

# Ökobilanzieller Vergleich zwischen Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren

Niklas Fuge, Olga Kanz, Philip Schürheck - Technische Hochschule Köln

## Das Projekt

Die Mobilitätswende erlangt in Deutschland in Zeiten des „Diesel-Skandals“ und der Klimaerwärmung immer größere Bedeutung. Doch Kritiker der Elektromobilität sagen den derzeit auf dem Markt erhältlichen Elektrofahrzeugen eine negative Schadstoffbilanz im Vergleich zu einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor nach. Diese Arbeit soll die Ökobilanz eines Elektrofahrzeugs und mit herkömmlichen Verbrenner vergleichen. Dabei wurde auf folgende Fragestellungen eingegangen:

- Wie viel CO<sub>2</sub>-Äquivalent wird während der Herstellung/ der Nutzung/ der Entsorgung emittiert?
- Welches Fahrzeug weist die bessere Ökobilanz vor?
- Wie wird sich die Ökobilanz der Fahrzeuge in Zukunft entwickeln?

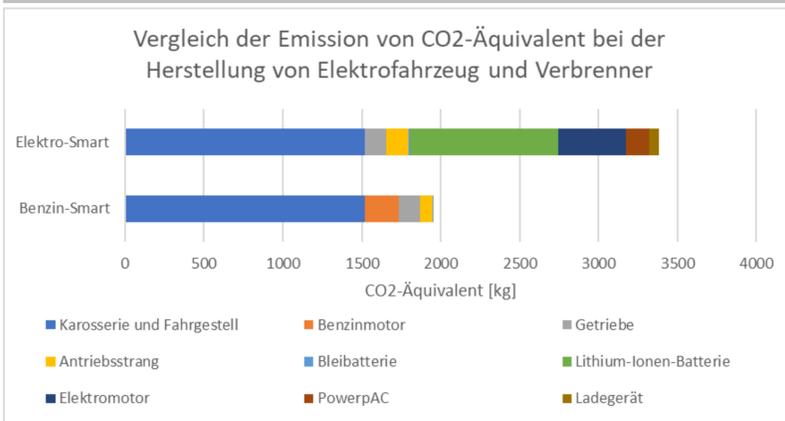
Untersucht wurde dabei stellvertretend ein Elektro-Smart Fortwo sowie das gleiche Fahrzeug als Benzinzer

## Vorgehensweise

Die durchgeführte Ökobilanz besteht gemäß den Normen DIN ISE 14044 und 14040 aus den folgenden vier Teilen:

- **Erstellung von Zieldefinition und Systemgrenzen**
  - Ziel: Vergleich von Elektrofahrzeugen und Verbrennern hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen
  - Systemgrenze: Cradle-to-Grave
- **Sachbilanz**
  - Datensammlung (qualitativ und quantitativ)
- **Wirkungsabschätzung**
  - Wirkungskategorie: Global Warming Potential (GWP)
  - Wirkungsindikator: Emission von CO<sub>2</sub>-Äquivalent
- **Auswertung**

## Emission von CO<sub>2</sub>-Äquivalent bei der Herstellung



### Vorgehen:

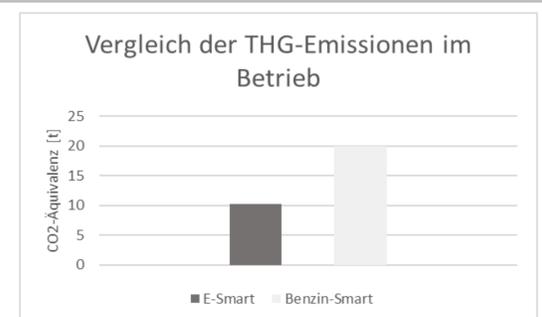
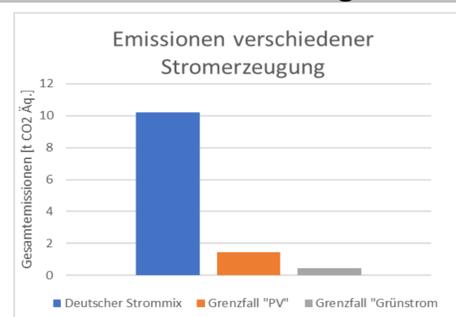
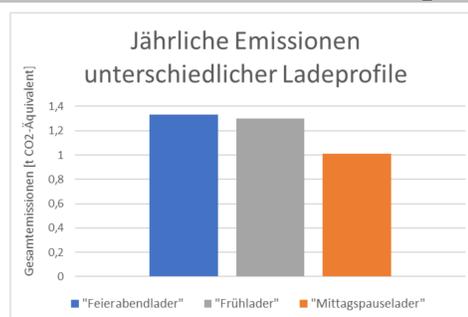
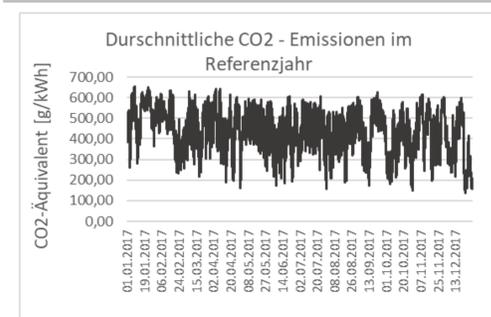
- Untersuchung des Herstellungsprozesses mit Hilfe von GaBi
  - Ökobilanzierungssoftware der Firma thinkstep
- Untersuchung der folgenden Komponenten
  - Elektro-Smart
    - Lithium-Ionen-Batterie
    - Batterie-Management-System, Ladegerät, PowerAC
    - Antriebsstrang, Getriebe, Elektromotor, Bleibatterie
    - Karosserie und Fahrgestell
  - Benzin-Smart
    - Benzinmotor, Getriebe, Bleibatterie, Antriebsstrang
    - Karosserie und Fahrgestell

### Ergebnisse:

- Emission Elektro-Smart: ca. 3.385 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent
  - Lithium Ionen-Batterie mit ca. 940 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent
  - Macht ca. 28 % der Gesamtemission aus
  - Größte Emission bei Karosserie und Fahrgestell
  - Emission von 1.520 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent (ca. 45 %)
- Emission Benzin-Smart: ca. 950 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent
  - Größte Emission bei Karosserie und Fahrgestell
  - Emission von 1.520 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent (ca. 45 %)

**Insgesamt ist Herstellung des Elektro-Smarts deutlich umweltschädlicher als die des Benzin-Smarts**

## Emission von CO<sub>2</sub>-Äquivalent bei der Nutzung



### Vorgehen:

- Generierung eines typischen Ladeprofiles auf Basis spezifischer Fahrzeugdaten sowie Mobilitätsverhaltens in Deutschland
- Analyse der exakten Stromsprünge (SMART-Daten) und Betrachtung der Vorketten einzelner Stromerzeuger im „Lademix“ -> Modell über Referenzzeitraum mit GaBi sowie Excel

### Sensibilitätsanalyse:

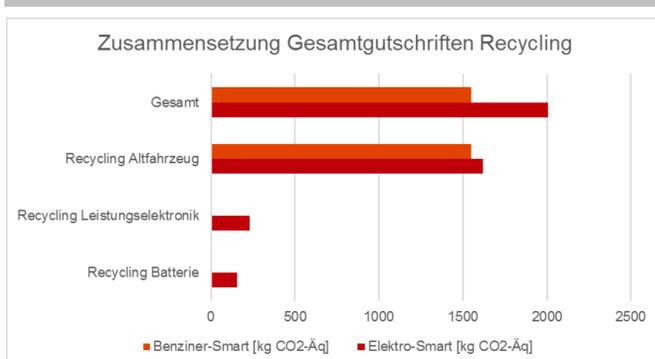
- Untersuchung unterschiedlicher Ladezeiten
- Untersuchung der alternativer dezentraler Stromerzeugung (PV/EE)

### Ergebnisse „Normalszenario“:

- Emission Elektro-Smart: ca. 10,22 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent
- Emission Benzin-Smart: ca. 19,9 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent

**Selbst beim „Deutschen Mix“ ist E-Smart im Betrieb umweltfreundlicher**

## Gutschrift von CO<sub>2</sub>-Äquivalent beim Recycling



### Vorgehen:

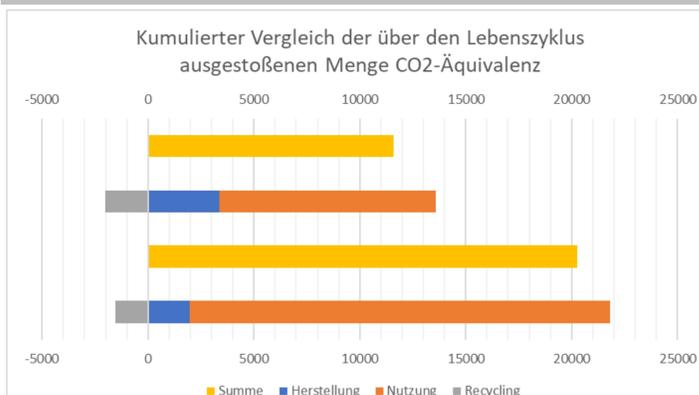
- Analyse aktueller Forschungsprojekte zur Errichtung einer geeigneten Recyclingprozesskette komplexe Bauteile des Elektrofahrzeug
  - Lithium-Ionen-Batterie
  - Leistungselektronik
- Darstellung und Auswertung der nach Altfahrzeug-Gesetz standardmäßigen Altfahrzeugverwertungsrouten

### Ergebnisse:

- Gutschriften der Recyclingphase
  - Elektro-Smart: 2.006,84 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent
  - Benzin-Smart: 1.548,78 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent
- Lithium-Ionen-Batterie kann recycelt werden, weiterer Forschungsbedarf zur Erhöhung der Effizienz und der Rückgewinnungsquoten
  - Resultate sind jedoch stark abhängig von gewählter Prozessstruktur
- Gesondertes Recycling der Leistungselektronik in Elektrorecyclingroute, liefert höhere Rückgewinnungsquoten von seltenen Erden

**Recycling des Elektro-Smart liefert ein höheres Rückgewinnungspotential**

## Kumulierte Betrachtung



### Betrachtete Szenarien:

- Szenario 1: Aktueller deutscher Strommix (siehe Abb. Links)
  - Emissionen Elektro-Smart : 11.600 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent
  - Emissionen Benzin-Smart: 20.275 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent
- Szenario 2: Eigenverbrauch von PV-Strom
  - Emissionen Elektro-Smart : 2.830 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent
  - Emissionen Benzin-Smart: 20.275 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent
- Szenario 3: Bezug von „Grünem Strom“
  - Emissionen Elektro-Smart : 1.850 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent
  - Emissionen Benzin-Smart: 20.275 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent

### Fazit:

- Die Ökobilanz des Elektro-Smarts ist trotz höherer Emissionswerte bei der Herstellung bereits heute besser, als beim Benzinzer
- Vom Smart lässt sich auch auf größere Fahrzeuge schließen
- Nutzungsphase ist die größte Stellschraube um die Emissionswerte zu reduzieren
- Mit steigendem Anteil der Erneuerbaren Energien im deutschen Strommix wird sich die Ökobilanz noch weiter verbessern

**⇒ Es konnte die Aussage, dass ein Elektrofahrzeug umweltschädlicher sei als ein herkömmlicher Verbrenner, widerlegt werden!**