

RESEARCH

Andreas Braun

# Effiziente Elektrofahrzeuge

Fahrumgebung, Fahrmuster  
und Verbrauch batteriebetriebener  
Pkw unter Realbedingungen



Springer Vieweg

---

# Effiziente Elektrofahrzeuge

---

Andreas Braun

# Effiziente Elektrofahrzeuge

Fahrumgebung, Fahrmuster  
und Verbrauch batteriebetriebener  
Pkw unter Realbedingungen

 Springer Vieweg

Andreas Braun  
Stuttgart, Deutschland

Dissertation Universität Stuttgart, 2019

u.d.T. Andreas Braun: „Effiziente Elektrofahrzeuge? Der Zusammenhang von Fahrumgebung, Fahrmuster und Verbrauch batteriebetriebener Pkw unter Realbedingungen.“

D 93

ISBN 978-3-658-26880-0      ISBN 978-3-658-26881-7 (eBook)  
<http://doi.org/10.1007/978-3-658-26881-7>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature  
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

# Dank

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis meiner Promotion am Städtebau-Institut der Universität Stuttgart. Auf diesem Weg habe ich von vielen Seiten Unterstützung erfahren, für die ich sehr dankbar bin.

Zunächst danke ich Prof. Dr.-Ing. Franz Pesch und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rid für die Ermöglichung und Betreuung der Arbeit. Prof. Dr.-Ing. Jochen Wiedemann danke ich für die fachlichen Hinweise und die bereitwillige Übernahme eines Zweitgutachtens. Ein besonderer Dank gilt meinen Kollegen und Kolleginnen am Institut Stadt|Mobilität|Energie für die Begleitung und Unterstützung meiner Arbeit in unzähligen Situationen. Des Weiteren danke ich Dr. Franziska Bouley, Hermann Braun, Simona Zimmermann, Chris Auer und Edwin Baumgärtner für ihre Zeit, mir in der Schlussphase der Arbeit wichtige Korrekturen und Hinweise zu geben.

Die Fahrzeugdatenerfassung in der Region Stuttgart wurde durch das Projekt EMiS („Elektromobilität im Stauferland“) und die teilnehmenden Partner ermöglicht. Das Projekt wurde im Rahmen des Programms „Elektromobilität in Modellregionen“ durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert und durch die NOW GmbH koordiniert. Für die Ermöglichung der Datenerhebung in Erfurt danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Uwe Adler und Kai Gottschall von der Fachhochschule Erfurt. Außerdem danke ich Sandra Parno und Christian Vollrath für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Testfahrten und allen Testfahrerinnen und Testfahrern für ihre Teilnahme.

Eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg dieser Arbeit liegt bei meiner Familie. Ihr danke ich für die vielfältige Unterstützung und den festen Glauben an einen erfolgreichen Abschluss. Schließlich gelten mein Dank und meine Anerkennung auch allen, die sich in Stuttgart für eine menschengerechte Stadt und für umweltfreundliche Formen der Mobilität einsetzen. Durch sie ist Stuttgart in den letzten Jahren ein Stück lebenswerter geworden.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Elektrifizierung des Kraftfahrzeugverkehrs.....	1
1.2	Erkenntnisinteresse.....	3
1.3	Ziele – Anwendungsgebiete für Verbrauchsfaktoren .....	4
1.4	Übergreifendes Forschungsdesign.....	7
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>11</b>
2.1	Typen elektrischer Kraftfahrzeuge .....	11
2.2	Das Antriebssystem von Elektrofahrzeugen .....	12
2.3	Marktentwicklung.....	14
2.4	Umwelteffekte durch Elektrofahrzeuge.....	16
	2.4.1 Elektromobilität als Strategie .....	17
	2.4.2 Lebenszyklusbetrachtung .....	18
<b>3</b>	<b>Einflussgrößen des Verbrauchs</b>	<b>21</b>
3.1	Definitionen und Systematik .....	21
3.2	Fahrwiderstände.....	23
3.3	Fahrzeugeigenschaften.....	26
3.4	Fahrmuster .....	29
3.5	Fahrerin und Fahrweise .....	34
3.6	Anthropogene Fahrumgebung und Straßentypen .....	38
3.7	Wetter und Außentemperatur.....	42
3.8	Höhenprofil.....	46
3.9	Fahrtspezifische Merkmale und Streckenlänge .....	47
<b>4</b>	<b>Untersuchung A – Fahrmuster</b>	<b>49</b>
4.1	Methodik.....	49
	4.1.1 Datenerhebung – Fahrzeugtracking .....	49
	4.1.2 Untersuchungseinheit – Segmente einheitlicher Dauer .....	55
	4.1.3 Unabhängige Variablen – Fahrmusterparameter .....	56
	4.1.4 Abhängige Variable – Verbrauch elektrischer Energie .....	58
	4.1.5 Statistische Zusammenhänge.....	63
4.2	Ergebnisse und Diskussion .....	65
	4.2.1 Korrelation der Fahrmusterparameter mit dem Verbrauch....	65
	4.2.2 Unabhängige Fahrmusterfaktoren für Elektrofahrzeuge .....	69
	4.2.3 Korrelation der Fahrmusterfaktoren mit dem Verbrauch .....	74

4.2.4	Vergleich mit konventionellen Fahrzeugen.....	78
<b>5</b>	<b>Untersuchung B – Vergleichsfahrten</b>	<b>81</b>
5.1	Methodik.....	81
5.1.1	Ausgestaltung der Testfahrten und Basisszenario .....	82
5.1.2	Alternativszenarien.....	84
5.1.3	Teststrecke.....	86
5.1.4	Fahrzeuge und Messsysteme .....	87
5.1.5	Statistische Auswertung .....	92
5.2	Ergebnisse und Diskussion .....	94
5.2.1	Verbrauch und Fahrmuster im Basisszenario .....	95
5.2.2	Fahrweise.....	99
5.2.3	Hauptverkehrszeit.....	101
5.2.4	Beladung.....	102
5.2.5	Außentemperatur .....	102
5.2.6	Kaltstart .....	103
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>105</b>
6.1	Methodenreflexion.....	105
6.2	Elektrofahrzeugeinsatz in der Stadt .....	106
6.3	Weitere Einsatzbereiche für Elektrofahrzeuge .....	108
6.4	Fahren von Elektrofahrzeugen.....	110
6.5	Verbrauchsmodelle und Fahrzyklen für Elektrofahrzeuge .....	111
	<b>Literatur</b>	<b>113</b>
	<b>Anhang</b>	<b>131</b>
	Anhang 1. Protokollformular für Vergleichsfahrten .....	131
	Anhang 2. Tabellen zu den mittleren Fahrmusterparametern.....	137

# Tabellen

Tab. 1.	Gegenüberstellung von Untersuchung A und B.....	8
Tab. 2.	Typen elektrischer Kraftfahrzeuge.....	11
Tab. 3.	Verbrauchsrelevante Fahrzeugeigenschaften bei Elektrofahrzeugen..	26
Tab. 4.	Studien zum Zusammenhang von Fahrmuster und Verbrauch .....	33
Tab. 5.	Studien und Angaben zum Mehrverbrauch der forschen Fahrweise in Prozent der ökonomischen Fahrweise.....	37
Tab. 6.	Verwendete Straßentypen in bisherigen Studien.....	39
Tab. 7.	ADAC-Verbrauchstests von elektrischen und konventionellen Fahrzeugen auf unterschiedlichen Fahrzyklen.....	42
Tab. 8.	Verbrauch von Kraftfahrzeugen in Abhängigkeit der Außentempe- ratur und der Innenraumklimatisierung.....	45
Tab. 9.	Technische Daten verbreiteter Elektrofahrzeuge .....	51
Tab. 10.	Durch das Trackingsystem mit 1 Hz aufgenommene Parameter .....	52
Tab. 11.	Informationen zur Datenerhebung je Mitsubishi i-MiEV .....	53
Tab. 12.	Adiabatische Gradienten für die orographische Anpassung der Temperaturwerte .....	61
Tab. 13.	Zusammenhang der Straßenneigung mit ausgewählten Fahrmuster- parametern .....	63
Tab. 14.	Kenngrößen der Fahrmusterparameter und Korrelationen mit dem Verbrauch.....	68
Tab. 15.	Rotierte Faktorenmatrix .....	70
Tab. 16.	Beschreibung der Fahrmusterfaktoren .....	73
Tab. 17.	Quellen und Angaben zu den Hauptverkehrszeiten in Deutschland ...	86
Tab. 18.	Beschreibung und Streckenanteile des Erfurt-Rundkurses .....	89
Tab. 19.	Technische Merkmale der untersuchten Fahrzeuge .....	89
Tab. 20.	Anzahl der Fahrten je Szenario und Außentemperaturbedingungen...	94
Tab. 21.	Mittlerer Tank-to-Wheel-Verbrauch (in kWh/100km) und Verbrauchsvorteil des Elektrofahrzeugs in den Szenarien.....	97
Tab. 22.	Mehrverbrauch der forschen Fahrweise gegenüber der ökonomischen Fahrweise.....	100
Tab. 23.	Mittlere Fahrmusterparameter zur Geschwindigkeit ausgewählter Szenarien.....	138
Tab. 24.	Mittlere Fahrmusterparameter zur Wechselhaftigkeit und zum Anteil von Beschleunigung und Verzögerung .....	139
Tab. 25.	Mittlere Fahrmusterparameter zur Stärke der Beschleunigung und der Verzögerung.....	140



# Abbildungen

Abb. 1.	Schematische Darstellung des batterieelektrischen (l.) und des verbrennungsmotorischen (r.) Antriebsstrangs .....	12
Abb. 2.	Typischer Drehzahl- und Leistungsverlauf eines Elektromotors (l.) und eines Dieselmotors (r.) .....	13
Abb. 3.	Absolute Zahl und Anteil der reinen Elektrofahrzeuge (ohne Hybridfahrzeuge) bei den Neuzulassungen in Deutschland, den USA und China in den Jahren 2013 bis 2017 .....	15
Abb. 4.	Jährliche THG-Emissionen in Deutschland .....	16
Abb. 5.	Einflussgrößen des Energiebedarfs für den Betrieb von Kraftfahrzeugen .....	21
Abb. 6.	Primäre Verbrauchsfaktoren bei Elektrofahrzeugen .....	23
Abb. 7.	Typisches Wirkungsgrad-Kennfeld eines Elektromotors inkl. Wechselrichter (l.) und eines Dieselmotors (r.) .....	27
Abb. 8.	Eines der untersuchten Mitsubishi i-MiEV Fahrzeuge .....	50
Abb. 9.	Kartographische Darstellung der Messpunkte und Fahrprofile einer Probefahrt mit einem Mitsubishi i-MiEV .....	54
Abb. 10.	Mittlerer monatlicher Verbrauch (inkl. Nebenverbraucher) der untersuchten Elektrofahrzeuge und mittlere monatliche Lufttemperatur in Baden-Württemberg im Zeitverlauf .....	60
Abb. 11.	Streudiagramm und Modell des Zusammenhangs von Verbrauch und Außentemperatur von Einzelfahrten .....	60
Abb. 12.	Häufigkeitsverteilung der Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrsegmente .....	66
Abb. 13.	Scree-Diagramm der erklärten Varianz der Fahrmusterfaktoren .....	71
Abb. 14.	Korrelationen der Fahrmusterfaktoren mit dem Verbrauch elektrischer Energie .....	77
Abb. 15.	Kartographischer Verlauf des Rundkurses.....	88
Abb. 16.	Die untersuchten Fahrzeuge: Renault Kangoo Z.E. (l.), Renault Kangoo dCi (r.) .....	89
Abb. 17.	Durchflusssensoren im Motorraum des Dieselfahrzeugs.....	91
Abb. 18.	Streckenverbrauch (Tank-to-Wheel) der Testfahrzeuge in den Szenarien auf der Gesamtstrecke (G), Innerorts (Io), Außerorts (Ao) und auf der Autobahn (Ab) .....	95
Abb. 19.	Mittlere Geschwindigkeit der Testfahrzeuge in den Szenarien.....	96

# Abkürzungen

BMS	Batteriemanagementsystem
Bsg.	Beschleunigung
CAN	Controller Area Network
CMF	Constant Motion Factor
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
D(-Fzg).	Dieselfahrzeug
E(-Fzg).	Elektrofahrzeug
Fzg.	Fahrzeug
Geschw.	Geschwindigkeit
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GPS	Global Positioning System
H(-Fzg).	Hybridfahrzeug
HVZ	Hauptverkehrszeit
Kor.	Korrelation
KVM	Kraftstoffverbrauchsmessgerät
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NN	Normalnull
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OSM	OpenStreetMap
Pkw	Personenkraftwagen
quadr.	quadriert
Ref.	Referenzszenario
SD	Standard Deviation (Standardabweichung)
SOC	State of Charge (Batterieladezustand)
THG	Treibhausgas
V(-Fzg).	Fahrzeug mit Verbrennungsmotor
VA	Verkehrsaufkommen
Vzg.	Verzögerung
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure

## Formelzeichen

$AW$	Fahrmusterparameter für aerodynamische Arbeit	[-]
$E_s$	Streckenverbrauch	[kWh/100km]
$E_{s ges}$	Streckenverbrauch gesamt	[kWh/100km]
$E_{s kor}$	Streckenverbrauch korrigiert	[kWh/100km]
$E_{s mod}$	Streckenverbrauch gemäß Modell	[kWh/100km]
$E_{s orig}$	Streckenverbrauch unkorrigiert	[kWh/100km]
$F_a$	Beschleunigungswiderstandskraft	[N]
$F_{LW}$	Luftwiderstandskraft	[N]
$F_N$	Normalkraft	[N]
$F_R$	Rollwiderstandskraft	[N]
$F_{St}$	Steigungswiderstandskraft	[N]
$M$	Drehmoment	[Nm]
$N$	Anzahl	[-]
$NKE$	Fahrmusterparameter für negative kinetische Energie	[-]
$P$	Leistung	[W]
$PKE$	Fahrmusterparameter für positive kinetische Energie	[-]
$T$	Temperatur	[°C]
$V_H$	Hubvolumen des Motors	[l]
$a_F$	Fahrzeugbeschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]
$b_e$	Spezifischer Kraftstoffverbrauch	[g/kWh]
$c_W$	Luftwiderstandsbeiwert	[-]
$e$	Translatorischer Massenzuschlagsfaktor	[-]
$f$	Frequenz	[Hz]
$f_R$	Rollwiderstandsbeiwert	[-]
$g$	Erdbeschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]
$i$	Zählvariable	[-]
$m$	Masse	[kg]
$m_F$	Fahrzeugmasse	[kg]
$n_M$	Motordrehzahl	[1/min]
$p$	Signifikanzwert eines statistischen Ergebnisses	[-]
$p_{me}$	Effektiver Mitteldruck	[bar]
$r$	Korrelationskoeffizient nach Pearson	[-]
$r_s$	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman	[-]
$s$	Wegstrecke	[m]
$v_F$	Fahrzeuggeschwindigkeit	[m/s]

---

$v_{rel}$	Relativgeschwindigkeit	[m/s]
$\alpha_{St}$	Steigungswinkel	[°]
$\varepsilon$	Verdichtungsverhältnis	[-]
$\rho_L$	Dichte der Luft	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\varphi$	Relative Luftfeuchtigkeit	[%]

# Zusammenfassung

Im Gegensatz zu den Gesamtemissionen hat sich der hohe Ausstoß von Treibhausgasen im Verkehrssektor in Deutschland in den vergangenen zwei Jahrzehnten nicht reduziert. Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge sollen nun auch in diesem Bereich zu einer Minderung der Emissionen beitragen. Ein Argument für diese Erwartung ist die höhere Tank-to-Wheel-Energieeffizienz des elektrischen Antriebsstrangs im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

Im tatsächlichen Fahrbetrieb wird der Streckenverbrauch von Kraftfahrzeugen im Allgemeinen von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt. Ausgehend von früheren empirischen Untersuchungen untersucht diese Arbeit die Einflussgrößen des Streckenverbrauchs bei Elektrofahrzeugen. Im Fokus stehen sowohl primäre Verbrauchsfaktoren, wie der Straßentyp und die Fahrweise, als auch das Fahrmuster, das den spezifischen Verlauf des Geschwindigkeitsprofils beschreibt. Darüber hinaus geht die Arbeit der Frage nach, wie sich die Zusammenhänge bei Fahrzeugen mit verbrennungsmotorischem Antriebsstrang unterscheiden. Die Methodik gliedert sich in zwei Untersuchungen, die jeweils die Messung von Verbrauchs- und Fahrdaten unter realen Bedingungen beinhalten.

Fokus der Untersuchung A ist der Zusammenhang zwischen dem Fahrmuster von Elektrofahrzeugen und ihrem streckenbezogenen Verbrauch elektrischer Energie. Die Methodik umfasst die Aufnahme von Alltagsfahrten mit vier Elektro-Pkw in einem gewerblichen Kontext in der Region Stuttgart. Für 60-Sekunden-Segmente des Geschwindigkeitsprofils wird das Fahrmuster durch 42 Fahrmusterparameter (z. B. mittlere Geschwindigkeit, Anzahl Stopps) beschrieben. Da sich viele der Fahrmusterparameter inhaltlich überschneiden, werden sie mit Hilfe einer Faktorenanalyse strukturiert. Das Ergebnis sind fünf unabhängige Fahrmusterfaktoren, die 73 % der Varianz der Ausgangsdaten abdecken. Der Fahrmusterfaktor für Wechselhaftigkeit, der häufige Wechsel zwischen Beschleunigung und Verzögerung sowie viele Stopps beinhaltet, zeigt im Rahmen einer Korrelationsanalyse den größten Zusammenhang mit dem Verbrauch elektrischer Energie. Durch die Identifikation der verbrauchsbestimmenden Fahrmusterparameter leistet diese Arbeit einen Beitrag für die Erstellung und Verbesserung von Fahrzyklen und mesoskopischen Verbrauchsmodellen. Auch werden Hinweise für das effiziente Fahren von Elektrofahrzeugen generiert.

Aufgrund unterschiedlicher Erhebungs- und Analysemethoden lassen sich die Einflussgrößen des Verbrauchs von elektrischen und konventionellen Fahrzeugen in der bisherigen Literatur kaum vergleichen. Dies gilt für das Fahrmuster, aber auch für die primären Verbrauchsfaktoren. In der Untersuchung B wird daher ein

Vergleich eines elektrischen mit einem dieselbetriebenen Pkw-Modell auf einer eigens entwickelten Teststrecke in der Region Erfurt durchgeführt. Im Basisszenario liegt der streckenbezogene Fahrenergiebedarf (Tank-to-Wheel) des Elektrofahrzeugs 68 % unter dem Wert des Dieselfahrzeugs. Der Verbrauchsvorteil des Elektrofahrzeugs variiert aber je nach Fahrsituation. Bei den Straßentypen ist der Vorteil bei Fahrten in der Stadt am größten. Dort entwickelt der dynamische Geschwindigkeitsverlauf eine vergleichsweise geringe Wirkung auf den Verbrauch des Elektrofahrzeugs, während sich die geringen Geschwindigkeiten mindernd auf den Verbrauch auswirken. Auch für die Außentemperatur, die Fahrweise und die Motortemperatur (Kaltstart) variiert das Verbrauchsverhältnis zwischen Elektro- und Dieselfahrzeugs teils beträchtlich. In den Szenarien zur Hauptverkehrszeit und mit zusätzlicher Fahrzeugbeladung konnten hingegen keine signifikanten Abweichungen vom Verbrauchsverhältnis im Basisszenario gefunden werden. Auch unterscheidet sich das Fahrmuster des elektrischen Fahrzeugs nur wenig von dem des konventionellen Fahrzeugs. Die Interpretation der Ergebnisse gibt darüber Auskunft, für welche Einsatzbereiche die Eignung von Elektrofahrzeugen am größten ist. Für die Eignung spielen neben dem Streckenverbrauch auch andere Aspekte wie die Laufleistung eine Rolle. In städtischen Gebieten haben Elektrofahrzeuge insgesamt große Vorteile gegenüber konventionellen Fahrzeugen, müssen sich dort aus Umweltsicht allerdings auch mit den Verkehrsmitteln des Umweltverbands messen.

# Abstract

Efficient electric vehicles? The relationship between driving environment, driving pattern and consumption of battery electric vehicles in real world driving.

While the total greenhouse gas emissions in Germany have decreased over the past two decades, emissions from the transport sector have remained quite constant. Battery electric vehicles (BEVs) are now intended to reduce emissions in that sector as well. One reason for this expectation is the high tank-to-wheel energy efficiency of electric vehicles compared to vehicles with internal combustion engines (ICVs).

The real-world driving consumption of motor vehicles is determined by a variety of factors. In consideration of previous empirical studies, this work investigates the factors of electric energy consumption of BEVs. Among the examined factors are primary consumption factors, such as road type and driving style, as well as the driving pattern, which describes the characteristics of the speed profile. In addition, this work explores how the relationships among various factors differ for ICVs. The research design is divided into two studies (A and B), each of which involves the measurement of energy and driving data under real driving conditions.

Study A focusses on the driving pattern of BEVs and its correlation with per km consumption of electric energy. The methodology includes the collection of day-to-day trips of four commercially used electric minicars in the metropolitan region of Stuttgart, in southern Germany. The driving pattern is described in 42 driving pattern parameters (e.g. mean speed, number of stops), which are calculated for segments of the logged driving profiles. Each segment has a duration of 60 seconds. Since many of the driving pattern parameters overlap, they are structured using factor analysis. The resulting five independent driving pattern factors cover 73% of the original data's variance. The oscillation factor, which combines the number of changes between acceleration and deceleration as well as the frequency of stops, shows the greatest correlation with the electric energy consumption. By identifying distinct and significantly influential driving pattern parameters, this work contributes to the creation and improvement of driving cycles and mesoscopic consumption models. In addition, recommendations for the efficient driving of electric vehicles are derived.

Due to varying methods of data collection and analysis, the consumption factors of BEVs and ICVs in previous studies cannot be properly compared. This applies to the driving pattern as well as to the primary consumption factors. To

overcome this problem, study B compares a battery electric and a diesel-powered car model on a newly developed test track in the Erfurt region, in eastern Germany. In the baseline scenario, the BEV's energy use (tank-to-wheel) is 68% below that of the ICV. However, this consumption advantage varies depending on the driving situation. With regard to different road types, the advantage is greatest for urban driving. The frequent changes of speed on this road type have a comparatively small effect on the efficiency of the electric motor, and the generally low level of speed decreases consumption. Likewise, the consumption ratio between the electric and the diesel vehicle varies considerably with regard to the ambient temperatures, the style of driving and the engine temperature (cold start). However, no significant deviations from the consumption ratio in the baseline scenario could be found in the scenarios at rush hour and with additional vehicle loading. Also, the driving pattern of the BEV differs only slightly from that of the ICV. The interpretation of the results provides information about the most suitable applications for BEVs. Besides consumption, other aspects such as mileage need to be considered for the assessment of BEV suitability. In urban areas, BEVs show great advantages over conventional vehicles. But other means of transport, such as public transport, can be environmentally friendly alternatives in many cases.