

INFORMATIONEN ZUR UMWELTPOLITIK

201

Zur Ökobilanz von E-Autos und was die VerbraucherInnen darüber erfahren

Eine Marktanalyse

Holger Heinfellner, David Fritz



WIEN

Autoren: Ing. Holger Heinfellner, BSc
Mag. David Fritz

Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5
1090 Wien

E-Mail: office@umweltbundesamt.at
Internet: www.umweltbundesamt.at

PERSPEKTIVEN FÜR UMWELT & GESELLSCHAFT **umweltbundesamt**^U

Bearbeitung, Layout: Krisztina Hubmann (AK Wien)

Zu beziehen bei: Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien
Abteilung Umwelt und Verkehr
1040 Wien, Prinz Eugen-Straße 20-22
Telefon: +43 1 / 501 65 DW 12422
E-Mail: UVSek@akwien.at

Zitiervorschlag: *Heinfellner, Fritz* (2019): Zur Ökobilanz von E-Autos und was die VerbraucherInnen darüber erfahren – eine Marktanalyse
In: Informationen zur Umweltpolitik, 201
Wien: Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien

Stand: Oktober 2019

*Medieninhaber: Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien
1040 Wien, Prinz Eugen-Straße 20-22*

Druck: Eigenvervielfältigung

Verlags- und Herstellort: Wien

ISBN: 978-3-7063-0801-4

VORWORT

Energieverbrauch und Abgaswerte sind wichtige Kaufargumente für Verbraucherinnen und Verbraucher. Verlässliche Informationen erlauben Ihnen, ihre Mobilitätskosten zu planen und umweltfreundlich zu handeln. Die Diskussion um den Abgasschwindel bei Herstellerangaben in den letzten Jahren hat die Schwächen aber nur allzu deutlich aufgezeigt. Dies gilt auch für Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb, bei denen Käuferinnen und Käufer noch Vertrauensdefizite (va bezüglich Reichweite und ökologischer Gesamtbilanz) haben. Gleichzeitig bestehen aber hier auch besonders hohe Erwartungen an Umwelt- und Klimaschutz.

Das bildet den Hintergrund für die vorliegende Studie, die vom Umweltbundesamt im Auftrag der Arbeiterkammer Wien zwischen Juni und September 2019 durchgeführt wurde. Untersucht wurden dabei in einem ersten Schritt die offiziellen Verbrauchsangaben der HerstellerInnen von 33 strombetriebenen Pkw-Modellen, die in Österreich im Segment der Kleinst- und Kleinwagen, Kompakt- sowie der Ober- und Luxusklasse angeboten werden. In einem zweiten Schritt wurde der Realverbrauch von sieben Modellen aufgrund der konkreten Erfahrungen von Fahrerinnen und Fahrern überprüft. Auf Basis dieser Ergebnisse werden grundsätzliche Überlegungen zur Energieeffizienz von Stromern angestellt, die vom Fahrzeuggewicht bis zur Ökobilanz entlang des gesamten Lebenszyklus (Stromproduktion, Fahrzeug, Batterie) reichen. Sie ergeben ein gesamthaftes Bild der „Klimatransparenz“, die es in Österreich bis dato noch nicht gab.

An dieser Stelle möchte ich den beiden Studienautoren des österreichischen Umweltbundesamtes, Holger Heinfellner und David Fritz, meinen besonderen Dank aussprechen, die in kurzer Zeit wertvolle Grundlagenarbeit für die 3,7 Millionen Mitglieder der Arbeiterkammer geleistet haben. Sie haben mit dieser Studie in kompakter und verständlicher Weise Handlungsoptionen für die EU-Vorschriften bei der Verbrauchskennzeichnung von neuen Pkw aufgezeigt, die im Jahr 2020 auf Ebene der EU überarbeitet werden sollen.

Die Ergebnisse dieser Studie bestärken die AK, das Thema aktiv weiterzuverfolgen und keinesfalls nur Lösungen vom nationalen oder EU-Gesetzgeber abzuwarten. All jenen, die weiterhin behaupten, die Transparenz und Verlässlichkeit von Angaben im Autohandel wird sich automatisch einstellen, sei hiermit gesagt: Wir bleiben dran.

Franz Greil

AK Wien

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	3
1 Energieeffizienz des Elektromotors	7
2 Marktanalyse	9
2.1 Zusammenhang Energieeinsatz, Fahrzeuggewicht und Reichweite	14
2.2 Realdatenanalyse	15
3 Lebenszyklusenergieeffizienz	19
3.1 Die Kraftstoff- und Stromproduktion	19
3.2 Die Fahrzeugherstellung	20
3.3 Die Herstellung der Fahrbatterie	20
3.4 Zusammenfassung	22
3.5 Bedeutung für die Fahrzeuge in der österreichischen Flotte	23
4 Schlussfolgerung	27
Literaturverzeichnis	29
INFORMATIONEN ZUR UMWELTPOLITIK	31

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: durchschnittliche Reichweite je Antriebskonzept mit einer Kilowattstunde direkt eingesetzter Energie _____	8
Abbildung 2: Entwicklung des BEV Marktanteils bei Pkw Neuzulassungen _____	9
Abbildung 3: Zusammenhang Fahrzeuggewicht und Energieeinsatz _____	14
Abbildung 4: Zusammenhang Reichweite und Energieeinsatz _____	15
Abbildung 5: Darstellung der Bandbreite des kumulierten Energieaufwands je Kilogramm Akku _	21
Abbildung 6: kumulierte Energieaufwände aus Batterieherstellung, Fahrzeugherstellung und Betrieb je Modell _____	24
Abbildung 7: kumulierte Treibhausgasemissionen als Folge von Batterieherstellung, Fahrzeugherstellung und Betrieb je Modell _____	25
Abbildung 8: kumulierte Treibhausgasemissionen als Folge von Batterieherstellung, Fahrzeugherstellung und Betrieb je Antriebskonzept in der Kompaktklasse _____	26

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Direkter Energieeinsatz und direkte THG-Emissionen unterschiedlicher Antriebskonzepte (Umweltbundesamt, 2018) _____	7
Tabelle 2: Batteriekapazitäten, Gewichte und Energieeinsätze aller von Jänner 2018 bis Juni 2019 neu zugelassener BEV im Pkw-Segment _____	13
Tabelle 3: Realenergieeinsatz ausgesuchter BEV-Modelle _____	16
Tabelle 4: Direkter und kumulierter Energieaufwand unterschiedlicher Antriebskonzepte _____	20
Tabelle 5: kumulierter Energieaufwand der Fahrzeugherstellung _____	20
Tabelle 6: kumulierter Energieaufwand eines durchschnittlichen BEV der Kompaktklasse über den gesamten Lebenszyklus _____	23
Tabelle 7: mögliche Lebenszykluseffizienzklassen für BEV _____	28

1 ENERGIEEFFIZIENZ DES ELEKTROMOTORS

Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV: Battery Electric Vehicle) und konventionell angetriebene Fahrzeuge mit Otto- bzw Dieselmotor (ICEV: Internal Combustion Engine Vehicle) unterscheiden sich maßgeblich im Antriebsstrang: Während bei BEV ein Elektromotor mit einem Akkumulator kombiniert wird, sind bei ICEV der Verbrennungsmotor in Kombination mit dem Kraftstofftank für die Fortbewegung zuständig. Neben den unterschiedlichen Funktionsweisen der Motoren unterscheiden sie sich wesentlich darin, wie effizient die eingesetzte Energie in Bewegungsenergie umgewandelt werden kann.

Der direkte Energieeinsatz gibt an, welche Energiemenge für die Bewegung des Fahrzeuges eingesetzt werden muss und ergibt sich vorrangig aus dem Wirkungsgrad des Motors samt Antriebsstrang. Der Wirkungsgrad gibt an, welcher Anteil der eingesetzten Energie (fossiler Kraftstoff, Strom oder Wasserstoff) in Bewegungsenergie umgewandelt werden kann. Verbrennungsmotoren in Pkw weisen im schlechtesten Fall im dichten Stadtverkehr Wirkungsgrade von lediglich 5 % auf, steigen bei hoher Last für Ottomotoren auf über 30 % und für Dieselmotoren auf über 40 %. Elektromotoren weisen Wirkungsgrade von bis zu 85 % auf, wobei auch diese abhängig vom Lastzustand sind. Darüber hinaus kann der Elektromotor als Generator betrieben werden und durch die sogenannte Rekuperation, also die technische Rückgewinnung von Energie, die beim Bremsen bzw Ausrollen entsteht, den Akku wieder aufladen. Dadurch wird die Effizienz insbesondere im Stadtverkehr erhöht.

Der Energieeinsatz von BEV wird in der Einheit Kilowattstunden je gefahrenen Kilometer (kWh/km) angegeben und ist vergleichbar mit der bekannten Kraftstoffverbrauchsangabe bei Pkw mit Verbrennungsmotor in Litern je 100 Kilometer. Zur besseren Vergleichbarkeit kann der direkte Energieeinsatz fossil angetriebener Pkw ebenfalls in kWh/km angegeben werden. Die Umrechnung erfolgt über die Energiedichte des jeweiligen fossilen Kraftstoffes (8,9 kWh/Liter für Benzin und 10,0 kWh/Liter für Diesel). Der durchschnittliche direkte Energieeinsatz unterschiedlicher Antriebskonzepte in der Kompaktklasse kann **Tabelle 1** entnommen werden. Ergänzend sind die direkten Treibhausgasemissionen ausgewiesen.

Antriebsart	Direkter Energieeinsatz in kWh/km	Direkte THG-Emissionen in g CO ₂ eq/km
Diesel Pkw	0,52	132
Benzin Pkw	0,66	168
BEV	0,20	0

Tabelle 1: Direkter Energieeinsatz und direkte THG-Emissionen unterschiedlicher Antriebskonzepte (Umweltbundesamt, 2018)

Daraus wird ersichtlich, dass die Effizienz von BEV bei der Umwandlung von eingesetzter Energie in Bewegungsenergie ungefähr um den Faktor 3 höher ist, als bei ICEV. Das bedeutet: mit einem batterieelektrischen Pkw kann mit derselben eingesetzter Energiemenge rund drei Mal weitergefahren werden als mit benzin- oder dieselbetriebenen Pkw.

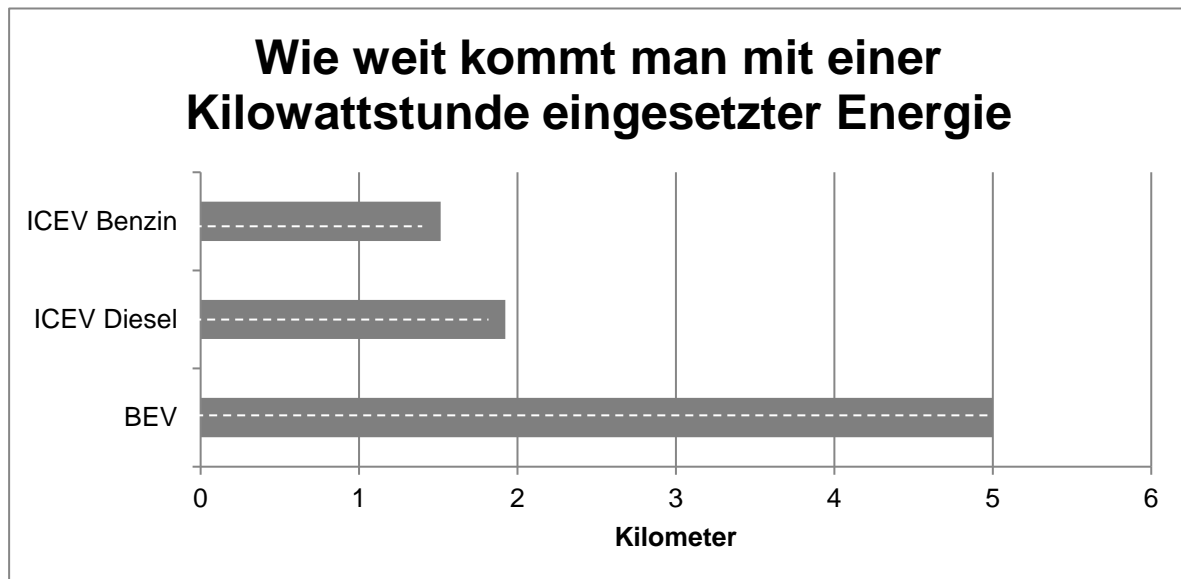


Abbildung 1: durchschnittliche Reichweite je Antriebskonzept mit einer Kilowattstunde direkt eingesetzter Energie

2 MARKTANALYSE

Die Anzahl der, in Österreich neuzugelassenen, batterieelektrischen Pkw unterliegt einem stetigen Wachstum. Wurden im Jahr 2015 noch 1.677 BEV im Pkw-Segment neu zugelassen, ist diese Zahl im Jahr 2018 auf 6.757 Fahrzeuge gestiegen. Im ersten Halbjahr 2019 wurden bereits 4.904 BEV neu zugelassen, was einem Marktanteil von 2,79 % entspricht – damit liegt Österreich im europäischen Spitzenfeld.

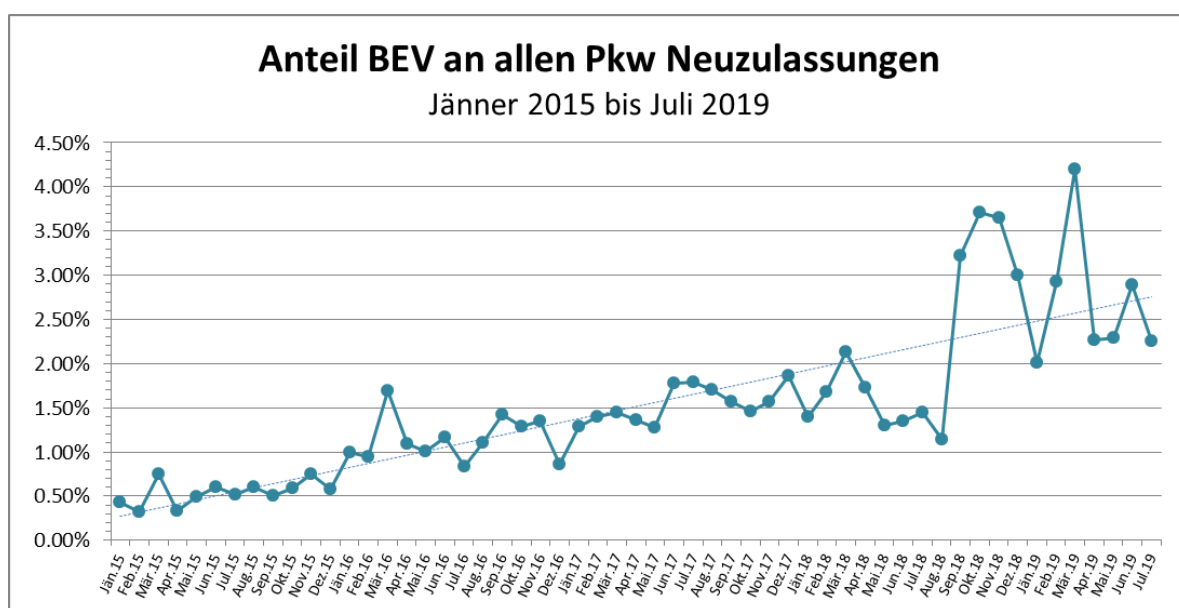


Abbildung 2: Entwicklung des BEV Marktanteils bei Pkw Neuzulassungen

In den Jahren 2015 bis 2017 wurde der BEV-Markt, bedingt durch den frühen Markteintritt einiger Fahrzeughersteller, noch von einigen wenigen Fahrzeugmodellen dominiert. So entfielen in diesen Jahren 60 % (2015), 56 % (2016) bzw 55 % (2017) auf drei Fahrzeugmodelle: den Renault Zoe, den BMW i3 sowie das Tesla Model S. Seit 2018 spiegelt sich das breitere Angebot mit 19 (2018) bzw 20 (Jänner bis Juni 2019) unterschiedlichen Modellen auch in den Pkw-Neuzulassungen wider. In beiden Jahren gibt es mit dem Volkswagen e-Golf (2018: 27 % aller EV-Neuzulassungen) bzw dem Tesla Model 3 (1. Halbjahr 2019: 30 % aller EV-Neuzulassungen) jedoch wieder eindeutige Marktführer.

Im Rahmen der vorliegenden Kurzstudie wurden sämtliche in den Jahren 2018 und 2019 (1. Halbjahr) neu zugelassenen BEV im Pkw-Segment einer eingehenden Analyse unterzogen. Recherchiert wurden hierfür

- das Fahrzeugleergewicht gem. VO (EU) 1230/2012
- das Gewicht der Fahrbatterie
- die Brutto- und Nettokapazität der eingesetzten Fahrbatterien

- der direkte Energieeinsatz lt. Neuem europäischem Prüfzyklus (kurz: NEFZ)
- der direkte Energieeinsatz lt. Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (kurz: WLTP)

Gewicht

Das Fahrzeugleergewicht von BEV ist in der Regel etwas höher als bei vergleichbaren konventionell angetriebenen Fahrzeugen, was vorrangig auf das Gewicht der Fahrbatterie zurückgeführt werden kann. Da gegenwärtig alle Hersteller Lithium-Ionen-Batterien einsetzen und sich die unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen der Lithium-Ionen-Batterien nicht merkbar auf das Batteriegewicht auswirken gilt grundsätzlich: je größer die Batteriekapazität, desto größer das Batterie- bzw. Fahrzeugleergewicht. Während das Leergewicht – wenn auch teilweise in Bandbreiten – von den unterschiedlichen Fahrzeugherstellern für alle Fahrzeugmodelle ausgewiesen wird, werden Informationen zum Gewicht der verbauten Fahrbatterie nur von einigen wenigen Fahrzeugherstellern angegeben.

Batteriekapazität

Eine Fahrbatterie, auch Traktionsbatterie oder Akku genannt, verfügt über eine Brutto- und eine Nettokapazität. Die volle elektrochemische Kapazität einer Zelle (Bruttokapazität) wird in der Praxis nicht ausgenutzt, da Tiefentladungen und absolute Vollladungen die Akkustruktur schädigen können. Um das zu verhindern, wird ein Kapazitätspuffer berücksichtigt, um den die Bruttokapazität auf eine nutzbare Nettokapazität reduziert wird. Die Analyse hat gezeigt, dass dieser Puffer 10 % bis 15 % der Bruttokapazität beträgt. Allerdings wird in den meisten Informationsmaterialien der Fahrzeughersteller (Internetseiten, Dokumente zu technischen Daten, etc) nicht angegeben, ob es sich bei der ausgewiesenen Kapazität um den Brutto- oder Nettowert handelt. Zwar bestehen für Fahrzeughersteller diesbezüglich keine Ausweisungsverpflichtungen; Der Konsumentin bzw dem Konsumenten ist es damit jedoch nicht möglich, die Batteriekapazitäten auf einer belastbaren Basis zu vergleichen.

Energieeinsatz

Im September 2017 wurde zur Bestimmung von Schadstoffemissionen und Kraftstoff- bzw Stromverbrauch (entspricht dem direkten Energieeinsatz) in der Europäischen Union der NEFZ durch den WLTP abgelöst. Letzterer ist seit 1. September 2017 für die Typprüfung neuer Modelle und für neue Motorvarianten und seit 1. September 2018 für die Typprüfung neu zugelassener Fahrzeuge anzuwenden. Die Ausweisung dieser Werte ist in Österreich mit dem Personenkraftwagen-Verbraucherinformationsgesetz (Pkw-VIG) geregelt, mit der die Richtlinie 1999/94/EG¹ in nationales Recht überführt wird. Dem Pkw-VIG zufolge haben „alle Werbeschriften² die offiziellen Kraftstoffverbrauchswerte [...] der betreffenden Modelle zu enthalten“ (§7, Pkw-VIG). Gemäß §5, Pkw-VIG hat zudem „das Bundesgremium des Fahrzeughandels jährlich einen [...] Leitfaden über den Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen zu erstellen“. Dieser Leitfaden ist in Österreich über die Website www.autoverbrauch.at dargestellt.

Zu den erforderlichen Inhalten dieses Leitfadens ebenso wie zu den Angaben über Kraftstoffverbrauch, Stromverbrauch und CO₂-Emissionen in Werbeschriften wird auf § 11 Pkw-VIG und in weite-

¹ Richtlinie 1999/94/EG¹ des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13.12.1999 über die Bereitstellung von Verbraucherinformationen über den Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen beim Marketing für neue Personenkraftwagen.

² Alle Druckschriften und gegebenenfalls anderes Werbematerial, die für den Vertrieb von neuen Personenkraftfahrzeugen und zur Werbung in der Öffentlichkeit verwendet werden; dazu gehören mindestens technische Anleitungen, Broschüren, Anzeigen in Zeitungen, Magazinen und Fachzeitschriften sowie Plakate.

rer Folge auf die Personenkraftwagen-Verbraucherinformationsverordnung 2018 (Pkw-VIV 2018) verwiesen. Dort ist festgehalten, dass die Angaben, unter anderem zum Stromverbrauch „bereits bei flüchtigem Lesen leicht verständlich zu sein“ haben. Weiters müssen „die offiziellen Kraftstoffverbrauchs- bzw Stromverbrauchswerte und CO₂-Emissionen nach NEFZ für alle in der Werbeschrift genannten unterschiedlichen Fahrzeugmodelle angegeben werden“ (§ 7, Pkw-VIV 2018). Eine aktualisierte Verordnung mit Umstellung auf WLTP wird für Jahresbeginn 2020 erwartet. Darüber hinaus wurde in der Verordnung (EU) 2019/631³ festgestellt, dass eine „Klarstellung und Vereinfachung“ der Richtlinie 1999/94/EG erforderlich ist. Auch sollte die Kommission „die genannte Richtlinie daher bis spätestens 31. Dezember 2020 überarbeiten und gegebenenfalls einen entsprechenden Legislativvorschlag unterbreiten.“ Bei dieser Überarbeitung sollte „die Notwendigkeit besser konzipierter und stärker vereinheitlichter Vorgaben der Union für die Fahrzeugkennzeichnung erwogen werden, durch die Verbraucher vergleichbare, zuverlässige und benutzerfreundliche Informationen über die Vorteile emissionsfreier und emissionsarmer Fahrzeuge sowie Angaben zu Luftschadstoffen erhalten.“ Der Ersatz der Richtlinie durch eine Verordnung könnte eine europaweit einheitliche Verbraucherinformation fördern.

In der Praxis handelt es sich bei gegenwertig ausgewiesenen Angaben in den analysierten Medien zu unterschiedlichen Anteilen um NEFZ-Werte, WLTP-Werte oder WLTP-Werte, die auf NEFZ-Werte zurückgerechnet wurden. Untersucht wurden hierbei vorrangig Informationsbroschüren, technische Anleitungen und Webpages der Fahrzeughersteller bzw Fahrzeugverkäufer ebenso wie der *Leitfaden über den Kraftstoffverbrauch, die CO₂-Emissionen und den Stromverbrauch aller neuen Personenkraftwagenmodelle, die in Deutschland zum Verkauf angeboten werden* sowie der österreichischen Leitfaden auf www.autoverbrauch.at. Während auf www.autoverbrauch.at ergänzend zur bestehenden rechtlichen Verpflichtung für einige Fahrzeugmodelle auch schon der WLTP-Wert abgerufen werden kann, lassen sich in den Werbeschriften der Fahrzeughersteller große Unterschiede in der Ausweisung erkennen. Teilweise wird der Stromverbrauch, sowohl gemäß NEFZ als auch gemäß WLTP in den Haupttabellen angeführt und ist demnach in der geforderten leichten Verständlichkeit ersichtlich. Bei manchen Herstellern findet sich die gewünschte Information in Fußnoten. In einem Fall geht aus der Informationsbroschüre zu den technischen Daten nicht eindeutig hervor, ob es sich bei den ausgewiesenen Informationen zum Stromverbrauch um NEFZ- oder WLTP-Werte handelt. Und auch, wenn die Vermutung naheliegt, dass sich bei dem ausgewiesenen Wert entsprechend den rechtlichen Verpflichtungen (Pkw-VIV 2018) um den NEFZ-Wert handelt, besteht hinsichtlich der Information der Verbraucherin bzw des Verbrauchers in diesem Beispiel Verbesserungspotential.

In Einzelfällen wurden in den untersuchten Medien Diskrepanzen festgestellt. So wird beispielsweise für den Jaguar I-Pace gemäß Werbeschrift des Herstellers eine WLTP-Bandbreite ausgewiesen, deren unterer Wert mit dem NEFZ-Wert laut www.autoverbrauch.at übereinstimmt. Für den Smart EQ Fortwo Coupe wird auf www.autoverbrauch.at eine große WLTP-Bandbreite von 12,9 bis 20,1 kWh/100 km ausgewiesen. Auf der Website des Fahrzeugherstellers beträgt die Bandbreite nur 15,6 bis 17,7 kWh/100 km. Keine Informationen zum direkten Energieeinsatz gemäß einem der genannten Testzyklen konnten für den Elektro-Pkw iEV7S des chinesischen Herstellers JAC ausfindig gemacht werden. Auch im Hinblick auf Energieeinsatz und damit Energieeffizienz besteht für die Konsumentin bzw den Konsumenten in Einzelfällen demnach keine belastbare Vergleichsmöglichkeit.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in allen untersuchten Fahrzeugparametern, sowohl hinsichtlich des Batteriegewichts und der Batteriekapazität, die keiner gesetzlichen Ausweisungspflicht

³ Verordnung (EU) 2019/631 des europäischen Parlaments und Rates vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011

unterliegen, als auch hinsichtlich des spezifischen Energieeinsatzes bzw Stromverbrauches Defizite in der Verbraucherinformation und weiterer Optimierungsbedarf zur belastbaren Vergleichsmöglichkeit bestehen. In **Tabelle 2** sind alle Informationen zusammengestellt, die im Zuge der Studiienerstellung zusammengetragen werden konnten. Umfasst sind alle BEV-Modelle, die zwischen Jänner 2018 und Juni 2019 in Österreich neu zugelassen wurden. Die kursiv eingetragenen Werte wurden aus den bekannten Informationen abgeleitet bzw abgeschätzt. Auch wurde für die Bandbreite von kleiner oder gleich 15 kWh/100 km bis größer 24 kWh/100 km eine Einteilung der Fahrzeuge nach der Effizienz im Hinblick auf den direkten Energieeinsatz und auf Basis der Energieeinsätze gemäß WLTP vorgenommen.

	Modell	Batteriekapazität		Gewichte		Ø Energieeinsatz		Reichweite
		[kWh]		[kg]		[kWh/100 km]		[km]
		brutto	netto	Ø Fzg.*	Batterie	NEFZ	WLTP	WLTP
Kleinst- und Kleinwagen	BMW i3 (120Ah)	42.2	37.9	1345	308	13.1	15.8	297.5
	BMW i3s (120Ah)	42.2	37.9	1365	308	14.3	16.4	277.5
	Citroen C-Zero	16.0	13.0	1140	230	13.6	17.0	100.0
	Peugeot iOn	16.0	13.0	1140	230	13.6	17.0	100.0
	Renault Zoe Q90	46.8	41.0	1555	305	14.4	18.0	317.0
	Renault Zoe R110	46.8	41.0	1575	305	14.2	17.8	300.0
	Renault Zoe R90	46.8	41.0	1545	305	13.4	16.8	300.0
	Smart Forfour EQ	17.6	16.7	1200	160	14.2	17.1	128.0
	Smart Fortwo EQ	17.6	16.7	1085	160	13.7	16.5	132.0
	Volkswagen e-UP!	18.7	16.0	1229	230	11.7	14.3	134.0
Kompaktklasse	Hyundai Ioniq Elektro	32.4	28.0	1523	237	11.5	13.8	224.0
	Hyundai Kona (100kW)	42.8	39.2	1639	315	12.0	15.0	289.0
	Hyundai Kona (150kW)	69.8	64.0	1714	457	12.3	15.4	449.0
	JAC iEV7S	40.0	34.8	1495	292			275.0
	KIA e-Niro (100kW)	42.8	39.2	1619	315	12.2	15.3	289.0
	KIA e-Niro (150kW)	69.8	64.0	1764	457	12.7	15.9	455.0
	KIA e-Soul (100kW)	42.8	39.2	1639	315	12.5	15.6	276.0
	KIA e-Soul (150kW)	69.8	64.0	1795	457	12.6	15.7	452.0
	Mercedes-Benz B 250 e	38.0	28.0	1725	277	16.6	19.9	160.0
	Nissan Leaf 2.0 (40kWh)	40.0	37.0	1573	300	15.2	20.6	270.0
	Nissan Leaf 2.0 (62kWh)	62.0	53.9	1714	403	14.8	18.5	385.0
	Opel Ampera-e	70.2	60.0	1691	435	14.5	16.5	423.0
	Tesla Model 3 SRP	55.0	47.8	1672	358	14.7	17.6	409.0
	Tesla Model 3 LRP	75.0	65.2	1927	488	16.0	19.2	530.0
Tesla Model 3 LRAWD	75.0	65.2	1927	488	16.6	19.9	560.0	
Volkswagen e-Golf	35.8	31.5	1615	318	13.7	15.8	223.0	
Van	Nissan e-NV 200 Evalia	40.0	37.0	1725	292	20.7	25.9	200.0
Ober- und Luxusklasse	Audi e-tron	95.0	82.6	2565	618	24.2	24.4	411.0
	Jaguar I-Pace EV 400	90.2	84.7	2208	606	18.7	23.4	470.0
	Tesla Model S LR	101.0	98.0	2050	657	19.0	22.8	610.0
	Tesla Model S P	101.0	98.0	2050	657	19.3	23.2	590.0
	Tesla Model X LR	101.0	98.0	2534	657	22.6	27.1	505.0
	Tesla Model X P	101.0	98.0	2584	657	23.6	28.3	485.0
Legende:		*) durchschnittliches Fahrzeugleergewicht gem. VO (EU) 1230/2012						
		keine Angaben			abgeschätzt			
		Effizienzklassen (WLTP):		A ≤ 15 kWh/100 km				
				B > 15 kWh und ≤ 18 kWh/100 km				
				C > 18 kWh und ≤ 21 kWh/100 km				
				D > 21 kWh und ≤ 24 kWh/100 km				
				E > 24 kWh/100 km				

Tabelle 2: Batteriekapazitäten, Gewichte und Energieeinsätze aller von Jänner 2018 bis Juni 2019 neu zugelassener BEV im Pkw-Segment

2.1 Zusammenhang Energieeinsatz, Fahrzeuggewicht und Reichweite

Abbildung 3 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Fahrzeuggewicht und Energieeinsatz: batterieelektrische Pkw im Segment Kleinst- und Kleinwagen haben erwartungsgemäß das geringste Fahrzeuggewicht von 1.000 kg bis 1.600 kg und weisen die vergleichsweise größte Energieeffizienz auf. Kompaktwagen bewegen sich im Fahrzeuggewichtsbereich von 1.600 kg bis 1.800 kg, sind aber nicht notwendigerweise durch einen höheren Energieeinsatz gekennzeichnet. Der Stromverbrauch von 18 kWh je 100 km (entspricht Effizienzklassen A bzw B, vergleiche **Tabelle 2**) wird nur von drei der zwölf analysierten Pkw in der Kompaktklasse überschritten. Ein deutliches Bild zeigt sich bei den batterieelektrischen Fahrzeugen der Ober- und Luxusklasse, die bei einem Fahrzeuggewicht von mehr als zwei Tonnen einen Stromverbrauch von zumindest 23 kWh je 100 km aufweisen.

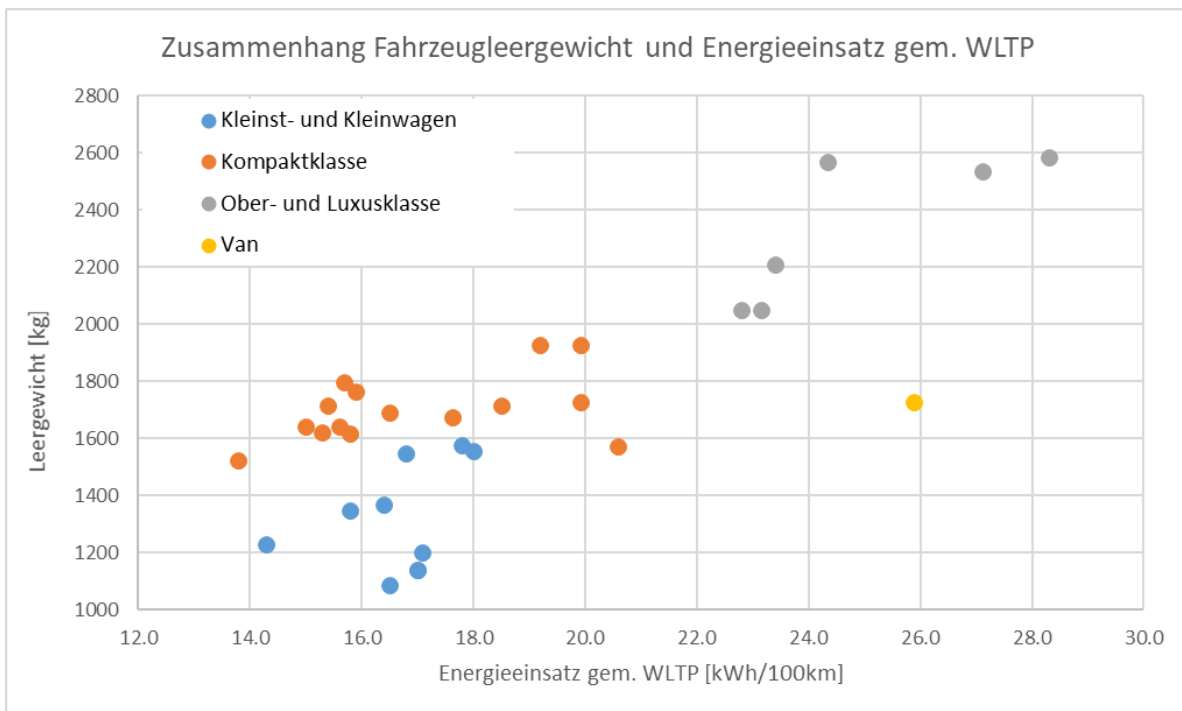


Abbildung 3: Zusammenhang Fahrzeuggewicht und Energieeinsatz

Ein differenziertes Bild zeigt die Gegenüberstellung von Energieeinsatz und der, laut WLTP erzielbaren, Reichweite. Hier zeigt sich, dass die größeren Kapazitäten der Fahrbatterien im Segment der Luxus- und Oberklasse nicht automatisch höhere Reichweite bedeuten, da die betreffenden Fahrzeuge auf der anderen Seite mehr Energie aufwenden müssen, um die größere Masse zu bewegen. Wie **Abbildung 4** entnommen werden kann, können Fahrzeuge der Kompaktklasse bei geringerem Materialeinsatz und niedrigerem Stromverbrauch vergleichbare Reichweiten im Bereich von 400 km bis 500 km erzielen, wie Fahrzeuge der Ober- und Luxusklasse mit höherem Stromverbrauch (vergleiche rotes Rechteck).

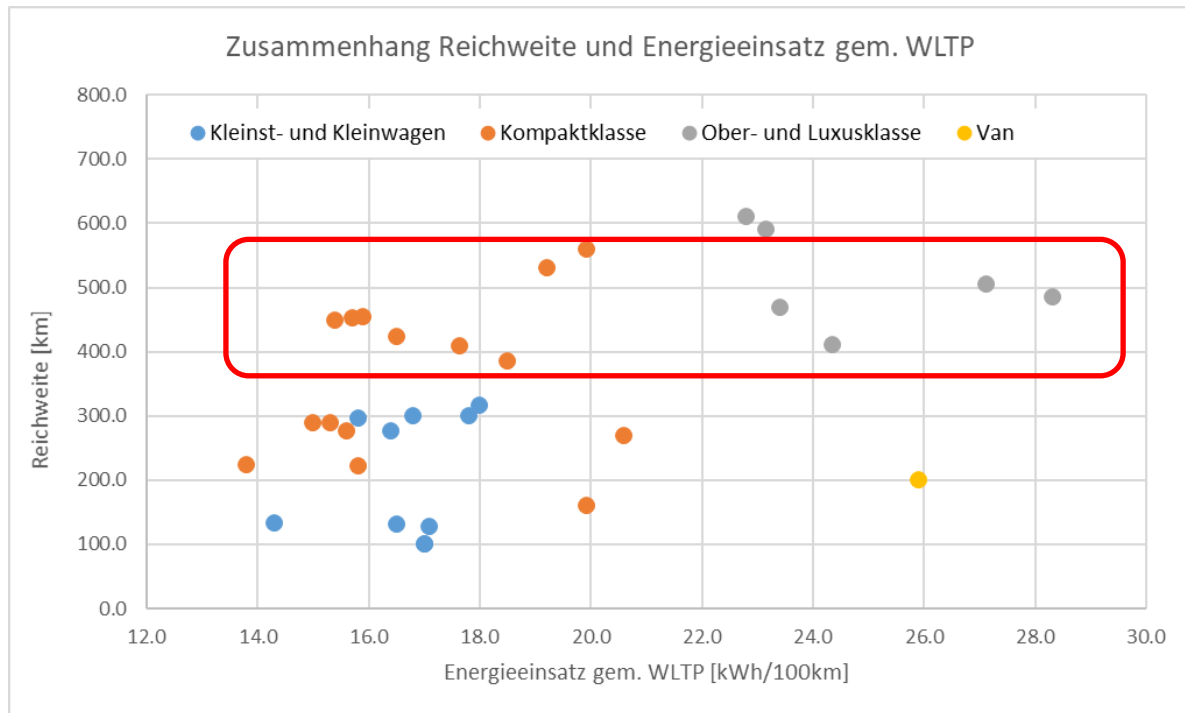


Abbildung 4: Zusammenhang Reichweite und Energieeinsatz

Ein für alle untersuchten Fahrzeugmodelle gültiger linearer Zusammenhang zwischen Reichweite, Energieeinsatz und Batteriekapazität kann nicht abgeleitet werden. Fahrzeugmodelle mit vergleichbaren Nettobatteriekapazitäten und Energieeinsätzen weisen zum Teil nennenswerte Unterschiede in den Reichweiten auf. Dies kann einerseits auf die bereits beschriebene unvollständige und nur bedingt belastbare Datenlage, andererseits auf technologisch bedingte Unterschiede, wie beispielsweise unterschiedliche Rekuperationspotentiale zurückgeführt werden.

2.2 Realdatenanalyse

Realverbrauchsanalysen werden in der Regel auf Basis des Datenmaterials von Realverbrauchsdatenbanken angestellt. Auf die bekannteste und umfassendste dieser Datenbanken im deutschsprachigen Raum kann über die Webpage www.spritmonitor.de zugegriffen werden. Wenngleich die Eingabe von Kraftstoffverbräuchen bzw Energieeinsätzen über diese Seite jedermann offensteht und die Daten keiner Qualitätskontrolle unterliegen, liefern sie wertvolle Erkenntnisse über die Diskrepanz zwischen Kraftstoffverbrauch bzw Energieeinsatz gemäß Herstellerangabe und gemäß realem Fahrbetrieb.

Die Auswertung dieser Datenbank für die in Österreich in den Jahren 2018 und 2019 neuzugelassenen BEV (vergleiche **Tabelle 2**) hat gezeigt, dass für zahlreiche Fahrzeuge keine Datensätze vorhanden sind. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass einige Modelle erst seit kurzem erhältlich sind. Andererseits ist die absolute Anzahl der jeweils neuzugelassenen Fahrzeuge je BEV-Modell im Vergleich zu konventionell angetriebenen Benzin- und Dieselfahrzeugen oft noch verschwindend gering.

Zu vier der 2018 bzw im ersten Halbjahr 2019 neuzugelassenen EV-Fahrzeugmodelle bzw Modellgruppen konnten in der Realverbrauchsdatenbank mehr als 15 Datensätze⁴ gefunden werden (siehe **Tabelle 3**). Der Vergleich der Energieeinsätze laut Hersteller (gem. WLTP) mit den Realenergieeinsätzen zeigt ein eindeutiges Bild: Bei allen vier Fahrzeugen wurde im Realbetrieb nicht mehr direkte Energie eingesetzt, als im Rahmen des Prüfverfahrens WLTP ermittelt. Für den Volkswagen E-Golf wird im realen Fahrbetrieb sogar ein um 7 %, für den Renault ZOE ein um bis zu 15 % niedrigerer realer Energieeinsatz im Vergleich zum Energieeinsatz gemäß WLTP ausgewiesen.

Modell	Energieeinsatz [kWh/100 km] WLTP	Realenergieeinsatz [kWh/100 km]		
		min	MW	max
Renault Zoe Q90	18.0	5.00	15.29	19.5
Renault Zoe R110	17.8			
Renault Zoe R90	16.8			
Hyundai Ioniq Elektro	13.8	7.78	13.68	16.02
Hyundai Kona (100 kW)	15.0	7.06	14.55	22.82
Hyundai Kona (150 kW)	15.4			
Volkswagen e-Golf	15.8	12.33	14.65	18.88

Tabelle 3: Realenergieeinsatz ausgesuchter BEV-Modelle

Zwar ist es nicht zulässig von den hier analysierten vier Fahrzeugmodellgruppen auf alle BEV-Modelle in der österreichischen Fahrzeugflotte zu schließen. Die ausgewiesenen Daten lassen aber den Schluss zu, dass die Diskrepanz zwischen realem Energieeinsatz und Energieeinsatz gemäß Herstellerangabe bei Elektrofahrzeugen weit geringer ausfällt, als dies – auch unter Zugrundelegung des neuen Prüfverfahrens WLTP – bei verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugen der Fall ist. Auch kann davon ausgegangen werden, dass die ausgewiesene Reichweite gemäß WLTP auch im realen Fahrbetrieb erreicht werden kann.

Die Auswertung in **Tabelle 3** zeigt auch, dass der reale Energieeinsatz eines BEV großen Bandbreiten unterliegt – am Beispiel der vorliegenden Daten beträgt die Abweichung bis zu ± 50 % vom gewichteten Mittelwert. Der tatsächliche Stromverbrauch wird vordergründig von der Bauweise und den Charakteristika des Fahrzeuges bestimmt und kann demnach schon durch den Kauf besonders energieeffizienter BEV gesteuert werden. Darüber hinaus ist der reale Energieeinsatz von folgenden Faktoren abhängig:

- Der Luftwiderstand steigt exponentiell mit der **Fahrgeschwindigkeit** und das unabhängig von der Art des im Fahrzeug verbauten Antriebsstranges. Ab Fahrgeschwindigkeiten von ca. 100 km/h steigt der Energieeinsatz bei BEV signifikant an. Damit sind BEV für den Einsatz im urbanen Raum prädestiniert. Aber auch außerhalb von Städten ist bei reduzierten Fahrgeschwindigkeiten eine vergleichsweise hohe Energieeffizienz möglich.
- Neben der Zufuhr externer Energie können BEV die Fahrbatterie mit Energie speisen, die durch die Bremswirkung des Motors entsteht – der Fachbegriff dafür lautet **Rekuperation**. Auch dieser Effekt, der vermehrt bei Fahrten im urbanen Raum zu tragen kommen, erhöht die Energieeffizienz des Fahrzeuges und kann durch vorausschauendes Fahren und intensive Nutzung der Bremswirkung des Motors optimiert werden.

⁴ Renault ZOE (alle Ausführungen): 18 Datensätze; Hyundai Ioniq Elektro: 31 Datensätze; Hyundai Kona (alle Ausführungen): 26 Datensätze; Volkswagen e-Golf: 17 Datensätze

- **Ergänzende Stromverbraucher** im Fahrzeug wie die Klimaanlage, Sitz-, Stand- und Scheibenheizung oder Unterhaltungselektronik erhöhen den Energieeinsatz beim Fahren. Insbesondere bei extremer Witterung empfiehlt es sich, diese Verbraucher möglichst bewusst einzusetzen, damit der Energieeinsatz beim Fahren möglichst niedrig gehalten wird.

Renault hat für sein BEV-Modell ZOE R110 ein Berechnungstool auf die Webseite gestellt, mit dem die Reichweite des Fahrzeuges durch Eingabe einiger Parameter wie Durchschnittsgeschwindigkeit, Außentemperatur, Rädergröße, der Aktivierung von Klimaanlage sowie des sogenannten ECO-Mode abgeschätzt werden kann. Daraus ergibt sich eine Bandbreite von 135 km (bei durchschnittlich 130 km/h, -15°C Außentemperatur, 17-Zoll Rädern und aktivierter Heizung) bis 475 km (bei durchschnittlich 50 km/h, +20°C Außentemperatur, 15-Zoll Rädern und aktiviertem ECO-Modus). Dem gegenüber stehen 300 km Reichweite gemäß WLTP. Das Berechnungstool ist unter folgendem Link zugänglich: <https://www.renault.at/modellpalette/renault-modelluebersicht/zoe/reichweite-und-aufladen.html>.

3 LEBENSZYKLUSENERGIEEFFIZIENZ

Die Effizienz der eingesetzten Fahrzeuge auf die Energieumwandlung des jeweiligen Antriebsstrangs und damit auf den direkten Energieeinsatz zu reduzieren, wäre eine unvollständige Betrachtung und sollte auf die Analyse der Lebenszykluseffizienz erweitert werden. Die Lebenszyklusenergieeffizienz berücksichtigt nicht nur den spezifischen Verbrauch bzw direkten Energieeinsatz, also die Energie, die für das Fahren selbst eingesetzt wird, sondern auch alle vorgelagerten Energieaufwände. Bei ICEV sind dies die Energieaufwände für Kraftstoffproduktion und Fahrzeugherstellung; bei BEV die Energieaufwände für Stromproduktion, Fahrzeugherstellung und Herstellung der Fahrbatterie.

3.1 Die Kraftstoff- und Stromproduktion

Um den Energieaufwand zur Herstellung von fossilen Kraftstoffen zu erheben, ist es notwendig, die gesamte Herstellungskette zu berücksichtigen. Vereinfacht setzt sich die Bereitstellungskette von Benzin bzw Diesel aus den folgenden Schritten zusammen: Erdölförderung, Entgasung/Entwässerung/Entsalzung, Rohöltransport, Erdölraffinerie, Blending, Kraftstoffveredelung und Endtransport zur Tankstelle. Für jeden dieser Schritte ist der Einsatz von Energie notwendig. Um diese eingesetzte Energie darzustellen, ist die Angabe des Anteils des Energieinhaltes des Primärenergieträgers, der nach den Umwandlungsschritten übrigbleibt, üblich. Bei der Umwandlung von Rohöl in Benzin/Diesel gehen in den oben beschriebenen Herstellungsschritten rund 10-20 % des Energieinhaltes im Rohöl verloren, abhängig von der Ausgangsqualität, Transportentfernung bzw Effizienz und Betrieb der Raffinerie.

Die Herstellungskette für den „Kraftstoff“ Strom ist abhängig von der Energiequelle, aus dem der Strom gewinnen wird. Wird beispielsweise Elektrizität aus erneuerbaren Energieträgern wie Wasserkraft, Wind oder Photovoltaik gewonnen, so ist per Definition der Energieinput dem Umwandlungsausput gleichgesetzt, und entspricht somit einem Wirkungsgrad von 100 %. Wenn die Basis fossile Primärenergieträger ist, muss neben der Aufbereitung und dem Transport der fossilen Energieträger zum Kraftwerk, noch der Wirkungsgrad der jeweiligen Kraftwerke berücksichtigt werden, wobei bei Kraftwerken zusätzlich noch zwischen reinen Kraftwerken bzw Kraft-Wärme-Kopplungskraftwerken (KWK) unterschieden werden muss. Darüber hinaus ist es notwendig den Energieaufwand der Herstellung der Kraftwerke, Raffinerien, Windräder, etc zu berücksichtigen, sowie den Rückbau. Nur dann ist der gesamte Lebenszyklus berücksichtigt.

Eine einfachere Darstellung sämtlicher verwendeter Energieaufwände zur Herstellung eines Energieträgers ist über den kumulierten Energieaufwand möglich. Der kumulierte Energieaufwand (KEA) ist die Summe aller benötigten Primärenergieaufwände über die gesamte Herstellungskette für die Bereitstellung einer Energieeinheit, wie zB einer Kilowattstunde (kWh) Strom oder einer kWh Diesel. Durch diese Kennzahl kann die Energieeffizienz verschiedener Energieträger anschaulich gegenübergestellt werden.

Bei der Bilanzierung der Energieeffizienz unterschiedlicher Antriebsstränge wird zwischen dem direkten Energieeinsatz und dem kumulierten Energieeinsatz zur Energiebereitstellung unterschieden. Für

einen ganzheitlichen Vergleich der Antriebskonzepte werden diese beiden Teile, der direkte Energieeinsatz und der KEA der Energiebereitstellung zur Angabe des KEA des gesamten Energieeinsatzes addiert.

Beim KEA der Energiebereitstellung ist der Vorteil erneuerbarer Stromerzeugung evident (vgl. Umweltzeichenstrom⁵ in **Tabelle 4**). Nicht in diesen Angaben inkludiert sind etwaige Ladeverluste bei längerem Stillstand eines BEV. Wird nun der gesamte Energieaufwand für die Bewegung betrachtet (KEA des gesamten Energieeinsatzes), so zeigt sich, dass BEV um mindestens 50 % effizienter Primärenergie in Bewegungsenergie umwandeln als fossile Pkw mit Verbrennungskraftmaschinen.

Antriebsart	Direkter Energieeinsatz in kWh/km	KEA der Energiebereitstellung in kWh/km	KEA des gesamten Energieeinsatzes in kWh/km
Diesel Pkw	0,52	0,09	0,61
Benzin Pkw	0,66	0,11	0,77
BEV – Umweltzeichenstrom	0,20	0,05	0,25
BEV – Stromaufbringung ⁶	0,20	0,12	0,32

Tabelle 4: Direkter und kumulierter Energieaufwand unterschiedlicher Antriebskonzepte

3.2 Die Fahrzeugherstellung

Der Energieaufwand der Fahrzeugherstellung ist insbesondere von der Ausführung des Fahrzeuges abhängig. Im Prinzip erfordern große und schwere Fahrzeuge auch einen höheren Materialeinsatz und weisen daher einen höheren Energieaufwand auf als beispielsweise Kleinwagen. Für die Herstellung eines durchschnittlichen Pkw ergeben sich je nach Antriebskonzept die folgenden kumulierten Energieaufwände zur Fahrzeugherstellung:

Antriebsart	KEA je Fahrzeug in MWh
Diesel Pkw (1600 kg Leergewicht)	38
Benzin Pkw (1500 kg Leergewicht)	35
BEV (1200 kg, ohne Akku)	36

Tabelle 5: kumulierter Energieaufwand der Fahrzeugherstellung

Da bei den meisten Pkw in der Produktion die gleichen Materialien verwendet werden, liegen die Unterschiede zwischen den Antriebstechnologien in erster Linie im Fahrzeuggewicht. Bei BEV wird vermehrt Aluminium eingesetzt, welches zwar das Fahrzeuggewicht und damit den Energieeinsatz beim Fahren selbst reduziert. Dem gegenüber steht jedoch die energieintensivere Herstellung von Aluminium, beispielsweise im Vergleich zu Stahl.

3.3 Die Herstellung der Fahrbatterie

Die Energieeffizienz der Akkuherstellung ist mit den größten Unsicherheiten behaftet und hängt von drei Faktoren ab:

⁵ Strom, zertifiziert mit dem Umweltzeichen 46, erfüllt in Österreich die höchsten ökologischen Anforderungen. Als Umweltzeichen-Lizenznehmer sind ausschließlich jene Stromlieferanten zugelassen, die weder mit Atomstrom noch Strom aus fossilen Quellen handeln und auch keinen Strom unbekannter Herkunft mit getrennt erworbenen Herkunftsnachweisen liefern bzw verkaufen

⁶ Österreichische Stromaufbringung, inkl. Stromimporte

- der Effizienz der Akkufabrik,
- der Zusammensetzung des, in der Akkufabrik eingesetzten, Stromes und
- den in der Fahrbatterie verbauten Materialien.

Die **Effizienz einer Akkufabrik** hängt maßgeblich von der Auslastung ab, wobei jede Fabrik auf Vollauslastung bzw Vollbetrieb konzipiert wird. Da die Nachfrage an Li Ionen Akkus für den mobilen Bereich erst in den letzten Jahren massiv angestiegen sind, sind die Akkufabriken teilweise erst seit kurzem in Betrieb und haben die Vollausslastung noch nicht erreicht. Der Energieaufwand je kWh Akkukapazität variiert erheblich, je nachdem ob zB schon eine Vollausslastung vorliegt oder nur im Teilbetrieb produziert werden kann. Die Angaben in der Fachliteratur zum Energieaufwand bei der Akkuproduktion reichen von rund 1 kWh je kg Akku (Best Case) bis zu 20 kWh je kg Akku (Worst Case), was teilweise auch auf unterschiedliche Systemgrenzen der Analysen zurückzuführen ist. Diese Grenzen stellen zugleich die Bandbreite des tatsächlich benötigten Energieaufwandes dar.

Für die Herstellung des Akkus wird in erster Linie Strom und in geringerem Ausmaß Prozesswärme (meist Erdgas) benötigt. Die **Zusammensetzung des Stromes** ist von zentraler Bedeutung. Wie in **Tabelle 5** ersichtlich, unterscheidet sich der Energieaufwand der Strombereitstellung in Abhängigkeit von der Stromquelle. Bis Ende 2019 werden voraussichtlich rund 300 GWh an Akkukapazität produziert worden sein, der Großteil davon (rund 70 %) in China. Im Durchschnitt setzt sich der Strompark in China zu 30 % aus erneuerbaren Energien, zu 4 % aus Nuklearenergie und zu 66 % aus fossilen Energieträgern zusammen. Der chinesische Strommix (Worst Case) und Strom, der ausschließlich aus erneuerbaren Energieträgern gewonnen wird (Best Case), bilden somit die mögliche Bandbreite für die Analyse der Auswirkungen auf den kumulierten Energieaufwand je kg Akku des, für die zur Produktion der Akkus notwendigen, Energieeinsatzes.

Die Variation der Stromzusammensetzung und der Effizienz der Fabrik spannt nun einen Bereich für den kumulierten Energieaufwand je kg Akku auf, in welchem derzeit produzierte Akkus liegen und ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Die beiden Parameter (verwendeter Strommix und Effizienz der Fabrik) bewirken eine große Bandbreite von 1,2 bis 51,7 kWh/kg für den kumulierten Energieeinsatz zur Herstellung der Fahrbatterie. Bei Annahme eines Durchschnittswertes ergeben sich rund 26,4 kWh je kg Akkugewicht.

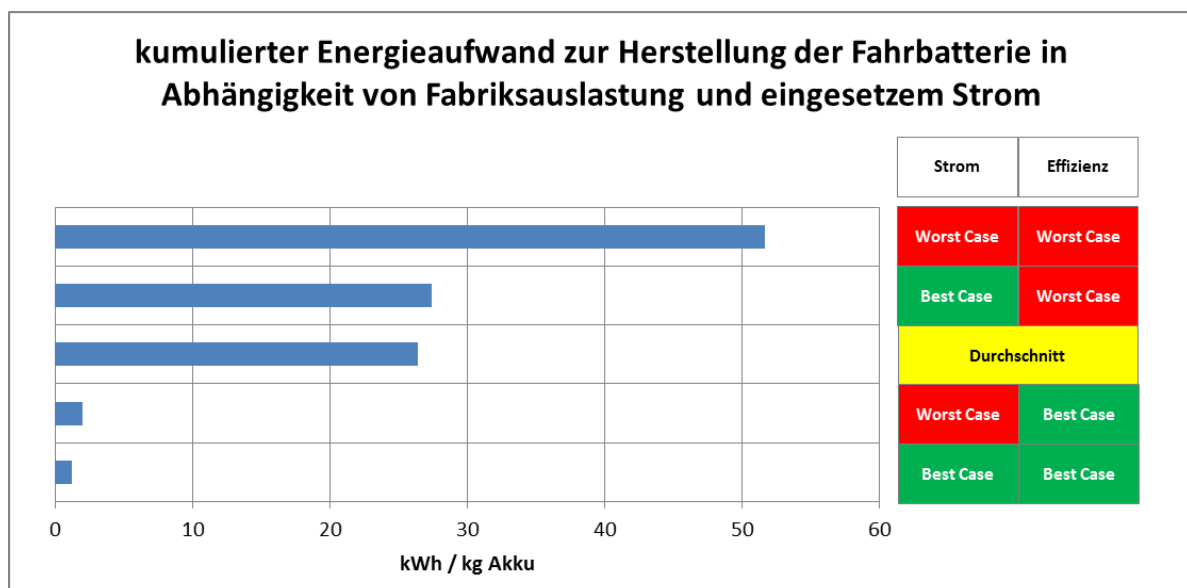


Abbildung 5: Darstellung der Bandbreite des kumulierten Energieaufwands je Kilogramm Akku

Für die vollständige Betrachtung des Energieaufwandes zur Herstellung der Fahrbatterie fehlt noch die Berücksichtigung der verwendeten **Materialien**. Die Massenbilanz eines Akkus zeigt, dass Aluminium, Stahl, Graphit und Kupfer die Hauptbestandteile eines Lithium-Ionen-Akkus sind. Rund 80 % des Akkugewichtes werden durch diese vier Materialien aufgebracht. Der prozentuelle Anteil vom Lithium am Akkugewicht liegt bei rund 3 % und ist damit gegenüber den Hauptbestandteilen vernachlässigbar. Der kumulierte Energieaufwand in Abhängigkeit der verbauten Materialien ergibt sich für einen durchschnittlichen Lithium-Ionen-Akku zu 21,3 kWh je kg Akku.

Mit dem durchschnittlichen Energieaufwand als Folge der Auslastung der Fabrik sowie des eingesetzten Strommix summiert sich der kumulierte Energieaufwand für die Herstellung der Batterie zu 47,7 kWh je kg Fahrbatterie.

3.4 Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der Energieaufwände für die Stromproduktion, die Fahrzeugherstellung und die Herstellung der Fahrbatterie steigt der erforderliche Energieeinsatz eines BEV mit einem Fahrzeugleergewicht von 1.500 kg (davon 300 kg Batterie) von 0,20 kWh je Kilometer bei ausschließlicher Betrachtung des direkten Energieeinsatzes auf 0,47 bis 0,54 kWh je Kilometer in Abhängigkeit des eingesetzten Stromes für den Fahrbetrieb (KEA Stromproduktion)⁷. Bei dieser Betrachtungsweise reduziert sich die durchschnittliche Reichweite mit einer Kilowattstunde Energie (vgl. **Abbildung 1**) von 5 km auf ungefähr 2 km.

⁷ Annahme: Jahresfahrleistung: 15.000 km, Lebensdauer: 15 Jahre

Antriebsart	Direkter Energieeinsatz in kWh/km	KEA Stromproduktion in kWh/km	KEA Fahrzeugherstellung in kWh/km	KEA Herstellung Fahrbatterie in kWh/km	KEA Summe in kWh/km
BEV – Umweltzeichenstrom	0,20	0,05	0,16	0,06	0,47
BEV - Stromaufbringung ⁸		0,12			0,54

Tabelle 6: kumulierter Energieaufwand eines durchschnittlichen BEV der Kompaktklasse über den gesamten Lebenszyklus

3.5 Bedeutung für die Fahrzeuge in der österreichischen Flotte

Die Aufteilung der BEV in der österreichischen Fahrzeugflotte gemäß den Effizienzklassen in **Tabelle 2** zeigt, dass schon bei exklusiver Betrachtung des direkten Energieeinsatzes signifikante Unterschiede zwischen den Fahrzeugmodellen bestehen. Ergänzt man diese Betrachtung um die notwendigen Energieeinsätze für die Stromproduktion, die Fahrzeugherstellung (in Abhängigkeit des jeweiligen Fahrzeuggewichts) und die Herstellung der Fahrbatterie (in Abhängigkeit des jeweiligen Akkugewichts) verstärkten sich diese Unterschiede teilweise signifikant. Die Bandbreite für den direkten Energieeinsatz von 13,8 bis 27,1 kWh/100 km erhöht sich bei dieser ganzheitlichen Betrachtung ungefähr um den Faktor 3 auf 38 bis 81 kWh/100 km, wobei dieser Analyse die Annahme zugrunde liegt, dass für den Fahrbetrieb ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energiequellen eingesetzt wird.

Wie **Abbildung 6** entnommen werden kann, weisen kleine und leichte Fahrzeuge mit niedrigen Akkukapazitäten im Hinblick auf die Lebenszykluseffizienz einen signifikanten Vorteil gegenüber Fahrzeugen der Ober- und Luxusklasse auf. Da die Stromzusammensetzungen der betreffenden Fahrzeug- und Akkuproduktionseinrichtungen nicht bekannt sind, kann es sich bei dieser Analyse lediglich um eine Abschätzung anhand einer vergleichbaren Datenbasis handeln. Dieser Abschätzung zugrunde gelegt wurde der Einsatz von zertifiziertem Ökostrom (UZ46) für den Betrieb, eine durchschnittliche europäische Stromzusammensetzung für die Fahrzeugherstellung und eine durchschnittliche chinesische Stromzusammensetzung für die Batterieherstellung. Wird auch für die Herstellung von Fahrzeug und Fahrbatterie ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energiequellen eingesetzt, kann die Lebenszyklusenergieeffizienz maßgeblich verbessert werden. Dies setzt einen Ausbau der Infrastruktur zur Gewinnung von erneuerbarem Strom voraus. Im Hinblick auf zukünftige Produktionskapazitäten und eine, zu großen Teilen durch erneuerbare Stromproduktion gewährleistete, Energieversorgung kann davon ausgegangen werden, dass auch die Fahrzeug- und Batterieherstellung mit erneuerbarem Strom erfolgt.

⁸ Österreichische Stromaufbringung, inkl. Stromimporte

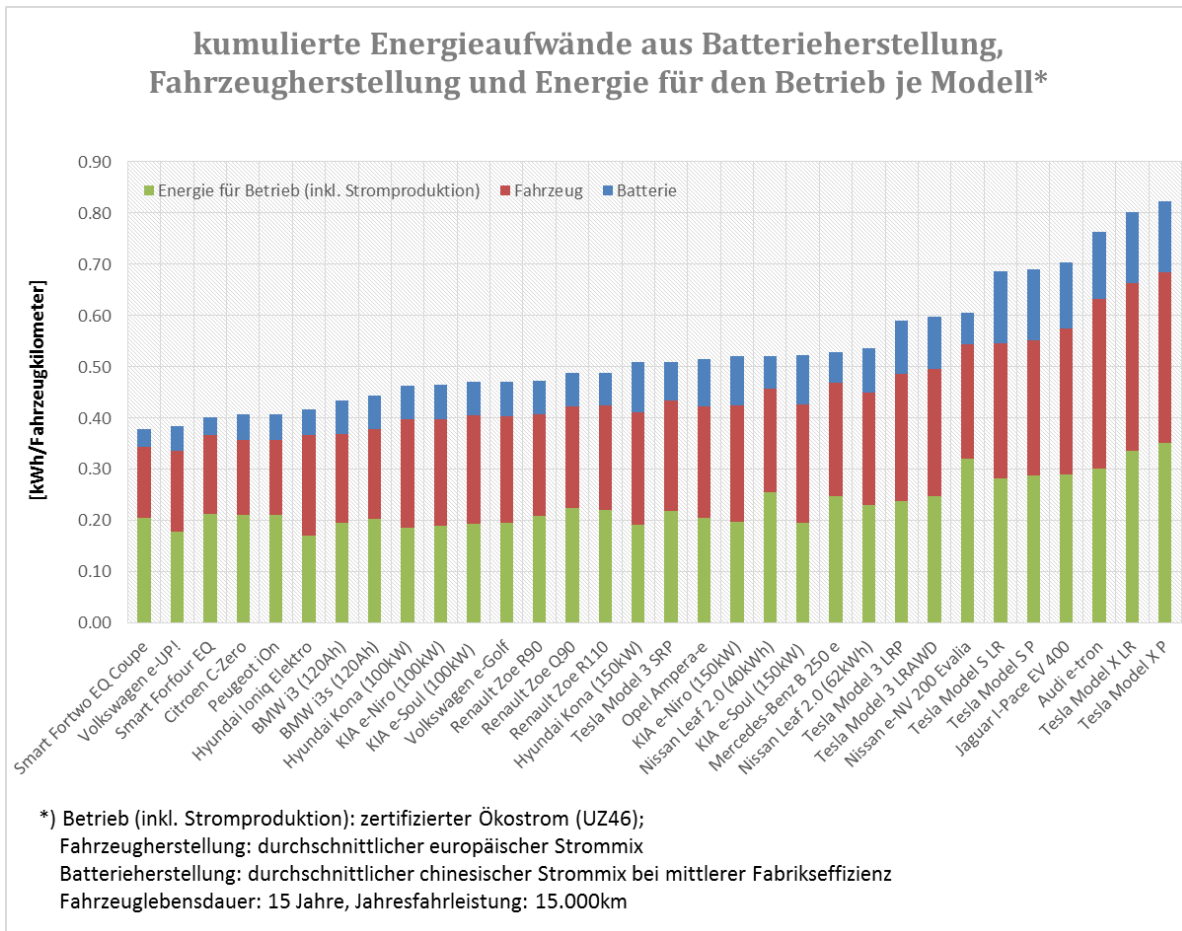


Abbildung 6: kumulierte Energieaufwände aus Batterieherstellung, Fahrzeugherstellung und Betrieb je Modell

Abbildung 7 zeigt das Ergebnis der Betrachtung der, über den gesamten Lebenszyklus anfallenden, Treibhausgasemissionen. Die geringfügigen Unterschiede in der Reihung der Modelle ergibt sich durch die unterschiedlichen Emissionen für die Herstellung von einer Masseneinheit Fahrzeug bzw Batterie und in Abhängigkeit der tatsächliche Gewichte aus **Tabelle 2**. Auch hier zeigt sich der deutliche Vorteil kleiner und leichter Fahrzeuge mit niedrigen Akkukapazitäten gegenüber Fahrzeugen der Ober- und Luxusklasse. Die geringfügigen Emissionen als Folge des Betriebes (inkl. Stromproduktion) trotz des Einsatzes von zertifiziertem Ökostrom sind insbesondere auf die erforderliche Errichtung der Infrastruktur zur Gewinnung des erneuerbaren Stromes zurückzuführen.

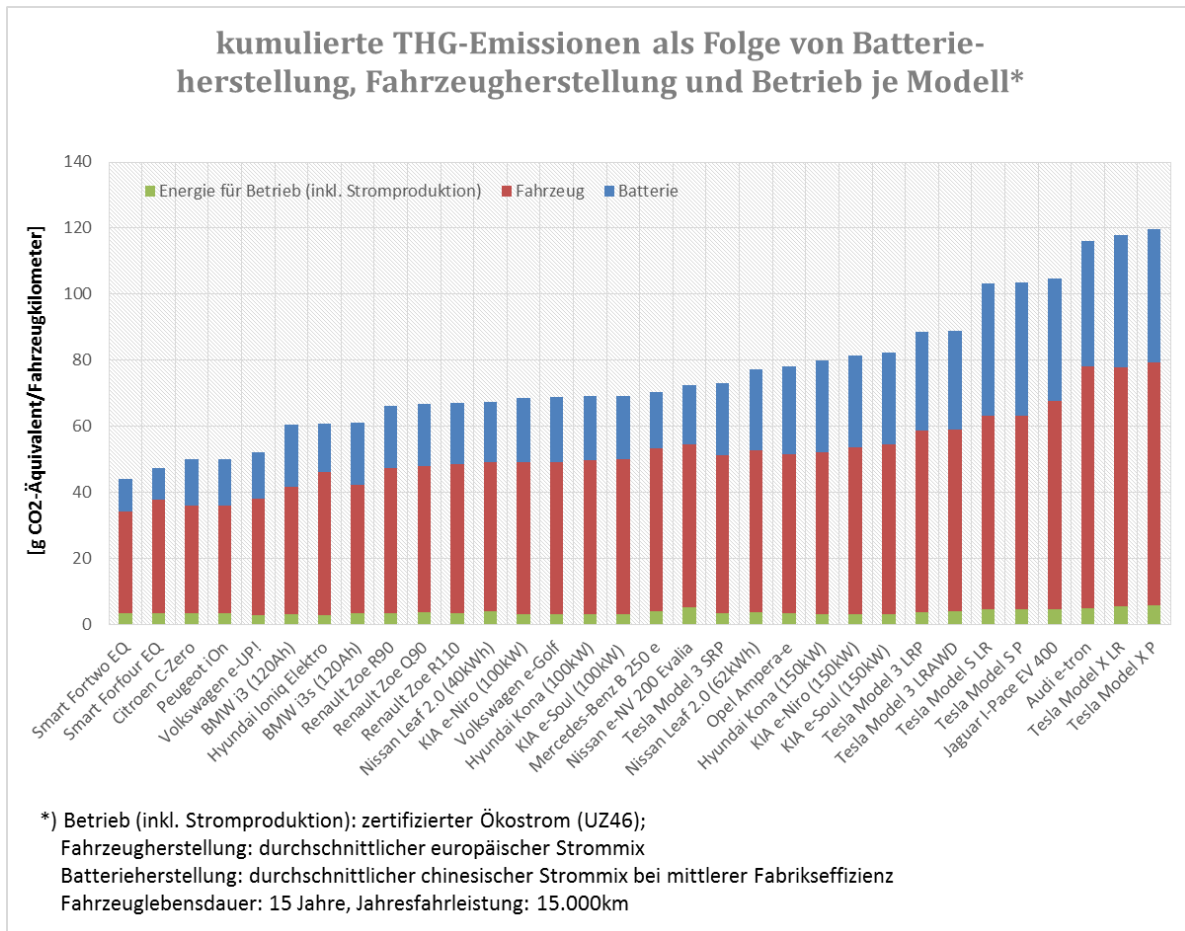


Abbildung 7: kumulierte Treibhausgasemissionen als Folge von Batterieherstellung, Fahrzeugherstellung und Betrieb je Modell

Abbildung 6 und **Abbildung 7** liegt die Annahme zugrunde, dass für den Fahrbetrieb ausschließlich zertifizierter Ökostrom zum Einsatz kommt, da nur dann das volle Potential der Elektromobilität ausgeschöpft werden kann. Wird stattdessen Strom in der durchschnittlichen österreichischen Zusammensetzung eingesetzt, erhöhen sich die Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus am Beispiel eines Fahrzeuges der Kompaktklasse von rund 70g CO₂-Äquivalent je gefahrenem Kilometer auf mehr als 105g. Der Vorteil gegenüber einem vergleichbaren dieselbetriebenen Fahrzeug mit rund 215g CO₂-Äquivalent je gefahrenem Kilometer ist aber immer noch deutlich (vgl **Abbildung 8**).

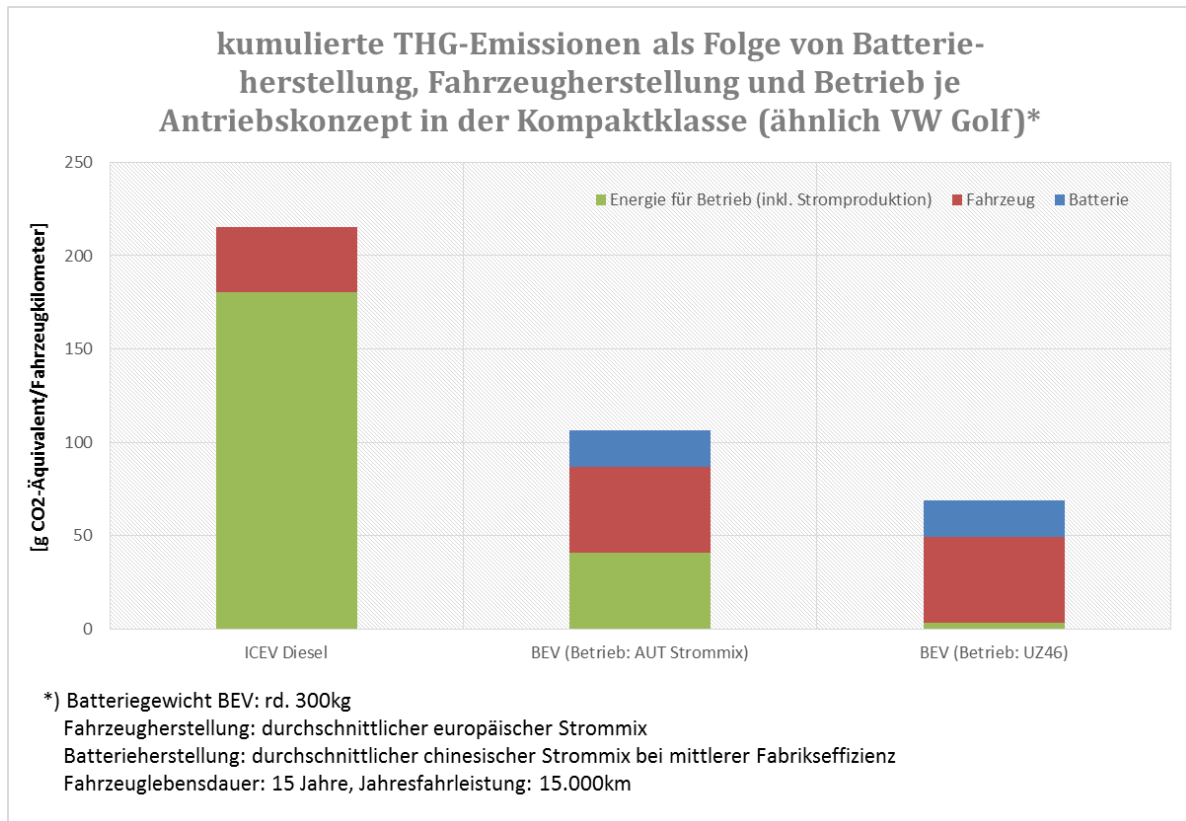


Abbildung 8: kumulierte Treibhausgasemissionen als Folge von Batterieherstellung, Fahrzeugherstellung und Betrieb je Antriebskonzept in der Kompaktklasse

4 SCHLUSSFOLGERUNG

Batterieelektrische Fahrzeuge gewinnen zunehmend an Bedeutung und verzeichnen europaweit nennenswerte Zuwachsraten. BEV weisen im Vergleich zu fossil angetriebenen Fahrzeugen eine um den Faktor 3 höhere Energieeffizienz im Fahrbetrieb auf. Diese kann, wie in Kapitel 2.2 Realdatenanalyse beschrieben, zudem durch ein entsprechendes Nutzungsverhalten beeinflusst werden. Der Vergleich der unterschiedlichen BEV-Modelle zeigt jedoch, dass auch zwischen den BEV-Modellen teils nennenswerte Unterschiede im Stromverbrauch bestehen. So verbrauchen größere und schwerere BEV tendenziell deutlich mehr Strom im Fahrbetrieb als kleinere und leichtere Fahrzeuge. Gleiches gilt für den Energieeinsatz für die Herstellung von Fahrzeug und Batterie, der mit zunehmendem Fahrzeug- und Batteriegewicht steigt. Beim Einsatz von Strom, der aus fossilen Energiequellen gewonnen wird, spiegelt sich das Verhältnis des Energieeinsatzes zwischen leichten und schweren Fahrzeugen auch in den Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus wider. Dies ist insbesondere deshalb von Bedeutung, da gemäß internationaler Klimaschutzvereinbarungen bis zum Jahr 2050 nicht nur der Verkehrssektor, sondern alle Sektoren weitgehend dekarbonisiert sein sollen.

Großer Einfluss auf die Gesamtenergieeffizienz des Fahrzeuges ebenso wie die Treibhausgasemissionen, die über den gesamten Lebenszyklus entstehen, kann bereits beim Kauf des Fahrzeuges genommen werden. Eine dahingehend ganzheitliche Beurteilung, gegebenenfalls als Basis für die Kaufentscheidung ist für die Konsumentin bzw den Konsumenten derzeit allerdings nicht möglich. Dies betrifft zum einen den direkten Energieeinsatz bzw Stromverbrauch der, entsprechend den gesetzlichen Verpflichtungen ausgewiesen werden muss. Insbesondere in den Werbeschriften der Fahrzeughersteller wurden jedoch Defizite in der Verbraucherinformation und weiterer Optimierungsbedarf zur belastbaren Vergleichsmöglichkeit festgestellt. Zum anderen ist vor allem bei Elektrofahrzeugen für die Beurteilung der Gesamtenergieeffizienz bzw der gesamten Treibhausgasemissionen eine ganzheitliche Betrachtung von besonderer Bedeutung. Diese würde neben dem direkten Energieeinsatz für den Fahrbetrieb selbst auch die Energieeinsätze bzw die Treibhausgasemissionen aus der Stromproduktion, der Fahrzeugherstellung und der Herstellung der Fahrbatterie umfassen.

Die Treibhausgasemissionen der Stromproduktion entstehen in Abhängigkeit der eingesetzten Energiequellen und können vom Fahrzeughersteller nicht ausgewiesen werden. Auch die Ausweisung der Treibhausgasemissionen aus der Herstellung sämtlicher Fahrzeugkomponenten ist derzeit noch nicht praktikabel. Gemäß Artikel 7, Absatz 10 der Verordnung (EU) 2019/613 soll die Kommission allerdings „bis spätestens 2023 die Möglichkeit (beurteilen), eine gemeinsame Unionsmethode zu entwickeln, gemäß der die CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen [...] bewertet und auf einheitliche Weise gemeldet werden“. In diesem Zusammenhang könnte alternativ eine Ausweisung von Effizienzklassen von batterieelektrischen Fahrzeugen über den gesamten Lebenszyklus angedacht werden. Auch diese würde der Verbraucherin bzw dem Verbraucher eine wertvolle Orientierungshilfe bieten und könnte, nach Analyse der gegenwärtigen BEV-Fahrzeugflotte, wie folgt lauten:

A	$\leq 40 \text{ kWh}/100 \text{ km}$
B	$> 40 \text{ kWh und } \leq 50 \text{ kWh}/100 \text{ km}$
C	$> 50 \text{ kWh und } \leq 60 \text{ kWh}/100 \text{ km}$
D	$> 60 \text{ kWh und } \leq 70 \text{ kWh}/100 \text{ km}$
E	$> 70 \text{ kWh}/100 \text{ km}$

Tabelle 7: mögliche Lebenszykluseffizienzklassen für BEV

Die Verstromung fossiler Energieträger ist wesentlich ineffizienter als von erneuerbaren Energieträgern wie Sonnenenergie, Wind- oder Wasserkraft. Zudem werden durch die Verbrennung fossiler Energieträger Treibhausgase freigesetzt. Damit das volle Potential der Elektromobilität genutzt und der kumulierte Energieaufwand in der gesamten Herstellungskette minimiert wird, wäre die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energieträgern nicht nur für den Fahrbetrieb, sondern auch für die Produktion von Fahrzeug und Fahrbatterie anzustreben.

Die Ausweisung der beschriebenen Effizienzklassen würde den kumulierten Energieeinsatz zur Produktion von Strom, Fahrzeug und Fahrbatterie ebenso wie für den Fahrbetrieb sichtbar machen und eine sektorübergreifende Beurteilung des potentiellen Beitrages eines Elektrofahrzeuges zu den nationalen und internationalen Klima- und Energiezielen ermöglichen.

Eine Ausweisung von Effizienzklassen wäre demnach eine Möglichkeit, bei entsprechender Ausgestaltung und etwaiger rechtlicher Verankerung, Downsizing, Leichtbau und einen intensiveren Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energiequellen zu forcieren. Damit könnte auch ein wertvoller Beitrag zur sektorübergreifenden Dekarbonisierung, die gemäß dem Klimavertrag von Paris angestrebt wird, geleistet werden. Die Implementierung eines solchen Informationsregimes wäre aber mit hohem Abstimmungsaufwand und entsprechender Standardisierungsarbeit verbunden.

LITERATURVERZEICHNIS

- Dechema (2017): Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. 2017: Wagemann, K. & Ausfelder, F.: White Paper, e-fuels – Mehr als eine Option, Frankfurt am Main, ISBN: 978-3-89746-198-7
- Dunn, JB et al (2015): The significance of Li-ion batteries in electric vehicle life-cycle energy and emissions and recycling's role in its reduction, *Energy & Environmental Science* 2015, 8, 158.
- GEMIS-Österreich, Umweltbundesamt 2019
- Hao, H. et al - GHG Emissions from the Production of Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles in China, *Sustainability* (2017), 9(4), 504; <https://doi.org/10.3390/su9040504>
- RIS – Kraftstoffverordnung 2018
- RIS – Personenkraftwagen-Verbraucherinformationsgesetz (Pkw-VIG)
- RIS – Personenkraftwagen-Verbraucherinformationsverordnung (Pkw-VIV 2018)
- Romare, M., Dahllöf, L. – The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries, IVL Swedish Environmental Research Institute 2017, ISBN: 978-91-88319-60-9
- STATAT – Statistik Austria (2016): Kfz-Neuzulassungen Jänner bis Dezember 2015, Wien
- STATAT – Statistik Austria (2017): Kfz-Neuzulassungen Jänner bis Dezember 2016, Wien
- STATAT – Statistik Austria (2018): Kfz-Neuzulassungen Jänner bis Dezember 2017, Wien
- STATAT – Statistik Austria (2019a): Kfz-Neuzulassungen Jänner bis Dezember 2018, Wien
- STATAT – Statistik Austria (2019b): Kfz-Neuzulassungen Jänner bis Juni 2019, Wien
- STATAT – Statistik Austria (2019c): Kfz-Neuzulassungen von Elektro-Kfz im 1. Halbjahr 2019
- STATAT- Statistik Austria (2016): Standard-Dokumentation, Metainformation (Definitionen, Erläuterungen, Methoden, Qualität) zu den Energiebilanzen für Österreich und die Bundesländer
- Umweltbundesamt 2018: UPDATE: ÖKOBILANZ ALTERNATIVER ANTRIEBE, ISBN 978-3-99004-452-0

INFORMATIONEN ZUR UMWELTPOLITIK

„Informationen zur Umweltpolitik“ werden in unregelmäßigem Abstand vom Institut für Wirtschaft und Umwelt der AK herausgegeben und behandeln aktuelle Fragen der Umweltpolitik. Sie sollen in erster Linie Informationsmaterial und Diskussionsgrundlage für an diesen Fragen Interessierte darstellen.

Bei Interesse an vergriffenen Bänden wenden Sie sich bitte an die Sozialwissenschaftliche Studienbibliothek der AK Wien.

- | | |
|--|--|
| 154 <i>Was kostet die Umwelt? GATS und die Umweltrelevanz der WTO-Abkommen</i>
Tagungsband, Wolfgang Lauber (Hrsg.), 2003 | 163 <i>Verkehrsmengen und Verkehrsemissionen auf wichtigen Straßen in Österreich 1985 - 2003</i>
Österreichisches Institut für Raumplanung, 2004 |
| 155 <i>Ausverkauf des Staates? Zur Privatisierung der gesellschaftlichen Infrastruktur</i>
Tagungsband, Wolfgang Lauber (Hrsg.), 2003 | 164 <i>Einflussfaktoren auf die Höhe der Müllgebühren</i> , 2005 |
| 156 <i>Umweltschutz- und ArbeitnehmerInnenenschutz- Managementsysteme</i>
Thomas Gutwinski, Christoph Streissler (Hrsg.), 2003 | 165 <i>Anteil des Lkw-Quell-Ziel-Verkehrs sowie dessen Emissionen an gesamten Straßengüterverkehr in Wien</i>
Österreichisches Institut für Raumplanung, 2006 |
| 157 <i>Bestrafung von Unternehmen – Anforderungen an die kommende gesetzliche Regelung aus ArbeitnehmerInnen- und KonsumentInnen-sicht</i> ,
Tagungsband, Werner Hochreiter (Hrsg.), 2003 | 166 <i>Privatisierung des Wassersektors in Europa Reformbedarf oder Kapitalinteressen?</i>
Wolfgang Lauber (Hrsg.), 2006 |
| 158 <i>Was kostet die Umwelt? Wie umweltverträglich ist die EU?</i>
Tagungsband, 2004 | 167 <i>EU und Wasserliberalisierung</i>
Elisa Schenner, 2006 |
| 159 <i>Schutz von Getränkemehrwegsystemen – Aufarbeitung fachlicher Grundlagen anlässlich der Aufhebung der Getränkeziele durch den Verfassungsgerichtshof</i>
Walter Hauer, 2003 | 169 <i>REACH am Arbeitsplatz Die Vorteile der neuen europäischen Chemikalienpolitik für die ArbeitnehmerInnen</i>
Tony Musu, 2006 (vergriffen) |
| 160 <i>Soziale Nachhaltigkeit</i>
Beate Littig, Erich Griesler, 2004 | 170 <i>Feinstaub am Arbeitsplatz Die Emissionen ultrafeiner Partikel und ihre Folgen für ArbeitnehmerInnen</i>
Tagungsband, 2006 |
| 161 <i>Der „Wasserkrieg“ von Cochabamba. Zur Auseinandersetzung um die Privatisierung einer Wasserversorgung in Bolivien</i>
Hans Huber Abendroth, 2004 | 171 <i>Luftverkehr und Lärmschutz Ist-Stand im internationalen Vergleich Grundlagen für eine österreichische Regelung</i>
Andreas Käfer, Judith Lang, Michael Hecht, 2006 |
| 162 <i>Hauptsache Kinder! Umweltpolitik für Morgen</i>
Tagungsband, 2004 | 173 <i>Welche Zukunft hat der Diesel? Technik, Kosten und Umweltfolgen</i>
Tagungsband, Franz Greil (Hrsg.), 2007 |

- 174 *Umsetzung der EU-Umwelthaftungsrichtlinie in Österreich*
Tagungsband ergänzt um Materialien und Hintergrunddokumente zum Diskussionsprozess, Werner Hochreiter (Hrsg.), 2007
- 175 *Klimaschutz, Infrastruktur und Verkehr*
Karl Steininger et.al., 2007
- 176 *Die Strategische Umweltprüfung im Verkehrsbereich*
Tagungsband, Cornelia Mittendorfer (Hrsg.), 2008
- 177 *Die UVP auf dem Prüfstand – Zur Entwicklung eines umkämpften Instruments*
Tagungsband, Cornelia Mittendorfer (Hrsg.), 2008
- 178 *Die Umsetzung der EU-Umgebungslärmrichtlinie in Österreich*
Tagungsband, Werner Hochreiter (Hrsg.), 2008
- 179 *Feinstaubproblem Baumaschine Emissionen und Kosten einer Partikelfilternachrüstung in Österreich*, 2009
- 180 *Mehrweg hat Zukunft! Lösungsszenarien für Österreich im internationalen Vergleich*
Tagungsband, Werner Hochreiter (Hrsg.), 2010
- 181 *Siedlungswasserwirtschaft in öffentlicher oder privater Hand – England/Wales, Niederlande und Porto Alegre (Brasilien) als Fallbeispiele*
Thomas Thaler, 2010
- 182 *Aktionsplanung gegen Straßenlärm – wie geht es weiter?*
Tagungsband, Werner Hochreiter (Hrsg.), 2010
- 183 *Agrotreibstoffe – Lösung oder Problem? Potenziale, Umweltauswirkungen und soziale Aspekte*
Tagungsband, Christoph Streissler (Hrsg.), 2010
- 184 *Lkw-Tempolimits und Emissionen Auswirkungen der Einhaltung der Lkw-Tempolimits auf Autobahnen auf Emissionen und Lärm*, 2011
- 185 *Gesundheitsrelevante Aspekte von Getränkeverpackungen*, 2011
- 186 *Green Jobs – Arbeitsbedingungen und Beschäftigungspotenziale*, 2012
- 187 *Die Zukunft der Wasserversorgung Der Zugang zu Wasser im Spannungsfeld zwischen öffentlichem Gut, Menschenrecht und Privatisierung*
Tagungsband, 2013
- 188 *Aktuelle Erkenntnisse zu hormonell wirksamen Substanzen*
Tagungsbericht, 2013
- 189 *Pkw-Emissionen zwischen Norm- und Realverbrauch*
Holger Heinfellner, Nikolaus Ibesich, Günther Lichtblau, Christian Nagl, Barbara Schodl, Gudrun Stranner (Hrsg.), 2015
- 189a *Passenger Car Emissions: Standard and Real-World Fuel Consumption*
Holger Heinfellner, Nikolaus Ibesich, Günther Lichtblau, Christian Nagl, Barbara Schodl, Gudrun Stranner, 2015
- 190 *Demokratierechtliche Analyse der privaten Rechtssetzung im Umweltrecht am Beispiel der Industrieemissionsrichtlinie (IE-RL)*
Konrad Lachmayer, 2016
- 191 *Positionen internationaler Gewerkschaften in der Klimapolitik*
Jana Flemming, Ulrich Brand, 2017
- 192 *15 Jahre Aarhus-Konvention*
Tagungsband, Werner Hochreiter (Hrsg.), 2017
- 193 *Zwischen Norm- und Realverbrauch Was hat sich in Österreich seit 2015 bei neuen Pkw verändert?*
Holger Heinfellner, Günther Lichtblau, Barbara Schodl, 2017
- 194 *Environmental Inequality In Europe Towards an environmental justice framework for Austria in an EU context*
Liesbeth de Schutter, Hanspeter Wieland, Burcu Gözet, Stefan Giljum, 2017
- 195 *Neue biotechnologische Züchtungstechniken Rechtliche Einordnung in Hinblick auf die Schlussanträge von Generalanwalt Bobek zum Vorabentscheidungsverfahren C-528/16*
Anita Greiter, Andreas Heissenberger, 2018
- 196 *Pkw-Emissionen aus Umwelt- und Verbrauchersicht Fakten und Regulierungsdefizite*
Günther Lichtblau, Barbara Schodl, 2018

- 197 *Vergleich europäischer Systeme der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung Endbericht (Langfassung)*
Michael Getzner, Bettina Köhler, Astrid Krisch, Leonhard Plank, 2018
- 197a *Vergleich europäischer Systeme der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung Endbericht (Kurzfassung)*
Michael Getzner, Bettina Köhler, Astrid Krisch, Leonhard Plank, 2018
- 197b *Comparison of European water supply and Sanitation systems Final report (abridged version)*
Michael Getzner, Bettina Köhler, Astrid Krisch, Leonhard Plank, 2018
- 198 *Umweltgerechtigkeit – Sozioökonomische Unterschiede bei von Umwelteinflüssen Betroffenen und im Umweltverhalten Mikrozensus Umwelt und EU-SILC – Statistical Matching*
Alexandra Wegscheider-Pichler, Sacha Baud, 2019
- 199 *Verteilungswirkungen in der Klimapolitik*
Josef Baum, 2019
- 200 *Es darf ein bisschen verbindlicher sein - Überlegungen und Wünsche für die künftige Rechtsentwicklung im Verkehrslärmschutzrecht*
Werner Hochreiter, 2019
- 201 *Zur Ökobilanz von E-Autos und was die VerbraucherInnen darüber erfahren - Eine Marktanalyse*
Holger Heinfellner, David Fritz, 2019