

# Klimaschutzbeitrag und Wirtschaftlichkeit der ersten E-Fernbuslinie in Deutschland

atmosfair gGmbH

2018

#### Kontakt:

Denis Machnik atmosfair gGmbH Zossenerstr. 55-58 10961 Berlin

+49 (0) 30 1208480-61



# Inhaltsverzeichnis

1	Einle	eitung	3
	1.1	Lösungsweg Elektromobilität	4
2	Proj	ektbeschreibung: Die erste E-Fernbuslinie in Deutschland	5
	2.1	atmosfair's Kooperation mit FlixBus	5
	2.2	Das Unternehmen BYD und der E-Fernbus BYD C9	5
3	Wir	tschaftlichkeit des E-FlixBus	7
	3.1	Energiebedarf des E-Fernbusses	7
	3.2	Personalmehrkosten	7
	3.3	Kosten für die Ladeinfrastruktur	8
	3.4	Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung	9
4	Trei	bhausgas- und Energiebilanz des E-Fernbusses	10
	4.1	Energieaufwand für die Batterieproduktion und resultierende Treibhausgasemissionen	11
	4.2	Emissionen während der Nutzungsphase	12
	4.3	Bilanz der vermiedenen und zusätzlichen Treibhausgasemissionen	13
	4.4	Recycling der Batterie	14
5	Die	Dekarbonisierung des Verkehrs und die Rolle des E-Fernbusses	16
	5.1	Strategien zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors	16
	5.2	Der heutige Einfluss des Fernbusses auf die Treibhausgasemissionen aus dem	
	Verkel	nrssektor	17
6	Oue	llenverzeichnis	22



# 1 Einleitung

Angetrieben durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und der Steigerung der Energieeffizienz soll der Ausstoß von Treibhausgasen in Deutschland und der EU bis 2050 um 80 bis 95 Prozent reduziert werden [4]. Das entspricht einer nahezu kompletten Dekarbonisierung in Deutschland und fordert entsprechende Innovationen und Veränderungen in allen Sektoren. Seit dem Stromeinspeisungsgesetz aus dem Jahr 1991 befinden sich die erneuerbaren Energien im Stromsektor auf Wachstumskurs und werden einen großen Teil der Emissionsminderungen in Deutschland im Jahr 2050 beisteuern. Obwohl der Ausbau der Windenergie, prozentual die wichtigste erneuerbare Energiequelle, im ersten Halbjahr 2018 stockte, wurden im gleichen Zeitraum 116,9 Mrd. kWh Strom aus erneuerbaren Energien produziert und damit ein neuer Rekord in Deutschland aufgestellt [36]. Die Erneuerbaren erzeugen mittlerweile 38,6 % (2017, gesamtes Jahr) des bundesweiten Stroms und haben alleine in den letzten 10 Jahren ihren Anteil im Strommix mehr als verdoppelt [15].

Die Sorgenkinder der Dekarbonisierung sind der Wärme- und der Verkehrssektor. Der Anteil der Erneuerbaren im Wärmesektor hat sich von 2012 bis 2017 um nur 0,3 % erhöht und ist im Verkehrssektor im gleichen Zeitraum sogar um 0,8 % gesunken [37]. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen ausgewählter Sektoren in Deutschland bezogen auf das Jahr 1990. Während in allen dargestellten Wirtschaftsbereichen Emissionsminderungen erzielt werden konnten, sind die Emissionen aus dem Verkehrssektor leicht angestiegen. Den größten Anteil an den Emissionen aus dem Verkehrssektor hat der Straßenverkehr, in dem in den letzten Jahren sämtliche Effizienzsteigerungen durch die Konzentration auf größere und leistungsstärkere Automodelle aufgezehrt worden [33].

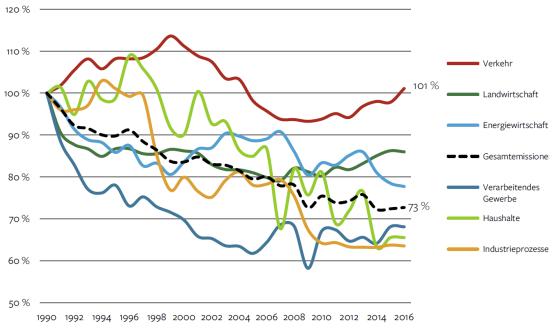


Abbildung 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen ausgewählter Sektoren in Deutschland (SRU, 2017).

Doch nicht nur klimawirksame Treibhausgasemissionen werden im Verkehr verursacht. In den letzten Jahren haben hohe Stickstoffbelastungen und Feinstaubwerte in deutschen Innenstädten zum wiederholten Überschreiten der europäischen Grenzwerte geführt und beeinflussen die Gesundheit der Stadtbewohner negativ. Nach Ansicht der EU hat die deutsche Bundesregierung in den letzten 10 Jahren zu wenig unternommen, um die Situation zu verbessern und ihre Bürger zu schützen, weshalb



die EU-Kommission im Mai 2018 Klage gegen Deutschland und fünf weitere EU-Länder vor dem europäischen Gerichtshof eingereicht hat [10].

## 1.1 Lösungsweg Elektromobilität

Um den negativen Effekten für das Weltklima und die Gesundheit der Menschen entgegenzuwirken, konzentriert sich die deutsche Bundesregierung auf die Elektromobilität als Lösung für den Verkehrsbereich. Bundeskanzlerin Merkel hat dafür im Jahr 2010 die Nationale Plattform Elektromobilität gegründet, 2011 das Ziel von einer Millionen Elektrofahrzeugen bis zum Jahr 2020 formuliert, sowie eine Milliarde Euro für Forschung und Entwicklung in der Elektromobilität zugesagt [7]. Die Anzahl an Elektrofahrzeugen in Deutschland ist aber noch immer gering. Laut Kraftfahrtbundesamt waren zu Beginn 2018 nur 53.861 Personenkraftwagen mit Elektromotor (batterieelektrische- oder Brennstoffzellen-Fahrzeuge) registriert [29]. Das entspricht zwar einer Steigerung von 58,3% zum Vorjahr, insgesamt machen E-PKW jedoch nur 0,1 % der deutschen Autoflotte aus. Zu E-Fahrzeugen gehören Modelle mit Elektromotor, die entweder elektrischen Strom in einem Akku speichern, Wasserstoff tanken und diesen über eine Brennstoffzelle in elektrischen Strom wandeln oder über eine Oberleitung mit Strom versorgt werden.

Um die Treibhausgasemissionen aus dem Verkehr schon bis 2035 radikal zu reduzieren und damit sogar zur Erreichung des im Paris-Übereinkommen vereinbarten 1,5-Grad-Ziel beizutragen, reicht eine bloße Umstellung auf E-Fahrzeuge nicht aus. Wo möglich, muss der Personen- und Güterverkehr reduziert und auf effizientere Verkehrsmittel wie Bus und Bahn umgestiegen werden [19]. So soll auch der öffentliche Nah- und Fernverkehr zukünftig ohne Verbrennungsmotor auskommen. Derzeit laufen Testreihen mit E-Omnibussen im ÖPNV, die von der Bundesregierung gefördert werden, Angela Merkel versprach beim Dieselgipfel im Jahr 2017 eine Milliarde Euro für Kommunen, um Maßnahmen zu testen, die möglichst schnell zu einer Verbesserung der Luftqualität beitragen [8]. Der Test eines E-Omnibus ist als Fördermaßnahme ausdrücklich genannt.

Neben dem Flugzeug wird die Nachfrage nach Fernverkehr in Deutschland vor allem mit Bahn und Bus bedient. Im Jahr 2016 wurden 138 Mio. Fahrgäste im Schienenpersonenfernverkehr und 23 Mio. Fahrgäste im Fernbusverkehr befördert [34]. Mehr als 90% des DB-Zugverkehr und 98% des DB-Fernverkehr wird elektrisch betrieben. Der Strom dafür kommt aus Kraftwerken, an denen die DB Energie GmbH Anteile hält [18]. Insgesamt sind in Deutschland allerdings nur 60% der Bahnstrecken elektrifiziert, wobei es sich bei den nicht-elektrisierten Abschnitten um Regionalverbindungen handelt [1].

### E-Fernbusse in Deutschland: Bisher Fehlanzeige

Im Fernbusbereich sind seit der Marktliberalisierung Anfang 2013 die Fahrgastzahlen und die Anzahl der Fahrzeuge stark gestiegen. Ein batterieelektrisch betriebener Fernbus ist in Deutschland weder im Einsatz, noch produziert bisher ein deutscher Autobauer ein entsprechendes Modell. Es existieren wenige öffentliche Förderprogramme für E-Busse, deren Förderkriterien FlixBus zudem nicht erfüllt. Es bestehen daher selbst für den testweisen Betrieb einer E-Fernbuslinie in Deutschland noch finanzielle Hürden und entsprechend große Risiken. Trotzdem haben sich atmosfair und FlixBus im Zuge ihrer Kooperation darauf geeinigt, gemeinsam das erste Pilotprojekt umzusetzen. Das Projekt soll Erfahrungen und Hinweise liefern, auf deren Grundlage FlixBus seine zukünftige Mobilitäts- und Nachhaltigkeitsstrategie auslegen kann.



Dieses Hintergrundpapier beschreibt das erste E-Fernbus Projekt Deutschlands (Kapitel 2 und 0), untersucht den Klimaschutzbeitrag im Vergleich zu einem Dieselbus (Kapitel 4) und beschreibt den Beitrag des Fernbusses zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors (Kapitel 5).

# 2 Projektbeschreibung: Die erste E-Fernbuslinie in Deutschland

Mit dem Projekt E-Fernbus testen die Partner atmosfair, FlixBus und Grenpeace Energy erstmalig einen batterieelektrisch betriebenen Fernbus als Stadtverbindung in Deutschland. Der Bus kann, wie jede andere FlixBus Verbindung, über die FlixBus Website gebucht werden und soll im Oktober 2018 seinen Betrieb aufnehmen und ein Jahr lang ca. 22 Fahrten pro Woche unternehmen. Start- bzw. Zielpunkt sind die Städte Mannheim und Frankfurt am Main. Nach jeder Fahrt wird die Batterie vollständig geladen, bevor der Bus mitsamt Fahrgästen die nächste Fahrt antritt. FlixBus und atmosfair haben dafür jeweils eine Ladestation für E-Busse in Frankfurt (Main) und Mannheim installiert. Der Ladepunkt am Zentralen Omnibusbahnhof in Mannheim soll nach Projektende bestehen bleiben und kann dann mit jeder beliebigen Ladetechnik ausgestattet werden, um in Zukunft den Einsatz elektrischer Fernbusse zu erleichtern.



Abbildung 2: Die E-Fernbus Ladestation in Mannheim.

#### 2.1 atmosfair's Kooperation mit FlixBus

Seit dem 01.04.2017 kooperieren atmosfair und FlixBus mit dem Ziel, CO<sub>2</sub>-Emissionen durch gemeinsame Klimaschutzprojekte zu vermeiden. Dafür bietet FlixBus seinen Kunden die Möglichkeit der CO<sub>2</sub>-Kompensation im Buchungsprozess ihrer Website an. atmosfair kompensiert die CO<sub>2</sub>-Emissionen der FlixBus Kunden in dem Projekt "Energieeffiziente Öfen in Ruanda". Einen Teil der Klimaschutzbeiträge investieren die Kooperationspartner in gemeinsam identifizierte transformative Klimaschutzprojekte, die zur Dekarbonisierung in Kontinentaleuropa und Nordamerika beitragen. Bereits im Rahmen der ersten Kooperation im Jahr 2015 investierten FlixBus und atmosfair einen Teil der gespendeten Klimaschutzbeiträge in ein transformatives Klimaschutzprojekt. Damals spendeten die Vertragsparteien dem Verein Foodsharing e.V. fünf elektrisch betriebene Lastenräder und fünf elektrische Fahrradanhänger. Der gemeinnützige Foodsharing e.V. hat es sich zum Ziel gesetzt Lebensmittel zu "retten", die ansonsten weggeworfen würden, und diese an bedürftige Menschen zu verteilen. Durch den Einsatz elektrisch betriebener Lastenräder und Fahrradanhänger, die alle mit erneuerbarem Strom geladen werden, rettet und verteilt der Verein nun in zehn deutschen Städten Lebensmittel CO<sub>2</sub>-arm.

Die E-Fernbus Verbindung zwischen Frankfurt und Mannheim ist das nächste transformative Projekt, das FlixBus und atmosfair gemeinsam umsetzen. Die Klimaschutzbeiträge der FlixBus-Kunden finanzieren in dem Projekt die Installation der Ladeinfrastruktur, die in Mannheim auch über das Projekt bestehen bleibt und die Differenzmietkosten zu einem Dieselbus.

#### 2.2 Das Unternehmen BYD und der E-Fernbus BYD C9

FlixBus mietet den E-Bus für die Projektdauer vom chinesischen Konzern BYD (Build your Dreams) aus China. BYD ist der größte Hersteller für wiederaufladbare Batterien mit einer Produktionskapazität von 16 GWh im Jahr und gehört mit Tesla und Renault-Nissan-Mitsubishi zum größten Hersteller von Elektroautos. Auf dem chinesischen Markt hat das Unternehmen bereits 10.000 E-Busse verkauft.



Der BYD C9 (Abbildung 3) ist der erste Elektro-Reisebus des Unternehmens und für den außerstädtischen Verkehr geeignet. Von deutschen Herstellern war auch auf Nachfrage kein entsprechendes Modell verfügbar. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über den Fahrplan im Projekt und die technische Ausstattung des Busses.

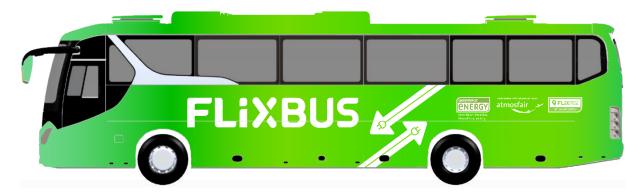


Abbildung 3: Der erste E-Fernbus in Deutschland wird von FlixBus auf der Strecke Mannheim – Frankfurt (Main) betrieben.

Tabelle 1: Daten zur ersten E-Fernbuslinie in Deutschland zwischen Frankfurt (Main) und Mannheim.

Laufzeit	Oktober 2018 bis Oktober 2019			
Einzelstrecke	Mannheim – Frankfurt (112,5 km): 22 Fahrten pro Woche			
Jahreskilometer	125.775 km			
Stromanbieter	Greenpeace Energy (100% erneuerbarer Strom)			
Busmodell	BYD C9			
Dimension	Länge: 12,9 m, Breite: 2,55 m, Höhe: 3,55 m			
Sitzplätze	59			
Reichweite	180 km			
Motor	Wechselstrom-Synchronmotor, Radnabenantrieb (Leistung 2x180 kW)			
Batterie	Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator LiFePO <sub>4</sub> (Kapazität 207 kWh)			
Ladeleistung	2x40 kW			
Ladedauer	~3 h			
Klimatisierung	Klimaanlage, Biodiesel-Heizung			



# 3 Wirtschaftlichkeit des F-FlixBus

Weltweit sind derzeit etwa 400.000 elektrische Busse im Einsatz, davon rund 99% in China. Die Mehrzahl der E-Busse wird im ÖPNV genutzt und von der chinesischen Regierung gefördert, da E-Omnibusse als effektives Mittel gegen die hohen Feinstaubwerte in den chinesischen Großstädten gelten. Bloomberg New Energy Finance schätzt, dass im Jahr 2030 rund 84% aller Neuanschaffung an Omnibussen rein elektrische Busse sein werden und dass der Anteil von E-Omnibussen am Gesamtbestand städtischer Busse bis 2040 weltweit auf 80% anwächst [6]. In Deutschland werden derzeit in 45 Städten E-Omnibusse getestet, die meisten Hersteller der Busse kommen dabei nicht aus Deutschland [13].

Das Fraunhofer-Institut für Verkehrs- Und Infrastruktursysteme hat im Auftrag des BMU einige der in Deutschland laufenden Testreihen ausgewertet und auf ihre Wirtschaftlichkeit untersucht. Die Studie aus dem Jahr 2017 kommt zu dem Schluss, dass Batteriebusse derzeit vor allem aufgrund der hohen Investitionskosten im Vergleich zum Dieselbus nicht konkurrenzfähig sind. Ein weiterer Kostentreiber ist die fehlende Ladeinfrastruktur. Unsicherheitsfaktoren in der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit sind die fehlenden Erfahrungen zur Nutzungsdauer der Batterie und möglicherweise überschätzte Kosteneinsparungen bei E-Bussen für Wartung- und Instandhaltung [14].

Eine E-Fernbuslinie existiert in Deutschland bisher nicht und es gibt auch keine Daten zur Wirtschaftlichkeit eines solchen Projekts. atmosfair hat daher ein Gutachten zur Wirtschaftlichkeit der geplanten E-Fernbuslinie zwischen Mannheim und Frankfurt am Main bei Prof. Dr.-Ing. Dietmar Göhlich und Dipl.-Ing. Dominic Jefferies vom Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik an der Technischen Universität Berlin in Auftrag gegeben. Das Gutachten vergleicht den einjährigen Betrieb eines E-Fernbusses auf der Strecke Mannheim-Frankfurt (Main) mit dem Betrieb eines äquivalenten Dieselbusses.

## 3.1 Energiebedarf des E-Fernbusses

Ein häufig genannter Kostenvorteil von E-Fahrzeugen sind die günstigeren Energiekosten. Bei steigenden Dieselpreisen kann sicher dieser Vorteil in Zukunft weiter in Richtung E-Fahrzeug verschieben. Um die Energie-Differenzkosten des E-Fernbus zu einem Dieselbus zu berechnen, nutzten die Experten der TU Berlin ein eigens entwickeltes Simulationstool, das unter Berücksichtigung der Außentemperatur und den Auswirkungen auf das Heizen und Kühlen des Innenraums, sowie dem Wirkungsgrad der Ladeinfrastruktur und Batterie die Herstellerangeben zum Energiebedarf leicht nach oben korrigiert hat.

#### 3.2 Personalmehrkosten

Der E-Bus lädt seine Batterie an Ladestationen am ZOB in Mannheim und auf dem Hof eines Busunternehmers in Frankfurt (Main). Durch die lange Ladedauer kommt es zu erhöhten Personalkosten, da die Fahrer in den rund 3h Ladezeit keine Fahrt mit einem anderen Bus antreten können und die Ladezeit auch nur teilweise mit ihren Pausenzeiten takten können. Um das eigesetzte Personal zeitlich effizient zu nutzen, ist der Fahrplan des E-Fernbusses so ausgelegt, dass der Bus möglichst oft an seinem Startort in Mannheim über Nacht abgestellt und geladen wird. Dadurch



kommt es zu keinen zusätzlichen Fahrt- oder Übernachtungskosten für das Personal. Allerdings fährt der Bus dadurch eine Tour weniger am Tag als es technisch möglich wäre.

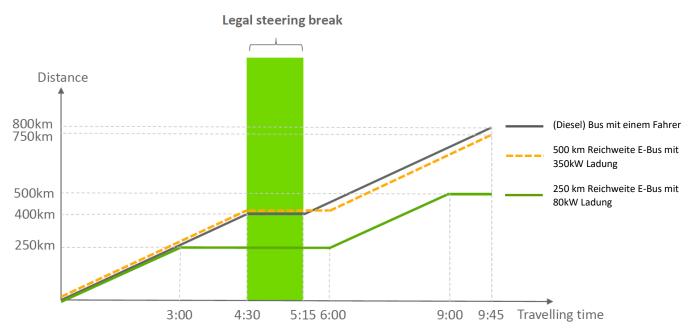


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen der gesetzlichen Pausenzeit für Busfahrer und der Ladedauer für einen E-Bus [FlixBus 2018].

Abbildung 4 zeigt den Zusammenhang zwischen der gesetzlichen Pausenzeit der Fahrer und der Ladedauer zweier E-Busse mit unterschiedlicher Reichweite und Ladeleistung. Der Bus mit einer Reichweite von 250 km und einer Ladeleistung von 80 kW (grüne Linie) entspricht in etwa dem BYD C9 E-Bus (Reichweite 180 km) im aktuellen Projekt. Die Abbildung zeigt, dass die Fahrer durch die lange Ladedauer länger als gesetzlich vorgesehen pausieren müssen, dieser Nachteil in Zukunft aber durch eine höhere Ladeleistung und Reichweite (Orange Linie) reduziert werden kann.

#### 3.3 Kosten für die Ladeinfrastruktur

Durch optimierte Nachladestrategien können Betriebskosten und Investitionskosten in der Elektromobilität stark beeinflusst werden. Bei E-Omnibussen stehen unterschiedliche Strategien zur Verfügung, so kann ein E-Omnibus entweder einmalig am Tag vollgeladen werden und über den Tag seine Batterie leer fahren, zwischendurch in längeren Pausen an vorgesehenen Depots oder an allen Haltestellen während des Zu- und Aussteigens der Fahrgäste geladen werden. Auch können Investitions- und Betriebskosten durch die Anzahl der Busse pro Ladestation reduziert werden. All diese Optionen stehen bei der ersten E-Fernbuslinie nicht zur Verfügung, denn im Pilotprojekt wird nur ein E-Bus getestet, der aufgrund der hohen Ladeleistung und dem eigenen Fahrplan individuelle Ladestationen benötigt und nicht an bereits bestehenden Stationen geladen werden kann. Dafür mussten Ladepunkte in Frankfurt und Mannheim samt Erdverkabelung komplett neu und nur für dieses Projekt gebaut werden. Es ist geplant, die Ladestation am ZOB in Mannheim nach der einjährigen Testphase nicht abzubauen, sondern frei zugänglich für das Laden von E-Fernbussen zu erhalten. Die Ladestation in Frankfurt (Main) befindet sich auf dem Hof des Busunternehmers, der den Bus fahren wird. Diese Ladestation ist nicht öffentlich zugänglich und wird nach Projektende abgebaut, allerdings verbleibt die Erdverkabelung und bietet daher die Möglichkeit, zu einem späteren Zeitpunkt wieder eine Ladestation aufzubauen.



# 3.4 Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

In dem Gutachten berechnen Prof. Göhlich und Dipl.-Ing. Jefferies Mehrkosten im Betrieb von insgesamt 116.900 € pro Jahr. Davon entfallen 34.200 € auf die Errichtung der Ladeinfrastruktur, 65.000 € auf die höhere Fahrzeugmiete im Vergleich zu einem Dieselbus und 17.700 € auf die Personalmehrkosten. Nicht eingerechnet ist das Vorhalten eines Ersatzbusses bei technischen Problemen des E-Busses. Aufgrund fehlender Erfahrungen mit dem Hersteller BYD und dem Reifegrad des E-Fernbusses, konnten die Experten von der TU Berlin die Differenz der Wartungskosten nicht sicher benennen. Nach Herstellerangaben belaufen diese sich auf 13.000 €.

Prof. Göhlich schließt daher, dass eine Fernbuslinie mit einem E-Bus derzeit nicht zu geringeren oder gleichen Kosten bedient werden kann als mit einem Dieselbus.

Es bedarf daher einer besonderen Förderung zur Realisierung, wie sie in diesem Projekt durch FlixBus und atmosfair gegeben ist.

Tabelle 2: Übersicht der Mehrkosten im E-Fernbusprojekt.

Kostenpunkt	Einmalige Investitionskosten	Jährliche, betriebliche Mehrausgaben		
Mietkosten für den Bus und die Ladestationen	-	65.000 €		
Installationskosten für die Ladestation	34.200 €	-		
Personalkosten	-	17.700 €		
Mögliche Mehrkosten: Wartungskosten	-	(~13.000 €) Nicht berücksichtigt		
Summe	34.200 €	82.700 €		



# 4 Treibhausgas- und Energiebilanz des E-Fernbusses

Die Elektrifizierung des Straßenverkehrs ermöglicht Mobilität unter verringerten Emissionen von Treibhausgasen, Luftschadstoffen und Partikeln. Dadurch kann in Großstädten die Luftqualität verbessert und global ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Ein wesentlicher Unterschied im E-Fahrzeug ist der Energiespeicher, die Lithium-Batterie, die heute noch energieaufwendig und in nur geringen Stückzahlen produziert wird.

Im Folgenden präsentiert atmosfair Daten zu Treibhausgasemissionen und zum Energiebedarf von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und Fahrzeugen mit batterieelektrischem Antrieb in verschiedenen Lebenszyklen. Die zitierten Studien untersuchen dabei meist E-Pkw und damit kleinere Batteriegrößen, doch kann davon ausgegangen werden, dass sich die Ergebnisse auch auf die Batteriegröße eines E-Busses übertragen lassen [31].

Der Lebenszyklus eines Fahrzeugs besteht aus mehreren Phasen, in denen jeweils klimawirksame Emissionen entstehen können. Eine LCA (Life Cycle Assessment), in der neben den Treibhausgasen noch weitere Emissionen untersucht werden, betrachtet zumeist die folgenden fünf Produktphasen. Die Aktivitätsbeispiele unter den einzelnen Produktphasen beziehen sich jeweils auf einen E-Bus.

I. Extraktion der Rohmaterialien, Vorverarbeitung und Veredelung Es entstehen Emissionen bei der Gewinnung und Verarbeitung aller Grundstoffe wie Eisen, Stahl, Aluminium, Kupfer, Messing, Kunststoffe, Gummi, Glas, Schmiermittel, Farben, Kältemittel, u.v.a.

#### II. Produktion

Die Emissionen der Phase zwei lassen sich in die Unterphasen unterteilen:

(i) Produktion einzelner Bauteile (Elektronik, Motor, Batterie, Wechselrichter, u.v.a) und (ii) Busmontage.

#### III. Vertrieb, Transport und Lagerung

Emissionen aus der Verschiffung oder dem anderweitigen Transport und Verkauf des Busses.

## IV. Nutzungsphase

Emissionen während der Fahrt (beim Einsatz von Strom aus fossilen Quellen) und bei der Wartung des Busses unter einem oder mehreren Besitzern.

#### V. Lebensende – Recycling

Wieder- und Weiterverwendung, Demontage, Zerkleinerung und Recycling aller Bauteile.

Die Datenlage für die einzelnen Lebenszyklen eines E-Fahrzeugs fällt sehr unterschiedlich aus. Lithium-Batterien in E-Fahrzeugen sind noch relativ neu, daher gibt es bisher nur geringe Recyclingkapazitäten und Erfahrungen [31].

Da FlixBus den E-Fernbus für ein Jahr mietet, dürfen nicht alle hier beschriebenen Emissionen der einzelnen Produktphasen einzig der einjährigen Testphase angerechnet werden. Alleine die Lebensdauer der Batterie wird vom Hersteller mit 12 Jahren angegeben.



# 4.1 Energieaufwand für die Batterieproduktion und resultierende Treibhausgasemissionen

Lithiumbatterien für E-Fahrzeuge können aus verschiedenen Kombinationen lithiumbasierter Kathoden und anderer Anodenmaterialien gefertigt werden. Je nach Anwendungstyp können spezielle Eigenarten der Batteriechemie genutzt werden. Im BYD C9 ist eine Lithium-Eisen-Phosphat (LiFePO<sub>4</sub>) Batterie mit einer Kapazität von 207 kWh verbaut [12]. Dieser Batterietyp hat den Vorteil einer hohen Leistungsabgabe und Lebenserwartung, eine sehr hohe Sicherheit und eine gute Verfügbarkeit der chemischen Bestandteile. Der Nachteil ist die geringe Energiedichte im Vergleich zu anderen lithiumbasierten Batterien [31]. Laut Hersteller werden für die Batterie keine Schwermetalle oder toxische Elektrolyte benötigt, und sie ist vollständig recycelbar.

Die Fertigung einer Lithium-Batterie für batterieelektrische Fahrzeuge ist energieaufwendig und verursacht derzeit noch hohe Treibhausgasemissionen [38]. Um den Klimaschutzaspekt lithiumbasierter E-Fahrzeuge zu bewerten, hat der International Council on Clean Transportation (ICCT) verschiedene Ökobilanzen ausgewertet, die die Menge der Treibhausgasemissionen aus der Batteriefertigung untersucht haben [24]. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse verschiedener Ökobilanzen zur Produktion von Lithium-Batterien [ICCT 2018].

Autor(en)	Jahr der Veröffentlichung	Treibhausgasemissionen aus der Batterieproduktion (kg CO₂e/kWh)		
Messagie	2017	56		
Hao et al.	2017	96-127		
Romare & Dahllöf	2017	150-200		
Wolfram & Wiedmann	2017	106		
Ambrose & Kendal	2016	194-494		
Dunn et al.	2016	30-50		
Ellingsen, Singh, & Strømman	2016	157		
Kim et al.	2016	140		
Peters et al.	2016	110 (Durchschnitt), LFP: 161		
Nealer, Reichmuth,	2015	73		
& Anair				
Majeau-Bettez, Hawkins, & Strömman	2011	200-500		

Die Ergebnisse der einzelnen Studien weichen teilweise sehr stark voneinander ab, da zum einen verschiedene Lithium-Batterietypen untersucht wurden und zum anderen der Strommix und seine assoziierten Treibhausgasemissionen je nach Produktionsland stark variieren. Auch ist die Datenlage schlecht, denn die Produzenten der Batterien geben kaum Primärdaten frei. Die Produktionskapazitäten für Lithium-Batterien konzentrieren sich auf Asien und die USA. Die größten Produktionskapazitäten existieren in China (37%), Japan (26%) und Südkorea (13%). Die USA deckt rund 16% der weltweiten Nachfrage nach Lithium-Zellen [3].

Der E-FlixBus nutzt eine Lithium-Eisen-Phosphat (LFP) Batterie, die vom Hersteller BYD in China gefertigt wird. Die Studie von Hao et. al. untersucht genau diesen Batterietyp mit Fertigung in China und kommt auf ein Ergebnis von 109,32 kg CO<sub>2</sub>e pro kWh Batteriekapazität. Die Autoren geben allerdings nicht die benötigte Energie für die Produktion einer LFP-Batterie an. Als zweite Studie soll zum Vergleich Peters et. al. aufgeführt werden. Peters et. al. ist eine vergleichende Studie, für die 36 Ökobilanzen ausgewertet wurden. Die Treibhausgasemissionen aus der Produktion einer Lithium-Eisen-Batterie werden in der Studie mit 161 kg CO<sub>2</sub>e/kWh beziffert. Der Energiebedarf schwankt in den 36 ausgewerteten Studien zwischen 300 und 2500 MJ/kWh Batteriekapazität, mit einem Mittel



bei 970 MJ/kWh Batteriekapazität. Dieser Wert wird von Ambrose and Kendall bestätigt, hier beträgt die Spanbreite der Ergebnisse 316 bis 2318 MJ/kWh, und die Autoren berechnen 960 MJ/kWh als statistisch wahrscheinlichstes Ergebnis. Die Studie stellt auch fest, dass die Batterien mit der größten Kapazität die geringsten Emissionen pro kWh in der Produktion verursachten [2]. Eine Ausnahme bietet Ellingsen et. al. die in ihrer Studie Zugriff auf Primärdaten eines Produzenten von NCM-Lithium-Batterien während eines sehr produktiven und damit effizienten Monats hatten. Die Autoren geben als Energiebedarf für die Produktion 586 MJ/kWh und als Treibhausgaspotential 173 kg  $CO_2e/kWh$  an [11]. Abbildung 5 zeigt, dass sich Energiebedarf und Treibhausgaspotential der verschiedenen Batterietypen nur gering unterscheiden. Den größten Einfluss hat der Produktionsort und damit der örtliche Strommix [21b]. So verursacht die Fertigung einer LFP-Batterie in den USA dreimal weniger Treibhausgasemissionen als die Fertigung in China.

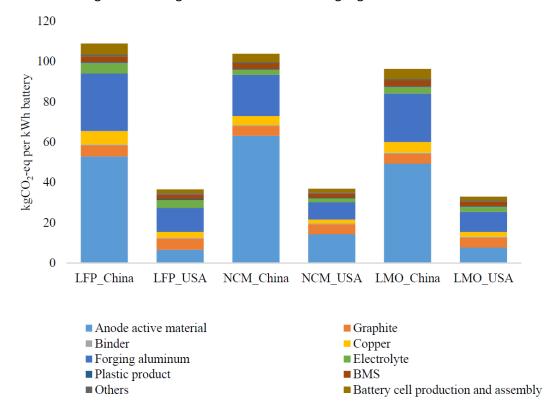


Abbildung 5: Einfluss des Produktionsstandorts auf die Treibhausgasemissionen bei der Produktion einer Lithium-Eisen-Phosphat (LFP), Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxide (NCM) und Lithium-Mangan-Oxid (LMO) Batterie [Hao et. al. 2017]

Ausgehend von den Ergebnissen von Hao et. al. und Peters et. al. hat die Produktion der Fernbusbatterie mit einer Kapazität von 207 kWh Treibhausgasemissionen in Höhe von 22,63 bzw. 33,33 Tonnen CO<sub>2</sub> verursacht. Nach Peters et. al. und Ambrose and Kendall benötigt die Produktion der Batterie etwa 200.790 MJ Energie.

## 4.2 Emissionen während der Nutzungsphase

Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor emittieren den größten Teil ihrer Treibhausgase während der Nutzungsphase durch die Verbrennung fossiler Kraftstoffe. Nur etwa 23% werden bei der Fahrzeugproduktion ausgestoßen. Bei E-Fahrzeugen mit Batterie wächst der Anteil der Treibhausgasemissionen, die während der Fahrzeugproduktion emittiert werden auf 46% an, wenn in der Nutzungsphase Strom aus fossilen Quellen (500 g/kWh) genutzt wird [31].

Abbildung 7 zeigt die Treibhausgasemissionen in g/km für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor (ICE) und E-Fahrzeuge (EV) in verschiedenen Regionen der Welt, die durch die Nutzung und Bereitstellung



des Kraftstoffs bzw. Strom zum Antrieb entstehen [23]. Nicht berücksichtigt sind Emissionen aus dem Bau und der Instandhaltung der Straßeninfrastruktur. Bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (ICE) wird der Großteil der Emissionen durch die Verbrennung im Motorraum verursacht und ein geringerer Teil vorher, durch die energieaufwendige Bereitstellung des Kraftstoffs. Bei einem E-Fahrzeug (EV) entstehen keine Emissionen während der Fahrt, sondern nur durch die Energiebereitstellung, wenn nicht-erneuerbarer Strom genutzt wird. Hier besteht somit auch das größte Potential zur Emissionsminderung.

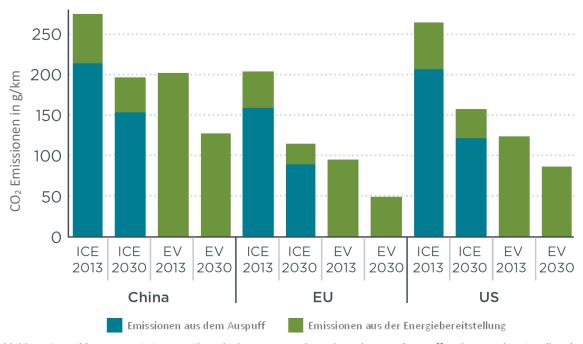


Abbildung 6: Treibhausgasemissionen währende der Nutzungsphase des Fahrzeugs (Auspuff und Energiebereitstellung) für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor (ICE) und E-Fahrzeuge (EV) in verschiedenen Regionen [ICCT 2015].

Die in Abbildung 6 dargestellten Emissionen aus der Energiebereitstellung für E-Fahrzeuge, basieren auf dem jeweiligen Strommix in China, der EU und den USA. Der E-FlixBus nutzt nicht den deutschen Strommix, sondern lädt ausschließlich Strom aus erneuerbaren Quellen der vom Energieversorger Greenpeace Energy zur Verfügung gestellt wird. Der Strom kommt zu gleichen Teilen aus Wasserund Windkraftwerken [18].

# 4.3 Bilanz der vermiedenen und zusätzlichen Treibhausgasemissionen

Der E-FlixBus wird in seiner einjährigen Testphase rund 125.000 km zurücklegen. Ein moderner Dieselfernbus würde für diese Distanz etwa 44.000 Liter Dieselkraftstoff benötigen. Der E-Fernbus nutzt nach Berechnungen der TU Berlin für die Strecke insgesamt ca. 187 MWh Strom. Die Ladestationen werden von Greenpeace Energy mit Strom aus 100% erneuerbaren Energien versorgt. Tabelle 4 gibt eine Übersicht über den Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen während der Nutzungsphase (A) und durch die Batterieproduktion (B). Als Emissionsfaktor für den Dieselkraftstoff werden 2,64 kg/L angenommen [27].



Tabelle 4: Übersicht über Energiebedarf und assoziierte Treibhausgasemissionen im einjährigen Testbetrieb.

		Energiebedarf	Energiebedarf in Joule	Treibhausgas- emissionen
Α	Antrieb Dieselbus (125.775 km)	44.021,25 L Dieselkraftstoff	1.575,9 GJ	116,2 tCO <sub>2</sub>
A	Antrieb E-FlixBus (125.775 km)	187.426 kWh Strom aus erneuerbaren Energien	674,7 GJ	0 tCO <sub>2</sub>
В	<b>Batterieproduktion</b> (vollständig auf die einjährige Testphase angerechnet)	200,8 GJ	200,8 GJ	33,33 tCO <sub>2</sub>
С	Einsparungen durch den E- FlixBus, konservativ (über ein Jahr, bei 125.775 km)		700,4 GJ	82,87 tCO <sub>2</sub>
D	Einsparungen durch den E-FlixBus Bei einer Lebensdauer der Batterie von mindestens 5 Jahren (über ein Jahr, bei 125.775 km)		861,04 GJ	109,53 tCO <sub>2</sub>

Der einjährige Betrieb des E-FlixBus benötigt ca. 700 GJ weniger Energie als ein Dieselbus mit gleicher Laufleistung und spart dadurch etwa 82 Tonnen CO<sub>2</sub> ein (C). Dabei ist zu beachten, dass die Batterie des E-Fernbusses nach Projektende nur einen Bruchteil ihrer Lebensdauer hinter sich hat. Unter der Annahme, dass der Bus insgesamt fünf Jahre mit derselben Batterie fährt und ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien lädt (D), spart der E-Bus sogar 861 GJ Energie und knapp 110 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen ein.

Im Vergleich der beiden Bustypen ohne Berücksichtigung der Batterieproduktion benötigt der E-FlixBus durch seinen effizienteren Antriebsstrang rund 57% weniger Energie.

## 4.4 Recycling der Batterie

Das Recycling der verwendeten Lithium-Eisenphosphat-Batterie ist nach aktuellem Stand der Technik nur teilweise möglich. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Batterien in ihre Einzelteile zu zerlegen, sodass Gehäuseteile dem üblichen Metall- und Kunststoffrecycling zugeführt werden können, ebenso wie evtl. vorhandene Steuerelektronik. Das eigentliche "Innenleben" kann derzeit nur durch Verbrennung einer Weiterverwertung zugeführt werden. Lithium kann dann z.B. in Form von Asche als Zementzusatz verwendet werden.

Inwieweit die vorhandenen Recycling-Möglichkeiten tatsächlich genutzt werden, ist derzeit ungewiß, weil sich eine entsprechende industrielle Infrastruktur inklusiver passender gesetzlicher Rahmenbedingungen weltweit erst im Aufbau befindet.

Angesichts der Unsicherheiten im Hinblick auf das Recycling ist die Wahl der Lithium-Eisenphosphat-Technologie ökologisch sinnvoll, da Lithium-Eisenphosphat als ungiftig und damit als unbedenklich gilt.

Alternative Technologien wie Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid- (NMC), Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid (NCA), Lithium-Kobalt-Oxid (LCO) oder Lithium-Mangan-Oxid-Batterien (LMO) bieten in dieser Hinsicht derzeit keine Vorteile. Sie enthalten Kobalt und/oder Nickel, deren Rückgewinnung zwar technisch möglich ist, die verwendeten pyrometallurgischen Verfahren sind jedoch energieaufwendig und liefern daher keinen positiven Beitrag zur Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz der Batterie-Herstellung. Die Rückgewinnung von Kobalt und Nickel ist wirtschaftlich attraktiver als die



Rückgewinnung von Lithium, sodass es wahrscheinlicher ist, dass solche Batterien tatsächlich recycelt werden. Gleichzeitig sind die verwendeten chemischen Verbindungen aber teilweise giftig, sodass ein erhöhtes Gefährdungspotential besteht, wenn die Batterien nicht fachgerecht entsorgt werden [31].

#### Ausblick: Zukunft des Batterierecyclings und Second-Life

Eine nachhaltige Betrachtungsweise schließt den Aspekt der geschlossenen Materialkreisläufe mit ein. Derzeit befinden sich zusätzliche Technologien für das Recycling von Lithium-Batterien in Erprobung, insbesondere auf der Basis von hydrometallurgischen Verfahren, sodass eine Recycling-Quote in Zukunft wahrscheinlich ist. Hydrometallurgische Verfahren bieten außerdem den Vorteil, dass sie weniger energieaufwändig sind, sodass verbesserte Recyclingverfahren auch die Aussicht auf eine verbesserte Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz der Batterieherstellung eröffnen.

Eine weitere Option für eine verbesserte Ökobilanz von Batterien aus Elektrofahrzeugen besteht in ihrer Verwendung in nicht-mobilen Anwendungsbereichen, sobald ihre abnehmende Kapazität eine wirtschaftliche Verwendung in Fahrzeugen nicht mehr gewährleistet. Im stationären Betrieb können sie dann ggf. weiterhin wirtschaftlich genutzt werden. Die erfolgreiche Einführung solcher Modelle hängt stark an der Bereitstellung geeigneter gesetzlicher Rahmenbedingung, die die zuverlässige Bewertung gebrauchter Batterien ermöglicht [31].



# 5 Die Dekarbonisierung des Verkehrs und die Rolle des E-Fernbusses

Der Energieverbrauch des Verkehrs in Deutschland hat sich hat sich seit 1960 mehr als verdreifacht und macht rund 30% des nationalen Endenergieverbrauchs aus. Als Energiequelle im Verkehrsbereich kommt zu 90% Erdöl zum Einsatz [5]. Der Verkehrssektor ist aufgrund seines hohen Anteils (18%) und seiner steigenden Tendenz an den deutschen Treibhausgasemissionen von hoher Relevanz für die zukünftige Dekarbonisierung Deutschlands.

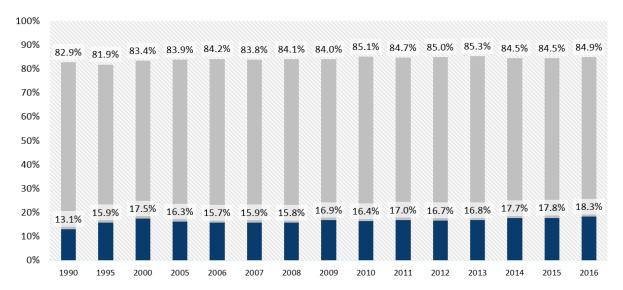


Abbildung 7: Prozentualer Anteil der energiebedingten THG-Emissionen, sowie der Anteil des Verkehrssektors an den Gesamtemissionen in Deutschland seit 1990.

Abbildung 7 zeigt den Anteil der energiebedingten Treibhausgasemissionen in Deutschland, sowie den Anteil der Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors seit 1990. Hauptverantwortlich für den steigenden Anteil des Verkehrssektors ist die jährlich steigende Fahrleistung, zwischen 1991 und 2016 stieg die Anzahl der zurückgelegten Kilometer im Straßenverkehr um 134% [35].

## 5.1 Wege zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors

Um den negativen Emissionstrend im Verkehrssektor zu stoppen und die gesetzten Klimaschutzziele einzuhalten, hat die Bundesregierung in ihrem Klimaschutzplan 2020 die folgenden Handlungsfelder für den Verkehrssektor definiert [4]:

- Die Nutzung effizienter und neuer Technologien
- Verkehrsverlagerungen
- Die konsequente Einführung der Elektromobilität im Personenverkehr (mittel- bis langfristig)
- Entwicklung alternativer Kraftstoffe (langfristig)
- Weiterentwicklung der Lkw-Maut
- Ausbau und Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs, des Schienengüterverkehrs sowie des Fahrrad- und Fußverkehrs.

Ähnliche Handlungsfelder mitsamt konkreten Auswirkungen auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen benennt das Verbändekonzept "Klimafreundlicher Verkehr 2014" der Umweltverbände WWF, BUND, Germanwatch und NABU. Die Umweltverbände rechnen darin vor, dass durch technische Maßnahmen und vor allem durch Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und verlagerung auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel der Energiebedarf im Verkehr bis 2050 um 70% und die Treibhausgasemissionen um 64% reduziert werden können. Dabei sollen



Verkehrsverlagerungen weg vom Pkw erreicht werden, in dem lange Strecken durch ein leistungsfähiges Bahn- und Fernbusnetz bedient werden, die bundesweit aufeinander abgestimmt sind (Deutschlandtakt). Fernbuslinien sollen bei gleichzeitiger Anrechnung der externen Kosten ausgeweitet werden und die Bahn ihre Ticketpreise senken. So könnte der Pkw-Verkehr in Deutschland halbiert werden. Als Kraftstoffalternative wird vor allem Strom aus erneuerbaren Energien genutzt, und die Bahn, der öffentliche Nahverkehr, Pkws und leichte Nutzfahrzeuge werden laut Verbändekonzept im Jahr 2050 weitgehend elektrisch betrieben. Auch synthetische Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien sollen zum Einsatz kommen [30].

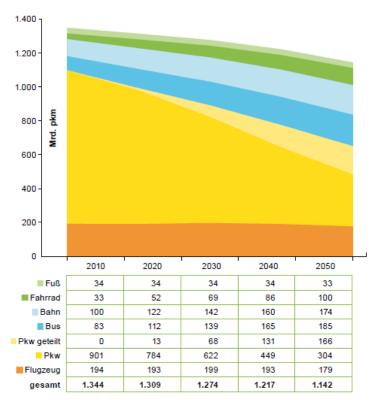


Abbildung 8: Gewünschte Verkehrsleistung der einzelnen Verkehrsträger im Personenverkehr von 2010 bis 2050 [Öko-Institut].

## Die Attraktivitätssteigerung des

Fernverkehrs ist nach dem Verkehrswendekonzept von Greenpeace ein Schlüssel zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors. Bus und Bahn müssen hier so gut aufeinander abgestimmt und ausgebaut sein, dass Menschen umsteigen, vor allem vom eigenen Auto. Das Ziel ist es, die gleichen Mobilitätsbedürfnisse mit weniger Verkehrsaufwand zu realisieren [19].

Der Fernbus und im speziellen der E-Fernbus spielt also gemeinsam mit der Bahn eine Rolle in der Dekarbonisierung des Verkehrssektors. Die Umstellung der bereits in großen Teilen elektrifizierten Bahn auf erneuerbaren Strom ist sicherlich leichter zu realisieren als die Umstellung des Fernbusverkehrs auf batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge. Wie im Verkehrskonzept der Umweltverbände beschrieben, stellen auch synthetische Kraftstoffe für vor allem Lkws, Schiffe und Flugzeuge eine Alternative zur Batterie und dem Elektromotor dar. Welcher Antrieb in Zukunft hauptsächlich zur Dekarbonisierung des Fernbusverkehrs beitragen soll, wird in keinem der Konzepte beschrieben. Die Testphase eines E-Fernbusses in Deutschland kann daher wertvolle Erfahrungen liefern, die auch für die weitere Planung der Verkehrswende von großem Nutzen sein können.

# 5.2 Der heutige Einfluss des Fernbusses auf die Treibhausgasemissionen aus dem Verkehrssektor

Seit der Liberalisierung des Fernbusmarktes im Jahr 2013 entwickelt sich der Fernbus zu einem relevanten Verkehrsmittel. Von 2012 bis 2015 ist die Anzahl der beförderten Passagiere im Fernbusverkehr von 3 auf 23 Millionen angestiegen und auch im Jahr 2016 auf dieser Höhe verblieben. Im gleichen Zeitraum stiegen die im Schienenpersonenverkehr transportierten Passagiere von 132 auf 138 Mio. an. Der Fernbus befördert mittlerweile so viele Passagiere wie auch durch innerdeutsche Flüge (2016: ca. 23,7 Mio.) befördert werden. Dieses noch junge Wachstum der Branche spiegelt sich auch in der Modernität der Busflotte wieder. In Deutschland entsprechen nur 14 % des Gesamtbestandes aller Busse der EURO-VI Norm, wohingegen 76 % aller Fernbusse EURO-



VI Busse sind. Trotz des Wachstums im Fernbusverkehr ist zu beachten, dass nur rund 2% (2015) der Busse in Deutschland Fernbusse sind [34]. Aus klimapolitischer Sicht stellt sich daher die Frage, inwiefern die Marktliberalisierung und der wachsende Anteil des Fernbusses am Personentransport schon heute zu den gewünschten Verkehrsverlagerungen beitragen und wie diese die Treibhausgasemissionen des Sektors beeinflussen.

#### Vergleich der Verkehrsträger: Der Fernbus schneidet sehr gut ab

In Deutschland veröffentlicht das Umweltbundesamt regelmäßig Emissionsfaktoren zu Luftschadstoffen, klimarelevanten Gasen und Lärm. Die Daten beruhen auf dem Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) [21]. In HBEFA werden Emissionsfaktoren differenziert nach Fahrzeugtypen und verschiedenen Verkehrssituationen berechnet. Untenstehende Tabelle 5 gibt die Emissionsfaktoren für Treibhausgase und Luftschadstoffe in g/Pkm an.

Tabelle 5: THG-Emissionsfaktoren für verschiedene Verkehrsmittel in Deutschland [UBA 2018-2].

		Pkw	Reisebus <sup>1</sup>	Eisenbahn, Fernverkehr	Flugzeug	Linienbus	Eisenbahn, Nahverkehr	Straßen-, Stadt- und U-Bahn
Treibhausgase <sup>2</sup>	g/Pkm	140	32	38 <sup>3</sup>	214 <sup>4</sup>	75	63	65
Kohlenmonoxid	g/Pkm	0,61	0,04	0,02	0,14	0,05	0,04	0,04
Flüchtige Kohlenwasserstoffe <sup>5</sup>	g/Pkm	0,14	0,02	0,00	0,04	0,03	0,01	0,00
Stickoxide	g/Pkm	0,35	0,18	0,05	0,57	0,32	0,18	0,06
Feinstaub	g/Pkm	0,004	0,003	0,000	0,005	0,002	0,002	0,000
Auslastung		1,5 Pers./Pkw	60%	53%	80%	21%	27%	19%

 $Emissionen\ aus\ Bereitstellung\ und\ Umwandlung\ der\ Energietr\"{a}ger\ in\ Strom,\ Benzin,\ Diesel\ und\ Kerosin\ sind\ ber\"{u}cksichtigt.$ 

Bezogen auf die Treibhausgasemissionen ist der Fernbus unter den motorisierten Fortbewegungsmitteln die emissionsärmste Option, gefolgt von der Eisenbahn im Fernverkehr. Das Flugzeug und der Pkw hingegen sind bei durchschnittlicher Auslastung die emissionsintensivsten Fortbewegungsmittel. Zu beachten ist, dass die Auslastung der FlixBus-Reisebusse bei 62% und damit leicht über der Auslastung von Reisebussen im HBEFA liegt [25]. Die Emissionsfaktoren pro Pkm für die Kategorie Reisebus in Tabelle 5 liegen daher leicht über dem Wert für Busse von FlixBus.

Ein Umstieg vom Pkw auf den Bus- und Zugverkehr ist in der Einzelfallbetrachtung (gleiche Strecke und kein zusätzlicher Verkehr) mit einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen verbunden. Das Angebot an alternativen Transportmitteln kann aber auch zu niedrigeren Kosten für den Passagier und damit zu einem erhöhten Verkehrsaufkommen (induzierter Verkehr) und Mehremissionen führen. Da 75% [34] bzw. 83% [26] der Fernbus-Kunden den Preis als Hauptgrund für ihre Transportmittelwahl nennen, ist dies nicht nur ein theoretisches Szenario.

Zwei Umfragen unter Fernbus-Kunden haben untersucht, welche Alternativen zum Fernbus für Passagiere bestehen. Da die gestellten Fragen und Antwortmöglichkeiten nicht genau übereinstimmen, ist ein Vergleich nur bedingt möglich. Abbildung 9 zeigt die gestellten Fragen und die prozentuale Verteilung der gegebenen Antworten.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Die Kategorie "Reisebus" umfasst Busse im Gelegenheitsverkehr (z.B. für Klassen- oder Kaffeefahrten) und Fernlinienbusse.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O angegeben in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Emissionsfaktoren für die Bahn basieren auf Angaben zum durchschnittlichen deutschen Strommix in Deutschland. Emissionsfaktoren, die auf unternehmens- und sektorbezogenen Strombezügen basieren weichen ab.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> unter Berücksichtigung aller klimawirksamen Effekte des Flugverkehrs (EWF = Emission Weighting factor = 2)

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> ohne Methan



UBA: Stellen Sie sich vor, dass es für die Fahrt nicht die Möglichkeit gegeben hätte, den Fernbus zu nehmen: Für welches alternative Verkehrsmittel hätten Sie sich dann entschieden?

IGES/IFEU: Welche Alternativen haben Sie in Betracht gezogen?

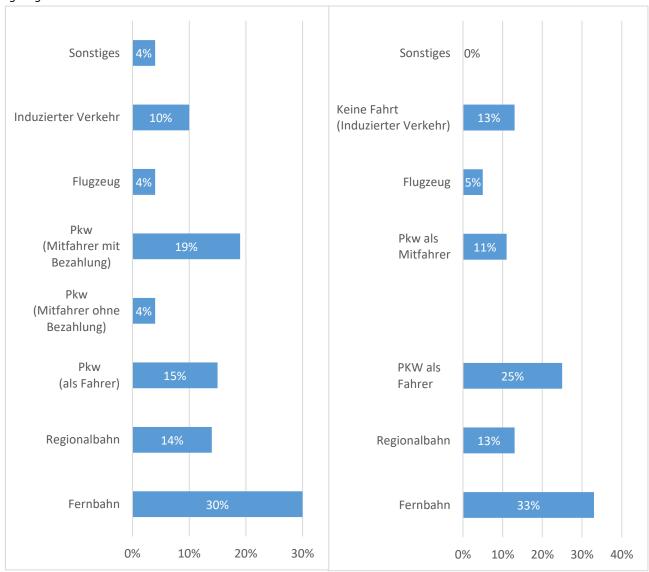


Abbildung 9: Ergebnis zweier voneinander unabhängiger Umfragen unter Fernbus-Kunden. Links IGES/IFEU 2017 und rechts UBA 2018.

Passagiere im Fernbus wären alternativ zu 30% (IGES/IFEU) bzw. 33% (UBA) mit der Fernbahn gereist. Ein großer Teil der Fernbuskunden verzichtet durch die Wahl des Fernbusses auf das Auto als Fahrer bzw. Mitfahrer, sowie 4% bzw. 5% auf eine Flugreise zum Zielort. Die Verfügbarkeit des Fernbusses führt bei 13% der vom UBA befragten Passagiere und bei 10% der von IGES/IFEU befragten Passagiere zu einer zusätzlichen Reise (induzierter Verkehr) und damit zu einer Erhöhung der zurückgelegten Personenkilometer insgesamt und Mehremissionen. Um auszuschließen, dass die durch den induzierten Verkehr entstehenden Mehremissionen die Einsparungen durch die vermiedenen Reisen mit dem Pkw und Flugzeug aufzehren, haben beide Studien diesen Sachverhalt genauer untersucht.

Das ifeu stellt in ihrer Analyse die Frage, ob die Zunahme des Fernlinienbusverkehrs überhaupt zu einer Einsparung der CO<sub>2</sub>-Emissionen führt. Dafür ermittelt das Institut die CO<sub>2</sub>-Emissionen des zusätzlichen Fernbusverkehrs und die Menge der CO<sub>2</sub>-Emissionen der eingesparten Fahrten.



Zwei Fälle werden betrachtet [25]:

- 1. Die Pkw-Fahrten der in den Fernlinienbus umgestiegenen Fahrer entfallen. Es gibt keinen Einfluss auf das Zug- und Flugangebot (Fall "Nur Pkw").
- 2. Neben den eingesparten Pkw-Fahrten wird auch das Angebot der Bahn und des Flugverkehr entsprechend der zurückgehenden Nachfrage reduziert (Fall "Alle Verkehrsmittel").

Betrachtet werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen von 100 Reisen bei mittlerer Auslastung über 300 km, unter der Annahme, dass die Fernbus-Kunden mit einem Pkw zu den Haltestellen im Start- und Zielort Anbzw. Abreisen.

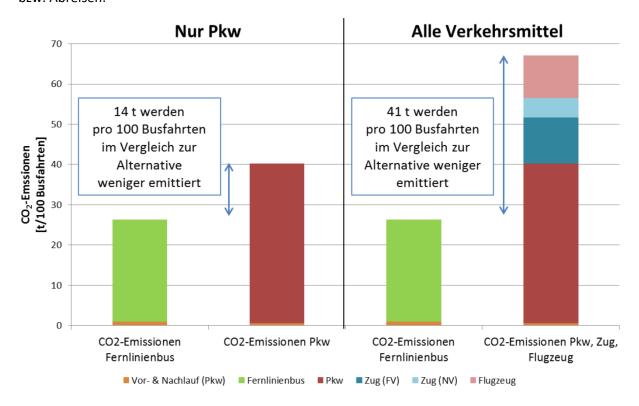


Abbildung 10: Vergleich der eingesparten Emissionen durch die Wahl des Fernbusses mit den zusätzlichen Emissionen aus dem induzierten Verkehr [ifeu 2017].

Abbildung 10 zeigt das Ergebnis der Berechnungen für beide Szenarien. Auf der linken Seite ("Nur Pkw") werden die Treibhausgasemissionen von 100 Fernbusfahrten nur mit den Emissionen aus den vermiedenen Pkw-Fahrten verglichen. Alleine in diesem Vergleich werden 14 Tonnen weniger Treibhausgase ausgestoßen. Das ifeu gibt weiter an, dass wenn 15 % der Fernlinienbusreisenden auf eine eigene Fahrt mit dem Pkw verzichten mehr Treibhausgasemissionen eingespart werden, als alle Reisenden durch die Fahrt mit dem Fernbus verursachen.

Noch größer fällt die Emissionsreduktion im zweiten Fall "Alle Verkehrsmittel" aus (rechts). Neben den eingesparten Pkw-Fahrten werden hier auch Einsparungen durch vermiedene Bahn und Flugreisen berücksichtigt. Bei 100 Fahrten mit dem Fernbus können so 41 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden [25].

Das UBA hat die Umfrageergebnisse aus Abbildung 9 für Strecken über 200, 400 und 600 km ausgewertet. Das UBA stellt ebenso die Frage, ob der durch den Fernbus induzierte Verkehr zu Mehremissionen oder zu einer Emissionsminderung führt. Auch das UBA berücksichtigt bei seiner Auswertung zunächst nur die vermiedenen Pkw-Emissionen (Abbildung 12) und im zweiten Schritt alle Alternativen zum Fernbus (Abbildung 12). Alleine durch die Reisenden, die alternativ als Fahrer



oder Mitfahrer mit dem Pkw gereist wären, werden für alle betrachteten Entfernungen Emissionseinsparungen erreicht. Unter Berücksichtigung aller Alternativen (Alternativenmix), fällt das Ergebnis noch deutlicher aus.

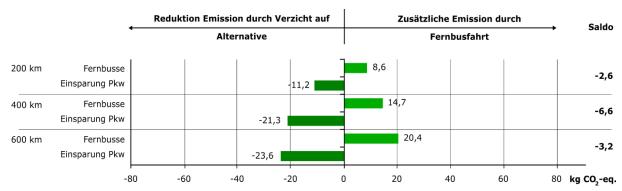


Abbildung 11: Vergleich der eingesparten Pkw-Emissionen und der zusätzlichen Emissionen durch eine Fernbusfahrt über 200, 400 und 600 km [UBA 2018].

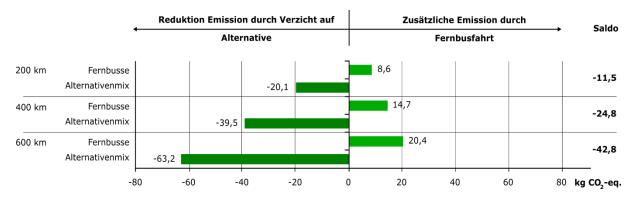


Abbildung 12: Vergleich der eingesparten Emissionen durch den Verzicht auf die Alternativen Flugzeug, Pkw oder Bahn und der zusätzlichen Emissionen durch eine Fernbusfahrt über 200, 400 und 600 km [UBA 2018].

#### Abschließend stellt das UBA folgendes fest:

"Die Bilanzierungen auf Basis der Erhebung zeigen, dass insbesondere durch "Abwanderungen" von Reisenden vom Pkw zum Fernbus bei gleichzeitigem Wegfall der Pkw-Fahrten die zusätzlichen Emissionen der Busse kompensiert werden können; insgesamt konnten so in der Bilanz deutliche Emissionseinsparungen bei Luftschadstoffen und Treibhausgasen in Deutschland erzielt werden. Diese Ergebnisse gelten auch bei Berücksichtigung des induzierten Verkehrs. Im Gegensatz zum Schienenpersonenfernverkehr legen die Daten zudem den Schluss nahe, dass keine Konkurrenz des Fernbusses zum öffentlichen Personennahverkehr besteht." (UBA 2018 [34]: 15)

Beiden Studien zeigen also, dass der Fernbus durch die Vermeidung von Pkw-Fahrten und Flügen hohe CO<sub>2</sub>-Einsparungen bringt und damit bereits heute einen Beitrag zum Klimaschutz leistet.



# 6 Quellenverzeichnis

- [1] Allianz pro Schiene: <a href="https://www.allianz-pro-schiene.de/wp-content/uploads/2018/07/180221\_Elektrifizierungskarte\_AllianzProSchiene.pdf">https://www.allianz-pro-schiene.de/wp-content/uploads/2018/07/180221\_Elektrifizierungskarte\_AllianzProSchiene.pdf</a>, 2018, Aufgerufen am 10.10.2018
- [2] Ambrose and Kendall: Effects of battery chemistry and performance on the life cycle greenhouse gas intensity of electric mobility 2016
- [3] Berylls: Batterie-Produktion Heute und Morgen Zu viele Hersteller und zu wenige Abnehmer. Studie zum Akkupack-Markt, März 2018
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Aktionsprogramm Klimaschutz 2020, Kabinettsbeschluss vom 3. Dezember 2014, 2014
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Klimaschutzplan 2050 Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, 2016
- [6] Bloomberg New Energy Finance (BNEF): <a href="https://about.bnef.com/blog/planes-trains-automobiles-electric-remake/">https://about.bnef.com/blog/planes-trains-automobiles-electric-remake/</a>, 2018
- [7] Bundesregierung:
  - $\frac{https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/Mitschrift/Pressekonferenzen/2012/10/2012-10-01-pk-$
  - elektromobilitaet.html;jsessionid=AEEADF54A2A25F0DA82823AA3F451D5C.s1t2?nn=437032, 2017
- [8] Bundesregierung: <a href="https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2017/11/2017-11-28-saubere-luft-kommunen.html">https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2017/11/2017-11-28-saubere-luft-kommunen.html</a>, 2018
- [9] Deutsche Bahn AG: Integrierter Bericht 2017 Auf in eine neue Zeit!, 2018
- [10] European Comission: <a href="http://europa.eu/rapid/press-release">http://europa.eu/rapid/press-release</a> IP-18-3450 de.htm, 2018, Aufgerufen am 04.10.2018
- [11] Ellingsen et. al.: Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack, 2013
- [12] Feilmeier, Fenecon: Flixbus Vorstellung BYD C9, 27.09.2017
- [13] Focus: <a href="https://www.focus.de/auto/news/elektrobusse-auf-dem-vormarsch-45-staedte-testen-schon-den-e-bus-jetzt-geht-es-22-000-dieselbussen-an-den-kragen id 7566595.html">https://www.focus.de/auto/news/elektrobusse-auf-dem-vormarsch-45-staedte-testen-schon-den-e-bus-jetzt-geht-es-22-000-dieselbussen-an-den-kragen id 7566595.html</a>, 2018
- [14] Fraunhofer: E-Bus-Standard »Ansätze zur Standardisierung und Zielkosten für Elektrobusse«, 2017
- [15] Fraunhofer: <a href="https://www.energy-charts.de/ren\_share\_de.htm?source=ren-share&period=annual&year=all,">https://www.energy-charts.de/ren\_share\_de.htm?source=ren-share&period=annual&year=all,</a>
  2018
- [16] Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE), Dr. Bert de Haart: Elektromobilität mit Brennstoffzellen und Batterien, 2014
- [17] Prof. Dr.-Ing. Dietmar Göhlich, Dipl.-Ing. Dominic Jefferies: Betrieb einer elektrischen Fernbuslinie Gutachten zur Wirtschaftlichkeitsanalyse, Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik, Technische Universität Berlin, 2018
- [18] Greenpeace: Machbarkeitsstudie: Eigenversorgung des Schienenverkehrs der Deutschen Bahn mit Strom aus erneuerbaren Energien, 2011
- [19] Greenpeace: Verkehrswende für Deutschland Der Weg zu CO<sub>2</sub>-freier Mobilität bis 2035, Erstellt im Auftrag von Greenpeace durch das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, 2017
- [20] Greenpeace: <a href="https://www.greenpeace-energy.de/privatkunden/oekostrom/tarif-oekostrom-aktiv.html">https://www.greenpeace-energy.de/privatkunden/oekostrom/tarif-oekostrom-aktiv.html</a>, 2018
- [21] Handbook emission factors for road transport (HBEFA): http://www.hbefa.net/d/, 2018
- [22] Jan Hoinkis: Chemie für Ingenieure, Weinheim 2015, Wiley-VCH, ISBN 978-3-527-68461-8
- [23] International Council on Clean Transportation: Global climate change mitigation potential from a transition to electric vehicles, Nic Lutsey, 2015
- [24] International Council on Clean Transportation Hall and Lutsey: Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions, February 2018
- [25] Insitut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg: Umweltbilanzierung Fernlinienbus, 2017, Im Auftrag des Bundesverbands Deutscher Omnibusunternehmer e.V. (bdo),
  - https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/20171026 Ergebnisse Fernlinienbus Final.pdf zugegriffen am 10.10.2018
- [26] IGES Institut GmbH: Sozialstruktur Fernbusmarkt Deutschland Synopse von Fernbuskunden in Deutschland, Berlin, 2017
- [27] Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC Energy Volume 2, 2006



- [28] Päivi Kärnä: Carbon Footprint of the Raw Materials of an Urban Transit Bus Case study: Diesel, Hybrid, Electric and Converted Electric Bus, Lahti University of Applied Sciences, Degree Programme in Environmental Technology, 2012.
- [30] Öko-Institut 2014: Klimafreundlicher Verkehr in Deutschland Weichenstellungen bis 2050, 2014
- [31] Mia Romare, Lisbeth Dahllöf: The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries A Study with Focus on Current Technology and Batteries for light-duty vehicles, Swedish Environmental Research Institute, 2017, ISBN 978-91-88319-60-9
- [32] Mia Romare : The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries, Mia Romare, Lisbeth Dahllöf, 2017
- [33] Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umsteuern erforderlich: Klimaschutz im Verkehrssektor Sondergutachten, November 2017
- [34] Umweltbundesamt: Fernbusreisen in Deutschland Eine Bestandaufnahme zu Treibhausgasen, Luftschadstoffen und zur Verkehrsentwicklung, 2018
- [35] Umweltbundesamt 2018: Fahrleistungen, Verkehrsaufwand und "Modal Split"
  <a href="https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/fahrleistungen-verkehrsaufwand-modal-split#textpart-1">https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/fahrleistungen-verkehrsaufwand-modal-split#textpart-1</a>
  <a href="augerufen">aufgerufen</a> am 04.10.2018
- [36] Umweltbundesamt 2018: <a href="https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/rekordhalbjahr-fuer-erneuerbare-energien">https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/rekordhalbjahr-fuer-erneuerbare-energien</a> aufgerufen am 04.10.2018
- [37] <a href="https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen">https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen</a> aufgerufen am 04.10.2018
- [38] Nealer, Reichmuth, Anair: Cleaner Cars from Cradle to Grave How Electric Cars Beat Gasoline Cars on Lifetime Global Warming Emissions, 2015, Union of Concerned Scientists
- [39] Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): Hauptgutachten Welt im Wandel Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation, Berlin, 2011, ISBN 978-3-936191-38-7