

NACHHALTIGE ANTRIEBSKONZEPTE

# MIT VOLLGAS RICHTUNG NETTO NULL

Urs Steiner

Der CO<sub>2</sub>-Ausstoss aus dem Verkehr soll netto null betragen – je schneller, desto besser. Müssen also lieber schon heute als morgen alle Motorfahrzeuge elektrisch betrieben werden? So einfach ist es nicht, denn nachhaltige Mobilität hängt weniger von der Antriebstechnologie ab als von der ursprünglichen Energiequelle.

Das ist keine Spitzfindigkeit: Wenn Strom aus der Verbrennung von Kohle oder Gas hergestellt wird, sind Elektromobile kaum umweltfreundlicher als solche, die mit fossilem Diesel, Benzin oder Gas betrieben werden. Auch Brennstoffzellenfahrzeuge sind nur dann klimaneutral, wenn der verwendete Wasserstoff nachhaltig erzeugt wird.

Angesichts von über 6 Millionen in der Schweiz immatrikulierten Motorfahrzeugen, einer weitgehend auf Benzin und Diesel ausgerichteten Infrastruktur sowie einer beschränkten Reichweite von Elektroautos ist eine reine Fokussierung auf Elektromobilität nicht zielführend. Diese Publikation zeigt auf, dass die Elektrifizierung des gesamten Fahrzeugparks eine Utopie ist – erst recht, wenn eine Milliarde Autos global mit nachhaltig produziertem Strom betrieben werden sollen.

Für eine effektive und effiziente Klimapolitik ist daher Technologieoffenheit gefragt – zumal weltweit genügend CO<sub>2</sub>-neutrale Energiequellen zur Verfügung stehen. Aber wie kommt der Strom aus Photovoltaik und Windenergie auf die Strasse? Die Lösung dafür sind neben Elektro- oder Hybridfahrzeugen auch Autos mit Brennstoffzellen sowie mit Verbrennungsmotoren. Letztere sind klimaneutral, wenn sie

mit synthetischem Benzin, Diesel oder Gas angetrieben werden. Bei der Verbrennung wird gleichviel Kohlendioxid emittiert, wie bei der Herstellung mit Ökostrom gebunden wurde.

Die Vorteile von synthetischen Treibstoffen liegen auf der Hand: Die Fahrzeuge, die sie antreiben, existieren bereits. Synthetisch hergestellte Treibstoffe können bei steigender Verfügbarkeit schrittweise fossilem Benzin oder Diesel, aber auch Kerosin beigemischt werden. Der grösste Vorteil dieser «Drop-in-Fuels» liegt im Vergleich zur Elektrizität jedoch in der Speicherung und dem Transport. Sie können ohne Umstellung der Verteilinfrastrukturen, Handelsmechanismen, Normen, Tankstellen und Fahrzeuge eingesetzt werden. Das ist eine gute Nachricht für die Wirtschaft, für die Konsumenten und auch für die Umwelt. Nicht zuletzt können flüssige oder gasförmige Kohlenwasserstoffe Speicherkapazitäten schaffen und damit die absehbare Spitzenbelastungen einer Versorgung mit nachhaltigem Strom brechen – dies gilt auch für Wasserstoff.

Diese Publikation zeigt auf, wie das Netto-null-Ziel im Bereich des Verkehrs mit vorhandenen Technologien und einem Minimum an technologieneutralen Regulierungen erreicht werden kann. Aus ökonomischer und ökologischer Sicht ergibt es beim heutigen Stand der Technik wenig Sinn, weltweit alle Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren ersetzen zu wollen. Zielführender für die Erreichung unserer Klimaziele ist die Offenheit gegenüber sämtlichen Technologien, die uns dem Ziel der klimaneutralen Fortbewegung bis 2050 einen Schritt weiterbringen.



# Ausleuchten, was einleuchtet

---

Jürg Müller

---

«Die Zukunft soll man nicht voraussehen wollen, sondern möglich machen.» Dieses Zitat aus dem Werk von Antoine de Saint-Exupéry ist ein formidabler Ratschlag für die Wirtschaftspolitik im Allgemeinen, und die Klimapolitik im Speziellen. Es impliziert Demut, aber nicht Defätismus: Mit dem Gestalten optimaler Rahmenbedingungen soll und kann die Zukunft gestaltet werden, doch wie sich diese am Ende konkret entfaltet, das liegt ausserhalb unserer Macht. Diese unleugbare Tatsache geht leider immer wieder vergessen – gerade auch, wenn es um die Förderung von bestimmten Technologien geht.

So hat die Politik im In- und Ausland unlängst das Thema Elektromobilität für sich entdeckt. Das ist nicht verwunderlich, verursacht der motorisierte Individualverkehr doch einen wesentlichen Anteil an den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Logik ist denn auch bestechend simpel: Im Strassenverkehr gibt es keine CO<sub>2</sub>-Emissionen mehr, wenn wir nur noch Elektrofahrzeuge haben, daher sollten diese so stark wie möglich gefördert werden. So einleuchtend dieses Argument vorderhand ist, es greift zu kurz, wie wir in der vorliegenden Publikation aufzeigen.

Erstens muss der Strassenverkehr im Rahmen der Klimadebatte als Teil des gesamten Energiesystems begriffen werden. Woher kommt die Energie für die künftigen Motorfahrzeuge? Wie kann eine flächendeckende Infrastruktur zur Energiever-

sorgung bereitgestellt werden? Und was sind die Speichermöglichkeiten? In fünf konzisen Beiträgen skizzieren Peter Richner und Christian Bach von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) mögliche Antworten auf diese Fragen.

Zweitens soll die Erreichung von Klimazielen effizient und effektiv angegangen werden, auch im Strassenverkehr. Hier spielt die Ökonomie, verstanden als die Wissenschaft der optimalen Allokation knapper Ressourcen, eine zentrale Rolle. In einem ausführlichen Interview erläutert Amag-CEO Morten Hannesbo die Sicht der Automobilbranche, und wir von Avenir Suisse ordnen in zwei abschliessenden Beiträgen das Thema volkswirtschaftlich und wirtschaftspolitisch ein.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist die Notwendigkeit einer nachhaltigen Mobilität unbestritten. Dafür braucht es zielführende Rahmenbedingungen. Wie dereinst aber die Mobilität im Detail ausgestaltet sein wird, das ist in höchstem Masse ungewiss. Auch wenn Avenir Suisse die Zukunft im Namen trägt, so behaupten auch wir keineswegs, diese voraussehen zu können. Das wäre vermessen. Diese Publikation ist somit kein Plädoyer für oder gegen eine bestimmte Technologie – im Gegenteil. Vielmehr will sie den Weg zu CO<sub>2</sub>-neutralen Antriebstechnologien ausleuchten und allfällige Stolpersteine identifizieren. Mit etwas mehr Licht im Dunkeln wird rasch klar: Eine nachhaltige Mobilität gilt es zu ermöglichen, deren technologische Umsetzung darf aber keineswegs vorweggenommen werden.

Wo stehen wir auf dem Weg zur klimaneutralen Schweiz? – Peter Richner, Empa ..... 3 – 4

Nachfrage nach Strom steigt – Peter Richner, Empa ..... 4 – 6

Wie ist eine klimaneutrale Strassenmobilität zu erreichen? – Christian Bach, Empa ..... 7 – 9

Synthetische Treibstoffe zum Preis von 2 Franken 40 pro Liter – Christian Bach, Empa ..... 9 – 11

Auf einen Blick – Basil Ammann ..... 12 – 13

«Am Ende entscheidet der Kunde mit dem Herz und dem Portemonnaie» – Morten Hannesbo im Gespräch mit Urs Steiner und Patrick Dümmler 14 – 16

Antriebstechnologien für Personenwagen im Vergleich – Christian Bach, Empa ..... 17

Tempo, Dreck, Lärm – und Ärger – Marc Tribelhorn ..... 18 – 19

Mit dem ökonomischen Navi effizient ans Ziel – Patrick Dümmler, Jürg Müller ..... 20 – 22

Mehr Klarheit und weniger Widersprüche – Peter Grünenfelder ..... 23 – 24

# Wo stehen wir auf dem Weg zur klimaneutralen Schweiz?

*Die Zukunft der Mobilität ist nicht zu beurteilen ohne einen Blick auf die gesamte Energieversorgung. Das Ziel einer klimaneutralen Mobilität ist nur mit fossilfreien Antriebskonzepten zu realisieren. Das betrifft nicht nur Verbrennungs-, sondern auch Elektromotoren.*

Peter Richner, Empa

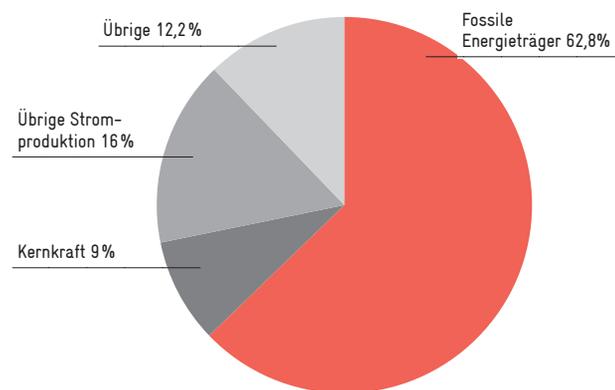
Die Notwendigkeit, den Klimawandel zu bremsen, bedingt eine grundlegende Transformation des Energiesystems – weg von fossilen Energieträgern hin zu mehr Energieeffizienz und zu erneuerbaren Energien. Dies kommt einer Operation am offenen Herzen unserer Gesellschaft gleich, bildet doch jederzeit verfügbare und bezahlbare Energie ein unverzichtbares Element unseres Lebens.

2018 wurden in der Schweiz 63 % der Endenergie durch fossile Energieträger gedeckt (vgl. Abbildung 1), und zwar hauptsächlich für die Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser und für die Mobilität. Damit verbunden waren die Emission von 31,8 Mio. t CO<sub>2</sub><sup>1</sup>. Im Rahmen des Paris-Abkommens hat sich die Schweiz verpflichtet, ihre Emissionen im Vergleich zu 1990 bis 2030 zu halbieren, und darüber hinaus hat der Bundesrat für 2050 das Ziel einer klimaneutralen Schweiz formuliert. In Anbetracht der Tatsache, dass die Emissionen aller Treibhausgase in der Schweiz zwischen 1990 und 2018 trotz aller bisher gemachten Anstrengungen bloss um 13,6 % gefallen sind, tritt die Notwendigkeit einer massiven Beschleunigung der Transformation in aller Deutlichkeit zu Tage.

Der im Nachgang zu Fukushima beschlossene schrittweise Ausstieg aus der Kernenergie, die 9 % der Endenergie sowie gegen 40 % der Elektrizität in der Schweiz abdeckt, akzentuiert die Herausforderungen weiter. Insgesamt benötigen wir in den nächsten 30 Jahren für 72 % der heutigen Energieversorgung neue Lösungen. Auf den ersten Blick mag das als unmöglich erscheinen – die Erfahrungen der Vergangenheit geben allerdings Anlass zu Hoffnung: Zwischen 1945 und 1975 stieg der Endenergieverbrauch der Schweiz um 600 %. Gleichzeitig ging der Anteil der beiden wichtigsten Energieträger Kohle und Holz, die 1945 noch 70 % des Bedarf abgedeckt hatten, um den Faktor zehn zurück. Ermöglicht haben diesen Wandel laufend

Quelle: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2018, Bundesamt für Energie, Juli 2019

Abb. 1 – Endenergienutzung in der Schweiz 2018



steigende Importe der fossilen Energieträger Öl und Gas, der Ausbau der einheimischen Wasserkraft und die Inbetriebnahme der Kernkraftwerke Beznau I und II. Während es damals primär um den massiven Ausbau der Energieversorgung ging, steht jetzt ein Umbau an, aber die Grössenordnungen sind durchaus vergleichbar.

Bereits absehbar ist, dass drei Trends die nächsten Jahre massgeblich prägen werden: auf der Produktionsseite sind dies: Der Wegfall von zentralen Stromproduktionsanlagen im In- und Ausland (Kernkraftwerke in der Schweiz und in Deutschland, fossile Kraftwerke im Ausland). Der Produktionsanteil der Kernkraft betrug 2018 in der Schweiz 36 %. Ende 2019 wurde mit Mühleberg das erste Kernkraftwerk stillgelegt, das ca. 4 % zur gesamten Stromproduktion in der Schweiz beigetragen hat. Wann genau die anderen Werke folgen, steht noch nicht fest.

Konkreter sind die Abbaupläne in Deutschland, wo bis Ende 2022 alle Kernkraftwerke vom Netz genommen werden, was einem Wegfall von 72 000 GWh pro Jahr bzw. 14 % der Gesamterzeugung entspricht. Die Kohlekraft, die aktuell ca. 30 % des deutschen Strombedarfs deckt, soll bis 2038 ebenfalls vom Netz gehen.

Anders gelagert ist die Situation in Frankreich. Der Anteil der Kernenergie an der Stromproduktion beträgt ca. 70 %, und der Kraftwerkpark hat eine ähnliche Altersstruktur wie in der

<sup>1</sup> Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO<sub>2</sub>-Gesetz und Kyoto-Protokoll, Bundesamt für Umwelt, April 2020

Schweiz. Es stellt sich also die Frage, wie viele der Reaktoren durch neue ersetzt werden und welcher Anteil durch erneuerbare Energie geleistet werden kann. Es muss davon ausgegangen werden, dass auch in Frankreich der Anteil an Bandproduktion zugunsten von fluktuierenden Quellen sinken wird und damit weniger Bandenergie exportiert werden kann.

Der Wegfall von Bandproduktion soll durch den Ausbau von erneuerbaren, dezentralen Produktionsanlagen kompensiert werden. Am weitesten ist diese Entwicklung in Deutschland fortgeschritten, wo Wind- und Sonnenenergie 2019 bereits für 33 % der gesamten Stromproduktion verantwortlich waren. In der Schweiz trugen Photovoltaik und Wind 2018 nur gerade 3,2 % zur Stromproduktion bei. Damit lässt sich nicht einmal die Produktion von Mühleberg über das ganze Jahr gesehen ersetzen, und im Winterhalbjahr ist der Beitrag nochmals kleiner. Einen gewissen Anteil kann die Wasserkraft leisten, allerdings sind diesem Ausbau aus ökologischen Gründen (Restwassermengen etc.) Grenzen gesetzt. Dass die Geothermie oder gar die Kernfusion in absehbarer Zukunft eine signifikante Rolle bei der Stromproduktion spielen könnte, ist unwahrscheinlich.

Auf der Nachfrageseite wird das Bild durch die Elektrifizierung von Gebäuden und Mobilität dominiert. Wärmepumpen überwiegen heute bereits im Neubaubereich. Insgesamt wurden aber 2018 immer noch 66 % der Raumwärme mit fossilen Energieträgern gedeckt. Die im neuen CO<sub>2</sub>-Gesetz vorgeschlagene Limitierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf 20 kg/m<sup>2</sup> und Jahr bei einer Heizungserneuerung wird den Eins-zu-eins-Ersatz fossiler Heizungssysteme in den meisten Fällen verunmöglichen. Da Wärmeverbundnetze nicht sehr verbreitet sind und das Potenzial von Holzheizungen ebenfalls limitiert ist, werden mehrheitlich Wärmepumpen zum Zug kommen.

Auch wenn der Anteil der reinen Elektrofahrzeuge noch weniger als 1 % bei den Personenwagen ausmacht, nimmt deren Anteil rasch zu. Befeuert wird diese Tendenz durch die weitere Verschärfung der Emissionsvorschriften für Neuzulassungen auf 95g CO<sub>2</sub>/km seit 2020. Alle grossen Automobilhersteller sind bemüht, ihr Angebot mit rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen zu verbreitern. Nicht zu unterschätzen ist die potenzielle Dynamik dieser Entwicklung. Das Auto-Durchschnittsalter in der Schweiz beträgt 9 Jahre, d.h. ca. 10% der Flotte wird pro Jahr erneuert. Sollte sich die Modellauswahl an Elektroautos rasch verbreitern und preislich attraktiv gestaltet werden, könnte der Elektrifizierungsgrad der Flotte in wenigen Jahren stark zunehmen. Damit der Wechsel von einem Energieträger zu einem anderen unter dem Klimaaspekt Sinn ergibt, muss der neue Energieträger zwingend einen sehr hohen Anteil an erneuerbarer Energie enthalten. Denn Elektromobilität mit Strom aus fossilen Quellen hilft nicht gegen den Klimawandel.

## Nachfrage nach Strom steigt

*Die bis anhin praktizierte Lösung, Strom im Winter zu importieren und im Sommer zu exportieren, wird in Zukunft nur noch bedingt umsetzbar sein.*

---

Peter Richner, Empa

---

Da die Bedeutung von Elektrizität in unserem Energiesystem steigt und sich Strom in wesentlichen Aspekten von Energieträgern wie Öl und Gas unterscheidet, gilt es, einige Besonderheiten der Stromversorgung zu diskutieren. Es sind dies das permanent einzuhaltende Gleichgewicht zwischen Stromproduktion und -konsum sowie die Herausforderung, elektrische Energie effizient und ökonomisch über längere Zeiträume zu speichern.

2018 wurden 25 % des Schweizer Endenergiebedarfs mit Strom aus Wasser- und Kernkraftwerken gedeckt. In der Jahresbilanz wird ein Exportüberschuss von 1,6 Mrd. kWh ausgewiesen. Allerdings sind diese Zahlen nur bedingt aussagekräftig. Im Winterhalbjahr ist die Schweiz auf Importe in der Grössenordnung von mehr als 5000 GWh angewiesen, der Selbstversorgungsgrad fällt auf ca. 80%. Umgekehrt produziert die Schweiz im Sommer einen Stromüberschuss, der in den Export geht. Damit verändert sich auch der CO<sub>2</sub>-Gehalt des in der Schweiz konsumierten Stromes über die Jahreszeit: Da im Winter teilweise Strom aus fossiler Produktion aus Deutschland importiert wird, steigt die Menge an CO<sub>2</sub> pro kWh und kann bei hoher Nachfrage vom Durchschnittswert von ca. 50g CO<sub>2</sub>/kWh auf über 250g CO<sub>2</sub>/kWh ansteigen. Zu beachten ist, dass in den Sommermonaten auch ohne Kernkraft der heutige Bedarf gedeckt wäre.

Diese Betrachtung mit hoher zeitlicher Auflösung ist von grosser Bedeutung. Um das Stromnetz europaweit stabil zu halten, müssen zu jedem beliebigen Zeitpunkt Produktion und Nachfrage im Gleichgewicht stehen. Entsprechend sind Spitzen in der Produktion oder in der Nachfrage immer eine Belastung für das System und klein zu halten.

Ursache für diese Problematik ist die Schwierigkeit, Strom zu speichern. Während man Öl, Gas oder Biomasse über längere Zeit aufbewahren kann, ist das bei Strom nicht gegeben. Elektrische Energie kann in chemische Energie umgewandelt

werden, indem z.B. eine Batterie aufgeladen wird oder mit einem Elektrolyseur Wasserstoff aus Wasser gewonnen wird. Alternativ gibt es die Möglichkeit, in Pumpspeicherkraftwerken den Strom zu speichern oder Strom in Wärme umzuwandeln. In jedem Fall sind die Speicherprozesse und die anschliessende Rückwandlung in Strom mit Verlusten verbunden – sofern diese überhaupt möglich und sinnvoll ist. Generell sind die Speicherkapazitäten heute limitiert. Batterien und Pumpspeicherkraftwerke lassen sich nur als kurzzeitige Speicher ökonomisch einsetzen. Stauseen, Wasserstoff und allenfalls daraus hergestelltes synthetisches Methan (Power-to-gas) sowie Wärmespeicher verfügen über ein Potenzial für längerfristige Speicherung.

Nicht zu vergessen ist das Stromnetz, das heute stark auf die Produktion von Strom in grossen zentralen Anlagen und die anschliessende Verteilung auf kontinentaler, regionaler und lokaler Ebene ausgerichtet ist. Mit der absehbaren Zunahme von dezentral produziertem Strom drängen sich Anpassungen auf. Die Schweiz spielt hier im europäischen Kontext eine wichtige Rolle, da grosse Strommengen durch unser Land fliessen. Angesichts der eher noch zunehmenden Abhängigkeit von Stromimporten ist eine gute institutionelle Einbindung in das europäische Stromnetz von Vorteil.

Zusammenfassend lassen sich die Herausforderungen aus den Veränderungen auf der Angebots- und Nachfrageseite einerseits und den spezifischen Charakteristika von Strom andererseits exemplarisch in Abbildung 2 darstellen: Für das Jahr 2015 wurde die Produktion durch die Kernkraftwerke herausgerechnet und die Hälfte der geeigneten Dächer in der Schweiz wurden mit Photovoltaik-Modulen belegt. Damit lässt sich über das ganze Jahr gerechnet die gleiche Menge Strom produzieren wie mit den Kernkraftwerken<sup>2</sup>. Allerdings kommt es zu einer massiven Abweichung zwischen Angebot und Nachfrage. Die Stromproduktion hat ihre Spitze im Sommer (Säulen in der Grafik), während das Maximum des Verbrauchs im Winter anfällt (Kurve). Durch die Elektrifizierung der Wärmebereitstellung für Gebäude nimmt

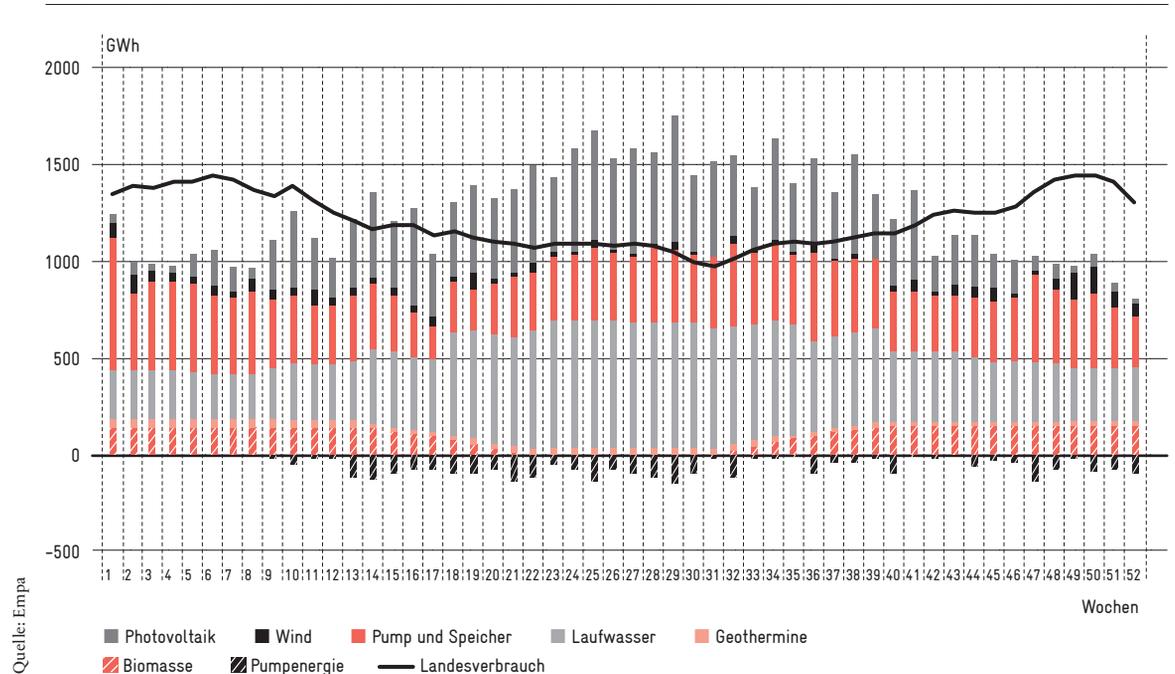
zudem der Strombedarf im Winter massiv zu. Eine teilweise Elektrifizierung der Mobilität hebt die Nachfragekurve über das ganze Jahr nochmals an.

Die bis anhin praktizierte Lösung, die benötigte Menge an Strom im Winter aus dem Ausland zu importieren und den Überschuss im Sommer zu exportieren, dürfte in Zukunft nur noch bedingt umsetzbar sein. Durch den Ausbau von Photovoltaik und den Rückgang von Bandproduktion im benachbarten Ausland wird sich deren Profil demjenigen der Schweiz angleichen, d.h. alle Nachbarländer werden im Sommer Überschüsse produzieren und im Winter bestenfalls ihren Eigenbedarf decken können. Das bedeutet, dass viele heute im Winter exportierende Länder zukünftig im Winter ebenfalls auf Importe angewiesen sein werden. Ein grosser saisonaler Nachfrageüberhang ist absehbar.

Um die in der Klimapolitik gesteckten Ziele erreichen zu können, braucht es eine darauf abgestimmte Energiepolitik. Die zur Verfügung stehenden Handlungsoptionen lassen sich anhand der leicht modifizierten Kaya-Identität diskutieren (vgl. Kaya-Identität). Um eine klimaneutrale Schweiz (CO<sub>2</sub> = 0) zu erreichen, muss einer der vier Faktoren in der Kaya-Identität null werden, oder das verbleibende Produkt wird mit CO<sub>2</sub>-negativen Technologien (z.B. Carbon capture and storage) kompensiert.

Eine signifikante Reduktion über den Faktor Bevölkerung ist sehr unwahrscheinlich. In praktisch allen Szenarien wird von einem leichten Bevölkerungswachstum in den nächsten Jahrzehnten ausgegangen. Eine Suffizienzstrategie könnte zu einer

Abb. 2. Stromangebot und -nachfrage im Schweizer Jahresverlauf



Reduktion des Bruttoinlandproduktes pro Kopf führen – ein unerwünschter Effekt, der in der gegenwärtigen Corona-Krise genau zu beobachten ist: Die Wirtschaftsleistungen reduzieren sich, die Mobilität hat massiv abgenommen, die Freizeit wird grossmehrheitlich zu Hause oder in der nächsten Umgebung verbracht, und damit sinken automatisch die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die damit einhergehenden Einschränkungen sind aber massiv, und es ist eine offene Frage, ob die Herausforderung «Klimawandel» eine vergleichbare und zudem permanente Veränderung auslösen kann. Zudem führt eine Suffizienzstrategie auch zu weniger freien Mitteln, die für die notwendigen technologischen Anpassungen zur Verfügung stehen.

### Kaya-Identität

$$CO_2 = cap \times \frac{BIP}{cap} \times \frac{E}{BIP} \times \frac{CO_2}{E} - SEQ_{CO_2}$$

CO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub> Emissionen

cap: Bevölkerung

BIP/cap: Bruttoinlandprodukt pro Kopf

E/BIP: Energie pro BIP (Effizienz)

CO<sub>2</sub>/E: Anteil fossile Energie im Energiemix

SEQ<sub>CO<sub>2</sub></sub>: «negative» Emission durch Entfernung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre

Es verbleiben damit die beiden technologischen Faktoren Energieeffizienz und Dekarbonisierung sowie die Einlagerung von CO<sub>2</sub> (Carbon capture and storage) als Handlungsoptionen. Letzteres würde den Rahmen dieser Ausführungen sprengen, wird aber einen wichtigen Beitrag leisten müssen, wenn wir die Zielsetzungen erreichen wollen.

Die Verbesserung der Energieeffizienz steht in der Energiestrategie des Bundes an erster Stelle und verfügt über ein längst noch nicht ausgeschöpftes Potenzial. Effizienz bedeutet, mit möglichst geringem Einsatz von Energie einen gewünschten Nutzen zu erreichen, etwa als Raumwärme, für den Personentransport oder die Produktherstellung.

Während im Gebäudesektor zwischen 1990 und 2018 der Energiebedarf für Wärme pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche um 38 % abnahm, ist das Bild beim strassengebundenen Personenverkehr sehr unbefriedigend. Nebst der Mengenausweitung durch das Bevölkerungswachstum wurden technische Effizienzgewinne auf der Antriebsseite durch Mehrverkehr überkompensiert. Eine Dekarbonisierung der Energieversorgung für Fahrzeuge hat zudem noch nicht in einem nennenswerten Ausmass stattgefunden, so dass 2018 die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Treibstoffe 3 % höher lagen als 1990<sup>3</sup>. Interessant ist ein Vergleich zwischen Strasse und Schiene: Pro Personenkilometer braucht die Bahn ca. 4,5 Mal weniger Energie als der Personenwagenverkehr<sup>4</sup>. Energieeffizienz ist bestenfalls ein Kriterium unter

vielen, die unser Mobilitätsverhalten bestimmen. Komfort, Individualität, Verfügbarkeit und anderes mehr sind mindestens so wichtig.

Das grösste Potenzial für die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen hat der vierte Faktor in der Kaya-Identität: die Bereitstellung von CO<sub>2</sub>-freier Energie. Global gesehen steht mehr als genug erneuerbare Energie zur Verfügung, um unseren Bedarf zu decken. In der Schweiz hat insbesondere die Photovoltaik ein enormes Potenzial. Mit der Nutzung von 50 % der geeigneten Dachflächen könnte die gleiche Menge Strom produziert werden wie mit den Kernkraftwerken. Darüber hinaus könnten auch noch die anderen 50 % der Dächer genutzt werden, und es gibt heute schon attraktive Lösungen für die Integration von Photovoltaik in Fassaden. Diese haben zudem den Vorteil, dass sie auch im Winter einen guten Ertrag erbringen. Wichtig ist, dass der Ausbau sofort an die Hand genommen wird, solange die Kernkraftwerke noch in Betrieb sind. Gleichzeitig muss aber eine Lösung gefunden werden, um einen möglichst grossen Anteil des Überschusses sowohl auf Tagesbasis als auch saisonal verwerten zu können. Dafür stehen verschiedene Möglichkeiten offen:

- \_ Die Erhöhung der Flexibilität durch «Tagesspeicher», sei es mit Batterien oder Wasserstoff, und die Möglichkeit, Lasten zu verschieben (z.B. Boiler tagsüber laden).
  - \_ Die Schaffung von Flexibilitäten in Verbrauch und Produktion, die von verschiedenen Stellen im Netz bedient werden können, ist eine Voraussetzung für eine effiziente und sichere Versorgung. Hier bietet die Digitalisierung Chancen.
  - \_ Die Umwandlung von überschüssigem Strom im Sommer in Wasserstoff und evt. zusammen mit CO<sub>2</sub> aus der Luft in Methan oder flüssige synthetische Kohlenwasserstoffe. Chemische Energieträger lassen sich gut lagern und vielfältig verwenden.
  - \_ Aufladen von saisonalen Wärmespeichern mit Überschussstrom, um so den Energiebedarf im Winter zu reduzieren.
- Eine höhere Solarproduktion erzeugt zwar im Sommer grössere Überschüsse, sie generiert aber im Winter ebenfalls eine höhere Einspeisung und reduziert damit das saisonale Speicherproblem. Letztlich müssen diese Ungleichgewichte in entsprechende Preissignale umgesetzt werden, um eine Lenkungswirkung entfalten zu können.

2 Impacts of an Increased Substitution of Fossil Energy Carriers with Electricity-Based Technologies on the Swiss Electricity System; Rüdüsüli M., Teske S. L., Elber U; Energies 2019, 12, 2399; doi:10.3390/en12122399

3 Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO<sub>2</sub>-Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013–2020), Bafu (2019).

4 Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2018 nach Verwendungszwecken, BFE (2019); Leistungen des privaten Personenverkehrs auf der Strasse, BFS (2019).

# Wie ist eine klimaneutrale Strassenmobilität zu erreichen?

*Der CO<sub>2</sub>-Ausstoss des Autoverkehrs kann entweder durch die Elektrifizierung der Antriebe mit voll- und teilelektrischen Fahrzeugen oder durch eine Elektrifizierung der Treibstoffe verringert werden. Um das Netto-null-Ziel bis 2050 zu erreichen, braucht es beide Konzepte.*

Christian Bach, Empa

Die Nutzung fossiler Energie erlaubte im vergangenen Jahrhundert eine enorme gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung, die auch am Bestand an Fahrzeugen gut sichtbar wird (vgl. Abbildung 1). Die Anzahl der Fahrzeuge nimmt mit zunehmender Wirtschaftsleistung in praktisch allen Ländern weltweit stark zu.

Gemäss dem Internationalen Verband der Automobilhersteller (Oica) wurden 2019 rund 90 Mio. Fahrzeuge verkauft. Zum Vergleich: im Jahr 2000 waren es noch 50 Mio. Diese Zahl wird voraussichtlich weiter steigen. Studien zum Automobilmarkt zeigen bis 2030 ein Wachstum auf 120 Mio. produzierter Fahrzeuge<sup>5</sup> – 30 Mio. Neuwagen mehr als heute. Entscheidend diesbezüglich sind insbesondere die Entwicklungen in den Brics-Staaten (Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika). Gleichzeitig wird erwartet, dass der Anteil von Steckerfahrzeugen (Elektro und Plugin-Hybrid) stark steigen wird – bis 2030 global auf rund 30 Mio.<sup>6</sup>

Heute sind weltweit rund 1,3 Mrd. Autos immatrikuliert.<sup>7</sup> Diese emittieren jährlich rund 6,0 Mrd. t CO<sub>2</sub> (von weltweit insgesamt 33 Mrd. t)<sup>8</sup>. In der Schweiz sind gemäss Bundesamt für Statistik 6,2 Mio. Fahrzeuge registriert, mit direkten Emissionen von 16 Mio. t CO<sub>2</sub>.<sup>9</sup> Dazu kommen weitere 20–30% Emissionen in der Treibstoffbereitstellung sowie für die Herstellung und Entsorgung der Fahrzeuge. Weltweit steigt der CO<sub>2</sub>-Ausstoss gemäss IEA

in allen Energiesektoren nach wie vor an, am stärksten im Transportbereich. In der Schweiz konnten die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aller Sektoren gesenkt werden; seit 2008 auch im Strassenverkehr.

Betrachtet man den Betrieb der Fahrzeuge in der Schweiz detaillierter, zeigt sich, dass die einzelnen Fahrzeuge signifikante Unterschiede bei der jährlichen Kilometerleistung und damit auch bei den realen CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweisen. Die Auswertung von 1,5 Mio. Autoinserten auf Autoscout24 (ohne Geschäftsfahrzeuge) durch die Empa ergab, dass 50% der Fahrleistung durch die 30% Fahrzeuge mit den höchsten Fahrleistungen erbracht wird (vgl. Abbildung 2). Diese Fahrzeuge sind für gleich viel CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich wie die restlichen 70% der Autos. Vielfahrer- und Langstreckenfahrzeuge sind hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Emissionen somit überdurchschnittlich relevant.

Bei der Langstreckenmobilität dürfen zudem Rebound-Effekte nicht unterschätzt werden. Dies wäre beispielsweise der Fall, wenn Ferienreisen einer Familie nach dem Umstieg auf

Abb. 1 – Anzahl Fahrzeuge pro 1000 Einwohner über dem kaufkraftbereinigten BIP

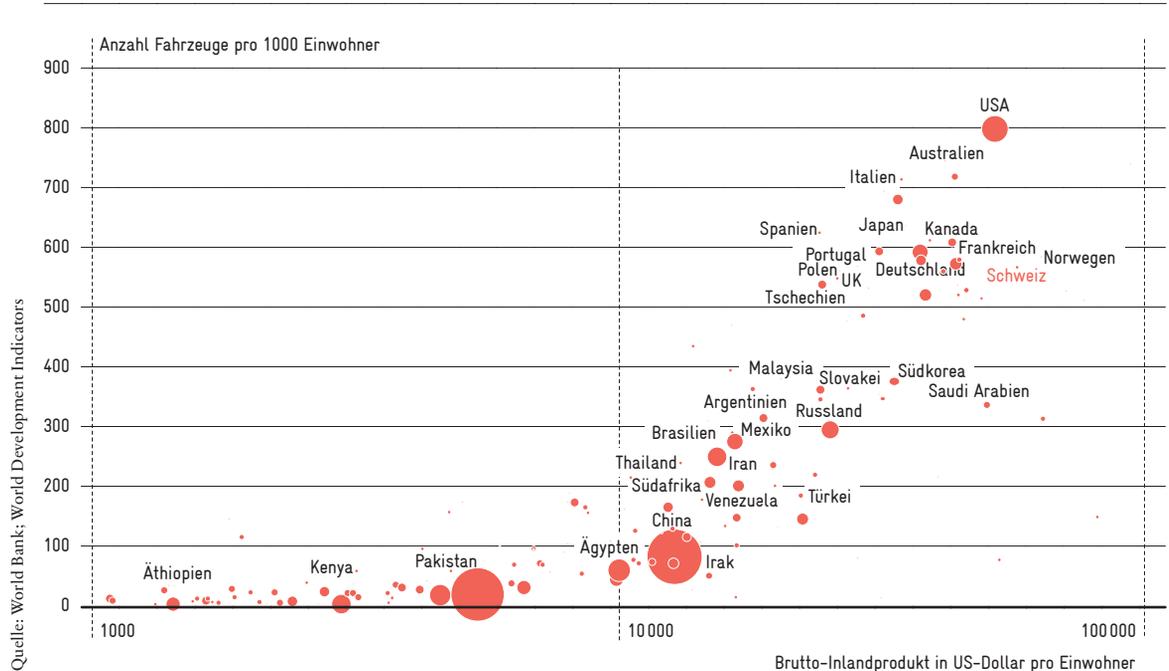
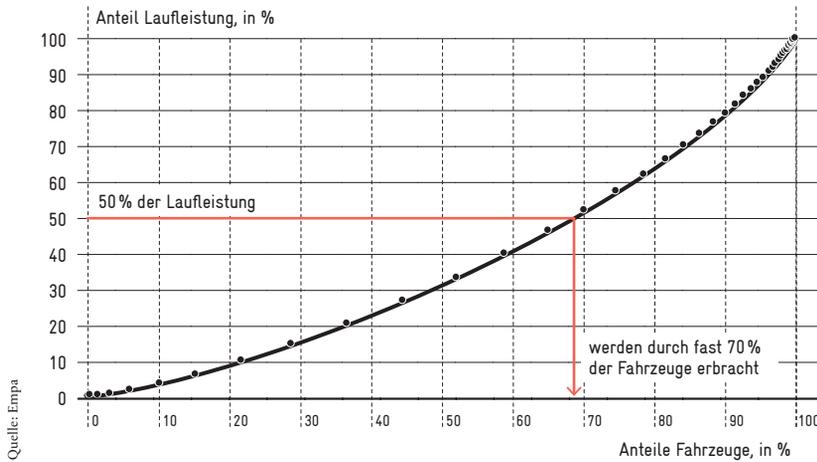


Abb. 2\_Anteile der Laufleistung in Funktion des Anteils der Fahrzeuge

50 Prozent der Laufleistung wird durch 70 Prozent aller Fahrzeuge erbracht.  
Die 30 Prozent der Viel- oder Langstreckenfahrer emittieren die Hälfte der Emissionen.



Quelle: Empa

ein Elektrofahrzeug nicht mehr mit dem Auto, sondern mit dem Flugzeug gemacht würden. Ein einziger Trip einer Familie per Flugzeug kann die CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Benzin- oder Dieselfahrzeuges während eines Jahres deutlich übersteigen.

Die Ökobilanzen von Fahrzeugen mit verschiedenen Antriebskonzepten sind Gegenstand vieler Untersuchungen. Für die CO<sub>2</sub>-Emissionen primär entscheidend ist die Herkunft der Energie. Dabei werden heute vor allem zwei Hauptentwicklungen diskutiert: die Elektrifizierung der Antriebe (d.h. voll- und teil-elektrische Fahrzeuge) sowie die Elektrifizierung der Treibstoffe (d.h. Wasserstoff und synthetische Treibstoffe).

Zur Herstellung synthetischer Treibstoffe wird erneuerbare Elektrizität, die im Strommarkt aufgrund eines Überangebots oder mangels Transportkapazitäten nicht nutzbar ist – andere Elektrizität ist zu teuer – in einem ersten Schritt für die Zerlegung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff genutzt. Der Wasserstoff kann dann entweder in Wasserstoff-Fahrzeugen eingesetzt werden, oder er wird mit CO<sub>2</sub> in Kohlenwasserstoff-

QUELLEN SYNTHETISCHER ENERGIETRÄGER

Synthetische Energieträger benötigen für die Herstellung erneuerbare Elektrizität, Wasser und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Die technischen Verfahren sind bekannt und erste industrielle Grossanlagen in Planung. Die Gesteungskosten hängen primär von der Anlagen-grösse und den Stromkosten ab. Der Strompreis wiederum beruht auf den lokalen Gegebenheiten, dem Strommarktdesign wie auch dem Anteil erneuerbarer Elektrizität.

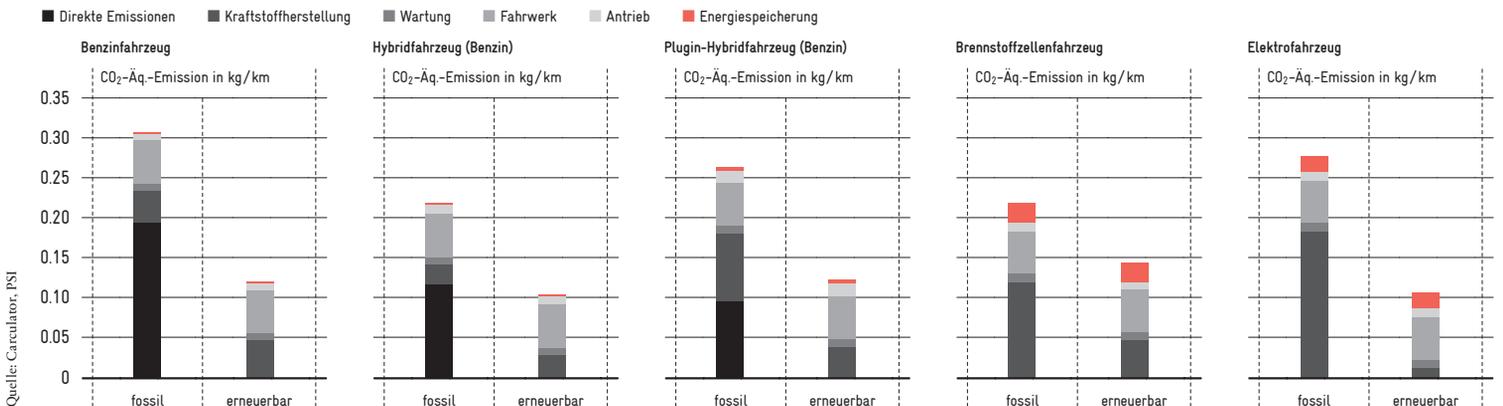
Zur Herstellung synthetischer Energieträger kommen dezentrale, kleinere Anlagen in der Schweiz oder ausländische Produktionsbetriebe in Frage. Während Anlagen in der Schweiz für das einheimische Energie-Gesamtsystem wertvoll sind – beispielsweise, indem der nutzbare Anteil erneuerbarer Elektrizität erhöht wird – bieten ausländische Grossbetriebe für die Schweiz zwar direkt keinen Systemnutzen, können aber die Versorgung mit erneuerbarer Energie im Winter oder für den Strassenverkehr auf Langstrecken und für die Luftfahrt sicherstellen.

Um den nicht durch die Wasserkraft abgedeckten Energiebedarf der Schweiz im Winterhalbjahr sowie den Langstreckenverkehr ausschliesslich mit importierten synthetischen Energieträgern zu decken, wäre eine Photovoltaik-Fläche in einer Wüste von zirka 700 km<sup>2</sup> erforderlich; das sind 27 x 27 km oder 0,008% der Fläche der Sahara. Das für die Herstellung erforderliche Wasser und das CO<sub>2</sub> könnten vor Ort aus der Atmosphäre gewonnen werden. Die bestehenden Handelsmechanismen, Transportinfrastrukturen, Normen und das Expertenwissen könnten dabei weiterverwendet werden.

- 5 McKinsey; Automotive revolution – perspective towards 2030 (2016)
- 6 Bloomberg NEF; Electric Vehicle Outlook 2019
- 7 Wards Auto, World Vehicle Population (2017)
- 8 IEA Tracking Transport (2019)
- 9 Bafu; Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO<sub>2</sub>-Gesetz und Kyoto-Protokoll (2020)

Abb. 3\_Treibhausgas-Lebenszyklusemissionen verschiedener Antriebskonzepte mit fossiler und erneuerbarer Energie

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Automobilen unterscheiden sich weniger durch die Antriebstechnologie als durch die Herkunft der Energie, die sie nutzen. Mit Treibstoffen aus erneuerbaren Quellen sind die Unterschiede in den CO<sub>2</sub>-Emissionen marginal.



Quelle: Calculator, PSI

fe umgewandelt und in verbrennungsmotorischen (Hybrid-) Fahrzeugen genutzt werden.

Wasserstoff und synthetische Treibstoffe sind insbesondere im Langstrecken- und Lastbetrieb eine notwendige Ergänzung der Elektromobilität. Diese Technologien auf ihre verminder- ten Teilsystem-Wirkungsgrade zu reduzieren, wird der Sache nicht gerecht, denn der Zeitpunkt und auch der Ort der Erzeu- gung von erneuerbarer Elektrizität sowie wann und wo diese bezogen wird, ob Energie speicherbar und/oder transportier-

bar ist, erhält in einem regenerativen Stromsystem eine höhere Bedeutung.

Vergleicht man die CO<sub>2</sub>-Emissionen von elektrifizierten An- trieben und elektrifizierten Treibstoffen, so zeigt sich, dass die- se primär von der CO<sub>2</sub>-Belastung der eingesetzten Elektrizität abhängen. Untersuchungen des Paul Scherrer Instituts (PSI) zeigen (vgl. Abbildung 3), dass für die CO<sub>2</sub>-Reduktion primär der Wechsel auf erneuerbare Energie massgeblich ist. Beim Betrieb mit erneuerbarer Energie spielt das Antriebskonzept diesbe- züglich eine untergeordnete Rolle.

# Synthetische Treibstoffe zum Preis von 2 Franken 40 pro Liter

*Angesichts der hohen Gesteungskosten stellt sich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit von synthetischen Kraftstoffen. Im Folgenden wird dargelegt, wie diese erreicht werden könnte.*

Christian Bach, Empa

Klar ist, dass erneuerbare synthetische Treibstoffe («Syn-Fuels») in der Produktion deutlich teurer sind als fossile Energieträger (vgl. Abbildung 1). Die Produktionskosten liegen heute um den Fak- tor 8 über denjenigen von fossilen Treibstoffen<sup>10</sup>. Aufgrund der üblichen Lernkurven und Skaleneffekte dürften sich diese allerdings senken lassen – bis 2050 voraussichtlich auf einen Faktor 4 über diejenigen von Benzin, Diesel und Gas. Die Pro- duktkosten machen heute ungefähr einen Viertel der Säulen-

preise aus. Rund die Hälfte besteht aus Steuern und Abgaben, den Rest verschlingen Verteilung, Tankstelle und Marge. Die höheren Produktionskosten von Syn-Fuels wirken sich deshalb gedämpft auf die Säulenpreise an den Tankstellen aus.

Syn-Fuels, die heute um den Faktor 8 teurer sind als fossile Treibstoffe, ergäben Säulenpreise von 3.90 Fr./l (ohne Mine- ralölsteuer und Mineralölsteuerzusatz) bzw. 4.60 Fr./l (mit Min- Öst). Bis 2050 würden sich diese dann auf knapp 2.00 Fr./l (ohne MinÖSt) bzw. 2.70 Fr./l (mit MinÖSt) reduzieren (vgl. Ab- bildung 1, Diagramm rechts). Angegeben sind hier Diesel-Äquivalente unter Annahme konstanter Mineralölsteuer-Ansätze und kon-

Abb. 1\_Kosten synthetischer Treibstoffe

Gesteungskosten synthetischer Treibstoffe (links); resultierende Säulenpreise für synthetische Treibstoffe (rot) und fossile Treibstoffe (schwarz, rechts).

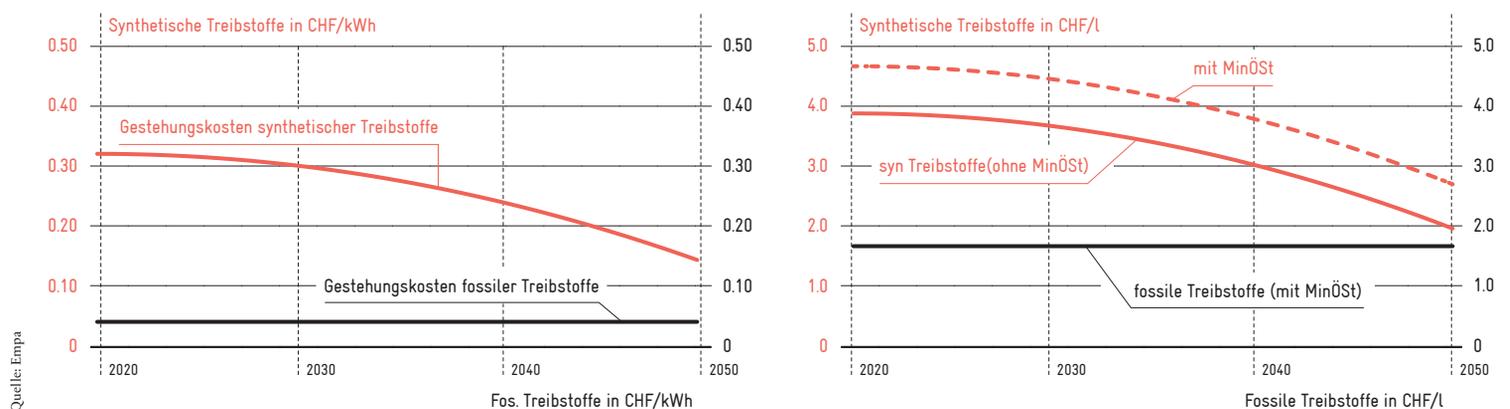
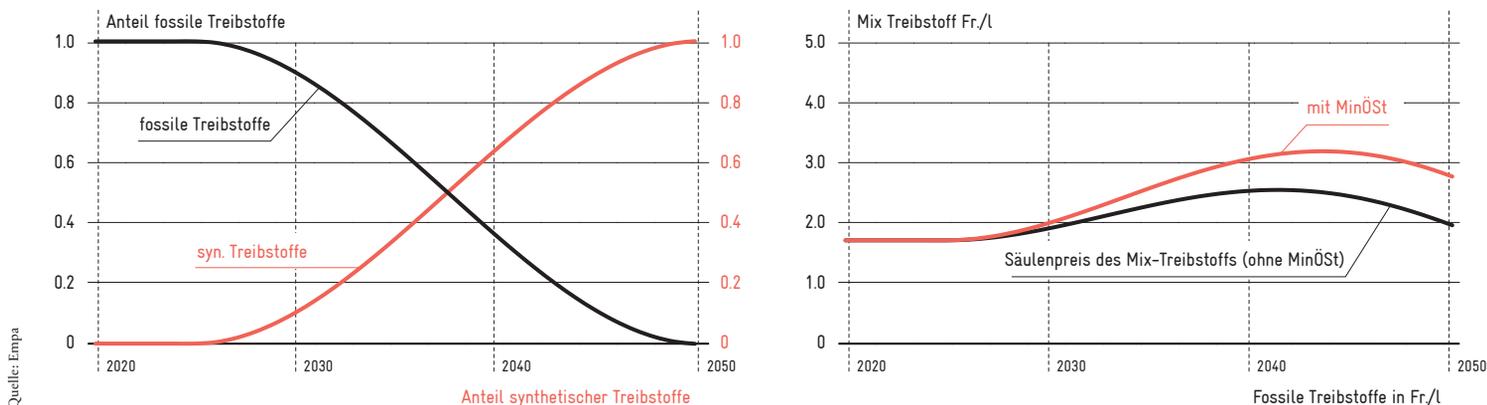


Abb. 2 - Substitution fossiler Treibstoffe und Preisentwicklung

Substitution fossiler Treibstoffe durch synthetische Treibstoffe (links) sowie resultierende Säulenpreise für den entsprechenden Treibstoff-Mix (rechts); ohne zusätzliche Massnahmen.



stanter anderer Kosten. Fossile Energie wird mit Produktionskosten von 0.04 Fr./kWh bzw. einem Säulenpreis von 1.68 Fr./l angenommen, die MinÖSt eingerechnet.

Wollte man die Mehrkosten von Syn-Fuels über eine CO<sub>2</sub>-Abgabe ausgleichen, müsste diese zu Beginn mit mehr als 700 Fr. pro Tonne CO<sub>2</sub> bzw. einem Aufschlag auf fossile Treibstoffe von mehr als 2 Fr./l Diesel-Äquivalent veranschlagt werden – selbst wenn die Syn-Fuels von der Mineralölsteuer befreit wären. Diese CO<sub>2</sub>-Abgabe könnte dann aufgrund der Produktionskostenentwicklung bis 2050 schrittweise auf 150 Fr. pro Tonne CO<sub>2</sub> bzw. 0.40 Fr./l gesenkt werden (mit MinÖSt auf 450 Fr. pro Tonne CO<sub>2</sub> bzw. 1.20 Fr./l Diesel-Äquivalent). Da ein solcher Ansatz weder politisch noch wirtschaftlich umsetzbar scheint, wird im Folgenden ein anderer Ansatz präsentiert.

Geht man davon aus, dass die verbleibenden fossilen Treibstoffe ab 2025 bis 2050 zu 100% durch erneuerbare synthetische Treibstoffe substituiert werden sollen (vgl. Abbildung 2, linkes Diagramm), würde dies den Säulenpreis für den Mix-Treibstoff (Diesel-Liter-Äquivalent) bis 2040 auf 2.60 Fr./l (ohne MinÖSt bei den synthetischen Treibstoffen) bzw. 3.20 Fr./l (mit MinÖSt) erhöhen, was immer noch rund einer Verdoppelung des heutigen Säulenpreises entspräche (Abbildung 2, rechtes Diagramm). Nach 2040 würde wegen sinkenden Produktionskosten von Syn-Fuels eine Preisreduktion einsetzen. Ohne Mineralölsteuer bei den synthetischen Treibstoffen würde sich der Säulenpreis 2050 für den dazumal rein synthetischen Treibstoff bei rund 2 Fr./l einstellen, mit MinÖSt ein solcher von 2.80 Fr./l.

Auch eine solche Kostenentwicklung dürfte für eine Umsetzung unrealistisch sein – gesucht ist ein Ansatz mit konstanter Preisentwicklung. Im Folgenden werden zwei Massnahmen vorgestellt, die eine solche Entwicklung ermöglichen: Die erste Massnahme stellt die Anrechenbarkeit der CO<sub>2</sub>-Minderung durch Syn-Fuels im Rahmen der Fahrzeugzulassung dar, wie sie in der Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes vorgeschlagen ist. Für die

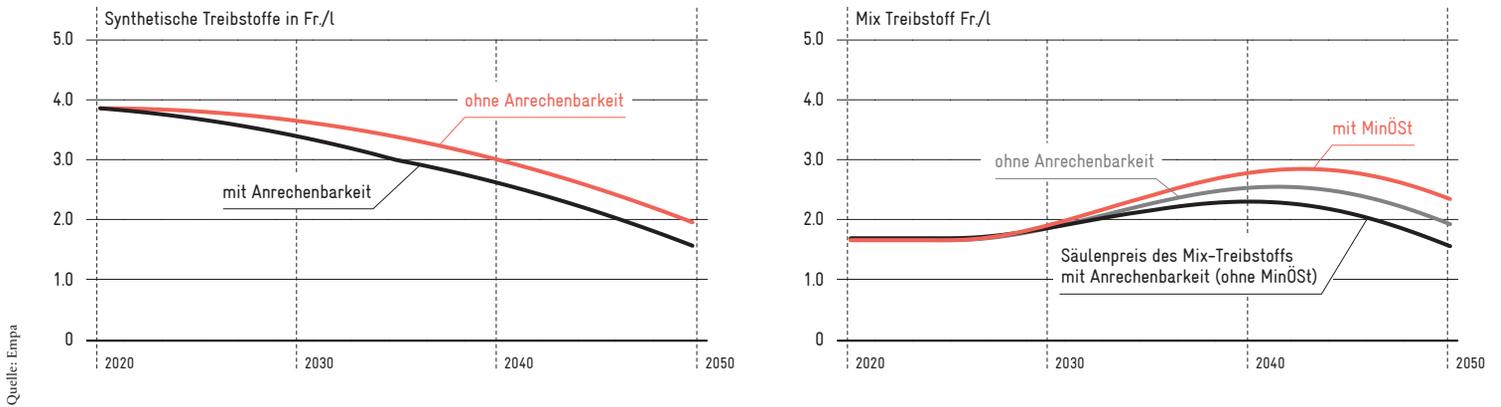
Importeure oder einheimischen Hersteller von Fahrzeugen werden jährlich individuelle CO<sub>2</sub>-Zielwerte vorgegeben<sup>11</sup>. Werden diese überschritten, wird eine Sanktion fällig. Für das Referenzjahr 2020 beträgt diese pro Gramm Zielwertüberschreitung und pro verkauftem Fahrzeug 109 Fr. Bei einer angenommenen Laufleistung von 200 000 km eines Fahrzeugs werden mit 109 Fr. also 200 kg CO<sub>2</sub> sanktioniert. Umgerechnet in einen Dieselverbrauch macht dies 0.15 Fr./kWh aus.

Konkret bedeutet die Anrechenbarkeit nun, dass Importeure oder schweizerische Hersteller von Fahrzeugen geringere Sanktionszahlungen zu leisten haben, wenn sie parallel zum Verkauf von Verbrennern oder Hybridfahrzeugen auch synthetische Treibstoffe in den Markt bringen. Dies könnte beispielsweise mittels Herkunftsnachweisen sichergestellt werden, die belegen, dass die Syn-Fuels auf erneuerbarer Energie basieren. Hier wird angenommen, dass die Herkunftsnachweise zur Hälfte der entsprechenden Sanktionskosten gehandelt werden. Die Sanktionskosten werden nur für CO<sub>2</sub>-Emissionen über dem entsprechenden Zielwert erhoben, was bei den Berechnungen berücksichtigt wurde. Dabei spielt die europäische CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung für die Fahrzeugzulassung sowie die Marktentwicklung, wie zum Beispiel der Anteil Elektrofahrzeuge, eine wichtige Rolle. Die Herkunftsnachweise für Syn-Fuels müssen im Immatrikulationsjahr der entsprechenden Fahrzeuge für deren ganze Lebensdauer, hier mit 15 Jahren angenommen, vorgelegt werden. Gleichzeitig wird ausgegangen, dass pro Jahr 1/15 der Fahrzeugflotte ersetzt wird.

Insgesamt senkt die Anrechenbarkeit der CO<sub>2</sub>-Minderung die Säulenpreise synthetischer Treibstoffe bis ins Jahr 2050 unter den getroffenen Annahmen um bis 0.36 Fr./l Diesel-Äquivalent (vgl. Abbildung 3, links). Entsprechend dem Anteil von Syn-Fuels führt dies im Treibstoff-Mix zu einer Reduktion des Säulenpreises bis zum vollständigen Ersatz fossiler Energieträger im Jahr 2050 (vgl. Abbildung 3, rechts). Unter den hier gewählten

Abb. 3 – Auswirkungen der Anrechenbarkeit als CO<sub>2</sub>-Minderung auf den Preis

Einfluss der Anrechenbarkeit auf die Preise synthetischer Treibstoffe (links) sowie resultierende Säulenpreise für den entsprechenden Treibstoff-Mix (rechts).



Annahmen stellt der so für 2050 berechnete Säulenpreis den langfristig minimal erreichbaren Preis für synthetische Treibstoffe dar.

Da während der Übergangsphase von 100% fossiler auf 100% erneuerbare synthetische Treibstoffe nach wie vor ein deutlicher Preisanstieg bis 2040 mit einem Preisabfall danach resultiert, wird als zweite Massnahme vorgeschlagen, auf fossile Treibstoffe eine Umlage zu erheben. Konkret würden damit fossile Treibstoffe verteuert, um synthetische Treibstoffe zu verbilligen. Das Ziel ist, den Säulenpreis während des Umstiegs auf Syn-Fuels von Anfang an auf den langfristig minimal erreichbaren Treibstoffpreis abzusinken (vgl. Abbildung 4, Links). Dazu ist unter den getroffenen Annahmen eine Umlage in der Höhe von 30 Fr. pro Tonne CO<sub>2</sub> bzw. 0.008 Fr./kWh erforderlich (vgl. Abbildung 4, Mitte). Daraus resultiert ohne MinÖSt ein leicht sinkender, mit MinÖSt ein leicht steigender finaler Säulenpreis (vgl. Abbildung 4, rechts). Bis 2050 würde sich so ein Säulenpreis für 100% erneuerbare synthetische Treibstoffe von 2.40 Fr./l

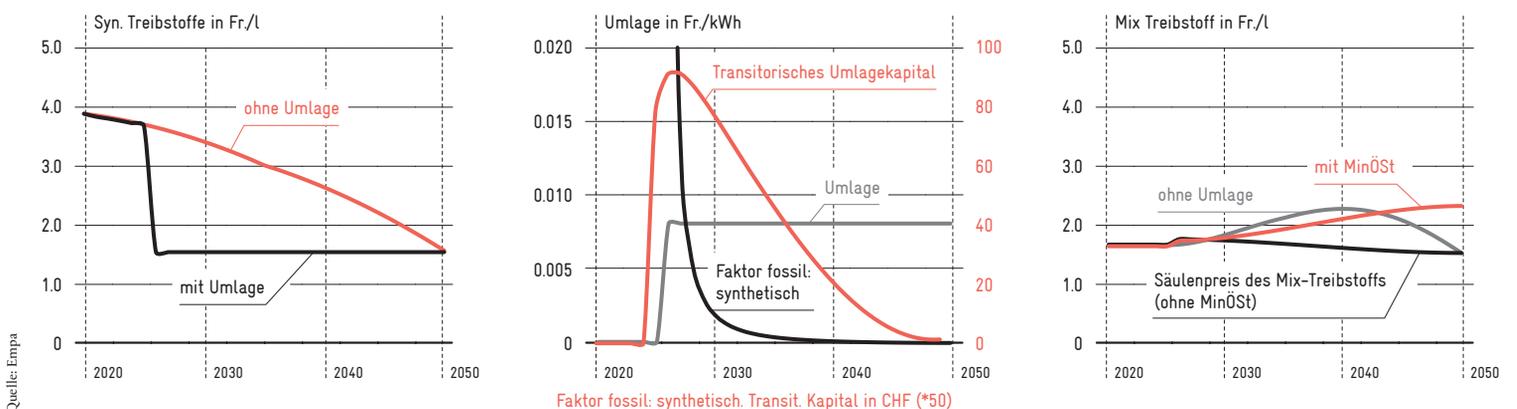
Diesel-Äquivalent ergeben, inklusive Mineralölsteuer in voller Höhe.

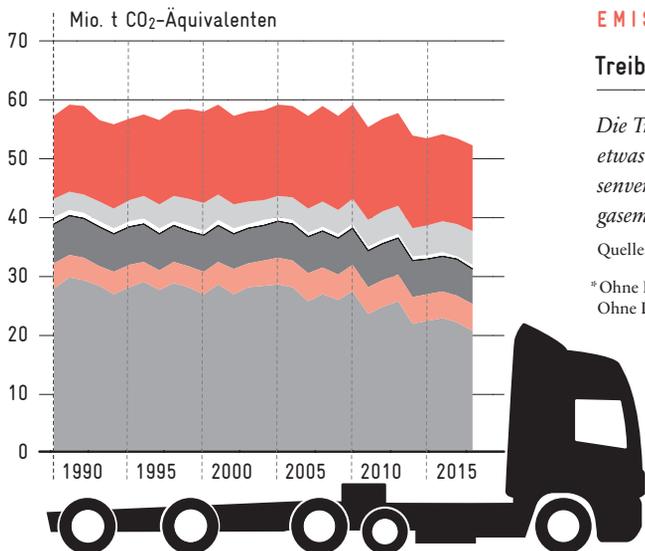
Neben der Elektrifizierung der Antriebe braucht es die Elektrifizierung der Treibstoffe, um die CO<sub>2</sub>-Ziele der Schweiz zu erreichen, insbesondere für Langstrecken- und Lastanwendungen. Diese sind zwar hinsichtlich der Anzahl Fahrzeuge nicht besonders relevant, aufgrund der hohen Fahrleistungen jedoch sehr wohl bezüglich CO<sub>2</sub>-Emissionen. Diese Umstellung von fossilen auf erneuerbare Treibstoffe würde sich nicht nur auf die Neuwagenflotte, sondern auf den Bestand aller Fahrzeuge auswirken, was die Massnahme sehr effektiv macht. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Treibstoffsystem würde sich analog zum Strommarkt bis 2050 kontinuierlich reduzieren.

- 10 Zapf M. et al; Kosteneffiziente und nachhaltige Automobile, Bewertung der realen Klimabelastung und der Gesamtkosten – Heute und in Zukunft, Springer Verlag (2019)
- 11 CO<sub>2</sub>-Verordnung, Art. 17ff (2020)

Abb. 4 – Marktgerechte Preise von synthetischen Treibstoffen durch Umlagesystem

Einfluss der Umlage auf die Preise synthetischer Treibstoffe.





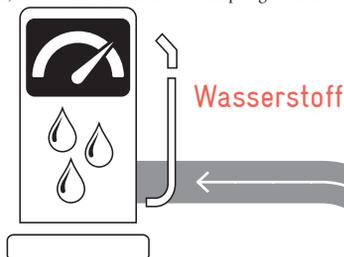
EMISSIONEN

Treibhausgasemissionen der Schweiz 1990–2018

Die Treibhausgasemissionen aus dem Strassenverkehr konnten nach 2008 etwas gesenkt werden; bis netto null ist der Weg aber noch weit. Der Strassenverkehr ist heute für rund 30% der im Inland verursachten Treibhausgasemissionen verantwortlich.

Quelle: BAFU (2020)

\*Ohne Emissionen, die bei der Produktion von Importgütern entstehen. Ohne LULUCF.



STRASSENNETZ DER SCHWEIZ



Quelle: BFS (2019)

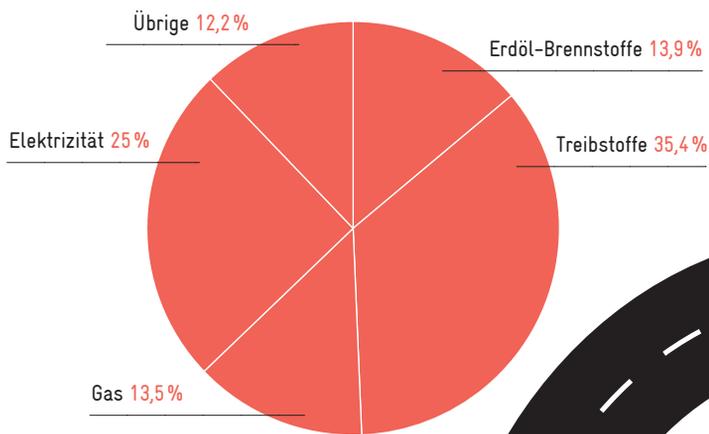
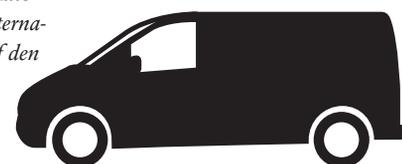
- Strassenverkehr
- Internationaler Flug- und Schifffverkehr
- Abfall
- Andere
- Landwirtschaft
- Industrielle Prozesse und Lösungsmittel
- Energie (ohne Strassenverkehr)

INVERKEHRSSETZUNG

Neue Inkverkehrssetzung von Personenwagen nach Antriebssystem

Benzin und Diesel dominieren weiterhin die Auto-landschaft der Schweiz. Personenwagen mit alternativen Antriebssystemen sind heute häufiger auf den Strassen anzutreffen, machen vergleichsweise aber immer noch einen kleinen Teil aus.

Quelle: BFS (2019)



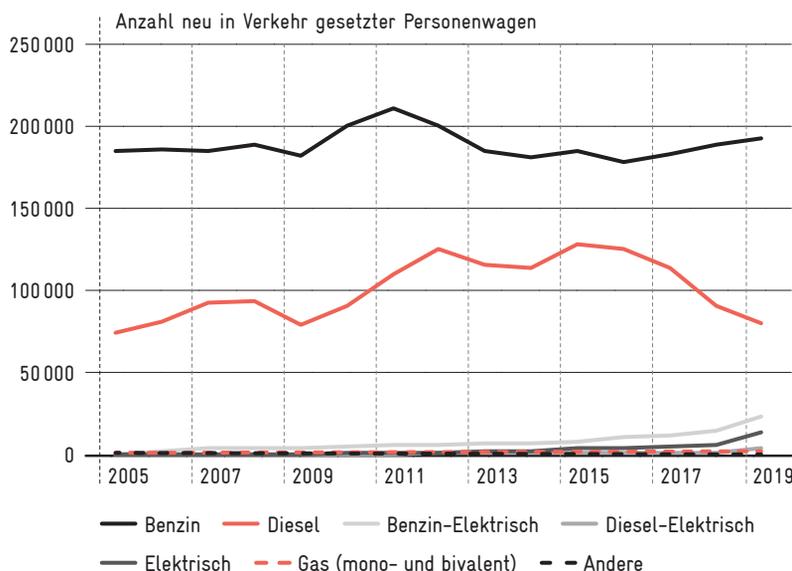
ENDENERGIEVERBRAUCH

Endenergienutzung in der Schweiz 2018

Im Jahr 2018 wurden in der Schweiz rund 831 000 Terajoules an Endenergie\* verbraucht, wovon fossile Treibstoffe gut einen Drittel ausmachten. Eine effektive Substitution dieser durch alternative Treibstoffe oder Elektrizität bedarf gewaltiger Mengen an erneuerbarer Energie.

Quelle: BFS (2019)

\*Energieverluste durch Umwandlung und Verteilung nicht miteingerechnet.



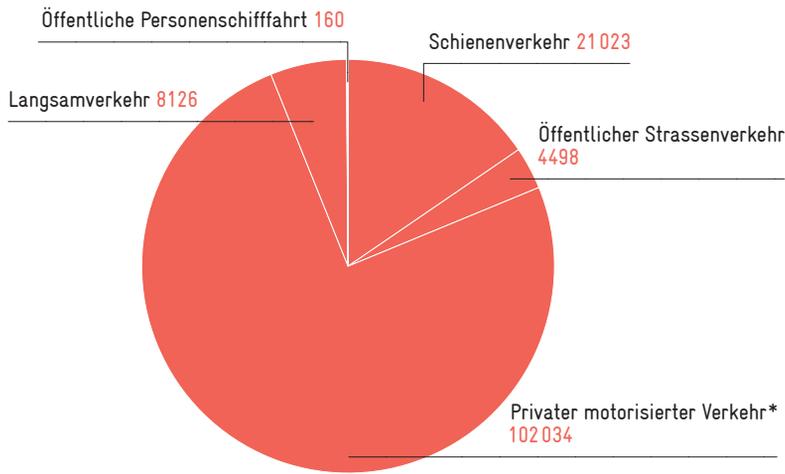
## PERSONENVERKEHR

### Geleistete Personenkilometer in der Schweiz 2018, in Mio.

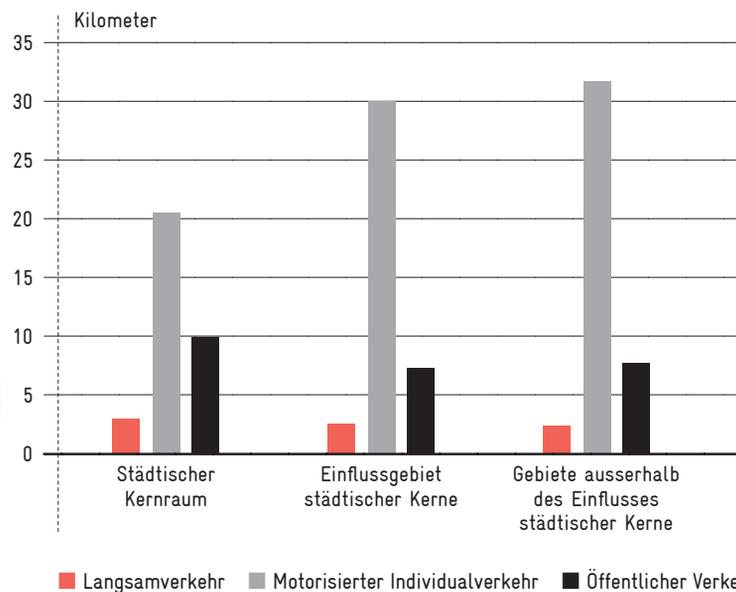
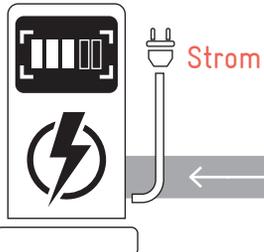
Ein Grossteil der geleisteten Personenkilometer in der Schweiz entfällt auf den privaten motorisierten Verkehr. Personenkraftwagen leisteten 2018 beinahe fünfmal so grosse Verkehrsleistungen wie die Eisenbahnen.

Quelle: BFS (2019)

\* In- und ausländische Fahrzeuge in der Schweiz, ohne Kleinbusse und Wohnmobile.



Kantonsstrassen 17 816 km  
Gemeindestrassen 51 880 km



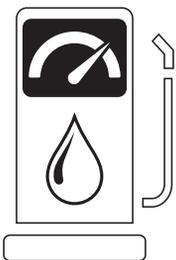
## TAGESDISTANZ

### Tagesdistanz nach Urbanisierungsgrad 2015

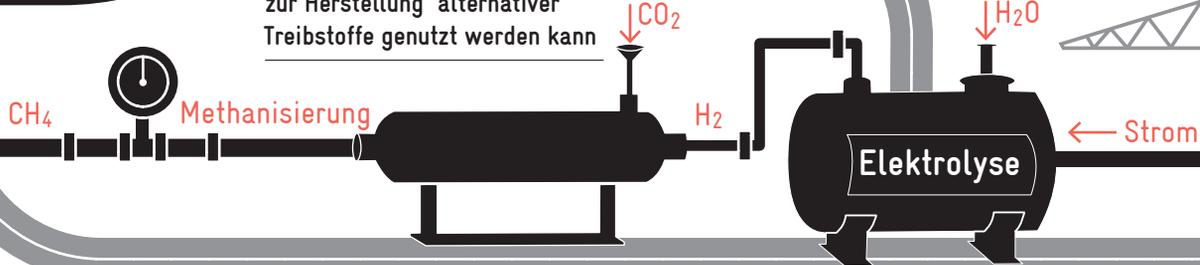
Das Auto ist aus dem Schweizer Alltag in Stadt und Land kaum wegzudenken. Je weiter weg vom urbanen Zentrum, desto mehr ist man auf den motorisierten Individualverkehr angewiesen. Gleichwohl werden auch im städtischen Kernraum die grössten Tagesdistanzen im MIV zurückgelegt.

Quelle: BFS (2017)

## Synthetisches Gas



Wie erneuerbare Energie zur Herstellung alternativer Treibstoffe genutzt werden kann



## Fischer-Tropsch-Synthese

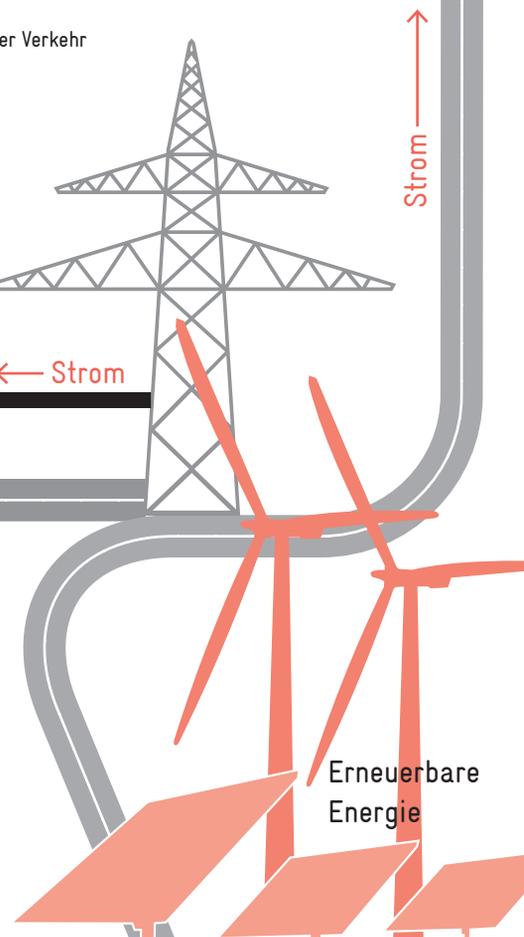
## TANKSTELLEN

### Öffentliche Tankstellen/Ladestandorte in der Schweiz

 <b>Benzin/Diesel</b> <b>3362</b> <small>Avenergy Suisse (2020)</small>	 <b>Elektrische Ladestandorte</b> <b>1803</b> <small>BFE (2020)</small>	 <b>CNG (Erdgas/Biogas)</b> <b>150</b> <small>cng-mobility.ch (2020)</small>	 <b>Wasserstoff</b> <b>2</b> <small>Förderverein H2 Mobilität Schweiz (2020)</small>
--	--	---	---



## Synthetisches Benzin, Synthetischer Diesel



# «Am Ende entscheidet der Kunde mit dem Herz und dem Portemonnaie»

*Amag-CEO Morten Hannesbo hat mit Avenir Suisse über die Zukunft der Fahrzeugtechnologien und die verschiedenen Möglichkeiten einer substanziellen CO<sub>2</sub>-Reduktion gesprochen. Eine Elektrifizierung der Autos sei nicht nur der schnellste Weg zu diesem Ziel, sondern auch attraktiv für die Kunden.*

---

Urs Steiner, Patrick Dümmler

---

**avenir suisse:** Herr Hannesbo, die Frage nach der richtigen Antriebstechnologie hat Züge einer parareligiösen Diskussion. Es gibt auf allen Seiten Propheten, Kreuzritter und Inquisitoren. Wo stehen Sie?

**Morten Hannesbo:** Es gibt zwei Welten: Einerseits kaufen die Leute das, was ihnen gefällt. Ein Kunde schaut 4–5 Jahre in die Zukunft, dann wechselt er normalerweise das Auto. Das ist weitgehend eine Welt der Verbrennungsmotoren:  $\frac{2}{3}$  Benziner,  $\frac{1}{3}$  Diesel. Und dann gibt es die Welt der neuen Technologien, die vor allem von der Politik gefördert und gefordert wird. Da gibt es die batterieelektrischen Antriebe, Plug-in-Hybride und Brennstoffzellenfahrzeuge, die vor allem unter den Personenwagen noch Exoten sind. Diese Welt wird von der Politik bejubelt, aber die Mehrheit der Kunden ist noch nicht bereit dafür. Wir haben immer noch Reichweiten-, Akzeptanz- und Kostenthemen. Das reduziert die Nachfrage – obwohl die Fahrzeuge weitgehend alltagsfähig sind.

**Wie sehen die Verkäufe für Steckerfahrzeuge konkret aus?**

Sie liegen immer noch weit unter dem gewünschten Niveau. Wir werden dieses Jahr rund 10% Steckerfahrzeuge verkaufen, aber das wird nicht reichen, um die CO<sub>2</sub>-Ziele einzuhalten. Nur jene Kunden kaufen neue Technologien, die sich das leisten können – und zwar nicht nur finanziell. Im Schweizer Markt wohnen 50–60% der Leute zur Miete. Viele dieser Mieter haben nicht die Hoheit über ihren Abstellplatz. Sie dürfen nicht einfach eine Wallbox montieren. Und laden an öffentlichen Ladestationen bedeutet, dass ich mehr Zeit einplanen muss.

**Volkswagen ist doch ein Auto fürs Volk, wie der Name sagt...**

Ja, die meistverkaufte Marke. Und wir wollen das auch bei den CO<sub>2</sub>-Vorgaben sein. Doch wir sind im Rückstand, weil wir dieses Jahr während drei Monaten fast keine Produktion erhalten haben. Zuerst hat in Asien die Batterieproduktion stillgestanden, und dann in Europa die Werke. Weil im März, April und Mai keine neuen Produkte kamen, mussten wir das Wenige

verkaufen, das wir an Lager hatten. Normalerweise würden wir unsere Verkäufe so steuern, dass wir die CO<sub>2</sub>-Vorgaben bestmöglich erfüllen. Das ist uns 2019 nicht ganz gelungen, und 2020 werden wir weit am Ziel vorbeischiessen. Ich kann das aufgrund der Corona-Situation gar nicht verhindern.

**Das heisst, Sie lenken Ihre Kunden sanft in die Richtung, die Sie haben wollen – oder vielmehr müssen...**

Eher müssen. Wir forcieren mit voller Kraft die Plug-in- und Elektrofahrzeuge. Aber wir bekommen einerseits nicht genug davon, um die CO<sub>2</sub>-Vorgaben für Neuwagen zu erreichen, andererseits können wir diese Fahrzeuge nur schwer absetzen. Dar- aus ergibt sich für uns eine sehr hohe Lenkungsabgabe.

**Sie rechnen mit rund 100 Millionen Franken Busse 2020?**

... offiziell heisst es Lenkungsabgabe ...

**Warum schlagen Sie diese Lenkungsabgabe nicht auf die Autopreise drauf?**

Das geht nicht. Wir haben in Europa einen freien, offenen Markt für Fahrzeuge. Wenn wir die Preise erhöhen würden, wären wir viel teurer als in Frankreich, Deutschland oder wo auch immer. Dann hätten wir einen starken Anstieg von Direktimporten. Wir sind bereits heute leicht teurer in der Schweiz, weil unsere Autos besser ausgestattet sind, weil wir bessere Garantieleistungen anbieten, aber auch aufgrund höherer Kosten.

**Gibt es im umgebenden Europa keine Lenkungsabgaben?**

In dieser Form, pro Land, nein. Die Schweiz ist eine Insel – in vielen Belangen – aber im CO<sub>2</sub>-Bereich sind wir wirklich eine! Wir müssen unsere CO<sub>2</sub>-Vorgaben hier erreichen, während die EU ihre Ziele auf 27 Länder verteilen kann. Da spielt Spanien mit Schweden zusammen, Deutschland mit Griechenland. Das sind verschiedene Märkte. Im Durchschnitt schaffen die EU-Märkte 2020 wahrscheinlich die geforderten 95g CO<sub>2</sub>/km. Doch Schweden z.B. erreicht die Zielwerte ebenso wenig wie die Schweiz. Wir verkaufen teurere Fahrzeuge mit höherer Motorkraft, viele mit Automatikgetriebe und Allradantrieb. Da stösst ein Skoda Octavia oder ein Golf rasch 160–170g CO<sub>2</sub> aus. Wir haben viele Berge, Schnee im Winter, Stau. Schweden als Teil der EU kann das mithilfe von Spanien kompensieren, wo kleinere Autos gekauft werden.

**Wäre es zielführend, wenn sich die Schweiz für die CO<sub>2</sub>-Vorschriften bei der EU «andocken» könnte, um die Verbrauchswerte zu glätten?**

Das haben wir von Auto Schweiz natürlich dem Bundesamt für Energie und dem Bundesrat von Beginn weg vorgeschlagen. Das wird jedoch abgelehnt, weil die Schweiz eine Vorreiterrolle einnehmen soll. Die Politik fordert, dass wir die Ziele schneller erreichen als alle anderen, ohne Rücksicht auf die Wirtschaft und Bevölkerung. Die Schweiz konnte sich das lange leisten. Die Frage ist, ob das auch in Zukunft noch der Fall ist. Wir haben die Finanzkrise erlebt, jetzt stecken wir in der Corona-Krise. Solche Krisen sind teuer und haben vielen KMU das Leben sehr schwer gemacht. Wenn jetzt obendrauf noch CO<sub>2</sub>- und andere Belastungen folgen, weiss ich nicht, ob die Wirtschaft das stemmen kann, ohne dass die Bevölkerung das merkt. Denn die Löhne bei den Wettbewerbern in Frankreich und Italien liegen um ein Drittel oder die Hälfte tiefer.

**Wer bezahlt also die Lenkungsabgabe am Schluss?**

Die ganze Branche wird nicht darum herumkommen, mit tieferen Margen und höheren Preisen das Geld irgendwie wieder hereinzubekommen, soweit es geht. Es gibt keinen anderen Weg.

**Ändert sich mit den CO<sub>2</sub>-Vorgaben nicht auch die Rolle des Importeurs? Sie müssen nicht nur betriebswirtschaftlich denken, sondern auch ein Klimaziel erreichen.**

Einen Modellmix anzubieten, der überhaupt lieferbar ist und an dem die Kunden Interesse haben, ist in der Tat schwieriger geworden. Am Ende entscheidet der Kunde mit dem Herz und dem Portemonnaie. Wer viel Herz hat, kauft neue Technologien, und wer wenig Geld hat, kauft sie nicht.

**Die Probleme der Wirtschaft sind offensichtlich, jene mit dem Klima ebenso. Lässt sich der Zielkonflikt mit Elektromobilität alleine lösen? Oder kann man im Verkehrsbereich zusätzlich etwas machen, beispielsweise mit Brennstoffzellenfahrzeugen oder synthetischen Treibstoffen?**

Elektromobilität bringt für den Kunden einen riesigen Nutzen. Die Nachteile sind heute noch die Kosten und die Reichweite. Beide Probleme lassen sich lösen. Für mich ist Elektromobilität der Schlüssel zum Erfolg. Brennstoffzellen sind für LKW, Busse, vielleicht auch für Schiffe interessant. Die Energiebilanz der Brennstoffzelle ist viel schlechter als bei Batterie-Fahrzeugen. Das lohnt sich nur, wenn es nicht anders geht, etwa bei Lastwagen. Sehr interessant wären natürlich synthetische Treibstoffe. Aber heute kostet ein Liter dieses Treibstoffes zwischen 7 und 8 Franken. Ausserdem können wir nicht in kurzer Zeit genügend davon produzieren. Aber die Technologie hat Potenzial, insbesondere wenn man diese Treibstoffe in Weltregionen herstellen könnte, wo es Wind- oder Sonnenenergie beinahe «gratis» gibt und die benötigte Grundfläche wenig kostet. Wir sprechen da aber von einer Perspektive von 30–40 Jahren.



Der grosse Vorteil von E-Fuels besteht darin, dass man mit steigender Produktion schrittweise fossile Brennstoffe substituieren kann. So könnte man sich kontinuierlich an das Klimaziel herantasten. Ein anderer Vorteil ist, dass die Infrastruktur bereits besteht.

Ich bin völlig einverstanden, nur sehe ich den direkten Weg dorthin noch nicht. Der viel schnellere und günstigere Weg ist die Umstellung auf Elektrofahrzeuge, trotz Investitionen in eine neue Infrastruktur.

**Angesichts der verschiedenen technologischen Möglichkeiten, CO<sub>2</sub> im Verkehr zu reduzieren, braucht es Rahmenbedingungen, die uns die Optionen effektiv offenhalten.**

Die Politik tut immer gut daran, lösungs- und technologieneutral vorzugehen, sei es im Motorenbau, sei es im Bereich Auto gegen ÖV. Ich sage nur: Wenn ich eine Zeitschiene habe und darauf die technische Entwicklung aufzeichne, dann sehen wir in drei bis vier Jahren den Durchbruch für die Elektromobilität. Wir werden einen Drittel mit Elektromotor verkaufen. Bis Ende der Dekade fahren zwischen 60% und 65% der Neuwagen elektrisch. Aber die Fahrzeugflotte wird bis 2045 immer noch mehrheitlich mit Verbrennungsmotor unterwegs sein. Um das zu verhindern, müsste man die Verbrenner verbieten, was ich aber komplett ablehne. Denn aus heutiger Sicht ist ein Dieselmotor die bessere Lösung – besser als ein Elektrofahrzeug...

**Das ist sehr umstritten!**

Die Schweiz, Norwegen und Frankreich sind Länder, die einen optimalen Strommix für Elektroautos haben: Die Elektrizitätserzeugung erfolgt beinahe CO<sub>2</sub>-frei. In allen anderen Ländern ist der Strommix unter Umweltaspekten nicht optimal. Da ist ein sparsamer Diesel die bessere Lösung. Es gibt Tausende Themen, die man einbeziehen muss, bis hin zum Abrieb der Reifen, der sich erhöht, wenn das Auto aufgrund der Batterien schwerer wird. Es gibt keine einfache Antwort auf die Frage nach der richtigen Technologie für die Mobilität. Wenn ich mit dem Fahrrad auf dem Land unterwegs bin, sehe ich überall Subaru mit Allrad... und Traktoren. Das wird sich im Wallis, im Jura und in Graubünden so schnell nicht ändern. Deswegen brauchen wir technologieneutrale Ansätze, wo in den Städten eine andere Lösung zum Zug kommen kann als auf dem Land. Und für die Langstreckenfahrten braucht es nochmals andere Konzepte.

**Dann teilen Sie als Fan von Elektromobilität die Einschätzung, dass wir mit dieser Technologie alleine nicht zum Ziel kommen?**

Auf netto null kommen wir streng genommen nie, denn selbst die Windräder benötigen ja Strom, um produziert zu werden. Wir brauchen einen Pfad, auf dem wir unseren CO<sub>2</sub>-Footprint reduzieren. Aber das muss mit gesundem Menschenverstand gemacht werden. Wenn ich die Schweiz mit anderen Ländern vergleiche, muss man schon sagen: Wir spinnen total, wie wir unser CO<sub>2</sub>-Problem lösen wollen. Es ist sicher nicht falsch, was wir machen, nur die Geschwindigkeit, mit der wir vorgehen, stimmt nicht. Wir haben die strengsten Vorgaben für Autos weltweit, wollen auch sonst alles in der Schweiz erreichen. Das kann man natürlich machen, aber am Ende muss das Land auch wirtschaftlich überleben können. Deswegen sind wir zu naiv unterwegs. Wir wollen in der Schweiz die Welt retten, dabei sind wir für weniger als 1 Promille des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstosses verantwortlich. Man vergisst auch, dass die Schweizer im Durchschnitt 14000 km pro Jahr fahren, die Deutschen fast das Doppelte. Das CO<sub>2</sub> hat ja weniger damit zu tun, wie viel das Auto ab Fliessband ausstösst, sondern wie viel ich damit fahre.

**Das heisst, wenn ich 30000 km pro Jahr mit einem umweltfreundlichen Auto fahre, emittiere ich mehr, als wenn ich mit einem schweren SUV wenig fahre.**

Genau. Das Klischee des Porsche Cayenne auf dem Zürichberg ist zu relativieren. Wenn der nur 5000 km pro Jahr gefahren wird, kann das besser sein als ein Toyota Prius, der 20000 km zurücklegt. Die Probleme lösen wir, indem wir die Masse berücksichtigen. Die kleinen Fahrzeuge müssen wir elektrifizieren, damit erreichen wir viel.

**Wäre es nicht klüger, statt den bestehenden CO<sub>2</sub>-Vorschriften für Neuwagen die realen Emissionen zu belasten? Dann hätte es der Konsument mit der Wahl des Fahrzeuges und seiner Fahrleistung selber in der Hand, CO<sub>2</sub> und Geld einzusparen.**

Man bestraft dann allerdings jene, die ein Auto unter anderen Rahmenbedingungen gekauft haben und die allenfalls viel fahren müssen, um z.B. zur Arbeit zu kommen, oder in ländlichen Gebieten wohnen. Was wir heute machen, ist nicht falsch. Aber wir sind etwas zu falsch unterwegs. Ich wäre happy, wenn wir die CO<sub>2</sub>-Ziele nur schon 2020 auf 2021 verschieben könnten. Das würde der Branche viel helfen.

**Vielleicht steigen wir am besten aufs Fahrrad um.**

Ich bin ja ein leidenschaftlicher Fahrradfahrer. Das ist nicht nur gesund, sondern entlastet auch die Strassen und den ÖV. Ich verkaufe gerne Autos, aber ich schätze den Trend in Richtung Fahrradfahren. Was ich hingegen nicht verstehe, ist, weshalb es die Schweizer Städte nicht schaffen, ihre Radwege richtig zu gestalten. In Kopenhagen, wo ich herkomme, gibt es eine bauliche Trennung zwischen Strasse, Radwegen und Trottoirs. Das könnte man hier viel, viel besser machen.

## MORTEN HANNESBO

wurde 2007 Importchef des grössten Schweizer Autoimporteurs Amag und leitet den Konzern seit 2009 als CEO. Zuvor war der ausgebildete Schifffahrtskaufmann Direktor bei Ford in Grossbritannien, Frankreich und der Schweiz, Managing Director bei Nissan Dänemark sowie Marketingdirektor bei Toyota in Dänemark. Der 57-jährige Morten Hannesbo ist Vize-Präsident von Auto-Schweiz, der Vereinigung der offiziellen Automobilimporteure.

# Antriebstechnologien für Personenwagen im Vergleich

*Heutige Fahrzeuge verbrauchen rund 20% weniger Treibstoff als 1990, obwohl sie schwerer, leistungsfähiger, komfortabler, sicherer und sauberer wurden. Um die CO<sub>2</sub>-Ziele zu erreichen, reicht dies allerdings nicht aus. Sie müssen von fossiler auf erneuerbare Energie umgestellt werden. Das ist bei allen Antriebskonzepten möglich.*

Christian Bach, Empa

Chemische Energie aus dem Tank oder Strom aus der Batterie erzeugt die mechanische Leistung zum Antrieb von Fahrzeugen. Heute besteht diese Energie mehrheitlich aus Benzin und Diesel sowie Gas, die durch thermische Prozesse in Verbrennungsmotoren umgewandelt werden.

Weil kleine Verbrennungsmotoren nur ein geringes Anfahrtdrehmoment haben, werden heute meistens (zu) grosse Motoren mit relativ hohen Dauerleistungen verbaut. Kombiniert man einen Verbrennungsmotor mit einem Elektromotor zu einem Hybridantrieb, kann dieser kleiner und sparsamer ausgelegt werden, denn Elektromotoren verfügen bereits bei niedrigen Drehzahlen über hohe Drehmomente. Solche Hybridfahrzeuge weisen insbesondere bei niedrigen Leistungen (z.B. in Innerortsfahrten) einen um 20 bis 40% niedrigeren Verbrauch auf als rein verbrennungsmotorische Fahrzeuge.

Auf Autobahnfahrten ist der Unterschied deutlich geringer. Konventionelle Hybridfahrzeuge können – wenn überhaupt – nur wenige Kilometer elektrisch fahren, und auch dies nur bei niedrigen Geschwindigkeiten.

Plug-in-Hybride mit einem grösseren Elektromotor und einer grösseren Batterie, die sich zudem noch an einer Steckdose aufladen lässt, weisen eine elektrische Reichweite von 30 bis 50 km auf; dank dem verbrennungsmotorischen Antriebsteil aber auch hohe Dauerleistungen und hohe Reichweiten. Allerdings sind diese Autos schwe-

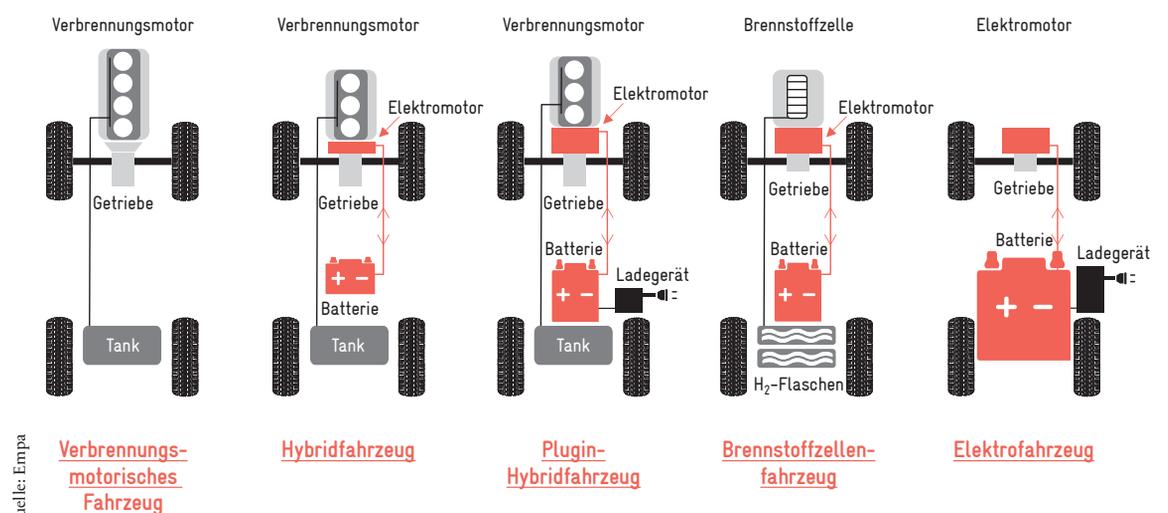
rer als konventionelle Hybridfahrzeuge. Dies ergibt im Vergleich zu konventionellen Hybridfahrzeugen nur Sinn, wenn mindestens 50% der Fahrstrecke elektrisch gefahren wird.

In Brennstoffzellenfahrzeugen wird Wasserstoff (H<sub>2</sub>) elektrochemisch in Elektrizität umgewandelt, die dann für den Antrieb des Elektromotors genutzt wird. H<sub>2</sub> kann ähnlich schnell wie konventioneller Treibstoff betankt werden, erfordert aber im Fahrzeug voluminöse Druckgasflaschen. Diese Technologie eignet sich deshalb primär für grössere Transportmittel.

Batterie-elektrische Fahrzeuge schliesslich weisen die insgesamt einfachste Antriebsstruktur auf, mit einer vergleichsweise grossen Batterie, die den Antriebs-Elektromotor speist. Sie verfügen im Vergleich mit Brennstoffzellen- oder Hybridfahrzeugen über einen rund doppelt so hohen Wirkungsgrad, sind aber auf spezielle Rohstoffe angewiesen. Hybrid-, Brennstoffzellen- und Elektrofahrzeuge können Bremsenergie rekuperieren, d.h. in Strom zurückwandeln.

## Schematische Darstellung unterschiedlicher Antriebskonzepte

Die schematische Darstellung zeigt die unterschiedlichen Antriebskonzepte. Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeuge brauchen nicht nur sehr viel mehr Platz für ihre kombinierten Antriebsquellen, sondern bewegen im Vergleich zu Elektroautos und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor viel zusätzliches Gewicht.



# Tempo, Dreck, Lärm – und Ärger

*Die turbulente Frühzeit des Automobils in der Schweiz ist eine Geschichte von Skepsis und Begeisterung. Von allem Anfang an oszillierte die Wahrnehmung der motorisierten Vehikel zwischen Neid und Besitzerstolz, Abscheu und Enthusiasmus: Ein Blick in den Rückspiegel.*

---

Marc Tribelhorn

---

Aller Anfang ist schwer. Das gilt auch für das «Allerheiligste der Moderne», wie der Philosoph Peter Sloterdijk das Auto einmal bezeichnet hat. Als am Übergang zum 20. Jahrhundert in der Schweiz die ersten dieser neuen Fortbewegungsmittel herumkurven, ist die Skepsis in der Bevölkerung gross. Im Grunde sind die Vehikel zunächst nichts als motorisierte Kutschen. Doch die mondäne Mode für wenige Reiche, importiert aus dem Paris der Belle Epoque, sorgt innert kurzer Zeit für Aufruhr in der Eidgenossenschaft – und für eine Paragrafenflut.

In Graubünden beschwert sich im Sommer des Jahres 1900 ein Postillon bei den Behörden: «Seit einigen Tagen kursiert auf unseren Landstrassen ein Ungetüm von einem Automobil. Wir hatten Gelegenheit zu beobachten, wie die Pferde bei dessen Anblick geradezu rasend wurden.» Es ist nicht die einzige Klage über das «tolle Tempo, Lärm und Gestank» der noch ungewohnten Verkehrsteilnehmer. Die Bündner Regierung fackelt nicht lange und beschliesst: «Das Fahren mit Automobilen auf sämtlichen Strassen des Kantons Graubünden ist verboten.» So wird aus dem Kanton eine «friedliche Oase, in welcher man vor all den Plagen des Automobils gesichert ist», wie Einheimische schwärmen. Und zwar für ein Vierteljahrhundert. Erst 1925 fällt das Verbot – nach Annahme der zehnten Volksinitiative zum Thema.

Der Bergkanton ist ein Extrembeispiel. Doch der Widerstand gegen die «Autoprotze» und «Autogrosshantse» ist weit verbreitet, vor allem in ländlichen Gegenden. Aus Angst vor Unfällen werden Pässe für Automobilisten gesperrt. Uri zum Beispiel erlässt 1901 ein Fahrverbot auf seinen Alpenstrassen, allerdings wird der Gotthardpass schon 1906 auf Druck des Tourismusgewerbes täglich für einige Stunden geöffnet. Andere Kantone versuchen, den unerwünschten Verkehr mit Sonntags- oder zumindest Nachtfahrverboten einzudämmen. In Schwyz werden noch in den späten 1920er Jahren Beschwerden an die Regierung herangetragen: von «unsinnigen Rennen» ist die Rede und von einer «Lebensgefahr für Fussgänger». Die Polizei re-

agiert mit Geschwindigkeitskontrollen. Aus der Bevölkerung werden allerlei Verkehrsübertretungen gemeldet; nicht ganz selbstlos, denn dank dem «Leidlohn» erhalten die Denunzianten einen Teil des Bussgelds. Doch dabei bleibt es nicht: Autofahrer werden mitunter beschimpft, mit Steinen beworfen oder gar Opfer von «Fallen» – auf den Schotterstrassen ausgelegte Nägel und Scherben, über die Fahrbahn gespannte Drähte. Aus Zürich und Luzern werden Fälle publik, bei denen Kuhmist und Jauche in Luxuswagen gekippt wurden. Und die «Bauernzeitung» fordert nach einem Verkehrsunfall endlich «drakonische Massregeln gegen dieses mit kaltem Blut und hohnlächelnd über Leichen schreitende Sportsprotzenium».

Wie erklärt sich die «unsinnige Hetzerei gegen das Auto», von der die 1906 gegründete «Automobil-Revue» klagt? Der Historiker Christoph Maria Merki, Autor des Standardwerks «Der holprige Siegeszug des Automobils», sieht die Gründe vor allem in den sozialen Kosten: dem Lärm durch Motoren und Hupen, der «Staubplage», den Schäden auf den Schotterstrassen, in der erhöhten Unfallgefahr. Der Widerstand ist aber auch eine Reaktion auf die Verdrängung der weniger schnellen und weniger schweren Fuhrwerke. Die ersten Autos sind so teuer, dass sie sich nur die Reichen leisten können, sie sind Spielzeuge für Industrielle, Kaufleute, Hoteliers oder Bankiers. Der Klassenkampf spiegelt sich auf der Strasse. In der «Autohochburg» Genf sind 1912 lediglich 5 Prozent der Personenwagen im Besitz von Arbeitern.

Von einer massenhaften Verbreitung kann ohnehin noch lange nicht die Rede sein. Die erste gesamtschweizerische Autostatistik von 1910 verzeichnet gerade einmal 2276 eingelöste Personenwagen. 1925 sind es dann bereits über 28 500 Fahrzeuge, 1930 schon 60 000. Interessant an den Zahlen von 1910 ist der hohe Anteil von einheimischen Fabrikaten. Tatsächlich sind in der Schweiz



um die Jahrhundertwende zwei Dutzend Firmen entstanden, zum Beispiel Turicum in Uster, Pic-Pic in Genf oder Martini in Sainte-Blaise. Die eidgenössische Automobilindustrie deckt vor dem Ersten Weltkrieg nicht nur einen Teil des Bedarfs im Land, sondern sie exportiert auch rund die Hälfte der Produktion. Ihr Niedergang erfolgt aber bereits in den 1920er Jahren, wegen der Importe preisgünstiger Wagen aus dem Ausland. Nur die Schweizer Hersteller von Nutzfahrzeugen, etwa Berna oder Saurer, bleiben länger konkurrenzfähig.

Wichtigste Promotoren der neuen Fortbewegungsmittel sind die Automobilverbände. Von französischen Vorbildern inspiriert, wird 1898 in Genf der Automobil Club der Schweiz (ACS) gegründet. 1911 folgt der Touring-Club (TCS) mit einer eigenen Autosektion. Beide haben zum Ziel, die Autoskepsis der Behörden und Bevölkerung zu bekämpfen. Zu Werbezwecken organisieren sie aufregende Rennveranstaltungen. Das passt zum Ideal der «Herrenfahrer», sich am Steuer durch «Kaltblütigkeit», «Wagemut» und «Ritterlichkeit» auszuzeichnen. Autofahren ist schon in der Frühzeit nicht einfach nur Mobilität, sondern auch ein Lebensgefühl – gerade für Männer. 1925 sind von den über 8500 Kantonalzürcher Führerscheinen nur vier Prozent in weiblicher Hand.

Die Automobilverbände sind politische «Pressure Groups», die für mehr Akzeptanz und neue Infrastrukturen weibeln. Sie bieten aber auch allerlei Dienstleistungen für ihre Mitglieder an, etwa Strassenkarten, Fahrkurse oder technische und juristische Hilfe. Vor allem bemühen sie sich früh um den Aufbau eines flächendeckenden Netzes aus Werkstätten und Tankstellen. Obwohl die Fahrzeuge nach dem Ersten Weltkrieg nicht nur günstiger, sondern auch zuverlässiger werden, sind Pannen häufig, nicht zuletzt wegen der Luftreifen. Das Benzin, das sich als Kraftstoff durchsetzt, lässt sich hingegen von Anfang an selbst in kleinen Dörfern beziehen, halt nur in

Flaschen oder Kanistern bei Apotheken, die es als Lösungsmittel im Sortiment führen. Gerade in den Städten wird Benzin bald auch in Hinterhöfen oder am Strassenrand aus Fässern geschöpft. Erst zu Beginn der 1920er Jahre verbreiten sich in Westeuropa die aus den USA stammenden Benzinpumpen in Zapfsäulenform. Das Tanken wird so bequemer, sauberer und weniger feuergefährlich. 1931 gibt es in der Schweiz bereits 7000 solcher, auch «eiserne Jungfrau» genannten, Zapfsäulen; sie stehen vor Gasthöfen, Geschäften oder Werkstätten.

Eine Treibstoffsteuer wird überdies erhoben, die zweckgebunden für den teuren Ausbau und Unterhalt der Strassen verwendet wird: rund 30 Prozent des Benzinpreises fließen in die Kasse der Eidgenossenschaft, welche die Automobilgesetzgebung allmählich an sich reißt. 1921 gehen die entsprechenden Kompetenzen von den Kantonen bzw. einem interkantonalen Konkordat an den Bund über. Für den motorisierten Verkehr genügen die Schotterstrassen aus dem 19. Jahrhundert nicht mehr. Gefragt sind nun möglichst glatte, steigungs- und kurvenfreie Fahrbahnen. Anfang der 1930er Jahre besteht ein rund 42 000 Kilometer weites Strassennetz. Ein Drittel der Kantonsstrassen verfügt bereits über staubfreie Beläge aus Teer oder Asphalt. Das ist aber nicht für alle Verkehrsteilnehmer von Vorteil. An abschüssigen oder vereisten Stellen müssen solche Strassen mit Sand bestreut werden, damit sie auch für Pferde begehbar bleiben.

Mit der zunehmenden Regulierung und Verrechtlichung verschwinden auch die Ressentiments gegenüber den Automobilisten. Technische Massnahmen wie Blinker und Rückspiegel erhöhen ebenso die Sicherheit wie Warntafeln und Geschwindigkeitsbegrenzungen. Die Fahrzeughalter müssen stetig steigende Kfz-Steuern entrichten und über eine Haftpflichtversicherung verfügen. Generell tritt auch der provokativ-sportliche Aspekt des Fahrens in den Hintergrund. Das Auto wird zudem als wichtiges Vehikel für den Tourismus gesehen. Und die motorisierten Gefährte werden in Form von Taxis, Bussen oder Postautos selbst von jenen als nützlich empfunden, die sich keinen Personenwagen leisten können.

Die Massenmotorisierung der Schweiz erfolgt indes erst nach dem Zweiten Weltkrieg. Die Hochkonjunktur, die steigende Kaufkraft und die Verbilligung des Autos machen es möglich. Das hat nicht nur weitreichende Auswirkungen auf das Siedlungsbild der Schweiz, sondern auch auf das Arbeits-, Freizeit- und Reiseverhalten der Bevölkerung. Folgen, die uns bis heute beschäftigen.



# Mit dem ökonomischen Navi effizient ans Ziel

*Das Automobil ist unserer Gesellschaft allgegenwärtig. Egal ob in der Stadt oder auf dem Land, unsere bebaute Fläche ist von Parkplätzen, Strassen und den Motorfahrzeugen darauf geprägt. Doch wie kann die volkswirtschaftliche Bedeutung des Automobils für die Schweiz erfasst werden? Dazu sind verschiedene Ansätze möglich.*

---

Patrick Dümmler, Jürg Müller

---

Analog der Berechnung des Bruttoinlandsproduktes (BIP) kann man das Phänomen von der Produktions- oder der Verwendungsseite her betrachten. Zudem spielen gerade im Bereich des motorisierten Verkehrs externe Effekte eine grosse Rolle. Auf diese drei Aspekte soll im Folgenden eingegangen werden, um damit das Thema der nachhaltigen Mobilität ökonomisch einzuordnen.

## Die Perspektive der Produktion

Im Gegensatz zu unseren Nachbarländern gibt es in der Schweiz keine international bekannten Motorfahrzeughersteller. Das heisst aber nicht, dass das Land in der Automobilbranche keine Rolle spielt. Zum einen gibt es hierzulande bedeutende Zulieferbetriebe, und zum anderen werden Fahrzeuge vor Ort gewartet – beide Tätigkeiten spielen durchaus eine Rolle in der Schweizer Volkswirtschaft.

Mit einer sehr breiten Definition der Automobilbranche kommt der Verband des Strassenverkehrs auf einen Umsatz von gut 94 Mrd. Fr., knapp 20000 Betriebe und 226000 Mitarbeitende<sup>|12</sup>. Diese Zahl dürfte den Sektor jedoch überschätzen, da darin Doppelzählungen enthalten sind. Laut einer enger gefassten Branchenanalyse der Universität Zürich beschäftigte die Automobilindustrie hierzulande 2018 rund 34000 Personen und erzielte einen Umsatz von 12,3 Mrd. Fr.<sup>|13</sup>. Knapp 600 Unternehmen wurden in der Studie als dem Sektor zugehörig identifiziert. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die Automobilbranche verhältnismässig klein ist – zum Vergleich: In der Schweiz gibt es fast 600000 marktwirtschaftliche Unternehmen und das BIP beträgt knapp 700 Mrd. Fr.<sup>|14</sup>.

Der Strukturwandel macht derweil auch vor der Schweizer Automobilbranche nicht halt. So gewinnen Dienstleistungen gegenüber der Produktion an Gewicht, und gerade die technologischen Änderungen halten die Firmen auf Trab<sup>|13</sup>. So bezeichnete 2018 über ein Viertel aller für die Branche tätigen Firmen jene Eigenprodukte am wichtigsten, die dem klassischen Ver-

brennungsmotor zuzuordnen sind. Allerdings hat über die vergangenen Jahre ein klarer Wandel hin zu Produkten für Automobile mit elektrischem Antrieb stattgefunden – wobei besonders jüngere Firmen in diesem Bereich tätig sind.

Auch wenn es also heute keine international bekannte Schweizer Automobilhersteller (mehr) gibt, so ist die hiesige Branche als Zulieferindustrie ebenfalls stark vom Elektromobilitätstrend betroffen. Schliesslich sind die Firmen eng in internationale Wertschöpfungsketten eingebunden, und zwar auch als Abnehmer – nur 5% der Firmen beziehen ihre Waren ausschliesslich aus dem Inland<sup>|13</sup>. Der Wandel hin zu E-Mobilität und synthetischen Treibstoffen wird somit auch in der Schweizer Firmenlandschaft Spuren hinterlassen – wobei wegen der Kompatibilität von Syn-Fuels mit bestehenden Technologien die Auswirkungen dieser Technologie auf traditionelle Schweizer Zulieferer wohl geringer ausfallen dürfte.

## Die Perspektive der Verwendung

Das Automobil als Gegenstand von Produktion und Dienstleistungen spielt somit eine gewisse, aber keine überragende Rolle in der Schweiz. Anders sieht es aus bei Betrachtung der Verwendung der Motorfahrzeuge. So ist der motorisierte Strassenverkehr zentral für die Mobilität in der Schweiz. Rund drei Viertel der geleisteten Personenkilometer fallen auf Motorfahrzeuge<sup>|15</sup>. Hinzu kommt der Güterverkehr: Hier leistete die Strasse 2018 einen Beitrag von über 17000 Mio. Tonnenkilometern<sup>|12</sup>.

Mobilität ist damit ein wichtiger Bestandteil unseres modernen ökonomischen Lebens. Sie ist nicht nur Grundlage für diverse ökonomische Produktions- und Dienstleistungsprozesse, sondern spielt auch in unserer Freizeitgestaltung eine zentrale Bedeutung. So gehen denn auch im Personentransport fast die Hälfte aller im Inland zurückgelegten Distanzen auf den Freizeitverkehr zurück<sup>|16</sup>.

Beim Blick auf die langfristige Entwicklung fällt schliesslich auf, dass seit den 1970er Jahren die Zahl der zugelassenen Motorfahrzeuge wächst – sowohl in absoluten Zahlen als auch pro Kopf<sup>|12</sup>. Die zurückgelegten Kilometer im privaten Personentransport nehmen von Jahr zu Jahr stetig zu. Allerdings ist in

den jüngsten Jahren eine Verlangsamung dieser Entwicklung zu beobachten.

**Eine Frage der Externalitäten**

Mit der grösseren Verbreitung und Nutzung von Motorfahrzeugen in der Schweiz hat auch das Thema der externen Effekte an Virulenz gewonnen. Von externen Effekten ist in der Ökonomie die Rede, wenn gewisse Auswirkungen einer Aktivität nicht kompensiert werden; im Falle von negativen externen Effekten bedeutet das, dass Kosten auf Dritte abgewälzt werden. Im Bereich der Mobilität treten verschiedene negative externe Effekte auf.

Einerseits sind die anderen Verkehrsteilnehmer von Externalitäten betroffen, etwa bei Unfällen oder Verkehrsüberlastungen. So haben sich die Stautunden auf Nationalstrassen innert 15 Jahren auf mehr als 25 000 verdoppelt – immerhin nahm in derselben Zeitspanne die Zahl der Unfälle mit Personenschaden im Strassenverkehr um 24 % ab<sup>|17/18</sup>.

Andererseits sind auch Nicht-Verkehrsteilnehmer betroffen. Der Verkehr ist in der Schweiz zum Beispiel Hauptverursacher von Lärmbelästigungen<sup>|16</sup>. Zudem haben gewisse Emissionen von Motorfahrzeugen Auswirkungen auf Atemwegserkrankungen. Die Kosten des motorisierten Verkehrs in der Schweiz auf die beiden Faktoren «Gesundheit Luft» und «Lärm» haben Ökonomen vor fünf Jahren auf rund 4,8 Mrd. Fr. geschätzt. Die externen Effekte auf das Klima werden demgegenüber auf knapp 1,5 Mrd. Fr. berechnet<sup>|19</sup>.

Negative Externalitäten sind eine Form von Marktversagen. Da die Verkehrsteilnehmer nicht alle Kosten ihrer Aktivität tragen müssen, wird zu viel Mobilität konsumiert. In der Folge kommt es zu Fehlallokationen, Übernutzungen von knappen Ressourcen und zu volkswirtschaftlichen Wohlstandsverlusten.

Erst das Herstellen einer Übereinstimmung zwischen privaten und gesamtwirtschaftlichen Kosten führt zu einem besseren Ergebnis. Ökonomisch spricht man von einer Internalisierung der negativen Externalitäten. Je nach Externalität kann dieses Ziel mit verschiedenen Massnahmen erreicht werden. Gewisse Massnahmen wirken sich auch gleichzeitig auf unterschiedliche Externalitäten aus – manchmal sind die Effekte sogar entgegengesetzt. Schliesslich spielt der technologische Fortschritt eine bedeutende Rolle bei der Reduktion von Externalitäten: neuere Fahrzeuge sind beispielsweise leiser, effizienter und sauberer, d.h. sie verbrauchen weniger Treibstoffe und emittieren weniger Abgase.

**Klimaziele optimal erreichen**

In der aktuellen politischen Diskussion steht die Internalisierung der Klimafolgen des Verkehrs im Vordergrund. Redukti-

onen der Treibhausgasemissionen werden dabei vordringlich regulatorisch gefordert, so gilt seit 2020 für neue Personenwagen in der Schweiz ein Zielwert von 95 Gramm CO<sub>2</sub> pro Kilometer<sup>|20</sup>. Für die Umwelt entscheidend ist jedoch vielmehr, wie viel CO<sub>2</sub> ein Fahrzeug über die gesamte Lebenszeit ausstösst. So kann ein Fahrzeug mit einem hohen Ausstoss an CO<sub>2</sub>, wenig gefahren, umwelttechnisch besser abschneiden als ein energieeffizientes Kleinfahrzeug, das Zehntausende von Kilometern jährlich zurücklegt.

Eine Steuer auf fossile Treibstoffe – basierend auf dem Kohlenstoffgehalt – wäre entsprechend wirkungsvoller, um klimapolitische Ziele zu erreichen. Die Schweiz kennt bereits eine Abgabe auf Brennstoffe (v.a. für das Heizen), die seit 2008 schrittweise erhöht wurde und aktuell 96 Fr. pro Tonne beträgt. Das Besondere daran ist, dass die so erhobenen Mittel – rund 1,2 Mrd. Fr. – zu rund zwei Dritteln zurückverteilt werden, ein Drittel fliesst zurzeit in das Gebäudeprogramm. Damit werden energetische Sanierungen unterstützt<sup>|21</sup>. Für eine CO<sub>2</sub>-Steuer auf Treibstoffe bieten sich folgende grundsätzlichen Möglichkeiten an:

- 01\_ Erstens, analog den Brennstoffen, die Rückverteilung der CO<sub>2</sub>-Steuer auf Treibstoffe an die Bevölkerung. Um aber eine lenkende Wirkung zu haben, d.h. den Verbrauch spürbar zu senken, müsste die Steuer wohl relativ hoch angesetzt werden.
- 02\_ Zweitens der Zukauf von (nationalen) Zertifikaten, um das Kohlendioxid ausstossen zu dürfen, beispielsweise indem die Zertifikate beim Import des Energieträgers beschafft werden müssen. Die ausgestossene Menge an CO<sub>2</sub> liesse sich so relativ einfach nach oben beschränken, indem nicht mehr Zertifikate in Umlauf gebracht werden, als der Absenkungspfad vorsieht. Ein Grundproblem dabei ist das sogenannte «grandfathering», d.h. die initiale Vergabe der Zertifikate,

---

12 Strasse Schweiz (2020): Vademecum 2020.  
 13 Schulze, Anja; Windisch, Georg; Haab, Mirjam; Niederberger, Sebastian; Tikhonenko, Svetlana und Wyder, Tobias (2019): Automobilindustrie Schweiz. Branchenanalyse 2018/19. Aktuelle Bestandsaufnahme von Struktur, Trends, Herausforderungen und Chancen.  
 14 BFS, Bundesamt für Statistik (2019): Statistik der Unternehmensstruktur STATENT; Bruttoinlandprodukt.  
 15 BFS, Bundesamt für Statistik (2019): Verkehrsleistungen im Personenverkehr.  
 16 Bafu, Bundesamt für Umwelt (2018): Umwelt Schweiz 2018.  
 17 BFS, Bundesamt für Statistik (2019): Stau.  
 18 BFS, Bundesamt für Statistik (2020): Verkehrsunfälle – Übersicht über alle Verkehrsträger.  
 19 Infrac und Ecoplan (2019): Externe Effekte des Verkehrs 2015. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung ARE.  
 20 BFE, Bundesamt für Energie (2020): CO<sub>2</sub>-Emissionsvorschriften für neue Personen- und Lieferwagen.  
 21 Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020): CO<sub>2</sub>-Abgabe.

sowie die Kleinheit des Schweizer Marktes. Insbesondere Letzteres könnte gelöst werden, indem die Schweiz dafür eng mit der Europäischen Union zusammenarbeitet.

03. Eine dritte Möglichkeit wäre, den CO<sub>2</sub>-Ausstoss zu kompensieren, d.h. man finanziert Projekte, die im Verhältnis zum Ausstoss die gleiche Menge an CO<sub>2</sub> wieder einsparen. Zurzeit gibt es in der Schweiz für die Importeure von Treibstoffen eine Kompensationspflicht, so können rund 10% der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs durch inländische Projekte ausgeglichen werden<sup>22</sup>. Da es aus klimatechnischer Sicht jedoch unerheblich ist, wo auf der Welt CO<sub>2</sub> ausgestossen bzw. eingespart wird, sollten dort Massnahmen mitfinanziert werden, wo die CO<sub>2</sub>-Reduktionen am effizientesten zu bewerkstelligen sind. Dies kann, muss aber nicht zwingend in der Schweiz sein.

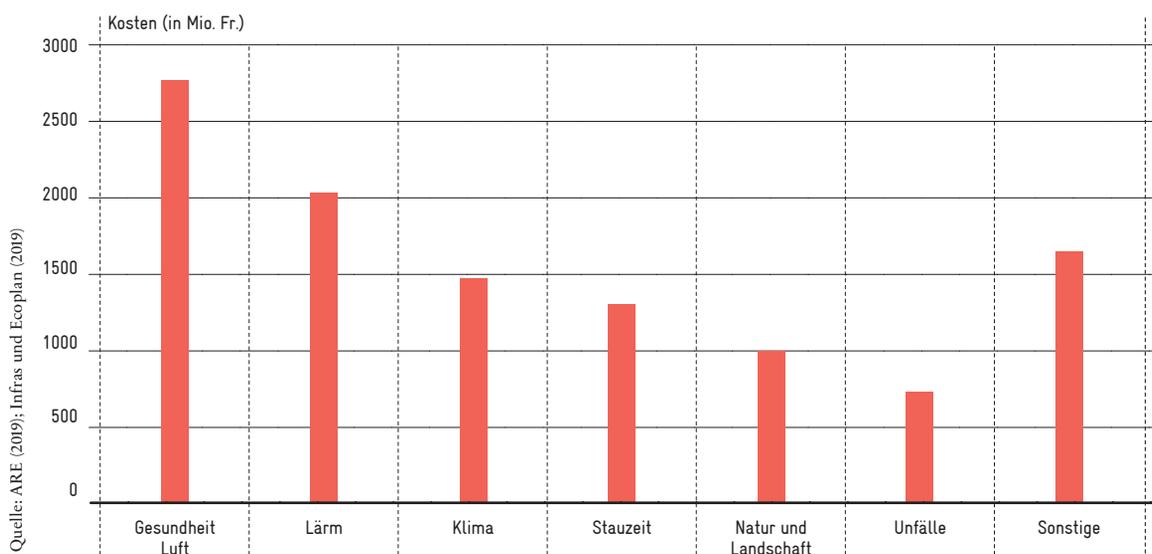
Realpolitisch werden es auch in Zukunft mehrere Massnahmen sein, um die Externalitäten des motorisierten Individualverkehrs zu reduzieren. Allen gemein ist aber, dass Mobilität tendenziell teurer werden wird. In den kommenden Monaten wird die Schweiz politische Entscheide treffen, die die Zukunft des Verkehrs entscheidend beeinflussen werden. Dabei liegt der Teufel im Detail, aber ein Grundsatz ist unbedingt zu beachten: Die Massnahmen sollten sich am ökonomischen Kriterium der Effizienz orientieren, d.h. die Reduktion der Externalitäten sollte zu den tiefstmöglichen Kosten erfolgen, um Wohlfahrtsverluste zu vermeiden. Eine wichtige Grundlage da-

für ist, dass der Gesetzgeber nicht eine bestimmte Technologie vorschreibt oder begünstigt, sondern nur die Ziele vorgibt und die Rahmenbedingungen festlegt. Es sollte möglichst den Akteuren überlassen werden, wie sie die Ziele erreichen.

22 Bafu, Bundesamt für Umwelt (2020): Kompensation von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

**Negative Externalitäten des motorisierten Privat- und Güterverkehrs (2015)**

Die durch den Verkehr emittierten Abgase führen zu geschätzten Gesundheitskosten von rund 2,8 Mrd. Fr. Sie sind damit die höchsten nicht durch die Verursacher getragenen Kosten. Auf nur rund die Hälfte werden die Klimafolgekosten beziffert.



# Mehr Klarheit und weniger Widersprüche

*Staatliche Förderung zementiert Trends von gestern. Zu diesem Schluss kommt, wer die dynamische Entwicklung der Antriebstechnologien betrachtet. Deshalb soll der Wirtschaft nicht technisch vorgeschrieben werden, wie das Ziel der CO<sub>2</sub>-Reduktion erreicht werden soll.*

---

Peter Grünfelder

---

Pro Kopf hat die Schweiz im Jahr 2018 4,33 Tonnen CO<sub>2</sub> emittiert, das ist doppelt so viel pro Kopf wie Indien und ein Viertel so viel wie die USA.<sup>|23</sup> Bis 2050 soll die CO<sub>2</sub>-Bilanz auf netto null reduziert werden, so das proklamierte Ziel des Bundesrates.<sup>|24</sup>

Der Strassenverkehr trägt gegenwärtig rund 30 Prozent zum CO<sub>2</sub>-Ausstoss bei (vgl. Abbildung auf S. 12): Der hohe Mobilitätsgrad der Bevölkerung, der durchaus auch die dynamische Entwicklung unseres Landes verdeutlicht, führt also dazu, dass wir Schweizerinnen und Schweizer rund eine Tonne Kohlendioxid pro Kopf und Jahr auf der Strasse produzieren. Die heutigen Umweltvorgaben sehen einen maximalen CO<sub>2</sub>-Austoss von 95 Gramm pro Fahrzeugkilometer vor. Ein Auto, das diese Vorgaben erfüllt, kommt so pro Jahr knapp 13 000 Kilometer weit, der zur Zielscheibe von Umweltinitiativen auserkorene SUV weniger als die Hälfte.

## Alles hängt vom Strommix ab

Ein Elektroauto hingegen kann unter den heute gültigen gesetzlichen Regeln emissionsfrei unbeschränkt weit fahren, da dessen CO<sub>2</sub>-Ausstoss mit null Gramm CO<sub>2</sub> pro Kilometer angerechnet wird. Daran zeigt sich exemplarisch die ganze Widersprüchlichkeit der unter dem Umweltprimat stehenden Verkehrspolitik: Elektromobile sind bei weitem nicht CO<sub>2</sub>-neutral, auch wenn der Strommix in der Schweiz im internationalen Vergleich klimafreundlich ist. Über die Laufleistung von 200 000 km gerechnet, belastet ein Elektrofahrzeug die Umwelt nur um rund ein Viertel weniger mit Kohlendioxid als ein Verbrenner. Das ist zwar nicht schlecht – aber netto null?

Weltweit steht etwa eine Milliarde Verbrennerfahrzeuge im Verkehr. Im Moment liegt der Anteil verkaufter Elektro- und Hybridautos in der Schweiz bei knapp 10 Prozent. Um bis 2050 den gesamten Fahrzeugbestand durch Elektromobile ersetzt zu haben, müsste ab sofort jedes zweite neu immatrikulierte Auto

mit Strom betrieben sein, ab 2040 sogar jedes einzelne. Und selbst in diesem hypothetischen Fall läge der CO<sub>2</sub>-Footprint des Verkehrs noch längst nicht bei netto null.

Nicht zu Ende gedacht scheint bis heute die Aufladung der Elektrofahrzeuge. Das Beispiel Deutschland zeigt, dass die Kosten auch mit künstlich tief gehaltenen Strompreisen relativ hoch sind. Dazu kommt der hohe Investitionsbedarf zur Bereitstellung einer ausreichenden Stromleistung im Falle eines flächendeckenden Ladestellennetzes. Würde der Privatverkehr gänzlich auf Elektrofahrzeuge umstellen, wäre dafür bis zu einem Viertel des heutigen Stromverbrauchs notwendig.

## Realistische Ziele setzen

Es ist offensichtlich: Wenn sich die Politik auf eine einzige Technologie versteift und regulatorisch das Verbot einzelner Fahrzeugantriebstechnologien anordnet, wird die Schweiz das bundesrätlich deklarierte Ziel der Klimaneutralität im Verkehr nicht erreichen.

Trotzdem ist es machbar, bis 2050 wenigstens in die Nähe von netto null zu kommen, wie die Forscher der Empa in dieser Publikation vorrechnen. Voraussetzung dafür ist die «Elektrifizierung» aller Antriebsenergien, kombiniert mit verschiedenen Fahrzeugtypen: Fossiles Benzin und Diesel werden abgelöst durch nachhaltig produzierte synthetische Treibstoffe, für gewisse Anwendungen drängen sich Wasserstofftechnologien auf, für andere wiederum der Elektroantrieb. Gerade Wasserstoff ist vielseitig nutzbar, etwa zum Antrieb von Lastwagen oder als Speichermedium: Überschüssiger Solarstrom im Sommer erlaubt, Wasser in seine Elemente aufzuspalten und damit Energie zu speichern.

Damit die Industrie diese Treibstoffe und Antriebstechnologien anbietet, braucht es eine entsprechende, technologieoffe-

---

23 Emission data: Global Carbon Project: <https://www.icos-cp.eu/GCP/2019>. Zugriff 1.7.2020.  
Population data: World Bank: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>. Zugriff 1.7.2020.

24 <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-76206.html>. Zugriff 1.7.2020.

ne Regulierung statt politisch motivierter Sträusse an neuen Vorschriften und Subventionen. Richtet man neue Subventionsquellen ein, werden dadurch Abhängigkeiten geschaffen. Gewöhnungseffekte führen zur Anspruchshaltung, ein fortan andauerndes Anrecht auf die Ausschüttung öffentlicher Gelder zu haben. Nur schon aus diesem Grund ist auf eine Subventionierung spezifischer Technologien zu verzichten.

#### Absage an Technologieverbote

Eine technologieoffene Regulierung bedeutet gleichzeitig eine Absage an Technologieverbote. Selbst profilierte, Umweltorganisation nahestehende Mobilitätsexperten halten eine ausschliessliche Konzentration auf E-Mobilität für falsch.<sup>25</sup> Die undifferenzierte Forderung «null Benzin, null Diesel» sei unsinnig.

Das zeigt sich jetzt auch in China, dem grössten Automarkt der Welt, wo die noch bis vor kurzem geförderte Elektromobilität wieder stark rückläufig ist. Die Regierung spricht auf einmal von Methanol- und Wasserstofffahrzeugen.<sup>26</sup>

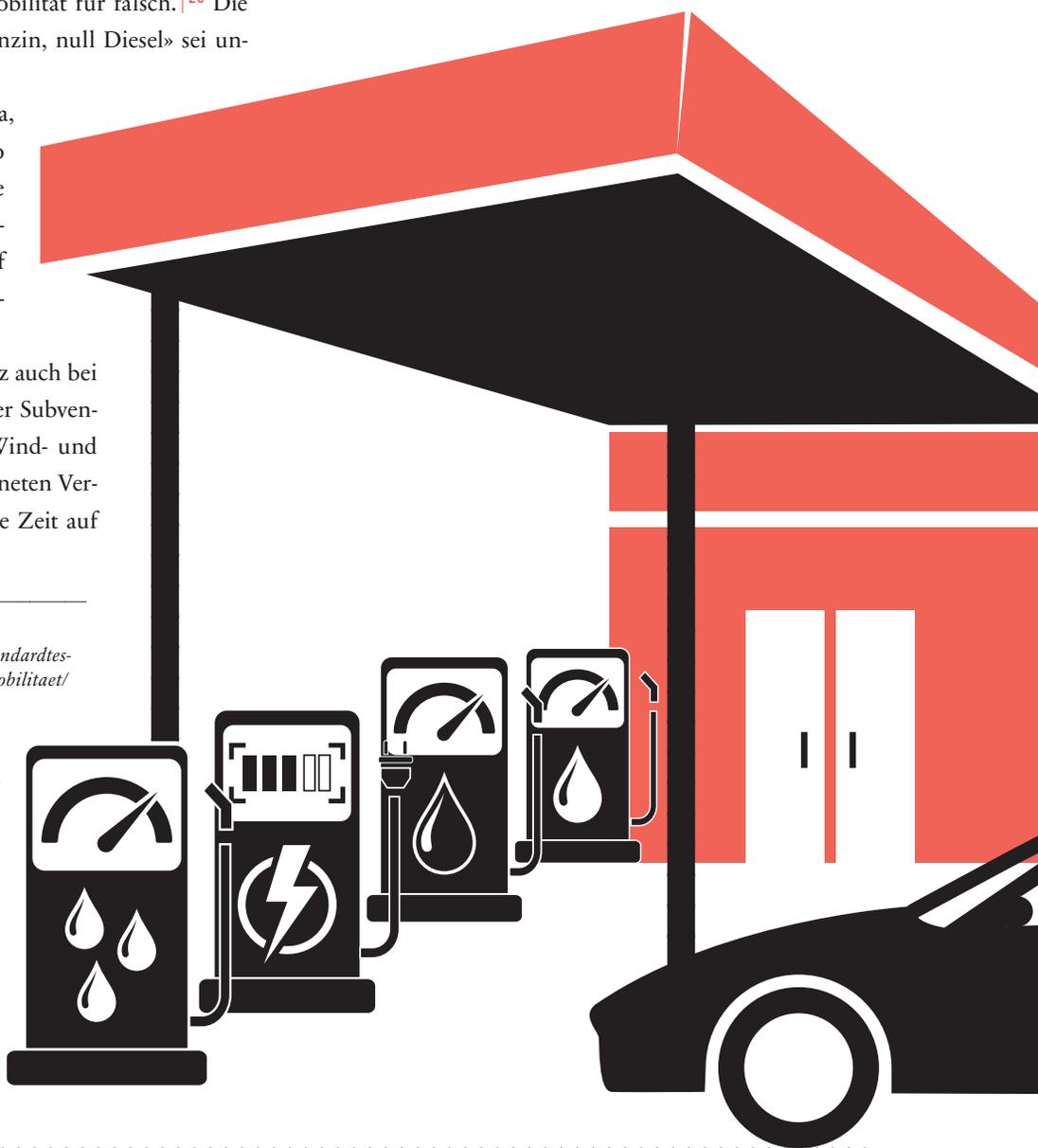
So lautet das Fazit, dass die Schweiz auch bei einem maximalen Ausbau (und teurer Subventionierung) von hiesigen Wasser-, Wind- und Solarkapazitäten infolge des angeordneten Verzichts auf Kernenergie noch geraume Zeit auf

fossile Energieträger wie Kohle, Gas und Öl angewiesen sein wird. Eine Technologieoffenheit trägt damit mehr zur Verbesserung der Ökobilanz bei.

Notwendig ist eine ganzheitliche Sicht – und genau das macht die Thematik so kompliziert. Vermeintlich einfache Lösungen, wie sie von der Öko-Bewegung gefordert werden, führen entweder nicht zum Ziel oder verschlimmern gar die Problematik. Kommt hinzu, dass sich die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses nicht allein auf die Mobilität beschränken kann – auch die Bauwirtschaft oder die Landwirtschaft sind mitursächlich. Doch auch hier gilt es, Technologieneutralität vor neue Verbote und kostenintensive Abgaben zu stellen.

25 <https://www.tagesanzeiger.ch/wirtschaft/standardtesla-ist-die-duemmste-variante-der-elektromobilitaet/story/10336355>. Zugriff 1.7.2020.

26 <https://www.tagesanzeiger.ch/wirtschaft/standardchina-wendet-sich-von-der-emobilitaet-ab/story/28964166>. Zugriff 1.7.2020.



#### IMPRESSUM

**HERAUSGEBER** Avenir Suisse **BEITRÄGE** Christian Bach (Empa), Patrick Dümmler (Senior Fellow), Peter Grünenfelder (Direktor), Jürg Müller (Senior Fellow), Peter Richner (Empa), Urs Steiner (Kommunikation), Marc Tribelhorn (NZZ), **REDAKTION** Urs Steiner **REDAKTION DOPPELSEITE** Basil Ammann (Researcher) **KONZEPT UND GESTALTUNG** Carmen Sopi **FOTOS** Cover (Empa), Interview Morten Hannesbo (© Amag), Seite 19 (© unsplash, Theodor Vasile) **GESAMTAUFLAGE** 6500 Exemplare **DRUCK** Staffel Medien AG, [www.staffelmedien.ch](http://www.staffelmedien.ch) **DOWNLOAD UND ABONNEMENT** [www-avenir-suisse.ch/avenir-spezial/](http://www-avenir-suisse.ch/avenir-spezial/) (Nachdruck, auch auszugsweise, mit Quellenangabe Avenir Suisse gestattet) **BESTELLUNG** [info@avenir-suisse.ch](mailto:info@avenir-suisse.ch)