
Klimabilanz verschiedener Antriebe über den gesamten Lebensweg

AK-Veranstaltung - Klimatransparenz beim Autokauf – Wien, Freitag, 25. Oktober 2019

Hinrich Helms (ifeu)



Agenda.



- 1 Hintergrund, Ziel und Vorgehen
- 2 Ergebnisse einer Literaturlauswertung - Metastudie
- 3 Parameter der Klimabilanz - Sensitivitätsanalyse
- 4 Fazit

Hintergrund und Ziel

Grundlage ist Studie der Agora Verkehrswende
 Elektroautos sind wichtiger Teil der Energiewende
 stehen aber auch in der Kritik:

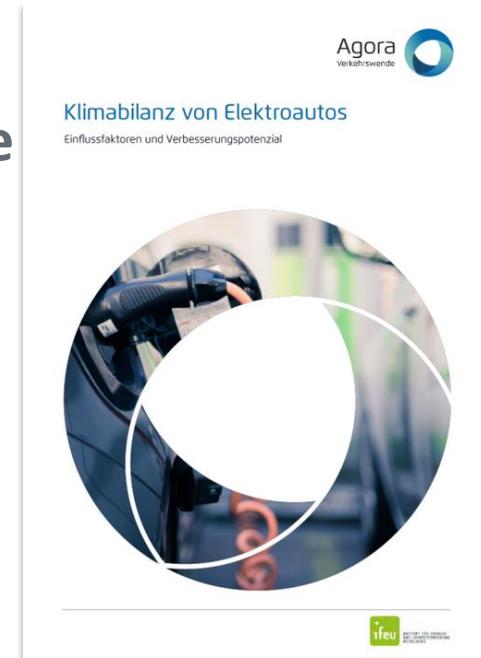
- Hohe fossile Anteile bei Stromerzeugung
- Energieaufwändige Produktion der Batterie

Unsicherheit bei Politik und Verbrauchern

Projektziel daher

- Unterschiedliche Klimabilanzierungen erklären
- Einflussfaktoren und Verbesserungspotential aufzeigen

Diskussion der Mobilitätswende nicht Gegenstand der Studie

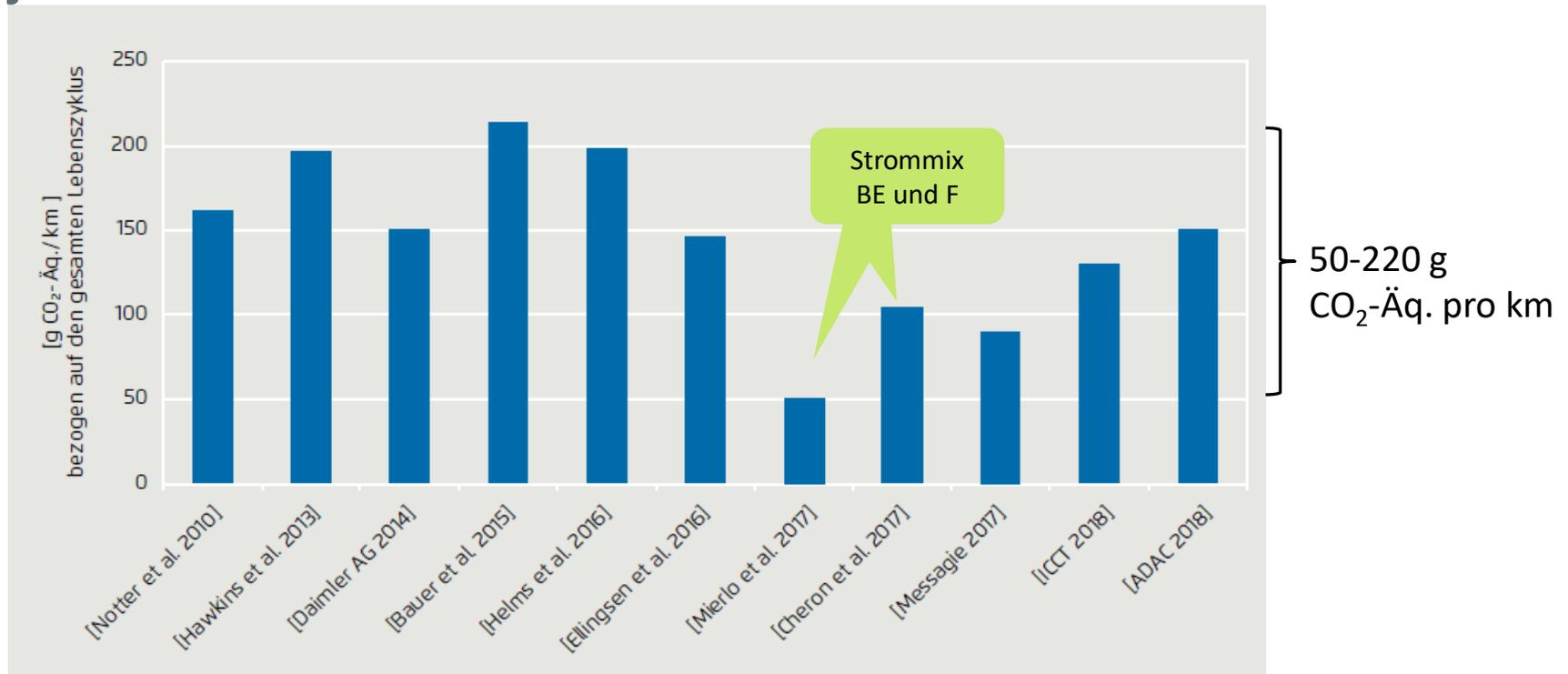


Metastudie - Ergebnisse der Literaturlauswertung

Metastudie - Bandbreite der Ergebnisse zur Gesamtbilanz

Normierte Ergebnisse zeigen große Bandbreite

Rahmenbedingungen und Annahmen der Studien müssen dabei jedoch beachtet werden...



Metastudie - Welche Parameter haben einen Einfluss?



	[Notter et al. 2010]	[Hawkins et al. 2010]	[Daimler 2014]	[Bauer et al. 2015]	[Helms et al. 2016]	[Ellingsen et al. 2016]	[Mierlo et al. 2017]	[Cheron et al. 2017]	[Messaggio 2017]	[ICCT 2018]	[ADAC 2018]
Treibhausgasemissionen (g CO ₂ e/km)	162	197	150	210	199	146	51	105	90	130	150
Fahrzeugklasse	Kompaktkl.	-	Kompaktkl.	Ob. Mittelkl.	Kompaktkl.	Kleinwagen	-	Ob. Mittelkl.	-	Kompaktkl.	Kompaktkl.
Nutzungsphase											
Lebensfahrh. (km)	150.000	150.000	160.000	240.000	168.000	180.000	209.596	250.000	-	150.000	150.000
Verbrauch (kWh/100 km)	17	17,3	16,6–17,9	21,4	21,9	17	-	21,1	20	20,5	14,7
Fahrzyklus	NEFZ	NEFZ	NEFZ	Real*	Real*	NEFZ	-	Real*	Real*	Real*	EcoTest
Strommix	CH	EU	EU	CH/EU	DE-2013	EU	BE	FR-2015	EU-2015	EU	DE-2013

- 6 Anmerkung: Türkis markiert sind besondere Treiber für die gesamte Bilanz.
* Es werden Fahrzyklen angesetzt, die weitgehend realistisches Fahrverhalten abbilden.

Metastudie - Welche Parameter haben einen Einfluss?



	[Notter et al. 2010]	[Hawkins et al. 2010]	[Daimler 2014]	[Bauer et al. 2015]	[Helms et al. 2016]	[Ellingsen et al. 2016]	[Mierlo et al. 2017]	[Cheron et al. 2017]	[Message 2017]	[ICCT 2018]	[ADAC 2018]
Treibhausgas-emissionen (g CO ₂ e/km)	162	197	150	210	199	146	51	105	90	130	150
Fahrzeug-klasse	Hohe Fahrleistung sorgen für eine besonders gute „Abschreibung“ der Batterieherstellung										
Lebens-fahr-l. (km)	150.000	150.000	160.000	240.000	168.000	180.000	209.596	250.000	-	150.000	150.000
Verbrauch (kWh/100 km)	17	17,3	16,6–17,9	21,4	21,9	17	-	21,1	20	20,5	14,7
Fahr-zyklus	NEFZ	NEFZ	NEFZ	Real*	Real*	NEFZ	-	Real*	Real*	Real*	EcoTest
Strom-mix	CH	EU	EU	CH/EU	DE-2013	EU	BE	FR-2015	EU-2015	EU	DE-2013

7 Anmerkung: Türkis markiert sind besondere Treiber für die gesamte Bilanz.

* Es werden Fahrzyklen angesetzt, die weitgehend realistisches Fahrverhalten abbilden.

Metastudie - Welche Parameter haben einen Einfluss?



	[Notter et al. 2010]	[Hawkins et al. 2010]	[Daimler 2014]	[Bauer et al. 2015]	[Helms et al. 2016]	[Ellingsen et al. 2016]	[Mierlo et al. 2017]	[Cheron et al. 2017]	[Messaggio 2017]	[ICCT 2018]	[ADAC 2018]
Treibhausgas-emissionen (g CO ₂ e/km)	162	197	150	210	199	146	51	105	90	130	150
Fahrzeug-klasse	Hohe Fahrleistung sorgen für eine besonders gute „Abschreibung“ der Batterieherstellung										
Lebens-fähr-l. (km)											
Verbrauch (kWh/100 km)	17	17,3	16,6–17,9	21,4	21,9	17	–	21,1	20	20,5	14,7
Fahr-zyklus	NEFZ	NEFZ	NEFZ	Real*	Real*	NEFZ	–	Real*	Real*	Real*	EcoTest
Strom-mix	CH	EU	EU	CH/EU	DE-2013	EU	BE	FR-2015	EU-2015	EU	DE-2013

8 Anmerkung: Türkis markiert sind besondere Treiber für die gesamte Bilanz.

* Es werden Fahrzyklen angesetzt, die weitgehend realistisches Fahrverhalten abbilden.

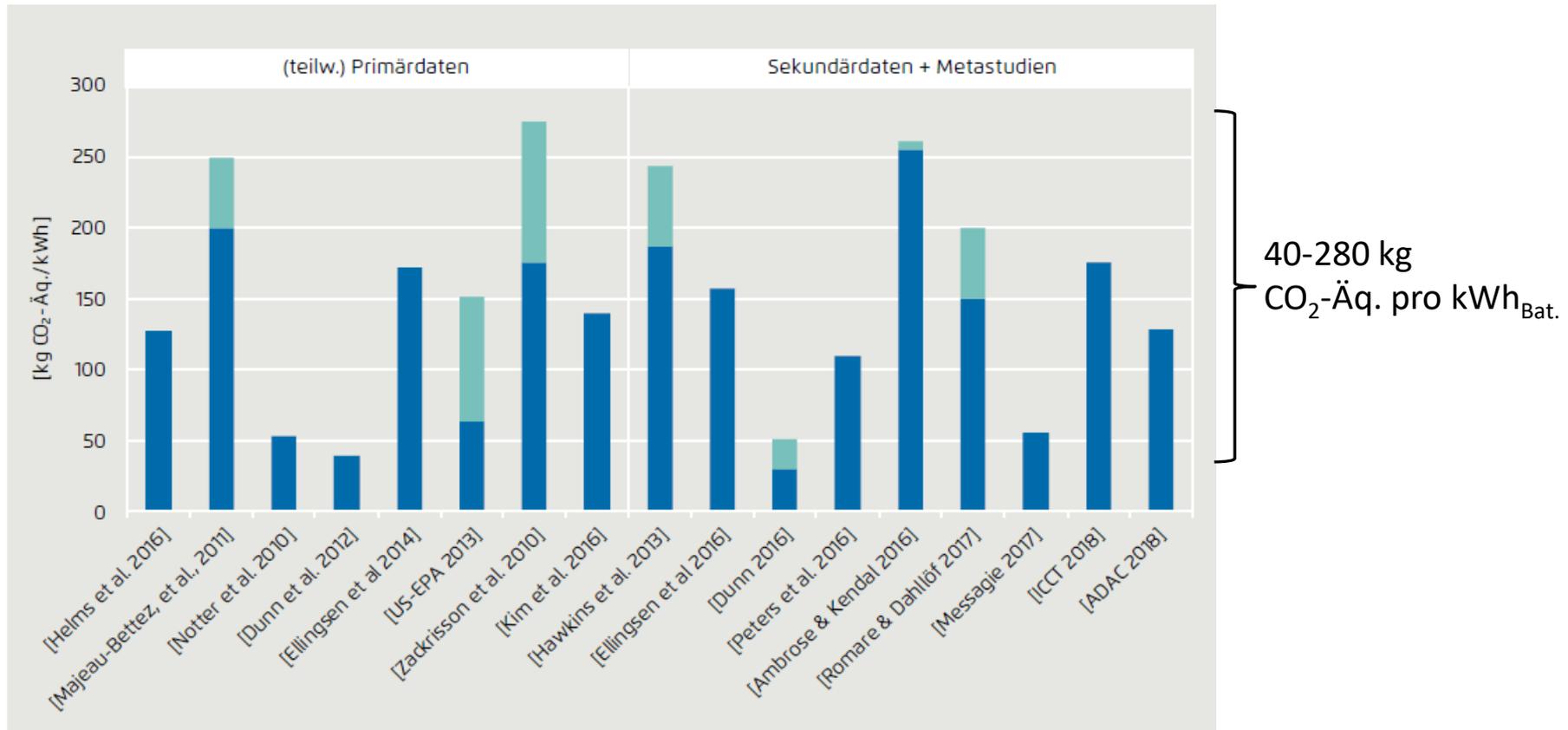
Metastudie - Welche Parameter haben einen Einfluss?



	[Notter et al. 2010]	[Hawkins et al. 2010]	[Daimler 2014]	[Bauer et al. 2015]	[Helms et al. 2016]	[Ellingsen et al. 2016]	[Mierlo et al. 2017]	[Cheron et al. 2017]	[Messaggio 2017]	[ICCT 2018]	[ADAC 2018]
Herstellung (Batterie)											
Zellchemie	LMO	NMC	NCA	LMO	Mix: LFP, NCA, NMC	NMC	LMO, LFP	NMC	LMO	Li-Ion	Mix: LFP, NCA, NMC
Kapazität (kWh)	34	24	-	25	27,3	26,6	-	-	45	30	28
Energiedichte (Wh/kg)	113	112	115	105	81,6	105	-	-	118	100	-
Treibhausgasemissionen Batterie (kg CO ₂ e/kWh)	Batterietyp, -größe und Energiedichte sind oft unterschiedlich										

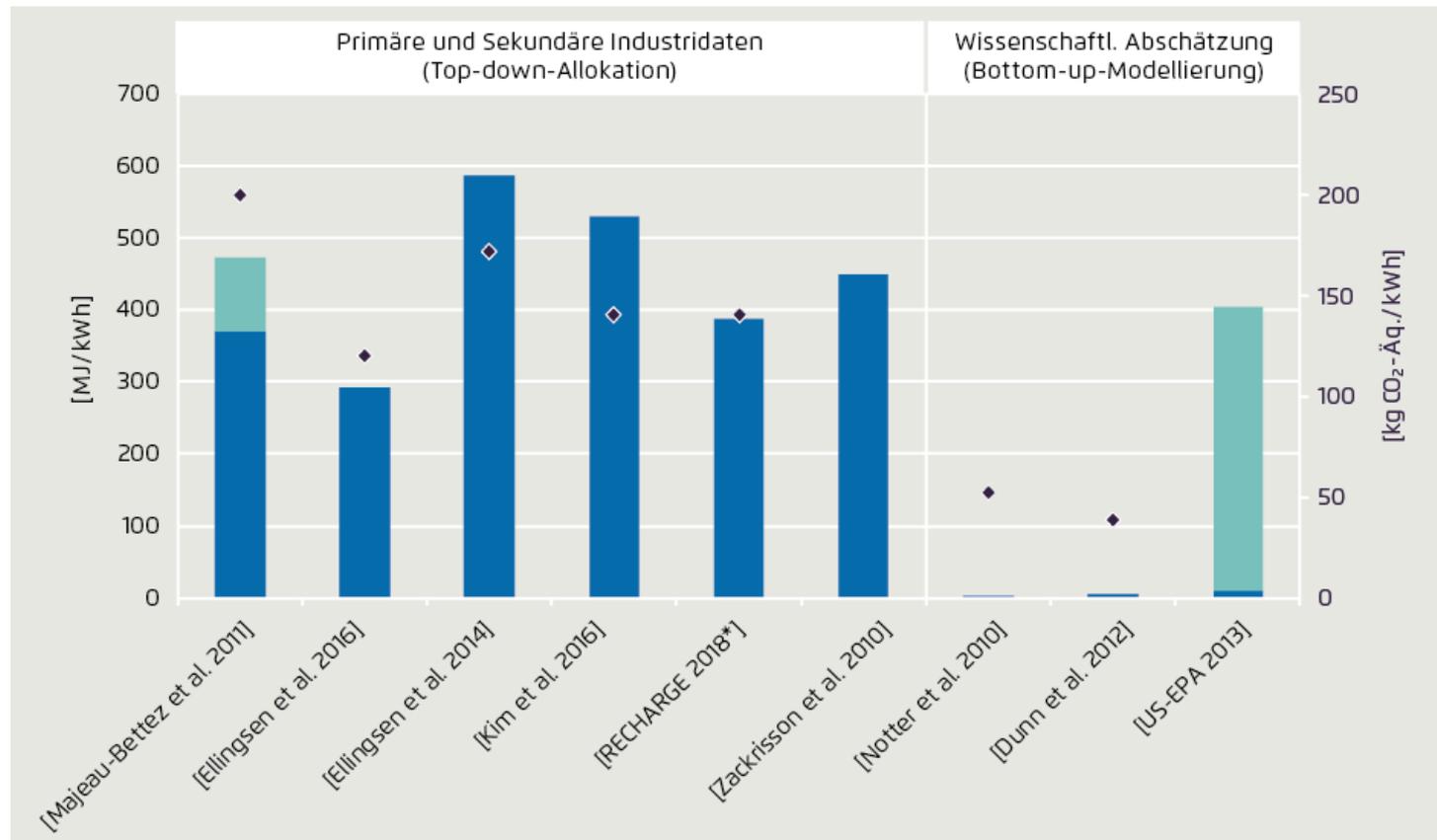
Metastudie - Bandbreite der Ergebnisse zur Batteriebilanz

Bei den Ergebnissen zur Batterie besonders große Bandbreiten



Metastudie - Bandbreite Energieaufwand Batteriefertigung

Große Abhängigkeit von der Erhebungsmethode



Metastudie - Die zentralen Einflussparameter der Klimabilanz



Nutzungsphase:

- Ladestrommix in der Nutzungsphase (Land, Eigenerzeugung)
- Spezifischer Stromverbrauch (Fahrzeug und Nutzungsmuster)
- Nutzungsintensität (Substitution von „Verbrennungs-km“)

Herstellung:

- Batteriegröße
 - Energiedichte
 - Zellchemie
- } **Materialmenge und -mix**
- Energieeinsatz der Fertigung
 - Strommix der Fertigung

Sensitivitätsanalyse

-

Einfluss zentraler Parameter auf die heutige Klimabilanz

Sensitivitätsanalyse - Rahmen der eigenen Bilanzierung



Kein Anspruch auf beste oder einzig richtige Klimabilanz

Die Modellierung soll Einfluss zentraler Parameter unter sonst gleichen Randbedingungen aufzeigen.

Berücksichtigt werden dabei:

- Fahrzeug- und Batterieherstellung (inkl. Rohstoffgewinnung)
- Auspuffemissionen bei Verbrennungsfahrzeugen
- Stromverbrauch der Elektroautos inkl. Ladeverlusten
- Energiebereitstellung (Kraftstoffe und Strom)
- Wartung der Fahrzeuge
- Lebensende der Fahrzeuge
(Cut-Off-Ansatz)

Sensitivitätsanalyse - Betrachtung eines Beispielfahrzeugs



Beispielfahrzeug der Kompaktklasse (ähnlich VW Golf)

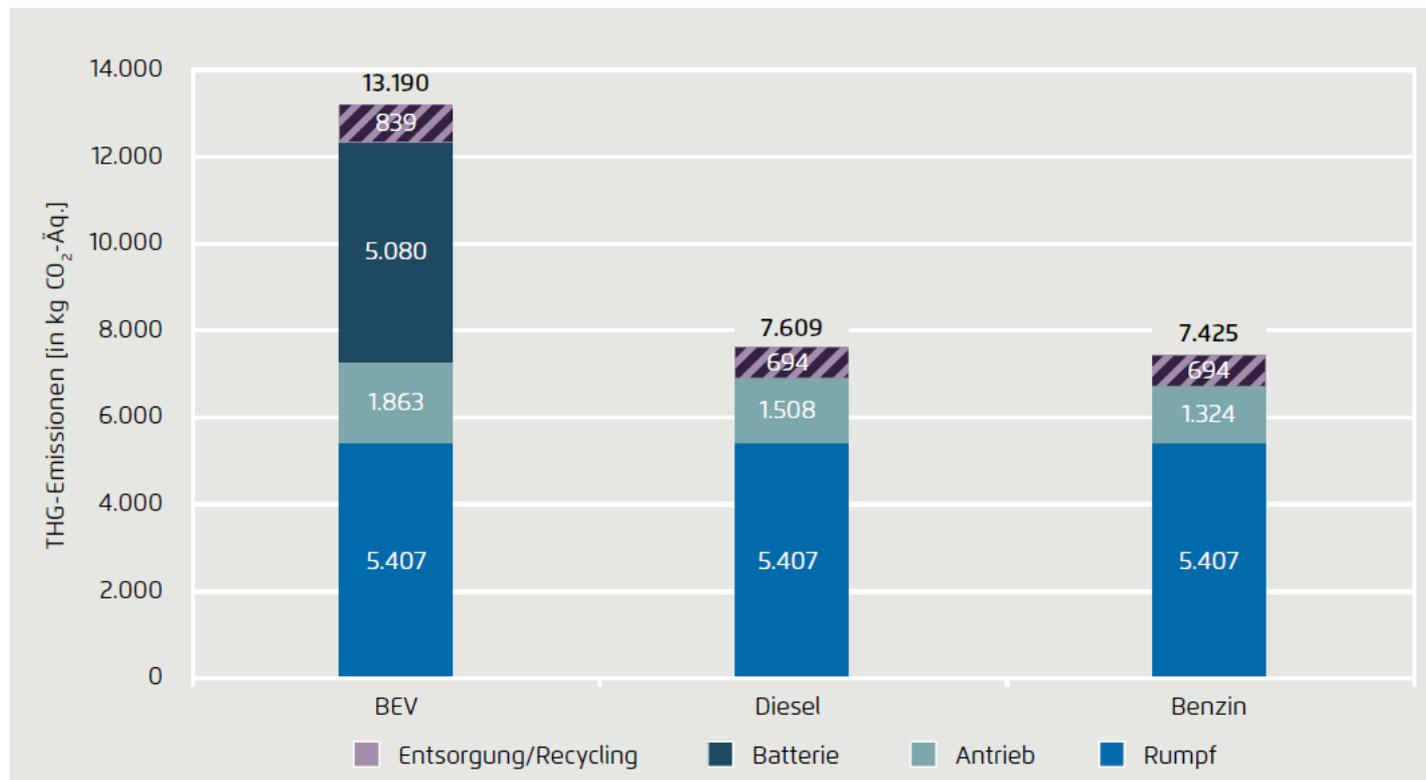
- Gemischte Nutzung: 16,0 kWh/100 km (+ 15% Ladeverluste); Benzin: 5,9 l/100 km; Diesel 4,7 l/100 km)*
- Ladestrom: Durchschnitt 2018-2030** : 421 g CO₂-Äq./ kWh

Batterie

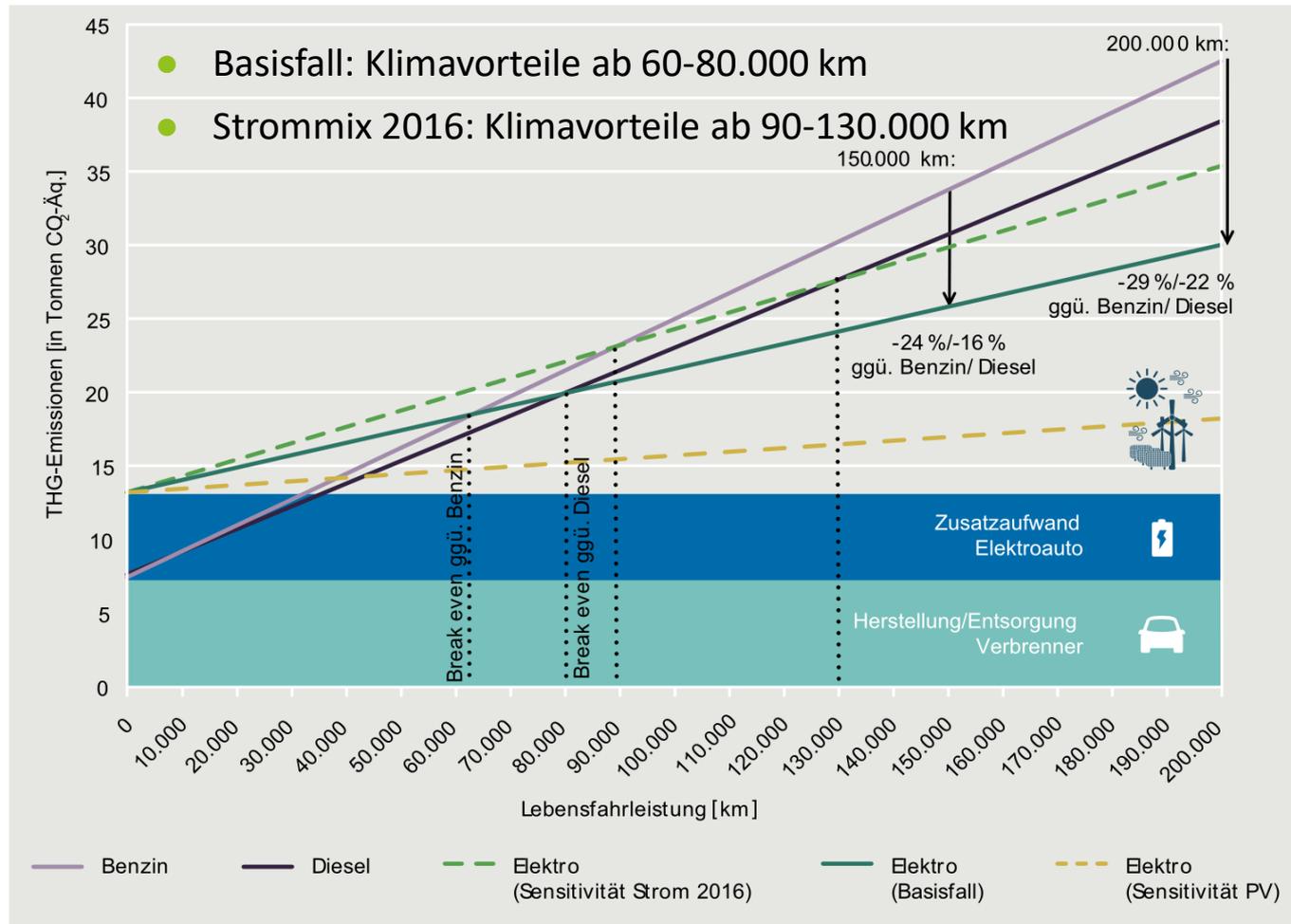
- 1x 35 kWh Li-Ionen Batterie über das gesamte Fahrzeugleben
- NMC Zelle (1-1-1) mit 115 Wh/kg (Systemebene)
- Fertigung im Mix heutiger Produktionsländer (CN, JP, KR, US)

Software UMBERTO LCA+; Datenbank ecoinvent 3.4

Zusatzaufwand Batterieherstellung - beim Elektroauto etwa 40% der herstellungsbedingten Klimabilanz



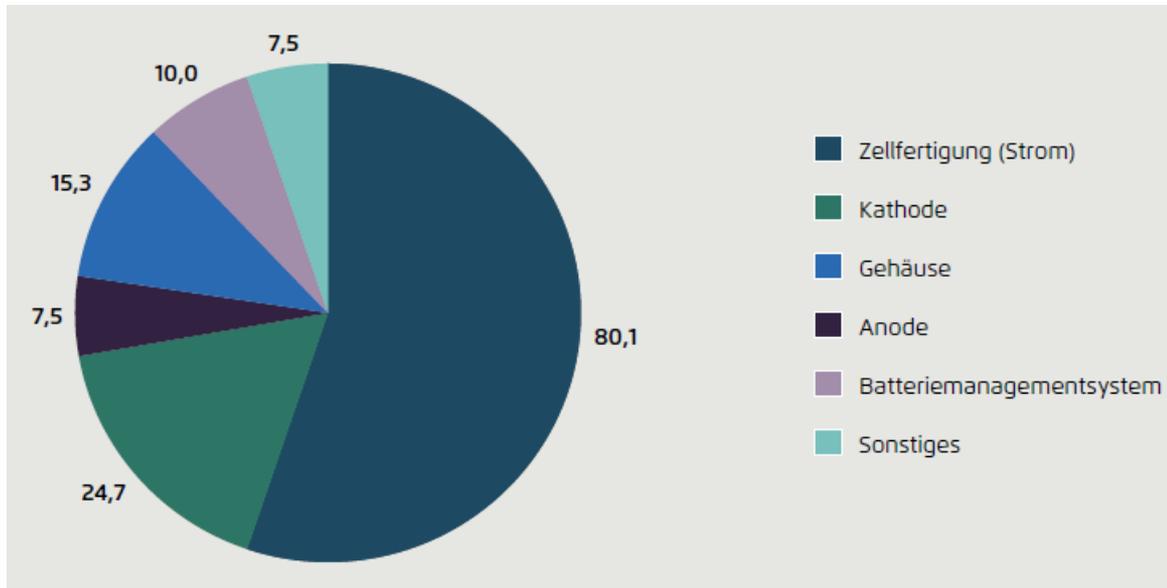
Sensitivitätsanalyse - Heutige Klimabilanz von Elektroautos



- Mit heutigem Strom deutlich geringere Einsparungen
- Mit PV-Strom schon heute nach wenigen Jahren vorteilhaft

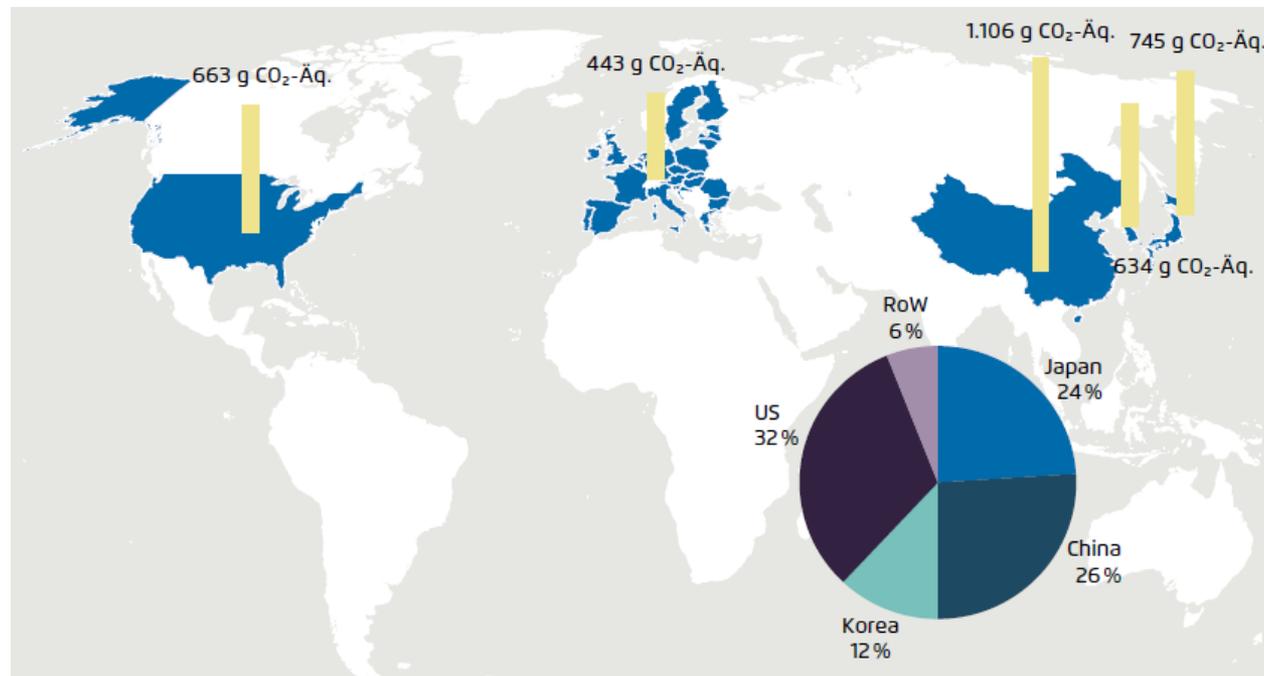
Sensitivitätsanalyse - Parameter der Batteriebilanz

Fertigungsstrom dominiert heute die Klimabilanz der Zellen



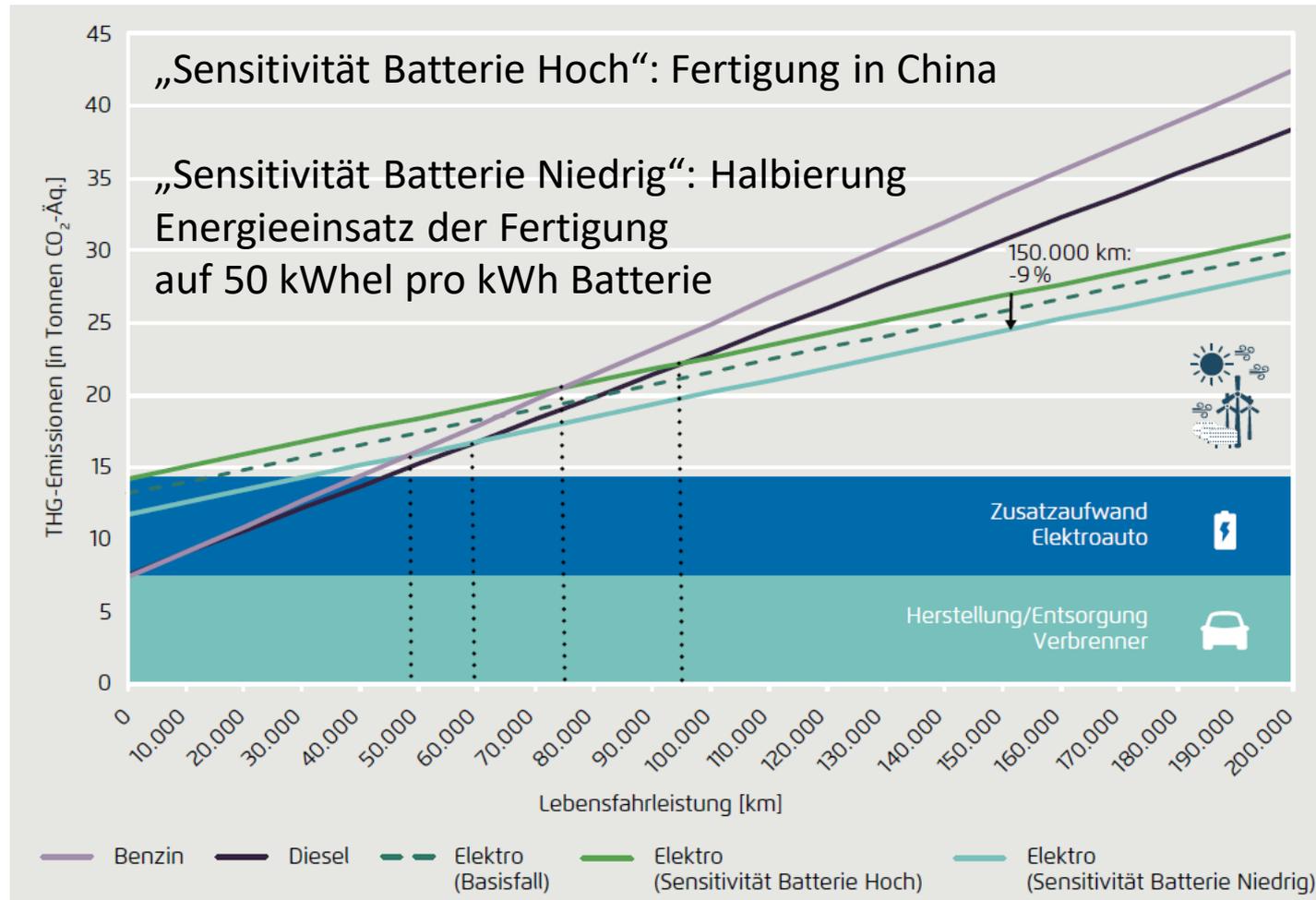
Sensitivitätsanalyse - Parameter der Batteriebilanz

Fertigungsstrom dominiert heute die Klimabilanz der Zellen
Großer Anteil fossiler Stromerzeugung in Fertigungsländern



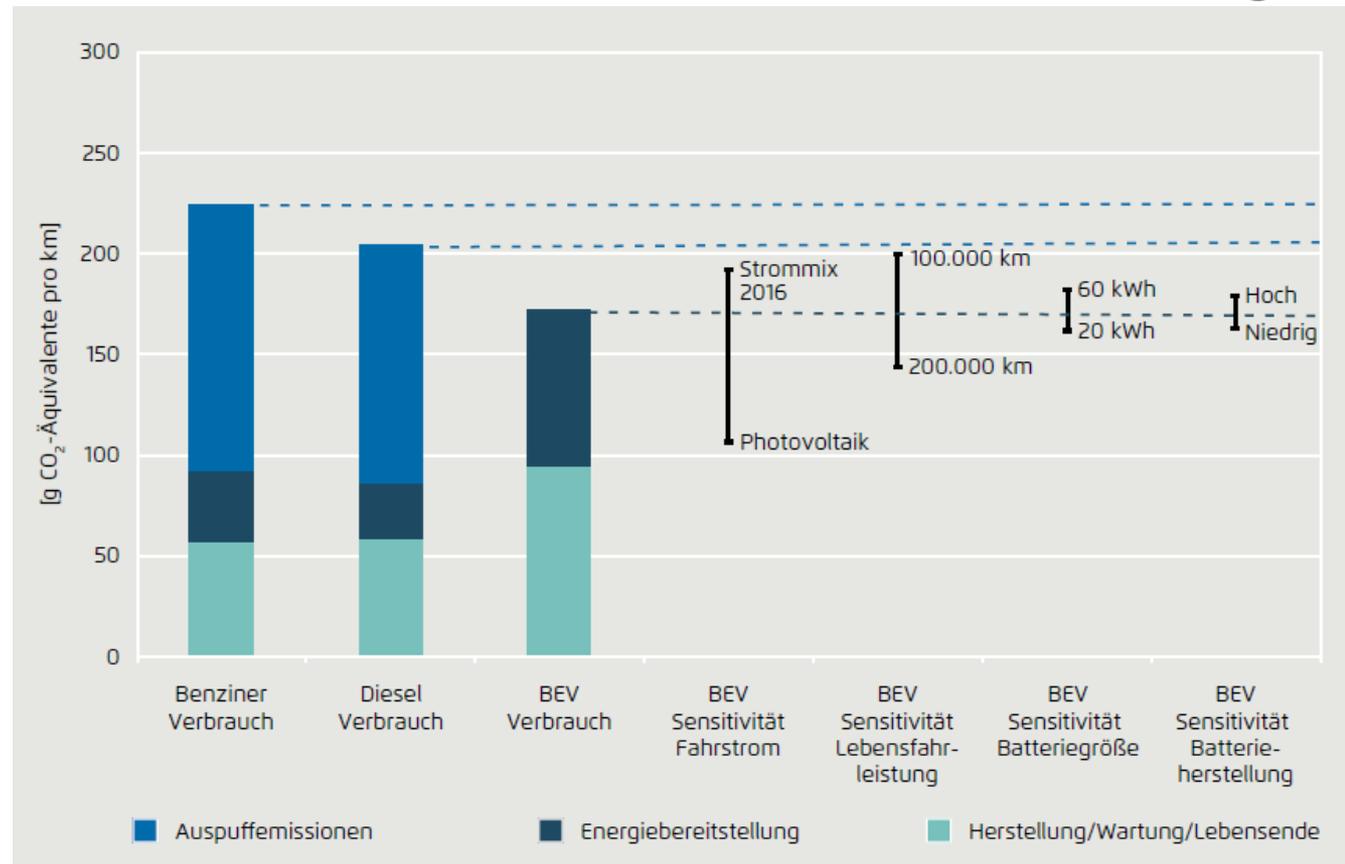
Ø 800 g CO₂-Äq./kWh

Sensitivitätsanalyse - Parameter der Batteriebilanz



Sensitivitätsanalyse - Einfluss zentraler Parameter auf die Bilanz

Bilanz nach 150.000 km: Deutlicher Einfluss von Ladestrom und Nutzungsintensität



Sensitivitätsanalyse - Wo liegen die Verbesserungspotenziale?



Rahmenbedingungen für Fahrzeugnutzung:

- Verbesserung des Ladestrommix mit der Energiewende
- Verbesserung der Energieeffizienz (auch für Verbrenner)

Rahmenbedingungen für Batterieherstellung:

- Verbesserung des Strommix in der Zellfertigung
- Erhöhung der Energieeffizienz in der Zellfertigung
- Neue Zelltechnologien (z.B. Kobaltreduzierung)
- Verbesserung der Energiedichte

Was folgt für die Klimatransparenz beim Autokauf?



Fokus auf Auspuffemissionen unzureichend für alternative Antriebe

Erweiterung um Energiebereitstellung (Well-to-Wheel)

- verbessert die Informationen bereits deutlich und
- ist methodisch/datenseitig beherrschbar.

Erweiterung um Fahrzeugherstellung

- ist vor allem für alternative Antriebe prinzipiell sinnvoll, aber
- der Aufwand einer vollständigen Ökobilanz ist vergleichsweise hoch,
- eine gute Vergleichbarkeit würde aufwändiges Regelwerk und harmonisierte Datensätze erfordern und
- ISO-Standards 14040 und 14044 sind hierfür nicht ausreichend.

Als Entscheidungsgrundlage und zusätzliche Information sind Ökobilanzen sinnvoll, direkte Integration in ein Labelling ist jedoch eine Herausforderung



Hinrich Helms

hinrich.helms@ifeu.de

++49-6221-4767-33

Dr.-Ing. Kirsten Biemann

kirsten.biemann@ifeu.de

++49-6221-4767-69

Claudia Kämper

Claudia.keamper@ifeu.de

++49-6221-4767-68

Vielen Dank vom gesamten Team!

https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf



Im Weiher 10 69121 Heidelberg Telefon +49 (0)6 221. 47 67 - 0 Telefax +49 (0)6 221. 47 67 - 19 www.ifeu.de