG 2018, Renault 2018b]

		Kleinwagen				
Kraftstoff		Diesel		Benzin	Elektro	
Fahrzeugmodell		VW Polo		VW e-up	BMW i3	Renault Zoe Life
Spezifikation		TDI , Trendline	TSI, Trendline	18,7 kW	94 Ah	R90, 22 kWh
Technische Daten ¹	Verbrauch	3,8 - 3,6 l/100 km	5,0 l/100 km	11,7 kWh/100 km	13,1 kWh/100 km	12,9 kWh/100 km
	CO ₂ -Emissionen	108-109 g/km	95-99 g/km	0 g/km	0 g/km	0 g/km
	max. Leistung	80 PS	65 PS	82 PS	170 PS	92 PS
	Höchstgeschwindigkeit	175 km/h	164 km/h	130 km/h	150 km/h	135 km/h
	max. Reichweite ²	1053 km	800 km	120 - 160	300 km	170 km
	Kofferraumvolumen	351 l	351 l	250 l	425 l	338 l
	Ladedauer (Schuko, max. 3,6 kW)	-	-	10 h (0 - 100 %)	11 h (0 - 80 %)	14,5 h (0 - 100%)
	Ladedauer (Wallbox o. Ladestation, ≥ 3,7 kW)	-	-	40 Min. (0 - 80 %)	2,75 h (0 - 80 %)	2-3 h (0 - 80%)
Ladedauer (Schnellladestation, ≥ 50 kW)	-	-	k. A.	0,65 h (0 - 80 %)	1 h (0 - 80%)	
Fixkosten	Anschaffungskosten ³	13.929	10.945	22.605	31.555	25.126
	Kaufprämie ⁴	0	0	-4.000	-4.000	-4.000
	Ladeinfrastruktur ⁵	0	0	9.992	9.992	9.992
laufende Kosten	Kraftstoffe ^{6,7}	8.365	12.944	4.349	4.866	4.793
	Schmierstoffe ⁸	456	373	0	0	0
	Wartung und Reparatur ⁸	6.115	5.722	3.450	3.450	3.450
	Inspektion ⁹	674	674	380	380	380
	Versicherung ⁹	5.594	5.138	5.138	5.138	5.138
Abschreibung und Restwert ¹¹	Kfz-Steuer ¹⁰	751	476	0	0	0
	Abschreibung für Abnutzung	-3.709	-2.916	-4.957	-7.344	-5.628
	Abschreibung Betriebskosten	-1.970	-1.829	-1.034	-1.034	-1.034
	Fahrzeugrestwert ¹²	-2.632	-2.111	-4.177	-4.030	-4.051
Gesamtkosten (netto) ohne Abschreibungen		35.884	36.272	41.914	51.381	44.879
Gesamtkosten (netto) mit Abschreibungen¹³		27.573	29.416	31.746	38.973	34.166
CO ₂ -Emissionen - lokal [in t] ¹⁴		17,848 t	19,964 t	0 t	0 t	0 t
CO ₂ -Emissionen - energiebedingt [in t] ¹⁵		21,448 t	25,76 t	7,75 t	8,677 t	8,545 t

Auf Grundlage der Fahrleistungen bestehender Flotten-Fahrzeuge in der Kleinwagenklasse (Ø 23.333 km/a), wurde der Berechnung eine Jahresfahrleistung von **23.000 km** pro Jahr zugrunde gelegt.

¹Basierend auf Herstellerangaben.

²Die maximale Reichweite wurde aus den Herstellerangaben zum Tankvolumen und den Verbrauchswerten berechnet.

³Berücksichtigt wurde der jeweils angegebene Grundpreis in der geringsten Ausstattungs- und Motorisierungsvariante. Angaben in netto exkl. Mehrwertsteuer (19 %) und bei Elektrofahrzeugen inkl. Batteriekauf.

⁴Bei Elektrofahrzeugen wird der Umweltbonus als Kaufprämie von den Anschaffungskosten abgezogen. Die Höhe der Förderung ergibt sich bei Fahrzeugen mit einem Anschaffungspreis unter 60.000 € aus je 2.000 €, die vom Hersteller und vom Staat gewährt werden.

⁵Als Kalkulationsgrundlage wurde hier eine Ladesäule mit 22 kW verwendet (siehe Kostenkalkulation: Tab. 4)

⁶Kalkulationsgrundlage Elektro: 21,7 Cent/kWh (vgl. 3.3.2 Potenzialanalyse)

Kalkulationsgrundlage Verbrennungsmotor: Diesel: 123,6 Cent/l; Superbenzin: 141,7 Cent/l (vgl. 3.3.2 Potenzialanalyse)

⁷Zusätzlich werden Prognosemodelle zur Benzin-, Diesel- und Strompreisentwicklung verwendet, die künftige Preisanstiege/-senkungen einkalkulieren.

⁸Kosten für die Fahrzeugartung, -pflege und -reparatur werden bei benzinmotorischen Fahrzeugen auf Grundlage der ADAC-Autokosten-Datenbank (<https://www.adac.de/infotechat/autodatenbank/autokosten/default.aspx>) kalkuliert. Bei Elektrofahrzeugen wird hingegen von einer Minderung der Wartungskosten ausgegangen. Mittels einer pauschalen 18 %igen Senkung der Kosten wird die daraus resultierende Kostenersparnis angenommen.

⁹Die Kalkulation der Versicherungskosten erfolgt ebenfalls auf Grundlage der ADAC-Autokosten-Datenbank (<https://www.adac.de/infotechat/autodatenbank/autokosten/default.aspx>). Darin enthalten ist der Beitrag zur Kfz-Haftpflicht und ein Mittelwert aus den Beiträgen zur Voll- und Teilkaskoversicherung. Für die Berechnung der Versicherungskosten bei Elektrofahrzeugen werden die kalkulierten Beträge von Dieselfahrzeugen verwendet.

¹⁰Die laufenden Kosten der Kfz-Steuer ergeben sich aus dem Mittelwert der am häufigsten nachgefragten Fahrzeugmodelle in der jeweiligen Fahrzeugklasse. Die Datengrundlage stellt die ADAC-Autokosten-Datenbank (<https://www.adac.de/infotechat/autodatenbank/autokosten/default.aspx>) dar. Für Elektrofahrzeuge entfällt der Beitrag zur Kfz-Steuer.

¹¹Unternehmenssteuersatz: 30 %; Abschreibungszeitraum (nach AfA-Tabelle): 6 Jahre

¹²Die Restwertentwicklung erfolgte auf Grundlage verschiedener Methoden.

- Elektrofahrzeug: Alternativansatz (Kalkulationsgrundlage für den Restwert eines Elektrofahrzeuges stellt die Energiekostenersparnis des Zweitnutzers dar) - verbrennungsmotorische Fahrzeuge: Regressionskurve (Restwertberechnung basierend auf Anschaffungspreis, Fahrleistung und Fahrzeugalter)

¹³Für alle anfallenden Kosten wurde eine mittlere jährliche Inflationsrate von 1,5 % für den Betrachtungszeitraum unterstellt. Zukünftige Zahlungen wurden einer Abzinsung mittels eines Kalkulationssatzes von 5 % unterzogen.

¹⁴Kalkulation der durch den Fahrzeugbetrieb verursachten Emissionen auf Grundlage der Herstellerangaben (CO₂-Emissionen) und der Jahreslaufleistung. Elektrofahrzeuge sind lokal emissionsfrei.

¹⁵Kalkulation der energiebedingten Emissionen aus der Nutzungsphase (unter Berücksichtigung der Stromerzeugung bei Elektrofahrzeugen). Vor- und nachgelagerte Emissionen aus der Fahrzeugproduktion finden keine Berücksichtigung.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

Insgesamt zeigt sich ein Kalkulationsergebnis, welches im Spannungsdreieck zwischen den drei Entscheidungsfaktoren *Preis*, *Leistung* und *Umwelt* angesiedelt ist. Dabei wird der *Preis* durch die kalkulierten Gesamtkosten, die *Leistung* durch die maximale Reichweite und der Faktor *Umwelt* durch die CO₂-Emissionen definiert. Die Entscheidung für oder gegen ein Elektrofahrzeug kann lediglich durch eine Abwägung zwischen den drei Faktoren erfolgen. Es kann für die Kleinwagenklasse aber festgehalten werden, dass der VW e-up durchaus eine konkurrenzfähige Alternative bezüglich der Faktoren *Preis* und *Umwelt* darstellt. Der BMW i3 zeigt hingegen, dass höhere Ansprüche hinsichtlich der *Leistung* mit deutlichen Einbußen beim *Preis* einhergehen. Dies verdeutlicht das in Abbildung 9 dargestellte Scoring der Fahrzeuge hinsichtlich der drei relevanten Entscheidungsfaktoren. Unter den Elektrofahrzeugen korrelieren die Faktoren *Preis* und *Leistung*. Mit steigender Reichweite (höheres Scoring bei der Leistung) steigt auch der Preis deutlich an (geringeres Scoring beim Preis).

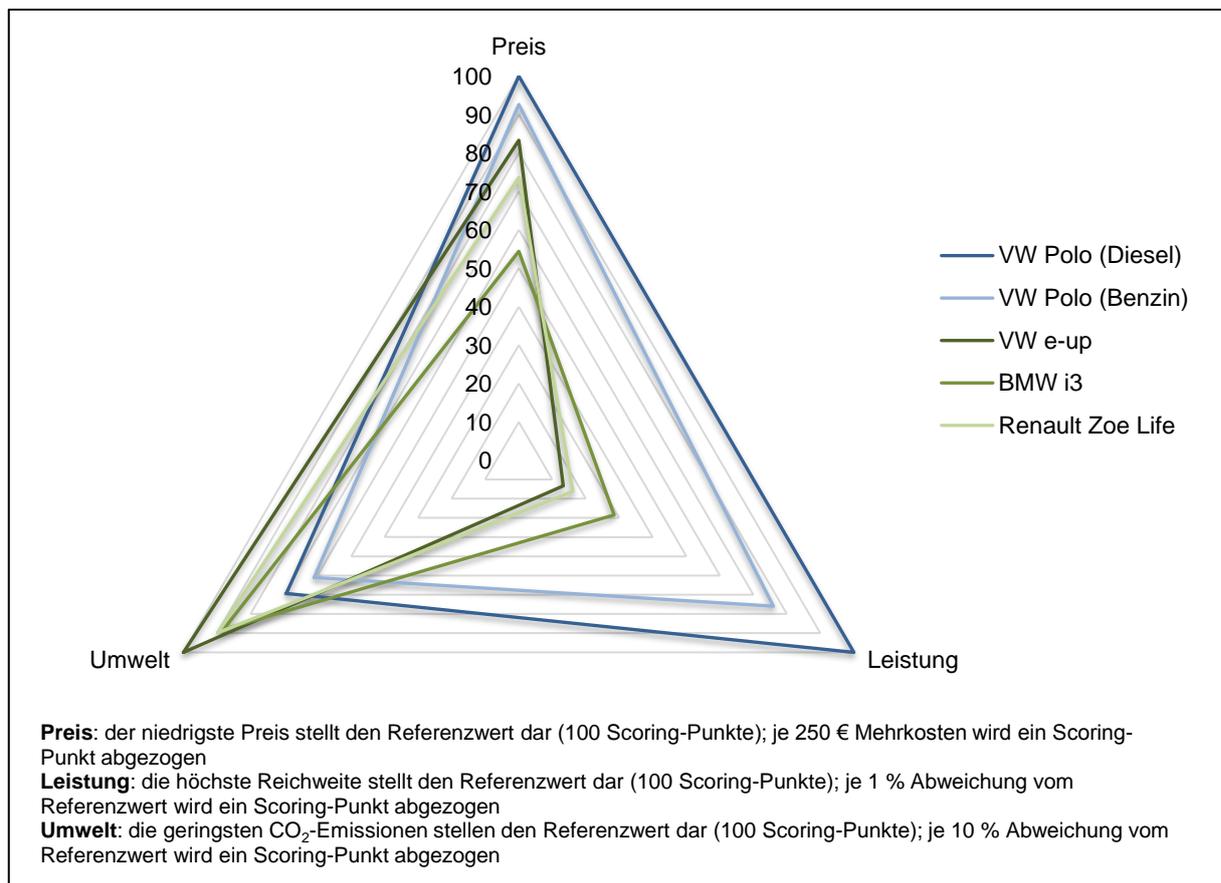


Abbildung 11: Scoring in der Kleinwagenklasse

5.2.2 Kompaktklasse

In der Kompaktkwagenklasse wurden die diesel- und benzinbetriebene Variante des *Audi A3 Sportback* den Elektrofahrzeugmodellen *Nissan Leaf* und *VW e-Golf* gegenübergestellt. Hinsichtlich der

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

Gesamtkosten über den 8-jährigen Nutzungszeitraum erweisen sich beide Elektrofahrzeuge (*Nissan Leaf*: -320 bis -1.082 €, *VW e-Golf*: -1.728 bis -2.491 €) als wirtschaftlich konkurrenzfähig. Insbesondere der *VW e-Golf* kann aufgrund seines relativ geringen Verbrauches von 12,7 kWh/100 km einen wirtschaftlichen Vorteil gegenüber den beiden Verbrennerfahrzeugen aufweisen. Dem *Nissan Leaf* gegenübergestellt, ergeben sich Einsparungen bei den kalkulierten Gesamtkosten von insgesamt 1.409 €.

Beide Elektrofahrzeuge sind erneut durch deutlich reduzierte CO₂-Emissionen gekennzeichnet. Ihre daraus resultierenden Reduktionspotenziale belaufen sich

- beim *Nissan Leaf* auf 72,7 bis 72,9 % und
- beim *VW e-Golf* auf 82,1 bis 82,3 % und

im Vergleich zu den beiden *Audi*-Modellen (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: TCO-Vergleich Kompaktklasse [Audi AG 2018a, Nissan 2018, VW 2018b]

Kompaktklasse					
Kraftstoff		Diesel	Benzin	Elektro	
Fahrzeugmodell		Audi A3 Sportback		Nissan Leaf	VW e-Golf
Spezifikation		30 TDI	30 TFSI	40 kWh	35,8 kWh
Technische Daten ¹	Verbrauch	4,5 l/100 km	5,0 l/100 km	19,4 kWh/100 km	12,7 kWh/100 km
	CO ₂ -Emissionen	114-118 g/km	114-118 g/km	0 g/km	0 g/km
	max. Leistung	116 PS	116 PS	150 PS	136 PS
	Höchstgeschwindigkeit	206 km/h	206 km/h	144 km/h	150 km/h
	max. Reichweite ²	1111 km	1000 km	285 km (WLTP)	300 km (NEFZ)
	Kofferraumvolumen	380 l	380 l	435 l	250 l
	Ladedauer (Schuko, max. 3,6 kW)	-	-	17 h (0 - 100 %)	≈ 11 h (0 - 100 %)
	Ladedauer (Wallbox o. Ladestation, ≥ 3,7 kW)	-	-	8,5 h (0 - 100 %)	≈ 5,25 h (0 - 100 %)
Ladedauer (Schnellladestation, ≥ 50 kW)	-	-	1 h (20 - 80 %)	≈ 0,75 h (0 - 80 %)	
Fixkosten	Anschaffungskosten ³	23.824	21.303	26.849	30.168
	Kaufprämie	0	0	-4.000	-4.000
	Ladeinfrastruktur ⁵	0	0	9.992	9.992
laufende Kosten	Kraftstoffe ^{6,7}	12.827	16.321	9.090	5.950
	Schmierstoffe ⁸	669	568	0	0
	Wartung und Reparatur ⁸	8.510	8.309	5.250	5.250
	Inspektion ⁸	674	674	380	380
	Versicherung ⁹	6.422	5.959	5.959	5.959
Kfz-Steuer ¹⁰	1.375	775	0	0	
Abschreibung ¹¹ und Restwert	Abschreibung für Abnutzung	-6.347	-5.675	-6.088	-6.971
	Abschreibung Betriebskosten	-2.752	-2.665	-1.575	-1.575
	Fahrzeugrestwert ¹²	-4.059	-3.664	-5.034	-5.739
Gesamtkosten (netto) ohne Abschreibungen		54.301	53.909	53.520	53.699
Gesamtkosten (netto) mit Abschreibungen¹³		41.143	41.905	40.823	39.414
CO ₂ -Emissionen - lokal [in t] ¹⁴		26,912 t	26,912 t	0 t	0 t
CO ₂ -Emissionen - energiebedingt [in t] ¹⁵		32,888 t	32,48 t	16,202 t	10,607 t

Auf Grundlage der Fahrleistungen bestehender Flotten-Fahrzeuge in der Kompaktklasse (Ø 28.987 km/a), wurde der Berechnung eine Jahresfahrleistung von **29.000 km** pro Jahr zugrunde gelegt.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

Anders als in der Kleinwagenklasse sind die dargestellten Elektrofahrzeuge in der Kompaktwagenklassen aus rein wirtschaftlicher Sicht deutlich konkurrenzfähiger. Die Modelle *Nissan Leaf* und *VW e-Golf* weisen sogar leicht geringere Gesamtkosten als die Referenzfahrzeuge mit Verbrennungsmotoren auf. Ein deutlicherer Einfluss auf die Fahrzeugwahl ist hingegen von den Faktoren *Fahrzeugleistung* und *Umwelt* zu erwarten. Während die Verbrennerfahrzeuge hinsichtlich der *Leistung* erneut deutlich dominieren, können die Elektrofahrzeuge abermals beim *Umweltkriterium* überzeugen. Dabei fällt auf, dass vor allem der *VW e-Golf* über ein hohes Einsparpotenzial von bis zu 82,3 % verfügt. Da dieses Modell auch die geringste Gesamtkostenkalkulation aufweist, ist ihm eine hohe Konkurrenzfähigkeit zu unterstellen. Erneut ist eine Kaufentscheidung jedoch vor dem Hintergrund einsatzspezifischer Anforderungen zu treffen. Dabei sollte insbesondere die eingeschränkte Reichweite ins Auge gefasst werden. Mit 300 km elektrischer Reichweite ist der *VW e-Golf* zwar auf einem vergleichsweise hohen technologischen Stand. Dennoch könnten Einschränkungen bei hohen Tagesfahrleistungen und geringen Standzeiten entstehen (vgl. Abbildung 12).

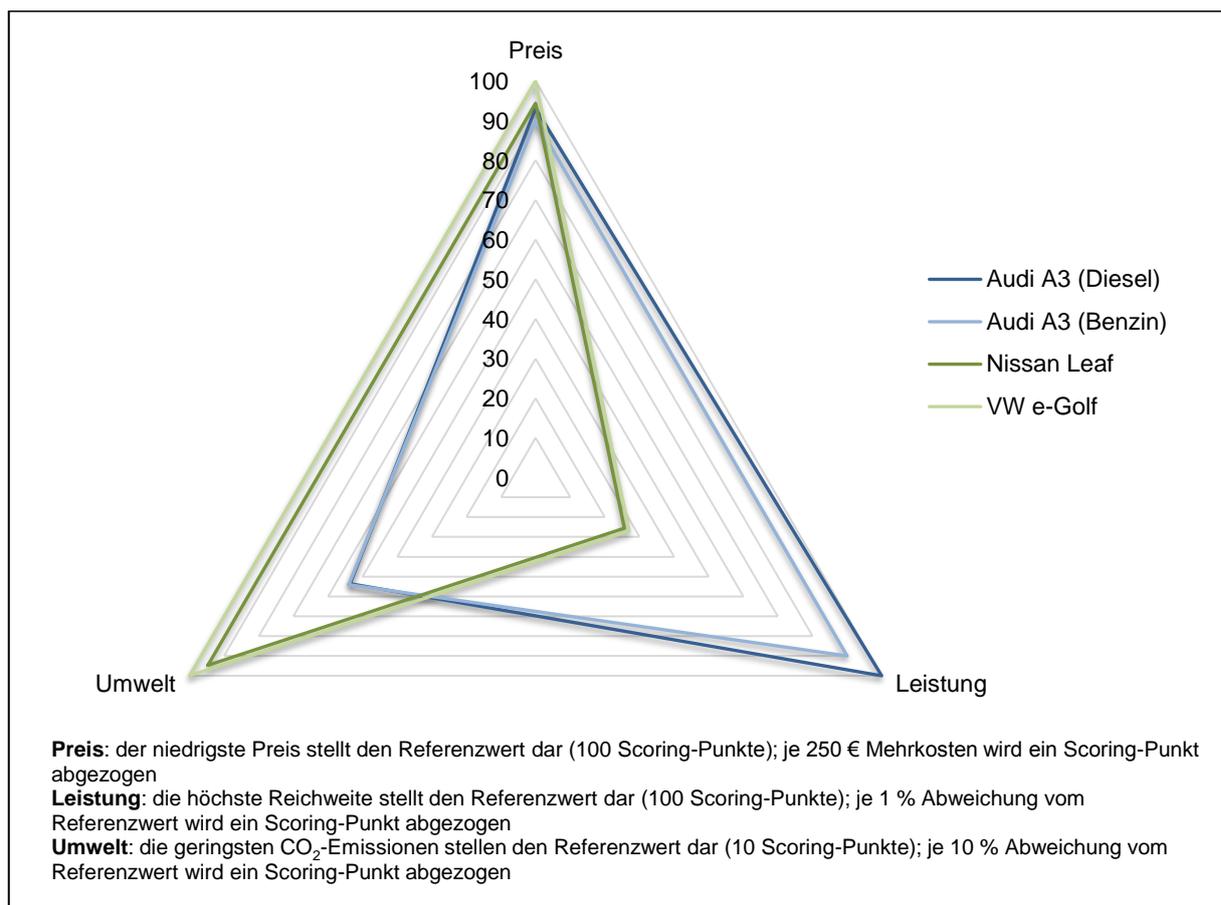


Abbildung 12: Scoring in der Kompaktwagenklasse

5.2.3 Mittelklasse

In der Mittelklasse wurde je eine benzin- und eine dieselpetriebene Variante der häufig verwendeten Fahrzeugtypen *Audi A4 Avant* und *VW Passat Variant* für die Kostenkalkulation verwendet. Ihnen wurden die Elektrofahrzeuge *Hyundai Ioniq* und *Hyundai Kona* gegenübergestellt. Die TCO-Analyse der Fahrzeuge zeigt, dass beide Elektrofahrzeugmodelle mit Gesamtkosten in Höhe von 40.002 € und 42.408 € deutlich geringer kalkuliert werden als die herkömmlich angetriebenen Referenzmodelle. Während die Diesel-Varianten des *Audi A4 Avant* und des *VW Passat Variant* Mehrkosten von 8.009 € bis 13.133 € aufweisen, beläuft sich das wirtschaftliche Einsparpotenzial der Elektrofahrzeuge gegenüber den Benziner-Varianten sogar auf 13.701 € bis 20.292 €. Demnach ist in dieser Fahrzeugklasse eine eindeutige Konkurrenzfähigkeit der Elektromobilität hinsichtlich der zu erwartenden Gesamtkosten abzuleiten. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass beide Elektrofahrzeugmodelle deutlich kleiner sind als die verbrennungsmotorischen Fahrzeuge. Demnach weisen sie einen geringeren Stauraum und eine verringerte Zuladungskapazität auf. Für spezifische Einsatzzwecke eines Mittelklassefahrzeuges könnten sie damit u. U. ungeeignet sein. Dies ist jedoch vor dem Hintergrund der individuellen Anforderungen an ein Fahrzeug zu beurteilen.

Hinsichtlich der kalkulierten CO₂-Emissionen belaufen sich die Einsparpotenziale der Elektromobilität auf

- 82,9 bis zu 85,8 % beim *Hyundai Ioniq* und
- 79,3 bis zu 82,9 % beim *Hyundai Kona* (vgl. Tabelle 5).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

Tabelle 5: TCO-Analyse Mittelklasse [Audi AG 2018b, VW 2018d, Hyundai 2018b, Hyundai 2018a]

		Mittelklasse					
Kraftstoff		Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Elektro	
Fahrzeugmodell		Audi A4 Avant		Passat Variant		Hyundai Ioniq	Hyundai Kona
Spezifikation		2.0 TDI	2.0 TFSI ultra	TDI SCR	TSI OPF	Elektro	Elektro
Technische Daten¹	Verbrauch	4,0 - 4,4 l/100 km	5,6 - 5,9 l/100 km	4,3 - 4,4 l/100 km	5,3 - 5,5 l/100 km	11,5 kWh/100 km	13,9 kWh/100 km
	CO ₂ -Emissionen	104-115 g/km	128-135 g/km	114-115 g/km	120-124 g/km	0 g/km	0 g/km
	max. Leistung	122 PS	190 PS	150 PS	150 PS	120 PS	136 PS
	Höchstgeschwindigkeit	198 km/h	238 km/h	216 km/h	213 km/h	165 km/h	155 km/h
	max. Reichweite ²	952 km	939 km	1517 km	1083 km	280 km	312 km
	Kofferraumvolumen	505 l	505 l	650 l	650 l	350 l	332 l
	Ladedauer (Schuko, max. 3,6 kW)	-	-	-	-	12 h (0 - 100 %)	14,5 h (0 - 100 %)
	Ladedauer (Wallbox o. Ladestation, ≥ 3,7 kW)	-	-	-	-	6 h (0 - 100 %)	8,5 h (0 - 100 %)
Ladedauer (Schnellladestation, ≥ 50 kW)	-	-	-	-	≈ 0,4 h (0 - 80 %)	0,9 h (0 - 80 %)	
Fixkosten	Anschaffungskosten ³	33.236	32.479	27.752	27.710	27.983	29.076
	Kaufprämie	0	0	0	0	-4.000	-4.000
	Ladeinfrastruktur ⁵	0	0	0	0	9.992	9.992
laufende Kosten	Kraftstoffe ^{6,7}	14.449	22.651	14.965	21.272	6.504	7.858
	Schmierstoffe ⁸	962	886	962	886	0	0
	Wartung und Reparatur ⁸	12.500	13.318	12.500	13.318	9.086	9.086
	Inspektion ⁸	674	674	674	674	380	380
	Versicherung ⁹	7.787	7.305	7.787	7.305	7.305	7.305
	Kfz-Steuer ¹⁰	1.617	982	1.617	982	0	0
Abschreibung und Restwert¹¹	Abschreibung für Abnutzung	-8.857	-8.655	-7.398	-7.380	-6.390	-6.683
	Abschreibung Betriebskosten	-4.040	-4.262	-4.040	-4.262	-2.727	-2.727
	Fahrzeugrestwert ¹²	-5.193	-5.084	-4.402	-4.396	-8.131	-7.879
Gesamtkosten (netto) ohne Abschreibungen		71.225	78.295	66.257	72.147	57.250	59.697
Gesamtkosten (netto) mit Abschreibungen¹³		53.135	60.294	50.417	56.109	40.002	42.408
CO₂-Emissionen - lokal [in t]¹⁴		30,66 t	36,82 t	34,02 t	34,16 t	0 t	0 t
CO₂-Emissionen - energiebedingt [in t]¹⁵		37,048 t	45,08 t	38,368 t	42,336 t	11,592 t	14,011 t

Auf Grundlage der Fahrleistungen bestehender Flotten-Fahrzeuge in der Mittelklasse (Ø 35.000 km/a), wurde der Berechnung eine Jahresfahrleistung von **35.000 km** pro Jahr zugrunde gelegt.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

Hinsichtlich der Kriterien *Leistung* und *Umwelt* sind erneute Parallelen zu den vorherigen Fahrzeugklassen erkennbar. Während das *umweltbezogene* Kriterium ebenfalls deutlich zugunsten der Elektrofahrzeuge ausfällt, werden durch die beschränkte Reichweite erneut Einschränkungen im Bereich der *Leistung* deutlich. Auch hier ist davon auszugehen, dass eine konkrete Entscheidung erneut stark von dem Verwendungszweck des spezifischen Fahrzeuges beeinflusst wird. Daher muss sie vor dem Hintergrund der erforderlichen Leistung und der spezifischen Ansprüche getroffen werden. Sind ca. 300 km Reichweite für die täglich zu absolvierenden Fahrten ausreichend oder sind ausreichende Standzeiten zum Laden des Fahrzeuges zwischen verschiedenen Fahrten möglich, ist eine Substitution bestehender Fahrzeuge aus dieser Fahrzeugklasse durch Elektrofahrzeuge zu empfehlen. Die wirtschaftlichen Vorteile der Elektromobilität werden hier besonders deutlich und stellen in Kombination mit den CO₂-Einsparpotenzialen eine hohe Konkurrenzfähigkeit dar (vgl. Abbildung 13).

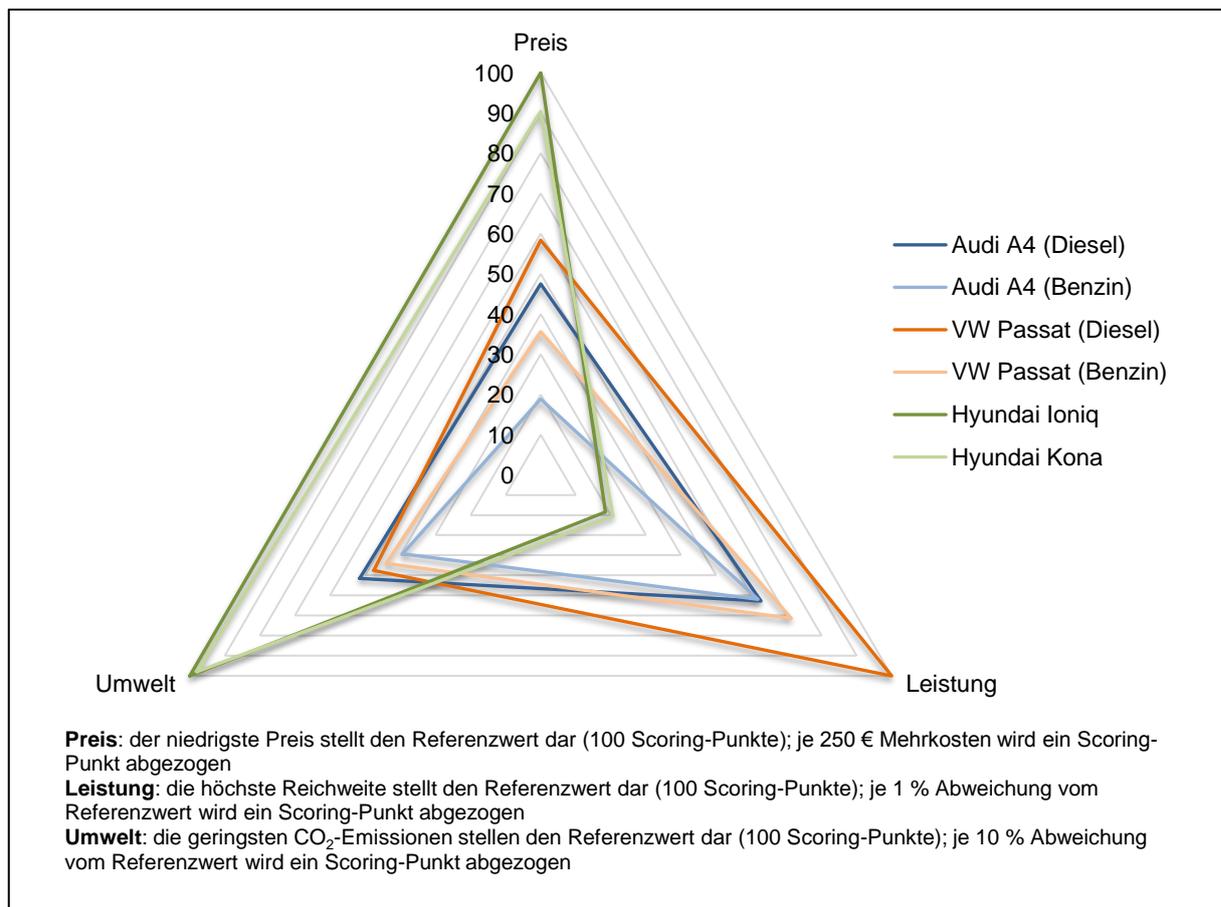


Abbildung 13: Scoring in der Mittelklasse

5.2.4 Nutzfahrzeugklasse

Die letzte TCO-Analyse in der Fahrzeugklasse der Nutzfahrzeuge umfasst einen Vergleich der herkömmlichen Modelle *Citroen Berlingo L1* und *VW Caddy* mit den elektrifizierten Varianten *Peugeot Partner* und *Renault Kangoo*. In der Nutzfahrzeugklasse können bei den verbrennungsmotorischen Fahrzeugen lediglich dieselbetriebene Varianten berücksichtigt werden. Da Dieselantriebe in dieser Fahrzeugklasse weit verbreitet sind, bietet das verwendete Berechnungstool keine TCO-Kalkulation für benzinbetriebene Fahrzeuge an.

Bei der wirtschaftlichen Betrachtungsweise der Gesamtkosten fällt auf, dass beide Elektrofahrzeugmodelle einen recht deutlichen Unterschied aufweisen. Während der *Peugeot Partner* nur knapp 800 € über dem *VW Caddy* und 2.200 € über dem *Citroen Berlingo L1* liegt, ist der *Renault Kangoo* im Vergleich zu beiden dieselbetriebenen Referenzfahrzeugen mit Mehrkosten in Höhe von ca. 4.000 € bis zu 5.400 € verbunden. Demnach ist insbesondere dem *Peugeot Partner* eine wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit zu unterstellen, die sich vor allem im Gesamtkostenvergleich mit dem *VW Caddy* offenbart.

Das CO₂-Einsparpotenzial beläuft sich in der Nutzfahrzeugklasse auf

- 67,4 bis 70,8 % beim *Citroen Berlingo L1* und
- 78,0 bis 80,3 % beim *Renault Kangoo* (vgl. Tabelle 6).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

Tabelle 6: TCO-Analyse Nutzfahrzeugklasse [Citroen 2018, VW 2018a, Peugeot 2017, Renault 2018a]

Utility / Nutzfahrzeuge					
Kraftstoff		Diesel		Elektro	
Fahrzeugmodell		Citroen Berlingo L1	VW Caddy	Peugeot Partner	Renault Kangoo
Spezifikation		BlueHDi 75	2,0-I-TDI BMT	Electric L1	Z.E.33
Technische Daten ¹	Verbrauch	4,4 l/100 km	4,8 l/100 km	22,5 kWh/100 km	15,2 kWh/100km
	CO ₂ -Emissionen	114 g/km	126 g/km		0 g/km
	max. Leistung	75 PS	75 PS	67 PS	60 PS
	Höchstgeschwindigkeit	152 km/h	152 km/h	110 km/h	130 km/h
	max. Reichweite ²	1137 km	1232 km	170 km	270 km
	Laderaumvolumen	3,3 m ³	3,2 m ³	3,7 m ³	3,5 m ³
	Ladedauer (Schuko, max. 3,6 kW)	-	-	8,5 h (0 - 100 %)	17 h (0 - 100 %)
	Ladedauer (Wallbox o. Ladestation, ≥ 3,7 kW)	-	-	k. A.	9 - 11 h (0 - 100 %)
Ladedauer (Schnellladestation, ≥ 50 kW)	-	-	0,5 h (0 - 80 %)	k. A.	
Fixkosten	Anschaffungskosten ³	16.330	17.380	21.290	29.920
	Kaufprämie	0	0	-4.000	-4.000
	Ladeinfrastruktur ⁵	0	0	9.992	9.992
laufende Kosten	Kraftstoffe ^{6,7}	8.648	9.435	7.270	4.913
	Schmierstoffe ⁸	490	490	0	0
	Wartung und Reparatur ⁸	6.243	6.243	3.892	3.892
	Inspektion ⁸	674	674	380	380
	Versicherung ⁹	6.434	6.434	6.434	6.434
	Kfz-Steuer ¹⁰	2.095	2.095	0	0
Abschreibung ¹¹ und Restwert	Abschreibung für Abnutzung	-4.344	-4.632	-4.605	-6.907
	Abschreibung Betriebskosten	-2.020	-2.020	-1.167	-1.167
	Fahrzeugrestwert ¹²	-3.130	-3.320	-5.895	-6.664
Gesamtkosten (netto) ohne Abschreibungen		40.914	42.751	45.258	51.531
Gesamtkosten (netto) mit Abschreibungen ¹³		31.420	32.779	33.591	36.793
CO ₂ -Emissionen - lokal [in t] ¹⁴		18,08 t	20,16 t	0 t	0 t
CO ₂ -Emissionen - energiebedingt [in t] ¹⁵		22,176 t	24,192 t	12,96 t	8,754 t

Auf Grundlage der Fahrleistungen bestehender Fahrzeuge in der Nutzfahrzeugklasse (Ø 20.000 km/a), wurde der Berechnung eine Jahresfahrleistung von 20.000 km pro Jahr zugrunde gelegt.

Da in der Nutzfahrzeugklasse neben den zuvor betrachteten Kriterien vor allem auch das Laderaumvolumen von zentraler Bedeutung ist, wird dieser Aspekt hier zusätzlich unter dem Stichwort der *Praktikabilität* mit einbezogen. Es wird deutlich, dass auch in der Nutzfahrzeugklasse das *Leistungskriterium* durch Verbrennerfahrzeuge bestimmt wird. Wie in den vorherigen Fahrzeugklassen, hat die Elektromobilität deutliche Nachteile durch ihre Reichweiteneinschränkungen. Diese fallen beim *Renault Kangoo Z.E.* mit 280 km etwas geringer aus als beim *Peugeot Partner* mit 170 km. Da die durchschnittliche jährliche Fahrleistung bei den Nutzfahrzeugen des Landkreises Emsland jedoch lediglich bei 20.000 km liegt, kann die *Leistung* hier mit einer geringeren Gewichtung betrachtet werden. Es ist davon auszugehen, dass geringere Tagesfahrleistungen notwendig sind und die Reichweiteneinschränkungen der Elektromobilität somit weniger ins Gewicht fallen. Doch auch hier ist vor dem Hintergrund der jeweiligen Anforderungen eine einsatzspezifische Entscheidung zu treffen. Hinsichtlich des *Umweltfaktors* können die Elektrofahrzeuge hingegen erneut deutliche Vorteile aufweisen. Ihr Betrieb ist mit deutlichen CO₂-Einsparpotenzialen verbunden, wobei sich diese deutlich zwischen beiden Elektrofahrzeugmodellen unterscheiden. Der *Renault Kangoo Z.E.* weist mit maximal 80,3 % ein deutlich höheres Einsparpotenzial. Der *Peugeot Partner* verfügt aufgrund

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

seiner recht hohen Verbrauchswerte von 22,5 kWh/100 km über verringerte Einsparpotenziale von 70,8 %. Bei der *Praktikabilität* werden insgesamt nur geringfügige Unterschiede zwischen allen betrachteten Fahrzeugen deutlich. Verbrenner- und Elektrofahrzeuge können vergleichbare Lade-raumvolumina aufweisen. Lediglich der *Peugeot Partner* verfügt mit 3,7 m³ über leichte Vorteile gegenüber seiner Konkurrenz. Generell ist aber davon auszugehen, dass dieses Kriterium aufgrund der geringen Differenzen nur einen geringen Einfluss auf die Kaufentscheidung haben wird.

Insgesamt ist in wirtschaftlicher Hinsicht der *Peugeot Partner* als mögliche Alternative zu den dargestellten Verbrennerfahrzeugen zu sehen. Wird jedoch ein höherer Wert auf eine größere Reichweite gelegt, kann der *Renault Kangoo Z.E.* trotz Mehrkosten mit geringeren Reichweitereinschränkungen aufwarten. Die Höhe der dargestellten Mehrkosten weist jedoch darauf hin, dass lediglich im Falle einer sehr hohen Toleranzgrenze hinsichtlich des Preiskriteriums eine grundlegende Konkurrenzfähigkeit zu erwarten ist. Es bleibt auch hier festzuhalten, dass individuelle Anforderungen an das Fahrzeug einen wesentlichen Einfluss auf die Kaufentscheidung ausüben werden. Im Vergleich zur Kompakt- und Mittelklasse weisen die Elektronutzfahrzeuge aber eine geringere wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit auf. Abhängig von den jeweiligen Präferenzen eines potenziellen Käufers, könnten die leicht erhöhten Mehrkosten jedoch in Kauf genommen werden (vgl. Abbildung 15).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

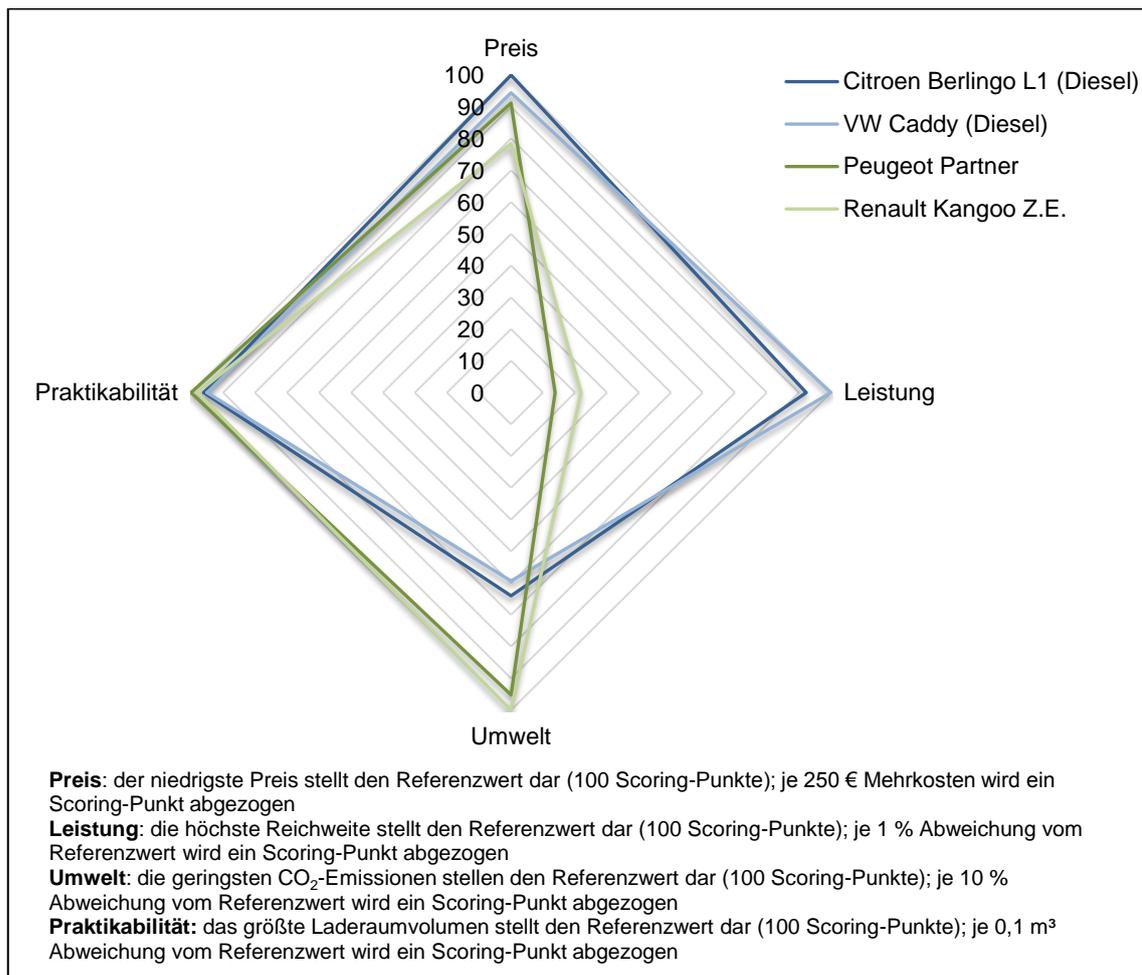


Abbildung 14: Scoring in der Nutzfahrzeugklasse

5.2.5 Zusammenfassung TCO-Betrachtung

Insgesamt wird deutlich, dass bestimmte Elektrofahrzeuge prinzipiell in allen Fahrzeugklassen unter wirtschaftlichen Aspekten konkurrenzfähig sein können. Insbesondere in der Mittelklasse konnte festgestellt werden, dass die Summe der über einen Nutzungszeitraum von 8 Jahren anfallenden Kosten deutlich unterhalb derer der verbrennungsmotorischen Referenzfahrzeuge liegen. Aus rein wirtschaftlicher Betrachtungsweise ist die Elektromobilität aufgrund ihrer geringen laufenden Kosten und bedingt durch die bundesweite Kaufprämie (Umweltbonus, s. Kap. 1.1) als relevante Alternative in Betracht zu ziehen.

Hinsichtlich ihrer Emissionswerte ist die Elektromobilität (bei Nutzung von regenerativ erzeugtem Strom) mit deutlichen Vorteilen verbunden und profitiert vor allem von ihrer lokalen Emissionsfreiheit. Die Kalkulationen haben deutlich gemacht, dass Elektrofahrzeuge über eindeutige CO₂-Reduktionspotenziale verfügen, die je nach betrachteten Fahrzeugmodellen zwischen mindestens 67,4 % und maximal 85,8 % liegen. Da sich dieser Vorteil jedoch nicht in einem finanziellen Wert

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

ausdrücken lässt, ist sein Einfluss von den individuellen Präferenzen bei der Fahrzeugwahl abhängig. Bezogen auf den Landkreis Emsland, der eine Vorbildfunktion einnehmen und zum Erreichen nationaler Klimaschutzziele beitragen möchte, kann dem Umweltfaktor jedoch ein wesentlicher Einfluss auf die Fahrzeugwahl unterstellt werden. Daher ist die Konkurrenzfähigkeit der Elektromobilität mit Blick auf die landkreiseigene Fahrzeugflotte als deutlich erhöht einzuschätzen.

Es konnte jedoch ebenfalls aufgezeigt werden, dass die Leistungsfähigkeit von Elektrofahrzeugen mit Nachteilen gegenüber herkömmlichen Fahrzeugmodellen verbunden ist. Durch ihre deutlich eingeschränkte Reichweite sind Nachteile bei der Nutzung zu erwarten. Obwohl die Batteriekapazitäten mancher Fahrzeugmodelle bereits maximale Strecken von 300 km und mehr ermöglichen, ist der Verwendungszweck eines Fahrzeuges hier als ausschlaggebendes Kriterium zu sehen.

Anhand der durchschnittlichen Jahresfahrleistung des Fahrzeugbestandes des Landkreises Emsland lässt sich ableiten, dass die Fahrzeuge durchschnittlich zwischen ca. 80 km in der Nutzfahrzeugklasse und 140 km in der Mittelklasse pro Tag⁴ zurücklegen. Diese Distanzen stellen die meisten Elektrofahrzeugmodelle vor keinerlei Hindernisse und ermöglichen die Abwicklung täglicher Wegezwecke ohne Zwischenladung.

Geht man hingegen davon aus, dass sich die realen Fahrleistungen nicht gleichmäßig auf alle Arbeitstage im Jahr verteilen und die vom Landkreis genutzten Fahrzeuge an manchen Wochentagen wesentlich höhere Distanzen zurücklegen müssen, werden die Einschränkungen der Elektromobilität deutlich. Ob die dargestellten Reichweiten der verglichenen Elektrofahrzeuge ausreichen und welche Möglichkeiten im täglichen Betrieb zur Zwischenladung bestehen, ist im Einzelfall zu prüfen. Dies sollte Bestandteil einer umfangreichen Fuhrparkanalyse sein, die es ermöglicht die individuellen Ansprüche an ein spezifisches Fahrzeug zu erfassen. Erst auf der Grundlage dieser Erkenntnisse lässt sich das tatsächliche Substitutionspotenzial der Elektromobilität für ein spezifisches Fahrzeug bestimmen.

⁴ Als Berechnungsgrundlage wurden hier 250 Arbeitstage im Kalenderjahr 2018 verwendet.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von E-Fahrzeugen

Zusammenfassend liegt eine Konkurrenzsituation vor, die maßgeblich durch drei Faktoren bestimmt wird. Beim **Preis** weist die Elektromobilität über den gesamten Lebenszyklus hinweg eine grundlegende Konkurrenzfähigkeit auf. Nachteile bei den erhöhten Anschaffungskosten werden durch Einsparungen beim Betrieb und die bundesweite Förderung egalisiert. Hinsichtlich der **umweltbedingten Faktoren** weisen sie eindeutig reduziert CO₂-Emissionen und damit verbundene Einsparpotenziale auf. Lediglich bei der **Leistung** (hier anhand der Reichweite dargestellt) dominieren herkömmliche Verbrenner-Fahrzeuge und zeigen die Einschränkungen der Elektromobilität auf (vgl. Abbildung 15).

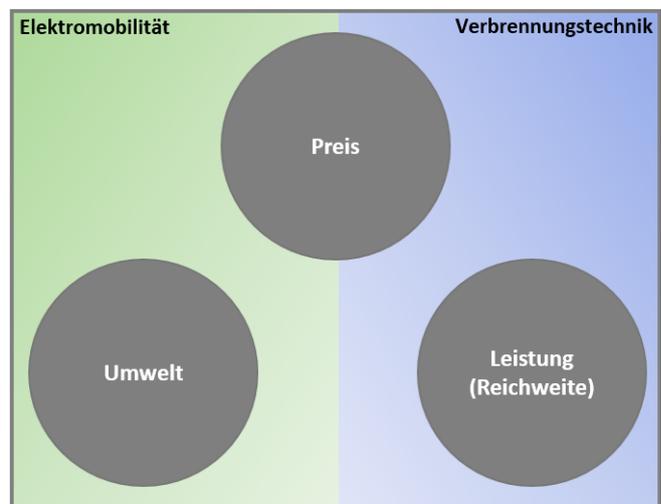


Abbildung 15: Einflussfaktoren des Fahrzeugvergleiches

Daher ist eine Entscheidung zwischen beiden Antriebstechnologien von den spezifischen Anforderungen an ein Fahrzeug und der entsprechenden Gewichtung der Faktoren abhängig. Die Auswertungen der Fahrzeugvergleiche durch die Spannungsdreiecke haben gezeigt, unter welchen Bedingungen und Voraussetzungen die Elektromobilität eine Alternative für die Fahrzeugflotte des Landkreises Emsland darstellen kann. Zur Konkretisierung der Überlegungen, sind die hier dargestellten Erkenntnisse auf konkrete Einzelfälle bzw. Fahrzeuge zu übertragen. Je nach bestehenden Anforderungsprofilen kann eine eindeutige Aussage über die Konkurrenzfähigkeit der Elektromobilität getroffen werden.

Gleichwohl bleibt festzuhalten, dass Elektrofahrzeuge einen wichtigen Beitrag zur Verkehrswende beitragen können. Mit fortschreitender technologischer Entwicklung werden die bestehenden Nachteile reduziert werden können, wodurch die Konkurrenzfähigkeit der Elektromobilität weiter steigt. Aktuell gefragt sind Pioniere, deren Anforderungen den Einsatz von Elektrofahrzeugen ermöglichen und die zur weiteren Verbreitung der Antriebstechnologie beitragen.

6 Projekte im Landkreis Emsland

6.1 (E-)Fahrzeugsharing im Landkreis Emsland

eScooter-Sharing

Mitte 2018 wurde im Landkreis Emsland ein eScooter-Sharing (meli-sharing) eingeführt. Der Anbieter (share2move GmbH) betreibt derzeit Standorte in Lingen und in Meppen. Laut unternehmenseigener Webseite (→ <https://www.meli-sharing.de/>) gibt es bereits über 1.100 registrierte, aktive Nutzer des eScooter-Sharings.

Das meli-sharing funktioniert innerhalb der Stadtgebiete Lingen und Meppen wie eine Art Free-floating-Sharingsystem: Die eScooter können auf öffentlichen Verkehrsflächen abgestellt werden, d. h. es gibt keine konkreten Standorte in den Städten, an denen die E-Roller zurückgebracht werden müssen. Der Zugang erfolgt über eine App, über die der Kunde die eScooter im Stadtgebiet finden, reservieren und freischalten kann. Neben einer zeitabhängigen Abrechnung, können auch Flatrates (Tages- oder Wochenflatrates) gebucht werden.

In Deutschland ist meli-sharing der einzige Anbieter, der ein eScooter-Sharing im ländlichen Raum anbietet. In der Regel befinden sich eScooter-Sharing-Möglichkeiten in größeren Städten, wie Hamburg, Bielefeld, Osnabrück, Oberhausen, Düsseldorf oder Berlin. Damit weist das Projekt im Landkreis Emsland ein Alleinstellungsmerkmal hinsichtlich der Nutzung von eScooter-Sharing-Diensten im ländlichen Raum auf.

Wissenschaftler des Innovationszentrums für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ) haben sich 2017 erstmals mit dem Thema Scooter-Sharing auseinandergesetzt. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass Scooter-Sharing insbesondere in Innenstädten stark ansteigt. Berlin und Paris verfügen insgesamt über gut 40 % der weltweiten Scooter-Sharing-Flotte (vgl. InnoZ 2017). Im Rahmen der Studie wurden auch die Nutzergruppen analysiert. Deutlich wurde, dass ein hoher Anteil der Scooter-Sharing-Nutzer auch gleichzeitig über ein ÖPNV-Ticket verfügt. Vor diesem Hintergrund kann auch das eScooter-Sharing im Landkreis Emsland einen Beitrag zur Förderung von intermodaler Mobilität leisten, indem bspw. die eScooter als Zubringer-Fahrzeug zu den Bahnhöfen genutzt werden.

Konventionelles CarSharing im Emsland

Seit August 2016 gibt es das Emsland CarSharing an den Standorten Lingen, Meppen und Papenburg. Das standortgebundene CarSharing wird über den Verein CarSharing EMSLAND e. V. und

Stadtteilauto betrieben. An den folgenden festen Standorten stehen Klein- und Mittelklassewagen zur Nutzung bereit:

- am Lingener Campus, Kaiserstraße 10 a (ein Fahrzeug),
- an der Außenstelle der Kreisverwaltung in Lingen, Am-Wall-Süd 21 (ein Fahrzeug),
- am Meppener Bahnhof (ein Fahrzeug),
- am Meppener Kreishaus, Ordeniederung 1 (ein Fahrzeug),
- an der Außenstelle der Kreisverwaltung in Papenburg-Aschendorf, Große Straße (ein Fahrzeug).

Perspektivisch kann es sinnvoll sein, das bestehende CarSharing mit dem eScooter-Sharing in einer App zu kombinieren.

6.2 Nutzung von E-Fahrzeugen im ländlichen Raum

Zusammen mit einem Automobilhersteller, den Energieversorgern und weiteren Akteuren der Region aus dem Bereich E-Mobilität, plant der Landkreis Emsland ein Modellprojekt, dass sich mit der Nutzung von E-Fahrzeugen im ländlichen Raum beschäftigt. Dabei sollen die besonderen Rahmenbedingungen im Landkreis Emsland, wie geringe Bevölkerungsdichte und disperse Siedlungsstrukturen, ein damit einhergehendes eingeschränktes ÖPNV-Angebot sowie ein hoher Anteil an erneuerbaren Energien am Stromverbrauch mitgedacht werden.

Zunächst sollen im Rahmen einer Bestandsanalyse die Mobilitätsbedürfnisse der emsländischen Bevölkerung und der Wirtschaft sowie die Verfügbarkeit von regenerativen Energien untersucht werden. Zudem soll der Stand der Technik zum Thema Steuer- und Speichertechnik von Stromnetzen zusammengetragen werden. Darauf aufbauend sollen konkrete Anwendungsfälle im Bereich E-Mobilität ausgewählt und umgesetzt werden.

Ziel ist die Entwicklung von „Mobilität als Dienstleistung“. Dabei sollen sowohl das Fahrzeug, als auch die dazugehörige Ladeinfrastruktur und entsprechende Energiedienstleistungen integriert betrachtet werden.

Insgesamt haben bereits zwei Workshops zur Abstimmung des praxisnahen Forschungsprojektes stattgefunden.

7 Anhang

7.1 Ladedauer unterschiedlicher Fahrzeugmodelle

Marke	Auto-modell	Batteriekapazität	Gesamtreichweite elektrisch	Ladeleistung	Stecker-typ	Energieverbrauch [kWh/100km]
Audi	A3 Sportback e-tron	8,8 kWh	50 km	3,7 kW	Typ 2	11,4 kWh
	Q7 e-tron quattro	17,3 kWh	56 km	7,2 kW	Typ 2	19 kWh
BMW	i3 (60 Ah)	18,8 kWh	190 km	3,7 4,6 7,4 ³ kW	Typ 2	12,9 kWh
	i3 (94 Ah)	27,2 kWh	300 km	3,7 11 kW	Typ 2	12,6 kWh
	i3s	27,2 kWh	280 km	3,7 11 kW	Typ 2	14,3 kWh
	i8	7,1 kWh	37 km	3,7 kW	Typ 2	11,9 kWh
	225xe Active Tourer	7,7 kWh	41 km	3,7 kW	Typ 2	11,9 kWh
	330e Limousine	7,6 kWh	37 km	3,7 kW	Typ 2	11,9 kWh
	X5 xDrive40e	9,2 kWh	31 km	3,7 kW	Typ 2	15,3 kWh

Anhang

Chevrolet	Volt	10,3 kWh	85 km	4,6 kW	Typ 2	22,4 kWh
CITROËN	Berlingo Electric	22,5 kWh	170 km	3,2 kW	Typ 1	17,7 kWh
	C-ZERO	14,5 kWh	150 km	3,7 kW	Typ 1	12,6 kWh
Fisker	Karma	20 kWh	81 km	3,7 kW	Typ 1	20,6 kWh
Ford	Focus Electric (BJ 2017)	33,5 kWh	225 km	3,7 4,6 6,6 kW	Typ 1	15,9 kWh
	Focus Electric (bis 2017)	23 kWh	162 km	3,7 4,6 6,6 kW	Typ 1	15,4 kWh
Hyundai	IONIQ Elektro	28 kWh	280 km	3,7 4,6 6,6 ³ kW	Typ 1	11,5 kWh
	IONIQ Plug-in-Hybrid	8,9 kWh	50 km	3,3 kW	Typ 1	n.A.
Jaguar	I-PACE	90 kWh	480 km	7,2 50 kW	Typ 2	21,2 kWh
Kia	Soul EV (bis 2017)	27 kWh	212 km	3,7 4,6 6,6 kW	Typ 1	14,7 kWh
	Soul Ev (BJ 2017)	30 kWh	250 km	3,7 4,6 6,6 kW	Typ 1	14,3 kWh

Anhang

Mercedes-Benz	B-Klasse Sports Tourer B 250 e	28 kWh	200 km	3,7 11 kW	Typ 2	16,6 kWh
	C-Klasse C 350 e	6,2 kWh	31 km	3,7 kW	Typ 2	n.A.
	GLE 500 e 4Matic	8,8 kWh	30 km	2,8 kW	Typ 2	16,7 kWh
	S 500 e	8,7 kWh	33 km	3,7 kW	Typ 2	13,5 kWh
	eVito	41,4 kWh	150 km	7,2 kW	Typ 2	n.A.
Mitsubishi	i-MiEV	16 kWh	160 km	3,7 kW	Typ 1	12,5 kWh
	Plug-in Hybrid Outlander	12 kWh	50 km	3,7 kW	Typ 1	13,4 kWh
NISSAN	Leaf (24 kWh)	24 kWh	199 km	3,3 4,6 6,6 ³ kW	Typ 1	15,0 kWh
	Leaf (30 kWh)	30 kWh	250 km	3,3 4,6 6,6 ³ kW	Typ 1	15,0 kWh
	Leaf (40 kWh)	40 kWh	378 km	3,3 4,6 6,6 ³ DC 50 kW	Typ 2	17,0 kWh
	e-NV200 EVALIA	24 kWh	167 km	3,3 4,6 6,6 ³ kW	Typ 1	16,5 kWh

Anhang

Opel	Ampera	16 kWh	40 km	3,7 kW	Typ 1	n.A.
	Ampera-e	60 kWh	520 km	7,4 50 kW	Typ 2	14,5 kWh
Peugeot	iOn	14,5 kWh	150 km	3,7 kW	Typ 1	14,5 kWh
	Partner Electric	22,5 kWh	170 km	3,2 kW	Typ 1	22,5 kWh
Porsche	Cayenne S E-Hybrid	10,8 kWh	36 km	3,6 4,6 7,2 kW	Typ 2	20,8 kWh
	Panamera Turbo S E-Hybrid	14,1 kWh	50 km	3,6 7,2 kW	Typ 2	15,9 kWh
	Panamera Turbo S E-Hybrid Executive	14,1 kWh	50 km	3,6 7,2 kW	Typ 2	15,9 kWh
	Panamera Turbo S E-Hybrid Sport Turismo	14,1 kWh	50 km	3,6 7,2 kW	Typ 2	17,6 kWh
	Panamera 4 E-Hybrid	14,1 kWh	51 km	3,6 7,2 kW	Typ 2	15,9 kWh
	Panamera 4 E-Hybrid Executive	14,1 kWh	51 km	3,6 7,2 kW	Typ 2	15,9 kWh

Anhang

	Panamera 4 E-Hybrid Sport Tu- rismo	14,1 kWh	51 km	3,6 7,2 kW	Typ 2	15,9 kWh
Renault	Fluence Z.E.	22 kWh	185 km	3,6 kW	Typ 2	14 kWh
	Kangoo Z.E. (bis 2017)	22 kWh	170 km	3,6 kW	Typ 1	14 kWh
	Kangoo Z.E. 33	33 kWh	270 km	4,6 7,2 kW	Typ 2	15,2 kWh
	Twizy 45	5,8 kWh	90 km	3,7 kW	Typ 2	8,4 kWh
	Twizy 80	6,1 kWh	100 km	3,7 kW	Typ 2	8,4 kWh
	ZOE R240	22 kWh	240 km	22 kW	Typ 2	13,3 kWh
	ZOE R90 (Z.E. 40)	41 kWh	403 km	22 kW	Typ 2	13,3 kWh
	ZOE Q90 (Z.E. 40)	41 kWh	370 km	22 kW	Typ 2	14,6 kWh
smart	fortwo electric drive (bis 2016)	17,6 kWh	150 km	3,3 22 kW	Typ 2	15,1 kWh

Anhang

	fortwo electric drive	17,6 kWh	160 km	4,6 22 kW	Typ 2	13-13,5 kWh
	cabrio electric drive	17,6 kWh	160 km	4,6 22 kW	Typ 2	12,9-13,5 kWh
	forfour electric drive	17,6 kWh	150 km	4,6 22 kW	Typ 2	13,1 kWh
Street-Scooter	Work	20 kWh	80 km	3,7kW	Typ 2	n.A
	Work L	40 kWh	118 km	3,7kW	Typ 2	n.A
Tesla	Model S 70D	70 kWh	470 km	11 16,5 kW	Typ 2	20 kWh
	Model S 75D	75 kWh	489 km	11 16,5 kW	Typ 2	
	Model S 90D	90 kWh	550 km	11 16,5 kW	Typ 2	21 kWh
	Model X 75D	75 kWh	417 km	11 16,5 kW	Typ 2	20,8 kWh
	Model X 90D	90 kWh	489 km	11 16,5 kW	Typ 2	20,8 kWh
	Model 3	80,5 kWh	499 km	16,5 kW	Typ 2	14,1 kWh

Anhang

Toyota	Prius Plug-In Hybrid (bis 2016)	4,4 kWh	25 km	2,8 kW	Typ 1	5,2 kWh
	Prius Plug-In Hybrid	8,8 kWh	50 km	3,7 kW	Typ 2	7,2 kWh
Volkswagen	e-up!	18,7 kWh	160 km	3,6 kW	Typ 2	11,7 kWh
	e-Golf (bis 2016)	24,2 kWh	190 km	3,6 kW	Typ 2	12,7 kWh
	e-Golf	35,8 kWh	300 km	7,2 kW	Typ 2	12,7 kWh
	Golf GTE	8,7 kWh	45-50 km	3,6 kW	Typ 2	11,4-12 kWh
	Passat Limousine GTE	9,9 kWh	50 km	3,6 kW	Typ 2	12,2-12,7 kWh
	XL1	5,5 kWh	50 km	3,6 kW	Typ 2	n.A.
Volvo	C30 Electric	24 kWh	163 km	22 kW	Typ 2	17,5 kWh
	V60 Plug-In Hybrid	12 kWh	50 km	3,6 kW	Typ 2	21,7 kWh
	XC90 Plug-In Hybrid	9,2 kWh	43 km	3,6 kW	Typ 2	18,2 kWh

8 Literatur

1-Stromvergleich (2018): *Strompreis Gewerbe*.

<https://1-stromvergleich.com/gewerbestrom/strompreis-gewerbe/> [26.10.18].

Audi AG (2018a): *A3 Preisliste Modelljahr 2019. A3 Sportback*.

https://www.audi.de/dam/nemo/models/misc/pdf/my-2019/preislisten/a3-sportback_2019.pdf
[29.10.18].

Audi AG (2018b): *A4 Preisliste Modelljahr 2018. A4 Limousine/A4 Avant/A4 allroad quattro*.

https://www.audi.de/dam/nemo/models/misc/pdf/my-2018/preislisten/a4-limousine_a4-avant_a4-allroad-quattro_2018.pdf [29.10.18].

BMW AG (2018): *Der BMW i3 und BMW i3s*.

https://www.bmw.de/content/dam/bmw/marketDE/bmw_de/new-vehicles/pdf/combined-catalogs/181010/I01_i3_Preisliste_Oktober_2018_online_02.pdf.asset.1539156769372.pdf
[29.10.18].

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2017): *Monitoringbericht 2017*. Bonn.

Citroen Deutschland GmbH (2018): *Der neue Citroen Berlingo Kastenwagen. Preise & technische Daten*.

https://media.citroen.fr/file/94/9/Preisliste_Neuer_Berlingo_Kastenwagen.298949.pdf [07.12.18].

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2018; Hrsg.): *Elektromobilität. Systembedingungen, Einsatzbedingungen und Systemintegration*. FGSV-Bericht. Köln.

Hyundai (2018a): *Der neue Hyundai Kona Elektro*.

<https://www.hyundai.de/cmspages/pdf-download.ashx?downloadModel=konaelektro&nomobilere-direct=true> [07.12.18]

Hyundai (2018b): *Ioniq Elektro*.

<https://www.hyundai.de/cmspages/pdf-download.ashx?downloadModel=ioniqelektro&nomobilere-direct=true> [29.10.18].

InnoZ (2017, Hrsg.): *Global Scootersharing. Market Report*.

Mennekes (2018): *Ladesäule Basic 22*.

<https://www.chargeupyourday.de/pd/saeule/Ladesaeule-Basic-22-0000000300032be00004003a/> [26.10.18].

MWV, Mineralölwirtschaftsverband e.V. (2018): *Verbraucherpreise*.

<https://www.mwv.de/statistiken/verbraucherpreise/> [26.10.18].

Nissan (2018): *Der neue Nissan Leaf*.

<https://www-europe.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/de/brochures/pkw/LEAF-2018-broschuere-preisliste.pdf> [29.10.18].

NPE, Nationale Plattform Elektromobilität (2015): *Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland. Statusbericht und Handlungsempfehlungen 2015*. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO), AG 3 – Ladeinfrastruktur und Netzintegration, Berlin.

Peugeot Deutschland GmbH (2017): *Peugeot Partner Kastenwagen Electric*.

<https://professional.peugeot.de/broschure-anfordern.html>

Renault (2018a): *Renault KANGOO Z.E.33*.

<https://anfrage.renault.de/broschuere/#/Kangoo%20Z.E.> [29.10.18].

Renault (2018b): *Renault Zoe*.

<https://anfrage.renault.de/broschuere/#/Zoe> [29.10.18].

Richter, Moritz; Steiner, Lutz (2011): Begleitforschungs-Studie Elektromobilität: Potentialermittlung der Rückspeisefähigkeit von Elektrofahrzeugen und der sich daraus ergebenden Vorteile. Darmstadt.

Vattenfall Europe AG (2011): Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen (Verbundprojekt V2.2011).

VW, Volkswagen AG (2018a): *Der Caddy*.

[https://www.volkswagen-nutzfahrzeuge.de/content/dam/vw-ngw/vw_nfz/importers/de/download/preislisten/MY19/VWN-Der-Caddy-\(CU\)-Preisliste-MY19.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/VWN-Der-Caddy-\(CU\)-Preisliste-MY19.pdf](https://www.volkswagen-nutzfahrzeuge.de/content/dam/vw-ngw/vw_nfz/importers/de/download/preislisten/MY19/VWN-Der-Caddy-(CU)-Preisliste-MY19.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/VWN-Der-Caddy-(CU)-Preisliste-MY19.pdf) [29.10.18].

VW, Volkswagen AG (2018b): *Der e-Golf*.

https://www.volkswagen.de/content/dam/vw-ngw/vw_pkw/importers/de/dialogcenter/brochures/golf-bq/golf-e-preisliste.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/golf-e-preisliste.pdf [29.10.18].

Literatur

VW, Volkswagen AG (2018c): *Der e-up!*.

https://www.volkswagen.de/content/dam/vw-ngw/vw_pkw/importers/de/dialogcenter/brochures/up-12/e-up_preisliste.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/e-up_preisliste.pdf [29.10.18].

VW, Volkswagen AG (2018d): *Der Passat und Passat Variant*.

https://www.volkswagen.de/content/dam/vw-ngw/vw_pkw/importers/de/dialogcenter/brochures/passat-3g/passat-passat-variant_preisliste.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/passat-passat-variant_preisliste.pdf [07.12.18].

VW, Volkswagen AG (2018e): *Der Polo*.

https://www.volkswagen.de/content/dam/vw-ngw/vw_pkw/importers/de/dialogcenter/brochures/polo-aw/polo_preisliste.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/polo_preisliste.pdf [29.10.18].

Webseite Solar (o. J.): www.solar77.de (Stand: 11.11.2018).

Weert Canzler; Andreas Knie (2013): *Schlaue Netze – Wie die Energie- und Verkehrswende gelingt*.