

# ELEKTROAUTOS IM VERKEHRSSYSTEM - STAND UND PERSPEKTIVEN -



Prof. Dr.-Ing. Benedikt Schmülling  
Lehrstuhl für Elektromobilität und  
Energiespeichersysteme  
Wuppertal, 17. April 2017

# Gliederung

- Einleitung
- Aktueller Stand
- Zukünftige Perspektiven

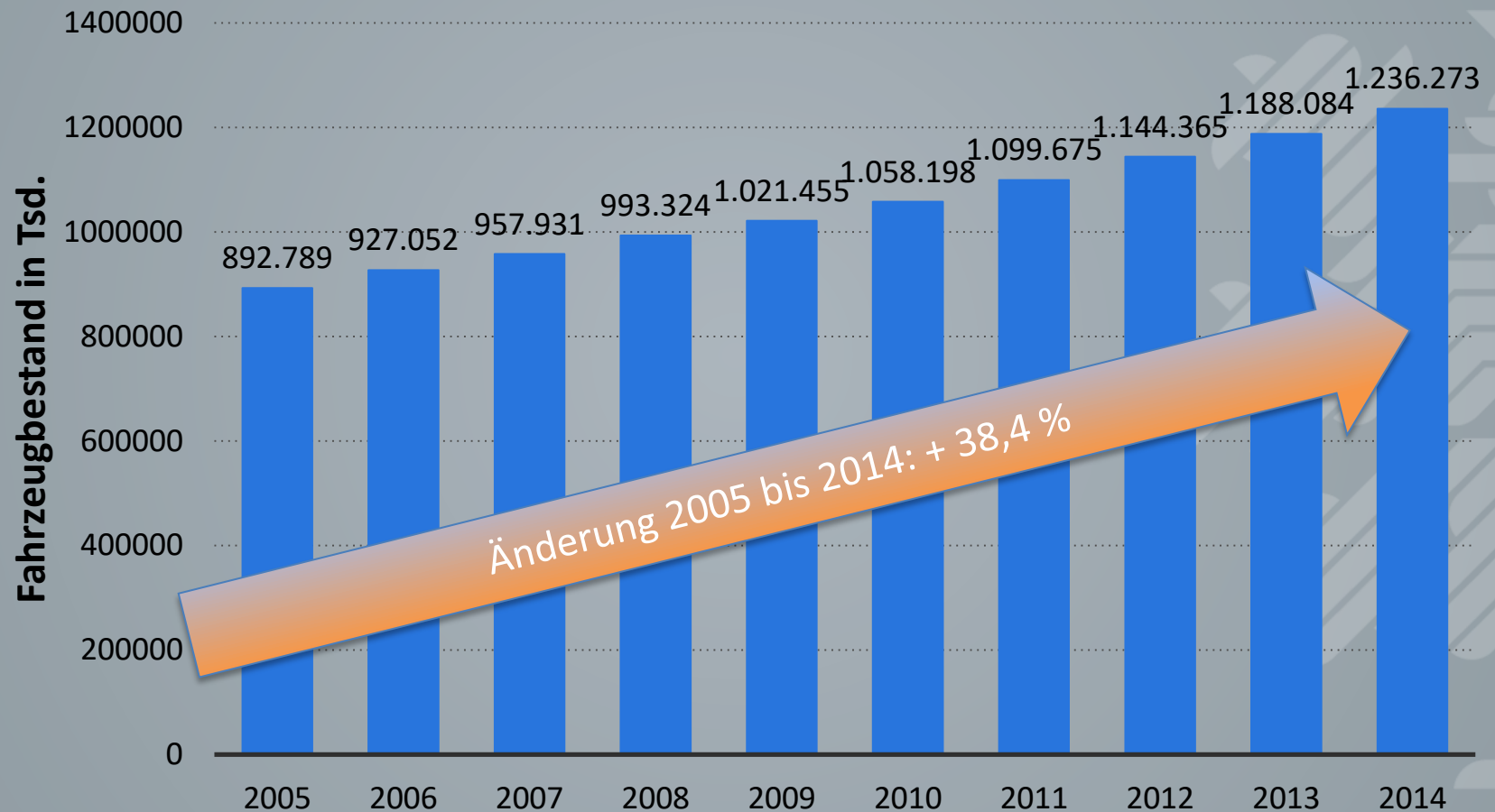


# Gliederung

- Einleitung
- Aktueller Stand
- Zukünftige Perspektiven

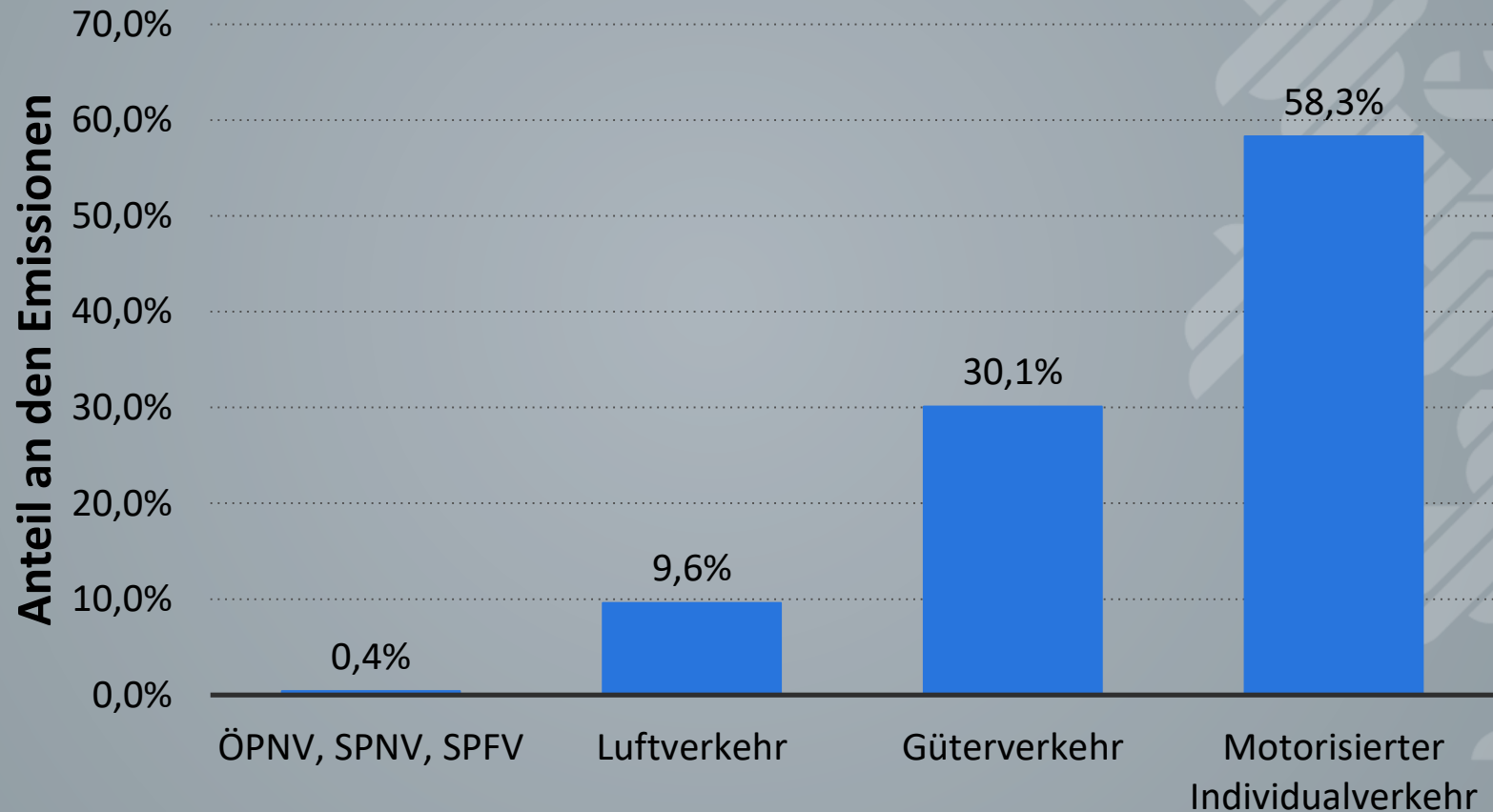


# Weltweiter Fahrzeugbestand



Quelle: OICA. n.d. Anzahl registrierter Kraftfahrzeuge weltweit in den Jahren 2005 bis 2014 (in 1.000). Statista. Zugriff am 27. März 2017. Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/244999/umfrage/weltweiter-pkw-und-nutzfahrzeugbestand/>.

# CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Verkehrssektor in Deutschland (2013)



Quelle: BAG-SPNV. n.d. *Verteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den deutschen Verkehr im Jahr 2013 nach Verkehrsträgern*. Statista. Zugriff am 27. März 2017. Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/13150/umfrage/co2-emissionen-im-deutschen-personenverkehr/>.

# Die EU-Ziele für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß

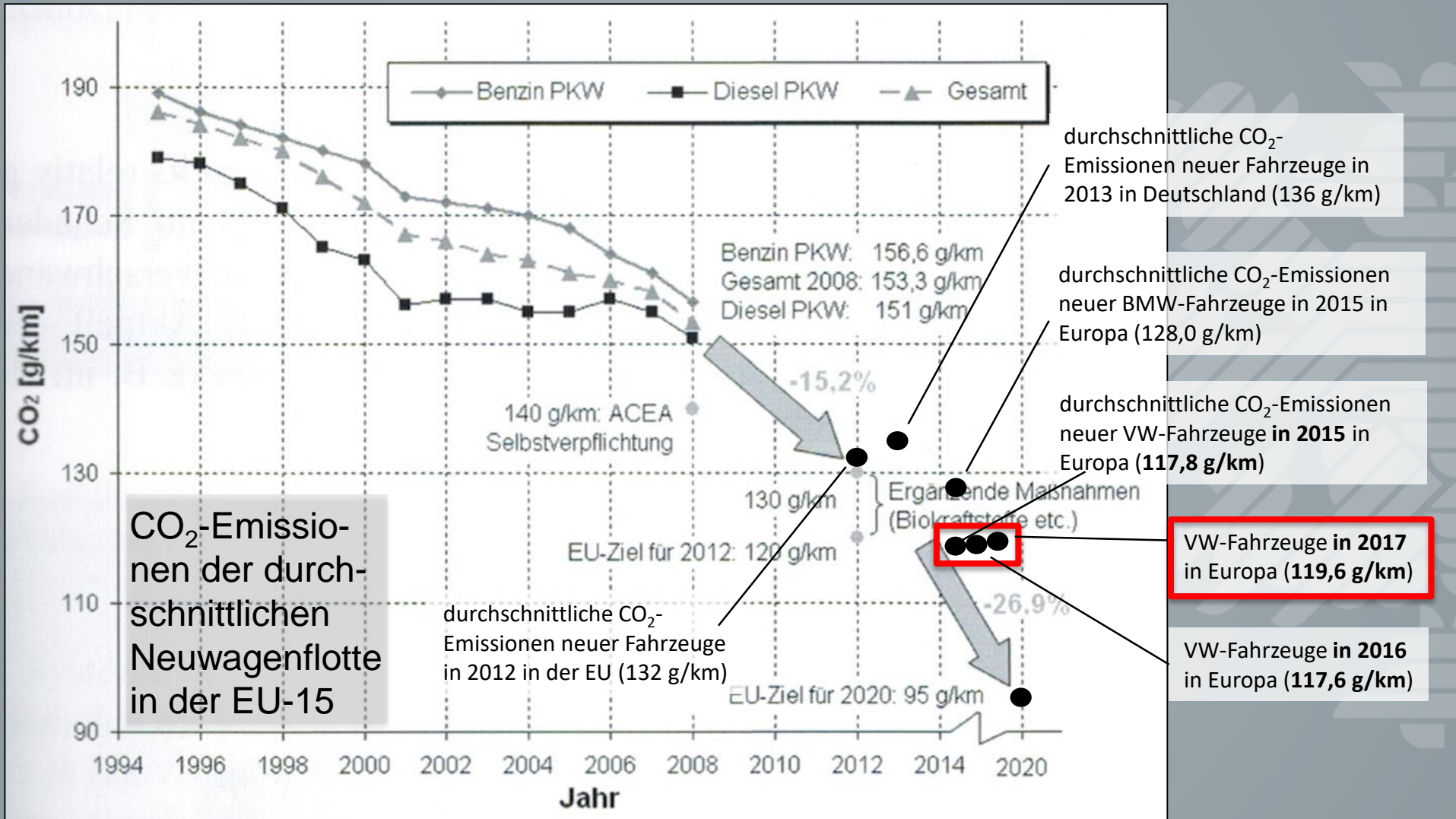


Bild: EU Kommission  
Quelle weitere Daten: statista.de und jato.com

# Dieselbetriebene Pkw-Modelle der Abgasnorm Euro 6 mit den höchsten Überschreitungen des in Deutschland erlaubten Stickoxidausstoßes (NO<sub>x</sub>, 80 mg/km) im Jahr 2016

	Laborwert (in mg/km)	Straßenwert (in mg/km)	Überschreitung (in Prozent)
Dacia Sandero 1.5 l	46	1025	1181
Ford C-Max 2.0 l	79	481	501
Ford C-Max 1.5 l	79	437	446
Hyundai i20 1.1 l	42	635	694
Jaguar XE 2.0 l	45	594	642
Mercedes V 250 2.1	40	313	291
Opel Zafira 1.6 l	74	720	800
Opel Insignia 2.0 l	45	637	696
Porsche Macan 3.0 l	58	791	889
Renault Kadjar 1.5 l	21	1164	1355
Renault Kadjar 1.6 l	24	1061	1226
Suzuki Vitara 1.6 l	30	1122	1303

Quelle: SZ. n.d. *Dieselbetriebene Pkw-Modelle der Abgasnorm Euro 6 mit den höchsten Überschreitungen des in Deutschland erlaubten Stickoxidausstoßes im Jahr 2016*. Statista. Zugriff am 27. März 2017. Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/674914/umfrage/stickoxid-ueberschreitungen-von-diesel-pkw-modellen-euro-6-in-deutschland/>.

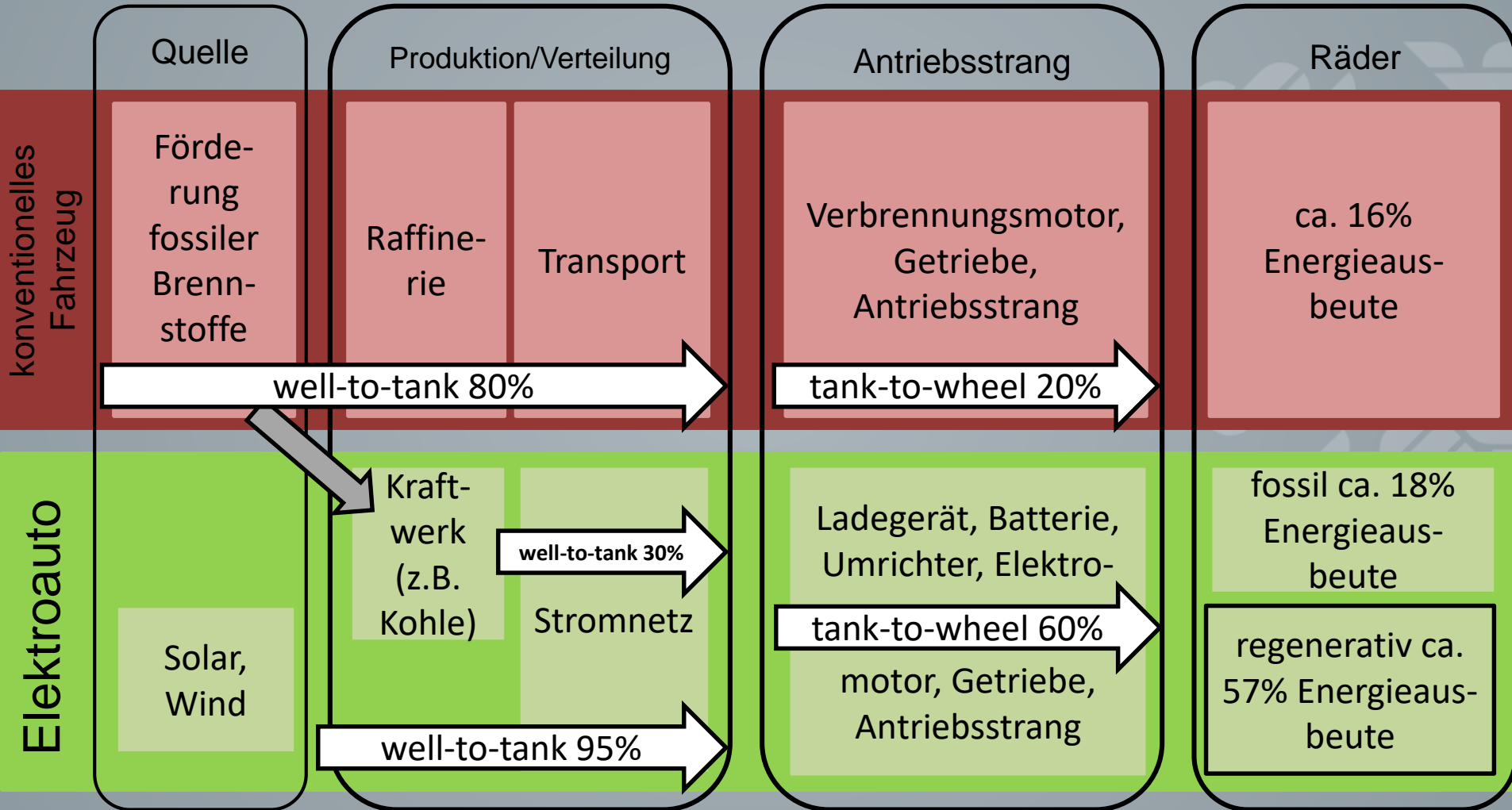
# Gliederung

- Einleitung
- **Aktueller Stand**
- Zukünftige Perspektiven





# Fahrzeugeffizienzen

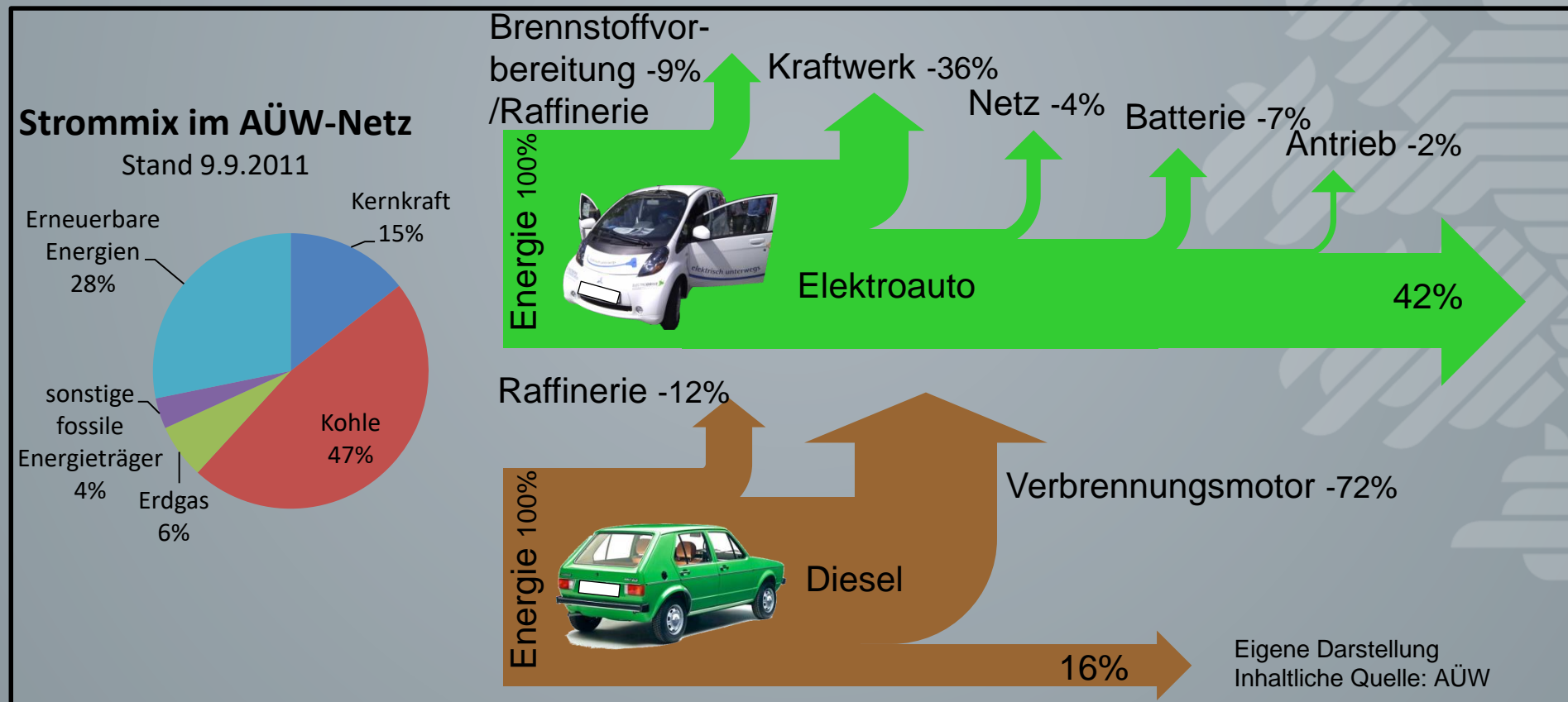


Eigene Darstellung

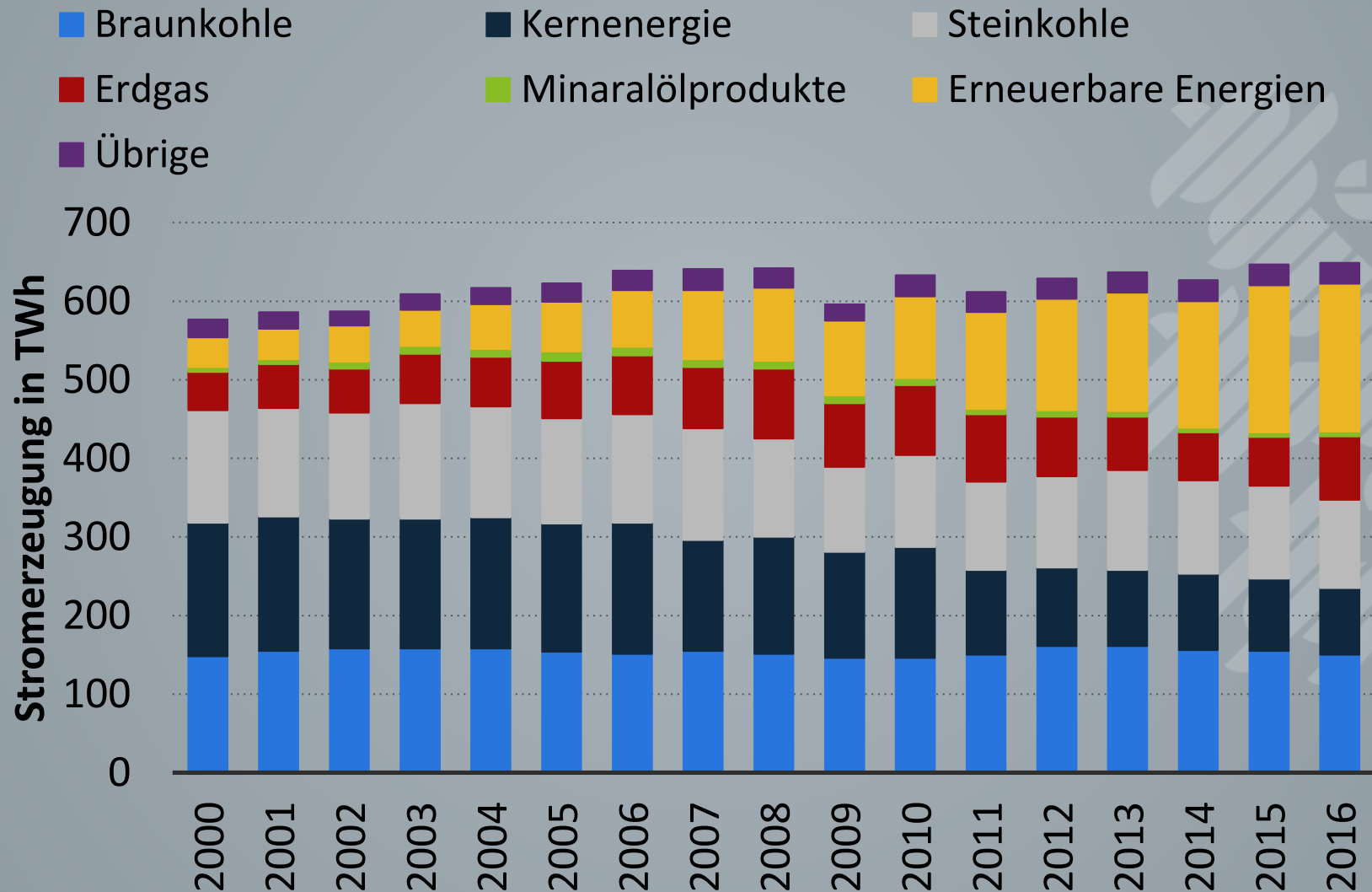
Inhaltliche Quelle: D. Schramm, M. Koppers – Antriebsvielfalt der Zukunft, 2011

# Effizienzbeispiel

- Well-To-Wheel Fazit: Energieausbeute bis zu 57% möglich bei Elektrofahrzeugen im Vergleich zu 16% bei konventionellen Kraftfahrzeugen.
- Beispiel: Elektrofahrzeuge im Netz der Allgäuer Überlandwerke (2011):



# Strommix in Deutschland



Quelle: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156695/umfrage/brutto-stromerzeugung-in-deutschland-nach-energietraegern-seit-2007/>

# Vergleich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes – eine Auswahl –

- Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Nissan-Neuwagen in 2016: **115,0 g/km**
- CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Nissan Leaf (250 km Reichweite, Strommix 2016): **80,0 g/km**
- CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Nissan Leaf (250 km Reichweite, **regenerativ geladen**): **4,0 g/km**
  
- Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Ausstoß der BMW-Neuwagen in 2016: **123,2 g/km**
- CO<sub>2</sub>-Ausstoß des BMW i3 (300 km Reichweite, Strommix 2016): **67,0 g/km**
- CO<sub>2</sub>-Ausstoß des BMW i3 (300 km Reichweite, **regenerativ geladen**): **3,0 g/km**
  
- **Und: kein Ausstoß von Stickoxiden oder anderen Abgasen am Fahrzeug.**

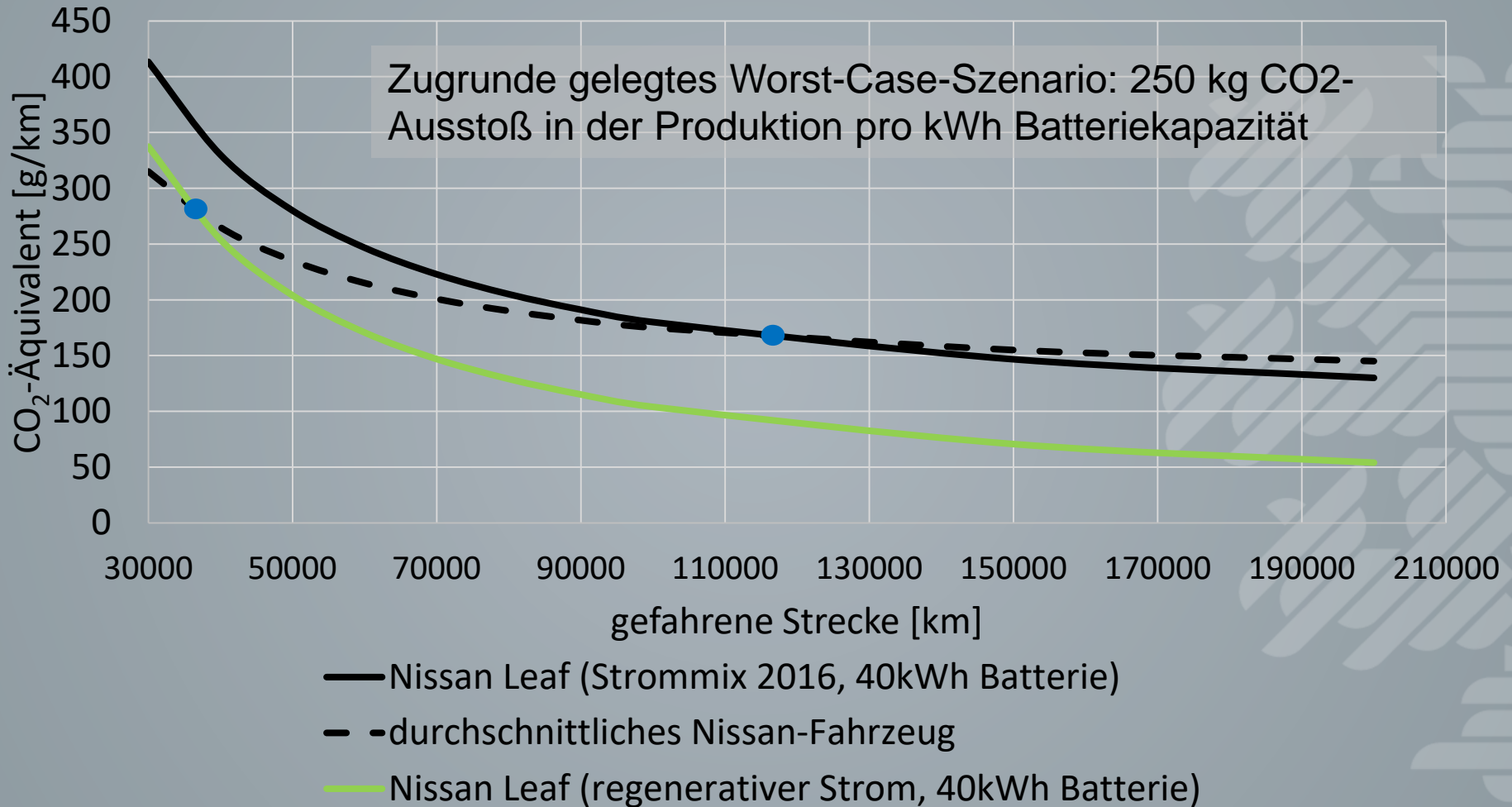
Quelle: JATO. n.d. Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Ausstoß der in Europa neu zugelassenen Pkw ausgewählter Marken in den Jahren 2011 bis 2016 (in Gramm pro Kilometer). Statista. Zugriff am 28. März 2017. Verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37413/umfrage/durchschnittlicher-co2-ausstoss-von-pkw-ausgewaehlter-marken/>

# Vergleich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes während des Produktionsprozesses

- Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei der Produktion von Elektroautos:  
**50 bis 250 kg pro kWh Batteriekapazität**
  - Nissan Leaf mit 24 kWh Batteriekapazität: **1,2 t – 6,0 t**
  - Nissan Leaf **2017** mit 40 kWh Batteriekapazität: **2,0 t – 10,0 t**
    - Reichweite ≈ 400km
  - BMW i3 mit 33 kWh Batteriekapazität: **1,6 t – 8,3 t**
- Durchschnittlicher CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei der Produktion von verbrennungsmotorischen Fahrzeugen: **6,0 t**

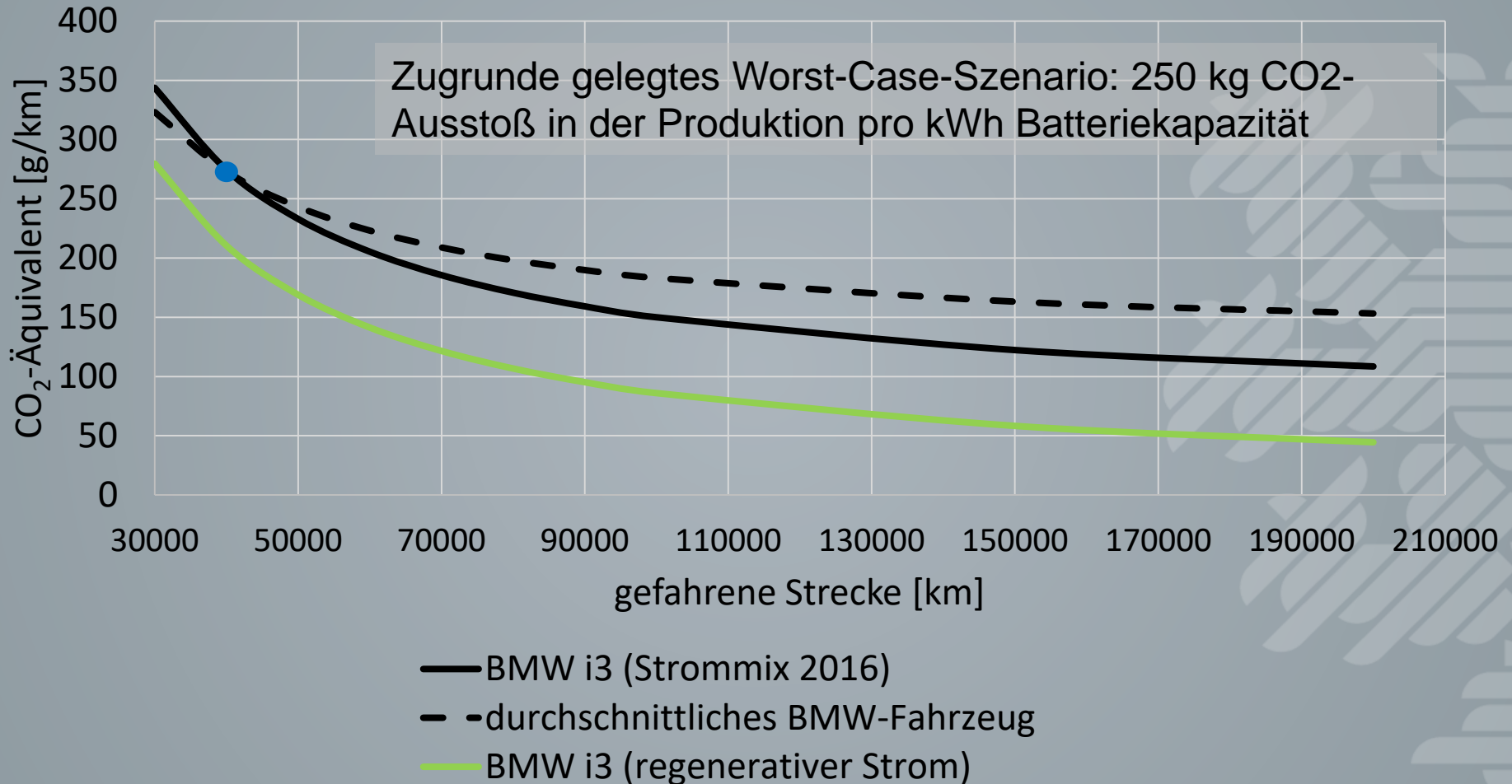
Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf: Antti Lajunen, „Evaluation of energy consumption and carbon dioxide emissions for electric vehicles in Nordic climate conditions“, 2018 Thirteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies, EVER 2018, pp. 1-7, Monaco, 10-12 April 2018.

# Vergleich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus



Quelle: Eigene Berechnungen teilweise basierend auf: Antti Lajunen, „Evaluation of energy consumption and carbon dioxide emissions for electric vehicles in Nordic climate conditions“, 2018 Thirteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies, EVER 2018, pp. 1-7, Monaco, 10-12 April 2018.

# Vergleich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus



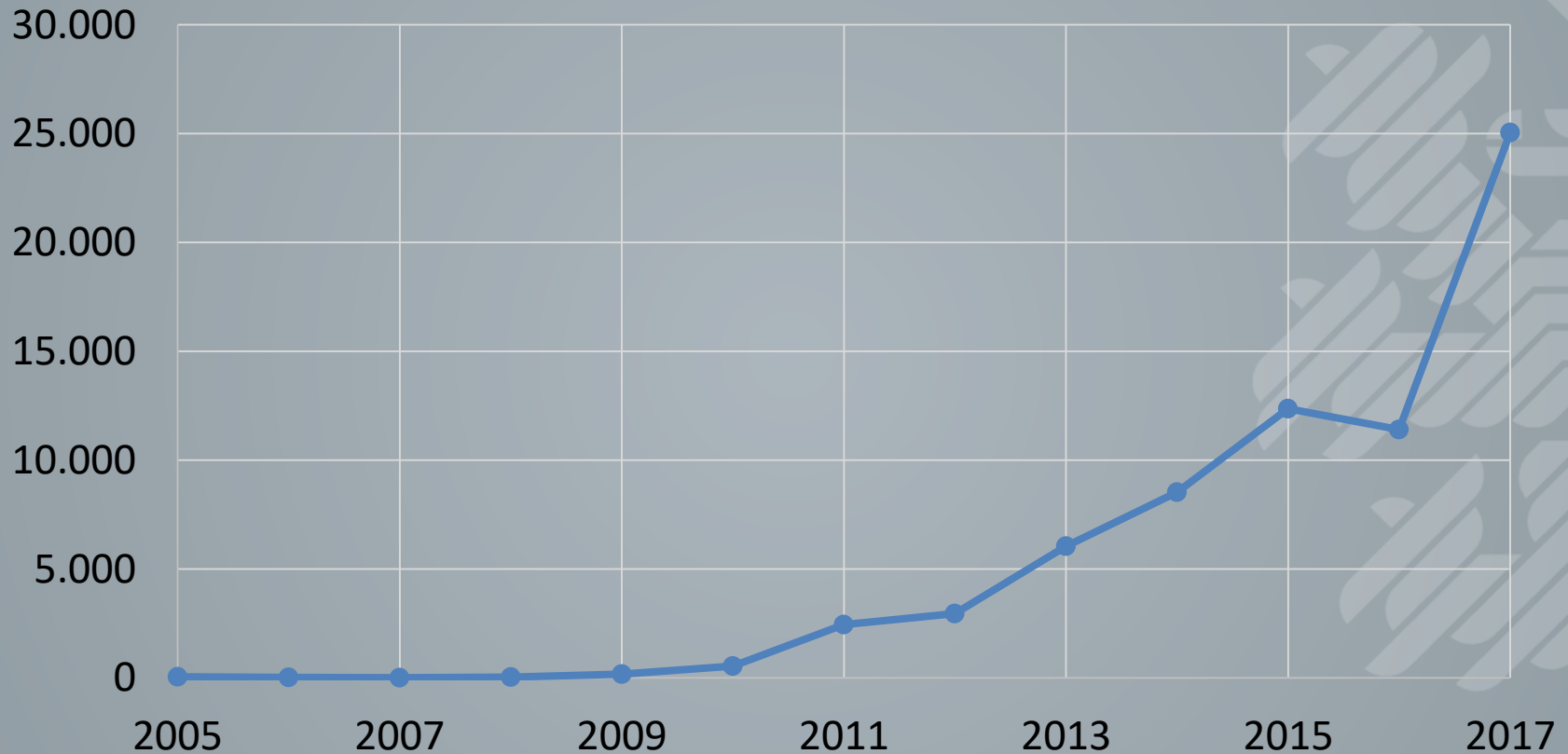
Quelle: Eigene Berechnungen teilweise basierend auf: Antti Lajunen, „Evaluation of energy consumption and carbon dioxide emissions for electric vehicles in Nordic climate conditions“, 2018 Thirteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies, EVER 2018, pp. 1-7, Monaco, 10-12 April 2018.

# Vergleich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus

- Ab ca. 115.000 km ist die Klimabilanz des Nissan Leaf (mit 40kWh Batterie) besser als die Klimabilanz eines durchschnittlichen Nissan-Neuwagens in 2016.
- Bei regenerativ erzeugtem Strom ist die Klimabilanz des Nissan Leaf ab ca. 37.000 km besser als die eines durchschnittlichen Nissan-Neuwagens in 2016.
- Ab ca. 40.000 km ist die Klimabilanz des BMW i3 besser als die Klimabilanz eines durchschnittlichen BMW-Neuwagens in 2016.
- Bei regenerativ erzeugtem Strom ist die Klimabilanz des BMW i3 ab ca. 19.000 km besser als die eines durchschnittlichen BMW-Neuwagens in 2016.
- Hier ist anzumerken, dass der durchschnittliche BMW-Neuwagen in 2016 wesentlich größer und schwerer als der BMW i3 gewesen sein dürfte.



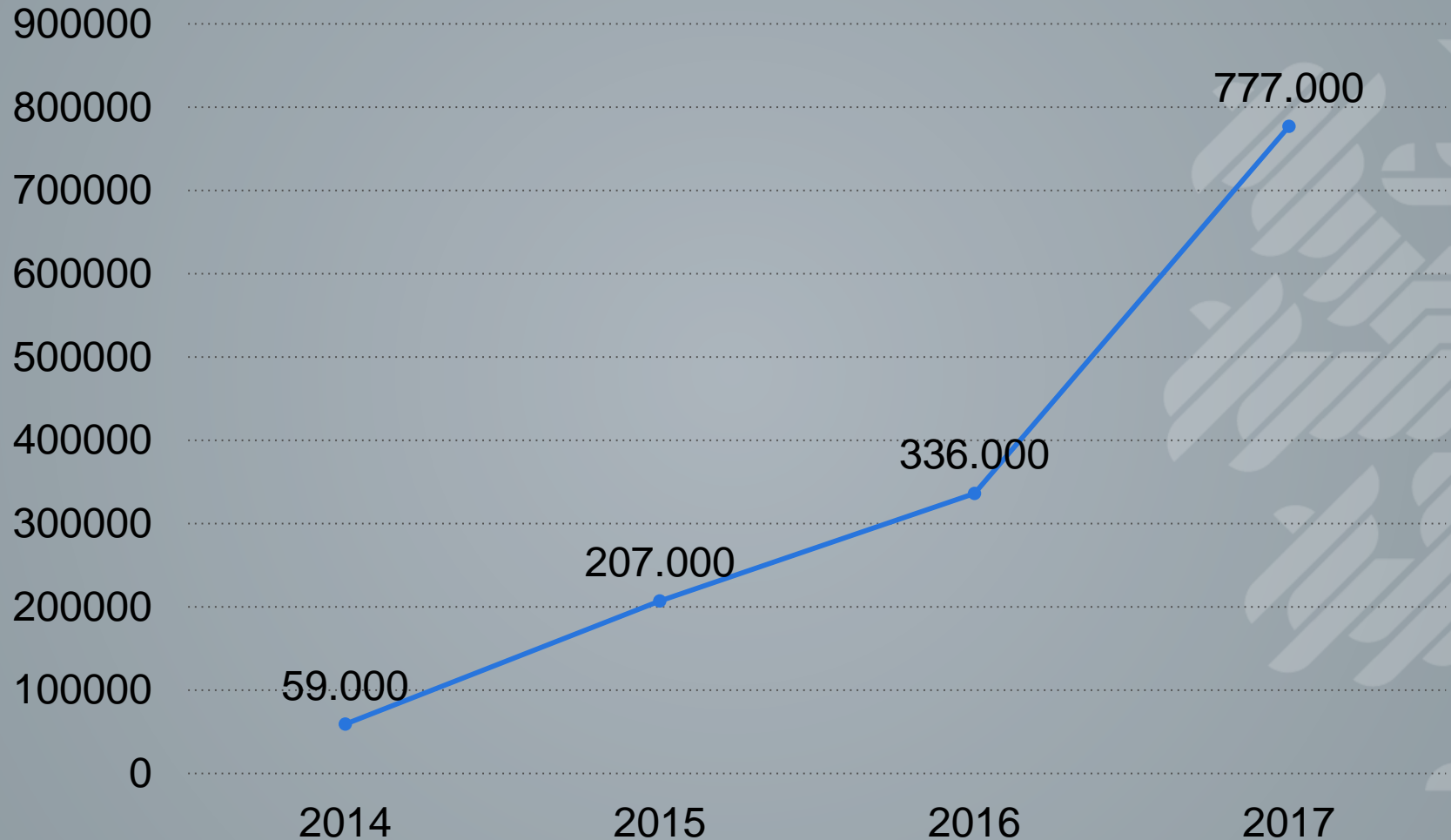
# Anzahl der Neuzulassungen von Elektroautos in Deutschland von 2003 bis 2017



Quelle: KBA. n.d. Anzahl der Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen in Deutschland von 2003 bis 2017.

Für 2018 bis zum 31.3.  $\approx$ 9100 Einheiten neu zugelassen.

# Anzahl der Neuzulassungen von Elektroautos in China 2014 bis 2017



Quelle: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/506513/umfrage/anzahl-der-abgesetzten-elektrofahrzeuge-in-china/>

# Gliederung

- Einleitung
- Aktueller Stand
- Zukünftige Perspektiven





# Wie entwickelt sich der Preis?



- Bisheriger Stand:
  - Kosten Mitsubishi i-MieV 2012: ca. 35.000€.
  - Batteriekosten Mitsubishi i-MieV 2012: ca. 15.000€
  - **Damit lag der Anteil der Batterie am Preis bei ca. 43%.**

Quelle: <http://www.taxi-heute.de/Das-bundesweite-Taxi-Magazin/9438/Artikel/Mitsubishi-i-MiEV-Was-kann-der-Elektro-Zwerg>, abgerufen am 30.3.2017

- Fazit: Die Batterie ist der Kostentreiber.



Bild: eigenes Foto

- McKinsey 2017: von 2010 bis 2016 fielen die Preise um etwa 80 Prozent von etwa 1000 \$/kWh auf 227 \$/kWh.
- Preis 2020 -> 190 \$/kWh; Preis 2030 -> unter 100 \$/kWh.
- Tesla 2016 wahrscheinlich unter 190 \$/kWh ca. 2016, Dezember 2017 womöglich 150 \$/kWh.
- Blomberg 209 \$/kWh, 2025 -> 100 \$/kWh
- GTM/ Wood Mackenzie rechnen für 2018 mit 207 \$/kWh und einem Preis von 144 \$/kWh in 2018.

## Quellen:

[www.mckinsey.de/files/161223\\_mckinsey\\_e-vehicles.pdf](http://www.mckinsey.de/files/161223_mckinsey_e-vehicles.pdf)

[www.cleantechnica.com/2017/12/11/batteries-keep-getting-cheaper](http://www.cleantechnica.com/2017/12/11/batteries-keep-getting-cheaper)

[www.bloomberg.com/news/articles/2017-12-05/latest-bull-case-for-electric-cars-the-cheapest-batteries-ever](http://www.bloomberg.com/news/articles/2017-12-05/latest-bull-case-for-electric-cars-the-cheapest-batteries-ever)

[www.utilitydive.com/news/not-so-fast-battery-prices-will-continue-to-decrease-but-at-a-slower-pace/518776/](http://www.utilitydive.com/news/not-so-fast-battery-prices-will-continue-to-decrease-but-at-a-slower-pace/518776/)

# Tesla als „unbekannte“ Größe?

## Tesla Gigafactory – aktuell im Bau (erste Zellfertigung seit 4.1.2017 in Betrieb)



Stand August 2017;  
Baubeginn 2014.  
Anfang 2018 etwa zu 30%  
fertiggestellt.

Bild: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gigafactory\\_1#/media/File:Tesla%27s\\_Gigafactory\\_on\\_2017-08-08\\_by\\_Planet\\_Labs.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Gigafactory_1#/media/File:Tesla%27s_Gigafactory_on_2017-08-08_by_Planet_Labs.jpg),  
abgerufen am 17.4.2018

Quelle: [www.electrek.co/2017/07/15/elon-musk-tesla-gigafactory-us/](http://www.electrek.co/2017/07/15/elon-musk-tesla-gigafactory-us/)  
[www.teslarati.com/tesla-gigafactory-1-solar-rooftop-array/](http://www.teslarati.com/tesla-gigafactory-1-solar-rooftop-array/)

# Tesla Modell 3

- Tesla Modell 3, Auslieferung seit 2017
  - Preis 35.000 \$

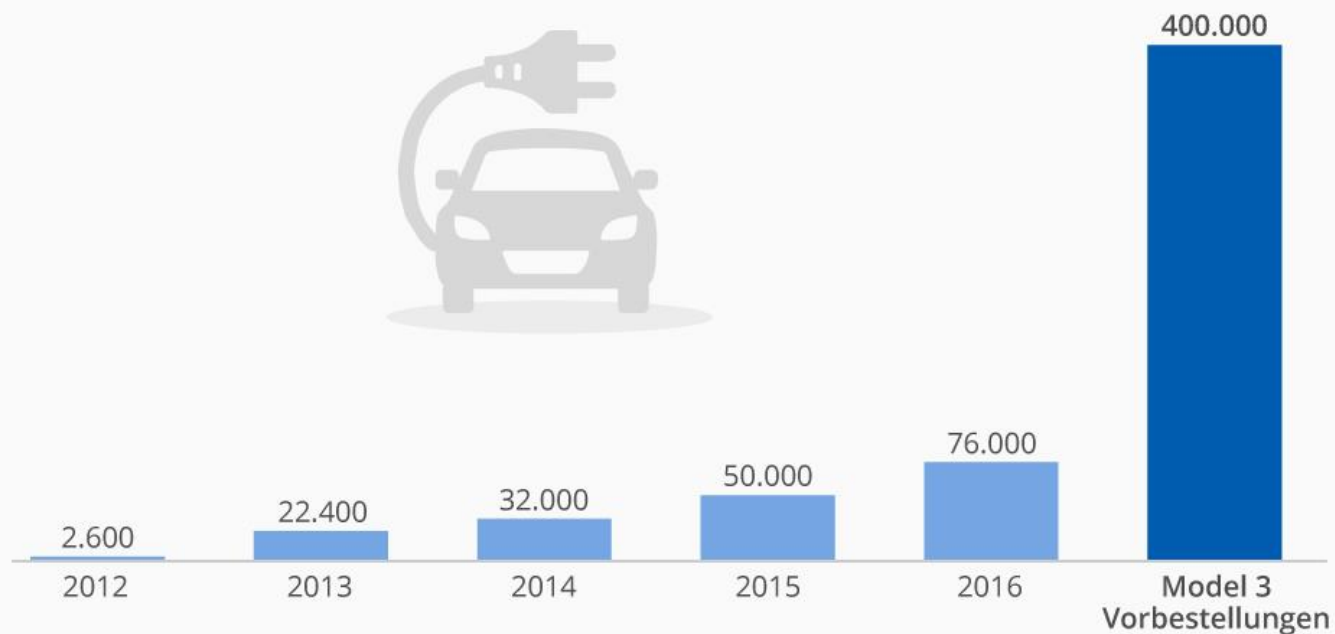


Bild: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tesla\\_Model\\_3\\_parked,\\_front\\_driver\\_side.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tesla_Model_3_parked,_front_driver_side.jpg), abgerufen am 17.4.2018



## Ist Tesla bereit für den Massenmarkt?

Jährliche PKW-Auslieferungen von Tesla im Vergleich zu den Model 3 Vorbestellungen



@Statista\_com

Quellen: Tesla, Medienberichte

statista

Quelle: <https://de.statista.com/infografik/8536/tesla-pkw-auslieferungen/>, abgerufen am 29.3.2017

# Tesla Modell 3

- Tesla Modell 3
  - Auslieferung Q2 2017: 0 Einheiten
  - Auslieferung Q3 2017: 220 Einheiten
  - Auslieferung Q4 2017: 1150 Einheiten
  - Auslieferung Q1 2018: 8180 Einheiten
  - Auslieferung Q2 2018: .... ???

Quelle: Tesla Motors

# Und was ist mit der Reichweite?



Die meisten Elektrofahrzeuge der Neuzeit lassen sich bisher grob in drei Kategorien einteilen.

## Kategorie 1 – dominierend bis ca. 2012:

- Kleinserienfahrzeuge und Umrüstungen
  - E-Wolf
  - Karabag 500E
  - Mia
- Reichweiten: **ca. 80-120km**
- Technologie entspricht nicht den automobilen Großserienstandards, wie sie z.B. bei den OEM (große Automobilhersteller) oder namhaften Zulieferern üblich sind.
- Technisch nicht ausgereift aber zu ihrer Zeit die einzig verfügbare Alternative wenn man elektromobil sein wollte.

i.d.R. nicht  
schnellladefähig!

Die meisten Elektrofahrzeuge der der Neuzeit lassen sich bisher grob in drei Kategorien einteilen.

## Kategorie 2 – dominierend ab ca. 2013:

- Erste Fahrzeuge der großen OEM
  - Renault Zoe, Twizy,
  - Mitsubishi i-MieV
  - BMW i3 (siehe Abb.)
  - VW E-Golf
- Reichweiten: **im Mittel ca. 130-190km**
- Technologie entspricht den automobilen Großserienstandards
- Technisch viel weiter ausgereift
- Sehr teuer durch teure Komponenten (z.B. Batterien), durch neue Fertigungstechnologien und kleinere Stückzahlen (im Vergleich zu Verbrennern)



Bild: [https://de.wikipedia.org/wiki/BMW\\_i3](https://de.wikipedia.org/wiki/BMW_i3), abgerufen am 30.3.2017

Die meisten Elektrofahrzeuge der Neuzeit lassen sich bisher grob in drei Kategorien einteilen.

## Kategorie 3 – ab ca. 2017:

- Zweite Fahrzeuggeneration der OEM
  - Audi e-tron quattro concept
  - Renault Zoe 2017
  - Hyundai Ioniq Elektro
  - Nissan Leaf 2017 (siehe Abb.)
- Reichweiten: **im Mittel ca. 300-500km**
- Reichweitenerhöhung durch erhöhte Batteriekapazität (möglich durch Technologieverbesserung und die gesunkenen Kosten)



Bild:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nissan\\_Leaf\\_ZE1\\_Nissan\\_Global\\_Headquarters\\_Gallery\\_2017-08\\_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nissan_Leaf_ZE1_Nissan_Global_Headquarters_Gallery_2017-08_1.jpg) , abgerufen am 17.4.2018

# Fazit

- Auch wenn der „Hype“ der letzten Jahre etwas abgeflacht ist: **Es bewegt sich sehr viel!**
- Elektromobilität wird zunehmend kostengünstiger, umweltfreundlicher und auch komfortabler (z.B. durch die höhere Reichweite).
- Plug-In Hybride ermöglichen den „leichten“ Einstieg in die Elektromobilität ohne die Abweichung von wesentlichen bisherigen Gewohnheiten.

- Die Technologieentwicklungen, die im Rahmen der Elektromobilität erfolgt sind und erfolgen, ermöglichen auch andere Verbesserungen:
  - Z.B. Energieversorgung: Sinkende Batteriekosten und die Einbindung von Batterien in das Stromnetz ermöglichen die einfachere Nutzung regenerativer Energiequellen und führen zu einer Vermeidung des Netzausbaus.
  - Z.B. O-Busse: Eigentlich ein „Relikt vergangener Zeiten“, nun hochflexibel - wahlweise Fahrt unter Leitungen oder autarker Betrieb



# Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Benedikt Schmuelling  
Lehrstuhl für Elektromobilität und  
Energiespeichersysteme

Tel.: +49(0)202 /439-1510 Fax: +49(0)202 /439-1512

Email: [schmuelling@uni-wuppertal.de](mailto:schmuelling@uni-wuppertal.de)

[www.emobil.uni-wuppertal.de](http://www.emobil.uni-wuppertal.de)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.