

aeesuisse

Dachorganisation der Wirtschaft für
erneuerbare Energien und Energieeffizienz

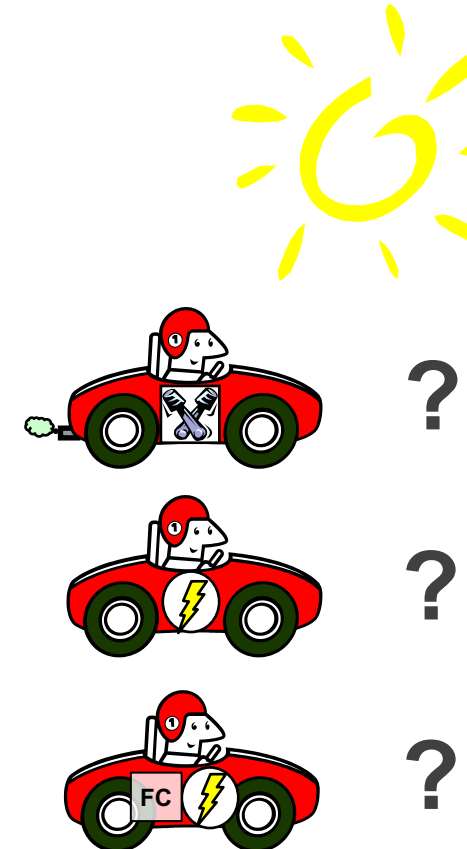
Marcel Gauch

Projektmanager am Technology & Society Lab,
Nachhaltigkeitsdelegierter EMPA

Fakten und Fake News zur E-Mobilität

AEE SUISSE - Kongress 2020
02.09.2020 @ Solothurn

1. **'Fakten'**
was man glauben will...
2. **Faire Vergleiche**
nicht schummeln!
3. **Wie schlimm sind Batterien**
wem man glauben will...
4. **Bilanz ICE vs. Elektro**
über die Lebensdauer erklärt



Marcel Gauch marcel.gauch@empa.ch

TSL Technology and Society Lab @ EMPA

CARE Critical Materials and Resource Efficiency

Schweizerische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology

'Fakten' liegen im Auge des Betrachters

- Es lässt sich *immer* als Fakt belegen, dass irgend jemand irgend etwas gesagt hat.
- Google liefert reiche Beute bei der Recherche nach Pro/Kontra Fakten
- Der Wahrheitsgehalt von Fakten hängt vollständig von der Glaubwürdigkeit (Absichten!) sowie der Kompetenz der entsprechenden 'Experten' und Institutionen ab.
- Wissen statt Glauben: Wie korrekt Fakten sind, lässt sich nur durch aufwändige Recherchen herausfinden
- Fakt ist...
- Jede menschliche Tätigkeit kann negative Auswirkungen haben auf die Umwelt, den Ressourcenverbrauch und die Gesundheit
 - > Das gilt für alle Formen von Mobilität: Strassen, Schienen, ölbasiert, strombasiert
- Batterien können unter verschiedenen Aspekten 'schlimm' sein:
 - Umweltschäden bei Rohstoffgewinnung und Produktion, Verletzung von Menschenrechten, nicht/schlecht rezyklierbar, Brennbarkeit, gehen schnell kaputt.
 - > Das gilt für alle industriellen Produkte: Kühlschränke, Handys, Staubsauger, ...
 - > Das gilt für alle Konsumgüter: Kleider, Nahrungsmittel, Möbel, ...
 - > Das gilt für alle Formen von Energie: Kohle, Öl, Gas, Wasserstoff, Produktion von Elektrizität
- Die richtige Frage muss also lauten: Ist Variante A besser oder schlechter als Variante B?



Energieverschwendung der Extraklasse

Die Elektromobilität ist alles andere als umweltfreundlich, dies belegte die *Weltwoche* in der letzten Ausgabe. Besonders schlecht schneiden E-Autos beim Ressourcenverbrauch ab: Wer mit Strom fährt, benötigt mehr als doppelt so viel Energie, als wenn er mit Benzin unterwegs wäre. Von Ferruccio Ferroni* und Alex Reichmuth



Leere Behauptungen: Tesla Model S beim Aufladen.

- Lithium ist hochgiftig und radioaktiv
- ein eAuto braucht 60 kWh/100km

Elektroauto-Akkus: So entstand der Mythos von 17 Tonnen CO2

Eine Studie aus Schweden soll belegen, dass die Akkus eines Elektroautos das Klima mit 17,5 Tonnen CO2 belasten. EDISON begab sich auf Spurensuche und ermittelte: Die Zahl ist falsch. Und der Urheber erklärte uns, wie sie zustande kam.

📄 Emissionen | Von Peter Vollmer | 11. Januar 2019

<https://edison.handelsblatt.com/erklaren/elektroauto-akkus-so-entstand-der-mythos-von-17-tonnen-co2/23828936.html>

Die richtigen Fragen stellen

- Nichts ist für sich gesehen 'umweltfreundlich'
Aber: Welche Variante ist 'umweltfreundlicher' oder 'weniger schädlich'?

- Bei der Beantwortung dieser Frage müsste unverhandelbar sein:
 - Naturgesetze werden respektiert
 - Annahmen werden transparent ausgewiesen
 - Möglichst gleiche Datengrundlagen bei Vergleichen (Material- und Prozessinventare, Datenbanken mit Umweltauswirkungen)
 - Gleiches mit Gleichem vergleichen
 - identische Systemgrenzen (inkl. Vorketten, graue Energie, Herstelleraufwand, Betrieb, Lebensdauer, Entsorgung)

Studie des ADAC

E-Auto und Diesel fast gleich schädlich: Das ist der umweltfreundlichste Antrieb



Ein Mann betankt an einer Erdgas-Tankstelle des Energieunternehmens Badenova sein Fahrzeug mit Erdgas. Autos mit Erdgasantrieb sind nach einer Studie des ADAC derzeit am wenigsten klimaschädlich.

<https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/alternative-antriebe/co2-treibhausgasbilanz-studie/?redirectId=quer.klimabilanz>
https://www.focus.de/auto/news/laet-adac-studie-e-auto-und-diesel-fast-gleich-schlecht-das-ist-der-umweltschonendste-auto-antrieb_id_11072032.html

Fairer Vergleich Ökobilanz: ICE <-> EV

Auto Produktion und Betrieb

ICEV

7.3 l/100km
(6.1 l/100km WLTP)
(4.8l/100km NEFZ)

ICE Vehicle

Glider

Body and Frame,
Axle, Brakes, Wheels,
Bumpers, Cockpit,
A/C System,
Seats, Doors, Lights
Entertainment etc.

Drivetrain

Engine, Gearbox,
Cooling System,
Fuel System,
Starting System,
Exhaust System, Lubrication
etc.



EV

19.0 kWh/100km
(15.8kWh/100km WLTP)
(13.2kWh/100km NEFZ)

Battery Vehicle

Glider

Body and Frame,
Axle, Brakes, Wheels,
Bumpers, Cockpit,
A/C System,
Seats, Doors, Lights
Entertainment etc.

Drivetrain

El. Motor, Gearbox,
Controller, Charger, Cables,
Cooling System etc.

Battery

Li-Ion battery 300 kg



- Gleiche Systemgrenzen: Von der Wiege (Mine) bis zur Bahre (Recycling) für die Produktion und für den Betrieb des Fahrzeugs
- Gleiche Fahrzeugklasse
- Ausweisen der Datengrundlagen für die Ökobilanz, kein Herauspicken oder Weglassen von 'störenden' Daten (Batterien, Ölproduktion, ...)

Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles.
Dominic A. Notter*, Marcel Gauch, Rolf Widmer, Patrick Wäger, Anna Stamp, Rainer Zah and Hans-Jörg Althaus; *Environ. Science & Technology*, No.44/2010 p.6550-6556;
DOI: 10.1021/es903729a

Fairer Vergleich Ökobilanz: Benzintank <-> Batterie

Benzin / Tank

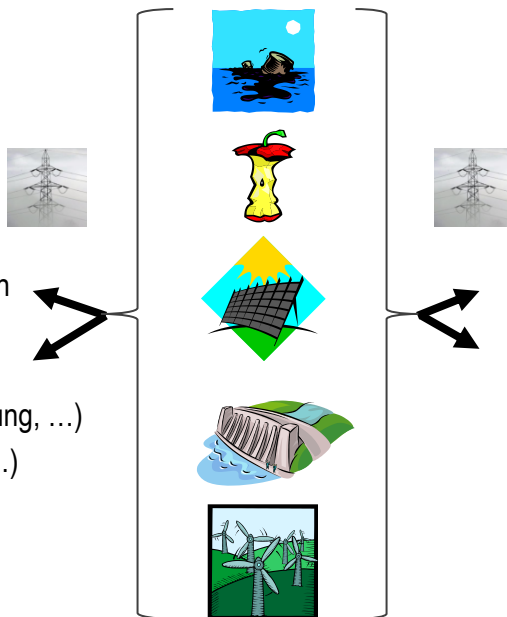


Der Bau der Speichers (Benzintank) ist vernachlässigbar



Produktion und Betrieb

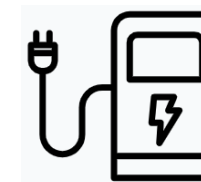
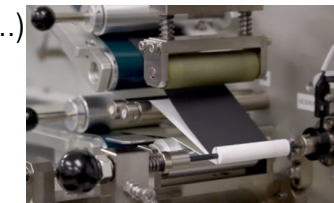
Energiequelle



Ölförderung (Bohrung, Pumpen, Injektion Wasser/Gas, Gasabfackelung, ...)
 Transporte (Pipelines, Tanker, ...)
 Raffinierung (Anlagenbau, Gasabfackelung, ...)
 Transporte (Pipelines, Tanker, Trucks, ...)
 -> Tankstelle, Benzintank

Rohstoffgewinnung (Minen, Salzseen, Aufbereitung Rohstoffe, ...)
 Transporte (Frachter, Trucks, ...)
 Produktion von Zwischenprodukten
 Produktion der Batteriezellen, Module, Batterien, ...
 Produktion der Ladeinfrastruktur (Ladestationen, ...)
 -> Ladestation/Steckdose, Batterie

Strom / Batterie



Der Bau der Speichers (Batterie) ist sehr wichtig für die Beurteilung...



... und äusserst umstritten!

- Gleiche Systemgrenzen: Von der Wiege (Mine) bis zur Bahre (Recycling) für die Produktion und für den Betrieb der Vergleichseinheiten
- Ausweisen der Datengrundlagen für die Ökobilanz, kein Herauspicken oder Weglassen von 'störenden' Daten

Schliessen des Kreislaufs



Das Recycling von ICE-Autos gilt als gelöst, Effizienz jedoch stark verbesserungsfähig



Das Recycling von Batterien gilt als problematisch, Effizienz stark verbesserungsfähig bis hoch je nach Prozess

'Fakten' zu Batterien

- Enorme Bandbreite je nach Quelle: GHG 40 .. 250 kgCO₂eq/kWh!

"Schwedenstudie":

Mia Romare, Lisbeth Dahllöf (2017); *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries*; IVL Swedish Environmental Research Institute

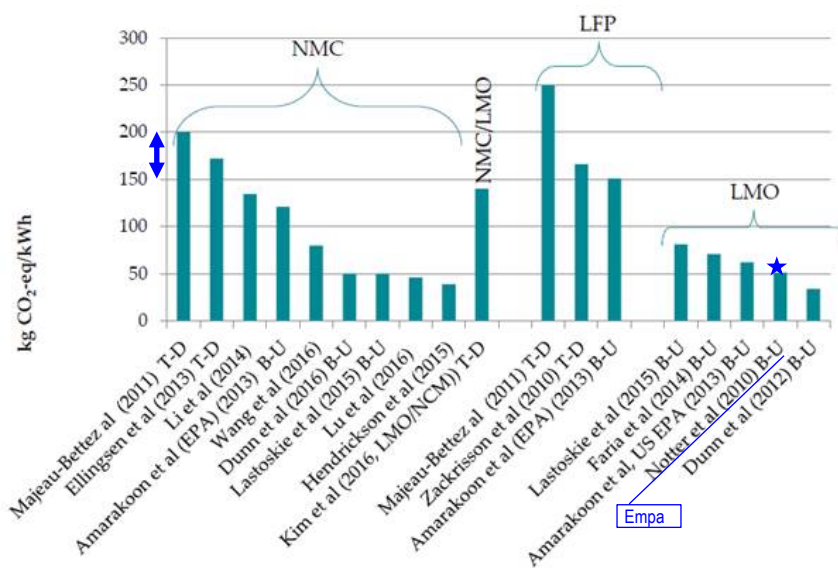


Figure 3: Calculated greenhouse gas emissions for different LCA studies of lithium-ion batteries for light vehicles for the chemistries NMC, NMC/LMO, LFP and LMO. T-D=Top-down approach for manufacturing and B-U is Bottom-Up approach.

- a) How large are the energy use and greenhouse emissions related to the production of lithium-ion batteries?

The results from different assessments vary due to a number of factors including battery design, inventory data, modelling and manufacturing. Based on our review greenhouse gas emissions of 150-200 kg CO₂-eq/kWh battery looks to correspond to the greenhouse gas burden of current battery production. Energy use for battery manufacturing with current technology is about 350 – 650 MJ/kWh battery.

- Nur 8 von 113 Studien beruhen auf der Erfassung und Auswertung eigener Daten (Peters et al. 2019) ¹⁾
- Viele Autoren haben voneinander abgeschrieben und zitieren sich dann gegenseitig. Meist-zitiert werden die Norwegischen Daten ²⁾ von 150 bis 200 kg CO₂eq/kWh. -> Die häufig genannten hohen Werte erscheinen 'wahr'

Aktualisierungen:

- Umfassende Arbeit aus China/USA (GREET, Yin et al. 2019) ³⁾: 43 - 58 kgCO₂eq/kWh (Prod. USA), 80 -110 kgCO₂eq/kWh (Prod. China)
- Umfassende Arbeit aus USA (Dai et al. 2019) ⁴⁾: 72.9 kgCO₂eq/kWh
- Ende 2019 haben die Autoren der 'Schwedenstudie' die früheren Werte deutlich nach unten korrigiert auf 61 - 106 kgCO₂eq/kWh ⁵⁾
- Schweiz: Ecoinvent v3.6 (2019): 7.88 kgCO₂eq/kg 69 kgCO₂eq/kWh CH
Laufende Überprüfungen (Empa, PSI) weisen beim aktuellen Stand der Technik (rel. hoher fossiler Stromanteil) auf Werte hin von ca. 70 kgCO₂eq/kWh.

¹⁾ The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review; Peters, Baumann, Zimmermann, Braun, Weil; HIU Helmholtz-Institute, KIT Karlsruhe Institute for Technology; Renewable and Sustainable Energy Reviews 67 (2017) 491–506; <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.039>

²⁾ Linda Ager-Wick Ellingsen, Christine Roxanne Hung, Anders Hammer Strømman 2017; Identifying key assumptions and differences in life cycle assessment studies of lithium-ion traction batteries with focus on greenhouse gas emissions; Transportation Research Part D 55 (2017) 82–90 <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.028>

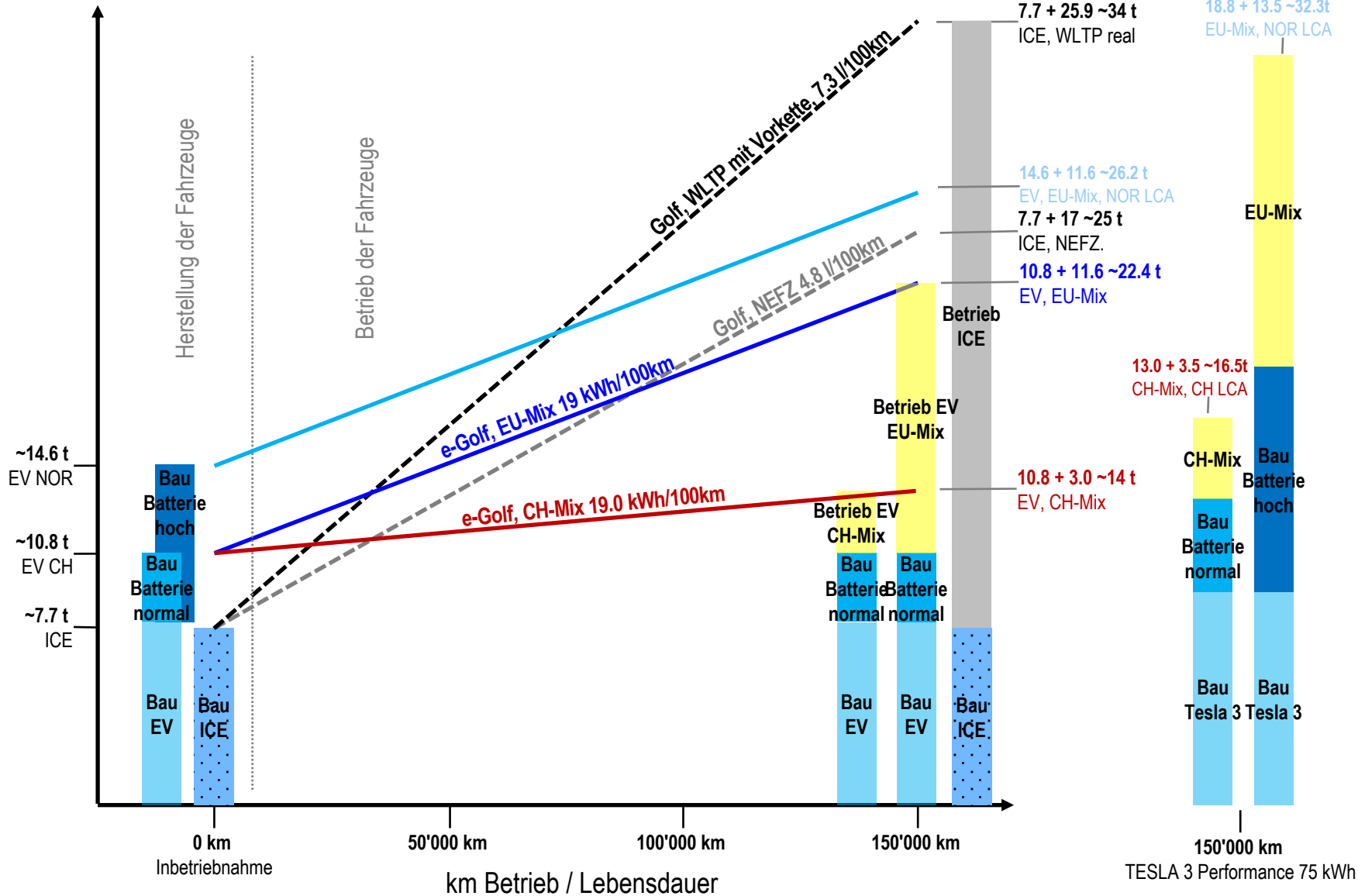
³⁾ Life cycle inventories of the commonly used materials for lithium-ion batteries in China; Renshu Yin, Shuhan Hu, Yang Yang Journal of Cleaner Production 227 (2019) 960e971 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.186>

⁴⁾ Life Cycle Analysis of Lithium-Ion Batteries for Automotive Applications; Qiang Dai, Jarod C. Kelly, Linda Gaines and Michael Wang; Systems Assessment Group, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory; Batteries 2019, 5, 48; doi:10.3390/batteries5020048

⁵⁾ Erik Emilsson, Lisbeth Dahllöf (2019); Lithium-Ion Vehicle Battery Production Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling; IVL Swedish Environmental Research Institute; <https://www.ivl.se/download/18.14d7b12e16e3c5c36271070/1574923989017/C444.pdf>

Emission von CO₂eq über die Lebensdauer

CO₂eq Emission



ICE vs. EV

CO₂-Emission Herstellung

Beispiel: Beispiel: **Golf VII; 1.0 TSI; 63 kW, 175 Nm, 1206 kg**

Masse	Masse kg	kgCO ₂ /kg Ecoinvent v3.6	kgCO ₂ Herstellung
Chassis/Antrieb	1206	6.393 kg CO ₂ /kg	7'710 kg CO ₂
Total CH	1206		7'710 kg CO₂

Beispiel: **eGolf VII; 100 kW, 290 Nm, 1615 kg**

Masse	Masse kg	kgCO ₂ /kg Ecoinvent v3.6	kgCO ₂ Herstellung
Chassis/Antrieb	1300	6.393 kg CO ₂ /kg	8'310 kg CO ₂
Batterie CH/Empa	315	7.878 kg CO ₂ /kg	2'480 kg CO ₂
Batterie NOR/NTNU	315	20 kg CO ₂ /kg	6'300 kg CO ₂
Total CH	1615		10'790 kg CO₂
Total NOR	1615		14'610 kg CO₂

NOR: 150 - 200 kgCO₂eq/kWh, Annahme 0.114 kWh/kg, -> 17.1 - 22.8 kgCO₂eq/kg
CH: 7.878 kgCO₂eq/kg / 0.114 kWh/kg = 69 kg CO₂eq/kWh

Tesla Model 3 Performance, 75 kWh, 473 PS, 1927 kg (1449kg chassis + 478 kg battery)
 9263 kgCO₂eq chassis + 3766 kgCO₂eq battery = 13029 kgCO₂eq total CH
 9263 kgCO₂eq chassis + 9560 kgCO₂eq battery = 18823 kgCO₂eq total NOR

CO₂-Emission Betrieb

Beispiel: **Golf VII; 1.0 TSI; 63 kW, 175 Nm, 1206 kg (1.5 TSI OPF ACT DSG 7G, 110kW, 250Nm, 1320kg)**

	l/100km	kgCO ₂ /150'000km
NEFZ	4.8 (5.1)	17'010 kg CO ₂
NEFZ +38% = Real	6.6 (7.0)	23'390 kg CO ₂
WLTP	6.1 (6.2)	21'620 kg CO ₂
WLTP +20% Vorkette	7.3 (7.4)	25'940 kg CO ₂

Berechnung Benzin, ~6l/100km (0.06l/km); 0.06l x 0.75kg/l = 0.045kg,
 0.045kg/km x 3.15 kgCO₂/kg = 0.142 kgCO₂/km
 0.142 kgCO₂/km x 150'000km = 21'263 kg CO₂

Beispiel: **eGolf VII; 100 kW, 290 Nm, 1615 kg**

	kWh/100km	kgCO ₂ /150'000km CH-Mix (106g)	kgCO ₂ /150'000km ENTSO-e-Mix (408g)
NEFZ	13.2	2'100 kg CO ₂	8'080 kg CO ₂
NEFZ +38% = Real	18.2	2'890 kg CO ₂	11'140 kg CO ₂
WLTP	15.8	2'510 kg CO ₂	9'670 kg CO ₂
WLTP +20% Ladeverlust	19.0	3'020 kg CO₂	11'630 kg CO₂

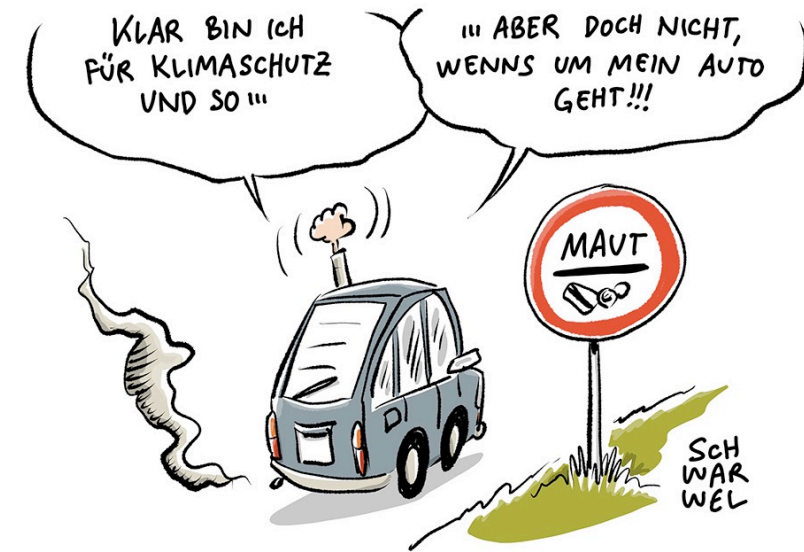
Berechnung Elektrizität, 16 kWh/100km; (0.16 kWh/km)
 0.16kWh/km x 0.106kg/kWh (CH) = 0.017kgCO₂/km, x 150'000km = 2'544 kg CO₂
 0.16kWh/km x 0.408kg/kWh (ENTSO) = 0.0653kgCO₂/km, x 150'000km = 9'792 kg CO₂

Tesla Model 3 Performance, 22 kWh, 3498 kg CO₂ CH-Mix, 13464 kg CO₂ EU-Mix

TOTAL Tesla CH LCA, CH-Mix: 13029 + 3498 = 16527 kgCO₂eq
TOTAL Tesla NOR LCA, EU-Mix: 18823 + 13464 = 32287 kgCO₂eq

Ausblick

- E-Mobilität und Batterien sind weiterhin eine Glaubenssache, trotz klarerer Resultate der Umweltanalysen:
Wer nicht will sucht Gründe, wer will sucht Wege.
- Bekenntnisse bisher eher bremsender Marktteilnehmer (z.B. VW) werden die Akzeptanz von eAutos und elektrischen Speichersystemen beschleunigen.
- Die Produktion von neuen Fahrzeugen und Batterien erfolgt gemäss Bekenntnissen der Hersteller vorwiegend mit Ökostrom.
- Forschung:



Million-mile battery ¹⁾

*hohe Rückgewinnungsraten
im Recycling*

molten salt

Lithium-Sulfur

solid state

dry electrodes

*"Salzwasser-Batterie"
Na oder Mg Ionen*

Lithium-Luft

Merci

¹⁾ Journal of The Electrochemical Society, 166 (13) A3031-A3044 (2019); **A Wide Range of Testing Results on an Excellent Lithium-Ion Cell**; Chemistry to be used as Benchmarks for New Battery Technologies; Jessie E. Harlow, Xiaowei Ma, Jing Li, Eric Logan, Yulong Liu, Ning Zhang, Lin Ma, Stephen L. Glazier, Marc M. E. Cormier, Matthew Genovese, Samuel Buteau, Andrew Cameron, Jamie E. Stark, and J. R. Dahn; Dalhousie University, Halifax, Canada; [DOI: 10.1149/2.0981913jes]