

Bericht zuhanden der SP Schweiz

Energie, Umwelt und Klima

Für eine rasche Elektrifizierung der Mobilität auf der Strasse

Roger Nordmann, Nationalrat

Präsident der SP-Fraktion der Bundesversammlung

2018

13. Mai 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: die klimatische Herausforderung des Verkehrs	3
2	Verkehrswachstum	7
2.1	Personenverkehr	7
2.2	Güterverkehr	8
3	Ökologische Auswirkungen des Strassenverkehrs in der Schweiz	10
3.1	Energie und Klima	10
	3.1.1 Aktueller Verbrauch nach Fahrzeugkategorie	10
	3.1.2 Erwünschte und effektive Entwicklung der Fahrzeuge	11
	3.1.3 Der Trumpf des öffentlichen Verkehrs in Bezug auf Energie und Klima	12
3.2	Lokale Luftverschmutzung	12
3.3	Lärm	14
3.4	Für den Verkehr bestimmter Raum	14
4	Vergleich der ökologischen Auswirkungen von fossilem und elektrischem Antrieb	16
4.1	Energie- und Klimabilanz	16
4.2	Verfügbarkeit und Abbau von Rohstoffen	18
	4.2.1 Erdöl	18
	4.2.2 Materialien für Batterien	19
	4.2.3 Materialien für den Elektromotor	19
	4.2.4 Rohstoffe: leicht getrübler Vergleich	20
4.3	Lärm und lokale Luftverschmutzung	20
4.4	Ökologische Gesamtbilanz	22
4.5	Weitere batteriebetriebene Elektrofahrzeuge: Lastwagen, Lieferwagen, E-Bikes, Scooter und Flugzeuge	23
4.6	Ein paar Gedanken zu weiteren Alternativen in Sachen Energie und Antrieb	24
	4.6.1 Aufladbare Hybrid-Fahrzeuge mit Batterie	24
	4.6.2 Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzelle	24
	4.6.3 Konventionelle Fahrzeuge mit Antrieb durch erneuerbares Synthesegas	25
	4.6.4 Verwendung von Biotreibstoff in Verbrennungsmotoren	26
5	Elektrifizierung der Mobilität auf der Strasse: ein Muss für das Klima	27
6	Sozioökonomische Beurteilung	29
6.1	Auswirkung auf die Haushalte in der Schweiz	29
6.2	Globale sozioökonomische Auswirkung	29
6.3	Auswirkung auf die Schweizer Wirtschaft	30
7	Massnahmen	31
7.1	Ausgangslage	31
7.2	Leitlinien	31
7.3	Massnahmen des Bundes	32
	7.3.1 Für eine klare Stellungnahme des Bundes zugunsten der Elektrifizierung	32
	7.3.2 Massnahmen für die Benutzerfreundlichkeit	33
	7.3.3 Anreize und Pflichten	33
	7.3.4 Massnahmen für eine bessere Ökobilanz der individuellen Elektromobilität	34
7.4	Massnahmen von Kantonen und Gemeinden	35
8	Fazit und Ausblick	36

1 Einleitung: die klimatische Herausforderung des Verkehrs

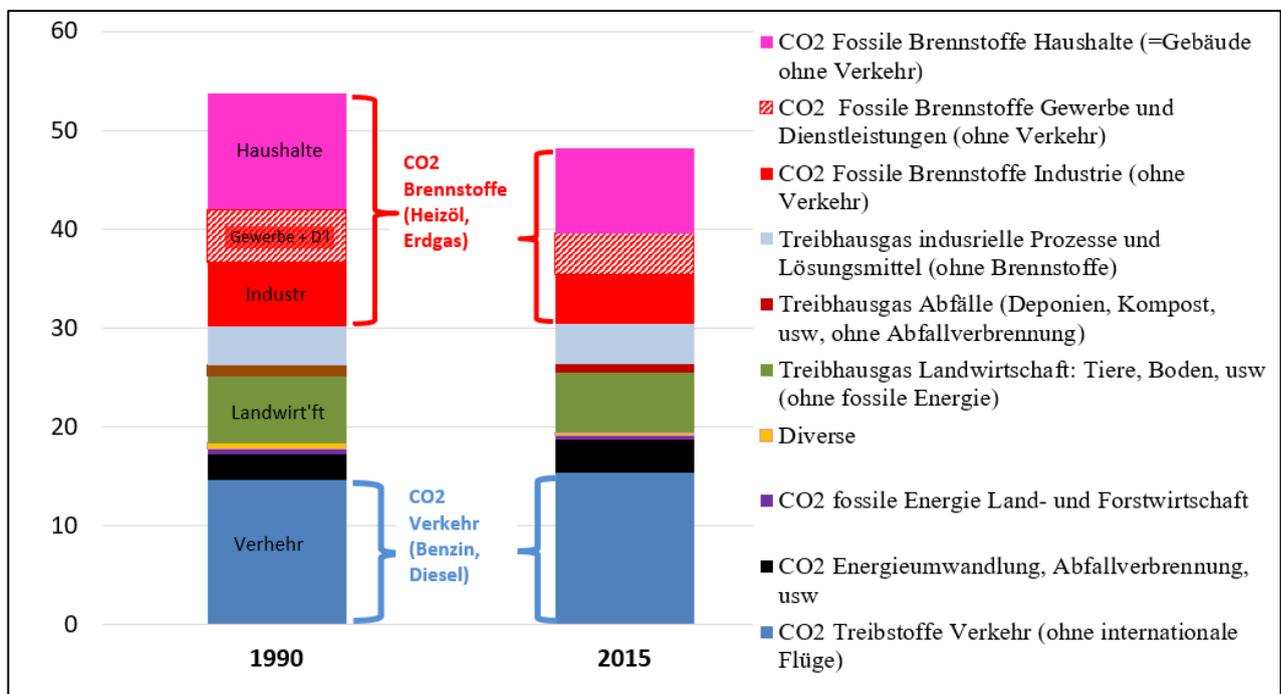
Die Klimaerwärmung ist eine der grössten Herausforderungen für die Menschheit. Mit dem im Dezember 2015 unterzeichneten Pariser Abkommen wurde ein äusserst wichtiger Fortschritt erzielt. Praktisch alle Länder mit Ausnahme der USA von Trump setzen sich dafür ein, die Klimaproblematik in den Griff zu bekommen. Jedes Land wird dies auf dem Hintergrund der eigenen Lage tun. Aktuell haben bereits 169 Länder, die zusammen 88% der weltweiten Emissionen ausmachen, das Abkommen ratifiziert. Das Abkommen hat zum Ziel, die globale Erwärmung bis Ende des Jahrhunderts im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf 1.5° zu begrenzen.

Für die Schweiz, ein kontinentales Land, welches der Erwärmung besonders ausgesetzt ist, bedeutet dies, die Erwärmung auf 3° zu begrenzen. Um den Temperaturanstieg gemäss dem Pariser Abkommen einzudämmen, müssen die Industrieländer bis 2050 ihre CO₂-Emissionen um 80 bis 95% reduzieren. Diese Prozentangabe bezieht sich auf die Höhe der Emissionen im jeweiligen Land im Jahr 1990.

Das Pariser Abkommen und die Bemühungen, die es auslöst, sind zu begrüessen. Leider ist die Umsetzung noch lückenhaft und zu langsam. Genau in dieser Hinsicht ist der vorliegende Bericht zu verstehen. Es geht darum, die Zielsetzungen und die Massnahmen der Schweiz zu verstärken. Die Industrieländer – und insbesondere auch die Schweiz - tragen für die Emissionen der Vergangenheit eine grössere historische Verantwortung und haben gleichzeitig die Pflicht zum politischen, ökonomischen und technologischen Leadership für die Zukunft.

Bisher hat die Schweiz die CO₂-Emissionen erst leicht reduziert, wie die Grafik mit den Treibhausgasemissionen aufzeigt.

Vergleich der Treibhausgasemissionen der Schweiz 1990 und 2015, in Millionen Tonnen pro Jahr (ohne internationalen Flugverkehr)¹

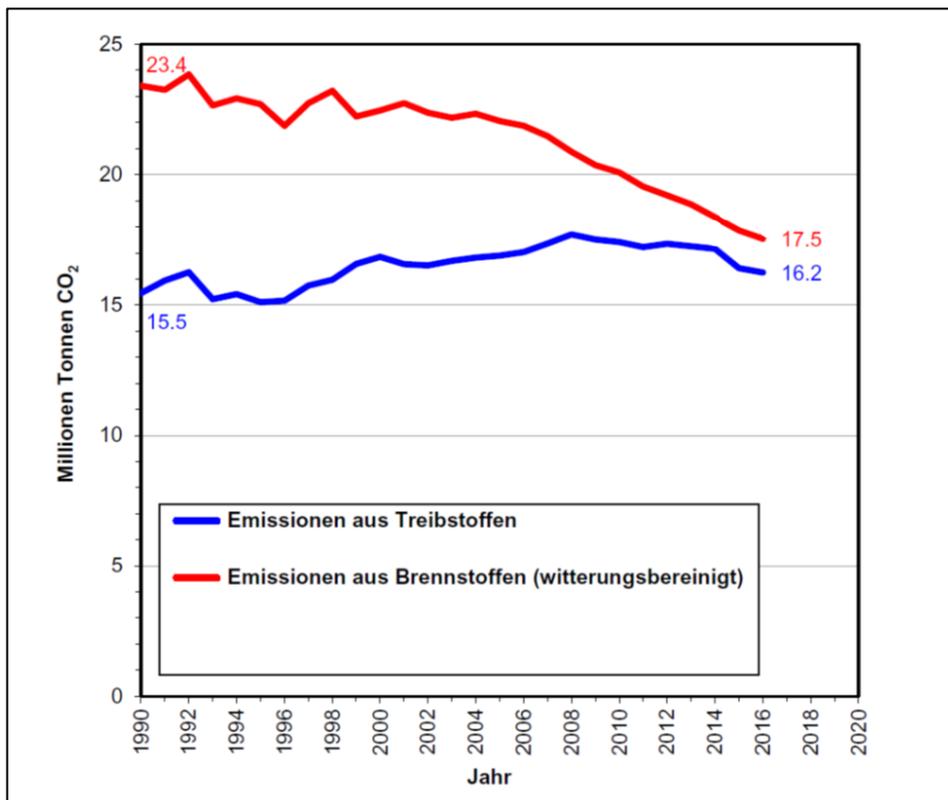


Man sieht, dass die CO₂-Emissionen der Energie in der Schweiz 2015 mehr als 3/4 aller Treibhausgasemissionen der Schweiz ausmachen (blaue und rote Klammern). Die restlichen Treibhausgasemissionen stammen vor allem aus der Abfallverbrennung, der Landwirtschaft, den Mülldeponien, den Zementfabriken und den chemischen Prozessen der Industrie.

Zu beachten ist, dass in dieser Statistik der Ausstoss des Flugverkehrs von jährlich 5 Millionen Tonnen nicht enthalten ist. Diese Emissionen werden in den internationalen Abkommen leider nicht berücksichtigt. Ebenso sind die Emissionen im Ausland für die Herstellung von in der Schweiz konsumierten Produkten nicht in der Statistik der Schweiz enthalten, sondern in jener des Produktionslandes. Diese der grauen Energie geschuldeten Emissionen sind höher als jene in der Schweiz!

Die Grafik zeigt, dass in der Schweiz im Bereich Gewerbe, Industrie und Heizungen grosse Fortschritte erzielt worden sind. Umgekehrt ist die Situation im Verkehr vergleichbar mit jener von 1990. Die nachfolgende Grafik zeigt im Detail die Entwicklung der Emissionen aus dem Verbrauch von Treibstoffen und fossilen Brennstoffen. Die Treibstoffemissionen (=Verkehr) sind blau eingezeichnet, jene der Brennstoffe rot (=Gebäude, Industrie und Gewerbe). Inzwischen machen die CO₂-Emissionen, die auf die Mobilität zurückzuführen sind, fast die Hälfte aller Emissionen aus Bren- und Treibstoffen aus.

CO₂-Emissionen aus Brenn- und Treibstoffen in der Schweiz in Millionen Tonnen pro Jahr (ohne Energieumwandlung, Abfälle und Kerosin der internationalen Flüge²).



Eines zeigt sich deutlich: Einerseits haben die grossen Anstrengungen in den Bereichen Gebäude und Wirtschaft Früchte getragen und müssen weiterverfolgt werden. Andererseits sollte eine seriöse Klimapolitik die Frage der von der Mobilität auf der Strasse erzeugten CO₂-Emissionen nicht ignorieren. Alleine Autos und Lieferwagen stossen jährlich mehr als 11 Millionen Tonnen CO₂ aus.

Nun verzichtet der Bundesrat in seinem Entwurf zur Klimapolitik 2020-2030 aber darauf, die mobilitätsbedingten Emissionen ernsthaft zu senken. Er begnügt sich damit, eine Kompensation der Emissionen des Schweizer Verkehrs durch den massiven Kauf von Emissionsminderungszertifikaten im Ausland vorzuschlagen. Diese kurzfristige Politik ist ein Ablasshandel. Wenn das Übel nicht an der Wurzel – das heisst beim Fahrzeugausstoss in der Schweiz – gepackt wird, wird das immer teurer werden, denn man wird Jahr für Jahr im Ausland stets kostspieligere Zertifikate kaufen müssen. Bei der Mobilität geht dieser Ansatz völlig an den im Pariser Abkommen betonten Notwendigkeiten vorbei.

Die Frage der Mobilität aufs Tapet zu bringen braucht natürlich politischen Mut, denn das Auto ist emotional stark belastet, positiv wie negativ. Die individuelle motorisierte Mobilität – wie im Übrigen die Mobilität ganz allgemein – hat zwei Gesichter: Sie bringt Freiheit und Emanzipation, ist aber auch ein Zwang, dem man in der heutigen Welt nicht mehr entkommt, schon nur wegen dem Berufspendeln, aber auch wegen Freizeit und Familienleben.

So oder so will die Schweizer Bevölkerung, dass ihre Mobilität das Klima nicht zerstört. Im Moment sind wir aber weit weg davon. Abgesehen davon, dass die Mobilität auf der Strasse viel Energie verbraucht und dem Klima schadet, erzeugt sie auch Lärm und braucht Raum. Diese Beeinträchtigungen durch den motorisierten Strassenverkehr sind weitere Argumente für eine ehrgeizige Politik im Bereich der Mobilitätssanierung. Es braucht rasche Schritte in dieser Richtung mit dem Ziel, die Lebensqualität zu erhalten und gleichzeitig unseren ökologischen Fussabdruck drastisch zu reduzieren.

Angesichts des dynamischen Wachstums der Mobilität wäre es illusorisch, ausschliesslich auf eine starke Reduktion der individuellen Mobilität zu setzen. Die menschliche Weisheit allein garantiert keinen Verzicht auf prestigeträchtige Fahrzeuge mit hohem Energieverbrauch. Als unerlässliches Werkzeug für die einen, Freiheitssymbol oder gar verführerisches Objekt für die andern hat das Auto noch viele schöne Tage vor sich. Umgekehrt reicht es auch nicht aus, ausschliesslich auf technische Massnahmen wie die Elektrifizierung zu setzen, ohne kritische Fragen zu stellen.

Es braucht also eine umfassende Verkehrspolitik. Diese muss insbesondere zum Ziel haben, die Anzahl gefahrener Kilometer in den Griff zu bekommen und Alternativen zur individuellen motorisierten Mobilität zu fördern, zwei entscheidende Elemente. Sie muss aber auch versuchen, die Mobilität auf der Strasse ökologisch zu sanieren, was umso wichtiger ist, als das Verkehrsvolumen sehr hoch ist.

Die jüngsten technologischen Fortschritte der Batterien und die Senkung ihrer Kosten erlauben es heute, eine breite Elektrifizierung der individuellen Mobilität anzustreben. Trotz der ökologischen Nachteile der Batterien ist die Elektrifizierung der Mobilität auf der Strasse für die Umwelt klar günstiger, vorausgesetzt der Strom stammt hauptsächlich aus erneuerbaren Quellen. Die Senkung der Kosten für erneuerbare Energien und besonders für Solarstrom bietet hier ebenfalls neue Perspektiven.

Mit einer detaillierten Analyse der ökologischen Auswirkung der Mobilität und dem Vergleich von fossilem und elektrischem Antrieb zeigt dieser Bericht, dass der Moment gekommen ist, die Mobilität auf der Strasse zu elektrifizieren und ehrgeizige Massnahmen zu ergreifen, um dieses Ziel zu erreichen. Das betrifft natürlich Autos, aber auch Lieferwagen, Lastwagen, Busse und Zweiräder.

Der Bericht setzt einen umfassenden Ansatz zur Lösung der Verkehrsprobleme voraus und konzentriert sich auf die spezifische Frage, ob die Elektrifizierung der Mobilität auf der Strasse eine Chance darstellt. Ein solcher Wandel ist ein potenziell entscheidender Hebel. Der Entscheid muss deshalb gut ausgewogen werden, bevor gehandelt wird. Der thematische Fokus bedeutet

aber nicht, dass die Umstellung auf Strom ein Allheilmittel darstellt. Der Ansatz macht im Gegenteil nur Sinn als Teil einer globalen Verkehrspolitik, die auch den öffentlichen Verkehr, die Raumplanung und den Langsamverkehr umfasst.

Angesichts der Emotionen und Gefühle, die mit dem Auto verbunden sind, scheint es mir sinnvoll hier zu präzisieren, in welchem Geist ich den Bericht geschrieben habe: Ich habe versucht, mich weder vom Autokult noch von dessen systematischer Kritik leiten zu lassen. Das heisst, ich habe mich bemüht, einen relativ klinischen Zugang zum Thema zu finden.

Der Bericht beginnt mit einer Bestandesaufnahme der Struktur und Entwicklung des Verkehrs in der Schweiz (Kapitel 2). Das nachfolgende Kapitel (3) analysiert die ökologischen Auswirkungen des Verkehrs, insbesondere des Strassenverkehrs in der heutigen Zeit.

Der Vergleich der Ökobilanz von fossilem und elektrischem Antrieb (Kapitel 4) stellt die Grundlage für die in diesem Dokument (5) vorgeschlagene Elektrifizierungsstrategie dar. Der Bericht prüft anschliessend die sozioökonomische Auswirkung einer Elektrifizierung (Kapitel 6) und schlägt konkrete Massnahmen vor (Kapitel 7). Nicht behandelt wird die Frage der Verkehrssicherheit, ausgehend vom Grundsatz, dass die Elektrifizierung an dieser Frage nichts ändert. Wir begnügen uns damit, hier daran zu erinnern, dass der öffentliche Verkehr in dieser Hinsicht leistungsfähiger ist.

Dank

Ich möchte folgenden Personen danken, die eine erste Version des Berichts kommentiert und mir weitere Anregungen gegeben haben: Evi Allemann, Pascale Bruderer, François Cherix, Chantal Gahlinger, Edith Graf-Litscher, Philipp Hadorn, Thomas Hardegger, Beat Jans, Jacques-André Maire, Eric Nussbaumer, Silva Semadeni und Martin Winder.

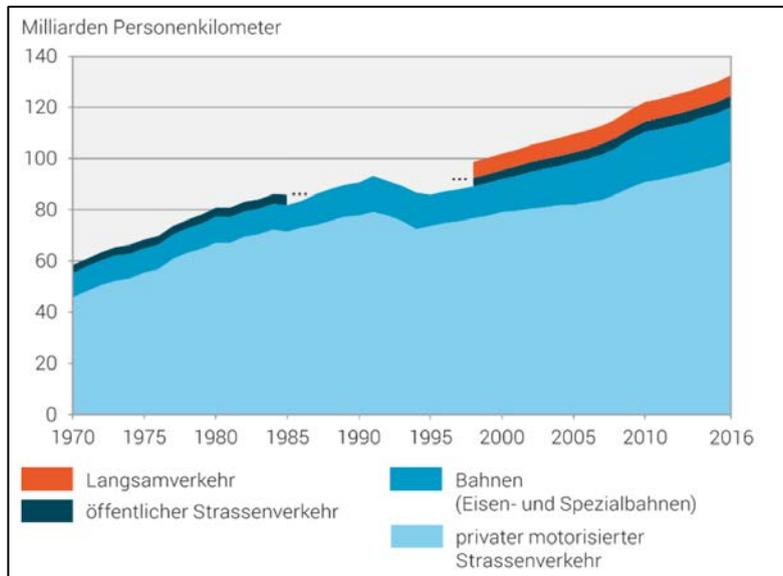
2 Verkehrswachstum

Die Auswirkung des Verkehrs auf die Umwelt hängt direkt von der Anzahl gefahrener Kilometer und den transportierten Tonnen ab. Um den Einfluss des Verkehrs abzuschätzen, soll deshalb zuerst dessen Struktur und quantitative Dynamik (ständiges Wachstum) angeschaut werden. Das ist das Thema dieses Kapitels.

2.1 Personenverkehr

In untenstehender Grafik ist die Zunahme der in der Schweiz insgesamt gefahrenen Kilometer deutlich ersichtlich. Die Entwicklung widerspiegelt in den letzten Jahren vor allem die Bevölkerungszunahme. Denn die täglich von jeder Person zurückgelegte Distanz hat sich letztlich bei 39 Kilometern pro Tag (ohne Flugverkehr) stabilisiert. Die Zeit, die im Verkehr verbracht wird, ist sogar leicht zurückgegangen. Wir könnten also einen «Peak» unserer Verkehrsleistungen erreicht haben, zumindest pro Einwohner, und bloss im Landverkehr.

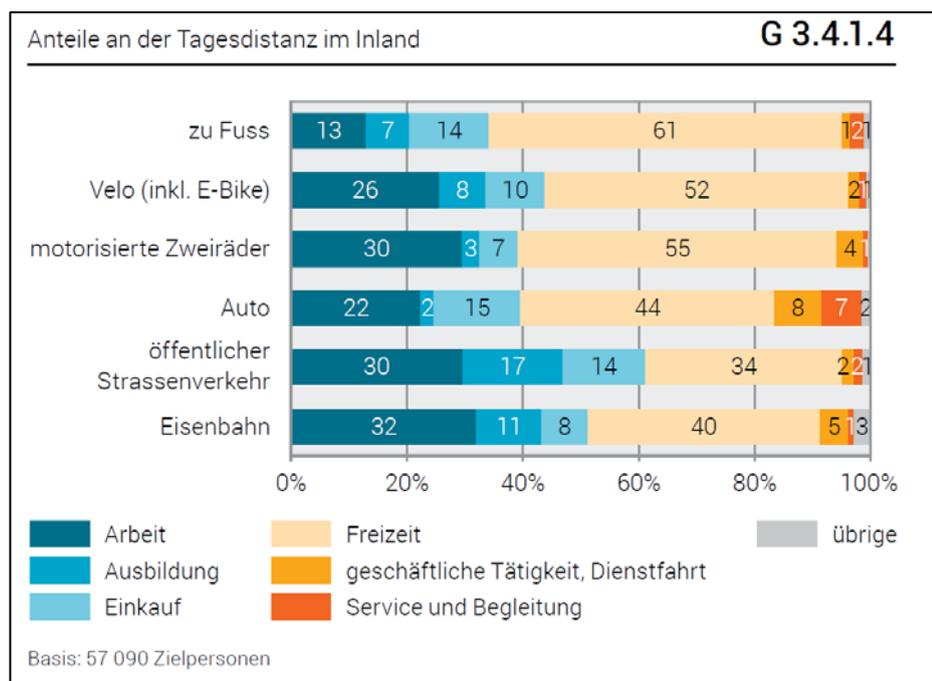
Entwicklung der Verkehrsleistungen im Personenverkehr von 1970 bis 2016³



Die Grafik des BFS zeigt, dass die Struktur seit den 1970er Jahren insgesamt stabil geblieben ist: Die Strasse beansprucht mit drei Vierteln den Löwenanteil. Leider wurde der Langsamverkehr zu Beginn der Periode nicht gemessen, und die Statistik weist eine Lücke im Bereich des öffentlichen Strassenverkehrs auf. Zu beachten ist, dass die Verkehrsbelastung vor allem auf Autobahnen zunimmt⁴.

Seit dem Jahr 2000 fällt das Wachstum auf der Schiene deutlich höher (63%) aus, während die Zunahme auf der Strasse bei nur 25% liegt. Im Lauf der letzten fünfzehn Jahre ist also ein Aufschwung beim öffentlichen Verkehr zu beobachten. Trotz dieser klaren Entwicklung bei der Nutzung der Bahn bleibt die Zunahme des Anteils des öffentlichen Verkehrs bescheiden: Während im Jahr 2000 der öffentliche Verkehr 16.9 % aller motorisierten Fahrten abdeckte, erreichte dieser Anteil 2016 20.4%⁵.

Verkehrszweck nach Verkehrsmittel⁶



Die obige Grafik, die dem Mikrozensus des BFS entnommen wurde, ist sehr aufschlussreich. Denn sie zeigt, dass wir am häufigsten für die Freizeit unterwegs sind. Beim Auto macht der berufliche Pendelverkehr nur 22% aller Fahrten aus, die Freizeit genau das Doppelte! Der öffentliche Verkehr ist äusserst beliebt, wenn es um Fahrten an den Arbeits- oder Ausbildungsplatz geht, aber er spielt auch für die Freizeit eine wichtige Rolle.

Box: Das spektakuläre Wachstum des Flugverkehrs⁷.

Von 2000 bis 2015 hat sich die Anzahl zurückgelegter Kilometer im Flugzeug gut verdreifacht, von 2633 auf 8986 km pro Jahr und Person. Diese Entwicklung ist in erster Linie auf privates Reisen zurückzuführen, während der Berufsverkehr eher stabil geblieben ist, zumindest in den letzten Jahren (gemäss Mikrozensus).

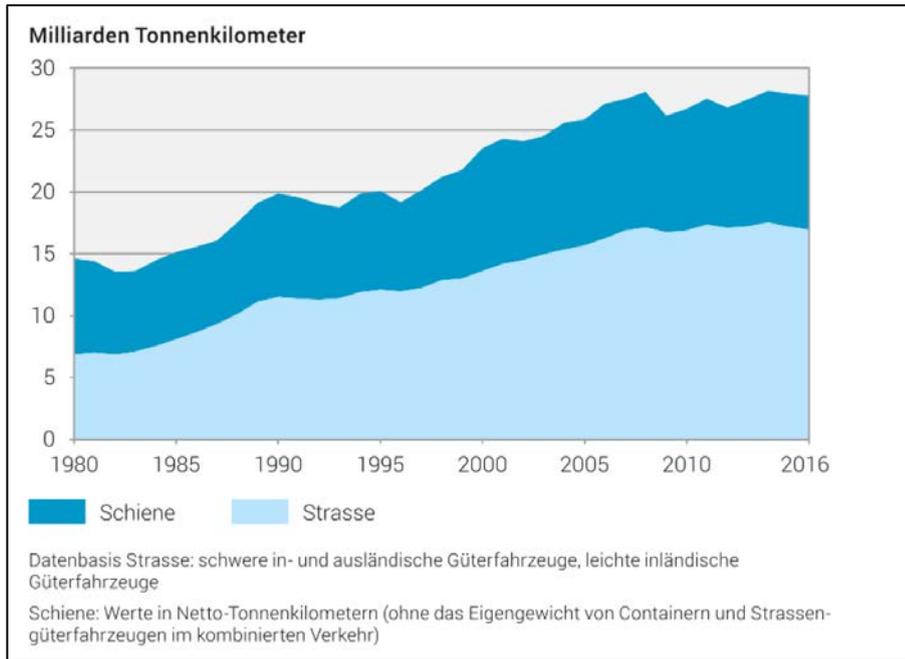
In einer ersten Phase wurde das Kilometerwachstum durch Gewinne bei der technischen und organisatorischen Effizienz weitgehend kompensiert, was sogar zu einem tieferen Kerosinverbrauch führte. Doch von 2005 bis 2015 war die Kilometerzunahme so stark, dass der Kerosinverbrauch um 39% gestiegen ist, mit einer Multiplizierung der pro Person zurückgelegten Distanz um den Faktor 2,6!

2.2 Güterverkehr

Wie die Grafik unten zeigt, hat die Menge an transportierten Gütern bis gegen 2008 stark zugenommen. Der Anteil der Bahn am Güterverkehr ist von 53% im Jahr 1980 auf 36% 2010 zurückgegangen. Seither ist er wieder auf 39% gestiegen.

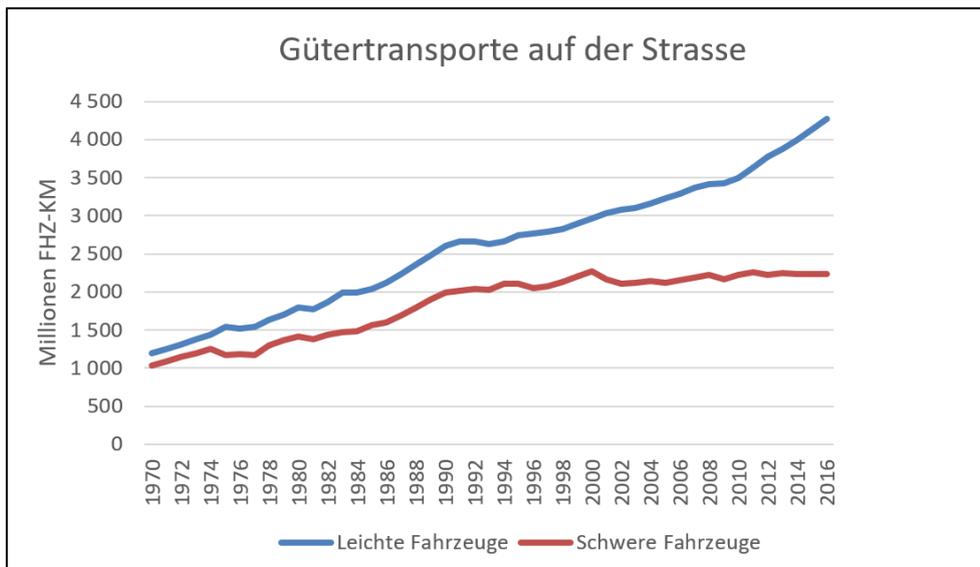
Beim Transitverkehr auf der Nord-Süd-Achse ist die Bahn mit einem Anteil von 71% am stärksten. Das widerspiegelt die politischen Anstrengungen nach der Annahme der Alpeninitiative. Umgekehrt ist der Anteil der Bahn beim Binnenverkehr schwächer.

Anteil von Schiene und Strasse im Güterverkehr (in Mia Tonnenkilometern)⁸



Die Statistik der benutzten Fahrzeuge für den Güterverkehr auf der Strasse (siehe unten) ist aufschlussreich: Sie zeigt, dass sich die Anzahl gefahrener Kilometer bei den Lastwagen seit 2000 stabilisiert hat, während sie bei den Lieferwagen stark gewachsen ist. Diese Entwicklung ist nicht überraschend: Die Einführung der LSWA (leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe) lieferte den Anreiz, die Lastwagen besser zu beladen, umso mehr als die zulässige Höchstlast auf 40 Tonnen erhöht wurde. Umgekehrt nimmt die Lieferung von leichteren Gütern mit Lieferwagen stark zu. Man kann sich Fragen zum Sinn einer solchen Entwicklung stellen; wahrscheinlich ist sie einfach typisch für unsere Zeit.

Güterverkehr: Entwicklung der gefahrenen Kilometer auf der Strasse⁹



3 Ökologische Auswirkungen des Strassenverkehrs in der Schweiz

Der Verkehr hat sowohl globale als auch lokale Auswirkungen. Der globale Einfluss stammt vor allem aus dem Energieverbrauch. Wenn die verbrauchte Energie fossilen Ursprungs ist, hat sie bedeutende Treibhausgasemissionen zur Folge, die zur Klimaerwärmung beitragen. Der lokale Einfluss lässt sich, wie leicht zu erkennen ist, in drei Hauptpunkten zusammenfassen:

- Luftverschmutzung (zusätzlich zum Treibhausgas)
- Lärm
- Raumbedarf, einschliesslich Zerschneidung von Naturräumen.

Dieses Kapitel stellt einige Indikatoren für die Messung dieser Auswirkungen der Mobilität in der Schweiz vor. Da die Schweiz weder über Autohersteller noch eine Ölindustrie verfügt, fallen die Auswirkungen der Fahrzeugherstellung und Erdölförderung ausserhalb unserer Grenzen an. Das wird im nächsten Kapitel berücksichtigt. Der Blick über die Grenzen hinaus ist unabdingbar, da die ökologischen Folgen der Mobilität nicht auf den Energieverbrauch beim Fahren begrenzt sind: Die Herstellung von Fahrzeugen gehört zu den grössten Verbrauchern von grauer Energie und Rohstoffen. Auch die Erdölförderung hat beträchtliche Folgen, die zu denjenigen der Verbrennung durch den Endverbraucher hinzukommen.

3.1 Energie und Klima

Der Strassenverkehr verschlingt enorme Mengen an Energie. Auf ihn entfällt etwa die Hälfte der in der Schweiz verbrauchten fossilen Energie. Logische Folge: Die CO₂-Emissionen aufgrund von Brennstoffverbrauch durch die Mobilität in der Schweiz sind beträchtlich. Sie belaufen sich jährlich auf rund 16 Millionen Tonnen, und dabei ist der Ausstoss des Flugverkehrs nicht eingerechnet. Die Emissionen des Landverkehrs in der Schweiz machen rund ein Drittel der gesamten Treibhausgasemissionen aus, und fast die Hälfte, wenn man nur die Emissionen im Zusammenhang mit dem Energieverbrauch berücksichtigt. Die Auswirkungen dieses Verbrauchs sind deshalb insbesondere für das Klima sehr bedeutend.

3.1.1 Aktueller Verbrauch nach Fahrzeugkategorie

Folgende Tabelle zeigt, dass das Auto den Löwenanteil dieser Emissionen verursacht, auch wenn der Güterverkehr auf der Strasse nicht zu vernachlässigen ist.

Emissionen der verschiedenen Fahrzeugtypen (ohne Tanktourismus)¹⁰

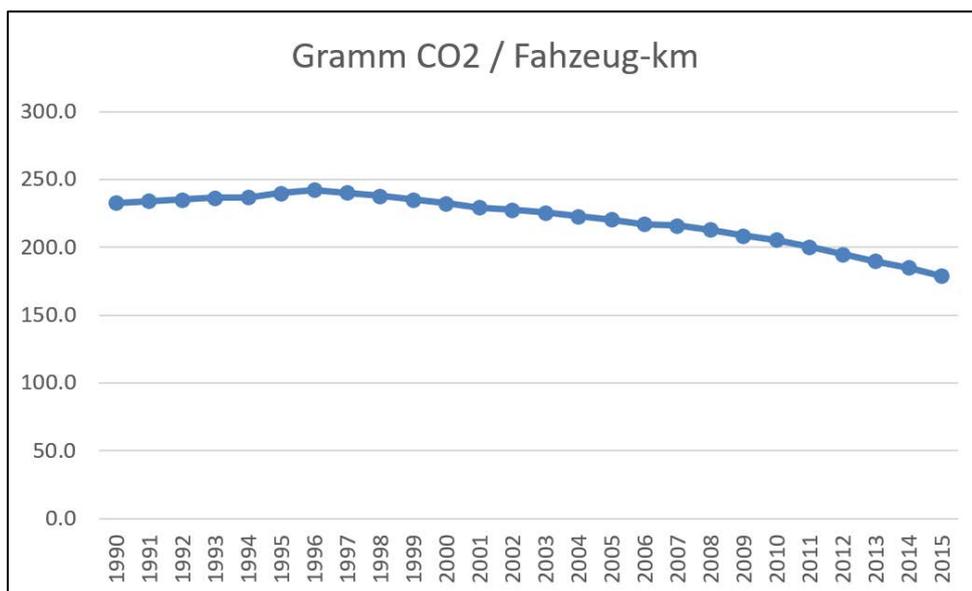
Fahrzeugkategorie	CO ₂ -Emissionen 2015, in Mio. Tonnen.
PKW	10.29
Lieferwagen	0.83
Lastwagen	1.75
Busse	0.36
Motorfahrräder	0.24

3.1.2 Erwünschte und effektive Entwicklung der Fahrzeuge

Seit der Erdölkrise von 1973 bemühen sich viele Länder, den Verbrauch an fossiler Energie, insbesondere auf der Strasse, zu reduzieren. Es stellt sich deshalb die Frage, ob diese Bemühungen erfolgreich sind und ob man auf eine weitere Verbesserung hoffen kann.

Jedes Jahr erneuert sich der Fahrzeugbestand um 7 bis 10%. Man könnte deshalb eine rasche Senkung der Emissionen pro Kilometer erwarten, wenn man den Angaben der Hersteller glauben würde. Allerdings stellt man im Alltag fest, dass die CO₂-Emissionen pro Kilometer nur leicht zurückgegangen und weit vom gesetzlichen Grenzwert von 130 Gramm pro Kilometer für Neuwagen entfernt sind. Effektiv liegt der Wert für die zugelassenen Fahrzeuge bei rund 180 Gramm pro Kilometer.

CO₂-Emissionen der Autos pro km (effektiver Ausstoss)¹¹



Zum besseren Verständnis der Grafik sei daran erinnert, dass 180 Gramm CO₂ pro Kilometer einem Verbrauch von 6,9 Litern Diesel oder 7,7 Litern Benzin auf 100 km entsprechen.

Dieses enttäuschende Ergebnis erklärt sich insbesondere durch den Unterschied zwischen den Herstellerangaben und den Werten, die in Wirklichkeit gemessen werden. Die Differenz hat sich vergrößert und beträgt bei den CO₂-Emissionen gegenwärtig rund 40%¹². Bei den übrigen Luftschadstoffen ist die Situation noch schlimmer, wie der Dieselskandal gezeigt hat.

Zum Teil ist diese schlechte Bilanz auch mit dem Trend zu immer grösseren und schwereren Fahrzeugen zu erklären. Angesichts der Kaufkraft, des Konsumverhaltens und der Fahrweise von Schweizerinnen und Schweizern darf keine wesentliche Verbesserung erwartet werden. Immerhin gibt es auf dem Markt Fahrzeuge, die in der Praxis rund 4 Liter Benzin auf 100 km verbrauchen und effektiv um die 100 g CO₂ pro km ausstossen. Dennoch darf man kaum auf eine spontane Verbesserung des Ausstosses von Diesel- und Benzinfahrzeugen hoffen.

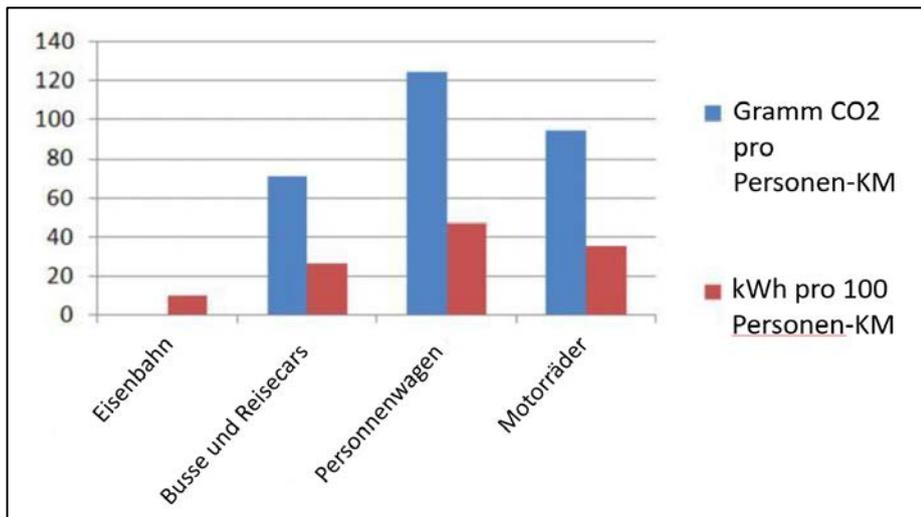
3.1.3 Der Trumpf des öffentlichen Verkehrs in Bezug auf Energie und Klima

Nachdem wir einen Blick auf den Energieverbrauch und den CO₂-Ausstoss des Individualverkehrs geworfen haben, lohnt es sich, diese mit dem öffentlichen Verkehr zu vergleichen.

Beim Energieverbrauch ist die Bahn vier- bis fünfmal effizienter als ein konventioneller Personenwagen, wenn es darum geht, einen Passagier 1 km weit zu transportieren. Dies erklärt weshalb Bahn, Tram und Trolleybus nur 5% des Stroms in der Schweiz verbrauchen, was knapp 1% des gesamten schweizerischen Energieverbrauchs entspricht.

Ausserdem hat die Bahn im Gegensatz zum Strassenverkehr kaum Auswirkungen aufs Klima, da sie zu über 90% erneuerbare Energien verbraucht. Und schliesslich stammt die Energie des Bahnverkehrs aus einheimischer Produktion, während diejenige des Strassenverkehrs vollständig importiert ist. Untenstehende Grafik fasst die verglichenen Parameter zusammen, indem sie den Besetzungsgrad der Fahrzeuge miteinbezieht. Die unglaubliche Effizienz der Bahn ist frappant. Es sei nebenbei bemerkt, dass die Bilanz von Bussen und Cars stark vom Besetzungsgrad abhängt. Wenn dieser hoch ist, ist ihre Leistung durchaus akzeptabel.

Vergleich der CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs für den Transport einer Person über einen Kilometer¹³



Lesehilfe: Der durchschnittliche Energieverbrauch für den Transport einer Person über 100 km ist rot eingezeichnet. Ein Auto verbraucht rund 45 KWh Energie für den Transport einer Person über 100 km (entspricht rund 4 Liter Treibstoff). Es stösst rund 120 g CO₂ pro Kilometer aus (in Blau). Die Bahn verbraucht wenig Energie und ausschliesslich in Form von Strom. Da diese Energie fast vollständig erneuerbar ist (ein kleiner Teil davon Atomstrom), ist die blaue Säule der CO₂-Emissionen bei null. Achtung: Diese Grafik zeigt den Verbrauch und den Ausstoss nicht pro Fahrzeugkilometer, sondern pro Passagierkilometer. Es wird davon ausgegangen, dass ein Auto durchschnittlich von 1,5 Personen besetzt ist.

3.2 Lokale Luftverschmutzung

Es gibt zahlreiche Parameter, um die Luftverschmutzung zu messen, insbesondere Stickoxid, Ozon, Feinstaub, Ultrafeinstaub usw. Sie alle detailliert aufzuführen würde den Rahmen dieses

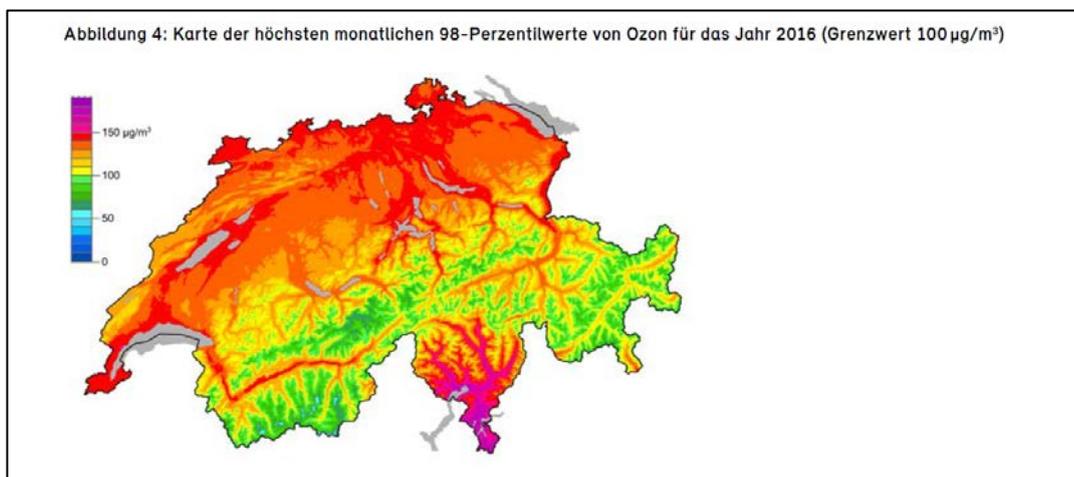
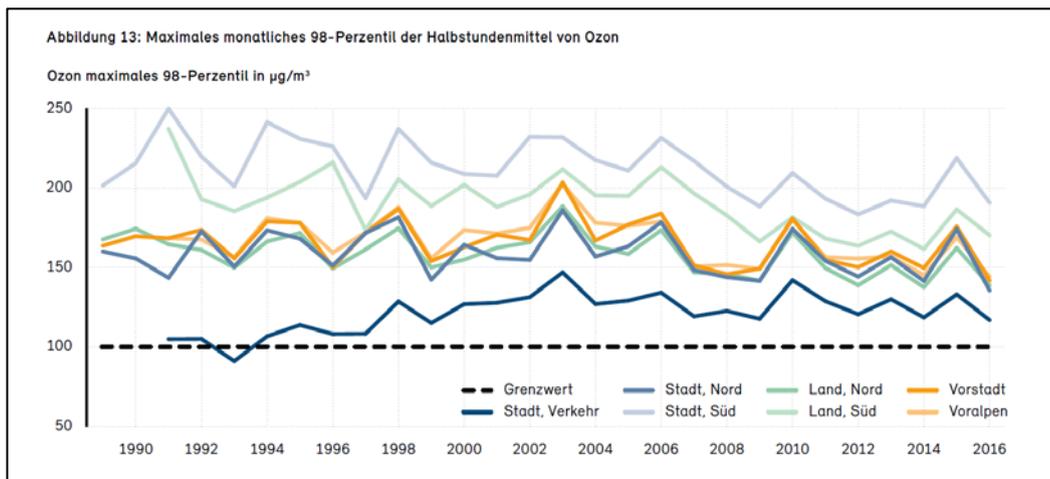
Berichts sprengen. In gewissen Bereichen, zum Beispiel Feinstaub, sind in den letzten Jahren grosse Fortschritte erzielt worden, aber in anderen ist die Situation kritisch oder hat sich gar verschlechtert.

Die Verschlechterung der Luftqualität hat einen direkten Einfluss auf die menschliche Gesundheit, zum Beispiel in Form von chronischer Bronchitis. Gewisse Substanzen sind krebserregend, vor allem bei nicht vollständiger Verbrennung. Ausserdem sind bestimmte Bevölkerungsgruppen anfälliger (z.B. Kleinkinder und ältere Menschen). Man schätzt 3000 vorzeitige Todesfälle pro Jahr durch Luftverschmutzung. Die Website des BAFU bietet einen guten Überblick¹⁴.

Auch wenn sich die Situation dank Katalysatoren und Partikelfilter deutlich verbessert hat, ist der Schaden an Bauten nicht zu unterschätzen. Ebenso wenig die Schädigung von Pflanzen, vor allem in der Landwirtschaft.

Die beiden folgenden Illustrationen zeigen die Situation beim Ozon. Dieses Problem ist das Ergebnis der Interaktion zwischen Sonneneinstrahlung und bestimmten Emissionen des Verkehrs durch Benzin oder Diesel (Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen). Die Belastung ist also vor allem im Sommer hoch, und in dieser Jahreszeit spielen die Heizungen praktisch keine Rolle.

Situation der Ozonbelastung in der Schweiz (Entwicklung und geografische Verteilung)¹⁵

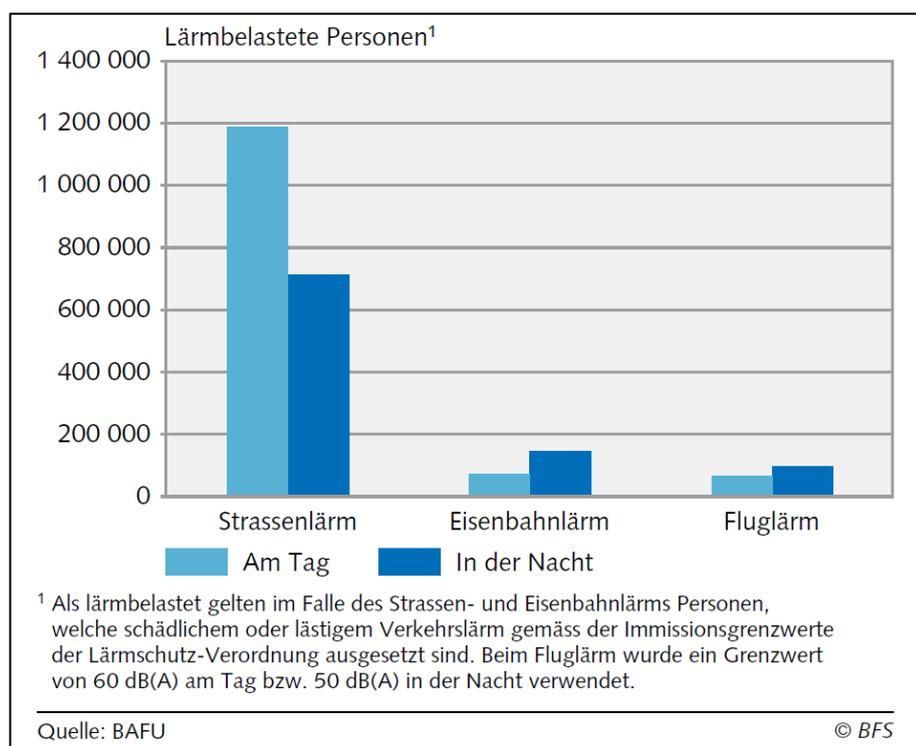


Im Bereich der lokalen Luftverschmutzung wären die Vorteile einer Elektrifizierung der individuellen Mobilität enorm, denn die Abgase entfallen. Die Reibung der Reifen auf dem Strassenbelag – ein Nebenproblem – wäre die einzige Quelle für Luftverschmutzung. Es sei daran erinnert, dass der Bahnverkehr mit Ausnahme des Problems der Feinpartikel bei der Bremsung die Luftqualität in keiner Weise beeinträchtigt.

3.3 Lärm

Der Lärm des motorisierten Verkehrs hat beträchtliche Auswirkungen auf die Menschen, wie die folgende Grafik zeigt. Tagsüber ist der Bahnverkehr, verglichen mit dem Strassenverkehr, vernachlässigbar. In der Nacht ist die Situation etwas kritischer, weil in dieser Zeit Güterzüge unterwegs sind, während auf der Strasse ein Nachtfahrverbot für Lastwagen gilt.

Lärmbelastung durch Verkehrslärm¹⁶



Anzumerken ist, dass die Daten veraltet sind und sich bei der Bahn durch die Modernisierung des Rollmaterials und den Bau von Lärmschutzwänden die Situation rasch verbessert.

Handkehrum berücksichtigt die Grafik nicht alle Lärmbelastungen. Es fehlen zum Beispiel die röhrenden Motorräder auf den Alpenpässen oder der Lärm, dem man als Fussgänger ausgesetzt ist.

3.4 Für den Verkehr bestimmter Raum

Der urbanisierte Raum macht rund 6% des Schweizer Territoriums aus, einschliesslich Grünflächen und Erholungsräume (zum Beispiel öffentliche Parks und Fussballfelder). Frappant ist, dass die Mobilität ein Drittel dieser Fläche einnimmt, das heisst fast genau so viel wie der Raum zum Wohnen. Rund 2% der Fläche der Schweiz dienen so dem Verkehr. Neun Zehntel der

Verkehrsfläche werden von Strassen und Autobahnen eingenommen, während nur 1/10 auf den Bahnverkehr fällt. Diese Zahl ist in Beziehung zu setzen zur Tatsache, dass die Bahn 17% der Personenkilometer bewältigt. In Bezug auf den Flächenverbrauch hat die Bahn eine deutlich höhere Effizienz als die Strasse. Zu berücksichtigen ist auch, dass ein kleiner Teil des Strassennetzes die Infrastruktur von Bus und Trolleybus darstellt. Ausserdem benützen auch Fahrräder das Strassennetz.

Zwischen Anfang der 1980er Jahre und Ende der 2000er Jahre hat die Fläche, die vom Verkehr eingenommen wird, um 15% zugenommen, hauptsächlich durch den Bau von Autobahnen und daneben auch durch die Zunahme von Landstrassen. Im gleichen Zeitraum ist die Fläche für die Bahn nur um 3% gestiegen.¹⁷.

4 Vergleich der ökologischen Auswirkungen von fossilem und elektrischem Antrieb

Das vorherige Kapitel hat die wichtigsten Umwelteinflüsse des Verkehrs zusammengefasst. Es hat die sehr negativen Folgen der Mobilität auf der Strasse aufgezeigt. Da in diesem Bericht eine Elektrifizierung der Strassenmobilität gefordert wird, um die Schäden zu reduzieren, muss auch sichergestellt sein, dass diese Stossrichtung gerechtfertigt ist. Das ist Thema dieses Kapitels, das Fahrzeuge mit traditionellem Antrieb durch fossile Brennstoffe den Fahrzeugen mit Elektroantrieb gegenüberstellt.

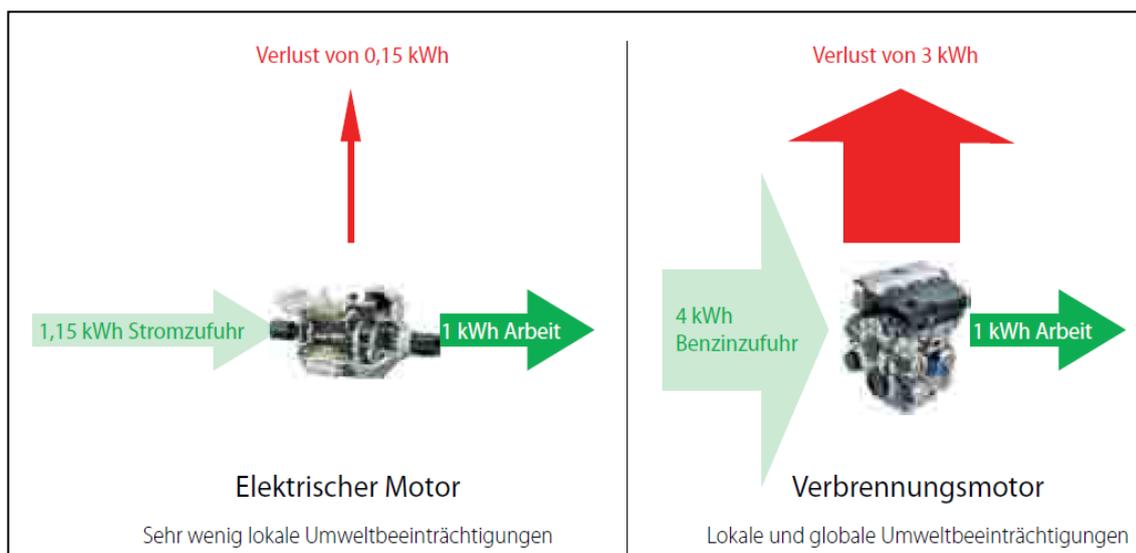
In Bezug auf die ökologischen Auswirkungen weisen beide Antriebsarten in vieler Hinsicht Ähnlichkeiten auf: Beide brauchen ein Chassis, eine Karosserie, Reifen, Strassen usw. Da uns eine Untersuchung dieser Ähnlichkeiten für eine Entscheidung nicht weiterhilft, konzentrieren wir uns auf die vier wichtigen Unterschiede zwischen den beiden Antriebsarten: 1) Energie und Klima, 2) Materialien, 3) Lärm und 4) Luftverschmutzung. Anschliessend machen wir eine Gesamteinschätzung.

Am Ende des Kapitels untersuchen wir die weiteren elektrisch angetriebenen Fahrzeuge wie E-Bikes und Lastwagen. Und schliesslich bringen wir andere Kombinationen von Energie und Motor zur Sprache, wie zum Beispiel die Brennstoffzelle oder die Power-to-Gas-Technologie.

4.1 Energie- und Klimabilanz

Die Effizienz des Elektromotors stellt das wichtigste Argument für die Umstellung auf Strom dar. Wie man in untenstehender Grafik sieht, verwandelt der Elektromotor über 85% der Energie in Bewegung des Fahrzeugs. Höchstens 15% der Energie geht als Wärme verloren. Der Verbrennungsmotor hat einen Wirkungsgrad, der nur zwischen 17 und 25% liegt, das heisst 75 bis 83% gehen in Form von Wärme verloren. Mit anderen Worten: Für die gleiche Strecke verbraucht ein konventionelles Fahrzeug rund viermal mehr Energie. Etwas überspitzt kann man sagen, dass der Benzinmotor eine Heizung mit fossiler Energie ist, die nebenbei noch etwas Bewegung produziert.

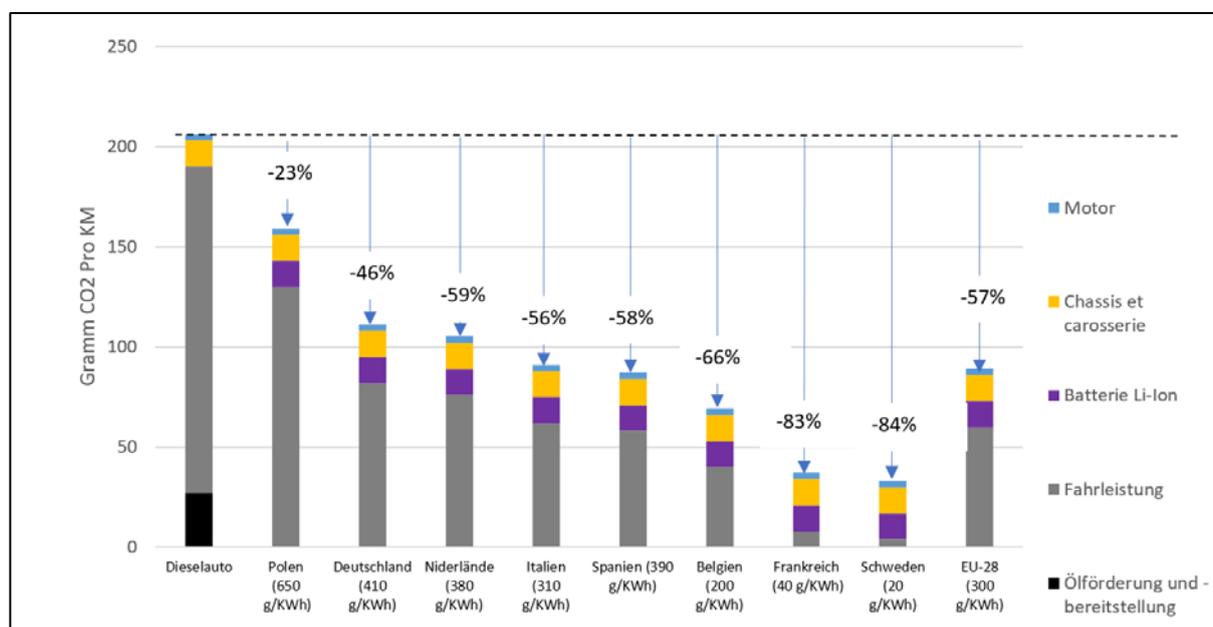
Grafik: Unterschied zwischen konventionellem Motor und Elektromotor¹⁸



Ausserdem kann der Elektromotor mit erneuerbarem Strom betrieben werden, während die Verwendung von erneuerbaren Brennstoffen problematisch ist (siehe 4.6 unten).

Die europäische Dachorganisation «Transport & Environnement (T&E)», welcher der VCS angehört, hat ein zusammenfassendes Dokument zu den klimatischen Folgen von fossil betriebenen Fahrzeugen und Elektrofahrzeugen sowie zur Frage der Verfügbarkeit von kritischen Rohstoffen verfasst. Die Bilanz von T&E konzentriert sich auf die Treibhausgase im ganzen Lebenszyklus unter Einbezug des Energieverbrauchs, von der Rohstoffgewinnung bis zur Herstellung, aber ohne Berücksichtigung anderer Umweltaspekte (z.B. Verschmutzung als Folge des Abbaus oder lokale Luftschadstoffe). Dieser Klimafokus führt logischerweise dazu, dass die Elektromobilität eine sehr günstige Bilanz aufweist, wie folgende Grafik zeigt¹⁹.

Grafik: CO₂-Ausstoss pro km unter Berücksichtigung der Fahrleistung, der Herstellung und der Energieproduktion



Lesehilfe: Diese Grafik vergleicht die CO₂-Emissionen von Elektroautos in verschiedenen Ländern mit demjenigen eines kleinen Dieselautos, das 120 g CO₂ pro km ausstösst (gemäss Herstellerangabe). Über den gesamten Lebenszyklus verteilt liegen die Emissionen des Dieselautos (Säule links) deutlich höher und belaufen sich auf 210 g CO₂ pro km. Dabei sind auch die Emissionen bei der Förderung und Verarbeitung des Brennstoffs sowie beim Fahrzeugbau berücksichtigt. Die Berechnung bezieht die Tatsache mit ein, dass die Emissionen im Verkehr die Herstellerangaben übersteigen. Die CO₂-Emissionen des Elektroautos bestehen aus einem fixen Anteil (Bau des Fahrzeugs, des Motors und der Batterie, für 30 g CO₂ pro km), und einem variablen Teil, der von den CO₂-Emissionen bei der Produktion des Stroms abhängt. Die Zahl in Klammern unterhalb des Landes gibt den Ausstoss von CO₂ in Gramm zur Herstellung von einer kWh Strom im entsprechenden Land an.

Gemäss T&E stösst ein Elektrofahrzeug im europäischen Durchschnitt im Verlauf seines Lebens nur 43% der Emissionen eines vergleichbaren Fahrzeugs mit fossilen Brennstoffen aus. Diese Rechnung geht von 300 g CO₂ für die Produktion einer Kilowattstunde Strom im Durchschnitt aus (ein Wert, der in der Zwischenzeit gesunken ist²⁰). Da sich die Herkunft des Stroms als

absolut entscheidend erweist, vergleicht die Studie verschiedene Länder und verschiedene Szenarien bei der Stromproduktion. In einem Land wie Polen, wo der Strom im Wesentlichen mit Kohle produziert wird, könnte die Elektrifizierung sogar leicht kontraproduktiv sein, wenn der zusätzliche Strom ebenfalls mit Kohle produziert wird. Im Gegenzug ist die Elektrifizierung extrem vorteilhaft in Ländern, in denen die Stromproduktion nur wenig CO₂ hinterlässt, wie zum Beispiel in der Schweiz. Zu berücksichtigen ist, dass Länder, die viel Atomstrom produzieren, in der gleichen Lage sind, jedoch mit dem Nachteil des Risikos und der Nuklearabfälle.

Es ist verblüffend festzustellen, dass die Herstellung der Autos, des Motors und der Batterien in Bezug auf Energie und Klima nur wenig ins Gewicht fällt. Die Lithiumbatterie sorgt nur für einen Bruchteil der Schäden eines Dieselaautos.

Diese Studie unterstreicht im Übrigen einen sehr wichtigen Aspekt: vor allem im Verkehr mit geringen Geschwindigkeiten, mit Abbremsen und häufigem Anhalten haben Elektrofahrzeuge im Vergleich die grössten Vorteile. Der Elektromotor ist nämlich auch bei tiefen Geschwindigkeiten und Teillast effizient. Darüber hinaus kann er Bremsenergie rückgewinnen (bis zu 30% Rückgewinnung beim Abwärtsfahren). Im Gegenzug ist der Vorteil auf Autobahnen bei hoher Geschwindigkeit weniger ausgeprägt.

In einer kürzlich veröffentlichten französischen Studie der «Fondation pour la nature et l'homme»²¹ kommen die Autoren zu ähnlichen Schlüssen: dass nämlich die Elektromobilität echte Vorteile beim Klima bietet. Und dass sie ihren Klimavorteil nur dann voll ausspielt, wenn der Strom im Wesentlichen nicht aus Kohlekraftwerken kommt. Die Autoren empfehlen insbesondere eine Aufladungsstrategie, die jene Phasen im Verlauf des Tages ausnützt, in denen der verfügbare Strom nur in geringem Ausmass aus Kohlekraftwerken stammt. T&E betont dies ebenfalls: Wenn die Elektromobilität in einer umfassenden Strategie zur Eindämmung des Stromverbrauchs und zur Effizienzsteigerung eingebettet ist, sind die Auswirkungen deutlich besser, als wenn der Stromverbrauch einfach zum aktuellen Konsum addiert wird. Tatsächlich besteht im zweiten Fall die grosse Gefahr, dass ein Teil dieses zusätzlichen Stromverbrauchs hohe CO₂-Emissionen (durch Gas oder noch schlimmer Kohle) zur Folge hat.

4.2 Verfügbarkeit und Abbau von Rohstoffen

Dieses Kapitel untersucht die Verfügbarkeit der Rohstoffe und die Auswirkungen auf die Umwelt bei deren Abbau für die jeweilige Art der individuellen Mobilität. Es handelt sich bei der fossilen Mobilität um Erdöl und beim Elektromotor um Rohstoffe für die Batterien und so genannte «Rare-Earths-Elemente» (Seltene Erden).

4.2.1 Erdöl

Über die Verfügbarkeit von Erdölreserven herrscht grosse Unsicherheit. Obschon das Ende des Erdöls in den nächsten Jahrzehnten noch nicht bevorsteht, ist das Phänomen der Verknappung bereits deutlich festzustellen: Man beobachtet einen Rückgang des einfach zu fördernden Erdöls, das auch am billigsten ist. Um die Produktion weltweit auf der Höhe der Nachfrage zu halten, ist es zunehmend nötig, auf unkonventionelle Methoden der Förderung zurückzugreifen, zum Beispiel aus Ölsand und Schiefergas, oder auf die Förderung aus sehr grossen Meerestiefen. Diese neuen Quellen erfordern höhere Investitionen und mehr Energie, um ein Barrel verwertbares Erdöl zu erhalten. Das erklärt, warum der Erdölpreis nicht nachhaltig sinkt. Wenn der Preis unter die Schwelle von 50 bis 60 \$ pro Barrel fällt, wird nicht mehr investiert, bis der Preis durch die Verknappung wieder steigt.

Es ist sehr schwierig, eine umfassende Ökobilanz über die Erdölförderung zu ziehen (abgesehen

von der Verbrennung beim Endverbraucher), aber die Folgen sind nachweislich schwerwiegend. Es genügt, an die Lage im Nigerdelta zu denken²², an den Ölsand, die Katastrophe der Deepwater Horizon, den regelmässigen Schiffbruch von Tankern und das Einpumpen von Chemikalien in schiefrigen Untergrund (Fracking).

Es ist offensichtlich, dass die Erdölförderung nicht nur dem Klima schadet, sondern generell stark umweltschädlich ist. Dieser Aspekt spricht ganz klar für die Elektrofahrzeuge.

4.2.2 Materialien für Batterien

Gemäss Zusammenstellung von T&E reichen die bekannten Reserven an Lithium für fast zwei Jahrhunderte. Auch für Kobalt, Nickel, Mangan und Graphit soll die Situation unkritisch sein.

Allerdings sind gegenwärtig die Abbaubedingungen auf sozialer und ökologischer Ebene oft katastrophal, umso mehr, als diese Rohstoffe nur in sehr geringer Konzentration vorhanden sind, was für den Abbau grosse Mengen an Energie und chemischen Produkten nötig macht. Wie beim Erdöl ist eine Gesamtbeurteilung der Folgen des Abbaus auf die Biosphäre und die Menschen schwierig.

Drei Aspekte relativieren jedoch dieses düstere Bild:

- Im Unterschied zum Erdöl, das nur einmal verbrannt werden kann, ist es möglich, diese Substanzen am Ende des Lebenszyklus einer Batterie zu rezyklieren. Da dieses Vorgehen ökonomisch viel interessanter ist als der Abbau von neuen Rohstoffen, ist es wahrscheinlich, dass sich langsam ein Kreislauf einstellt.
- Ausserdem sieht es so aus, dass Autobatterien in statischen Applikationen wiederverwendet werden können, d.h. für die Speicherung von Strom aus dem Netz oder aus eigener Produktion. So verteilen sich die ökologischen Auswirkungen der Batterieherstellung auf zwei Nutzungsphasen statt nur auf eine. Die oben erwähnte Studie der «Fondation pour la nature et l'homme» unterstreicht, dass die Verwendung einer Batterie für ein zweites Leben eine Steigerung des Anteils von photovoltaisch produziertem Strom ermöglicht, denn dadurch kann der Überschuss des tagsüber produzierten Stroms am Abend und in der Nacht verfügbar gemacht werden. Das stellt einen weiteren Beitrag an die Reduktion von Strom aus Kohlekraftwerken dar.
- Drittens: die Batterieherstellung ist in voller Entwicklung. Die Energiedichte von Batterien hat kräftig zugelegt, was bedeutet, dass für die gleiche Speicherkapazität immer weniger heikle Materialien verwendet werden müssen. Einige von ihnen könnten vielleicht ersetzt werden. Zudem verlängert sich die Lebensdauer laufend. Tesla sagt aufgrund der Daten aus ihren Fahrzeugen, dass ihre Batterien über 500'000 km halten²³. Generell ist man überzeugt, dass ein Batterieaustausch nach halber Lebensdauer des Fahrzeugs nicht mehr nötig ist.

4.2.3 Materialien für den Elektromotor

In geringerem Ausmass stellen sich analoge Probleme für den Elektromotor. Die effizientesten und flexibelsten Motoren verfügen über Dauermagneten, was den Einbau von relativ geringen Mengen an Metallen wie Neodym, eine der «Seltene Erden», bedingt. Im Unterschied zu dem, was ihre Bezeichnung suggeriert, sind diese Metalle in der Erdkruste nicht besonders selten, sondern sie kommen nur in geringen Konzentrationen vor. Deshalb ist ihr Abbau kompliziert und energieintensiv. Zu allem Überfluss fällt auch viel Abfall an. Dieser Markt wird vollständig von China dominiert.

Es ist jedoch auch möglich, gute Motoren ohne diese Materialien zu bauen, die dann allerdings etwas Strom für die Bewegung der Magneten brauchen. Dadurch reduziert sich die gesamte Stromeffizienz ein wenig. Bei den Windkraftanlagen kommt man weitgehend ohne die Seltenen Erden aus, die bei den ersten Modellen noch Standard waren. Auch hier könnte sich eine Recyclingkette etablieren, die wirtschaftlich interessant ist.

Zu erwähnen ist, dass auch konventionelle Fahrzeuge insbesondere bei den wertvollen Metallen Probleme verursachen. Katalysatoren verwenden Metalle aus der Platingruppe. Wegen deren hohem Wert ist ein Schwarzmarkt für den Raub von Katalysatoren entstanden!

4.2.4 Rohstoffe: leicht getrübler Vergleich

Unter dem ökologischen Gesichtspunkt wäre es eindeutig am besten, aufs Automobil zu verzichten. Ist dies nicht möglich, so hat der konventionelle Antrieb heute mit Blick auf die Rohstoffe zwar gar keine so schlechte Ökobilanz. Doch der Trend geht in Richtung Elektroantrieb:

- Sowohl bei den Materialien für die Batterien als für die Elektromotoren werden grosse Fortschritte erzielt, welche die Auswirkungen reduzieren. Ausserdem ist offensichtlich, dass das Rezyklieren insbesondere aus ökonomischer Sicht interessant ist.
- Handkehrum bringt die Erschöpfung der einfachen Ölvorräte eine Verschärfung der ökologischen Folgen der Erdölförderung mit sich.

Es gibt einen Aspekt, bei dem wir noch nicht genügend Erfahrungen haben, um zu einer Schlussfolgerung zu kommen: die Lebensdauer des Fahrzeugs. Da der Elektromotor viel weniger stark vibriert als der Verbrennungsmotor, altert er weniger schnell und belastet die anderen Bestandteile des Fahrzeugs weniger stark. Deshalb kommt es nicht selten vor, dass ein elektrischer Trolleybus über 30 Jahre lang im Einsatz steht, während ein Autobus nur rund 15 Jahre fährt. Die Lebensdauer eines Elektromotors ist höchst erstaunlich. In industriellen Anwendungen gibt es Motoren, die laufen auch nach über 50 Jahren noch einwandfrei. Bei der Stromproduktion erreichen Generatoren eine Lebensdauer von 80 Jahren. Mit anderen Worten: Wenn man sich von der Logik der so genannten geplanten Obsoleszenz löst, ist es möglich, für Elektrofahrzeuge mit einer Lebensdauer zu rechnen, die deutlich über jener der heutigen Autos liegt, was die Folgen der Herstellung und Entsorgung im Verhältnis zu den zurückgelegten Kilometern reduziert.

4.3 Lärm und lokale Luftverschmutzung

Der Wegfall des Auspufftopfs ist einer der offensichtlichsten Vorteile eines Elektrofahrzeugs. Wie der Dieselskandal gezeigt hat, sind mit fossilen Brennstoffen betriebene Fahrzeuge weit davon entfernt, für die lokale Luft schadlos zu sein, auch wenn objektiv gesehen in den vergangenen Jahrzehnten Fortschritte erzielt wurden. Was die lokale Luftverschmutzung angeht, ist der Elektroantrieb zweifellos hoch überlegen.

Was den Lärm betrifft, muss man zwei Quellen unterscheiden: einerseits den Motor, andererseits das Geräusch des Luftwiderstands und der Pneu auf der Strasse. Das menschliche Ohr nimmt jeweils den stärksten der beiden Lärmtypen wahr. Beim konventionellen Fahrzeug ist es der Lärm des Motors, der bei Geschwindigkeiten unter 30 bis 50 km/h überwiegt. Bei Lastwagen und Bussen liegt dieser Wert sogar bei 60 km/h. Jenseits dieser Marke sind der Lärm der Pneu wegen des Rollwiderstands und derjenige der Karosserie durch den Luftwiderstand dominierend.

Aus diesem Umstand unterscheidet sich bei beiden Antriebsformen der Lärm bei höheren Geschwindigkeiten kaum voneinander. Diese Feststellung ist jedoch etwas zu relativieren: Elektrofahrzeuge haben in der Regel aus Gründen der Energieeffizienz schmalere Reifen und besonders aerodynamische Karosserien. Die Elektrifizierung kann also dennoch zu einer leichten Lärmreduktion bei höheren Geschwindigkeiten beitragen, auch wenn der Motor dabei direkt keine Rolle spielt.

Da bei tiefen Geschwindigkeiten die Roll- und Luftwiderstandsgeräusche gering sind, überwiegt der Lärm des Motors. In dieser Hinsicht bietet der Elektromotor einen enormen Vorteil, denn er ist praktisch geräuschlos, selbst beim Anfahren. Davon kann man sich in spektakulärer Weise ein Bild machen, wenn die Fahrzeuge bei einem Rotlicht anfahren. Der Unterschied ist sehr ausgeprägt, wenn man einen Dieselaufbus und einen Trolleybus miteinander vergleicht. Der Elektromotor bietet also den doppelten Vorteil, dass die Lärmbelastung in Wohnzonen sinkt, wo der Verkehr eher langsam läuft, und dass er beim Anfahren keinen unregelmässigen, besonders störenden Lärm verursacht. In der Schweiz, wo man häufig – auch in städtischen Gebieten – bergauf fährt, ist der Vorteil des Elektromotors noch ausgeprägter: Anfahren und Fahren am Berg sind bei einem konventionellen Antrieb besonders laut.

Schliesslich darf man die Vorteile in Bezug auf den Lärm von elektrischen Motorrädern und Scootern nicht vergessen. Elektroscooter vermeiden nämlich die besonders störende Lärmbelastung durch benzinbetriebene Motorräder, sei es in der Stadt oder auch auf den Passstrassen. Erwähnt sei auch, dass die Verbrennung bei Scootern besonders schlecht ist, was zur Folge hat, dass sie gemessen an ihrer Grösse für die Luftqualität ausgesprochen schädlich sind.

Zwei glückliche Elektrobiker auf ihren Johammer (Foto David Galeuchet, Solarmarkt)



4.4 Ökologische Gesamtbilanz

Da der ökologische Einfluss eines Fahrzeugs viele sehr unterschiedliche Ebenen aufweist, die vom Abbau der natürlichen Rohstoffe bis zum Lärm reichen, können die Schlussfolgerungen, die man bei einer Ökobilanz zieht, unterschiedlich ausfallen, je nachdem, wie man die verschiedenen Problematiken gewichtet. Ausserdem sollten bessere Analysen und technische Fortschritte die Resultate verbessern. Wenig überraschend haben die Hypothesen zur Gebrauchsdauer des Fahrzeugs, zur Herkunft der Energie und der Rohstoffe sowie zur Entsorgung und zum Recycling einen grossen Einfluss auf die Ökobilanz. Deshalb ist die Kunst der Ökobilanz keine exakte Wissenschaft, sondern ein Annäherungsversuch an die Realität, die uns helfen soll, Entscheidungen zu treffen.

2010 schlug die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) eine Gesamtanalyse nach vier unterschiedlichen Methoden einer Ökobilanz vor, mit dem Versuch einer Synthese unter besonderer Berücksichtigung der Batteriefrage. Es handelt sich um eine sehr umfassende Analyse von Lebenszyklen, die eine Aktualisierung verdienen würde. Eine der vier Methoden (GWP) fokussiert auf die Klimaerwärmung.

Zusammenfassende Ökobilanz nach vier Methoden, für ein Fahrzeug Typ VW Golf, auf der Basis des durchschnittlichen europäischen Strommixes der 2000er Jahre (2010)²⁴

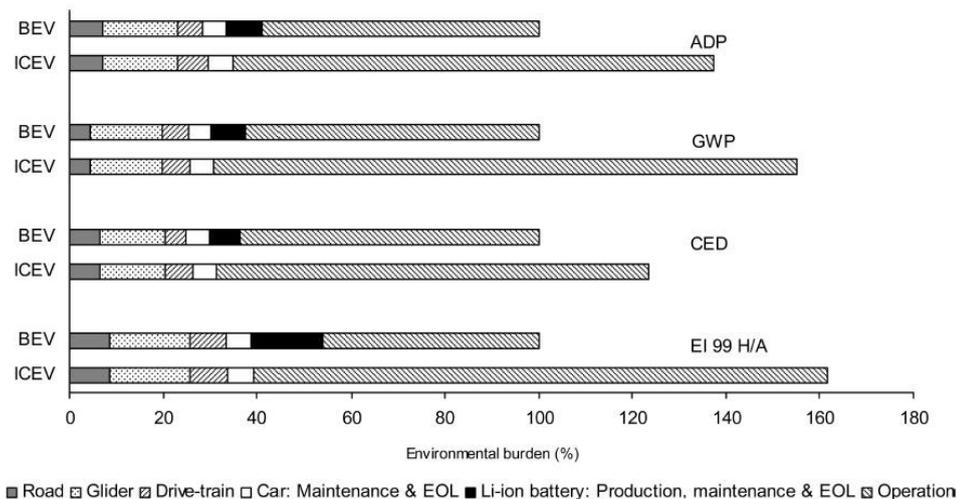


FIGURE 2. Shares correlating with the components of an internal combustion engine car (ICEV, value in % of the BEV) and an electric battery powered car (BEV, the BEV is set as 100%) assessed with four impact assessment methods: abiotic depletion potential (ADP), nonrenewable cumulated energy demand (CED), global warming potential (GWP), and Ecoindicator 99 H/A (EI99 H/A). Road includes construction, maintenance, and end of life treatment (EOL). The absolute values of the components are provided in the Supporting Information.

In dieser Grafik sind die Schäden des Elektrofahrzeugs (BEV) hypothetisch auf 100% festgelegt. Man sieht, dass das konventionelle Fahrzeug (ICEV) eine deutlich schlechtere Bilanz aufweist, je nach Methode zwischen 125% und 165%. Es ist im Übrigen überraschend festzustellen, dass die Batterie maximal 15% der Schäden verursacht. Andererseits ist die Energie, die für die Nutzung des Autos (Betrieb) nötig ist, in jedem Fall für die grössten Schäden verantwortlich. In der Studie wird angenommen, dass man die Elektrizität zu Grunde legt, die im Jahr 2000 in Europa überwog, also mit ziemlich viel Kohlestrom. Die Produktion einer Kilowattstunde Strom hatte damals einen Ausstoss von $\frac{1}{2}$ kg CO₂ zur Folge.

Trotz veralteter Hypothesen, welche die neuesten Fortschritte bei den Batterien und die Zunahme der Produktion von erneuerbaren Energien in Europa nicht einbeziehen, hat das Elektrofahrzeug eine deutlich bessere Bilanz als das mit fossilen Brennstoffen betriebene Auto. Das Resultat ist umso bemerkenswerter, als diese Studie für das Benzinauto die von den Herstellern angegebenen (und notorisch zu tief eingeschätzten) Emissionen berücksichtigt. Die Autoren geben zu bedenken, dass, wenn man hydroelektrischen Strom benutzt, die ökologischen Auswirkungen um rund 40% abnehmen. In diesem Fall wird der Einsatz eines Elektrofahrzeugs dreimal ökologischer.

4.5 Weitere batteriebetriebene Elektrofahrzeuge: Lastwagen, Lieferwagen, E-Bikes, Scooter und Flugzeuge

Die oben erwähnte Studie befasst sich im Wesentlichen mit dem Auto, da dieses für den Grossteil der Emissionen des Strassenverkehrs verantwortlich ist. Allerdings steht die Option der Elektrifizierung auch anderen Fahrzeugtypen offen, insbesondere Fahrzeugen für den Güterverkehr. Es gibt bereits verschiedene Typen von Elektrolastwagen unterschiedlicher Grösse wie auf <https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrolastkraftwagen> nachzulesen ist. Um das Gewicht der Batterien und die Verluste beim Laden und Entladen zu reduzieren, existiert ein Konzept mit stromführenden Oberleitungen für Autobahnen. Ein Pantograph ermöglicht die Stromaufnahme durch den Motor und das gleichzeitige Aufladen der Batterie. Diese versorgt den Motor auf jenen Abschnitten, die nicht mit Oberleitungen versehen sind. Bei Elektrolastwagen ist die Ladezeit von Batterien nicht zwingend ein Nachteil, da der Chauffeur ohnehin verpflichtet ist, Pausen einzulegen.

Illustration: Teststrecke für Elektrolastwagen in Schweden (Bild Siemens, siehe Link)²⁵



Grundsätzlich steht die Option Strom gleichermassen für Lieferwagen, Motorräder und Scooter offen. Da diese Fahrzeuge vor allem im Stadtverkehr unterwegs sind, sind die lokalen Vorteile sehr ausgeprägt.

Zahlreiche Städte, darunter London, setzen Linienbusse mit Batterie ein. Überhaupt ist die Technologie der Batterie-Trolleybusse in voller Entwicklung. Wie der Lastwagen auf obenstehendem Bild lädt der Batterie-Trolleybus seine Batterien auf, wenn er auf einem mit Oberleitung ausgerüsteten Streckenabschnitt unterwegs ist. Er kann sich jedoch von der

Stromleitung abkoppeln und ein paar Kilometer ohne Stromeinspeisung fahren, um zum Beispiel eine neue Endhaltestelle zu erreichen. Diese Technologie macht es möglich, die hohen Investitionen in den Ausbau neuer Linien mit Strom-Oberleitungen zu vermeiden, oder ganz darauf zu verzichten, zum Beispiel in Zonen, in denen Oberleitungen optisch stören. Ein solches Vorgehen wurde in Villeneuve (VD) gewählt, um das neue Spital von Rennaz zu erschliessen. Genf testet gerade einen Elektrobus mit Superkondensatoren, der an jeder Haltestelle in wenigen Sekunden aufgeladen wird («Trolleybus Optimisation Système Alimentation, TOSA»).

Das Elektrovelo – E-Bike – ist das effizienteste Motorfahrzeug überhaupt, dank seiner tiefen Geschwindigkeit und seinem geringen Leergewicht, das deutlich unter dem Gewicht des Fahrers oder der Fahrerin liegt. Es verbraucht höchstens 1 Kilowattstunde auf 100 km, oft sogar noch weniger. Das bedeutet, dass es mindestens 10mal effizienter ist als die Bahn, die ihrerseits ja bereits extrem effizient ist. Und selbstverständlich kann der benötigte Strom aus erneuerbarer Produktion stammen. Das heisst, wenn das Elektrovelo das fossil betriebene Auto oder den Scooter ersetzt, bedeutet es einen beträchtlichen Gewinn für die Umwelt. Es ermöglicht, die Reichweite des Langsamverkehrs und damit die Kombileistung der Mobilitätskette Langsamverkehr und öffentlicher Verkehr zu erhöhen.

Die Frage einer Elektrifizierung des Flugverkehrs erschien vor weniger als 10 Jahren noch völlig illusorisch. Beim Start des Projekts Solar Impulse schloss man aus, dass die Fliegerei in grossem Mass elektrifiziert werden könnte, denn es schien unmöglich, genügend Strom zu speichern. Das Projekt der Weltumrundung in einem Solarflugzeug war eine Allegorie der Zukunft, *erneuerbar und effizient*, mit dem Ziel, andere Bereiche mitzuziehen. In der Zwischenzeit gibt es mehrere Prototypen von kleinen Elektroflugzeugen, und mehrere Flugzeughersteller arbeiten an Projekten von mit Strom betriebenen Verkehrsflugzeugen für den Kurzstreckenverkehr. Schwer zu sagen, ob diese Projekte wirklich einmal im wahrsten Sinn des Wortes abheben. Im übertragenen Sinn scheint dies jedoch bereits der Fall zu sein.

4.6 Ein paar Gedanken zu weiteren Alternativen in Sachen Energie und Antrieb

4.6.1 Aufladbare Hybrid-Fahrzeuge mit Batterie

Aufladbare Hybrid-Fahrzeuge sind solche, die gleichzeitig mit Strom und Benzin oder Diesel fahren können. Sie verfügen über eine kleinere Batterie als ein übliches Elektrofahrzeug, die nur für eine Reichweite von 50 bis 100 km mit Strom ausreicht. Der Verbrennungsmotor wird für die Distanzen benutzt, die über der Batteriekapazität liegen, entweder direkt oder als Generator für die Aufladung der Batterien («Range Extender»). In der Praxis legen diese Fahrzeuge den grössten Teil ihrer Kilometerleistung mit Strom zurück, was sehr vorteilhaft ist. Ökologisch gesehen ist die kleindimensionierte Batterie vorteilhaft, doch wird dieser Vorteil aufgehoben durch ein höheres Gewicht (2 Motoren) und dadurch, dass ein Teil der Kilometer mit fossilem Antrieb zurückgelegt wird. Vermutlich ist es eine Übergangstechnologie, die jedoch häufig mit Elektrofahrzeugen gleichgesetzt wird. Diese Fahrzeuge waren in den letzten Jahren relativ erfolgreich, aber der Fortschritt bei den Batterien verringert ihre Anziehungskraft. Das Fahrzeug muss nämlich über zwei Antriebssysteme verfügen, was Auswirkungen auf den Preis (und das Gewicht) hat. Ausserdem besteht die Gefahr, dass dieser Fahrzeugtyp einen Grossteil seiner Fahrleistung mit fossilem Antrieb fährt.

4.6.2 Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzelle

Es handelt sich um Fahrzeuge mit einem Elektromotor, der den Strom aus einer Brennstoffzelle

bezieht. Die Brennstoffzelle funktioniert in den meisten Fällen mit Wasserstoff. Dieser Fahrzeugtyp hat seine Vorteile natürlich in der intrinsischen Effizienz des Elektromotors. Was die lokalen Schäden betrifft, ist die Brennstoffzelle sehr vorteilhaft, denn das Verfahren besteht aus einer Reaktion von Wasserstoff- und Sauerstoffmolekülen, und was dabei übrig bleibt ist Wasser.

Die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse hingegen verursacht einen Energieverlust von 30 bis 40%. Ausserdem fällt bei der Umwandlung der im Wasserstoff gebundenen Energie in Elektrizität ein Verlust (Wärme) in der Grössenordnung von 40 bis 60% an. Deshalb ist die Gesamteffizienz nicht besonders hoch, wenn man sie ab der Stromquelle misst. Sie kann vermutlich auf ein knappes Drittel geschätzt werden.

Dennoch: Wasserstoff und die übrigen Kohlenwasserstoffe, die man in einer Brennstoffzelle verwenden kann, bieten zwei grosse Vorteile: ihre sehr hohe Energiedichte und die Möglichkeit, die Substanzen relativ leicht verlustlos über eine lange Dauer zu speichern. Dieser Vorteil erlaubt einerseits, mit einer sehr hohen Reichweite zu rechnen. Andererseits ist es leicht, sie dazu zu verwenden, saisonal anfallende Elektrizität zu speichern, sei dies Überschüsse aus der Solarproduktion im Sommer in den Winter zu transferieren oder Überschüsse aus der Windenergieproduktion des Winters in den Sommer. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass diese saisonale Speicherung in stationären Installationen im grossen Stil und mit höherer Effizienz leistungsfähiger ist als in Fahrzeugen.

Selbstverständlich macht diese Technologie für die Produktion von Wasserstoff nur Sinn, wenn man Strom aus erneuerbarer Produktion verwendet. Andererseits: Wenn man Wasserstoff produziert, indem man die Moleküle von fossilen Brennstoffen aufspaltet, produziert man mehr CO₂-Emissionen, als wenn Diesel oder Benzin direkt verbrannt werden. In der Vorstellung der breiten Bevölkerung gilt Wasserstoff als ausserordentliche Energiequelle. In Tat und Wahrheit ist es eine Zwischenform der Energie, welche die Speicherung von Energie ermöglicht, aber keine eigentliche Energiequelle. In der Natur gibt es keine Wasserstoffreserven, die man als solche anzapfen könnte.

4.6.3 Konventionelle Fahrzeuge mit Antrieb durch erneuerbares Synthesegas

Es ist möglich, überschüssigen Strom, vorzugsweise erneuerbaren, in synthetisiertes Brenngas umzuwandeln. Die unter der Bezeichnung «Power-to-Gas» bekannte Technologie ermöglicht die Herstellung von Methan (chemisch gleich wie Erdgas). Zu den möglichen Anwendungen gehört der Antrieb eines Gasautos. Technisch ist dieses einem Benzinauto nahe verwandt. Es ist möglich, flüssige synthetische Treibstoffe herzustellen, das man mit fossilem Brennstoff mischt.

Aber nicht alles, was technisch möglich ist, ist zwingend auch ökonomisch und ökologisch erwünscht. Bei der ganzen Kette der Energieumwandlung ist die Produktion von Synthesegas für den Verbrauch in einem Auto nicht sehr effizient. Man verliert zunächst 50% der Energie bei der Umwandlung von Strom in Gas, danach ungefähr 75% bei der Umwandlung von Gas in mechanische Energie im Auto (wie beim Benzin). Die Gesamteffizienz liegt deshalb bei rund 12%. Daher ist dieser Weg nur für die Speicherung von vorübergehenden Überschüssen an erneuerbarem Strom ins Auge zu fassen, von dem man nicht weiss, was man damit machen soll. Es ist zweifelhaft, ob solche Überschüsse in genügender Menge anfallen.

Im Vergleich dazu ist die Verwendung der Technologie «Power-to-Gas» zur Speicherung der Energie während ein paar Monaten und dann zur Herstellung von Strom durch Gasturbinen vielversprechender. Die Gesamteffizienz liegt bei rund 30%. So gespeicherter Strom kann nicht nur Batteriefahrzeuge antreiben, sondern auch die Stromversorgung in ungünstigen Jahreszeiten stabilisieren.

4.6.4 Verwendung von Biotreibstoff in Verbrennungsmotoren

Die Euphorie des letzten Jahrzehnts über Biotreibstoffe ist glücklicherweise fast vollständig verschwunden. Die Produktion kleiner Mengen Biotreibstoff erfordert riesige Flächen an Ackerland. Diese Anbauflächen stehen in Konkurrenz mit den Anbauflächen für Lebensmittel und werden oft durch Waldrodung gewonnen. Ausserdem erfordert der Anbau von energiereichen Pflanzen den Einsatz von Düngemitteln, deren Herstellung ihrerseits sehr energieintensiv ist. Schliesslich ist der Einsatz von Biotreibstoff in einem Verbrennungsmotor genauso ineffizient wie derjenige von Benzin. Kurz: Es handelt sich eindeutig um eine nur scheinbar gute Idee.

Einziges Ausnahmestück sind Biotreibstoffe aus Biomasse (Abfall, Mist, Haushaltsabfälle, Holzabfall, gebrauchtes pflanzliches oder tierisches Fett usw.). So interessant diese Quellen auch sein mögen, sie stehen nur in sehr begrenztem Ausmass zur Verfügung.

5 Elektrifizierung der Mobilität auf der Strasse: ein Muss für das Klima

In den vorhergehenden Kapiteln wurde die Ausgangslage erörtert, die wir in vier Punkten zusammenfassen können.

Erstens müssen die von der Mobilität verursachten CO₂-Emissionen gesenkt werden, ein Bereich, in dem die Schweiz zu spät dran ist.

Zweitens deckt die motorisierte individuelle Mobilität gegenwärtig drei Viertel aller Personenverkehrsleistungen zu Land ab. Zudem ist die Strasse für 60% aller Gütertransporte verantwortlich, beim Binnenverkehr sind es gar noch mehr.

Drittens hat der Verkehr einen massiven Einfluss auf die Umwelt in den Bereichen Energie, Klima, Materialien, Luftverschmutzung, Lärm und Raum. Die Mobilität auf der Strasse ist die bei weitem problematischste Form der Mobilität. Im Vergleich dazu ist der öffentliche Verkehr weitaus weniger schädlich, ebenso der noch umweltfreundlichere Langsamverkehr. Der elektrische Antrieb zahlreicher ÖV-Linien, die direkt vom Netz gespeist werden (Bahn, Tram, Trolleybus), macht diese sehr vorteilhaft, umso mehr als sie keine Batterie brauchen.

Und viertens hat die Elektromobilität auf der Strasse trotz den Batterien eine deutlich bessere Gesamtbilanz als der fossile Antrieb. Neben dem offensichtlichen klimatischen Vorteil ist der elektrische Antrieb auch klar besser in Bezug auf Lärm und Luftverschmutzung. Dank dem technischen Fortschritt kann man im Übrigen mit einem Rückgang der negativen Folgen der Batterien rechnen. Der Einsatz von weitgehend erneuerbarem Strom ist zentral, damit die Elektrifizierung der Strassenmobilität für Umwelt und Klima wirklich positiv ausfällt.

So sprechen fast alle Argumente für eine rasche Umstellung der Mobilität auf der Strasse auf Strom. Doch dieses Vorgehen macht nur Sinn, wenn es im Rahmen einer umfassenden Verkehrssanierung mit folgenden zwei primären Handlungsrichtungen erfolgt:

- Vermeidung unnötiger Fahrten und Bemühung, die Mobilitätsbedürfnisse zu reduzieren.
- Verlagerung der Fahrten auf weniger umweltverschmutzende Transportarten.

Um diese Punkte zu konkretisieren, müssen folgende Politiken umgesetzt oder verstärkt werden:

- Eine Raumplanung, die das Verkehrsbedürfnis einschränkt.
- Eine Plafonierung der Kapazitäten des Strassen- und Autobahnnetzes; die Sättigung ist ein guter Mengenregulator, weil die menschliche Natur Staus verabscheut.
- Die Förderung einer wirtschaftlichen und sozialen Organisation, die Zwangsmobilität und unnötigen Verkehr reduziert.
- Eine Verteuerung der Kilometerkosten, zumindest für die fossile Mobilität. Die Zunahme des Flugverkehrs muss gebremst und verteuert werden.
- Ein Ausbau des öffentlichen Verkehrs mit direkten Bahnverbindungen als Alternative zu den Kurzstreckenflügen.
- Ein Ausbau des Langsamverkehrs im Bereich der Infrastrukturen, der Sensibilisierung und der Sicherheit.
- Eine Reduktion der Präsenz des Strassenverkehrs in Wohngebieten.
- Härtere umweltpolitische Anforderungen an Fahrzeuge und verstärkte Kontrollen.

Alle diese Bemühungen werden jedoch nicht ausreichen, die ökologische Herausforderung der

Mobilität alleine zu meistern, denn der motorisierte Individualverkehr verschwindet nicht einfach so. Da er immer weiter wächst, wäre eine Stabilisierung seines Volumens bereits ein schöner Erfolg.

Genau aus diesem Grund muss man auch mit der Sanierung der Mobilität auf der Strasse vorwärtsmachen, und zwar bei Personen und Gütern. In dieser Hinsicht stellt die Elektrifizierung der Autos und Lieferwagen – vielleicht eines Tages auch der Lastwagen – heute eine Option dar, um die man nicht herumkommt. Aus unserer Sicht gibt es keinen Widerspruch zwischen dieser Elektrifizierung einerseits und dem Ausbau des öffentlichen Verkehrs, des Langsamverkehrs und einer intelligenten Raumplanung andererseits. Im Gegenteil sind das zwei Seiten ein und derselben Medaille.

Mit ihrem weitgehend CO₂-freien Strommix müsste sich die Schweiz an die Spitze der Elektrifizierung setzen. Schrittweise muss dann die erneuerbare Produktion verstärkt werden, um den Import von schmutzigem Strom für den Antrieb der Elektroautos zu vermeiden.

Der zusätzliche Verbrauch könnte durch eine verbesserte Effizienz der heutigen Stromnutzung weitgehend kompensiert werden, so wie in der Energiestrategie 2050 vorgesehen. Im Übrigen ist in den letzten Jahren eine Stabilisierung des Stromverbrauchs zu beobachten (siehe 6.3)²⁶. Alles in allem wird angesichts der Lebensdauer der Autos die Elektrifizierung der Mobilität nur schrittweise möglich sein, selbst wenn man das Tempo erhöht.

Letztlich wird, wie das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung festhält, der allgemeine Einfluss dieser Elektrifizierung stark von der Art abhängen, wie sie umgesetzt wird. Man muss also vor allem die richtigen Massnahmen ergreifen.

Bevor wir in Kapitel 7 auf diese Massnahmen eingehen, soll noch kurz die sozioökonomische Auswirkung dieses Wandels analysiert werden. Das ist Thema des nachfolgenden Kapitels.

6 Sozioökonomische Beurteilung

Die Elektrifizierung der individuellen Mobilität rechtfertigt sich vor allem mit Sorgen um die Umwelt, insbesondere um das Klima. Trotzdem drängt sich auch eine Beurteilung der sozioökonomischen Auswirkungen auf. Es sollen drei Hauptstränge analysiert werden: die Auswirkung auf die Schweizer Haushalte, die weltweite soziale Auswirkung und die Auswirkung auf die Schweizer Wirtschaft.

6.1 Auswirkung auf die Haushalte in der Schweiz

Wie in vielen anderen Bereichen der Energiewende findet eine Verlagerung der Betriebskosten hin zu den Investitionskosten statt. Die Herstellung des Fahrzeugs wird etwas teurer, der Betrieb kostet dafür wegen den geringeren Strom- und Unterhaltskosten des Elektrofahrzeugs weniger. Ganz allgemein zeigen die meisten Studien, dass die Gesamtkosten eines Elektroautos mit jenen eines konventionellen Autos vergleichbar sind. Dass keine Benzinsteuern bezahlt werden müssen, ist ein nicht zu vernachlässigender Steuervorteil, der jedoch langfristig verschwinden dürfte. Das wird durch tiefere Batteriekosten und die Standardisierung der Bestandteile für Elektrofahrzeuge kompensiert. Hier gibt es noch grossen Spielraum für Weiterentwicklungen, wir stehen erst am Anfang der Technologie.

Ein Elektroauto in vergleichbarer Grösse ist wegen des geringeren Lärms und der fehlenden Vibrationen des Motors deutlich komfortabler. Das ist ein nicht-monetärer Vorteil für die Nutzenden. Es ist wahrscheinlich, dass sich die Lebensdauer des Autos (abgesehen von der Batterie) verlängern könnte, was die Kosten weiter senken und die Ökobilanz verbessern würde.

Da die Leasing-Systeme auf dem Automarkt heute bereits gut ausgebaut sind, sind die Autoverkäufer vermutlich in der Lage, die höheren Investitionskosten durch eine Verteilung auf die Nutzungsdauer des Fahrzeugs zu kompensieren. Vorausgesetzt, es werden keine Regulierungsfehler gemacht, ist es wahrscheinlich, dass die Elektrifizierung beim Segment der höheren Autoklassen beginnt, was das Risiko einer negativen Auswirkung auf die Kaufkraft weiter senkt.

Es ist auch zu betonen, dass die positiven Nebenwirkungen (Lärm und Luftqualität) keineswegs vernachlässigt werden dürfen, insbesondere entlang der Verkehrsachsen, wo häufig die am stärksten benachteiligten Bevölkerungsgruppen wohnen.

6.2 Globale sozioökonomische Auswirkung

Auf sozialer Ebene wären die Folgen eines Verlusts der Kontrolle über das Klima und einer massiven Erwärmung absolut dramatisch. Die unerträgliche Entwässerung und Erwärmung gewisser Regionen der Erde, der Wasserüberfluss in anderen und ein Anstieg des Meeresspiegels um 60 bis 100 cm könnten Hunderte von Millionen Menschen zur Migration zwingen. All diese Personen hätten damit auch keine würdigen Lebensbedingungen mehr. Die Klimaerwärmung in den Griff zu bekommen heisst also, die schwächsten Bewohnerinnen und Bewohner der Erde vor grossen Katastrophen zu schützen. Für sie ist die Elektrifizierung klar vorteilhaft.

Angesichts der schweren Klimaprobleme wiegen die Unsicherheiten bezüglich der genauen Ökobilanz der Batterien (ohne Verbrennung) nicht sehr stark, auch wenn alles unternommen werden muss, um deren Auswirkungen zu begrenzen.

6.3 Auswirkung auf die Schweizer Wirtschaft

Da die Schweiz gegenwärtig keine Autos mit fossilem Antrieb baut, ist sie vom Wandel der Fabrikationsketten nicht direkt betroffen. Zwar spielen hier zahlreiche Zulieferer der Automobilindustrie mit, doch ihre Flexibilität und die technologische Spitzenposition der Schweiz bringen sie bei diesem Wandel in die Poleposition. Um nur zwei Beispiele zu erwähnen: Es gibt ein Schweizer Unternehmen, das Ladestationen herstellt, und ein anderes, das an der Spitze der Systeme für Induktionsladung (also ohne Kabel) von Elektroautos steht. Unser Land verfügt über eine gute praktische Erfahrung der Zusammenarbeit zwischen öffentlichem Verkehr und individueller Mobilität. Die ökologische Sanierung der Mobilität auf der Strasse stellt zweifelsfrei eine Chance für die Schweizer Wirtschaft dar. Das spricht für eine rasche Wende.

Bei der Energierechnung werden die Auswirkungen sehr erfreulich sein. Die Schweiz verbraucht gegenwärtig 6 Milliarden Liter Diesel und Benzin pro Jahr. Die Bruttokosten dieser Import-Treibstoffe schwanken je nach Jahr und je nach Wechselkurs sowie Barrel-Preis zwischen 3 und 6 Milliarden Franken. Insgesamt geben Haushalte und Unternehmen zwischen 8 und 12 Milliarden inklusive MWST pro Jahr aus. Diese Zahl enthält 5 bis 6 Milliarden Steuern (fixe Mineralölbesteuerung und preisabhängige MWST). Die Ausgaben haben eine grosse Auswirkung auf die Kaufkraft der Haushalte und die Kosten der Unternehmen.

Eine vollständige Elektrifizierung der Autos würde etwa 12 Terawattstunden oder ein Fünftel des heutigen Energieverbrauchs benötigen. Zu beachten ist, dass das Schweizer Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung eine Schätzung liefert, die sogar deutlich tiefer liegt²⁷. Wenn man noch weiter geht und den völligen Ersatz von Diesel und Benzin durch Strom anstrebt (für alle Fahrzeuge), bräuchte es zwanzig TWh. Wenn diese Nachfrage vollständig durch neue einheimische Anlagen zur Stromerzeugung bei einem Preis von 15Rp pro kWh abgedeckt würde, würde das Bereitstellen der Energie 3 Milliarden kosten (nur die Energie, ohne Netzgebühr und Steuern). Es handelt sich hier um Maximalkosten, denn es ist auch wahrscheinlich, dass man die Produktion von bereits amortisierten Anlagen nutzen würde (im Durchschnitt für 7 bis 8 Rappen). Hervorzuheben ist, dass zum Dumpingpreis von 5 Rappen an der Strombörse diese 20 TWh pro Jahr nur eine Milliarde kosten würden, doch ist dieser Tarif nicht nachhaltig. Ausgehend davon, dass die Infrastruktur für die Stromverteilung bereits vorhanden ist und nur punktuelle Verstärkungen benötigt und man die Produktion von bestehenden und alten Einrichtungen mischen würde, könnten sich die Kosten für die elektrische Energie der Mobilität der Höhe von 2 Milliarden annähern, Verteilung inbegriffen. Sie wäre so auf jeden Fall wesentlich tiefer als die 3 bis 6 Milliarden vor Steuern, die heute für Benzin und Diesel ausgegeben werden. Um eine Grössenordnung anzugeben: Die gesamte Stromrechnung in der Schweiz liegt bei 9 bis 10 Milliarden (Energie, Netz und Abgaben) für ungefähr 60 TWh pro Jahr, während es bei der Mobilität um 12 bis 20 TWh geht.

Das Ergebnis ist keineswegs überraschend, denn es ist genau diese geringe Höhe der Energiekosten, welche die Ankaufskosten eines Elektroautos ausgleicht. Aus volkswirtschaftlicher Sicht muss man berücksichtigen, dass ein Grossteil der Ausgaben für die Stromherstellung in der Schweiz anfallen würde, während der Rohstoff Erdöl vollständig importiert wird. Für die in den letzten Jahren ziemlich angeschlagene Schweizer Strombranche handelt es sich um eine Chance.

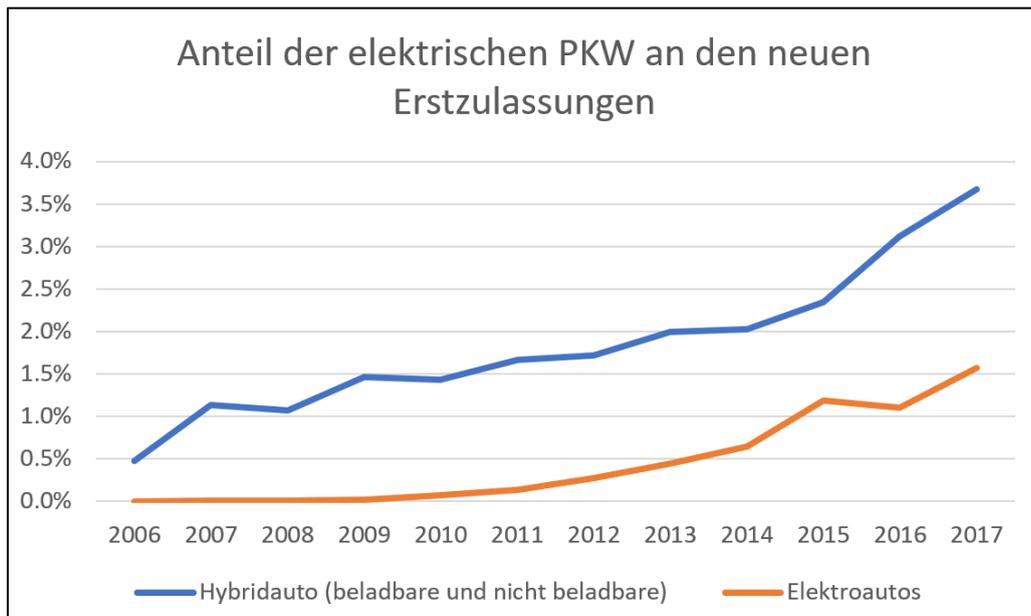
Aus sozioökonomischer Sicht gibt es also keine substanziellen Nachteile bei einer Elektrifizierung der individuellen Mobilität, dafür aber mehrere Vorteile.

7 Massnahmen

7.1 Ausgangslage

Gegenwärtig ist der Anteil an Elektroautos in der Schweiz sehr bescheiden²⁸. 2017 waren nur 1,6% der in Verkehr gebrachten Neuwagen rein elektrisch, 3,7% waren Hybridfahrzeuge (wovon ein Drittel an der Steckdose aufladbar).

Gegenwärtige Lage auf dem Neuwagenmarkt²⁹



Wie in der Grafik ersichtlich, ist die Entwicklung sehr ermutigend, aber dennoch völlig ungenügend angesichts der Klimaproblematik und dem Ziel, unsere Lebensweise bis 2050 vollständig vom CO₂ zu befreien. Der Trend muss beschleunigt werden.

Wenn die Elektrofahrzeuge 2020 10% der Neuimmatrikulationen erreichen, 2025 30% und 2030 50%, so können wir davon ausgehen, dass 2032 30% des Fahrzeugbestands elektrifiziert sein wird. Die relativ lange Nutzungsdauer der Fahrzeuge (15 Jahre) erklärt diese langsame Entwicklung.

7.2 Leitlinien

Die generelle Strategie, die wir vorschlagen, sieht wie folgt aus:

- Ziel ist, die fossile individuelle Mobilität durch die elektrische individuelle Mobilität zu ersetzen.
- Der Strom für die Mobilität muss im Wesentlichen aus Quellen erneuerbarer Herkunft stammen.
- Die ergriffenen Massnahmen dürfen keinesfalls einen Anstieg der Fahrkilometer bewirken, den öffentlichen Verkehr schwächen oder den Langsamverkehr benachteiligen.

Ein «Rebound-Effekt» muss verhindert werden, das heisst die Elektrifizierung der individuellen

Mobilität darf zu keiner Erhöhung der gefahrenen Kilometerleistung führen. Dieser Rebound könnte durch ökonomische Parameter herbeigeführt werden: Das mit der Nutzung des Elektroautos eingesparte Geld würde umgehend in zusätzliche Autokilometer investiert, schlimmstenfalls gar in Flugkilometer. Solange die Gesamtkosten eines Elektroautos (Investition und Nutzung) mit jenen eines konventionellen Autos vergleichbar sind, ist das Risiko relativ begrenzt, selbst wenn die Nebenkosten eines zusätzlichen Kilometers tief sind. Beim Flugverkehr ist zu vermuten, dass eine solche Wirkung via Preissenkung zur explosionsartigen Zunahme des Verbrauchs beigetragen hat. Deshalb ist es so wichtig, den Mobilitätspreis nicht zu senken!

Doch der Rebound könnte auch durch einen psychologischen und moralischen Effekt ausgelöst werden, den man den «Margarine-Effekt» nennen könnte: die gleiche Wirkung wie bei Personen, die Butter durch Margarine ersetzen in der Hoffnung, dabei abzunehmen, sich aber schliesslich erlauben, mehr zu essen, «*da es ja Margarine ist*». Um dieses Risiko einschätzen zu können, müsste man den Anteil der Autofahrenden kennen, die sich aus ökologischem Gewissen in der Länge und Häufigkeit ihrer Fahrten substantiell einschränken. Und evaluieren, welcher Anteil durch den Kauf eines Elektroautos dabei zunichtegemacht würde.

Persönlich glaube ich nicht, dass dieser «Margarine-Effekt» sehr gross wäre, weil mir der Grad der Hemmung bei der Autonutzung tief scheint. Und wenn dieser Effekt des ökologischen Gewissens so stark wäre, müsste er auch eine dämpfende Wirkung auf Reisen im Flugzeug haben, was nicht der Fall zu sein scheint.

Alles in allem macht die Sättigung der Strasseninfrastruktur eine Zunahme der Kilometer, die jede und jeder zurücklegt, nicht sehr attraktiv. Das Zeitbudget, das die Leute bereit sind in ihre Fahrten zu investieren, ist nicht unbegrenzt. Das Aufkommen von fahrerlosen Fahrzeugen könnte zwar die Ausgangslage verändern, doch das Umweltproblem wäre dann noch akuter wenn keine Umstellung auf Strom erfolgt.

7.3 Massnahmen des Bundes

Bis heute gibt es keine klare Stellungnahme des Bundes zugunsten der Elektromobilität, mit der ebenso erfreulichen wie anekdotischen Ausnahme des medial verbreiteten Kaufs eines Elektrofahrzeugs durch die UVEK-Vorsteherin.

Auf Bundesebene sind verschiedene Arten von Massnahmen ins Auge zu fassen. Wir unterteilen sie in vier Gruppen: 1. Kommunikation, 2. Erleichterung, 3. Anreize und Pflichten sowie 4. Massnahmen für eine bessere Ökobilanz der individuellen Elektromobilität.

7.3.1 Für eine klare Stellungnahme des Bundes zugunsten der Elektrifizierung

Der Bund muss zusammen mit anderen Partnern eine Kommunikationskampagne für den Kauf von Elektrofahrzeugen durchführen. Dies auf drei Wegen:

- **Kaufempfehlung** für Elektrofahrzeuge (oder hybride aufladbare Fahrzeuge).
- **Kaufberatung für eher sparsame Elektrofahrzeuge.** Als Argument sollen die punktuellen Alternativen wie Miete oder Carsharing aufgezeigt werden, wenn der oder die Kaufinteressierte vorübergehend ein grösseres oder leistungsfähigeres Fahrzeug benötigt.
- **Empfehlung, erneuerbaren Strom zu kaufen** oder seinen eigenen erneuerbaren Strom zu nutzen.

7.3.2 Massnahmen für die Benutzerfreundlichkeit

Folgende Massnahmen erscheinen uns angebracht:

- Im Bundesgesetz eine **Pflicht einführen, jeden öffentlichen Parkplatz** mit mehr als 10 Stromtankstellen auszurüsten. Bei Firmenparkings mit mehr als 20 Plätzen gilt die gleiche Massnahme. Parkplätze entlang der Strassen wären davon nicht betroffen. Selbstverständlich sind die so ausgerüsteten Plätze den Elektrofahrzeugen vorbehalten. Der zur Verfügung gestellte Strom muss obligatorisch aus erneuerbarer Quelle stammen. Diese Installationen könnten als steuerlich absetzbare oder in 2 Jahren amortisierbare Umweltschutzinvestitionen angesehen werden.
- Für Mieter und Mitbesitzer **das Recht einführen, auf eigene Kosten** in den Parkings der Wohngebäude **eine Stromtankstelle einzurichten**.
- Im Stromrecht vorsehen, dass Personen, die ihr Fahrzeug mit eigenem Solarstrom aufladen, während den ersten 10 Jahren nach dem Bau der Solaranlage **von der Abgabe für den Transport des eigenen Stroms, den sie anderswo als zu Hause beziehen, befreit werden**. Es wäre also ohne Zusatzkosten möglich, das eigene Fahrzeug am Arbeitsplatz mit dem in Echtzeit zu Hause produzierten Strom aufzuladen. Mit der Bewilligung eines solchen Ferneigenverbrauchs gibt man den Anreiz, in Solaranlagen zu investieren und bei deren Grösse ehrgeizig zu sein.
- Die Gemeinden ermächtigen, **die Zufahrt zu bestimmten Zonen Elektrofahrzeugen vorzubehalten** («Lex Zermatt»), wie das im Ausland in einigen Städten der Fall ist.
- **Pflicht zur Interoperabilität der öffentlichen und halböffentlichen Tanksäulen** (z. B. bei Hotel- oder Firmenparkplätzen)³⁰: Alle müssen Zugang zu jeder Tanksäule haben, ohne Aufpreis im Vergleich zu dem, was sie sonst ihrem Lieferanten zahlen.
- **Die Elektrofahrzeuge bezahlen logischerweise keine Brennstoffabgabe. In einer ersten Phase soll dieser Vorteil weiterbestehen, indem der Staat verzichtet, einen steuerlichen Beitrag der E-Autos für Strasseninfrastrukturen zu erheben** (mit Ausnahme der Autobahnvignette). Ein solcher Beitrag kann erst dann schrittweise eingeführt werden, wenn die Dynamik genügend gross ist, wenn zum Beispiel die Schwelle von 40% an elektrischen Neuimmatriculationen erreicht wird. Dann könnte die Besteuerung proportional zum verbrauchten Strom erfolgen, um die sparsamsten Elektrofahrzeuge zu begünstigen und zusätzliche Kilometer unattraktiv zu machen.

7.3.3 Anreize und Pflichten

In mehreren Bereichen ist anzustreben, dass eine totale oder teilweise Elektrifizierung obligatorisch ist. Zu diesem Zweck könnten folgende Massnahmen ergriffen werden:

- **Pflicht, die Lieferwagenflotten** ab einer (noch zu bestimmenden) gewissen Grösse und gewissen jährlichen Kilometerleistung **zu elektrifizieren**. Wirtschaftlich gesehen ist das auf jeden Fall vorteilhaft³¹. Diese Pflicht müsste auch auf Subunternehmen ausgedehnt werden. Sie ist umso gerechtfertigter, als Lieferfahrzeuge unter 3,5 Tonnen keine leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA) bezahlen müssen und gegenwärtig gegenüber den Lastwagen von einem diskutablen Steuervorteil profitieren. Die Gegenleistung müsste hier die Elektrifizierung sein.

- Heute sind die **konzessionierten öffentlichen Transportunternehmen weitgehend von der Mineralölsteuer und dem Mineralölsteuerzuschlag** befreit. Es handelt sich dabei um eine regelrechte Subvention von Diesel, welche die Rentabilität der Elektrifizierung von Autobussen untergräbt. Diese Befreiung müsste aufgehoben werden, ausser vielleicht vorübergehend für Unternehmen, die sich vertraglich verpflichten, ihre Autobusflotte schrittweise zu elektrifizieren, um ihnen so grösseren finanziellen Spielraum zu geben.
- **Minimalquote für Elektrofahrzeuge bei den Neuzulassungen festlegen**, zum Beispiel gemäss einer Kurve, die von 10% im Jahr 2020 auf 30% 2025 und 50% 2030 ansteigt. Wenn die Autoimporteure dieses Ziel nicht einhalten, muss das Bundesgesetz analog dem System der CO₂-Emissionsbeschränkungen Sanktionen vorsehen. Die Pflicht, einen höheren Anteil an Elektrofahrzeugen zu verkaufen, wird den Konstrukteuren den Anreiz geben, Finanzierungsarten vorzuschlagen, mit denen die anfänglichen Mehrkosten auf die Lebensdauer des Fahrzeugs und/oder die Kilometer verteilt werden können. Einige von ihnen machen das im Übrigen bereits. **Als Alternativmassnahme könnte man den Kauf von Elektrofahrzeugen finanziell unterstützen** und dafür einen Teil jener Finanzmittel einsetzen, die aus der Verpflichtung stammen, die Treibstoffemissionen zu kompensieren (die Kumulierung der beiden Massnahmen wäre unlogisch).
- Als Ergänzung zur vorhergehenden Massnahme damit **aufhören, die Elektroautos im Dispositiv der CO₂-Emissionsbeschränkungen von 95 gr. pro km** im Durchschnitt einer Flotte zu verbuchen. Denn dieses Dispositiv führt dazu, dass jede Zulassung eines Elektrofahrzeugs den Emissionsdurchschnitt pro Fahrzeug des Importeurs senkt und ihm so im Gegenzug erlaubt, mehrere grosse umweltverschmutzende SUV zu verkaufen. Die Aufhebung dieser Bestimmung wird die Verkäufer von Grosswagen sofort zwingen, hauptsächlich Elektrofahrzeuge oder hybrid-aufladbare Fahrzeuge zu vermarkten. Da es sich um ein Segment mit hoher Kaufkraft handelt, stellt das kein Problem dar.
- **Spätestens 2040 muss der Verkauf von Verbrennungsmotoren verboten werden**, wie in mehreren europäischen Ländern vorgesehen.

7.3.4 Massnahmen für eine bessere Ökobilanz der individuellen Elektromobilität

Die Elektromobilität auf der Strasse muss so aufgegleist werden, dass sie ökologisch möglichst effizient ist und sich intelligent ins globale Energiesystem einfügen lässt. Zu diesem Zweck müssen folgende Massnahmen ergriffen werden:

- Verstärkung der **Forschungsprogramme zur Stromspeicherung in den Fahrzeugen und stationären Infrastrukturen**. Es geht nicht nur um die tägliche Speicherung, sondern auch um die wöchentliche und saisonale. In beiden Fällen besteht das Ziel darin, die Kosten zu senken und die Auswirkungen für die Umwelt zu reduzieren.
- Verstärkte **Bemühungen für einen Ersatz der elektrischen Direktheizung**, um die Strombelastung im Winter zu beschränken. Diese Jahreszeit ist effektiv kritisch für die Stromversorgung und es braucht Kapazitäten, um den Verbrauch der Elektrofahrzeuge decken zu können.
- **Einen Teil der Mittel zur Kompensation der CO₂-Emissionen des Autoverkehrs dafür aufwenden, die zusätzliche Produktion und Speicherung von erneuerbarem Strom mitzufinanzieren.**

- Die europäischen Bestimmungen übernehmen, **welche die Hersteller von Elektrofahrzeugen verpflichten, 100% der Batterien für eine geeignete Verarbeitung** (im Wesentlichen die Wiederverwendung) **zu übernehmen**³². Diese Richtlinie führt eine «erweiterte Verantwortung des Herstellers» ein.

7.4 Massnahmen von Kantonen und Gemeinden

Zahlreiche Kantone haben bereits Bestimmungen zur steuerlichen Förderung der Elektromobilität eingeführt, insbesondere eine teilweise oder vollständige Befreiung von der Motorfahrzeugsteuer. Diese Bestimmungen sind für eine gewisse Zeit aufrechtzuerhalten.

In ihren Stellungnahmen zur neuen Klimapolitik haben die Kantone zu Recht den fehlenden Ehrgeiz des Bundes bei der Mobilität kritisiert, ein Bereich, der eigentlich weitgehend in seiner Kompetenz liegt. Die Breite der weiter oben vorgeschlagenen Massnahmen auf Bundesebene widerspiegelt diese Kompetenzaufteilung. Dennoch können auch auf kantonaler und kommunaler Ebene verschiedene Massnahmen ergriffen werden:

- Als Inhaber von grossen Fahrzeugflotten **müssen die Kantone, Gemeinden und ihre Service-public-Unternehmen** bei der Elektrifizierung **mit gutem Beispiel vorangehen**.
- Im Bereich Verkehrsmanagement und Raumplanung können Gemeinden und Kantone zum Beispiel **den Zugang zu gewissen Zonen Elektrofahrzeugen vorbehalten**.
- Die Kantone können **die Verwalter des Stromnetzes damit beauftragen, öffentliche Ladestellen einzurichten** oder mobilitätsfördernde Massnahmen zu ergreifen. Aufgrund von Artikel 5 des Bundesgesetzes über die Stromversorgung (StromVG) haben sie dazu die Kompetenz.
- **Die Förderung und Erleichterung des Carsharings** (Mobility und analoge Systeme) stellt eine wichtige Massnahme dar. Sie gibt den Autofahrenden den Anreiz, eher kleine Elektroautos zu kaufen im Wissen, dass sie falls nötig grosse konventionelle oder elektrische Autos ausleihen können, wenn sie lange Fahrten machen müssen oder besondere Bedürfnisse haben.

8 Fazit und Ausblick

Jede neue Technologie birgt von Natur aus Risiken in sich, die gut abgewägt werden müssen. In diesem Bericht haben wir versucht, dies zu berücksichtigen, ohne aber den Anspruch zu erheben, die Unsicherheiten vollständig beseitigen zu können.

Die dringende Klimafrage erfordert jedoch rasche Handlungen, um die CO₂-Emissionen der Mobilität auf der Strasse zu senken, ein Bereich, der bis heute zu stark vernachlässigt wurde. Um dies zu erreichen, ist die Umstellung auf elektrischen Antrieb gegenwärtig klar die beste Option, und sie ist auch die einzige, die auf eine quantitativ den Problemen angemessene Verbesserung hoffen lässt.

Wie wir im Bericht mehrfach betont haben, macht diese Umstellung nur dann Sinn, wenn sie von einer Politik des Umstiegs auf den öffentlichen Verkehr und den Langsamverkehr sowie von einer Strategie begleitet wird, die das Gesamtvolumen der Fahrten eindämmt.

Die Erfahrung aus anderen Bereichen wie Bautechnik, Stromnutzung oder Herstellung erneuerbarer Energie zeigt, dass der technologische Wandel einen entscheidenden Fortschritt bringen kann. Es wäre unklug, bei der Mobilität davon nicht zu profitieren.

Stellen wir uns zum Vergleich vor, wie die Situation in der Schweiz wäre, wenn wir keine Techniken für Gebäudeisolation, erneuerbare Heizenergie oder Wärmepumpen entwickelt hätten. Es ist offensichtlich, dass unsere Emissionen weit höher wären, als sie es heute sind. Und es ist wenig wahrscheinlich, dass wir anstelle des technischen Fortschritts einfach die beheizten Flächen verkleinert hätten, um die Emissionen zu senken!

Wenn sich der Stromverbrauch in der Schweiz seit bald 10 Jahren trotz des Wirtschafts- und Bevölkerungswachstums stabilisiert hat, so ist das natürlich weitgehend dem technologischen Fortschritt zu verdanken, zum Beispiel bei der Beleuchtung, der Leistungselektronik und dem Management. Ein anderes Beispiel: In Europa hat die CO₂-Intensität der Stromproduktion in zwanzig Jahren um 36% abgenommen. Ohne den disruptiven Wandel der Methoden der Stromherstellung und insbesondere die Fortschritte beim Wind- und Solarstrom wäre diese Entwicklung nicht möglich gewesen. Diese Feststellungen sollen nicht zu einem naiven Glauben in den technischen Fortschritt führen, aber sie erinnern uns daran, dass es falsch wäre, diese Möglichkeiten nicht zu nutzen.

Das Ganze muss auch in einer dynamischen Perspektive gesehen werden: Der Antrieb auf fossiler Basis macht keine Fortschritte mehr, und seine Ökobilanz verschlechtert sich wegen den Förderbedingungen beim Erdöl. Umgekehrt kann der Elektroantrieb noch verbessert werden und wird sicher in vielen Punkten Fortschritte machen: Umweltbelastung der Batterien und Motoren, Produktion von erneuerbarem Strom, Lebensdauer oder neue Konzeption der Fahrzeuge (leichtere Fahrzeuge, die von der kleinen Grösse des Elektromotors profitieren). Mit weltweit ungefähr 2 Millionen Elektroautos im Verkehr sind wir erst am Anfang dieser industriellen Revolution. Man kann diese Zahl mit den etwa 1,4 Milliarden Autos im Verkehr auf unserem Planeten vergleichen³³.

Im Lauf dieses Berichts haben wir betont, dass die Art und Weise sowie der Rahmen, in denen die Elektrifizierung erfolgt, das Gesamtergebnis beeinflussen wird. Deshalb wird es auch darum gehen, die gesellschaftlichen und technologischen Entwicklungen zu verfolgen:

- Die Elektrifizierung der Autos und Lieferwagen wird im besten Fall den Bau von leichteren und nachhaltigeren Fahrzeugen – dank der Digitalisierung ohne Sicherheitsverlust – ermöglichen.

- Der Trend zum multimodalen Verhalten und zum – zentralisierten oder horizontalen – Carsharing bietet neue Möglichkeiten. Die Digitalisierung (allenfalls bis hin zum automatischen Fahren) könnte die Gewohnheiten tiefgreifend verändern, namentlich mit einer vermehrten Nutzungs- statt Eigentumslogik. Es gibt Potenzial, um eine bessere Komplementarität zu fördern, aber es bestehen auch Risiken.
- Der Gütertransport im Nahverkehr (Feinverteilung) könnte durch die Elektrifizierung, aber auch durch neue Systeme wie das Projekt «Cargo sous terrain» revolutioniert werden.
- Auch das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer ändert sich, wenn man an das Wachstum des Flugverkehrs oder umgekehrt an den Rückgang der Fahrausweise bei den Jungen denkt.
- Die Entscheide und Vorlieben der Nutzerinnen und Nutzer spielen eine wichtige Rolle, wie das die absurde Mode der SUV oder umgekehrt das Wachsen einer Generation zeigen, für die das Auto kaum mehr ein Prestigeobjekt darstellt. Eine Generation, die es übrigens genauso normal findet, das Flugzeug wie den Skilift zu nehmen.

Die Elektrifizierung der Mobilität auf der Strasse könnte auch unser Verhältnis zu ebendieser Strasse verändern: Vielleicht wird sie uns helfen, das etwas «animalische» Verhältnis zu hinterfragen, das viele von uns mit den Pferdestärken unter der Motorhaube haben?

Um letztlich Fortschritte bei der Sanierung der Mobilität auf der Strasse zu erreichen, müssen wir auch den übrigen Bereichen den Anreiz geben, sich zu verbessern. Offensichtlich ist das beim Flugverkehr, wo unser Nicht-Handeln untragbar ist. Aber auch weitere Bereiche könnten vieles besser machen, zum Beispiel die moderne Landwirtschaft mit den Essgewohnheiten, die sie mit sich bringt, oder die industriellen Prozesse. Schliesslich werden wir, indem wir das Tabu der CO₂-Emissionen der Mobilität auf der Strasse brechen, auch Bereiche anspornen, die sich trotz oder wegen grosser Fortschritte auf ihren Lorbeeren ausruhen könnten. Wir denken da namentlich an den Bausektor und die Stromproduktion.

So könnte die Elektrifizierung der Mobilität auf der Strasse dazu beitragen, nebst den konkreten Vorteilen eine ganze Reihe von Fortschritten im Energie- und Klimadossier zu bewirken.

Notes et références

¹ Graphique établi à partir de https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/klima/fachinfo-daten/entwicklung_der_emissionenvontreibhausgasenseit1990april2016.xlsx.download.xlsx/evolution_des_emissionsdegazaffectedeserredepuis1990.xlsx

² Source : https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/klima/fachinfo-daten/emissionen_von_treibhausgasennachrevidiertemco2-gesetzundkyoto-p.pdf.download.pdf/CO2_Publikation_fr_2017-07.pdf.

³ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transport/transport-personnes/prestations.html>

⁴ P. 7 de Astra, Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen Jahresbericht 2016, <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/nationalstrassen/verkehrsfluss-staueaufkommen/verkehrsfluss-nationalstrassen.html>.

⁵ Source des chiffres : OFS T 11.4.1.2

⁶ OFS, Comportement de la population en matière de transports, Résultats du microrecensement mobilité et transports 2015 P. 39. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transport/transport-personnes/comportements-transport.assetdetail.1840478.html>.

⁷ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transport/themes-transversaux/aviation-civile.assetdetail.3322907.html> et microrecensement idem, pg 76.

⁸ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transport/transport-marchandises/prestations.html>

⁹ Source : <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transport/transport-marchandises/prestations.assetdetail.3802253.html>

¹⁰ https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/entwicklung_der_emissionenvontreibhausgasenseit1990april2016.xlsx.download.xlsx/evolution_des_emissionsdegazaffectedeserredepuis1990.xlsx.

¹¹ Sources données page 17 de : OFEN, Indicateurs de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre en Suisse 1990–2015 (le graphique compte aussi les cars privés et les motos, ce qui s'annule à peu près. Globalement, il reflète bien l'évolution des émissions des voitures. Attention les chiffres sont plus élevés que dans le graphique suivant, où l'on tient compte du fait que les voitures sont occupées environ par 1,5 personnes en moyenne).

¹² Voir pg 10 Rapport 2016 du DETEC sur les Effets des prescriptions relatives aux émissions de CO2 pour les voitures de tourisme entre 2012 et 2015. <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/46866.pdf> 10 OFS, Mobilité et Transports, 2013 , pg 74

¹³ Calculs : R. Nordmann sur la base de OFS T 11.4.1.1, inventaire CO2 OFEV, Stat électricité 2013 OFEN

¹⁴ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/effets-de-la-pollution-atmospherique.html>

¹⁵ Source : <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/luft/uz-umwelt-zustand/nabel-luftqualitaet2016.pdf.download.pdf/nabel-la-qualite-de-lair-2016.pdf> page 10 et 18.

¹⁶ Source : OFS, Mobilité et Transports, 2013 , pg 77

¹⁷ OFS, Mobilité et Transports, 2013 , pg 74

¹⁸ Graphique de Roger Nordmann, Libérer la Suisse des énergies fossiles, Ed. Favre, 2010.

¹⁹ Lien vers le document de T&E 2017 : <https://www.transportenvironment.org/press/electric-%20cars-emit-less-co2-over-their-lifetime-diesels-even-when-powered-dirtiest-electricity>

T&E s'est beaucoup basée sur : Anders Nordelöf & Maarten Messagie & Anne-Marie Tillman & Maria Ljunggren Söderman & Joeri Van Mierlo, (2014), Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? Lien:

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11367-014-0788-0.pdf>.

²⁰ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment>

²¹ Fondation pour la Nature et l'Homme, ADEME et European climate foundation, M. Chéron, A. Gilbert-d'Halluin, A. Schuller, 2017, Quelle contribution du véhicule électrique à la transition écologique en France ? Enjeux environnementaux et perspectives d'intégration des écosystèmes Mobilité et Energie. <http://www.fondation-nature-homme.org/magazine/quelle-contribution-du-vehicule-electrique-la-transition-energetique/>

²² Voir par exemple : <https://www.amnesty.ch/fr/pays/afrique/nigeria/docs/2015/pollution-petroliere-les-faussees-declarations-de-shell>

²³ <http://www.tesla-mag.com/tesla-longevite-batteries-question/>

²⁴ Notter, D.A., Gauch, M., Widmer, R., Wager, P., Stamp, A., Zah, R., Althaus, H.J. (2010). Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles. Environmental Science & Technology 44(17): 6550–6556 (étude disponible sous : <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es903729a>)

²⁵ Source de l'image : <https://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/mobilitaet-uns-antriebe/elektromobilitaet-ehighway-schweden.html>.

²⁶ <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/50717.pdf>.

²⁷ pg 154 de Peter de Haan, Rainer Zah et alii: Chancen und Risiken der Elektromobilität, centre d'évaluation des choix technologiques, 59/2013 Hochschulverlag 2013 <https://www.ta-swiss.ch/fr/projets-et-publications/mobilite-energie-climat/electromobilite/>

²⁸ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transport/infrastructures-transport-vehicules/vehicules/routiers-mises-circulation.html>.

²⁹ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/catalogues-banques-donnees/tableaux.assetdetail.4382269.html>.

³⁰ Voir la Directive européenne 2014/94/UE <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014L0094&qid=1518435318384&from=FR>

³¹ Voir : <https://www.transportenvironment.org/press/small-electric-vans-cost-same-dirty-diesel-ones-today-are-short-supply>

³² Notamment directive 2006/66/CE : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?qid=1518434682574&uri=CELEX:32006L0066>

³³ https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car