

Spickzettel – CO₂ und Elektromobilität in der Schweiz

Prof. Dr. Hubert Kirmann, 2021-03-05

Wie sähe die CO₂-Bilanz der individuellen Elektromobilität aus, wenn von den Neuwagen ab 2021 ein Viertel, ab 2025 die Hälfte und ab 2030 alle E-Autos wären? Dann würden bei gleichbleibender Anzahl Autos und gleichbleibenden Verkaufszahlen alle Benziner und Tanksäulen bis 2043 verschwinden (ein Szenario, das die Auto-Branche tragen würde, obwohl einige Firmen verschwinden würden, Swissoil aber kaum).

Der CO₂-Ausstoss des Verkehrs würde sich von heute 15 Millionen Tonnen CO₂/Jahr auf die Hälfte bis 2038 und auf ein Fünftel bis 2042 verringern (Bild 1). Obwohl kein Benzin mehr verbrannt wird, stösst im Jahre 2050 der Verkehr weiterhin **3 Millionen t CO₂ /Jahr** aus, wegen Importen von Strom und Waren.

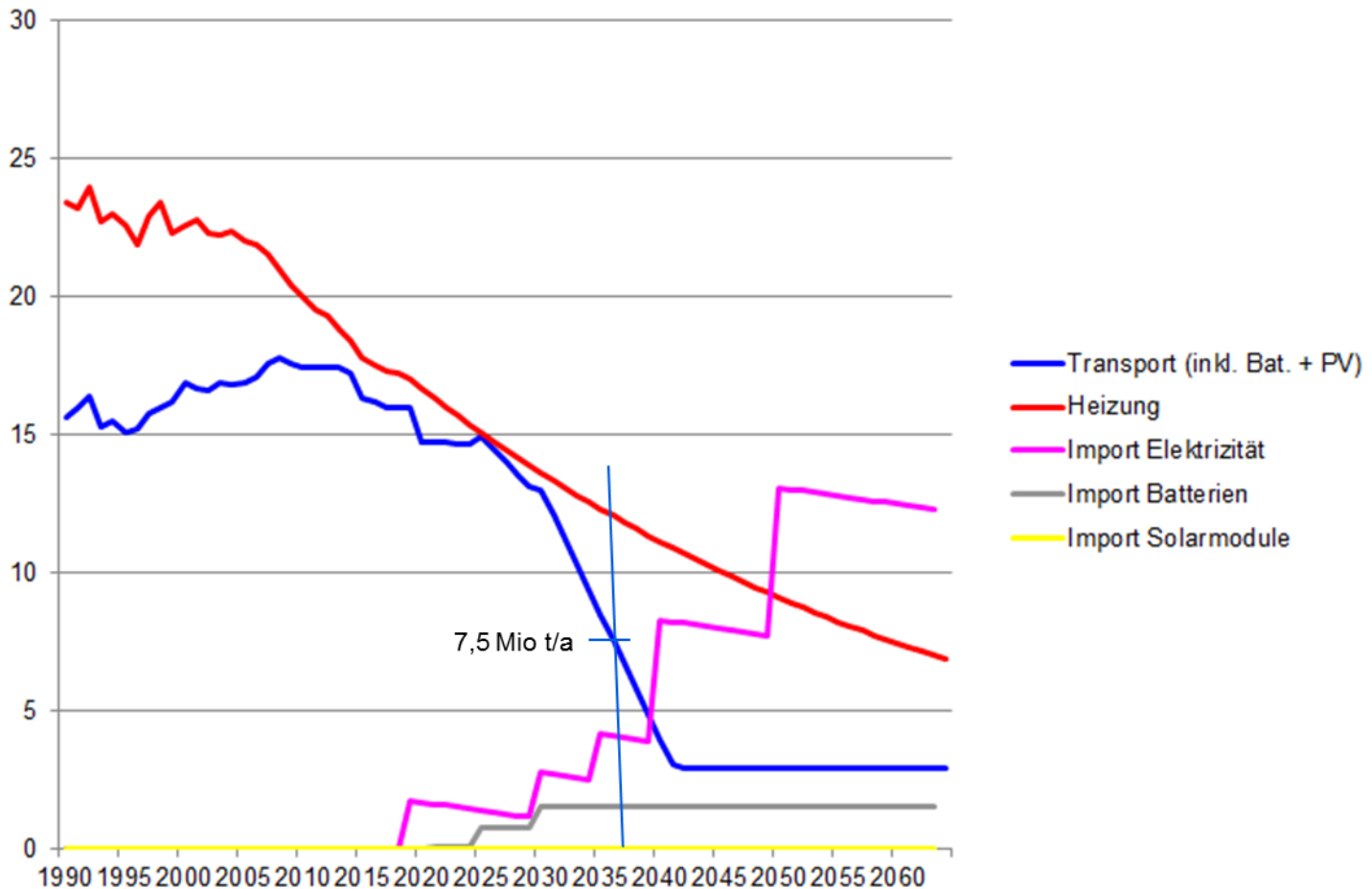


Bild 1 - CO₂ Ausstoss der Mobilität in Millionen Tonnen CO₂ / Jahr (blau)

(Quelle für die Zeitspanne 1990-2019:BFE)

Auf dem Diagramm sind zum Vergleich dargestellt:

- In Rot, der CO₂ Ausstoss der Gebäudeheizung durch bessere Isolation und Wärmepumpen (es geht nicht schneller hinunter wegen der Erneuerungsrate der Gebäuden) und
- In Magenta, der CO₂ Ausstoss des Ersatzstromes der abgestellten AKWs (die schräge Stufe des CO₂-Ausstosses kommt daher, dass die Importe allmählich, aber nicht vollständig durch Zubau der PV ersetzt werden)

Der Schwerverkehr wird hier nicht berücksichtigt, aber es ist davon auszugehen, dass bis 2040 die Batterien so viel Fortschritt machen werden, dass alle Lastwagen elektrisch fahren. Eine Wasserstoffstrategie, wie dies die Erdölbranche propagiert, bräuhete drei Mal so viel Solarzubau wie Batterieautos, und damit würde der CO₂-Ausstoss der Batterien den erhöhten CO₂-Ausstoss der PV-Anlagen ersetzen. Für eine Wasserstoff-Flotte reicht die Dachfläche der Schweiz nicht aus.

Annahmen und Berechnungen

1. Der Schweizer Stromverbrauch (ausser E-Mobilität) stagniert trotz Effizienzverbesserung oder Wirtschaftsschrumpfung bei **60 TWh/a**, denn Stromersparnisse werden durch den Strom für die Wärmepumpen und für die Digitalisierung wettgemacht. Da die Schweiz im Winter bereits Strom importiert, wird der Strom für die E-Mobilität **entweder importiert oder zugebaut**.
2. In der Schweiz gibt es **4,6 Millionen Autos**, die durchschnittlich **11'000 km** fahren. Jedes Jahr werden etwa 300'000 neue Autos in Verkehr gebracht (und nahezu gleich viele verschrottet) [1]. Diese Zahlen dürfen konstant bleiben (heute steigen sie um 3,5% pro Jahr). Diese Autos stossen heute **15,3 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr** aus [2].
3. Die Einwohner fahren weiterhin gleich viel. Jedes E-Auto verbraucht durchschnittlich **2 MWh** Strom pro Jahr (11'000 km/Jahr à 15 kWh/100 km + 20% Lade- und Entladeverluste)
Das entspricht einer Pendlerin, die mit ihrem Zoe pro Tag 1/2 Stunde fährt.
4. Lädt sich ein E-Auto nur durch **Importstrom** (Euromix 630 kg CO₂/MWh), stösst es 1,2 t CO₂/Jahr aus, also **mehr als ein Eco-Benziner** nach EU-Vorschrift mit 95 g CO₂/km (1,1 t CO₂/Jahr).
(Schweizer Autos stossen heute das Dreifache aus, aber das ist eine andere Baustelle).
Der Euromix im Winter dürfte eher schlechter werden wenn die AKWs ausser Betrieb genommen werden.
5. Um seine 2 MWh/Jahr ökologisch zu produzieren, braucht jedes E-Auto **theoretisch 2 kW** Solarmodule (10 m²). Dabei wird angenommen, dass das E-Auto nur am Tag geladen wird, d.h. am Arbeitsplatz bei einem Pendler. Falls die Sonne nicht ausreicht, wird die Batterie durch Netzstrom geladen, also durch Stromimporte.
6. Die Batterie wird jeden Tag von der 2 kW-PV-Anlage geladen und sie wird nur früh am Morgen oder spät am Abend entladen. Da das E-Auto auch im Winter fährt und da Wasserkraft und Kernkraft schon vergeben sind, wird noch 1/4 der Ladung importiert (falls möglich) oder von Gasturbinen (400 kg CO₂/MWh) bezogen. So käme man auf 1,2 t CO₂/Jahr / 4 = 0,3 t CO₂/Jahr und Auto (Bild 2).

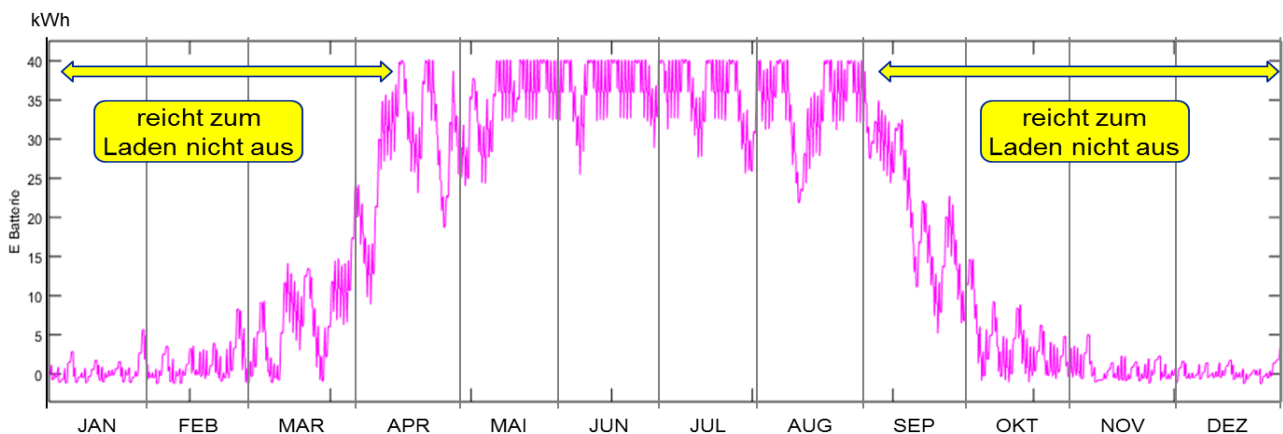


Bild 2 Ladekurve einer 50 kWh Autobatterie mit einer 2 kW Solaranlage übers Jahr

Hier wird die Batterie nur zu 80% geladen, um die Lebenszeit zu verlängern und um Bremsen durch Rekuperation zu ermöglichen. Die Batterie entlädt sich täglich nur um etwa 10 kWh, der Rest ist Reserve für einen Tag, wo nicht geladen werden kann, oder für einen längeren Ausflug.

7. Es handelt sich hier um den günstigsten Fall, wenn die Batterie jeden Tag von der Sonne geladen wird und nur früh am Morgen oder spät am Abend entladen wird. Die Fahrer wollen aber am Morgen eine volle Batterie und das geht nur mit Nachtstrom oder eine **Umladebatterie**. Diese würde die CO₂- und Energiebilanz verschlechtern. Und ein intelligentes Ladesystem, das mit dem Sonnenschein des nächsten Tages spekuliert, braucht eine überdimensionierte Batterie.
8. Damit wird klar, dass die **2 kW Photovoltaik nicht ausreichen**. Wird die Modulfläche verdoppelt, halbiert sich der bezogene Strom, wird sie verdreifacht, sinkt der bezogene Strom auf 1/4. Der CO₂-Ausstoss sinkt entsprechend, aber die Kosten steigen.
9. Zusätzlich kommt das "graue" CO₂ bei der Herstellung eines E-Autos und seiner PV-Anlage.
- **2 t CO₂** für die 2 kW PV-Module und dazugehörige Elektronik/Montage [7] und
- **5 t CO₂** für die Batterie pro Auto (60 kWh Batterie = 400 km Reichweite) [8].
(Der CO₂-Ausstoss der PV und der Batterien sinkt zwar mit der Zeit durch bessere Fabrikation, aber dies wird durch grössere Batterien für mehr Reichweite wieder zunichte gemacht).
10. Ein Fahrzeugpark von 4 Millionen Autos braucht einen Zubau der Photovoltaik von **0,6 GW / Jahr**, dies **zusätzlich** zum Zubau, der die AKWs ersetzen soll. Da ein Auto **12 Jahre** lebt und ein PV Modul **25 Jahre** lebt, hören diese CO₂-Fixkosten nicht auf, auch wenn alle Autos elektrisch sind und alle PV-Anlagen gebaut sind. Auf unbestimmte Zeit werden Importe etwa **3 Mio t CO₂ / Jahr** ausstossen. also mehr als der CO₂Ausstoss durch den restlichen Stromimport für die E-Autos.

11. Insgesamt brauchen die E-Autos um 2050 **9 TWh/a** Strom, was etwa dem Atomkraftwerk Leibstadt entspricht. Dazu braucht es 50 km² PV-Module auf den Dächern, (ohne Berücksichtigung der Elektrifizierung des Schwerverkehrs.)

Referenzen:

[1] BAFU – <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge.html>

[2] BAFU - <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/zustand/daten/CO2-statistik.html>

Die 15,9 Mio t CO₂ der Treibstoffen schliesst Diesel und Benzin ein, Kerosen jedoch nicht.

Der Anteil des Schwerverkehrs (4%) wird hier ignoriert.

[3] ADAC <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>

[4] CO₂-Monitor <https://www.CO2-monitor.ch/de/information/glossar/>

[5] VDA <https://www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/CO2-regulierung-bei-pkw-und-leichten-nfz/CO2-regulierung-bei-pkw-und-leichten-nutzfahrzeugen.html>

[6] PV-Magazine, high efficiency crystalline modules <https://www.pv-magazine.com/module-price-index/>

[7] Fraunhofer ISE Aktuelle Zahlen zur Photovoltaik

<https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.html>

[8] IVL Swedish Environmental Research Institute

<https://www.ivl.se/download/18.14d7b12e16e3c5c36271070/1574923989017/C444.pdf>
