
Klimabilanz von Elektrofahrzeugen - Einflussfaktoren und Verbesserungspotential

Freitag, 05. April 2019, 09:00-14:00 Uhr - Auditorium Friedrichstraße, Berlin
Hinrich Helms (ifeu)



- ① Hintergrund, Ziel und Vorgehen
- ② Ergebnisse der Literaturlauswertung - Metastudie
- ③ Parameter der Klimabilanz - Sensitivitätsanalyse
- ④ Verbesserungspotenzial 2030 - Ausblick

Presseschau: Elektroauto und Umwelt

Forscher über Gesamtbilanz von Fahrzeugen

"Elektroauto ist ähnlich schädlich wie – ein Diesel"

Dieter Teufel im Gespräch mit Dieter Kassel



ÖKOBILANZ

Ein kritischer Blick

Sind E-Autos ein großer ökologischer Fortschritt? Oder verschärfen sie das Klimaproblem nur? Unser Autor hat sich auf eine ausführliche Spurensuche begeben - und erklärt, wieso das Thema zu komplex ist für einfache Antworten.



Energiebilanz

So sauber ist das Elektroauto

Elektroautos werden mit dem Versprechen verkauft, ökologisch zu sein. Doch der Energieaufwand bei der Herstellung ist enorm. Wie groß kann da der Umweltvorsprung sein?

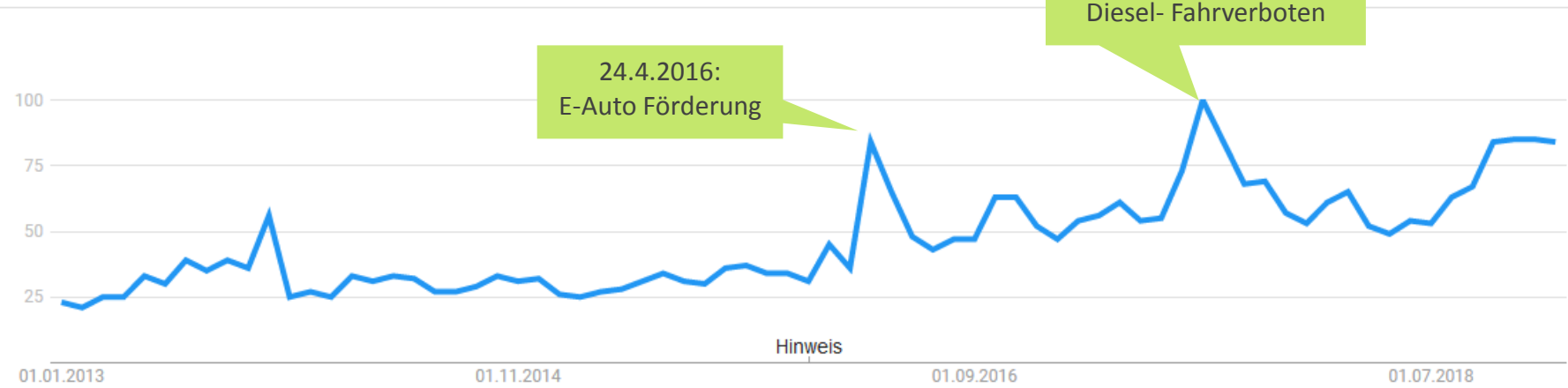
Von Christoph M. Schwarzer



Studie: Elektroautos sind doppelt so umweltfreundlich

Interesse im zeitlichen Verlauf

Google-Suchanfrage: „Elektroauto“



Hintergrund und Ziel der Studie

Elektroautos sind wichtiger Teil der Energiewende im Verkehr

Klimawirkung der Elektroautos steht aber in der Kritik:

- Hohe fossile Anteile bei Stromerzeugung
- Energieaufwändige Produktion der Batterie

Das erzeugt Unsicherheit bei Politik und Verbrauchern

Projektziel

- Unterschiedliche Klimabilanzierungen erklären
- Einflussfaktoren und Verbesserungspotential aufzeigen

Diskussion der Mobilitätswende nicht Gegenstand der Studie

Vorgehen

Metastudie - Analyse bestehender Klimabilanzen

- Vergleich normierter Ergebnisse
- Systematischer Vergleich von Einflussparametern
- Identifikation wichtiger Stellschrauben der Klimabilanz

Sensitivitätsanalyse - Eigene Bilanzierung eines Fallbeispiels

- Heutige Klimabilanz von Elektrofahrzeugen in Deutschland
- Darstellung wichtiger Stellschrauben für die Gesamtbilanz

Szenario - Verbesserungspotenzial bis 2030

Technischer Vergleich der Antriebskonzepte in weitgehend vergleichbaren Fahrzeugen und Nutzungen

Metastudie

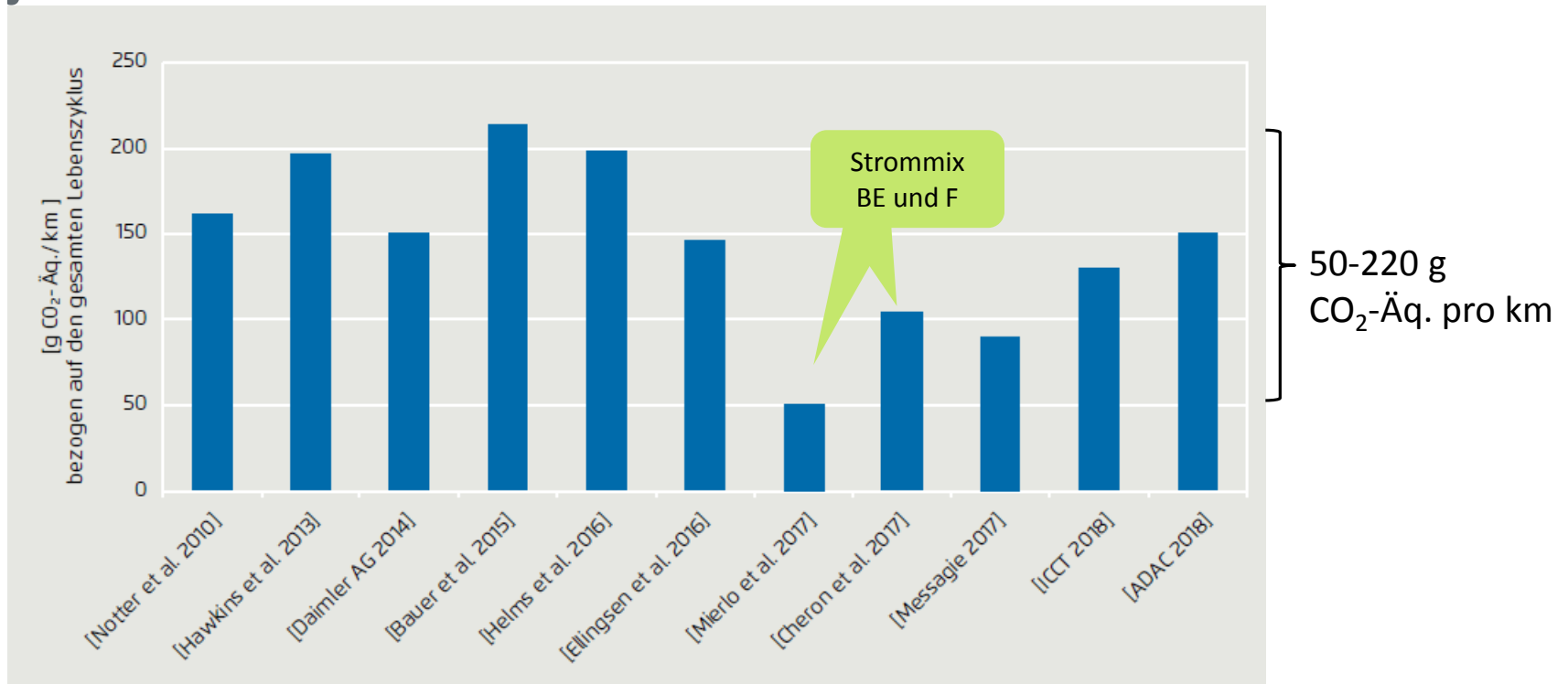
-

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?

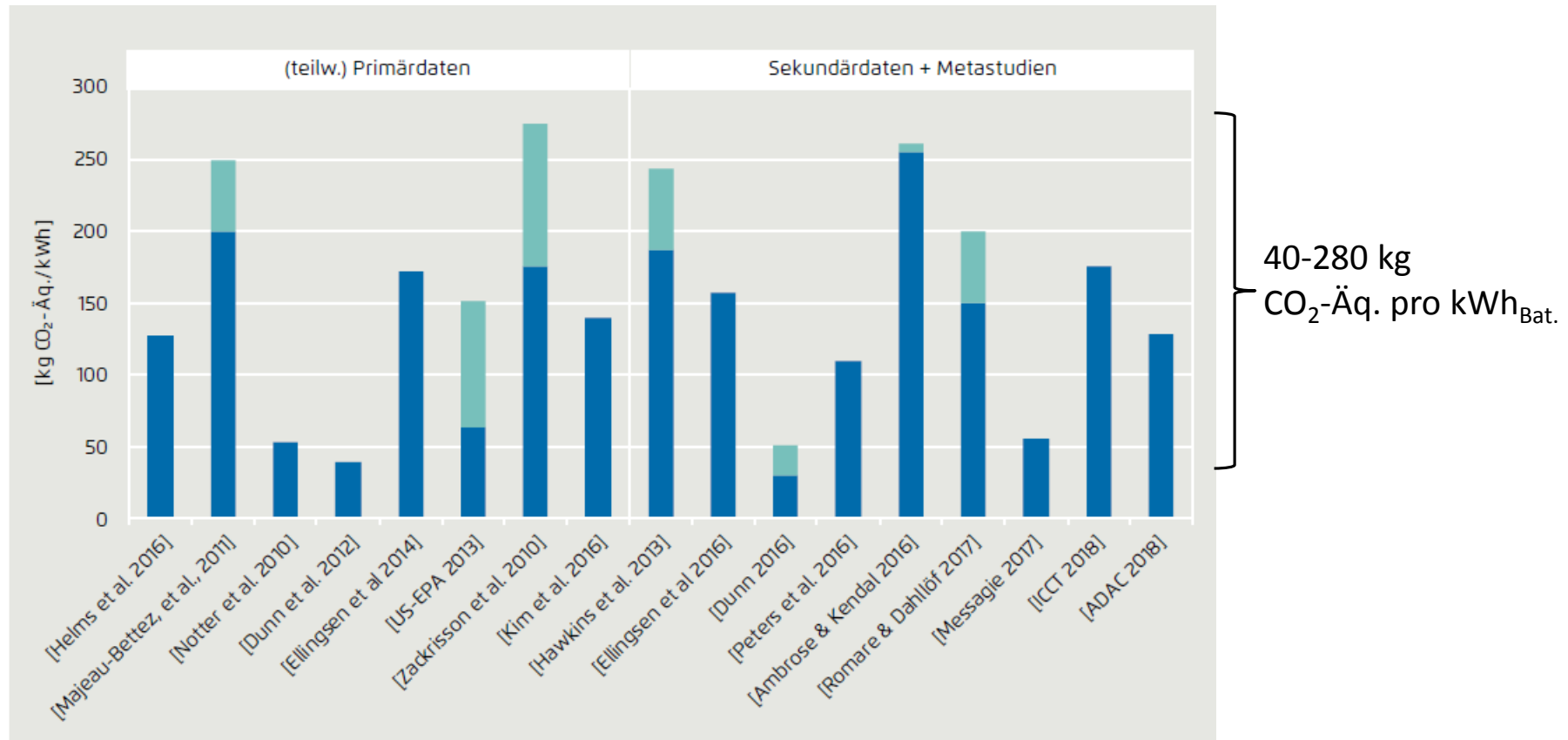
	[Notter et al. 2010]	[Hawkins et al. 2010]	[Daimler 2014]	[Bauer et al. 2015]	[Helms et al. 2016]	[Ellingsen et al. 2016]	[Mierlo et al. 2017]	[Cheron et al. 2017]	[Messaggio 2017]	[ICCT 2018]	[ADAC 2018]
Treibhausgas-emissionen (g CO ₂ e/km)	162	197	150	210	199	146	51	105	90	130	150
Fahrzeug-klasse	Hohe Fahrleistung sorgen für eine besonders gute „Abschreibung“ der Batterieherstellung Realitätsnahe Verbräuche liegen in der Regel höher als Werte aus dem Testzyklus NEFZ										
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

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)											
Zell-chemie	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										

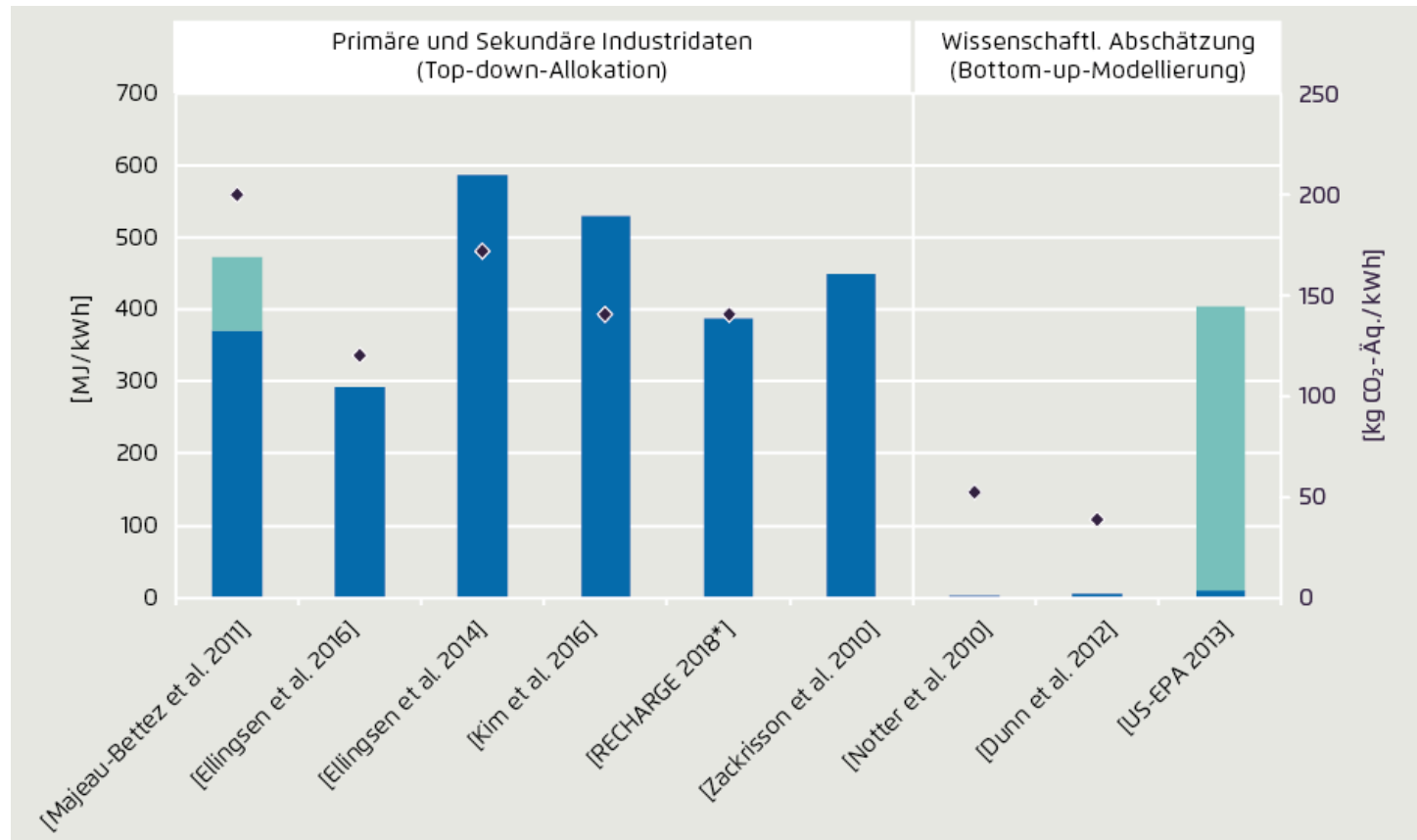
Metastudie - Bandbreite der Ergebnisse zur Batteriebilanz

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

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)

Beispielfahrzeug der Kompaktklasse (ähnlich VW Golf)

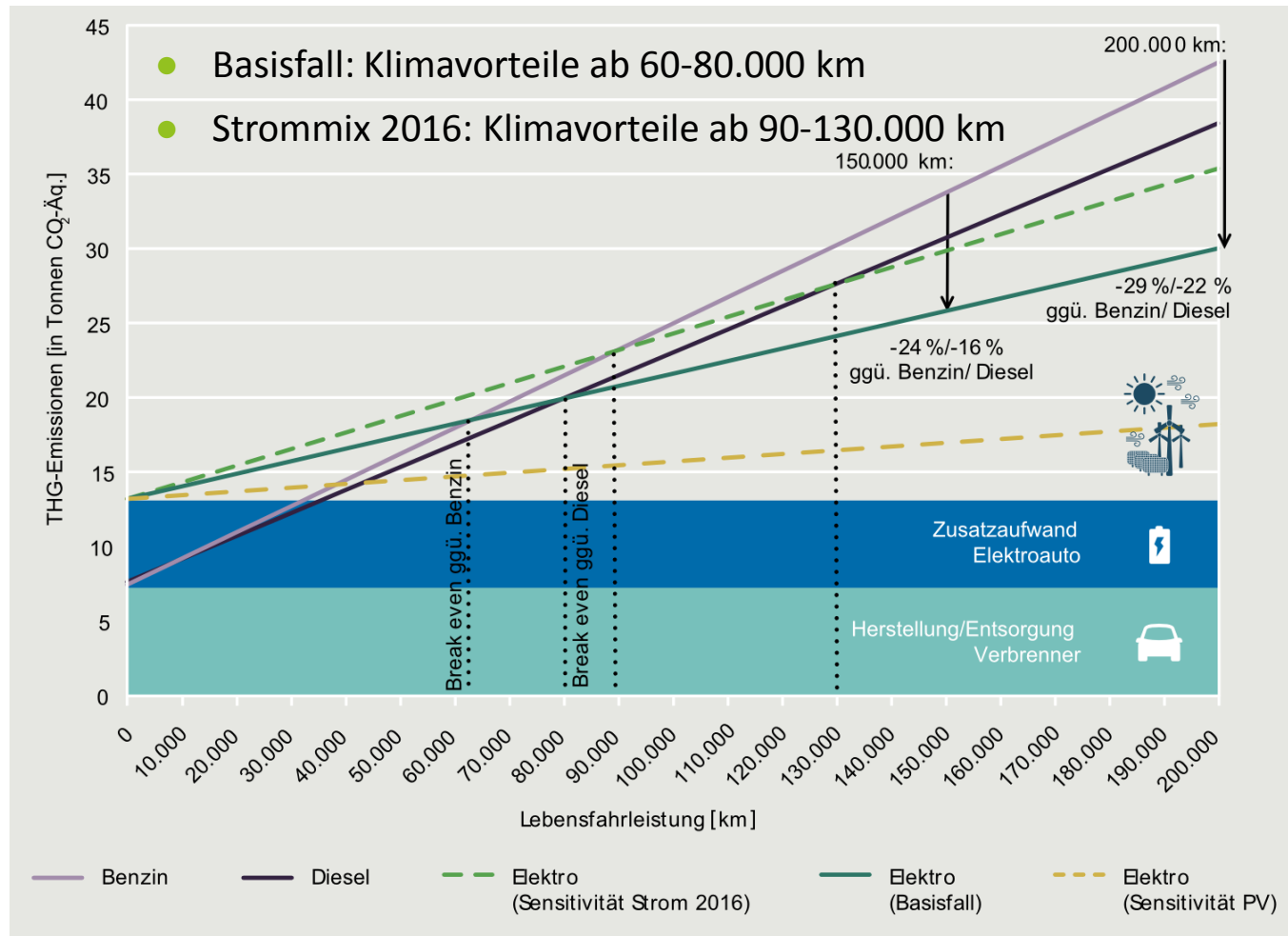
- Gemischte Nutzung: 16,0 kWh/100 km (+ 15% Ladeverluste); Benzin: 5,9 l/100 km; Diesel 4,7 l/100 km)*
- Ladestrom: Durchschnitt 2018-2030**: 421 g CO₂-Äq./ kWh

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

Sensitivitätsanalyse - Heutige Klimabilanz von Elektroautos



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

Sensitivitätsanalyse - Einfluss des Nutzungsmusters



Durchschnittsbetrachtung unzureichend, denn häufig werden Elektroautos als Zweitwagen oder Stadtfahrzeuge diskutiert

Abhängig vom Nutzungsmuster können sich Parameter ändern

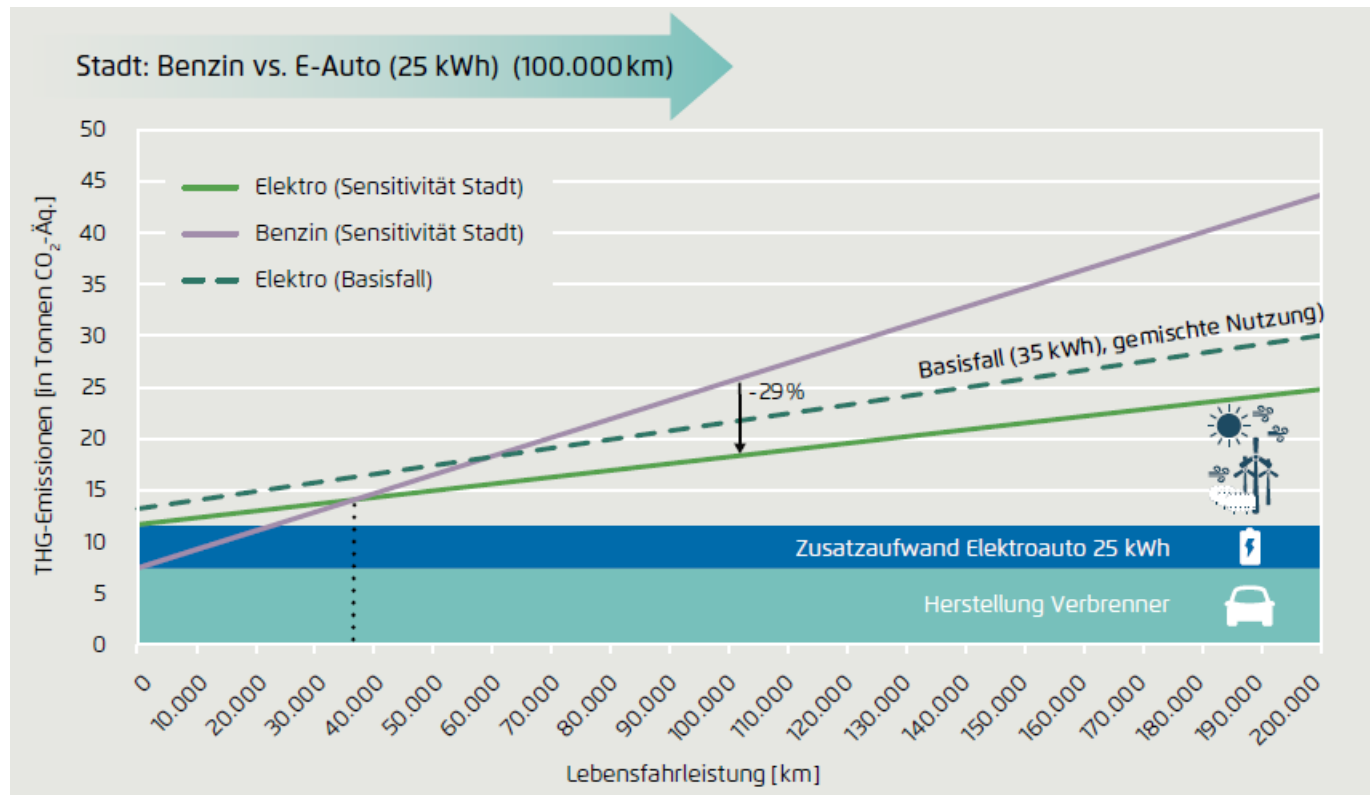
- **Batteriekapazität:** Im Stadtverkehr geringere Reichweiten (= Batteriekapazität) benötigt als im Fernverkehr
- **Lebensfahrleistung:** Lebensfahrleistungen sind im Stadtverkehr in der Regel jedoch auch geringer (= schlechtere „Abschreibung“)
- **Fahrmuster:** Im Stadtverkehr besonders großer Effizienzvorteil von Elektrofahrzeugen ggü. Verbrennern

„Sensitivität Stadt“ mit 25 kWh-Batterie

- Durch geringeres Gewicht und Stadtprofil nur 12 kWh/100 km*
- Lebensfahrleistung wird aber nur mit 100.000 km angenommen

Sensitivitätsanalyse - Stadtfahrzeuge / Zweitwagen

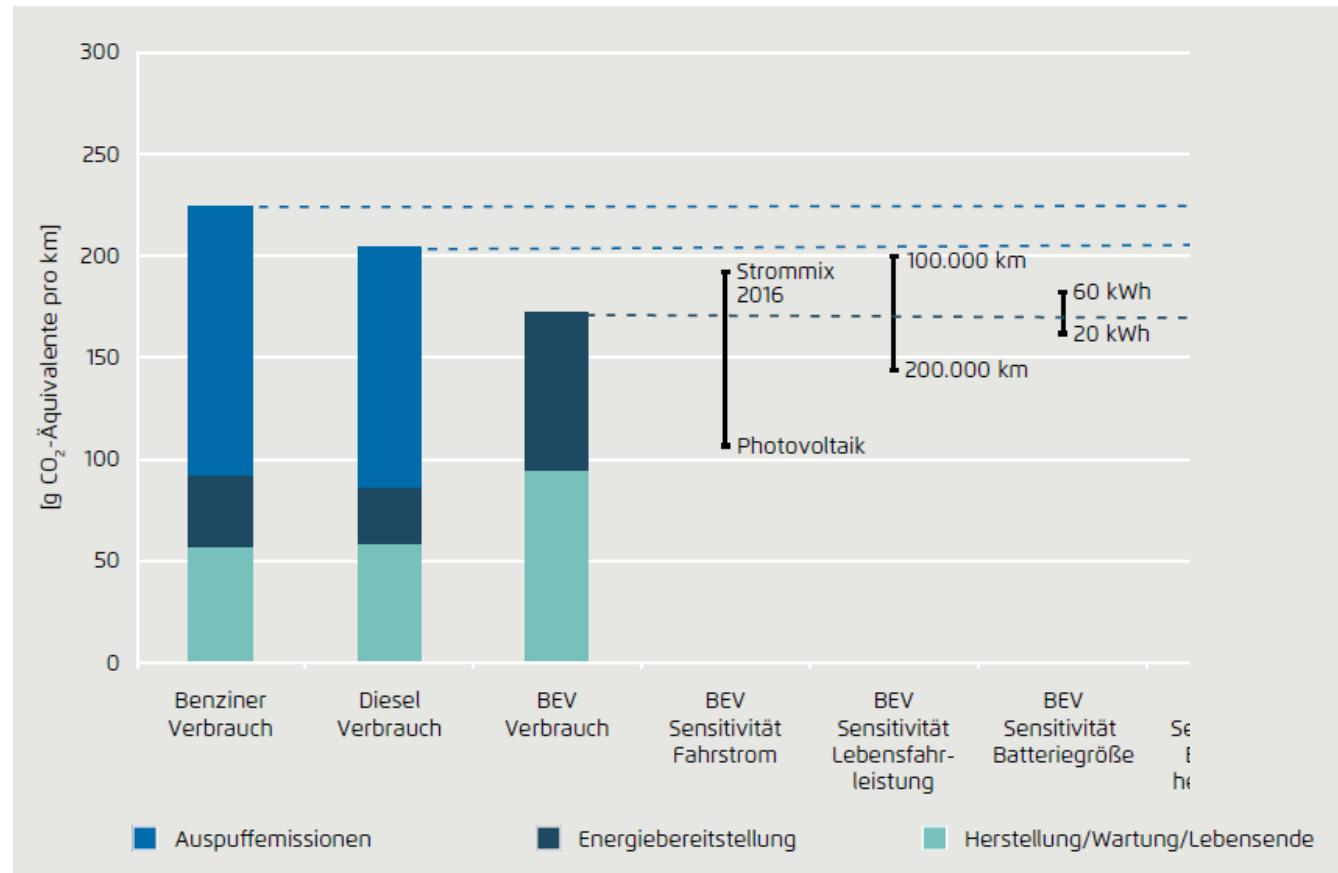
Klimavorteile für angepasste Stadtfahrzeuge deutlich früher
Damit auch bei niedrigen Lebensfahrleistungen sinnvoll



- Klimavorteil bereits ab 40.000 km
- Nach 100.000 km bereits fast 30% THG-Reduktion

Sensitivitätsanalyse - Einfluss zentraler Parameter auf die Bilanz

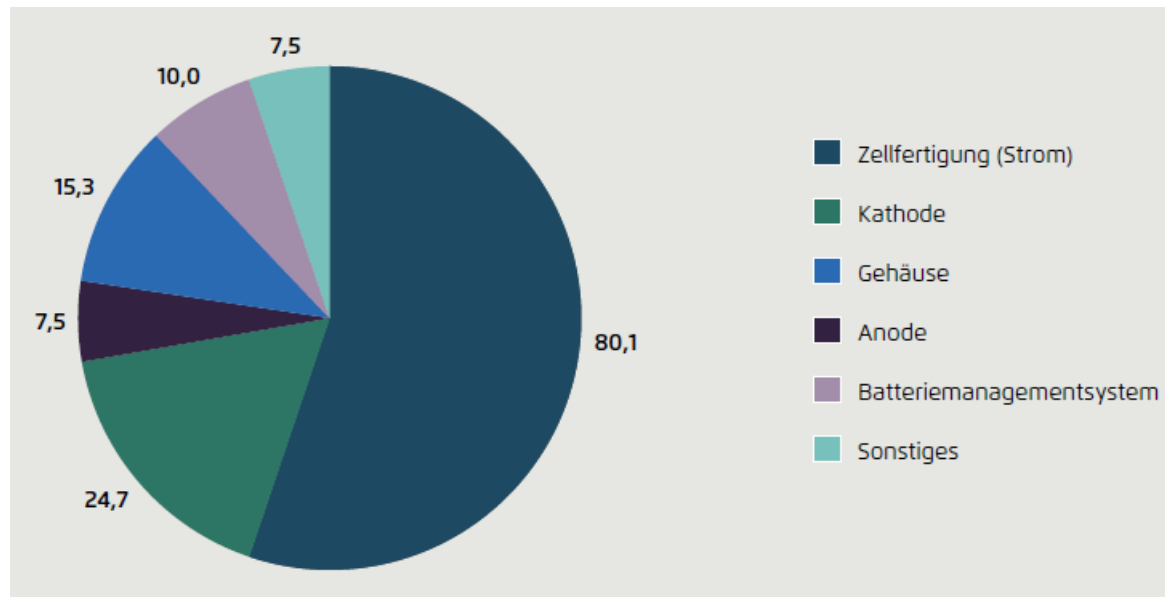
Bilanz nach 150.000 km: Deutlicher Einfluss von Ladestrom und Nutzungsintensität



- Weitere Stellschrauben bei der Batterie?

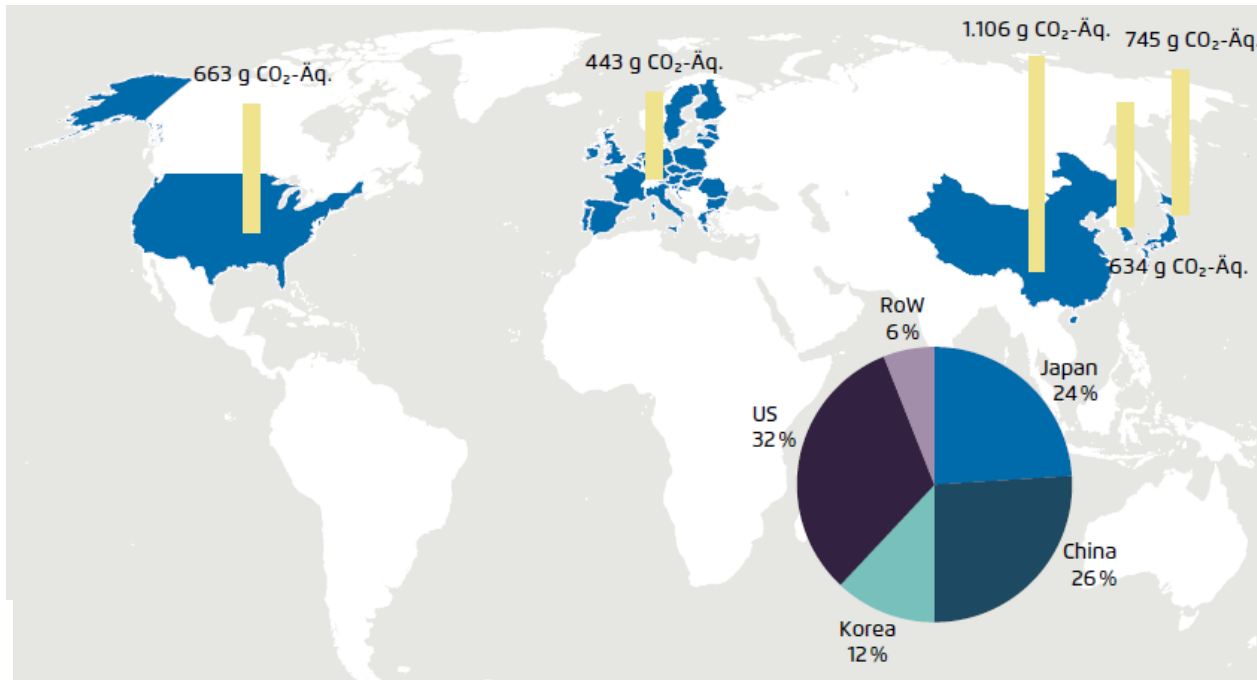
Sensitivitätsanalyse - Parameter der Batteriebilanz

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



Sensitivitätsanalyse - Parameter der Batteriebilanz

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



Ø 800 g CO₂-Äq./kWh

Sensitivitätsanalyse - Wo liegen die Verbesserungspotenziale?



Vorrangig intensive Nutzung in städtischen Gebieten!

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

Ausblick

-

Verbesserungspotenzial der Klimabilanz bis 2030

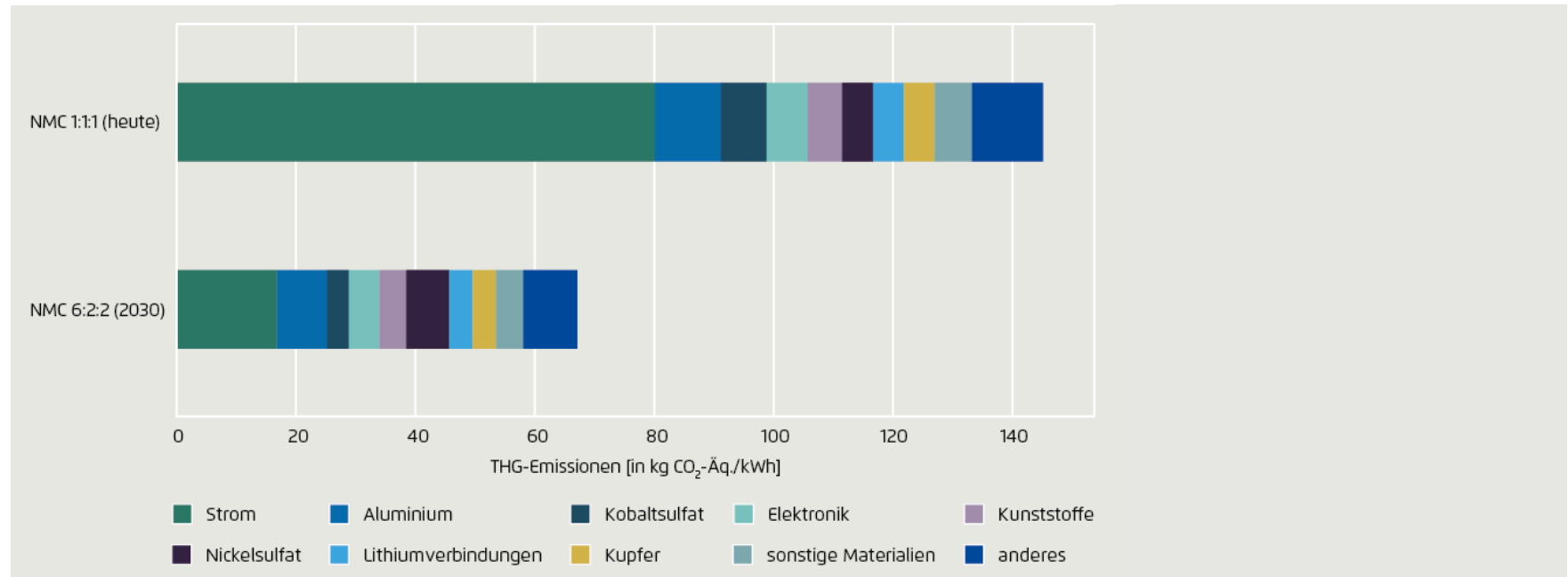
Verbesserungen in der Nutzungsphase

- Ladestrom: Integral für Szenario 2030-2042* (296 g CO₂-Äq./kWh)
- Verbrauchsentwicklung bis 2030 nach TREMOD:
-12% für BEV und ICEV
- Verringerung der Ladeverluste von 15% auf 10%

Verbesserungspotenzial bei der Batterieherstellung 2030

- Energieeffiziente Produktion (50 kWh_{el} pro kWh_{Batterie})
- Fertigung mit EU Strommix 2030
- Zellchemie (NMC 6-2-2-Zellen) mit 150 Wh/kg auf Systemebene

Ausblick - Szenario für 2030

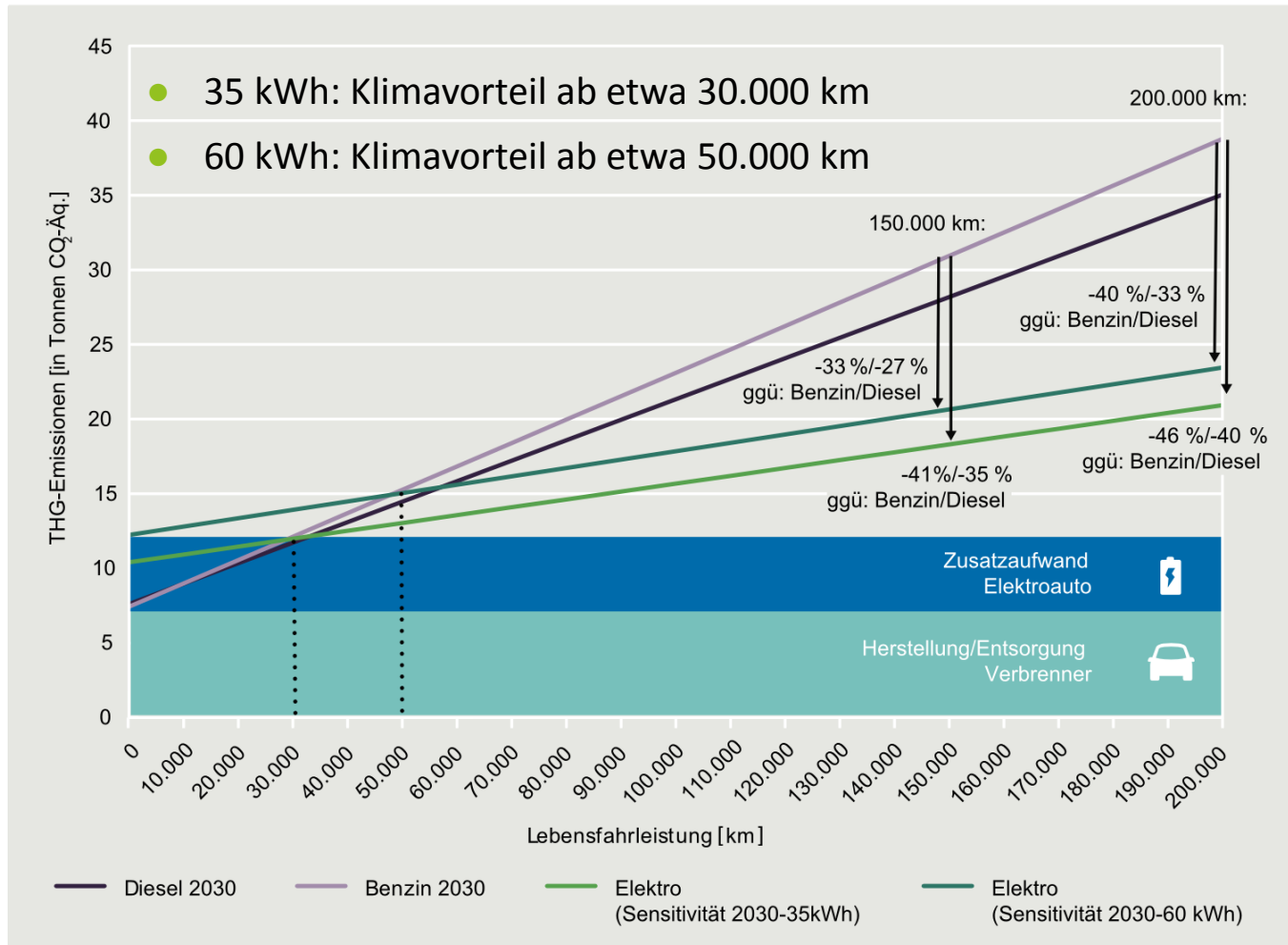


➤ Damit ist mittelfristig eine Halbierung der Batteriebilanz von heute 145 kg auf 67 kg möglich

Steigende Reichweiten könnten Verbesserungen kompensieren

- Sowohl 35 kWh und 60 kWh Batteriekapazität betrachtet

Potenzielle Klimabilanz 2030



Was bleibt zu tun?

Vertiefung:

- Jeder relevante Bereich des Lebensweges bedarf einer tiefergehenden Analyse und Diskussion
- **Breite Diskussion mit Stakeholdern sinnvoll**

Aktualisierung:

- Die Entwicklung (technisch, Rahmenbedingungen und Datenverfügbarkeit) schreitet sehr schnell voran
- **Monitoring der Klimabilanz**



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!

