

# Ökobilanzen in der Elektromobilität

Eine Übersicht über die Ergebnisse

Dr.-Ing. Werner Siemers

17.06.2021

## Inhaltsübersicht

- Einführung
- Was ist eine Ökobilanz und was sagt sie aus?
- Ergebnisse der unterschiedlichen Ökobilanzen
  - Gesamtsystem
    - Cradle to grave, well to wheel, well to tank...
  - Fahrzeugleben
  - Batterie

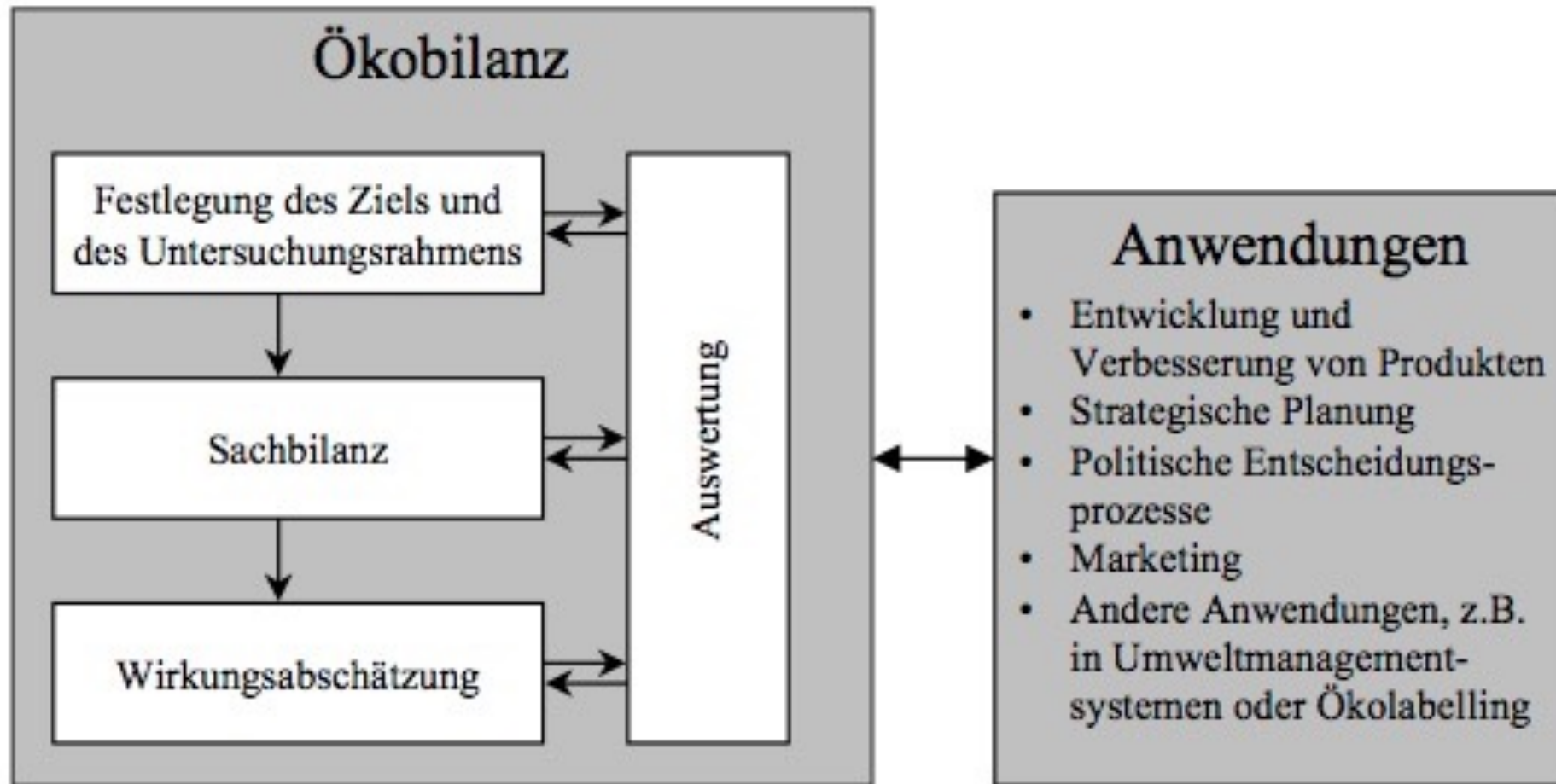
## Einführung

- Eine Ökobilanz sagt nicht die absolute Wahrheit
- Functional unit und Untersuchungsrahmen
  - Festlegung der Parameter
  - Kann Endergebnis beeinflussen
- Vergleich mit Alternativlösungen
  - Mehr.....
  - Weniger.....

## Prinzip der Ökobilanz

- Lebensweganalyse (life cycle assessment) von Energie-, Stoff- und Transportprozessen
- Erfassen der Energie- und Stoffströme von der Wiege bis zur Bahre
- Bilanzierung und Zusammenfassung zu Gesamtsummen
- Bewertung und Vergleich

# Ökobilanz, Prinzip



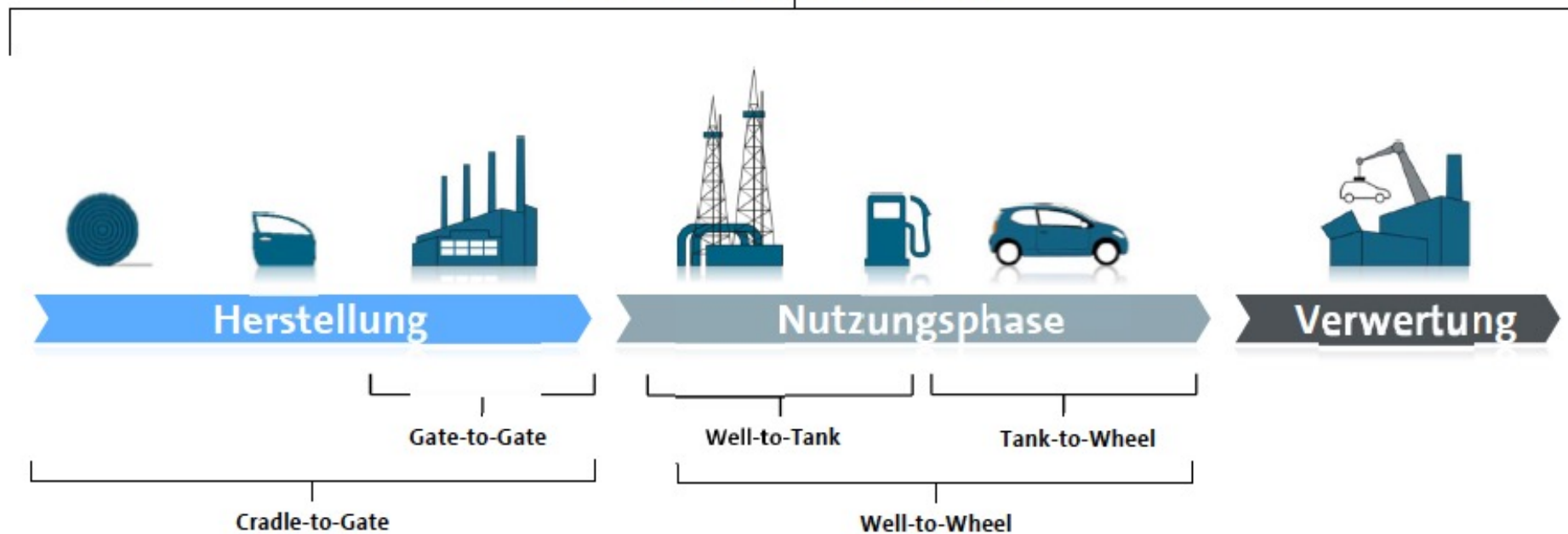
Quelle: Dissertation Pehnt, UBA

# Auf Mobilität bezogen

VOLKSWAGEN  
AKTIEGESELLSCHAFT

## Untersuchungsrahmen der Ökobilanz

Cradle-to-Grave – „Life Cycle Assessment“



Stand: 24. April 2019

Dr.-Ing. Werner Siemers  
Energiesystemintegration

## Die Öffentlichkeit

- z.B. [www.elektromobilaet.nrw/](http://www.elektromobilaet.nrw/)

### 17 TONNEN CO<sub>2</sub> FÜR EINE EINZIGE E-AUTO-BATTERIE?

Einer der Hauptgründe für den weitverbreiteten Irrglauben, E-Auto seien umweltschädlicher als Diesel oder Benziner, ist die sogenannte „Schweden-Studie“ aus dem Jahr 2017. Dazu wurden mehrere ältere Studien zur Batterieherstellung ausgewertet. Danach werden pro Kilowattstunde Batteriekapazität 150-200 kgCO<sub>2</sub> ausgestoßen. Eine Zahl, die schon damals von Fachleuten als klar zu hoch kritisiert wurde. 2019 wurde eine aktualisierte Version mit neueren Quellen veröffentlicht (**Bericht**) in denen der Wert nur noch deutlich realistischere 61-106 kg pro kWh betrug (**Quelle**).

#### Woher stammt diese absurd hohe Zahl?

Diese Zahl taucht in der Studie überhaupt nicht auf. Sie ist das realitätsferne Ergebnis mehrerer Veröffentlichungen, die von Schweden über Dänemark bis nach Deutschland gelangten. Am Ende einer äußerst unseriösen Nachrichten-Stafette in der Art von "Stille Post" standen die heillos übertriebenen 17 Tonnen (**Bericht**). Diese unseriöse Arbeitsweise verschiedener Publizisten zerstörte mehrere Jahre Arbeit all derer, die sich täglich um die Verbreitung seriöser, fundierter Informationen zum Thema Elektromobilität bemühen.

## Eine der neuesten Publikationen

### ▪ Thesen

1. Übertreibung der Treibhausgasemissionen aus der Batterieproduktion
2. Unterschätzung der Batterielaufzeit
3. Vermutung, dass die Elektrizität während der Lebensdauer eines Autos nicht sauberer wird
4. Unrealistische Annahmen beim Spritverbrauch
5. Keine Berücksichtigung der Voremissionen bei Diesel und Benzin bspw. beim Herstellungsprozess
6. Fehlender Blick in die Zukunft

Quelle: Hoekstra/Steinbuch: Vergleich der lebenslangen Treibhausgasemissionen von Elektroautos mit den Emissionen von Fahrzeugen mit Benzin- oder Dieselmotoren, Eindhoven University of Technology, 2020



## Ergebnis für ür Europäischen Strommix

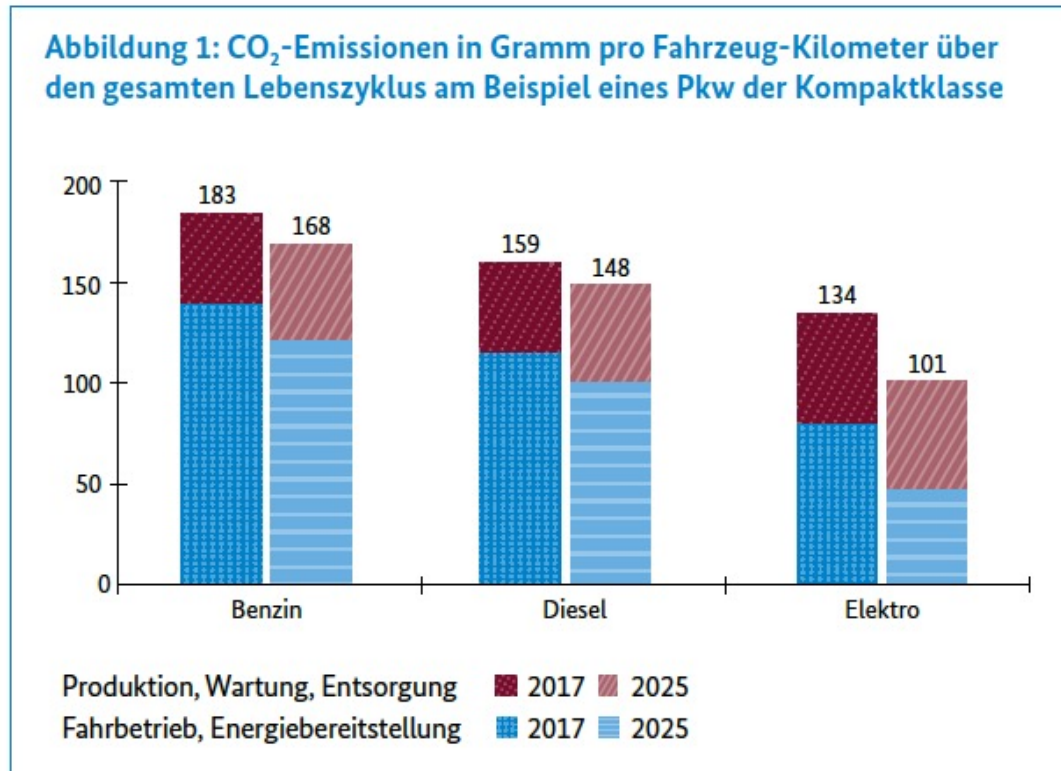
Vergleich der CO<sub>2</sub>eq-Emissionen über die Lebensdauer von zwei ähnlichen Autos in Gramm/km

	Toyota Prius 1.8l 2020	Volkswagen eGolf
Herstellung ohne Batterie	28	24
Herstellung der Batterie	-	11 (36 kWh Batterie)
Fahren	140	43
Gesamt g CO <sub>2</sub> eq per km	<b>168</b>	<b>78 (54% weniger)</b>
Anzahl der km, die das Elektrofahrzeug benötigt, um die Batterie "zurückzuzahlen"		28 000 km

	Mercedes C 220d	Tesla Model 3
Herstellung ohne Batterie	32	28
Herstellung der Batterie	-	23 (75 kWh Batterie)
Fahren	228	40
Gesamt g CO <sub>2</sub> eq per km	<b>260</b>	<b>91 (65% weniger)</b>
Anzahl der km, die das Elektrofahrzeug benötigt, um die Batterie "zurückzuzahlen"		30 000 km

	Bugatti Veyron	Porsche Taycan S
Herstellung ohne Batterie	40	36
Herstellung der Batterie	-	28 (93 kWh Batterie)
Fahren	738	76
Gesamt g CO <sub>2</sub> eq per km	<b>778</b>	<b>140 (82% weniger)</b>
Anzahl der km, die das Elektrofahrzeug benötigt, um die Batterie "zurückzuzahlen"		11 000 km

## Zusammenfassung unterschiedliche Ergebnisse



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten des Umweltbundesamtes

Quelle: BMU, Wie umweltfreundlich sind Elektroautos? 4. Auflage, Oktober 2019

## Viel diskutierte Studie, IFO

- Was wird mit was verglichen?
- Hier Tesla Model 3 mit Mercedes C 220 d
- Allerdings nur 15.000 km pro Jahr Fahrleistung
  - Hohe Batteriekapazität auf wenig Fahrleistung und auf 10 Jahre bringt diesen Wert hoch
- Ansatz für Diesel 141 g CO<sub>2</sub>eg/km
- Hoher Ansatz Batterieherstellungs-CO<sub>2</sub>
- Strommix mit hohem Anteil Kohle und Gas

Quelle: Buchal, C.; Karl, H.D.; Sinn, H.W.: „Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO<sub>2</sub>-Bilanz“, ifo Schnelldienst 8/2019, Seite 3 - 17

## Zentrale Ergebnisse

- 1** In allen untersuchten Fällen hat das Elektroauto über den gesamten Lebensweg einen Klimavorteil gegenüber dem Verbrenner.
- 2** Mit den Fortschritten bei der Batterieentwicklung insbesondere durch effizientere Fertigungsprozesse, höhere Energiedichte, verbesserte Zellchemie und CO<sub>2</sub>-ärmeren Strom bei der Herstellung kann die Klimabilanz der Batterie in den kommenden Jahren mindestens halbiert werden.
- 3** Der Klimavorteil des Elektroautos wächst, wenn der Ausbau der Erneuerbaren im Rahmen der Energiewende forciert wird; denn die Antriebsenergie ist die wichtigste Einflussgröße auf die Klimabilanz.
- 4** Die Batteriezell-Fertigung auf Basis eines möglichst hohen Anteils Erneuerbarer Energien, kann europäischen Ländern einen Standortvorteil verschaffen.
- 5** Mehr Transparenz zur Klimabilanz der Batterien ist Voraussetzung, um weitere Verbesserungspotenziale über den gesamten Lebensweg erschließen zu können.

- Break even ggü Benzin bei 60.000 km, ggü Diesel bei 80.000 km
- Annahme Batterieherstellung 145 g CO<sub>2</sub>eq/kWh Batteriekapazität

Quelle: Agora Verkehrswende/IFEU: „Klimabilanz von Elektrofahrzeugen Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial“, April 2019

- Spannweite Batterie: 56 bis 494 kg CO<sub>2</sub> pro kWh Kapazität

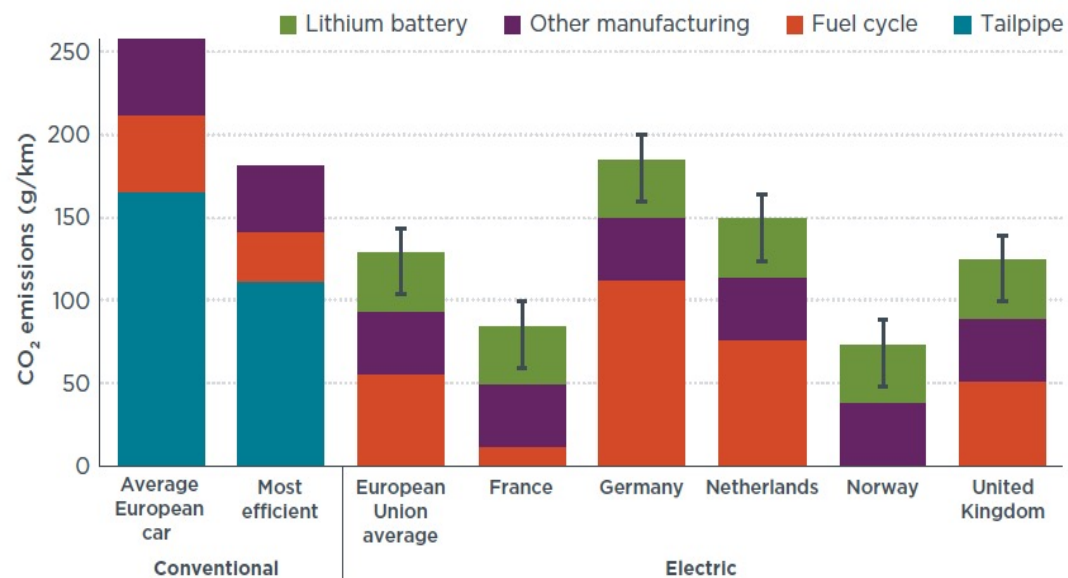


Figure 1. Life-cycle emissions (over 150,000 km) of electric and conventional vehicles in Europe in 2015.

Quelle: ICCT briefing: „Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions“, February 2018

## Update der viel zitierten Referenzstudie

- Daten in CO<sub>2</sub> äquivalent bezogen auf die Speicherkapazität, also kg CO<sub>2</sub>eq/kWh
- Neue und transparente Daten ergeben als Schätzung 61-106 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh für NMC Batterien
- Unterschiede ergeben sich in dem Strommix der Zellenproduktion
- Inklusive unsicherer Quellen ist der Wert 146 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh
- Aus dem 2017 Report war der Bereich mit 150-200 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh angegeben, aktuell ist auch fast grüner Strom in der Produktion berücksichtigt

Quelle: Emilsson/Dahllöf: Lithium-Ion Vehicle Battery Production – Status 2019 on Energy Use, CO<sub>2</sub> Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint and Recycling Report C 444, IVL

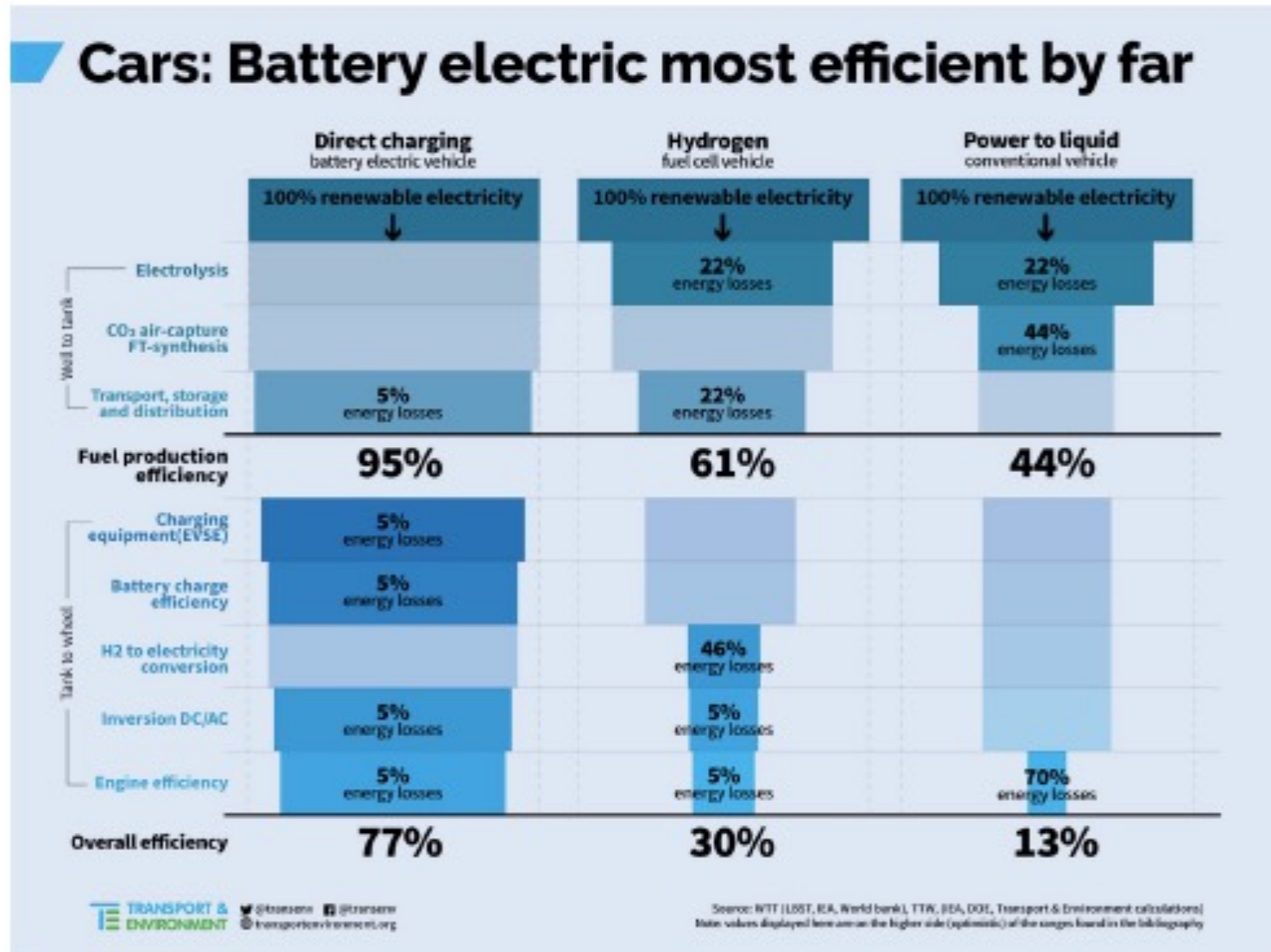
## Fazit Analyse Anfang 2018

- Je nach Strommix sparen Batteriefahrzeuge (insbesondere längere Reichweiten) wenig oder kein Treibhausgas ein. Das gilt für derzeitigen Strommix und Deutschland und auch für viele Länder in Europa.
- Erst mit wesentlichen Anteilen erneuerbarer Energie für den Betrieb wird das THG Einsparpotential größer.
- Andere Studien ergeben schon jetzt Vorteile im 20% Rahmen, die in Zukunft auf 50% bis 70% anwachsen können.
- Problem ist noch der Vergleich für große Reichweiten.
- Der Anteil der Batterie an den gesamten THG ist nennenswert (von 50% bis 250% der Fahrzeugherstellung), aber auch da mit Unterschieden (Prozess, Energiesituation am Herstellort). Insgesamt sind aber die Aufwendungen im Betrieb der Fahrzeuge höher.
- Die Verfügbarkeit der Rohstoffe ist langfristig gesichert.
- Derzeit übersteigt der Bedarf die Jahresproduktion, Reserven und Ressourcen sind aber weitaus größer. Es kann zu temporären Knappheiten und Preissteigerungen kommen.



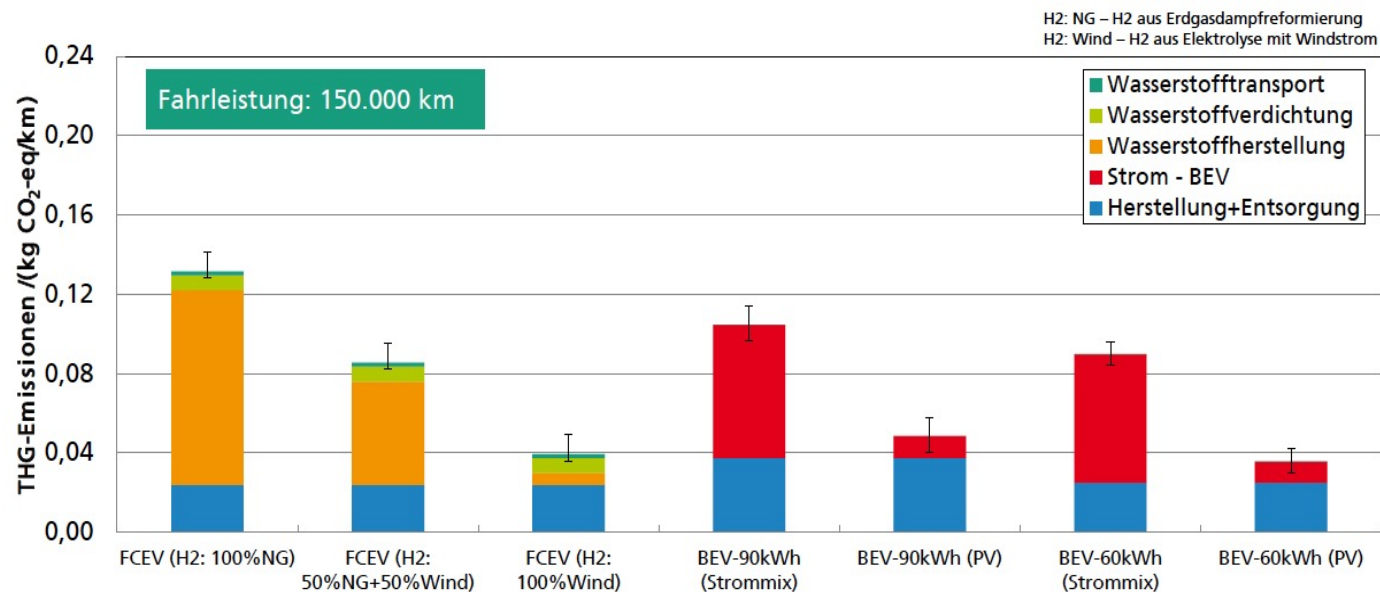
- Sind wir auf dem richtigen Weg?
  - Batterie
  - Grünstrom
  - Wasserstoff





# Vergleich Wasserstoff zu Batterie

THG-Emissionen Fahrzeugbetrieb für 2030-2040  
(inklusive Herstellung + Entsorgung Batterie, Brennstoffzelle und H<sub>2</sub>-Tank)



5

© Fraunhofer ISE  
FHG-SK: ISE-PUBLIC

THG-Emissionen für Herstellung+Entsorgung basieren auf Base Case 2030, Details siehe Anhang  
Spannweite berücksichtigt Best Case und Worst Case für Herstellung+Entsorgung in 2030



Quelle: Sternberg, A. et al. Treibhausgas-Emissionen für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge mit Reichweiten über 300 km, Fraunhofer ISE, 13.7.2019

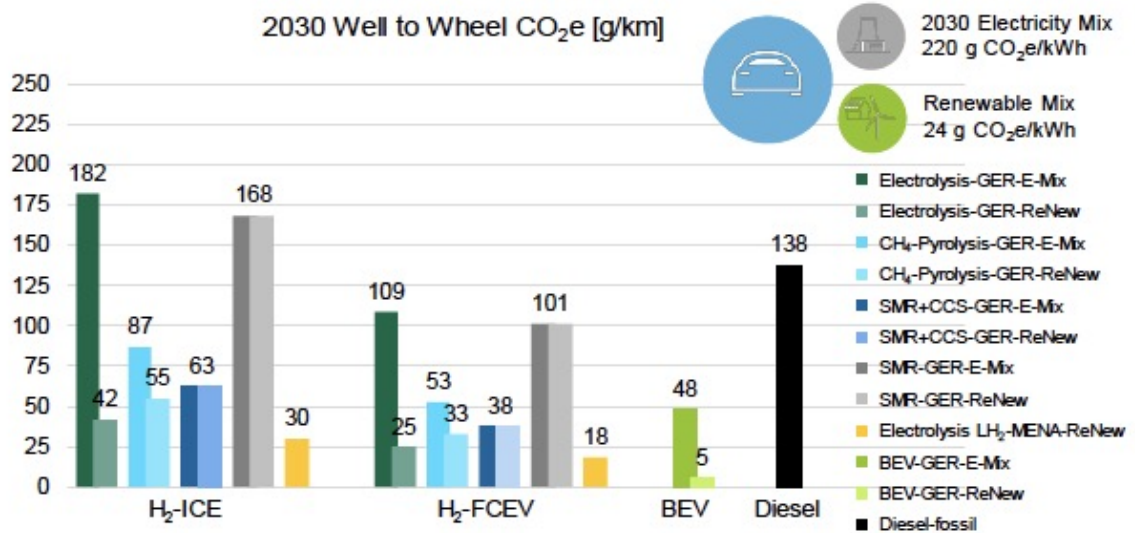


Figure 3: CO<sub>2</sub> emissions WtW for general and renewable electricity mix in 2030

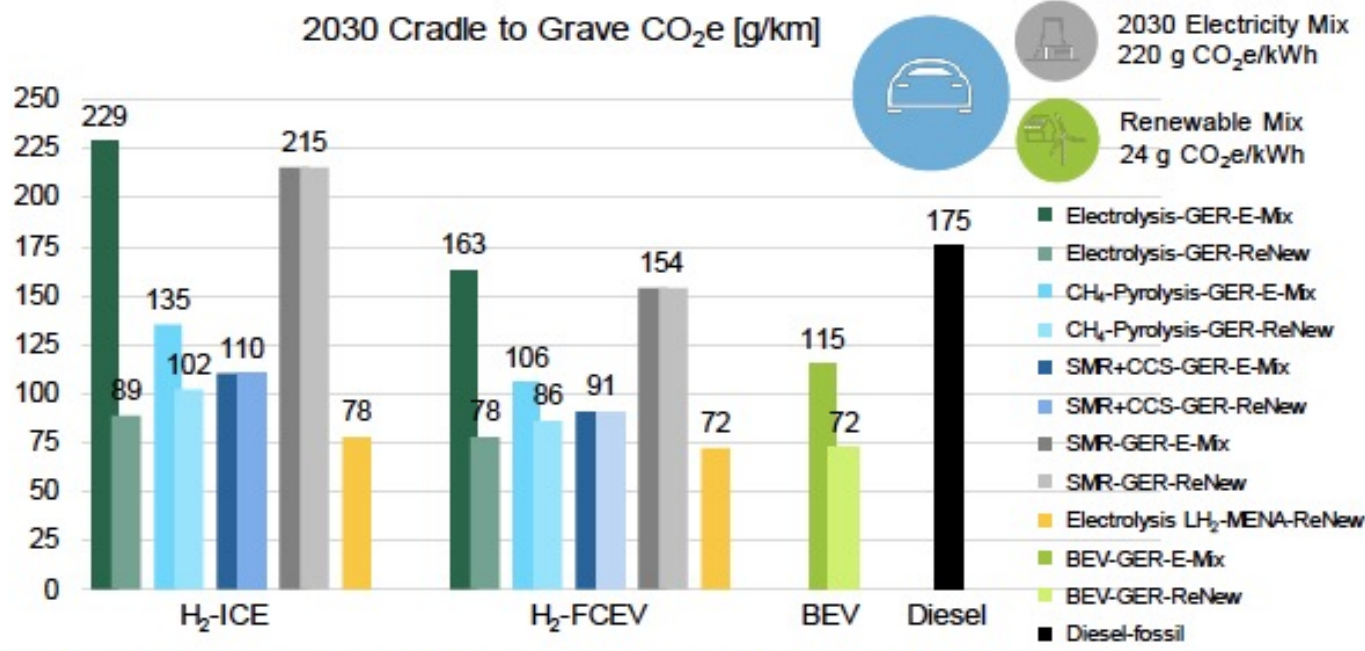


Figure 4: CO<sub>2</sub> emissions CtG for general and renewable electricity mix in 2030

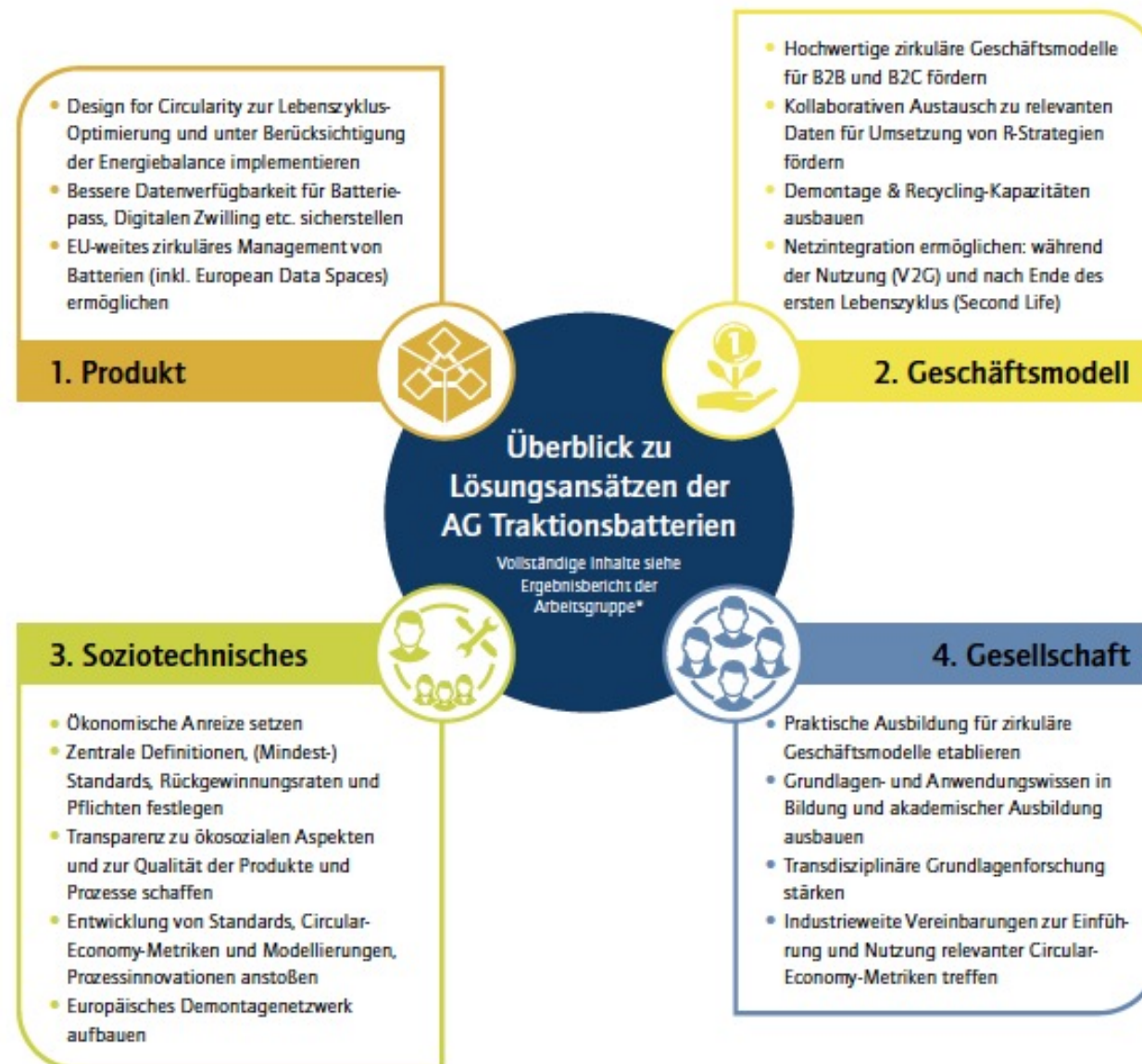
Neue Ergebnisse, z.B. IAV, Wiener Motorensymposium 2021

## Batterierecycling

Material	Empfohlene Rückgewinnungsraten*	
	2025 – verbindlich	2030 – anzustreben***, ****
Gesamtbatterie**	60 %	70 %
Lithium	50 %	85 %
Kobalt	85 %	90 %
Nickel	85 %	90 %
Kupfer	85 %	90 %
Stahl	90 %	95 %
Aluminium (ohne Al-Folien)	90 %	95 %

- EU-Vorgabe für Recycling-Anteil an Traktionsbatterien, Vorschlag
  - Ab 2026, 35% Recycling für Li
  - Ab 2030, 70% für Li
- Circular Economy Ansatz in D:
  - Sammlung größtes Problem
  - Reduzierung „dead materials“ in Batterien

## Aus Bericht



\* Circular Economy Initiative Deutschland 2020: Ressourcenschonende Batteriereisläufe - mit Circular Economy die Elektromobilität antreiben, München/London: acatech/SYSTEMIQ 2020.

Abbildung 18: Überblick zu den Lösungsansätzen der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien (Quelle: eigene Darstellung)



***Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!***