Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung
Centre d'évaluation des choix technologiques
Centro per la valutazione delle scelte tecnologiche
Centre for Technology Assessment

In die Zukunft stromern

Elektromobilität im Schweizer Verkehrssystem der kommenden Jahrzehnte

Kurzfassung der TA-SWISS-Studie «Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz»

www.ta-swiss.ch

Die Studie «Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz» wurde unterstützt vom Bundesamt für Energie BFE, vom Bundesamt für Strassen ASTRA sowie vom Bundesamt für Umwelt BAFU.

Peter de Haan und Rainer Zah
mit Beiträgen von Hans-Jörg Althaus, Katrin Bernath, Frank Bruns, Denise Fussen, Marcel Gauch, Patrick Wäger, Rolf Widmer

Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz

TA-SWISS, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung (Hrsg.). vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2013.

ISBN 978-3-7281-3487-5

Die Studie ist als eBook zum freien Download erhältlich: www.vdf.ethz.ch

Auch die vorliegende Kurzfassung ist online verfügbar: www.ta-swiss.ch

Inhalt

Elektromobilität in aller Kürze 4

1 Verkehr in den möglichen Welten der Energiepolitik 5

Interdisziplinäres Projektteam – facettenreiche Analyse 6

2 Vom Einzelfahrzeug zum Gesamtverkehr 7

Verschiedene Stufen der Elektrifizierung 8

3 Auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Mobilität? 9

4 Effizienz lenkt den Verkehr in die richtige Bahn 12

Impressum 14

Elektromobilität in aller Kürze

Elektroautos gelten als Hoffnungsträger für eine weniger umweltbelastende Mobilität. Die neuen Stromfahrzeuge treten auf dem Markt bereits erfolgreich in Erscheinung: So gehört der Nissan Leaf heute zu den 25 weltweit am meisten verkauften Automodellen. Die begrenzte Reichweite der Batterien behindert derzeit noch eine rasche Verbreitung von Stromfahrzeugen; das wird sich aber angesichts der absehbaren technischen Fortschritte ändern.

Ihre Chancen...

Ein grosser Nutzen der Elektromobilität liegt darin, dass sie die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern verringert und den Schadstoffausstoss des Verkehrs senkt – sofern die Batterien mit Strom aus erneuerbaren bzw. CO_2-armen Quellen geladen werden. Der Schweizer Energiemix mit seinem hohen Anteil an Wasserkraft bietet mithin günstige Voraussetzungen für einen nachhaltigen Betrieb von Stromautos. Werden Elektrofahrzeuge als lokale Energiespeicher verwendet, können sie gar den geplanten massiven Ausbau der erneuerbaren Energien unterstützen.

Insbesondere für kleine und leichte Elektrofahrzeuge wird die Informationstechnik eine entscheidende Rolle bei der Sicherheit spielen. Die offensive Nutzung neuer Informationstechnologien könnte zudem genutzt werden, um den Individualverkehr mit öffentlichen Transportmitteln zu verknüpfen. Damit könnte die Elektromobilität als Treiber für innovative Modelle des kombinierten Verkehrs dienen.

Die Vorteile der Elektromobilität fallen indes vor allem längerfristig ins Gewicht; denn im Jahr 2025 dürfte durchschnittlich nur jeder zehnte Neuwagen in der Schweiz ein Elektroauto sein, und erst 2035 ist damit zu rechnen, dass jedes zweite neue Vehikel mit Strom angetrieben wird. Wenn sich – unabhängig von der Antriebsform – die jeweils effizientesten Fahrzeuge durchsetzen, wird der gesamte motorisierte Verkehr bis zum Jahr 2050 weniger als die Hälfte der heutigen CO_2-Menge ausstossen.

...ihre Risiken...

In der Euphorie über die schadstoffarm fahrenden Elektrofahrzeuge vergisst man gerne, dass ihre Produktion die Umwelt sehr wohl belastet: Sowohl der Abbau der Rohstoffe als auch die Herstellung von Batterie und Elektronik schlagen in der Umweltbilanz negativ zu Buche. Die Elektromobilität trägt so dazu bei, die negativen Effekte des Schweizer Verkehrs in jene Länder zu verlagern, wo die Fahrzeuge hergestellt werden oder der Abbau der benötigten Rohstoffe stattfindet.

Werden Fahrzeuge mit Strom statt mit Benzin oder Diesel angetrieben, sinken zwangsläufig die staatlichen Einnahmen über die Treibstoffzölle. Dadurch stehen weniger Mittel für den Unterhalt des Strassennetzes zur Verfügung. Dies fällt umso mehr ins Gewicht, als auch die herkömmlichen Verbrennungsmotoren immer sparsamer werden. Mittelfristig dürften damit die Gelder für die Verkehrsinfrastruktur knapp werden.

Wenn Autos zur Verfügung stehen, die kostengünstig zirkulieren und die Umwelt wenig belasten, sinkt die Motivation, auf überflüssige Fahrten zu verzichten oder öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen. Denn was billig ist und kein schlechtes Gewissen hervorruft, wird erfahrungsgemäss mehr konsumiert – mit den sattsam bekannten Folgen verstopfter Strassen und zunehmender Zersiedlung.

...und die wichtigsten Empfehlungen

Die Studie von TA-SWISS empfiehlt, Modelle des Mobility Pricing einzuführen, um die allmählich versiegenden Einnahmen aus den Treibstoffzöllen zu kompensieren.

Die fahrleistungsabhängige Abgabe ist dabei so zu gestalten, dass sie effiziente Fahrzeuge und die kombinierte Verwendung öffentlicher und individueller Verkehrsmittel fördert.

Auch bei der Zulassung neuer Personenwagen sind effiziente Fahrzeuge bevorzugt zu behandeln. Dabei soll nicht nur der Energieverbrauch in der Betriebsphase beachtet werden, sondern es muss die Umweltbelastung während des ganzen Lebenszyklus der Fahrzeuge im Blick bleiben.

Um negativen Rückkopplungseffekten vorzubeugen, ist die Mobilität gesamthaft zu verteuern, damit die umweltfreundlicheren und günstigeren Fahrzeuge nicht dazu führen, dass der Verkehr gesamthaft weiter zunimmt.

Schliesslich sind Vorschriften für Design und Entsorgung zu erlassen, damit die verbauten Materialien rezykliert werden können und die Abhängigkeit von Primärrohstoffen sinkt.

1 Verkehr in den möglichen Welten der Energiepolitik

Der Blick in die Zukunft ist mit Unsicherheiten behaftet. Die Studie über die Chancen und Risiken der Elektromobilität für die Schweiz trägt diesem Umstand Rechnung: Sie untersucht das Verkehrssystem unseres Landes bis zum Jahr 2050 in drei verschiedenen Szenarien.

Seit Menschen und Waren in grösseren Mengen befördert werden, ist die künftige Entwicklung des Transportsystems Gegenstand von Mutmassungen. Gern zitiert wird eine Schätzung der London Times aus dem Jahr 1894, die angesichts der rasanten Vermehrung von Pferdekutschen voraussah, innert fünfzig Jahren werde die Stadt unter einer gut zweieinhalb Meter dicken Schicht aus Dung begraben sein. Diese Prognose wurde bekanntlich von den technischen Innovationen schon bald widerlegt. Kaum besser erging es der Vorhersage von Gottlieb Daimler, als er um die Wende ins 20. Jahrhundert meinte, es würden höchstens 5000 Autos gebaut werden – denn es gebe gar nicht mehr Chauffeure, um sie zu steuern.

Allen Unsicherheiten zum Trotz, die den Blick in die Zukunft vernebeln, trifft auch die im Auftrag von TA-SWISS durchgeführte Studie zur Elektromobilität in der Schweiz Annahmen über das Verkehrssystem der kommenden 40 Jahre. Die Analyse begnügt sich allerdings nicht damit, einzig den bisherigen Trend fortzuschreiben; vielmehr stellt die Übertragung des bisherigen Entwicklungsverlaufs in die Zukunft nur eines von drei untersuchten Szenarien dar. Diese Zukunftsbilder liegen alle im Bereich des Möglichen und hängen von den Rahmenbedingungen ab, die die politischen Entscheidungstragenden setzen werden. Darüber hinaus prüft die Untersuchung, wie stabil ihre Ergebnisse sind, wenn sich wichtige Einflussgrössen anders als vorgesehen entwickeln – also beispielsweise der technische Fortschritt der Fahrzeuge ins Stocken gerät oder im Gegenteil rascher vorankommt, als abzusehen war («Sensitivitätsanalyse»).

Szenario 1: Weiter wie bisher

Das Szenario «Normalbetrieb» führt Entwicklungstendenzen aus der Vergangenheit weiter und geht davon aus, dass die automobile Zukunft der Schweiz in erster Linie von der technischen Entwicklung und den Kräften des Marktes gestaltet wird. Der Staat schreibt für Neuwagen Effizienzsteigerungen vor, die dem technischen Fortschritt entsprechen – der Konsument braucht sich nicht an kleinere Autos zu gewöhnen. Die Optimierungen der Technik werden freilich gerade bei den herkömmlichen Verbrennungsmotoren bereits zu beträchtlichen Fortschritten führen. Weil die Benziner stark an Effizienz zulegen, werden sie insgesamt günstiger fahren, obschon sie nicht kleiner werden. Oder anders ausgedrückt: Selbst wenn der Ölpreis von heute rund 120 US-Dollar pro Barrel auf maximal 200 US-Dollar steigen sollte, sinkt der Preis pro gefahrenen Autokilometer. Die technische Optimierung der Verbrennungsmotoren, die im Szenario «Normalbetrieb» vorausgesetzt wird, gilt auch für die beiden anderen untersuchten Zukunftsbilder.

Unter den Bedingungen des «Normalbetriebs» sind auf der Strasse grosse Limousinen und Geländewagen mit konventionellen Verbrennungsmotoren gut vertreten. Elektrofahrzeuge setzen sich in Nischen durch, etwa im Stadtverkehr oder bei den Mietwagen. Mit Strom angetriebene neuartige Kleinfahrzeuge trifft man kaum an; hingegen sind viele Velos elektrifiziert.

Der global steigende Wohlstand führt dazu, dass weltweit immer mehr Menschen unterwegs sind und die Nachfrage nach Strom und Benzin zunimmt – mit den entsprechenden Folgen für die Umwelt. Die Schweiz räumt wie die anderen Industriestaaten dem Klimaschutz allerdings nur untergeordnete Bedeutung ein und nimmt in Kauf, dass das Ziel einer maximalen Erderwärmung von zwei Grad verfehlt wird.

Die technische Infrastruktur für Elektrofahrzeuge – d.h. Stromtankstellen und Schnellladestationen – entsteht hierzulande ohne staatlichen Einfluss. Eine auf Nachhaltigkeit abzielende Energiepolitik wird zaghaft umgesetzt – entsprechend dem Weiter-wie-bisher-Szenario des Bundesamts für Energie.

Szenario 2: Die Effizienz im Blickpunkt

Das Szenario «Effizienz» setzt, wie der Name ankündigt, auf möglichst effiziente Autos – egal, ob sie konventionell mit Benzin oder mit Elektrizität angetrieben werden. Denn es steht das Ziel im Vordergrund, dass der Verkehr mehr als bisher zum Energiesparen beitragen soll. Die Vehikel werden im Durchschnitt kleiner als heute, und Hybridautos sind weit verbreitet; der Fahrzeugpark differenziert sich allmählich in Limousinen, die über längere Distanzen eingesetzt werden, und in kleinere, mitunter sogar dreirädrige, E-Fahrzeuge für die kurzen Wege.

Das staatliche Effizienzdiktat erhält Rückenstärkung durch eine gesellschaftlich breit akzeptierte Klimapolitik. Die Schweiz versucht – in Übereinstimmung mit dem bundesrätlichen Massnahmenpaket zur Energiestrategie 2050 – durch den haushälterischen Umgang mit Treibstoff und Strom ihre Abhängigkeit von Importen aus dem Ausland zu begrenzen. Im Hinblick auf die Vorschriften für energieeffiziente Gebäude, Geräte und Prozesse gilt sie international als Vorreiterin, und sie treibt den Ausbau erneuerbarer Energieträger im Inland voran.

Der Fiskus gewährt effizienten Fahrzeugen bei der Zulassung vorteilhafte Bedingungen, und die höheren Energiepreise tragen das Ihre dazu bei, dass sparsame Autos gekauft werden, obschon ihre Anschaffung mehr kostet. Die Ladeinfrastruktur für Stromfahrzeuge entsteht weitgehend ohne staatliche Beeinflussung, und in der Forschung an verschiedenen Antriebsformen sieht die öffentliche Hand ebenfalls von Förderungsprogrammen ab.

Szenario 3: Vernetzt und flexibel mobil

Die Welt um uns wird klüger, und auch das Verkehrssystem gewinnt fortlaufend an Intelligenz: Längst haben in der Schweiz die Smartphones, die sich ins Internet einwählen können, den einfachen Handys den Rang abgelaufen, so dass beispielsweise die Passagiere in Zug und Bus den Fahrplan jederzeit mobil abrufen können. Mietautos lassen sich schon heute bequem von zuhause aus oder unterwegs online buchen, und in den Autos selbst sorgt die Informatik für mehr Sicherheit und zusätzlichen Bedienungskomfort. Das Entwicklungsszenario «Vernetzte Mobilität» knüpft an diese Ansätze der Verkehrstelematik an und malt aus, wie das Transportsystem einer informationstechnisch hochgerüsteten Gesellschaft aussehen könnte: So werden die verschiedenen Verkehrsmittel vermehrt miteinander kombiniert, indem man längere Strecken mit dem Zug oder Bus zurücklegt, wogegen leichte, teilweise sogar nur dreirädrige, Elektrofahrzeuge für kurze Wege zum Einsatz kommen; dass ihre Batterien die Reichweite begrenzen, stellt somit in diesem Szenario kein Problem dar.

Ausgeklügelte Informationssysteme sorgen überdies dafür, dass alle, die unterwegs sind, laufend in Echtzeit die aktuellsten Angaben über verfügbare Parkplätze, erreichbare Elektrotankstellen und gültige Fahrpläne erhalten. Die Informationstechnik wird auch genutzt, um an der Stromtankstelle flexible, auf Angebot und Nachfrage abgestimmte Elektrizitätstarife zu ermitteln; die gleiche Technik gestattet es zu Hause, die Batterien der Fahrzeuge dann aufzuladen, wenn der Strom am günstigsten ist.

Die grosse Zahl von Elektroautos führt dazu, dass die öffentliche Hand die Gelder, die sie für die Infrastruktur benötigt, nicht mehr über Mineralölsteuern, sondern über ein sogenanntes dynamisches Road Pricing eintreibt: Wer zu Stosszeiten eine intensiv genutzte Strasse befährt, muss mehr bezahlen. Ineffiziente Autos werden dabei tariflich stärker belastet als effiziente.

In diesem Szenario engagiert sich der Staat beim Ausbau der erforderlichen Infrastruktur: Er bestimmt den Standard für Schnellladestecker und plant Schnellladestationen entlang der Autobahnen. Der Klimapolitik räumt er grosses Gewicht ein und fördert mithin den Ausbau erneuerbarer Energieträger.

Interdisziplinäres Projektteam – facettenreiche Analyse

Die Studie von TA-SWISS zu «Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz» bündelt die Kompetenzen des Ingenieur- und Beratungsbüros Ernst Basler und Partner (EBP) und der Eidgenössischen Materialforschungs- und -prüfanstalt EMPA. Unter der Leitung von Peter de Haan (EBP) und Rainer Zah (EMPA) modellierte das Projektteam verschiedene Varianten des künftigen Verkehrssystems und ermittelte die damit verbundenen Umweltbelastungen. Neben eigenen Berechnungen hat die Projektgruppe auch Statistiken und Prognosen aus der Bundesverwaltung hinzugezogen. Massgeblich sind insbesondere die aktuellsten Energieperspektiven aus dem Bundesamt für Energie, die somit durch die vorliegenden Berechnungen konkretisiert werden.

2 Vom Einzelfahrzeug zum Gesamtverkehr

Die Folgen der Elektromobilität auf Umwelt und Gesellschaft sind vielschichtig. Entsprechend facettenreich ist die Untersuchung angelegt: Sie analysiert beispielsweise die technischen Daten verschiedener Fahrzeugmodelle und Antriebsformen, berücksichtigt die absehbaren Entwicklungen in der Autoproduktion und schliesst auch die Stromerzeugung in die Betrachtung ein.

Verschiedene Modelle elektrischer Autos sind bereits im Handel erhältlich. Die begrenzte Reichweite ihrer Batterien und die vergleichsweise teure Anschaffung behindern derzeit aber ihre Verbreitung. Das wird sich ändern – denn die technischen Fortschritte sind absehbar.

Batterien mit mehr Leistung

Für Elektroautos werden am häufigsten Lithium-Ionen-Akkumulatoren verwendet, aber auch die Natrium-Nickelchlorid-Zelle kommt in verschiedenen Modellen zum Einsatz. Die Batterien sind die kostspieligste Komponente eines Stromfahrzeugs. Wie sich ihre Reichweite und die Kosten entwickeln, beeinflusst daher stark die Verbreitung der neuartigen Vehikel.

Lithium-Ionen-Batterien wurden erst im Jahr 2011 im Elektromobilmarkt eingeführt; ihre Lebensdauer wird auf zehn bis zwölf Jahre geschätzt. Opel etwa gibt für die Batterie der Hybrid-Limousine Ampera eine Garantie von 8 Jahren oder 160 000 Kilometern, während Nissan und Mitsubishi für die Kleinwagen Leaf und iMiev eine Gewährleistung auf fünf Jahre oder 100 000 Kilometer bieten.

Die Entwicklung und Produktion der nächsten Akku-Generation wird vier bis fünf Jahre dauern, und sie zielt auf eine höhere Energiedichte und günstigere Herstellungskosten ab. Fachleute rechnen damit, dass sich bis zum Jahr 2035 die Batteriekapazität von derzeit 100 auf 300 Wh/kg erhöhen wird, wohingegen die Kosten von 900 auf 250 US-Dollar pro Kilowattstunde Speicherkapazität fallen werden. Für einen Akkumulator von 300 Kilogramm Gewicht heisst das, dass sich seine Reichweite von heute rund 150 auf 600 Kilometer ausdehnen wird – eine wesentliche Steigerung.

Werden Elektrofahrzeuge mit Strom betrieben, der aus erneuerbaren bzw. CO_2-armen Quellen stammt, verursachen sie wenig Schadstoffe. Die Produktion der Batterien hingegen belastet die Umwelt sehr wohl – sie kann bis zu einem Fünftel der gesamten CO_2-Emissionen ausmachen. Dies unterstreicht, dass es wichtig ist, bei der Ökobilanzierung der Elektromobilität den ganzen Lebenszyklus der Fahrzeuge von der Herstellung bis zur Entsorgung im Blick zu behalten.

Unterschiedliches Optimierungspotenzial

Anders als die Batterien, sind die Motoren und Motorsteuerungen von Stromfahrzeugen weit ausgereift. Die Berechnungen der Studie beruhen auf der Annahme, dass ein heutiger Elektroantrieb ausserorts mit einem Wirkungsgrad von 89 Prozent fährt; bis zum Jahr 2050 wird er schrittweise noch um drei Prozentpunkte zulegen (auf einen 92-prozentigen Wirkungsgrad ausserorts und 87 Prozent im Stadtverkehr).

Im Unterschied zu den Elektroantrieben haben die herkömmlichen Verbrennungsmotoren noch ein beträchtliches Verbesserungspotenzial. Im Durchschnitt fahren heutige Benzinfahrzeuge im Stadtverkehr mit einem Wirkungsgrad von 17 Prozent und ausserorts mit 27 Prozent. Gestützt auf die massgebliche Fachliteratur geht die Modellierung in der vorliegenden Analyse davon aus, dass sich der Wirkungsgrad alle fünfzehn Jahre um 3 resp. 2 Prozentpunkte steigert; im Jahr 2050 wird er somit 26 Prozent im Stadtverkehr respektive 33 Prozent ausserorts erreichen.

Die Effizienz nimmt laufend zu

Neben den Motoren bieten auch die Karosserie sowie die Systeme für Sicherheit und Komfort – etwa Scheinwerfer und Scheibenwischer bzw. Klimaanlage und Unterhaltung – Spielraum für Verbesserungen. Nachdem die Wagen der verschiedenen Klassen über Jahrzehnte immer mehr an Gewicht zugelegt haben, zeichnet sich in den letzten Jahren eine Trendwende ab. Die Studie rechnet damit, dass verbesserte Konstruktionen, Werkstoffe und Verfahren weiter zu einer leichten Gewichtsabnahme führen werden. Der Energiebedarf für Sicherheit und Komfort wird ebenfalls zurückgehen.

Durch eine plausible Kombination der verschiedenen Verbesserungen modelliert die Analyse den Effizienzgewinn der künftigen Fahrzeuge: Ein kompaktes Elektroauto, das heute 24 Kilowattstunden für 100 Kilometer benötigt, kommt demnach im Jahr 2035 auf 16 Kilowattstunden und erzielt damit eine Einsparung von 30 Prozent. Das Benzinfahrzeug der gleichen Klasse verzeichnet gar noch deutlichere Fortschritte: Ein Kompaktwagen, der heute im Alltag 7,5 Liter Benzin auf 100 Kilometer verbraucht, kommt den Berechnungen zufolge im Jahr 2035 noch auf einen Konsum von 4,8 Litern, was einer Reduktion von 36 Prozent entspricht. Das grössere Optimierungspotenzial von Verbrennungsmotoren schlägt sich also in einem höheren Effizienzgewinn nieder.

Angebot und Nachfrage – Herstellung und Kauf

Um die Umweltbelastung des gesamten Verkehrs zu ermitteln, muss sich die Betrachtung vom einzelnen Auto auf die ganze Fahrzeugflotte ausweiten. Die

Studie modelliert dazu die Verbreitung der unterschiedlichen Fahrzeugtypen vom Kleinwagen über die kompakte Limousine bis zum grossen und schwereren Strassenkreuzer. Im Segment der Elektrofahrzeuge werden ausserdem noch leichte Vehikel wie der Renault Twizy berücksichtigt.

Für die Modellierung wird einerseits die Entwicklung der Nachfrage nach neuen Autos veranschlagt, andererseits wird die schleppende Erhöhung der Produktionskapazität von Elektroautos berücksichtigt. So ist sichergestellt, dass die Schätzwerte der künftigen Fahrzeugflotte in der Schweiz auf realistischen Annahmen beruhen. Indem die Studie von TA-SWISS die jährliche technische Entwicklung abschätzt, hypothetisch neu auf den Markt kommende Fahrzeuge konstruiert und einer virtuellen Käuferschaft anbietet, unterscheidet sie sich von anderen Analysen, die den Marktanteil von Elektrofahrzeugen spekulativ definieren, ohne den Präferenzen der Kundschaft und den stetigen technischen Fortschritten der Benzinfahrzeuge Rechnung zu tragen.

Verkehrsentwicklung und Energieproduktion

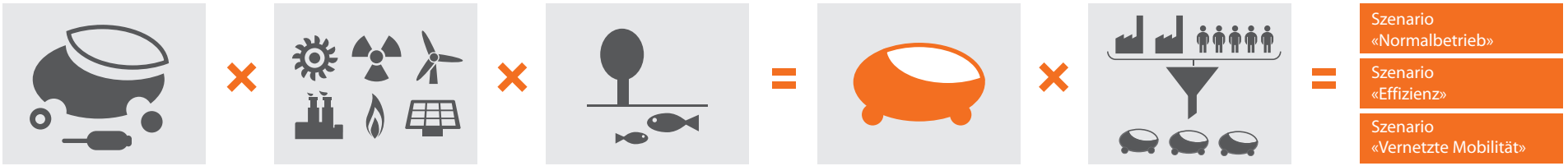
Wie stark der Verkehr in Zukunft die Umwelt belasten wird, hängt zum einen davon ab, wie viel gefahren wird, und zum anderen, welche Energieform die Autos antreibt.

Die Studie greift daher auf Statistiken und Prognosen der Bundesverwaltung zurück. Insbesondere Berechnungen zur absehbaren Bevölkerungsentwicklung sowie Verkehrsprognosen und die Perspektiven und Strategien der Bundesämter für Statistik, Raumentwicklung und Energie bilden eine unabdingbare Grundlage für die Modellierung des künftigen Individualverkehrs und seines Energiebedarfs.

Verschiedene Stufen der Elektrifizierung

Als Elektromobile gelten in der Studie von TA-SWISS Fahrzeuge, die hauptsächlich von einem Elektromotor angetrieben werden und den Strom überwiegend aus einer stationären Quelle beziehen. In die Betrachtung einbezogen werden auch Kleinstfahrzeuge, die zulassungsrechtlich als Motorrad oder Leichtmotorwagen gelten. Neben Autos, die ausschliesslich elektrisch angetrieben werden, gibt es sogenannte Hybridfahrzeuge, die sowohl über einen Elektro- als auch über einen Verbrennungsmotor verfügen. Die Studie berücksichtigt nur solche Modelle, die sich direkt ab dem Stromnetz aufladen lassen und die im reinen Batteriebetrieb mindestens 20 Kilometer weit kommen; Erfahrungen zeigen, dass diese Reichweite im Alltag der Agglomerationsbewohner bereits genügt, um mehr als die Hälfte der Fahrleistung mit Elektrizität aus dem Netz zurückzulegen.

Studie Elektromobilität: Ein vielschichtiger Aufbau in mehreren Schritten



Entwicklung Autokomponenten × Entwicklung Strommix × Auswirkungen auf die Umwelt = ökologische Folgen Einzelfahrzeuge × Simulation Flotte (Produktionskapazität x kaufbereite Kunden) = Umweltbelastung Gesamtverkehr

3 Auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Mobilität?

Die Verbrennungsmotoren werden laufend sparsamer, und die Elektrofahrzeuge fahren bereits heute schadstoffarm. Zwingende Voraussetzung dafür ist allerdings, dass sie mit Strom betrieben werden, der nicht aus fossilen Quellen stammt.

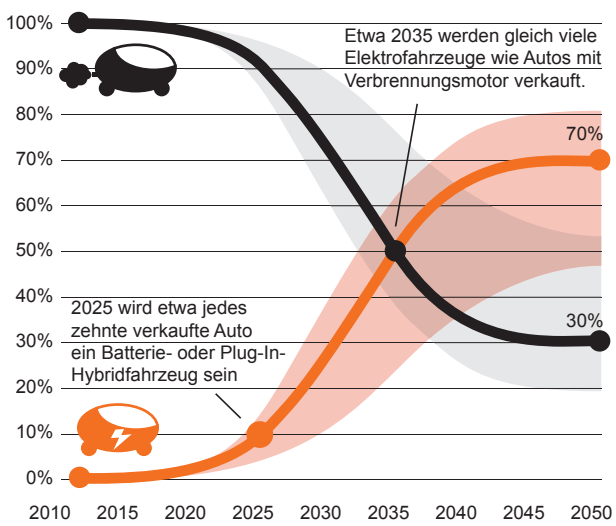
Selbst wenn das einzelne Auto in Zukunft sparsamer fährt, ist damit noch nicht gesagt, dass die Mobilität insgesamt die Umwelt weniger belasten wird. Daher werden für die einzelnen Fahrzeuge und für den Gesamtverkehr je separate Lebenszyklusanalysen vorgenommen. Die umfassende Analyse der Mobilität wiederum richtet sich nach den eingangs geschilderten drei Szenarien.

Die Lebenszyklusanalyse beschreibt den Werdegang eines Produktes von seiner Herstellung bis zu seiner Entsorgung. Sie unterscheidet dabei verschiedene «Lebensabschnitte» und ermittelt insbesondere, welche Materialien und wie viel Energie bei der Produktion, im Betrieb und zur Beseitigung eines Gutes erforderlich sind. Die vorliegende Studie leuchtet die im Lauf der Zeit anfallenden Veränderungen aus, indem sie jeweils für vier Zeitpunkte – 2012, 2020, 2035 und 2050 – den Lebenszyklus der verschiedenen Fahrzeugtypen und der Gesamtmobilität im Rahmen der drei Szenarien analysiert.

Je nach Motor fallen andere Lebensabschnitte ins Gewicht

Über den ganzen Lebenszyklus betrachtet, liegt heute die Treibhausgasbilanz konventioneller Verbrennungsmotoren um rund 70 Prozent über jener von Elektrofahrzeugen, die mit Strom aus dem Inland angetrieben werden. Die Stromer schneiden allerdings nicht zuletzt deshalb so gut ab, weil der Schweizer Elektrizitätsmix zu einem grossen Teil mit Wasserkraft und Kernenergie erzeugt wird und nur in einem geringen Mass aus fossilen Quellen stammt. Wenn Elektroautos hingegen den durchschnittlichen EU-Strommix tanken, der zu 52 Prozent auf fossilen Energieträgern beruht, schrumpft die CO_2-Reduktion gegenüber einem konventionellen Personenwagen auf nur 20 Prozent. Mit derartigem Strom betrieben, sind Elektrofahrzeuge kaum umwelt- und klimafreundlicher unterwegs als Autos mit optimiertem Verbrennungsmotor.

Verkaufsanteile ICE und Elektrofahrzeuge



Mit den Jahren fahren immer mehr Elektrofahrzeuge auf den Schweizer Strassen, während der Anteil an herkömmlichen Autos mit Verbrennungsmotor allmählich abnimmt.

Weil die herkömmlichen Verbrennungsmotoren noch ein beträchtliches Verbesserungspotenzial aufweisen, holen sie im Lauf der Zeit ihren Rückstand gegenüber den mit Strom laufenden Triebwerken auf. Bis 2050 halbiert sich daher der Unterschied im Ressourcenverbrauch des elektrischen und des herkömmlichen Kompaktwagenmodells.

Während Wagen mit herkömmlichem Antrieb während der Betriebsphase, d.h. beim Fahren, am meisten CO_2 ausstossen, fällt bei elektrischen Vehikeln die CO_2-Belastung schon vorher an – nämlich dann, wenn der Strom bereit gestellt wird, der sie antreibt. Ins Gewicht fällt auch der Produktionsaufwand für die Batterien. So gesehen, entstehen bei rein batteriebetriebenen Fahrzeugen heute 90 Prozent der Treibhausgasemissionen bei der Herstellung der Fahrzeuge, welche somit die Umwelt etwa ein Viertel mehr belasten als der Bau konventioneller Benziner. Auch hier kommt es aber allmählich zu Verschiebungen: Während derzeit bei konventionellen Verbrennungsmotoren 25 Prozent des Schadstoffausstosses auf die Produktionsphase entfallen, werden es längerfristig 40 Prozent sein – denn die Belastungen nehmen dank der effizienteren Motoren in der Betriebsphase ab, wodurch sie in den anderen Lebensphasen verhältnismässig stärker ins Gewicht fallen.

Materialverbrauch und Folgen für Gesundheit und Umwelt

Nimmt die Elektromobilität zu, erhöht sich die Nachfrage nach Lithium, das ein wichtiger Bestandteil der gängigen Batterien ist. Auch Seltene Erden sind für den Bau elektrischer Fahrzeuge unabdingbar, etwa Neodym und Disprosium für die Permanentmagnete in den Elektromotoren oder Lanthan für gewisse Akku-Typen.

Problematisch ist dabei weniger die geologische Verfügbarkeit dieser Materialien, als vielmehr ihre Konzentration auf wenige Standorte. Faktisch herrschen

dadurch monopolartige Zustände, indem einzelne Länder und wenige Firmen das Angebot bestimmen. Umso heikler sind die geringen Rezyklierungsraten und die fehlenden Ersatzmöglichkeiten dieser Werkstoffe. Einer Zunahme der Nachfrage kann durch verschiedene Strategien begegnet werden. Aus Sicht der Autoproduzenten ist sicher ein besonderes Augenmerk auf verbesserte Möglichkeiten des Recyclings, auf einen effizienteren Einsatz der Rohstoffe oder auf ihre Substitution zu richten.

Wenn auf den Strassen mehr Elektroautos zirkulieren, dürfte die Verkehrssicherheit zunehmen. Elektrische Fahrzeuge sind tendenziell kleiner und leichter. Um allfällige Mankos in der Stärke und Stabilität der Karosserie auszugleichen, könnten vermehrt aktive Sicherheitssysteme zum Einsatz kommen, etwa Programme, die Fussgänger frühzeitig erkennen oder andere elektronische Assistenzsysteme. Im Vergleich zu herkömmlichen sind elektrische Motoren zudem kleiner; dies gestattet andere Frontgestaltungen, so dass Passanten weniger Gefahr laufen, bei Zusammenstössen schwere Kopfverletzungen davon zu tragen. Auch geht ein wachsender Elektrifizierungsgrad mit tieferen Höchstgeschwindigkeiten einher; Raserunfälle dürften daher in der elektromobilen Zukunft seltener werden. Dass Stromautos geräuscharm fahren, zieht hingegen zweischneidige Folgen nach sich. Mögen die Anwohner an stark befahrenen Strassen auch froh sein, wenn der Verkehrslärm abnimmt, so steigt die Gefahr für Sehbehinderte, die sich in erster Linie über das Gehör orientieren. Auch in ruhigen Quartieren mit wenig Verkehr spielt die akustische Orientierung eine wichtige Rolle. In den Vereinigten Staaten wird deshalb derzeit darüber diskutiert, akustische Warngeräte an Hybridfahrzeugen anzubringen, und in Japan wurde auf den 1. Januar 2010 eine Richtlinie über Massnahmen zur besseren Hörbarkeit von Hybridfahrzeugen in Kraft gesetzt.

Die Umwelt schliesslich wird durch unsere Mobilität in verschiedener Hinsicht in Mitleidenschaft gezogen. Was die Eingriffe ins Landschafts- und Siedlungsbild betrifft, unterscheiden sich mit Benzin oder Diesel fahrende Fahrzeuge in ihren Ansprüchen an die Strasseninfrastruktur nicht von elektrisch angetriebenen. Die Herstellung der unterschiedlichen Treibstoffe wiederum lässt sich nur schwer gegeneinander abwägen: Während bei fossilen Energieträgern vor allem die Rohölförderung gravierende Wunden ins Terrain schlägt, beeinträchtigen bei der Stromproduktion grosse dezentrale oder zahlreiche kleinere lokale Anlagen die Landschaft.

Ein erheblicher ökologischer Vorteil der Elektromobilität liegt darin, dass der Wirkungsgrad der mit Strom angetriebenen Motoren deutlich höher ist als jener von Verbrennungsmotoren. Daher haben Elektromotoren das Potenzial, den Treibhausgasausstoss zu senken. Die Lebenszyklusanalyse der Einzelfahrzeuge bestätigt jedenfalls, dass elektrische Vehikel 40 bis 50 Prozent weniger Umweltauswirkungen haben als mit fossilem Treibstoff angetriebene. Diese Differenz wird in Zukunft allerdings kleiner. Auch der Ressourcenverbrauch ist bei Stromautos nur etwa halb so hoch wie bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Das vorteilhafte Gesamturteil für Elektromobile hängt mit dem günstigen Strommix der Schweiz zusammen.

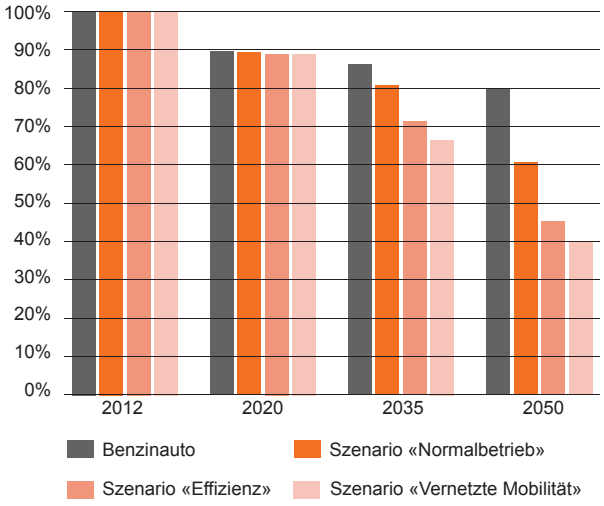
Zu bedenken gilt allerdings, dass bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen die grösste Umweltbelastung nicht im Betrieb, sondern in der Herstellungsphase anfallen. In einem Land wie der Schweiz, das selber keine Autos herstellt, trägt die Elektromobilität also dazu bei, die negativen Auswirkungen des Verkehrs ins Ausland zu exportieren.

Die Lebenszyklusanalyse des Gesamtverkehrs

Nebst eigenen Berechnungen zieht die Studie für die Lebenszyklusanalyse der gesamten Mobilität verschiedene Verkehrs- und Energieprognosen aus der Bundesverwaltung hinzu. Massgebend ist insbesondere die Energiestrategie 2050 des Bundes (Stand Ende 2012) mit Analysen zum künftigen Strommix in der Schweiz.

Die Fahrzeugflotte übt bedeutenden Einfluss darauf aus, wie die einzelnen Szenarien abschneiden. Im Zukunftsbild «Normalbetrieb» halten die untersuchten Fahrzeugklassen von Kleinwagen, Kompaktlimousinen

CO_2-Emissionen (Flotte), Vergleich mit 2012



Bereits der normale technische Fortschritt führt zu einem Rückgang der CO_2-Emissionen. Ein hoher Anteil an Elektrofahrzeugen führt zu deutlicheren Reduktionen am Ausstoss von Treibhausgas.

und grossen, schweren Vehikeln ihren Anteil konstant. Im Szenario «Effizienz» findet dagegen eine Verschiebung hin zu kleineren Fahrzeugen statt, die unter den Bedingungen der «Vernetzten Mobilität» noch stärker ausfällt. Aus der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte ergeben sich auch die Flottenkilometer: Im Rahmen des «Normalbetriebs» werden im Jahr 2050 immerhin noch 59 Prozent der Fahrten mit Verbrennungsmotoren zurückgelegt. Im Szenario «Effizienz» sind es noch 46 Prozent, während dieser Anteil in der «Vernetzten Mobilität» auf 39 Prozent zurückfällt.

Indes zeigen alle drei Szenarien bis zum Jahr 2050 einen massiven Rückgang – von 40 bis 60 Prozent – der gesamten Treibhausgasemissionen, und dies, obschon im gleichen Zeitraum die Mobilität um 24 Prozent zunimmt. Die Reduktion des Schadstoffausstosses ist zum einen auf die massiven technischen Fortschritte der Verbrennungsmotoren und zum anderen auf den zunehmenden Anteil an Elektrofahrzeugen zurückzuführen.

Wenn auch die Unterschiede im Lauf der Zeit markant ausfallen, so weichen die drei Zukunftsbilder bis zum Jahr 2020 relativ wenig von einander ab. Bis 2035 beträgt die Differenz der CO_2-Reduktion zwischen dem konservativen Zukunftsbild «Normalbetrieb» und dem optimistischen Szenario «Vernetzte Mobilität» 17 Prozent; zu diesem Zeitpunkt wird jeder zweite Neuwagen ein Elektroauto sein. Weil die älteren Vehikel nur allmählich aus der Flotte ausscheiden, widerspiegelt sie die technologischen Trendbrüche erst mit fünf Jahren Verzögerung; bis der gesamte Fuhrpark erneuert ist, dauert es über zehn Jahre.

Daher beginnen die Kontraste zwischen den Szenarien erst in der Mitte des 21. Jahrhunderts deutlicher zutage zu treten – zu einem Zeitpunkt also, wenn sich die Elektromobilität am Markt durchgesetzt hat und mehr als zwei Drittel der Neuwagen über einen elektrischen Antrieb verfügen werden. Dannzumal wird das Szenario «Effizienz» eine um 25 Prozent grössere Treibhausgasreduktion verzeichnen als das Zukunftsbild «Normalbetrieb». Hingegen wird der Unterschied zwischen den Bedingungen der «Effizienz» und der «Vernetzten Mobilität» gerade mal 13 Prozent betragen.

Wie verlässlich sind die Ergebnisse?

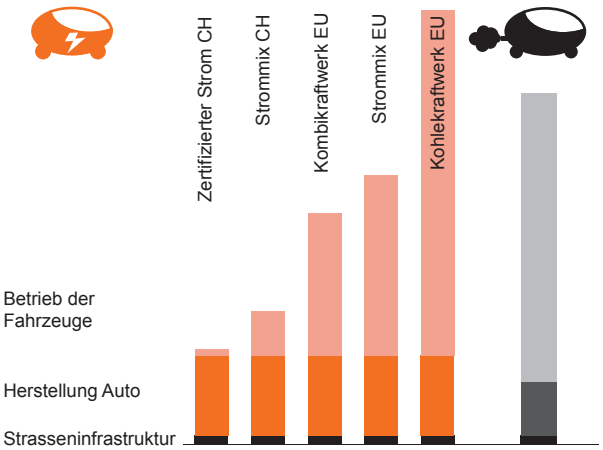
Die Studie stellt die Ergebnisse aus ihren Berechnungen zum einen Werten aus der Literatur gegenüber, zum anderen variiert sie in einer Sensitivitätsanalyse gewisse Annahmen, die der Modellierung als Basis dienen.

Im Vergleich mit anderen Fachpublikationen schätzt die vorliegende Analyse die durch die Elektromobilität ermöglichte Reduktion des Treibhausgasausstosses eher tiefer ein. Dies rührt daher, dass die meisten Untersuchungen sich darauf beschränken, die Betriebsphase der Fahrzeuge zu betrachten. Eine Analyse, die auch die Belastungen berücksichtigt, die bei der Herstellung der Autos anfallen, kommt zwangsläufig zu einer etwas pessimistischeren – oder vielmehr: realistischeren Einschätzung.

Die Verlässlichkeit der Simulation wurde ausserdem hinterfragt, indem bestimmte ihrer Grundannahmen variiert wurden. Im einen Fall wurde unterstellt, dass die für Elektrofahrzeuge erwarteten technologischen Durchbrüche ausbleiben würden. Doch sogar wenn die technischen Fortschritte der Stromfahrzeuge ausbleiben, schneiden sie in der Treibhausgasbilanz immer noch deutlich besser ab als Autos mit Verbrennungsmotoren.

Schliesslich wurde auch der Einfluss der verwendeten Antriebsenergie ausgewertet. Die Ergebnisse bestätigen, dass die Umweltfreundlichkeit der Elektroautos unmittelbar vom verwendeten Strom abhängt. Während ein mit dem Schweizer Strommix betriebenes E-Auto der Kompaktklasse heute 70 Prozent weniger CO_2 ausstösst als ein vergleichbarer Benziner, reduziert sich der Vorsprung auf 20 Prozent, wenn der europäische Strommix mit einem höheren fossilen Anteil getankt wird. In Zukunft fallen die negativen Auswirkungen des europäischen Strommixes sogar noch markanter aus: Ein mit derartiger Elektrizität betriebenes Auto würde im Jahr 2050 gegenüber einem konventionellen Vehikel bloss eine 10-prozentige CO_2-Einsparung mehr erzielen.

Treibhausgase pro Kilometer



Wenn Elektroautos mit Strom aus fossilen Quellen angetrieben werden, schneiden sie nicht besser ab als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

4 Effizienz lenkt den Verkehr in die richtige Bahn

Für die Schweiz mit ihrem spezifischen Strommix überwiegen die Vorteile der Elektromobilität. Ihre Risiken lassen sich mit den richtigen Massnahmen begrenzen.

Der Treibhausgasausstoss des Verkehrs wird in den nächsten Jahrzehnten zurückgehen – und die Elektromobilität könnte in der Schweiz dazu beitragen, diese Reduktion signifikant zu verstärken. Dies, weil der Schweizer Strommix zu einem namhaften Teil auf Wasserkraft und Kernenergie beruht. Zwar sehen die offiziellen Energieperspektiven für die Jahre bis 2035 einen steigenden Import von Strom aus Gaskraftwerken voraus, um die Verluste der stillgelegten Atomkraftwerke auszugleichen. Doch selbst in dieser Phase schneiden die Elektrofahrzeuge gut ab, und nach 2035 wird der Anteil an Strom aus Gaskraftwerken zu Gunsten von Elektrizität aus erneuerbaren Quellen wieder zurückgehen.

Auch wenn künftig mehr Elektrofahrzeuge auf den Strassen zirkulieren, reicht die gemäss den Energieperspektiven zur Verfügung stehende Elektrizität bei weitem aus, um die dadurch verursachte Steigerung der Nachfrage zu decken. Denn dank ihrer hohen Effizienz brauchen Stromfahrzeuge relativ wenig Strom. So liessen sich beispielsweise im Jahr 2050 mit neun Prozent der Schweizer Stromerzeugung 65 Prozent der motorisierten Individualmobilität betreiben.

Für die Wirtschaft stellt die Elektromobilität ebenfalls grosse Vorteile in Aussicht. Bereits heute produzieren Schweizer Firmen spezifische Komponenten für Stromfahrzeuge. Es handelt sich dabei um forschungsnahe Branchen für qualifizierte Arbeitskräfte, die somit die Standortattraktivität der Schweiz stärken. Die Schweizer Wirtschaft muss allerdings darauf bedacht sein, einer schnellen Entwicklung zu folgen, damit sie den Anschluss an andere innovative Wirtschaftsräume nicht verliert. Wenn sich die Elektromobilität rasch verbreitet, ist dies mithin nicht nur vom ökologischen, sondern auch vom ökonomischen Standpunkt aus zu begrüssen.

Alternative Finanzierungsmodelle für die Infrastruktur

Nebst den Chancen, die die Elektromobilität eröffnet, verschärft sie die sich ohnehin abzeichnenden Schwierigkeiten bei der Finanzierung der Strasseninfrastruktur. Bis jetzt flossen mit den Treibstoffzöllen die für den Unterhalt der Strassen benötigten Mittel in den Staatssäckel. Dieses Finanzierungsmodell steht nun auf wackligen Beinen. So gesehen, beanspruchen Elektrofahrzeuge eine Infrastruktur, an die sie nichts beisteuern. Und weil die konventionellen Fahrzeuge immer weniger Benzin oder Diesel benötigen, droht diese Geldquelle vollends zu versiegen.

Technisch ist es kaum möglich, analog zum Tanken von fossilem Treibstoff den von Elektrofahrzeugen geladenen Strom separat zu erfassen und zu besteuern. Somit drängt sich der Wechsel zu einer kilometerabhängigen Besteuerung auf. Idealerweise würde die fahrleistungsabhängige Abgabe nach Effizienz des Fahrzeugs abgestuft, um besonders sparsame Autos zu fördern. Ein solcher Ansatz hätte auch für Autos mit Verbrennungsmotoren den erwünschten Effekt, dass effiziente Modelle bevorzugt behandelt und somit für die Käufer attraktiv würden.

Keine Förderung spezifischer Antriebsformen

Der Vergleich zwischen den drei Szenarien zeigt deutlich, dass sich die grössten Gewinne für die Umwelt über die Steigerung der Effizienz erzielen lassen: Das Zukunftsbild «Vernetzte Mobilität», das auf eine verstärkte Förderung der Elektromobilität abzielt, verzeichnet gegenüber dem Szenario «Effizienz» bloss einen vergleichsweise geringen Vorsprung – ein deutlicher Fingerzeig darauf, dass auf technologiespezifische Förderungsmassnahmen verzichtet werden sollte, weil ihr Grenznutzen gering ist.

Sinnvoll sind dagegen technologieneutrale Massnahmen wie Mindestvorschriften, Maximalwerte sowie absatzgewichtete Mittelwerte zur Gesamtenergieeffizienz von Personenwagen. Solche Vorkehrungen tragen indirekt zu einer Förderung der Elektromobilität bei. Ausserdem ist mit dieser Strategie nicht zu befürchten, dass sie im Zusammenspiel mit nicht genau planbaren technologischen Innovationen zu unerwünschten oder gar kontraproduktiven Auswirkungen führt.

Den ganzen Lebenskreislauf im Blick behalten

Die Begeisterung angesichts des schadstoffarmen Elektroantriebs lässt die Umweltbelastungen in Vergessenheit geraten, die bei der Herstellung der Stromfahrzeuge anfallen. Energieetiketten für die Beurteilung der Fahrzeugeffizienz sollten daher den ganzen Lebenslauf der Fahrzeuge berücksichtigen.

Um die Abhängigkeit von Rohstoffen zu verhindern, sollte bereits bei der Konzeption der Fahrzeuge an die spätere Rezyklierung der verbauten Wertstoffe gedacht werden. Durch die Vermietung oder Weiterverwendung von Batterien könnten neue Geschäftsfelder entstehen, deren – zumindest anfängliche – Förderung zu prüfen wäre.

Damit Elektrofahrzeuge aber zu einem nachhaltigeren Verkehr beitragen, muss es letztlich gelingen, zu verhindern, dass der Verkehr stärker zunimmt als der ökologische Gewinn, der durch die effizienteren Fahrzeuge

erzielt wird. Hier wird der Mut zu unpopulären Schritten wie etwa dem Verzicht der Subventionierung des Pendlerverkehrs gefordert sein. Eine breite Debatte über die Zukunft des Verkehrssystems könnte die gesellschaftliche Akzeptanz für solche Massnahmen erhöhen.

Studie «Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz»

Begleitgruppe

Ruedi Jörg-Fromm, Zürich, TA-SWISS-Leitungsausschuss (Vorsitzender der Begleitgruppe)

- Heidi Blattmann, Wissenschaftsjournalistin, Herrliberg, TA-SWISS-Leitungsausschuss
- Christian Bühlmann, Bundesamt für Energie BFE, Ittigen
- Volker Fröse, Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern
- Lino Guzzella, ETH Zürich, Zürich
- Stefan Hirschberg, Paul Scherrer Institut PSI, Villigen
- Kurt Hug, Berner Fachhochschule, Vaufflin
- Christian Jahn, Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern
- Mario Keller, INFRAS, Bern
- Dieter Kraft, Bosch, Stuttgart
- Cornelia Moser, Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern
- Tobias Ott, ETZ Zürich, Zürich
- Felix Reutimann, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern
- Martin Schiess, Bundesamt für Umwelt, BAFU, Bern
- Fridolin Stähli, Fachhochschule Nordwestschweiz, Windisch
- Daniel Wachter, Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bern
- Michael Weber, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

Projektleitung TA-SWISS

Lucienne Rey

Impressum

TA-SWISS (Hrsg.) In die Zukunft stromern. Elektromobilität im Schweizer Verkehrssystem der kommenden Jahrzehnte.

Kurzfassung der Studie «Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz»,TA-SWISS, Bern 2013.
TA 59A/2013

Autorin: Lucienne Rey, Bern
Redaktion: Christine D'Anna-Huber, TA-SWISS
Gestaltung: Hannes Saxer, Bern
Druck: Jordi AG – Das Medienhaus, Belp

TA-SWISS – Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung

Neue Technologien bieten oftmals entscheidende Verbesserungen für die Lebensqualität. Zugleich bergen sie mitunter aber auch neuartige Risiken, deren Folgen sich nicht immer von vornherein absehen lassen. Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS untersucht die Chancen und Risiken neuer technologischer Entwicklungen in den Bereichen «Biotechnologie und Medizin», «Informationsgesellschaft», «Nanotechnologien» und «Mobilität/Energie/Klima». Seine Studien richten sich sowohl an die Entscheidungstragenden in Politik und Wirtschaft als auch an die breite Öffentlichkeit. Ausserdem fördert TA-SWISS den Informations- und Meinungsaustausch zwischen Fachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und der breiten Bevölkerung durch Mitwirkungsverfahren (zum Beispiel PubliForen und publifocus). Die Studien von TA-SWISS sollen möglichst sachliche, unabhängige und breit abgestützte Informationen zu den Chancen und Risiken neuer Technologien vermitteln. Deshalb werden sie in Absprache mit themenspezifisch zusammengesetzten Expertengruppen erarbeitet. Durch die Fachkompetenz ihrer Mitglieder decken diese so genannten Begleitgruppen eine breite Palette von Aspekten der untersuchten Thematik ab.

TA-SWISS ist ein Kompetenzzentrum der Akademien der Wissenschaften Schweiz.

TA-SWISS
Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung
Brunngasse 36
CH-3011 Bern
info@ta-swiss.ch
www.ta-swiss.ch

Ein Kompetenzzentrum der
Akademien der Wissenschaften Schweiz

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Bundesamt für Strassen ASTRA
Bundesamt für Umwelt BAFU