

Sachdokumentation:

Signatur: DS 3355

Permalink: www.sachdokumentation.ch/bestand/ds/3355



Nutzungsbestimmungen

Dieses elektronische Dokument wird vom Schweizerischen Sozialarchiv zur Verfügung gestellt. Es kann in der angebotenen Form für den Eigengebrauch reproduziert und genutzt werden (private Verwendung, inkl. Lehre und Forschung). Für das Einhalten der urheberrechtlichen Bestimmungen ist der/die Nutzer/in verantwortlich. Jede Verwendung muss mit einem Quellennachweis versehen sein.

Zitierweise für graue Literatur

Elektronische Broschüren und Flugschriften (DS) aus den Dossiers der Sachdokumentation des Sozialarchivs werden gemäss den üblichen Zitierrichtlinien für wissenschaftliche Literatur wenn möglich einzeln zitiert. Es ist jedoch sinnvoll, die verwendeten thematischen Dossiers ebenfalls zu zitieren. Anzugeben sind demnach die Signatur des einzelnen Dokuments sowie das zugehörige Dossier.



Elektro-Autos bringen uns vorwärts, aber noch nicht ans Ziel.



ELEKTROMOBILITÄT UND ENERGIEWENDE

AUSWIRKUNGEN VON ELEKTRO- MOBILITÄT AUF DEN STROMBEDARF

Kurzstudie
Florian Brunner

Zürich, März 2021

Abstract

Um das international vereinbarte Klimaziel und das durch den Bundesrat für die Schweiz ergänzte Netto-Null-Ziel bis 2050 zu erreichen, ist der Umstieg von der Verbrennung erdölbasierter Treibstoffe auf klimafreundliche, erneuerbare Antriebstechnologien unabdingbar. Es bietet sich an, Autos mit Batterien zu verwenden, die mit Strom geladen werden. Zur Bewältigung des Fossilausstiegs im Verkehrssektor stehen wir mitunter vor einer energietechnischen Herausforderung. Es stellt sich die Frage, ob es ausreichend erneuerbare Energien gibt, um die gesamte Schweizer Pkw-Flotte zu elektrifizieren. In der vorliegenden Kurzstudie analysiert die Schweizerische Energie-Stiftung SES die Energiewende im Verkehrssektor und untersucht die möglichen Auswirkungen zukünftiger Elektromobilität auf den Zusatzbedarf elektrischer Energie in der Schweiz. In drei Szenarien wird veranschaulicht, in welchem Ausmass eine Transformation hin zu einem elektrifizierten Personenverkehr mit 100% batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen den Strommehrbedarf beeinflusst. Ein «Weiter wie bisher» bei der Personenverkehrsleistung macht einen kräftigen Ausbau erneuerbarer Energien notwendig, während eine «Verkehrswende light» diesen Ausbau leicht und eine «Neue Mobilitätspolitik» etwas stärker mindern würde. Aus dieser Erkenntnis lassen sich wiederum Rückschlüsse auf den Umsetzungsgrad der umfassenden Verkehrswende ziehen.



**Schweizerische
Energie-Stiftung
Fondation Suisse
de l'Énergie**

Sihlquai 67
8005 Zürich
Tel. 044 275 21 21

info@energiestiftung.ch
PC-Konto 80-3230-3

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
Inhaltsverzeichnis	3
1. Einleitung	4
2. Klimafreundliche Fahrzeuge auf Basis von Strom	5
2.1 Energie- und Klimabilanz von BEV und FCEV	6
2.2 Annahmen für einen fossilfreien Personenverkehr	9
3. Szenarien einer Verkehrswende	10
3.1 Szenario 1: Weiter wie bisher (WWB)	10
3.1.1 Personenverkehrsleistung nimmt weiter zu	10
3.1.2 Auswirkungen auf den Strombedarf	11
3.2 Szenario 2: Verkehrswende light (VWL)	11
3.2.1 Verkehrsleistung nimmt um 10 Prozent ab	12
3.2.2 Auswirkungen auf den Strombedarf	12
3.3 Szenario 3: Neue Mobilitätspolitik (NMP)	13
3.3.1 Verkehrsleistung um einen Drittel reduziert	13
3.3.2 Auswirkungen auf den Strombedarf	13
4. Geschwindigkeit der Verkehrswende	14
5. Erneuerbare Stromversorgung heute und morgen	16
6. Diskussion der Resultate	17
6.1 Stromversorgung der Elektromobilität	17
6.2 Energiewende und Verkehrswende	18
7. Ausblick	19
8. Politische Forderungen	20
9. Abkürzungsverzeichnis	21
10. Quellen	21

1. Einleitung

Das Ziel ist ambitioniert, aber klar: CO₂-emittierende Energieträger sollen möglichst rasch der Vergangenheit angehören. Bis spätestens 2050¹ muss die Schweiz CO₂-frei werden, das verlangt das Pariser Klimaabkommen und ist vom Bundesrat unlängst bekräftigt worden². Das bedeutet, die EinwohnerInnen, die Firmen, die Industrie, wir alle dürfen bis zur Mitte des Jahrhunderts unter dem Strich keine Treibhausgase (THG) mehr ausstossen. Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist ein solches Treibhausgas, es entsteht mitunter beim Verbrennungsprozess in einem Benzin- oder Dieselfahrzeug. Die Wissenschaft zeigt klar, dass die Geschwindigkeit für die Erreichung der Klimaziele entscheidend ist (IPCC 2018). Je schneller wir auf null sind, umso geringer die Auswirkungen des Klimawandels.

Der Weg hin zu einem Netto-Null-Energiesystem ist nicht trivial. Die Herausforderung für den Verkehrsbereich ist dabei besonders gross: Der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor stagniert seit Jahren auf niedrigem Niveau (BFE 2019). Wir Schweizerinnen und Schweizer sind heute fast ausschliesslich mit Benzin- und Dieselfahrzeugen unterwegs, und der durchschnittliche Treibstoffverbrauch der Schweizer Autoflotte ist aufgrund des steigenden Personenwagenbestands und der oftmals schweren und leistungsstarken Fahrzeuge (SUV) sehr hoch (BFE 2020b). Der Sektor Verkehr ist eine Senkung der Treibhausgasemissionen bislang schuldig geblieben. Dies auch, weil der Verkehr der grösste Energieverbraucher der Schweiz ist; 38 Prozent der Endenergie wurde 2019 im Verkehrssektor verbraucht (BFE 2020a). Und nahezu 93 Prozent dieses Energiebedarfs werden mit Erdölprodukten gedeckt, namentlich Benzin, Diesel und Flugtreibstoffe. So macht der Verkehr heute 32 Prozent an den gesamten Schweizer Treibhausgasemissionen aus (BAFU 2020).

Zur Erreichung der Energie- und Klimaziele ist der Verkehr besonders gefordert. Eine Energiewende im Verkehrssektor ist nötig. Diese bedingt den Umstieg von der Verbrennung erdölbasierter Treibstoffe auf klimafreundliche Antriebstechnologien auf Basis erneuerbarer Energiequellen. Die Technologien stehen bereits zur Verfügung: Verbrennungsmotoren mit fossilfreien Treibstoffen (z.B. Biogas) oder Elektromobilität mit batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV), Fahrzeuge mit Brennstoffzellen (FCEV) und Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen (PHEV). Soll der Verkehr künftig komplett fossilfrei angetrieben werden, bietet sich gemäss vielen ExpertInnen und WissenschaftlerInnen in erster Linie die Elektromobilität an³. Elektrisch betriebene Fahrzeuge haben das Potenzial, komplett erneuerbar und damit klimafreundlich betrieben zu werden. Biotreibstoffe können diese Rolle nicht erfüllen, da sie nur begrenzt verfügbar sind (Bergk et al. 2017).

Zwei Gründe sprechen dafür, dass die Fahrzeuge der Zukunft auf Basis von Strom angetrieben werden. Erstens lassen sich grosse und wachsende Mengen klimafreundlicher Energie nur mit erneuerbarem Strom erzeugen. Zweitens lässt sich Strom nicht nur direkt in Antriebsleistung umwandeln, sondern auch in jeden anderen flüssigen oder gasförmigen Energieträger, beispielsweise in Wasserstoff oder strombasierte, synthetische Kraftstoffe. Handelt es sich um erneuerbar, klimafreundlich erzeugten Strom, dann sind die aus ihm gewonnenen

¹ Das Zieljahr 2050 ist zuletzt ein globales. Es besteht ein Konsens, dass z.B. die Schweiz mehr zum Klimaschutz beitragen muss, als Land das in der Vergangenheit auch mehr THG emittiert hat. Um die Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% bei maximal 1,5 Grad zu halten, wäre das Schweizer CO₂-Budget bei einer gleichmässigen Reduktion bereits im Jahr 2030 aufgebraucht (IPCC 2018).

² <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-76206.html>

³ So unterstützt beispielsweise auch das deutsche Bundesministerium für Verkehr die Elektromobilität: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Dossier/Elektromobilitaet/elektromobilitaet.html>

Energieträger ebenfalls klimafreundlich. Ausserdem ist die Antriebseffizienz bezogen auf die Primärenergie beim BEV wesentlich besser als bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Das batterie-elektrische System ist aber auch in Bezug auf Wasserstoffautos das weitaus effizienteste (siehe Abbildung 1, Seite 7).

Die vorliegende Kurzstudie geht der Frage nach, welche Auswirkung ein Personenverkehr, der zu 100% auf erneuerbarer Stromproduktion basiert, auf den Strombedarf hat. Die Studie geht nicht auf die Massnahmen ein, mit welchen der Personenverkehr dekarbonisiert werden kann. Stattdessen werden entscheidende Auswirkungen auf den Strombedarf anhand verschiedener Szenarien eines fossilfreien bzw. elektrifizierten Personenverkehrs dargestellt. Machen wir «Weiter wie bisher» (WWB – Szenario 1), so werden laut Verkehrsperspektiven des ARE⁴ die zurückgelegten Personenkilometer weiter zunehmen. Ein alternatives Szenario geht von einer «Verkehrswende light» (VWL – Szenario 2) aus, bei der der heutige Personenverkehr beim motorisierten Individualverkehr (MIV) leicht reduziert wird. Zukünftig und zusätzlich anfallende Personenkilometer (Pkm) werden durch Effizienz und Suffizienz kompensiert. Ein drittes Szenario heisst «Neue Mobilitätspolitik» (NMP – Szenario 3). Dieses beinhaltet eine Reduktion der heutigen Pkm um einen Drittel.

Im folgenden Kapitel 2 werden die Möglichkeiten strombasierter Fahrzeuge erörtert und die Annahmen dargelegt. Kapitel 3 untersucht, welcher Strombedarf bei welchem Szenario einer Verkehrswende anfällt. Kapitel 4 zeigt auf, mit welcher Geschwindigkeit der Marktdurchdringung der Elektromobilität zu rechnen ist. Das Kapitel 5 zeigt die heutige und zukünftige Stromversorgung auf. Im Kapitel 6 werden die Resultate aus den verschiedenen Szenarien diskutiert. Und das Kapitel 7 schliesst mit einem Ausblick und konkreten politischen Forderungen.

2. Klimafreundliche Fahrzeuge auf Basis von Strom

Die Energiewende im Verkehr ist die Umstellung auf Fahrzeuge die mit Strom, Wasserstoff oder Treibstoffen auf Strombasis angetrieben werden. Die bisherige Antriebstechnologie mit Verbrennungsmotoren ist in Zeiten der Klimakrise ein Auslaufmodell. Benzin und Diesel bestehen zum grössten Teil aus Kohlenstoff, das bei der Verbrennung in Kohlendioxid umgewandelt wird. Ein Fahrzeug mit einem Verbrauch von 7 Litern Benzin pro 100 Kilometer und einer Laufleistung von 15'000 Kilometern verursacht etwa 2'500 Kilogramm Kohlendioxid pro Jahr. Dazu kommen nochmals mehrere Hundert Kilogramm für die Herstellung von Benzin aus Rohöl und den Transport von der Ölquelle bis zur Zapfsäule. Ein Elektroauto mit Strom-Verbrauchermix Schweiz und einem Verbrauch von 20 kWh pro 100 Kilometer kommt bei derselben Laufleistung etwa auf die Hälfte des CO₂-Ausstosses⁵. Hier gilt es zu beachten, dass in dieser Bilanz beim Elektroauto namentlich die Fahrzeugherstellung- und entsorgung zu Buche schlägt, was auf die energieintensive Batterieproduktion zurückzuführen ist. Bei der Herstellung der Batterie wird heute relativ viel Strom benötigt, dessen Erzeugung verursacht Emissionen. Vorteile haben Elektroautos in der Nutzungsphase durch die hohe Energieeffizienz des Antriebs. Der Nachteil bei der Fahrzeug- bzw. Batterieherstellung wird sich durch verstärktes Recycling der Batterien, deren technologische Weiterentwicklung und den Ausbau erneuerbarer Energien verringern. Voraussetzung dafür ist ein konsequenter Umbau der Energiewirtschaft (Helms

⁴ ARE, 2016. Verkehrsperspektiven 2040

⁵ Berechnung siehe www.mobitool.ch

et al. 2016). Allfällige synthetische Treibstoffe, «Synfuels» oder «E-Fuels», sollen den Verbrennungsmotor retten, wenn es nach der Autoindustrie geht⁶. Doch die Herstellung von «Power-to-liquids» als klimafreundliches Benzin weist im Vergleich eine miserable Effizienz auf und benötigt gewaltige Mengen an Ökostrom. Der Grund dafür ist der schlechte Wirkungsgrad bei der Umwandlung (siehe auch nachfolgendes Kapitel 2.1, Abb. 1).

2.1 Energie- und Klimabilanz von BEV und FCEV

Elektroautos stossen während dem Betrieb aufgrund des elektrischen Antriebs im Vergleich zum Verbrennungsmotor keine Klimagase aus. CO₂-Emissionen und andere Schadstoffe entstehen trotzdem – bei der Erzeugung des Stroms für ein BEV und bei der Herstellung des Fahrzeugs, insbesondere bei der Produktion der Batterie. Die Herstellung eines Akkus für Elektrofahrzeuge erfordert heute noch viel Energie und verursacht darüber hinaus eine Reihe ökologischer und sozialer Schäden. Bei der Beurteilung der Gesamtbilanz ist es wichtig, dass in Lebenszyklen gerechnet wird: Wo und wie wird die Batterie hergestellt, wie lange wird sie bzw. das Fahrzeug genutzt, mit welchem Strom wird das Fahrzeug betankt und wie geht die Entsorgung von Batterie und Fahrzeug vonstatten. In Deutschland, wo nach wie vor viel Strom in Kohlekraftwerken produziert wird, lässt die Klimabilanz von Elektroautos noch zu wünschen übrig, ist aber bereits heute deutlich besser als bei Benzinern. In der Schweiz ist die Ausgangslage durch einen hohen Wasserkraft-Anteil bei der Stromproduktion noch etwas besser. Fatal ist in beiden Ländern der Trend zu immer grösseren Reichweiten und damit zu grösseren und energieintensiveren Batterien. Entscheidend sind in diesem Fall demnach zwei Punkte.

Erstens gilt es, die Entwicklung bei der Batterieherstellung im Auge zu behalten. Elektroauto-Batterien werden in der Tendenz nicht mehr entsorgt, sondern recyclet. Das Recycling ist momentan noch sehr kostenintensiv, doch Hersteller und die Forschung arbeiten intensiv daran⁷. Aktuelle Studien zeigen, dass die Produktion der Lithiumionen-Batterien in den letzten Jahren umweltfreundlicher wurde. Entscheidend für die Ökobilanz ist auch hier der Strommix (IVL 2019). Die weitere Entwicklung von Batterien wird mit entsprechender Forschung zu einer weiteren Verbesserung der Technologie und der Ökobilanz führen (Thielmann et al. 2020).

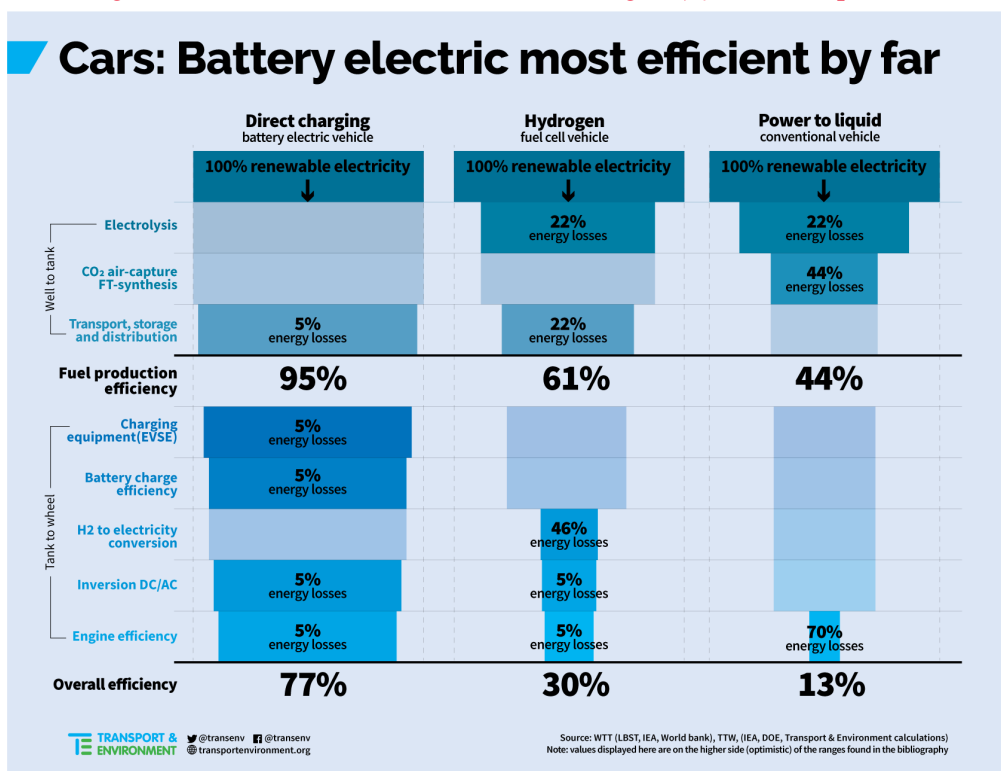
Zweitens ist davon auszugehen, dass sich der Stromproduktionsmix zunehmend in Richtung erneuerbar verlagern wird. Aufgrund der international vereinbarten Klimaziele von Paris muss in erster Linie der Energiesektor als grösster THG-Emittent dekarbonisiert werden. Das bedeutet, dass die fossile Energieproduktion mittel- bis längerfristig komplett durch eine erneuerbare Stromproduktion ersetzt wird. Kurz: Die Aussichten, dass Elektrofahrzeuge künftig vollumfänglich erneuerbar betrieben werden können, sind intakter, als dass Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor genügend fossilen Treibstoff geschweige denn klimaverträglichen Treibstoff (bspw. Biogas) zur Verfügung haben werden. Elektroautos haben bereits heute eine positivere Klimabilanz im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen. Dieser Vorteil wird sich durch technologische Fortschritte und die

⁶ <https://www.welt.de/wirtschaft/article182333024/Synfuels-Der-Plan-zur-Rettung-des-Verbrennungsmotors.html> & <https://bizz-energy.com/nicht-wasserstoff-e-fuels-sind-das-oel-der-zukunft>

⁷ <https://www.nzz.ch/mobilitaet/auto-mobil/recycling-von-e-auto-akkus-empa-evaluiert-beste-loesung-ld.1501335?reduced=true> & <https://www.watson.ch/digital/schweiz/677617865-lithium-ionen-akkus-schweizer-firma-praesentiert-recycling-anlage>

Weiterführung der Energiewende weiter vergrössern (Öko-Institut 2018). Kommt hinzu, dass Verbrennungsmotoren in politischen Vorstössen mehr und mehr mit einem Verbot belegt werden⁸.

Abbildung 1: Effizienz verschiedener Antriebstechnologien (Quelle: Transport & Environment 2018)



Brennstoffzellenfahrzeuge: FCEV (Fuel Cell Electric Vehicles) sind Brennstoffzellenfahrzeuge, die aus dem Energieträger Wasserstoff (H₂) in einer Brennstoffzelle elektrische Energie erzeugen können. Das geschieht direkt für den Elektroantrieb oder für die Zwischenspeicherung in einer Batterie. Der Wasserstoff wird mithilfe von Strom elektrolytisch aus Wasser gewonnen. Wird dafür erneuerbarer Strom verwendet, kann der «grüne» Wasserstoff für Antriebe über Brennstoffzellen genutzt werden. Aus Ökobilanzsicht entscheidend ist, dass die Gewinnung nicht auf Basis fossiler Rohstoffe geschehen darf. Wegen der geringen Effizienz bei der Wasserstoff-Herstellung – von der ursprünglich eingesetzten Energie dient am Ende nur etwa ein Drittel dem Autoantrieb (siehe Abb. 1) – ist massenhaft verfügbarer und zugleich billiger Strom aus erneuerbaren Energien die wichtigste Voraussetzung für eine klimafreundliche und ökologische Wasserstoffwirtschaft (Hajek 2019). Der Einsatzbereich von FCEV liegt mehrheitlich im Lkw-Langstreckenbereich, wo Batterien nicht die geforderte Energiemenge aufbringen können (EBP 2020).

Der Umwandlungsprozess bei den FCEV kostet selbst Energie. Je öfter elektrischer Strom in andere Energieformen überführt wird, desto mehr Kilowattstunden, die von Solar-, Wind- und Wasserkraftanlagen aufwendig erzeugt werden, stehen als Endenergie nicht mehr zur Verfügung. Da der Umwandlungsprozess

⁸ Grossbritannien, Schweden, Dänemark oder auch Japan möchten ab 2030 den Verkauf von Benzinern und Diesel verbieten, Kalifornien ab 2035 und in Norwegen soll bereits bis 2025 kein Neuwagen mehr mit fossilen Treibstoffen laufen. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/grossbritannien-verbrennungsmotoren-2030-101.html>

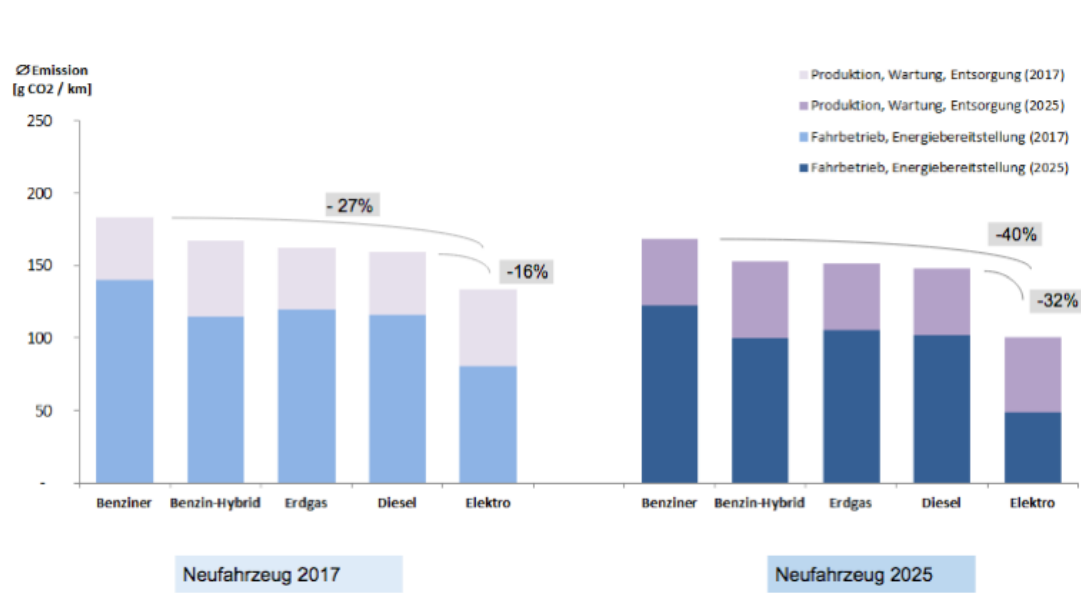
ausserdem mit technischem Aufwand verbunden ist, steigen mit jedem Umwandlungsschritt auch die Kosten der Energiebereitstellung. Beides spricht dafür, den Strom direkt zu nutzen (Agora 2017). Für den Umwandlungsprozess spricht allerdings die Speicherung. Erneuerbare Energien produzieren je nach Wetterlage, Tages- und Jahreszeit unterschiedlich viel Strom. Brennstoffzellen können einen möglichen Weg darstellen, diesen Strom flexibel in das Energiesystem zu integrieren, in Wasserstoff zu speichern und bei Bedarf wieder in Strom umzuwandeln⁹.

Batterieelektrische Fahrzeuge: BEV (Battery Electric Vehicles) sind reine Elektrofahrzeuge, deren Batterie extern aufgeladen werden kann. Untersuchungen zu Umweltauswirkungen von BEV zeigen, dass sie deutlich weniger THG-Emissionen ausstossen als Benzin-, Diesel- und Gasfahrzeuge, sofern sie mit Strom aus erneuerbaren Quellen betrieben werden. BEV verursachen kaum direkte Schadstoffemissionen, hingegen ist ihre Herstellung mit höheren Umwelt- und Klimabelastungen verbunden. Die höheren THG-Emissionen aus der Produktion können durch die geringeren Emissionen im Betrieb nach ca. 30'000 Kilometern kompensiert werden (BFE 2020c). Eine aktuelle Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI weist in Deutschland eine deutliche Treibhausgas-Einsparung von bis zu 42% gegenüber einem Benzin- (mit dem zugrundeliegenden Strommix in Deutschland). Ausschlaggebend für den wesentlichen Umweltvorteil von BEV ist, dass es von Verbesserungen bei der Stromproduktion profitiert. Ein BEV liefert bereits heute über die gesamte Nutzungszeit einen relevanten Beitrag zur Reduktion der THG. Hinzu kommt die Aussicht, die Klimabilanz des Fahrzeugs noch weiter steigern zu können im Vergleich zu Benzin/Diesel-Autos, da sich die Stromproduktion laufend verbessert (Wietschel et al. 2019). Und auch bezüglich Effizienz schneiden BEV am besten ab (siehe Abb. 1). Analysen von Transport & Environment zeigen, dass die optimale Lösung aus Sicht der Stromerzeugung, der Kosten und der Effizienz batterieelektrische Autos (BEV) sind (Transport & Environment 2018).

Ökobilanz-Fazit: Ein BEV verbraucht wie alle anderen Fahrzeuge auch Ressourcen – bei der Herstellung momentan sogar mehr als ein konventionelles Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Doch die Bilanz bessert sich immer mehr. Unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus von verschiedenen Fahrzeugen (inkl. Herstellung und Entsorgung des Fahrzeugs sowie Bereitstellung des Treibstoffs und Bau der Strassen), schneidet das BEV am besten ab. Dessen CO₂-Emissionen liegen bereits heute weit unter denen eines gleichwertigen Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor. Ferner ist davon auszugehen, dass sich diese Unterschiede in den nächsten Jahren noch ausgeprägter darstellen (siehe Abb. 2, Vergleich Neufahrzeuge 2025 zu 2017). Mit jedem Jahr, in dem die Energiewende, d.h. der Anteil der erneuerbaren Energien im Strommix, weiter voranschreitet, verringern sich auch die Emissionswerte von BEV, und damit auch die Emissionswerte bei der Produktion von Batterien für BEV (BMU 2019).

⁹ <https://www.psi.ch/de/media/brennstoffzellen-strom-aus-wasserstoff-und-sauerstoff>

Abbildung 2: CO₂-Emissionen pro Fzkm über den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs (Quelle: BMU 2019)



2.2 Annahmen für einen fossilfreien Personenverkehr

Für einen fossilfreien, klimaverträglichen Personenverkehr ist es entscheidend, welche Fahrzeuge heute und in Zukunft die geringsten CO₂-Emissionen pro Kilometer aufweisen. Die Klimabilanz verschiedener heutiger Antriebe wurde auch vom Paul Scherrer Institut¹⁰ umfassend untersucht und in die Zukunft projiziert. Das Resultat ist klar: Im Bereich der Personenwagen setzt man aus Sicht des Klimaschutzes im besten Fall auf den batterieelektrischen Antrieb, dieser bringt die geringste Klimabelastung mit sich. Das gilt bereits heute, aber auch in Zukunft. Entscheidend für die Klimabilanz der Antriebe wird gemäss PSI sein, wie das Stromnetz in Europa in Zukunft aussehen wird. Wird rasch auf erneuerbare Energien umgestellt, dann können die BEV (und auch FCEV) ihre Stärken voll ausspielen (Berndorff 2020). Eine schnelle und umfassende Antriebswende – in diesem Fall die Transformation beim Personenverkehr (ohne Güterverkehr) auf 100% batterieelektrische Fahrzeuge – bringt enorme ökologische Vorteile. BEV eignen sich am besten für die Dekarbonisierung des (Personen-)Verkehrs. Die Zukunft der Brennstoffzellentechnologie bzw. der Wasserstofffahrzeuge liegt eher in Nischenanwendungen wie bei Lastwagen, Reisebussen und Lieferwagen, die lange Strecken fahren müssen (EBP 2020). Wir gehen für die Szenarien in der vorliegenden Studie demzufolge davon aus, dass sich die BEV beim Personenverkehr durchsetzen werden. Die Elektromobilität kann als Schlüsseltechnologie für die dringend notwendige Reduktion der THG im Verkehr bezeichnet werden.

Durch den Boom bei den Autobatterien¹¹ kann ausserdem davon ausgegangen werden, dass netzintegrierte Batterien von Elektroautos «normal» werden und so den Stromsektor mitgestalten werden. Sie können damit der PV-Kurzzeitspeicherung dienen. Daneben braucht es aber auch Langzeitspeicher, um den Strom vom Sommer in den Winter zu speichern. Pumpspeicherkraftwerke brauchen wiederum Strom, dasselbe gilt für Power-to-Gas-Anwendungen. Der dadurch entstehende Strommehrbedarf wird hier jedoch ausgeklammert.

¹⁰ <https://www.psi.ch/de/media/forschung/vorfahrt-fur-e-autos>

¹¹ <https://www.businessinsider.de/wirtschaft/mobility/tesla-vw-co-in-deutschland-wird-das-rennen-um-die-innovativsten-e-batterien-ausgetragen/>

Wie viele elektrisch betriebene Fahrzeuge in Zukunft unterwegs sein könnten und wie sich das auf den Strombedarf auswirkt, soll in folgenden Kapiteln aufgezeigt werden.

3. Szenarien einer Verkehrswende

In den nachfolgenden Szenarien wird dargelegt, wie die Umstellung beim motorisierten Personenverkehr (der Güterverkehr wird ausgeklammert) auf 100% batterieelektrische Fahrzeuge den Strommehrbedarf beeinflusst. Die Zahlen basieren entsprechend auf einer vollständigen Dekarbonisierung im Bereich Personenverkehr (ohne Flugverkehr). Beim Verbrauch der BEV (kWh auf 100 km) wird eine Bandbreite mit vier verschiedenen Grössen angegeben. Damit soll einerseits die technologische Weiterentwicklung dieser Fahrzeuge mitberücksichtigt werden. Andererseits ist eine Bandbreite sinnvoll, da nicht absehbar ist, wie sich das Angebot- und Nutzerverhalten (Fahrzeughersteller und -verkäufer, sowie Fahrzeugkäufer bzw. -nutzer) in den nächsten Jahren entwickeln wird. Bereits heute ist die Bandbreite des Stromverbrauchs bei BEV sehr gross. Grosse und schwerere Fahrzeuge haben tendenziell einen höheren Stromverbrauch. Je nach Fahrzeug verbrauchen BEV gemäss Autoumweltliste¹² zwischen 13,8 und 28,1 kWh auf 100 km¹³. Für die vorliegende Analyse wird eine Bandbreite von 12 bis 25 kWh auf 100 km angenommen. Bei der Berechnung des Strombedarfs wird diese Bandbreite auf 15 bis 20 kWh verkürzt, um einen Durchschnittswert aller heute verfügbaren Fahrzeugmodelle abzubilden. Es ist davon auszugehen, dass sich das Angebot an BEV weiter diversifizieren wird und sowohl grosse, stark motorisierte BEV mit höherem Verbrauch, als auch kleine, effizientere Fahrzeuge mit tieferem Verbrauch neu zugelassen werden.

3.1 Szenario 1: Weiter wie bisher (WWB)

Im Szenario «Weiter wie bisher» (WWB) wird die Verkehrszunahme der letzten Jahre fortgesetzt, die Verkehrsleistung wächst gemäss offiziellen Prognosen des Bundes weiter an. Als Grundlage für WWB dienen die Verkehrsperspektiven 2040 des Bundesamts für Raumentwicklung (ARE 2016). Um die Nutzung fossiler Energieträger im Verkehrsbereich gemäss den Klimazielen zu beenden, wird die Verkehrsleistung auf erneuerbare, fossil- und schadstofffreie Antriebsenergie bzw. Treibstoffe umgestellt. Das ist gleichbedeutend mit einer so genannten «Antriebswende» und ist mehrheitlich eine technische Herausforderung. Als Ersatz für Diesel und Benzin dient Strom aus erneuerbaren Energien. Der Verkehrssektor wird dadurch klimafreundlicher und effizienter¹⁴.

3.1.1 Personenverkehrsleistung nimmt weiter zu

Zieht man die Prognosen des ARE in Betracht, so soll der Personenverkehr beim motorisierten Individualverkehr (MIV) bis 2040 nochmals um einen

¹²Siehe www.autoumweltliste.ch

¹³Zum Vergleich: Mit dem Energieinhalt von 1 Liter Diesel kann eine Person mit einem BEV 11,9 km weit reisen (bei einer Auslastung von 32% und einem Verbrauch von 20kWh/100km), während diese Person in einem Regionalzug 47,1 km weit kommt (Auslastung 23%, Berechnung siehe www.mobitool.ch).

¹⁴Im Allgemeinen liegt der Verbrauch von Elektroautos bei etwa 15 kWh elektrischer Energie pro 100 km, während konventionell angetriebene Autos bei einem Energieverbrauch von umgerechnet etwa 50 kWh je 100 Kilometer liegen.

knappen Fünftel zunehmen (+18% Personenkilometer (Pkm), siehe Verkehrsperspektiven 2040¹⁵). Um insgesamt 25% steigen die Leistungen im gesamten Personenverkehr zwischen 2010 und 2040 – von 115,2 auf 144,5 Mrd. Pkm. Die Personenkilometer geben die Verkehrsleistung an, quantifiziert als Transport von Personen über eine Entfernung. Auf die Schweizer Bevölkerung umgerechnet machen die 144,5 Mrd. Pkm 16'861 km pro Person und Jahr aus, bzw. 46,2 km pro Person und Tag.

Mit 51% weist der öffentliche Verkehr die höchste Zuwachsrate aus¹⁶, um 32% wachsen die nicht-motorisierten Fortbewegungsarten wie der Velo- und Fussverkehr¹⁷ und um 18% der motorisierte Individualverkehr. Dies bewirkt eine Verschiebung bei der Verteilung der Anteile der Verkehrsmittel am gesamten Verkehrsaufkommen (Modal Split): Der ÖV-Anteil steigt von 19% auf 23%. Der MIV bleibt jedoch mit Abstand das dominante Verkehrsmittel. Das führt beim MIV bis 2040 zu einem Total von 100,9 Mrd. Pkm¹⁸ (11'773 km pro Person und Jahr, bzw. 32,3 km pro Person und Tag).

3.1.2 Auswirkungen auf den Strombedarf

Durch die vollständige Umstellung auf batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge wird der Verbrauch an Elektrizität stark steigen. Soll die Verkehrsleistung von 100,9 Mrd. Pkm beim MIV zu 100% elektrisch erfolgen, so wird ein zusätzlicher Strombedarf von 15,1 bis 20,2 TWh anfallen (bei einem angenommenen Durchschnittsverbrauch der Fahrzeuge von 15 - 20 kWh/100 km, siehe Tabelle 1). Das entspricht 25 bis 33 Prozent des heutigen Landesverbrauchs von 61,5 TWh¹⁹.

Tabelle 1: Strommehrbedarf Szenario WWB (Quelle: eigene Berechnung)

Personenkilometer MIV	PW-Verbrauch	Strombedarf
100,9 Mrd. Pkm	12 kWh/100km	12,1 TWh
100,9 Mrd. Pkm	15 kWh/100km	15,1 TWh
100,9 Mrd. Pkm	20 kWh/100km	20,2 TWh
100,9 Mrd. Pkm	25 kWh/100km	25,2 TWh

3.2 Szenario 2: Verkehrswende light (VWL)

Das Szenario VWL berücksichtigt neben einer Antriebswende auch die so genannte «Mobilitätswende». Dabei handelt es sich um eine Verringerung des Verkehrsaufkommens. Mit verstärkten Massnahmen in den Bereichen Effizienz und Suffizienz (Raumplanung, Auslastung, Verkehrsvermeidung und -verlagerung) kann der Personenverkehr beim MIV leicht reduziert werden.

¹⁵ <https://www.are.admin.ch/are/de/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/verkehrsperspektiven.html>

¹⁶ Ein verbesserter Modal Split bedeutet auch mehr Strombedarf beim ÖV, was in dieser Studie aber nicht berücksichtigt wird. Zum Vergleich: die Zuwachsrate um 51% beim ÖV würde eine Zunahme beim Stromverbrauch von heute 3 auf 4,5 TWh bedeuten (BFE 2020d, Tab. 21).

¹⁷ Die nicht-motorisierten, durch (menschliche) Muskelkraft angetriebenen Fortbewegungsarten zu Fuss, auf Rädern oder auf Rollen werden meist mit Langsamverkehr zusammengefasst. Der Begriff hat sich etabliert, auch wenn der Langsamverkehr gar nicht so langsam ist. Alternative Begriffe wären aktive Mobilität, nicht-motorisierte Mobilität, sanfte Mobilität oder konkret: «Velo- und Fussverkehr».

¹⁸ Siehe ARE Verkehrsperspektiven 2040, Broschüre Seite 8, Referenzszenario.

¹⁹ <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/elektrizitaetsstatistik.html/>

3.2.1 Verkehrsleistung nimmt um 10 Prozent ab

Mit geeigneten Massnahmen lässt sich der heutige Personenverkehr beim MIV (Verkehrsleistung von 97,9 Mrd. Pkm²⁰) um 10 Prozent auf 88,1 Mrd. Pkm reduzieren (10'280 km pro Person und Jahr, bzw. 28,2 km pro Person und Tag). Derzeit legen wir tägliche Strecken hauptsächlich mit dem Auto zurück. Motorisierter Verkehr mit dem Auto kann teilweise vermieden und auf effizientere, umweltverträglichere Verkehrsträger verlagert werden (Veränderung des Modalsplit). Massnahmen und Instrumente zur Verkehrsvermeidung sind gut dokumentiert²¹. Die folgende Auflistung ist weder abschliessend noch nach Priorität geordnet:

- Auslastung: Steigerung der Auslastung beispielsweise durch das Angebot von Parkplätzen speziell für Sammelfahrzeuge (pooled vehicles) oder vermehrtes Car-Sharing.
- Verlagerung: Förderung Velo- und Fussverkehr bspw. durch ein verbessertes Velowegangebot und mehr Platz für Zufussgehende, und Förderung des öffentlichen Verkehrs.
- Telekommunikation: Digitalisierungsmassnahmen als Verkehrsersatz bspw. durch vermehrtes Homeoffice, was Pendlerwege vermeiden lässt.
- Offene Wohnzonen: Die meisten Zonen werden für das Wohnen geöffnet, so z.B. Schulareale, Einkaufszentren, Gewerbe- und Industrieareale (der bisherige Grundsatz zur Trennung der verschiedenen Zonen ist ein Verkehrstreiber).
- Raumplanung: Die kantonale und kommunale Raumplanung ist verstärkt auf eine Verdichtung der Siedlungsstruktur und eine optimale Nutzungsdurchmischung auszurichten. Dadurch stellt die Raumplanung sicher, dass die zurückzulegenden Wege möglichst kurz sind. Die Nutzungsverdichtung gewährleistet zudem eine effiziente Erschliessung mit öffentlichen Verkehrsmitteln.
- Abgabe: Eine fahrleistungsabhängige Abgabe pro Kilometer schafft Anreize, Fahrten auf öffentliche Verkehrsmittel zu verlagern, kürzere Strecken zurückzulegen, den Auslastungsgrad von Fahrzeugen zu erhöhen oder ganz auf Fahrten zu verzichten.
- Tempolimit: Ein Tempolimit für Pkw vermindert den Energieverbrauch und den THG-Ausstoss von Fahrzeugen, und es kann die Reisezeit verlängern und damit zur Verlagerung auf energieeffizientere Verkehrsmittel anstossen.

3.2.2 Auswirkungen auf den Strombedarf

Erfolgt die Verkehrsleistung von 88,1 Mrd. Pkm beim MIV zu 100% elektrisch, so wird ein zusätzlicher Strombedarf von 13,1 bis 17,6 TWh anfallen (bei einem angenommenen Durchschnittsverbrauch der Fahrzeuge von 15 bis 20 kWh/100km, siehe Tabelle 2). Das entspricht 21 bis 29 Prozent des heutigen Landesverbrauchs (61,5 TWh).

²⁰ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/personenverkehr/leistungen.html>

²¹ Zu nennen sind etwa die Teilsynthese des NFP 41 (Brodmann et. al 2000), der Agora-Bericht zu Klimaschutzmassnahmen im Verkehr (Agora 2018), der kantonale Umsetzungsbericht zur Reduktion des Energieverbrauchs im Verkehr in Bern (BVE 2020) oder der Text von Willy Germann (Germann 2020).

Tabelle 2: Strommehrbedarf Szenario VWL (Quelle: eigene Berechnung)

Personenkilometer MIV	PW-Verbrauch	Strombedarf
88,1 Mrd. Pkm	12 kWh/100km	10,5 TWh
88,1 Mrd. Pkm	15 kWh/100km	13,1 TWh
88,1 Mrd. Pkm	20 kWh/100km	17,6 TWh
88,1 Mrd. Pkm	25 kWh/100km	21,96 TWh

3.3 Szenario 3: Neue Mobilitätspolitik (NMP)

Mit einer ambitionierten «Neuen Mobilitätspolitik» wird in den kommenden Jahren die Verkehrsleistung beim motorisierten Personenverkehr um einen Drittel reduziert, von 97,9 Mrd. Pkm auf 65,3 Mrd. Pkm. Dabei werden regionale Unterschiede berücksichtigt. Das heisst, es wird davon ausgegangen, dass BewohnerInnen des ländlichen Raums weiterhin längere Wege zurücklegen als diejenigen des städtischen Raums, und auch, dass deren Motorisierungsgrad weniger stark zurückgeht.

3.3.1 Verkehrsleistung um einen Drittel reduziert

Vergleichbar wie beim Szenario VWL wird mit geeigneten Massnahmen und Instrumenten der heutige Personenverkehr beim MIV reduziert. In diesem Szenario NMP findet jedoch eine umfassendere Reduktion im Sinne einer Mobilitätswende statt. Die restliche Anzahl Pkm beim MIV (Personenwagen, ohne Motorräder) beträgt dann noch 65,3 Mrd. Pkm (7'619 km pro Person und Jahr, bzw. 20,9 km pro Person und Tag).

Die Analysen des ARE für den heutigen und zukünftigen Verkehr (in Zusammenarbeit mit anderen Bundesstellen wie BAV, ASTRA, BFE und BAFU) gehen zwar mehrheitlich vom Status quo und einem entsprechenden weiteren Wachstum beim Verkehr aus. Sie zeigen aber auch, dass Handlungsspielräume vorhanden sind. Dazu gehören wie bereits beim Szenario VWL erwähnt u.a. die Verlagerungspolitik, die Verkehrsmittelwahl, die Siedlungs- und Verkehrsentwicklung, Mobility Pricing, Road Pricing, ein gesellschaftlicher und ein technologischer Wandel. Diese Hebel gilt es parallel zur Elektrifizierung zu betätigen, um die Verkehrsleistung insgesamt zu reduzieren.

3.3.2 Auswirkungen auf den Strombedarf

Durch die vollständige Umstellung der um einen Drittel reduzierten Verkehrsleistung auf batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge wird der Verbrauch an Elektrizität um 9,8 bis 13,1 TWh steigen (bei einem angenommenen Durchschnittsverbrauch der Fahrzeuge von 15 bis 20 kWh/100km, siehe Tabelle 3). Das entspricht 16 bis 21 Prozent des heutigen Landesverbrauchs (61,5 TWh).

Tabelle 3: Strommehrbedarf Szenario NMP (Quelle: eigene Berechnung)

Personenkilometer MIV	PW-Verbrauch	Strombedarf
65,3 Mrd. Pkm	12 kWh/100km	7,8 TWh
65,3 Mrd. Pkm	15 kWh/100km	9,8 TWh
65,3 Mrd. Pkm	20 kWh/100km	13,1 TWh
65,3 Mrd. Pkm	25 kWh/100km	16,3 TWh

4. Geschwindigkeit der Verkehrswende

Wie schnell muss der zusätzliche Strom bereitstehen? In der Schweiz gibt es über 4,6 Millionen Personenwagen, davon gut 43'000 reine Elektroautos²². Weltweit sind es gegen 1,2 Milliarde Personenwagen, davon knapp 8 Millionen E-Autos²³; Tendenz steigend. Noch prägen also Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor das Strassenbild, doch bei den neuzugelassenen Personenwagen (PW) steigt hierzulande der Anteil von BEV seit einigen Jahren stark an. Heute sind 0,9% aller immatrikulierten PW reine Elektrofahrzeuge, das sind zumindest 58-mal so viele wie noch im Jahr 2000. Relevant, und damit ein entscheidender Faktor für die Bereitstellung von erneuerbarem Strom im Verkehrsbereich, ist die Geschwindigkeit der Verkehrswende, das heisst der Durchdringung von BEV. Im Jahr 2019 wurden gemäss Bundesamt für Statistik²⁴ von insgesamt 312'900 neu zugelassenen Fahrzeugen 13'200 oder 4,2% rein batteriebetriebene Fahrzeuge neu in Verkehr gesetzt. Die Differenz zu 2018 liegt bei +143,9%, damit war die Zunahme von BEV besonders stark, sie hat sich gegenüber dem Vorjahr mehr als verdoppelt. Gleichzeitig ist die Zahl der neuzugelassenen Benziner nur leicht gestiegen um 1,9% und die der Dieselfahrzeuge ist erneut deutlich zurückgegangen um 11,9%. Es verkehren aber auch insgesamt mehr Autos auf den Strassen, so wurden 2019 deutlich mehr Strassenfahrzeuge zugelassen als aus dem Verkehr genommen wurden, der Gesamtbestand stieg damit um 0,5% auf 4,6 Mio. Personenwagen²⁵. Lag der Anteil BEV an den Neuzulassungen in der Schweiz 2018 noch bei 1,7%, so ist er 2019 bereits auf 4,2% und 2020 sogar auf 6,8% gestiegen²⁶. Das ist eine ernstzunehmende Steigerung.

Unter der Berücksichtigung, dass weitere BEV mit leistungsfähigeren Batterien auf den Markt kommen und parallel dazu auch weitere Standorte mit öffentlichen Ladestationen dazu kommen, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Durchdringungsrate weiter beschleunigt und damit auch die Nachfrage nach erneuerbarem Strom. Unterstützend können dabei auch zwei Zielwerte von unterschiedlichen Absendern wirken. Die Vereinigung der offiziellen Automobil-Importeure auto-schweiz hat unter dem Titel «10/20» ein Branchenziel für die Elektrifizierung des MIV herausgegeben²⁷. Demnach soll bereits dieses Jahr jeder zehnte PW der neu immatrikuliert wird, ein BEV oder Plug-in-Hybrid (PHEV) sein. Für das Jahr 2022 hat ferner die Roadmap Elektromobilität 2022²⁸, welche 2018 von 50 Organisationen und Unternehmen verschiedener Branchen sowie Vertretern von Bund, Kantonen, Städten und Gemeinden lanciert wurde, das Ziel bekannt gegeben, dass 15 Prozent der neuzugelassenen Fahrzeuge BEV oder PHEV sein sollen. Bei beiden Zielwerten ist nicht klar, wie viele davon reine BEV sein sollen. Die PHEV können sich wie die BEV als ökologisch sinnvoller erweisen im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Entscheidend ist hierfür, dass sie regelmässig geladen und so nur selten im Verbrennermodus betrieben

²² <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge/strassenfahrzeuge-bestand-motorisierungsgrad.html>

²³ <https://www.umweltbundesamt.de/bild/weltweiter-autobestand> & <https://www.adac.de/news/statistik-e-autos/>

²⁴ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeuge/fahrzeuge/strassen-neu-inverkehrsetzungen.html>

²⁵ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/medienmitteilungen.as-setdetail.11407548.html>

²⁶ http://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/MO_Kennzahlen_AlternativeAntriebe/?lang=de#

²⁷ <https://www.auto.swiss/themen/alternative-antriebe/branchenziel-1020>

²⁸ <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/55163.pdf>

werden. Zu Vor- und Nachteilen von PHEV wird in dieser Studie aber nicht weiter eingegangen.

Ein weiterer Einflussfaktor auf den Verkauf von BEV sind die übergeordneten Klimaziele (Netto Null THG-Emissionen) und die daraus abgeleitete CO₂-Regelungen für Neufahrzeuge. Die CO₂-Emissionsvorschriften sehen vor, dass der Emissions-Zielwert für den durchschnittlichen CO₂-Ausstoss neuer PW ab diesem Jahr 2020 von 130 auf 95 Gramm CO₂ pro Kilometer gesenkt wird²⁹. Die Vorschriften betreffen alle Importeure von neuen PW. Auf Basis dieses Zielwerts muss die Flotte eines jeden Importeurs eine individuelle Zielvorgabe einhalten. Die Autohersteller und -importeure werden damit gezwungen, den Anteil verkaufter BEV massiv zu erhöhen, denn ohne BEV lässt sich der Grenzwert nicht erreichen, wobei Sanktionen fällig werden.

Elektroautos sind teurer als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, was hauptsächlich mit den Kosten für die Batterien zu tun hat. Durch weitere Lern- und Skaleneffekte bei der Batterieherstellung wird eine Kostendegression erwartet, was wiederum zu tieferen Fahrzeugpreisen führt (IEA 2020). Damit wächst auch der Wunsch der KonsumentInnen, ein Elektroauto anzuschaffen. Das zeigt sich bereits bei den aktuellsten Zahlen: Jeder fünfte neue PW, der im September 2020 immatrikuliert wurde, kann elektrisch fahren und am Stromnetz aufgeladen werden³⁰. Und das Marktpotenzial ist noch nicht ausgereizt, denn laut Auto-Schweiz und einer Umfrage von GFS Bern können sich 62% der Schweizer Bevölkerung den Kauf eines Autos mit neuem Antrieb vorstellen³¹. Dieser Trend bei den Neuzulassungen, die Verschärfung der Emissionsvorschriften für Neufahrzeuge, der technologische Fortschritt bei den Batterien³² und die Tatsache, dass immer mehr grosse Hersteller neue BEV-Modelle anbieten, sind wichtige Erfolgsfaktoren für die zunehmende Verbreitung von Elektroautos. Bremsend wirkt hierbei allenfalls die fehlende Verfügbarkeit von öffentlichen Ladestationen und die hohen Anschaffungskosten.

Die globale Autoindustrie steht durch das Elektroauto vor einer Neuordnung. Die Zahl der Zulassungen von Stromaautos legt weiter zu, die bis anhin gemächliche Durchdringung der Elektromobilität hat Fahrt aufgenommen. Eine Studie von Ernst Basler + Partner (EBP 2020) geht davon aus, dass die meisten Kleinwagen-Modelle in 10 Jahren nur noch elektrisch hergestellt werden. Schwerere Fahrzeuge sind hingegen schwieriger zu elektrifizieren, daher dauert es noch mehrere Jahre, bis alle Modelle auch mit Elektroantrieb erhältlich sein werden. Laut Durchdringungs-Szenario COM (Connected Mobility) liegt der Marktanteil von Steckerfahrzeugen (BEV und PHEV) am Neuwagenmarkt 2030 bei ca. 50% und 2040 bei ca. 80%. Aufgrund der verzögerten Auswirkung auf den gesamten Fahrzeugbestand liegt der Anteil Elektroautos an der totalen Fahrzeugflotte 2025 bei ungefähr 10%, 2030 bei 25% und 2040 bei 65% (siehe Abb. 3).

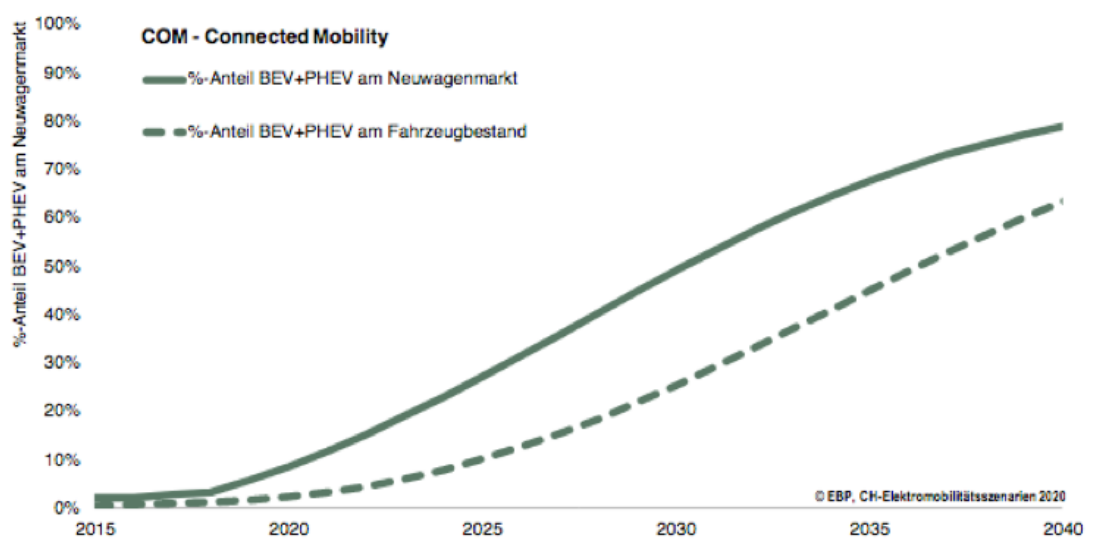
²⁹ <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/effizienz/mobilitaet/co2-emissionsvorschriften-fuer-neue-personen-und-lieferwagen.html>

³⁰ <https://www.tagesanzeiger.ch/jeder-zehnte-kauft-sich-ein-elektroauto-590895927978>

³¹ <https://www.handelszeitung.ch/panorama/jedes-dritte-neu-zugelassene-auto-ist-jetzt-mit-alternativ-antrieb>

³² Innerhalb von zehn Jahren sind die Batteriekosten um nahezu zwei Drittel gesunken, während die Energiedichte weiter erhöht werden konnte (EBP 2020).

Abbildung 3: Anteil BEV + PHEV am Neuwagenmarkt und Fahrzeugbestand (Quelle: EBP 2020)



Die kürzlich erschienenen Energieperspektiven 2050+ des Bundesamts für Energie gehen ebenfalls auf die Geschwindigkeit der Marktdurchdringung von Elektroautos ein. Sie gehen davon aus, dass aufgrund der hohen Kaufkraft in der Schweiz die Einführung von BEV und PHEV hierzulande deutlich steiler verläuft im Vergleich mit der globalen Entwicklung der Marktanteile am Neuwagenmarkt (BFE 2020e)³³. Der Neuwagen-Anteil von E-Autos (inkl. FCEV) liegt demzufolge 2025 bei 28%, 2030 bei 60% und 2040 bei 100%.

Für den Fahrzeugbestand gehen wir in der vorliegenden Studie davon aus, dass der Anteil E-Autos 2025 bei 10%, 2030 bei 30%, 2040 bei 70% und 2050 bei 100% liegt. Bei einem angenommenen Durchschnittsverbrauch der Fahrzeuge von 15 bis 20 kWh/100km wirkt sich das auf zeitlichen Verlauf des Strombedarfs folgendermassen aus (siehe Tab. 4):

Tabelle 4: Zeitlicher Strommehrbedarf gemäss Szenarien WWB, VWL und NMP (Quelle: eigene Berechnung)

Zeitpunkt	Szenario WWB	Szenario VWL	Szenario NMP
2025	1,5 – 2 TWh	1,3 – 1,8 TWh	1 – 1,3 TWh
2030	4,5 – 6 TWh	3,9 – 5,3 TWh	2,9 – 3,9 TWh
2040	10,6 – 14,1 TWh	9,2 – 12,3 TWh	6,9 – 9,2 TWh
2050	15,1 – 20,2 TWh	13,1 – 17,6 TWh	9,8 – 13,1 TWh

5. Erneuerbare Stromversorgung heute und morgen

Die Wasserkraft gehört mit 56 Prozent der Stromproduktion zur tragenden Säule in der Schweizer Stromversorgung. Die Atomenergie liefert heute circa 35 Prozent des Stroms in der Schweiz. Aus klimapolitischer Sicht weist der Strommix Vorteile auf, zusammen mit den diversen neuen erneuerbaren Energien (nEE) ist der Mix äusserst CO₂-arm. Aus ökologischer Sicht ist der heutige

³³ In den Energieperspektiven 2050+ werden für den Strombedarf aus dem Verkehr im Unterschied zur vorliegenden Studie auch Fahrleistungen im öffentlichen Verkehr und im Güterverkehr berücksichtigt. Hingegen werden keine Suffizienzmassnahmen bei der Verkehrsleistung berücksichtigt (was dem hier vorliegenden Szenario WWB entspricht).

Strommix hingegen mit gewichtigen Nachteilen behaftet. Die Gesamtumweltbelastung ist relativ hoch, verantwortlich dafür ist die hohe Umweltbelastungspunkte pro kWh³⁴ bei der Atomenergie.

Die neuen erneuerbaren Energien fristen hierzulande immer noch ein Schattendasein. Im Jahr 2019 trugen Sonne, Wind und Biomasse lediglich 4,2% zur gesamten inländischen Stromerzeugung bei (BFE 2020a). Damit liegt die Schweiz bei der Produktion von Solar- und Windstrom im europäischen Vergleich auf den hintersten Rängen.³⁵ Die vom Schweizer Stimmvolk 2017 verabschiedete Energiestrategie 2050 möchte den hohen Versorgungsstandard von heute erhalten, gleichzeitig aber dazu beitragen, die energiebedingte Umweltbelastung der Schweiz zu reduzieren. Hierzu wurden Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Ausbau der erneuerbaren Energien beschlossen. Ausserdem sieht die Strategie vor, die bestehenden AKW nicht durch neue zu ersetzen³⁶.

Um den beschlossenen Atomausstieg und das Klimaziel Netto Null Treibhausgasemissionen bis 2050 zu erreichen, besteht dringender Handlungsbedarf beim Ausbau einheimisch erneuerbarer Energien und der Energieeffizienz. Die Elektrifizierung des gesamten Energiesektors (Verkehr, Wärme, Industrie) wird zusätzlich zum Ersatz des Atomstroms einen Mehrbedarf an einheimischer Elektrizität schaffen. Die Revision des Energiegesetzes (EnG) bietet die Gelegenheit, den Ausbau des hierfür benötigten, klimafreundlichen Stroms zu beschleunigen und auch in Zukunft sicher zu stellen. Im aktuellen Energiegesetz ist ein Richtwert für erneuerbare Energien ausser Wasserkraft von 11,4 TWh Jahresproduktion bis 2035 festgeschrieben. Der Bundesrat sieht gegenwärtig für das neue Energiegesetz³⁷ ein verbindliches Ziel von 17 TWh bis 2035 und 39 TWh bis 2050 aus neuen erneuerbaren Energien vor. Das Potenzial der Wasserkraft ist nahezu ausgereizt, der Zielwert von 2050 liegt bei 38,6 TWh und unterscheidet sich nur marginal vom Wert für 2035 (37,4 TWh)³⁸.

6. Diskussion der Resultate

6.1 Stromversorgung der Elektromobilität

Die Resultate in den Kapitel 3 und 4 geben einen Hinweis, wie stark und schnell die Stromproduktion ausgebaut werden muss, um den Strommehrbedarf abzudecken, der durch eine Antriebswende entsteht. Die Antriebswende ist in diesem Fall die Umstellung beim Personenverkehr (ohne Flug- und Güterverkehr) auf 100% klimafreundliche, batterieelektrische Fahrzeuge. Voraussetzung ist, dass die Antriebsenergie aus erneuerbaren Quellen stammt. Die Elektromobilität wird damit vermehrt zu einem zentralen Baustein der Energiewende und der Stromversorgung.

Gemäss den drei Szenarien im Kapitel 3 wird durch die Umstellung des motorisierten Personenverkehrs auf Elektromobilität ein zusätzlicher erneuerbarer

³⁴ Die Umweltbelastungspunkte UBP berücksichtigen die gesamte Umweltbelastung der Stromproduktion, von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Entsorgung der Abfälle, inklusive Treibhausgasemissionen, weitere Schadstoff-Emissionen (wie Schwermetalle, Nitrat oder Phosphor), radioaktive Abfälle, Sonderabfälle, Wasser- und Landverbrauch und weitere Belastungen.

³⁵ <https://www.energiestiftung.ch/medienmitteilung/die-schweiz-hinkt-bei-solar-und-windstrom-europa-hinterher.html>

³⁶ <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energiestrategie-2050.html>

³⁷ <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-81068.html>

³⁸ Die erwartete Energieproduktion der Wasserkraft liegt aktuell bei 36,6 TWh: <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-78995.html>

Strombedarf in einer Bandbreite von 7,8 – 25,2 TWh anfallen (bei einem angenommenen Durchschnittsverbrauch der Fahrzeuge von 15 bis 20 kWh/100km liegt die Bandbreite bei 9,8 – 20,2 TWh). Je nach Szenario und Geschwindigkeit der Verkehrswende werden unterschiedlich rasch kleinere oder grössere Mengen Strom nachgefragt. Wie in Kapitel 4 beschrieben spielt die Geschwindigkeit der Durchdringung der Elektromobilität eine weitere zentrale Rolle. Eine Prognose dazu ist schwierig, doch die Marktdurchdringung hat Fahrt aufgenommen und so sind wir der Ansicht, dass die weitere Durchdringung etwas schneller ablaufen könnte als bisher angenommen (insbesondere dann, wenn wie angekündigt weitere E-Fahrzeug-Modelle auf den Markt kommen, die Verschärfung der Emissionsgrenzwerte greift und allenfalls weitere Anreize wie ein Verbot von Verbrennungsmotoren zum Tragen kommen). Um eine rasche Dekarbonisierung im Verkehrssektor und den Ersatz der Atomkraft zu sichern sowie die Stromversorgungssicherheit zu gewährleisten, tut eine ausreichende und rasche Inlandproduktion erneuerbarer Energien aber so oder so Not. Die im neuen Energiegesetz (EnG) vorgeschlagenen Zielwerte zum Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien reichen dahingehend allerdings nicht aus bzw. sie kommen zu spät. Die Politik scheint vor diesen Herausforderungen nicht genügend vorbereitet. Der Markt allein kann die Anreize für die nötigen Investitionen in erneuerbare Energien zudem nicht alleine setzen. Staatliche Massnahmen zur Unterstützung der Investitionssicherheit sind gefragt. Die heute geltenden gesetzlichen Grundlagen sind gleichwohl ungenügend, um die Transformation des Energiesystems zielgerichtet mit den verschiedenen Marktakteuren zu erreichen. Entsprechend sollen anhand der geplanten Änderungen des Energiegesetzes verbesserte Rahmenbedingungen für inländische Investitionen geschaffen werden. Neben verbindlichen Zielwerten für den Ausbau der erneuerbaren Energien ist auch eine markante Erhöhung ebendieser Ziele erforderlich³⁹.

Der parallele Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien stellt damit eine rasch umsetzbare und wirksame Klimaschutzmassnahme dar, wobei die im Inland gewonnenen und zusätzlich zu produzierenden erneuerbaren Energiemengen begrenzt bleiben. Zwar könnten wir mehr Solarstrom ernten, als wir insgesamt brauchen. Doch auch die Potenziale für die Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen sind begrenzt und selten frei von Konflikten mit Schutzinteressen. Auch mit einem verbesserten Finanzierungssystem ist nicht garantiert, dass die nötigen Flächen und Standorte für neue Produktionsanlagen überhaupt zur Verfügung stehen und diejenigen Flächen und Standorte bevorzugt und optimal genutzt werden, die Mensch und Umwelt am wenigsten beeinträchtigen. Zudem konkurrieren um diese Strommengen sämtliche Sektoren der Volkswirtschaft, sei es die Industrie, die privaten Haushalte und eben der Verkehr. Die Menge des zusätzlichen erneuerbaren Strombedarfs aus dem Verkehrssektor ist indes beeinflussbar, sowohl die Fahrleistung, die Anzahl Fahrzeuge als auch deren Energiebedarf lassen sich verändern und so auch der notwendige Strommehrbedarf.

6.2 Energiewende und Verkehrswende

Der erhöhte Stromverbrauch durch die Elektromobilität ist bei der gleichzeitigen Verfolgung einer Reduktion der Verkehrsleistung – wie in den Szenarien

³⁹ siehe auch SES-Vernehmlassungsantwort zur Revision des Energiegesetzes: <https://www.energie-stiftung.ch/stellungnahme/stellungnahme-zur-revision-des-energiegesetzes-2020.html>

VWL und NMP beschrieben - eine überschaubare und realistische Menge. Aus Sicht der oben genannten Szenarien ist eine Entwicklung à la «Neue Mobilitäts-politik» anzustreben. Das macht die nötige Menge an erneuerbaren Energien rascher erreichbar – und hilft damit wiederum dem Klima sowie bei der Bewältigung von weiteren Herausforderungen im Verkehrsbereich. Der Verkehr heute ist mit verschiedenen Baustellen konfrontiert; Die zurückgelegten Wege werden immer länger, der Verkehr beansprucht enorme Flächen im öffentlichen Raum, er wächst zunehmend und stösst damit an seine Belastungsgrenzen. Der Verkehr ist zudem laut und teuer. Und weil der Aufwand für diese Art der Mobilität laufend zunimmt, steigen parallel dazu auch der Aufwand an Geld, Landschaft, Umweltverbrauch, Energie - und eben auch die CO₂-Emissionen.

Auch die Mobilität muss ohne fossile Energie auskommen, es führt kein Weg am Umstieg auf erneuerbare Energien vorbei. Um eine Versorgung des Verkehrs mit erneuerbaren, treibhausgasarmen Energieträgern überhaupt zu ermöglichen, muss der Energieverbrauch des Verkehrs stark reduziert werden. Das bietet gleichzeitig die Gelegenheit, die Potenziale im Bereich der Verkehrsvermeidung und –verlagerung auszuloten und so die Mobilität insgesamt umwelt- und klimafreundlicher zu gestalten. Die Energiewende im Verkehr ist mehr als nur der Umstieg von Verbrennungs- auf Elektromotoren. Eine neue Mobilitätspolitik vermeidet unnötigen Verkehr und verlagert auf energieeffizientere, umweltverträglichere Verkehrsträger. Um Platz für hohe alltägliche menschliche Lebensqualität zu schaffen und zu erhalten, ist ein Zurückdrängen des Automobils aus Ballungsräumen und die Verringerung des Verkehrsaufkommens insgesamt notwendig.

7. Ausblick

Die Corona-Krise hat den Verkehrssektor stark tangiert und schlagartig zu neuen Perspektiven geführt. Die Stärke des ÖV, auf engem Raum viele Leute transportieren zu können, hat sich – zumindest vorübergehend – zu einer Schwäche entwickelt. Die Forderung nach mehr Verlagerung von MIV auf ÖV (Modal split) steht unter einem neuen Stern, der ÖV wird sich neu bewähren müssen (wobei das oben beschriebene Phänomen auch ein episodisches sein könnte). Neue verkehrsbedingte Alltagspraktiken wie Homeoffice oder ein Wachstum der nicht-motorisierten Mobilität wie Fuss- und Veloverkehr scheinen sich hingegen zu bewähren bzw. zu verstetigen. Gleichzeitig gab es auch eine Verlagerung zu mehr Individualverkehr. Die veränderten Mobilitätsbedürfnisse eröffnen damit sowohl Chancen (Verlagerung von MIV und ÖV auf Fuss- und Veloverkehr) als auch Risiken (Verlagerung von ÖV auf MIV). Dieser Trend zur individuellen Mobilität soll aber nicht davon abhalten, die Dekarbonisierung im Verkehrssektor wie geplant voranzutreiben und beim motorisierten Personenverkehr auf Elektromobilität umzusteigen. Dieser Wandel wurde von der Coronakrise beschleunigt und soll weiter zulegen⁴⁰.

Nicht betrachtet wurde in dieser Studie der Langstreckenverkehr – Schwerverkehr, Schifffahrt und Luftfahrt. Heute kann man davon ausgehen, dass die Dekarbonisierung von diesem Bereich nicht elektrisch mit Batterien machbar sein wird, sondern dass man über erneuerbare Treibstoffe wie Wasserstoff oder synthetische Treibstoffe gehen muss. Deren Herstellung setzt aber zusätzlich grössere Mengen an erneuerbarer Elektrizität voraus. Aus heutiger Sicht ist

⁴⁰ <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/studie-coronakrise-beschleunigt-den-wandel-zur-elektromobilitaet/26164974.html?ticket=ST-11838557-ocPPWF3QeZpN0393bJhr-ap1>

zumindest denkbar, dass Teile dieser Antriebs-Lösungen ebenfalls zu einem Mehrbedarf an erneuerbaren Strom führen.

Das anhaltende Verkehrswachstum droht jegliche Umwelteffizienzgewinne in diesem Sektor zu kompensieren, dies gilt insbesondere auch für die CO₂-Emissionen. Hingegen lägen in der Verkehrsvermeidung kostengünstige oder gar rentable Sparpotenziale, die nicht auszuschöpfen unverantwortlich wäre.

8. Politische Forderungen

Für die notwendige Dekarbonisierung im Verkehrsbereich ist es relevant, dass weitere konkrete politische Massnahmen in Angriff genommen werden.

- Um die Durchdringung der Elektromobilität zu beschleunigen, sollten künftig, d.h. **ab 2030, auch hierzulande Verbrennungsmotoren verboten werden**. Da pro Jahr ungefähr 10% der gesamten Fahrzeugflotte erneuert wird, dauert es 10 Jahre, bis die Elektroautos auch im Fahrzeugbestand erkennbar sind. Damit wären bei einem Verbot ab 2030 die Strassenfahrzeuge ca. um 2040 fossilfrei. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich bei einem Verbrenner-Verbot der Rest wie der Ausbau der Ladeinfrastruktur oder das Angebot an Elektroautos parallel dazu von selbst ergibt.
- Bei der Bereitstellung der erneuerbaren Antriebsenergie muss jedoch nachgeholfen werden. Damit die Umstellung der Fahrzeuge auf 100% batterieelektrische Fahrzeuge auch wirklich zu einem fossil- bzw. CO₂-freien Personenverkehr führt, muss die Strom-«Tankladung» zwingend aus erneuerbaren Quellen stammen. Die Revision des Energiegesetzes ist ein zentraler Hebel dafür. Die darin festgehaltenen Zielwerte sind aber zu tief. Wir fordern eine **Erhöhung der Ausbau-Zielwerte für erneuerbare Energien auf 35 – 45 TWh**.
- Darüber hinaus muss auch das Ausmass der Mobilität verändert werden. Fahrzeuge müssen generell umweltfreundlicher, d.h. leichter, effizienter und sparsamer werden. Es braucht demnach auch **Anreize, damit möglichst effiziente Elektroautos verkauft werden**. Kleinere Fahrzeuge mit kleinen und energieeffizienteren Batterien reichen von der Reichweite her für die meisten Fahrten aus⁴¹. Wir fordern, dass analog zu den CO₂-Emissionsgrenzwerten eine Vorgabe eingerichtet wird, um den Stromverbrauch von BEV möglichst tief zu halten.
- Wichtig für die Batterieproduktion ist eine Verpflichtung zu 100% Recycling. Da sich das Lithium-Recycling bei den Auto-Batterien zurzeit noch nicht lohnt, **sollen Autohändler bei Kunden eine vorgezogene Recyclinggebühr für die Batterien einziehen**, um damit das Recycling zu finanzieren.
- Und schliesslich fordern wir parallel zur Dekarbonisierung der Antriebssysteme auch eine Mobilitätswende. Die Potenziale im Bereich der Verkehrsvermeidung und -verlagerung gilt es vermehrt auszuloten, um so die Mobilität insgesamt umwelt- und klimaverträglicher sowie zukunftsfähiger zu gestalten. Eine **neue Mobilitätspolitik vermeidet unnötigen Verkehr und verlagert auf energieeffizientere, umweltverträglichere Verkehrsträger wie den Fuss- und Veloverkehr sowie den öffentlichen Verkehr**. Um Platz für hohe alltägliche menschliche Lebensqualität zu schaffen und zu erhalten, ist ein Zurückdrängen des Automobils aus Ballungsräumen und die Verringerung

⁴¹ 2015 legte jede Person pro Tag im Schnitt einen Weg von 37 km zurück (BFS 2017).

des Verkehrsaufkommens insgesamt notwendig. Wir fordern **autofreie Siedlungen, Quartiere und Städte sowie eine Verkehrs- und Raumplanung der kurzen Wege.**

9. Abkürzungsverzeichnis

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BEV	Batterie-elektrisches Fahrzeug
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
CO2	Kohlenstoffdioxid
EnG	Nationales Energiegesetz
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (H2-Brennstoffzellenfahrzeug)
Fzkm	Fahrzeugkilometer
H2	Energieträger Wasserstoff
kWh	Kilowattstunde
MIV	Motorisierter Individualverkehr (PW und Motorräder)
NMP	Neue Mobilitätspolitik
nEE	neue erneuerbare Energien (Sonne, Wind, Biomasse)
ÖV	Öffentlicher Verkehr (Bahn, Tram und Bus)
Pkm	Personenkilometer
PHEV	Plug-in-Hybrid-Fahrzeug
PW	Personenwagen
SUV	Sport Utility Vehicle
VWL	Verkehrswende light
WWB	Weiter wie bisher

10. Quellen

- Agora Verkehrswende (2017): Mit der Verkehrswende die Mobilität von morgen sichern. 12 Thesen zur Verkehrswende, Berlin 2017. Verfügbar unter: https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2017/12_Thesen/Agora-Verkehrswende-12-Thesen_WEB.pdf (Letzter Zugriff: 01.09.2020).
- Agora Verkehrswende (2018): Klimaschutz im Verkehr: Massnahmen zur Erreichung des Sektorziels 2030, Berlin 2018. Verfügbar unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Klimaschutz-im-Verkehr-Massnahmen-zur-Erreichung-des-Sektorziels-2030.pdf> (Letzter Zugriff: 02.11.2020).
- Bau- und Verkehrsdirektion des Kantons Bern, BVE (2020): Reduktion des Energieverbrauchs im Verkehr – Umsetzungsbericht 2019 und Massnahmen

2020-2024, Bern 24. Juni 2020. Verfügbar unter:

https://www.bve.be.ch/bve/de/index/mobilitaet/mobilitaet_verkehr/downloads_publicationen.assetref/dam/documents/BVE/AoeV/de/aoev_Umsetzungsbericht%20Reduktion%20des%20Energieverbrauchs%20im%20Verkehr%20-%202024.06.2020%20-%20de.pdf (Letzter Zugriff: 02.11.2020).

- Bergk, Fabian; Knörr, Wolfram; Lambrecht, Udo (2017): Klimaschutz im Verkehr: Neuer Handlungsbedarf nach dem Pariser Klimaschutzabkommen. Teilbericht des Projekts „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs 2050“. Im Auftrag des Umweltbundesamts. UBA-Texte 45/2017. ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU). Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutz-im-verkehr-neuer-handlungsbedarf-nach> (Letzter Zugriff: 29.10.2020).
- Berndorff, Jan (2020): Vorfahrt für E-Autos, in: 5232 – Das Magazin des Paul Scherrer Instituts, Ausgabe 1/2020 (Januar 2020), S. 16-20. Verfügbar unter: <https://www.psi.ch/de/node/32568> (Letzter Zugriff: 07.09.2020).
- Brodmann, Urs; Spillmann, Werner (2000): Verkehr – Umwelt - Nachhaltigkeit: Standortbestimmungen und Perspektiven, Teilsynthese des NFP 41 aus Sicht der Umweltpolitik mit Schwerpunkt Modul C, Bern 2000. Verfügbar unter: http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/nfp/nfp41/nfp41_synthese3.pdf (Letzter Zugriff: 02.11.2020).
- Bundesamt für Energie, BFE (2020a): Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019, Bern 2020. Verfügbar unter: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik.html> (Letzter Zugriff: 03.09.2020).
- Bundesamt für Energie, BFE (2020b): Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen und leichten Nutzfahrzeuge 2019, 24. Berichterstattung im Rahmen der Energieeffizienzverordnung, Bericht erarbeitet durch das BFE, Bern, 2. Juli 2020. Verfügbar unter: <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/62018.pdf> (Letzter Zugriff: 29.10.2020).
- Bundesamt für Energie, BFE (2020c): Die Umweltauswirkungen von Personenwagen – heute und morgen. Faktenblatt – Update Februar 2020, Bern, 26. Februar 2020. Verfügbar unter: https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvc3VjaGU_cT/11bXdlbHQmeD0x.html (Letzter Zugriff: 29.10.2020).
- Bundesamt für Energie, BFE (2020d): Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2019, Bern 2020. Verfügbar unter: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/elektrizitaetsstatistik.html> (Letzter Zugriff: 03.09.2020).
- Bundesamt für Energie, BFE (2020e): Energieperspektiven 2050+. Kurzbericht, Bern, 26.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html> (Letzter Zugriff: 30.11.2020).

- Bundesamt für Energie, BFE (2019): Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2018 nach Verwendungszwecken, Bern 2019. Verfügbar unter: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/energieverbrauch-nach-verwendungszweck.html> (Letzter Zugriff: 29.10.2020).

- Bundesamt für Raumentwicklung, ARE (2016): Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040 – Hauptbericht, August 2016. Verfügbar unter: <https://www.are.admin.ch/are/de/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/verkehrsperspektiven.html> (Letzter Zugriff: 01.09.2020)

- Bundesamt für Statistik, BFS / Bundesamt für Raumentwicklung, ARE (2017): Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015, Neuchâtel und Bern.

- Bundesamt für Umwelt, BAFU (2020): Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Schweiz seit 1990, Bern 2020. Verfügbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/daten-indikatoren-karten/daten/treibhausgasinventar.html> (Letzter Zugriff: 03.09.2020).

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, BMU (2019): Wie klimafreundlich sind Elektroautos? Verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/emob_klimabilanz_2017_bf.pdf (Letzter Zugriff: 01.09.2020)

- EBP (2020): Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2020, EBP-Hintergrundbericht, März 2020. Verfügbar unter: https://www.ebp.ch/sites/default/files/2020-02/2020-03-02_EBP_CH_EmobSzen_PKW_2020_def.pdf (Letzter Zugriff: 01.09.2020).

- Germann, Willy (2020): Verkehr vermeiden, Raum schonen. Verfügbar unter: <https://www.hochparterre.ch/nachrichten/planung-staedtebau/blog/post/detail/verkehr-vermeiden-raum-schonen/1595251180/> (Letzter Zugriff: 02.11.2020).

- Hajek, Stefan (2019): Man muss Wasserstoff dort einsetzen, wo er auch Sinn ergibt, in: Wirtschaftswoche, 5. November 2019. Verfügbar unter: <https://www.wiwo.de/unternehmen/auto/alternative-energien-man-muss-wasserstoff-dort-einsetzen-wo-er-auch-sinn-ergibt/25192302.html> (Letzter Zugriff: 07.09.2020).

- Helms, Hinrich; Jöhrens, Julius; Kämper, Claudia; Giegrich, Jürgen; Liebich, Axel, Vogt, Regine; Lambrecht, Udo (2016): Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen. Im Auftrag des Umweltbundesamts. UBA-Texte 27/2016. ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU). Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/weiterentwicklung-vertiefte-analyse-der> (Letzter Zugriff: 29.10.2020).

- International Energy Agency, IEA (2020): Global EV Outlook 2020. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020> (Letzter Zugriff: 02.11.2020).

- IPCC (2018): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: 1,5 °C globale Erwärmung. Ein IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut. World Meteorological Organization, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung auf Basis der Version vom 14.11.2018. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, ProClim/SCNAT, Österreichisches Umweltbundesamt, Bonn/Bern/Wien, November 2018. Verfügbar unter: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/07/SR1.5-SPM_de_barrierefrei.pdf (Letzter Zugriff: 02.11.2020).

- IVL Swedish Environmental Research Institute (2019): Lithium-Ion Vehicle Battery Production. Status 2019 on Energy Use, CO2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling, November 2019. Verfügbar unter: <https://www.ivl.se/download/18.14d7b12e16e3c5c36271070/1574923989017/C444.pdf> (Letzter Zugriff: 04.09.2020).

- Mobitool (2020): Vergleichsrechner. Verfügbar unter: <https://www.mobitool.ch/de/tools/vergleichsrechner-15.html> (Letzter Zugriff: 07.09.2020)

- Öko-Institut (2018): Elektromobilität – Faktencheck. Fragen und Antworten. Verfügbar unter: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/FAQ_Elektromobilitaet_Oeko-Institut_2017.pdf (Letzter Zugriff: 29.10.2020).

- Thielmann, Axel et al. (2020): Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft? Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, Januar 2020. Verfügbar unter: <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf> (Letzter Zugriff: 01.09.2020).

- Transport & Environment (2018): Roadmap to decarbonizing European cars, November 2018. Verfügbar unter: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2050_strategy_cars_FINAL.pdf (Letzter Zugriff: 01.09.2020).

- Wietschel, Martin et al. (2019): Die aktuelle Treibhausgasemissionsbilanz von Elektrofahrzeugen in Deutschland, Working Paper Sustainability and Innovation, No. S 02/2019, Verfügbar unter: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2019/WP02-2019_Treibhausgasemissionsbilanz_von_Fahrzeugen.pdf (Letzter Zugriff: 01.09.2020).