

Kosten und CO2-Emissionen eines Elektroautos

Christoph Lüders <chris@cfos.de>

7. Januar 2020, v1.0.1

Zusammenfassung

Wir fahren 20.000 km pro Jahr und vergleichen die Kosten für die Anschaffung eines Neuwagens, Unterhalt und Verkauf nach 10 Jahren von einem Golf, einem BMW 318d und einem Tesla Model 3. Es zeigt sich, dass das Model 3 (wenn es mit Öko-Strom betankt wird) 5-mal geringere CO2-Emissionen hat als die Verbrenner. Es kostet ähnlich viel wie der Golf und ist wesentlich günstiger als der BMW. Um einen eigenen Eindruck zu bekommen, stellen wir auch ein Worksheet mit den Berechnungen zur Verfügung.

Einleitung

Bei Fehlern oder groben Unzulänglichkeiten in unserer Argumentation oder Berechnung bitten wir um Mitteilung ([E-Mail](#), [Twitter](#), [Homepage](#)). Wer sich auch einen Tesla bestellt, kann unseren [Referral Link](#) benutzen.

Wir suchten im Sommer 2019 ein Auto, um damit ca. 20.000 km jährlich zu fahren. Es sollte etwa die Größe eines VW Golfs haben, allerdings wollten wir aus Umweltgründen keinen Verbrenner.

Kosten

Der Neupreis eines Elektroautos ist wesentlich höher als der eines Verbrenners. Das [Model 3 kostet](#) ab 43.370 € (Förderung von derzeit 4000 € schon abgezogen), während [ein aktueller Golf](#) für 27.510 € zu haben ist. Die folgenden zwei Punkte machen das E-Auto aber preislich interessant.

Geringere Verbrauchskosten

Laut [spritmonitor.de](#) verbraucht der Golf 5.8 l/100 km (25te Perzentile aller Angaben, also recht sparsam gefahren). Bei aktuellen Benzinkosten von 1.37 €/l belaufen sich die Spritkosten für 100 km damit auf 7.95 €.

Das [Model 3 verbraucht](#) 16.1 kWh/100 km und wir "tanken" [nachhaltigem Ökostrom](#) von [EWS Schönau](#) für 29 ct/kWh. Damit kosten uns 100 km nur 5.56 € (dabei ist eingerechnet, dass beim [Laden Verluste auftreten](#) und die [Effizienz 84%](#) beträgt). Bei 20.000 km/Jahr macht das heute einen Unterschied von 478 €/Jahr.

Weiterhin sind wir davon ausgegangen, dass der Benzinpreis steigen wird; wir haben hier 47% Preisanstieg in 10 Jahren angenommen (siehe [Positionspapier des Umweltbundesamts](#)). Das heißt, nach 10 Jahren kosten 100 km Golf fahren schon 11.68 € und damit ist der Unterschied der Verbrauchskosten 6.12 €/100 km und damit 1224 €/Jahr.

Geringerer Preisverfall

Um den Preisverfall eines Autos mathematisch einfach zu fassen, gehen wir davon aus, dass der Wert jedes Jahr um einen festen Faktor zum Vorjahr fällt. Das scheint uns gerechtfertigt und führt zu einer [negativ exponentiellen Entwicklung](#), siehe dazu auch Grafiken [hier](#) und [hier](#). Laut Schwacke war 2017 der Restwert eines Autos (gemittelt über alle Segmente) [nach 3 Jahren noch ca. 56.2%](#), was 17.5% Preisverfall pro Jahr bedeutet.

Wir gehen davon aus, dass sich Verbrenner zunehmend schlechter gebraucht verkaufen lassen. Der Direktversicherer CosmosDirekt nennt einen Restwert von [60% nach 4 Jahren](#) für Elektroautos, was lediglich 12% Verlust pro Jahr bedeutet.

Das bedeutet für den Golf, dass er nach 10 Jahren nur noch 15% seines Neupreises wert ist, das Model 3 aber immerhin noch 28%.

Kleinere Posten

Man hört, dass die Wartung von E-Autos billiger ausfalle, hier reden wir von ein paar hundert Euro pro Jahr. Diese Werte haben wir geschätzt. Ebenso fällt keine Steuer für E-Autos an.

Summe aller Kosten

In der Summe aller Kosten, inkl. Kaufpreis, Förderung und Restwert nach 10 Jahren, kommen wir bei dem Golf auf 52.453 € und beim Model 3 auf 53.468 €. Allerdings bekommt man dafür beim Model 3 auch mehr Auto. Ein fairer Vergleich wäre vielleicht der BMW 318d, dessen Kosten in der Summe aber auf 65.756 € kommen, der also wesentlich teurer ist.

CO₂-Ausstoß

Ein Auto (ohne Batterie) herzustellen, erzeugt [laut Edison Media](#) ca. 4 bis 5.4 Tonnen CO₂, Elektroautos sind ca. 20% günstiger zu bauen. Wir nehmen durchschnittlich 4.500 kg CO₂ für die Herstellung von Verbrennern an, 4.000 kg für E-Autos ohne Batterie. Diesen CO₂-Ausstoß rechnen wir über die Lebensdauer des Motors, bei [Tesla 320.000 km](#), bei den [Verbrennern 200.000 km](#).

CO₂-Emission bei der Batterieproduktion

Bei der Produktion eines Elektroautos entsteht ein großer Posten CO₂ bei der Herstellung der Batterie. Die schwedische IVL Studie von 2017 nannte 150-200 kg CO₂/kWh Batteriekapazität

(dazu [Kritik](#) und [weitere Links](#)). Ebenso haben Ford und LG Chem 2016 [eine Studie](#) publiziert, die 140 kg/kWh nennt. Inzwischen gibt es eine neue [IVL Studie von 2019](#), die als Wert 61-106 kg/kWh nennt. Wir nehmen deren Durchschnitt von 83 kg/kWh an.

Nicht eingerechnet ist, dass angeblich 50% der CO₂-Emissionen der Batterieproduktion durch Strom in der Fabrik entstehen, aber die [Tesla Gigafactories CO₂-neutral](#) sind (oder werden). Hier steckt noch Potenzial.

Lebensdauer der Batterie

Bei der Kalkulation muss man bedenken, dass das CO₂ nicht über die km verteilt wird, die man das Auto besitzt, sondern über die Lebensdauer der Batterie. Tesla gibt auf seine Batterien eine [Garantie](#) von 160.000 km, allerdings scheint man guten Gewissens auch [wesentlich höhere Werte](#) annehmen zu können. Wir haben den Garantiewert benutzt.

Das zweite Leben der Batterie

Wenn die Batterien nicht mehr im Auto benutzt werden (können), haben sie immer noch genug Kapazität (70%), um stationär für Speichersysteme genutzt zu werden. Wir haben diesem zweiten Leben der Batterien konservativ 25% des ursprünglichen CO₂ zugerechnet, da es uns gerechtfertigt scheint, einen Anteil der CO₂-Emissionen zur Herstellung der Batterie diesem zweiten Leben zuzurechnen.

Ergebnis für den Tesla

Wenn man die vorgenannten Zahlen zugrunde legt, schlägt sich die Batterieproduktion des Tesla Model 3 wie folgt nieder:

$$54 \text{ kWh} \cdot 83 \text{ kg/kWh} \cdot 75\% / 160.000 \text{ km} = 21 \text{ g/km.}$$

Das CO₂ aus der Herstellung des Autos ohne Batterie resultiert in:

$$4.000 \text{ kg} / 320.000 \text{ km} = 12.5 \text{ g/km.}$$

Wenn man mit Strom aus dem Strommix tankt (der [2019 mit 580 g CO₂/kWh](#) erzeugt wurde), kommen noch hinzu:

$$16.10 \text{ kWh} / 84\% \cdot 580 \text{ g/kWh} / 100 \text{ km} = 111 \text{ g/km}$$

Da wir aber nachhaltigen Ökostrom beziehen, ist der streckenabhängige CO₂-Ausstoß 0 g/km!

Damit erzeugt der Tesla 21 + 12.5 = 33.5 g CO₂/km.

Vergleich: CO₂ bei Verbrennern

Bei Verbrennern gibt es [einfache Angaben](#) (auch [hier](#)), wie viel CO₂ pro verbrauchtem Liter Sprit entstehen: 2.43 kg CO₂/l Benzin und 2.66 kg CO₂/l Diesel. Weiterhin braucht die Raffinierung des Benzin auch Energie, angeblich ca. 20%. Diese haben wir beim CO₂-Ausstoß

der Verbrenner noch aufgeschlagen. Teilweise wird Sprit aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen, hier haben wir 10% angenommen.

Bei einem Verbrauch von 5.8 l / 100 km ergibt sich für den Golf an streckenabhängigen Emissionen:

$$5.8 \text{ l} \cdot 2.43 \text{ kg/l} \cdot 120\% \cdot 90\% / 100 \text{ km} = 152 \text{ g/km.}$$

Dazu kommt noch für die Herstellung des Autos:

$$4.500 \text{ kg} / 200.000 \text{ km} = 22.5 \text{ g/km.}$$

Damit erzeugt der Golf $22.5 + 152 = 175 \text{ g CO}_2/\text{km}$.

Für den BMW mit einem Verbrauch von 5.6 l Diesel / 100 km ergibt sich an streckenabhängigen Emissionen:

$$5.6 \text{ l} \cdot 2.66 \text{ kg/l} \cdot 120\% \cdot 90\% / 100 \text{ km} = 161 \text{ g/km.}$$

Die Herstellung des BMW erzeugt so viel CO₂ wie die des Golfs.

Damit erzeugt der BMW $22.5 + 161 = 184 \text{ g CO}_2/\text{km}$.

Fazit

Wenn man das Model 3 mit nachhaltigem Ökostrom betankt, erzeugt es nur 33.5 g CO₂/km, im Vergleich dazu der Golf 175 g CO₂/km und der BMW 184 g CO₂/km. D.h., das Model 3 erzeugt weniger als ein Fünftel CO₂ pro km!

Das Ganze gilt natürlich unter diversen Annahmen, die wir aber alle für realistisch, teilweise sogar für konservativ halten. Speziell eine bessere Zweitverwertung der Batterie oder CO₂-neutrale (Batterie-)Herstellung ist nicht mit eingerechnet. Diese Annahmen kann man in unserem Worksheet ändern und die Auswirkungen ermitteln.

Im Gegenzug wüssten wir nicht, wie der CO₂-Ausstoß eines Verbrenners außer durch einen höheren Anteil nachwachsender Rohstoffe verbessert werden könnte. Daraus resultieren allerdings ganz eigene Probleme (Konkurrenz zum Anbau von Nahrungsmitteln, Monokulturen, Abholzung von Regenwald), weshalb wir das für keinen gangbaren Weg halten.

Referenzen

Unser Worksheet

Viele Annahmen sind in unsere Berechnungen eingeflossen. Um ein Gefühl zu bekommen, in welchem Maße sie einen Einfluss auf das Ergebnis haben, stellen wir unser Worksheet zur Verfügung. Dort kann man auch andere Fahrzeuge miteinander vergleichen.

Weitere Links

- InsideEVs . Dez 2019. [It's That Time Again: Let's Revisit & Debunk Common EV Myths](#)
- ADAC. Okt 2019. [Elektroautos brauchen die Energiewende: Die Klimabilanz](#)
- Joanneum Research. Sep 2019. [Geschätzte Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch in der Lebenszyklusanalyse von Pkw-basierten Verkehrssystemen](#)
- Union of Concerned Scientists. Nov 2015. [Cleaner Cars from Cradle to Grave](#)
- Markus Müller. [Verbrauchsberechnung von EVs](#)