
Umweltauswirkungen der Autoflotte der Schweiz

Autoren

Franziska Wyss, Rolf Frischknecht

Überarbeitete Version v2.0

Kunde

Schweizerische Energiestiftung SES

Uster, 28. Februar 2013

Impressum

Titel	Umweltauswirkungen der Autoflotte der Schweiz
Autoren	Franziska Wyss; Rolf Frischknecht treeze Ltd., fair life cycle thinking Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster www.treeze.ch Phone +41 44 940 61 91, Fax +41 44 940 61 94 info@treeze.ch
Kunde	Schweizerische Energiestiftung SES
Copyright	All content provided in this report is copyrighted, except when noted otherwise. Such information must not be copied or distributed, in whole or in part, without prior written consent of Treeze Ltd. or the customer. Any other means of distribution, even in altered forms, require the written consent. Any citation naming Treeze Ltd. or the authors of this report shall be provided to the authors before publication for verification.
Liability Statement	Information contained herein have been compiled or arrived from sources believed to be reliable. Nevertheless, the authors or their organizations do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility.
Version	477_SES_Umweltauswirkungen der Autoflotte der Schweiz-v2.0, 28.02.2013 11:40:00. Dieser Bericht wurde überarbeitet und ersetzt die Version v1.0 vom 5.2.2013

1 Ausgangslage und Fragestellung

Der vorliegende Kurzbericht dient dazu, die Umweltauswirkungen von batteriebetriebenen Elektroautos auf der Basis von Ökobilanzen anhand zweier Fragestellungen abschätzen zu können.

Es wurden folgende Themen untersucht:

1. Wie hoch wäre der Schweizer Stromverbrauch, wenn sämtliche 4.16 Mio. Personenfahrzeuge in der Schweiz Elektroautos wären?
2. Wie sieht ein Vergleich aus zwischen einer Personenfahrzeugflotte mit ausschliesslich Elektroautos verglichen mit a) der heutigen Flotte, b) Personenfahrzeugen mit konventionellem, energieeffizientem Antrieb (ca. 4 - 5 l/100 km) und c) energieeffizienten Kleinwagen mit konventionellem Antrieb (ca. 3 - 4 l/100km)?

Als Grundlage dienten die Berichte Frischknecht (2012) sowie Leuenberger & Frischknecht (2010). Für die Berechnungen und Annahmen wird auf jene Berichte verwiesen. Der Vergleich mit öffentlichen Verkehrsmitteln und mögliche Rückkopplungseffekte werden hier ausgeschlossen. Die Bezeichnung Fahrzeuge bezieht sich im Folgenden jeweils auf Personenfahrzeuge.

Die Umweltauswirkungen werden durch die vier Indikatoren Treibhausgasemissionen (GWP), kumulierter Energieaufwand (KEA), hochradioaktive Abfälle sowie Gesamtumweltbelastung mittels der Methode der ökologischen Knappheit 2006 quantifiziert.

Die Bilanzen beinhalten die Herstellung des Fahrzeugs und wesentlicher Komponenten (insbesondere die Batterie bei Elektroautos), die Bereitstellung des Treibstoffs beziehungsweise des Stroms, die Emissionen beim Fahren sowie Bau, Unterhalt und Rückbau der Strasseninfrastruktur.

Der Strombedarf beziehungsweise Kraftstoffbedarf der einzelnen Fahrzeuge bezieht sich auf die Realsituation und berücksichtigt damit den Energiebedarf von Nebenverbräuchen wie Heizung, Licht oder Klimaanlage. Die schweizerischen Flottendurchschnitte basieren auf den Angaben der Version 2.1 des Handbuchs für Emissionsfaktoren (zitiert in Frischknecht 2012).

2 Bewertungsmethoden

In diesem Kurzbericht werden vier Ökobilanz-Indikatoren verwendet. Der Strassenverkehr ist einer der bedeutenden Emittenten von Treibhausgasen. Die Treibhausgas-Emissionen werden mit den aktuellen Treibhauspotenzialen gemäss dem 4. Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007) gewichtet. Im Zusammenhang mit der Diskussion zur 2000 Watt Gesellschaft spielt die Reduktion des Energiebedarfs eine wichtige Rolle. Deshalb wird der kumulierte Energieaufwand gemäss der im ecoinvent Datenbestand v2.2 implementierten Methode (Frischknecht et al. 2007) und aufgeteilt in erneuerbar und nicht erneuerbar ausgewiesen. Die Methode der ökologischen Knappheit 2006 (Frischknecht et al. 2008) basiert auf den Zielsetzungen der Schweizerischen Umweltpolitik. Die Methode wird hier verwendet, um die Gesamtumweltbelastung der verschiedenen Antriebskonzepte zu beurteilen. Mit dieser Methode werden die wesentlichen Schadstoffemissionen individueller Mobilität bewertet, einschliesslich versauernder und überdüngender Substanzen. Schliesslich wird der Indikator hochradioaktive Abfälle gezeigt, welcher in der Stromdeklaration gemäss EU Direktive (European Commission 2003) neben den CO₂ Emissionen aufgeführt werden muss (Frischknecht 2012).

3 Inventardaten

3.1 Ausgangslage

In der Schweiz sind gemäss Angaben der Schweizerischen Energiestiftung 4.16 Mio. Personenfahrzeuge in Verkehr (ASTRA 2012). Diese legen jährlich 12'000 km zurück. Durchschnittlich ist ein Personenfahrzeug mit 1.6 Personen besetzt. Die Modellierung wurde für den heutigen Flottenmix, eine Flotte elektrisch angetriebener Autos, eine Flotte effizienter Diesel-Fahrzeuge der unteren Mittelklasse (Golf-Klasse) und eine Flotte von Kleinwagen (VW Lupo 3l) durchgeführt. Wenn im Folgenden von Fahrzeugen die Rede ist, bezieht sich dies jeweils auf die Schweizer Personenfahrzeuge.

3.2 Fahrzeuge

Die benutzten Daten basieren mit Ausnahme der Batterieherstellung und der Modellierung der sparsamen Dieselfahrzeuge (VW Golf BlueMotion und VW Lupo) auf den Daten des ecoinvent Datenbestands v2.2. Die übrigen Daten basieren auf den ecoinvent Datensätzen zu Euro 5 Fahrzeugen, bei denen Treibstoffbedarf und Emissionen an die Werte der hier bilanzierten Fahrzeuge angepasst wurden. Treibstoff- und Stromverbrauch der Fahrzeuge wurden so korrigiert, dass sie dem Verbrauch in der Realsituation entsprechen. In Althaus und Gauch (2010) wurde beim Elektrofahrzeug ein Realsituationszuschlag von 35 % angesetzt. Höpfner et al. (2009) berechnet einen Mehrverbrauch in der Realsituation von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren von 17 % gegenüber dem Verbrauch gemäss Testzyklus. Wir verwenden für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren einen Realsituationszuschlag von 20 %. Diese Mehrverbräuche

kommen durch einen höheren mechanischen Energiebedarf im Alltagsverkehr sowie betriebsspezifische Nebenverbräuche (Licht, Heizung, Klimaanlage, Radio, etc.) zu Stande (Althaus & Gauch 2010). Der VW Lupo hat auf dem Prüfstand einen Verbrauch von 3 l/100km, und somit einen Realverbrauch von 3.6 l/100km. Der Golf BlueMotion verbraucht auf dem Prüfstand 3.8 l/100 km, und hat somit einen Realverbrauch von 4.6 l/100km. Das im ecoinvent Datenbestand v2.2 modellierte Elektroauto hat im Realbetrieb einen spezifischen Strombedarf von 20 kWh/100 km. Dieser Wert stimmt gut mit dem in der Empa Studie verwendeten überein (Althaus & Gauch 2010). Ein Elektroauto der Kleinwagen-Klasse (was dem VW Lupo entsprechen würde, hier aber nicht bilanziert ist) dürfte im Realbetrieb auf 100 km rund 15 kWh Strom verbrauchen.

Das Elektroauto mit einem Totalgewicht von 1320 kg ist mit einem Satz Lithium-Ionen-Batterien mit einem Gewicht von 312 kg bestückt, der einmal während der Nutzungsdauer des Autos (150'000 km) ersetzt werden muss. Unter Berücksichtigung von Garantien von Autoherstellern wird angenommen, dass während der Nutzungsdauer des Autos zwei komplette Batteriensätze benötigt werden (Frischknecht 2012). Die Werte in Frischknecht (2012) sind in Personenkilometern angegeben [pkm]. Durch Multiplikation der Ergebnisse mit 1.6 erhält man die hier gezeigten Ergebnisse pro Fahrzeugkilometer [km].

Tab. 3.1 zeigt den Verbrauch, sowie die Umwelteinflüsse der entsprechenden Fahrzeuge pro Fahrzeugkilometer.

Tab. 3.1 Umwelteinflüsse pro Fahrzeugkilometer für unterschiedliche Fahrzeuge in der Schweiz (Frischknecht 2012): Kumulierter Energieaufwand (KEA) (erneuerbar und nicht erneuerbar), Treibhausgase (GWP), Umweltbelastung (Methode der ökologischen Knappheit, Moek), Hochradioaktive Abfälle (HoA). Die Fahrzeugverbräuche beziehen sich auf die Realsituation und sind mit einem Mehrverbrauchs faktor von 20 % korrigiert (ausgenommen Elektroauto (Zuschlag 35 %) und Flottendurchschnitt). Das Elektroauto wird mit Schweizer Strommix geladen (siehe Unterkapitel 3.3).

	Fahrzeug- verbrauch	KEA erneuerbar	KEA nicht erneuerbar	GWP	Moek	HoA
Einheit	l/100 km kWh/100 km	MJ Öl- eq/km	MJ Öl- eq/km	kg CO ₂ - eq/km	UBP/km	mm ³ /km
Flottendurchschnitt	6.9	0.1	5.2	0.3	315.4	0.5
Diesel, Golf BlueMotion	4.6	0.1	3.5	0.2	178.0	0.5
Diesel, VW Lupo	3.6	0.1	3.1	0.2	159.0	0.5
Elektroauto, Golfklasse, 2 Batterien	20.0	0.5	4.3	0.2	260.6	1.8
Elektroauto, Golfklasse, 1 Batterie	20.0	0.4	3.8	0.1	224.0	1.7

Die Treibhausgas-Emissionen treten bei den verschiedenen Fahrzeugen an unterschiedlichen Stellen auf. Während bei den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor die Treibhausgas-Emissionen am Auspuff rund zwei Drittel der Klimawirkung des Autofahrens ausmachen, stammen die wesentlichen Beiträge zur Klimawirkung des Elektroautos aus der Herstellung der Batterien und des Fahrzeugs. Bei der Batterieherstellung ist der Bedarf an Strom und thermischer Energie massgebend für die Höhe der Emissionen beziehungsweise der Umweltbelastung. Bei der Fahrzeugherstellung stammen wesentliche Beiträge vom Energieeinsatz und von der Bereitstellung von Stahl, Kunststoffen und anderen Materialien.

Die Aufwendungen und Emissionen zur Herstellung des Autos und der Batterie werden anteilmässig auf die erwartete Kilometerleistung (Fahrzeug 150'000 km, Batterie 75'000 km) aufgeteilt. Ebenso werden die Aufwendungen für den Strassenbau entsprechend dem jährlichen Verkehrsaufkommen (ausgedrückt in Brutto-Tonnenkilometern) von Autos und Lastwagen auf Fahrzeugkilometer umgerechnet (Frischknecht 2012).

3.2.1 Fahrzeugkomponenten

Autos mit Verbrennungsmotor beziehungsweise Elektromotor unterscheiden sich bezüglich verschiedener Komponenten. Elektroautos benötigen einen Elektromotor, eine Batterie, einen Rekuperator und Leistungselektronik. Autos mit Verbrennungsmotor benötigen demgegenüber einen Verbrennungsmotor, einen Tank und eine Abgasnachbehandlung (Katalysator). Unterschiede im Rohstoffbedarf (wie etwa ein höherer Kupferbedarf), und im Gewicht der Motoren werden berücksichtigt. Das Elektroauto kommt ohne Katalysator (und damit auch ohne Edelmetalle) und ohne Tank aus. Der Einsatz von Seltenen Erden (Neodym) in Hochleistungsmagneten von Elektromotoren wurde in Frischknecht (2012) vernachlässigt. Bereits heute sind in Autos viele Elektromotoren (Stellmotoren) im Einsatz, in denen Neodym verwendet wird. Die im Elektroauto zusätzlich benötigte Leistungselektronik wurde bei Frischknecht nicht berücksichtigt. Der Batterie in Elektroautos und deren Herstellung kommt hingegen eine zentrale Rolle zu.

3.2.2 Batterieherstellung

Ökobilanzen zu Herstellung und Entsorgung von Batterien im Allgemeinen und zu Lithium-Ionen Batterien im Speziellen sind eher rar. Die hier verwendeten Zahlen und Ausführungen basieren auf Frischknecht (2012).

Die Hauptunterschiede verschiedener Batterien im Primärenergieaufwand, in den Treibhausgas-Emissionen und im radioaktiven Abfall der Li-Ion-Batterien sind im Wesentlichen auf die grossen Unterschiede in den zugrunde gelegten spezifischen Strom- und Wärmebedarfsdaten bei der Batterieherstellung zurückzuführen. Die unterschiedliche Rohstoffzusammensetzung der Batterien spielt hingegen bezüglich der untersuchten Indikatoren kaum eine Rolle (Frischknecht 2012).

Ausgehend von den in Frischknecht (2012) gezeigten Ergebnissen lässt sich die Umweltbelastung von Batterien, wie sie in aktuell angebotenen Fahrzeugen eingebaut sind, abschätzen. Die Informationen zu den Gewichten der Batterien stammen aus den technischen Datenblättern der Hersteller oder, im Falle des VW E-Golf, aus einem Zeitungsartikel (z.B. Bartsch 2010).

Die publizierten Ergebnisse zu den Umweltauswirkungen der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien unterscheiden sich stark. Aufgrund einer Übersicht über mehrere publizierte Arbeiten erachten wir Treibhausgas-Emissionen pro kg Batterie in der Grössenordnung von 15 bis 20 kg CO₂eq als plausibel.

Frischknecht (2012) ermittelte unter anderem folgende Werte für die Umweltbelastungen der Herstellung einer Lithium-Ionen Batterie:

Tab. 3.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA) (erneuerbar und nicht erneuerbar), Treibhausgase (GWP), Umweltbelastung (Methode der ökologischen Knappheit, MoeK), Hochradioaktive Abfälle (HoA) der Herstellung von 1 kg Lithium-Ionen Batterie (Frischknecht 2012)

	KEA erneuerbar	KEA nicht erneuerbar	GWP	MoeK	HoA
	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq	UBP'06	mm ³
Li-Ion Batterie	13	252	17.1	17'500	23.3

3.3 Strommix Schweiz

Die Strombereitstellung ist ein umweltrelevanter Bereich der Elektromobilität. In Tab. 3.3 sind dessen Umweltauswirkungen pro kWh aufgelistet. Als Strommix wird der an Schweizer Steckdosen gelieferte Strom eingesetzt (Niederspannung, Konsummix (separat verkaufte, zertifizierte Stromprodukte sind im Konsummix nicht enthalten), hier als „Strommix CH“ bezeichnet).

Tab. 3.3 Kumulierter Energieaufwand (KEA) (erneuerbar und nicht erneuerbar), Treibhausgase (GWP), Umweltbelastung (Methode der ökologischen Knappheit, MoeK), Hochradioaktive Abfälle (HoA) der Bereitstellung von 1 kWh Schweizer Strommix Niederspannung (Frischknecht 2012)

	KEA erneuerbar	KEA nicht erneuerbar	GWP	MoeK	HoA
	MJ Öl-eq	MJ Öl-eq	kg CO ₂ -eq	UBP'06	mm ³
Strommix CH, Niederspannung	1.5	9.49	0.15	450.6	6.05

4 Ergebnisse und Interpretation

4.1 Zusätzlicher Strombedarf pro Jahr

Ein einzelnes Elektrofahrzeug der Golfklasse verbraucht pro Jahr 2'400 kWh Strom. Falls die gesamte Schweizer Fahrzeugflotte aus Elektroautos bestehen würde, hätte dies einen Mehrverbrauch von 9.98 TWh Strom pro Jahr zur Folge. Dies entspricht ca. 25 % des heute mit Wasserkraft gewonnenen Stroms, resp. 15 % des totalen Stromverbrauchs der Schweiz im Jahr 2010 (BFE 2011).

4.2 Auswirkungen der Fahrzeuge

Die Intensität der Umweltbelastung, verursacht durch den Betrieb und die Herstellung des Fahrzeugs, variieren stark je nach Indikator. Die Methode der ökol. Knappheit zeigt, dass für ein Elektroauto mit oder ohne Ersatzbatterie 28 % resp. 33 % der Umwelteinflüsse allein von der Batterie herrühren. Die Herstellung der Lithium-Ionen Batterie ist sehr ressourcenintensiv und hat somit einen grossen Einfluss auf die Gesamtumweltbelastung. Die Treibhausgasemissionen durch die Batterie sind um 20 % höher als durch das Fahrzeug, da der Betrieb des Fahrzeugs nicht mehr auf fossilen Ressourcen (Ausnahme im Stromanteil) beruht. Die höheren Mengen hochradioaktiver Abfälle sind durch den Stromverbrauch (Stromanteil von AKWs) im Betrieb zu begründen.

Tab. 4.1 zeigt die Umweltbelastungen nicht nur der Elektrofahrzeuge (mit und ohne Ersatzbatterie), sondern auch den Vergleich mit der durchschnittlichen Schweizer Fahrzeugflotte und den effizienten dieselbetriebenen Autos.

Tab. 4.1 Umweltbelastungen pro Fahrzeug und Jahr (Fahrleistung 12'000 km); Indikatoren: gemessen durch Kumulierter Energieaufwand (KEA) (erneuerbar und nicht erneuerbar), Treibhausgase (GWP), Umweltbelastung (Methode der ökologischen Knappheit, MoeK), Hochradioaktive Abfälle (HoA)

	KEA erneuerbar	KEA nicht erneuerbar	GWP	MoeK	HoA
Einheit	MJ Öl-eq/a	MJ Öl-eq/a	kg CO ₂ - eq/a	UBP/a	mm ³ /a
Flottendurchschnitt	$1.51 \cdot 10^3$	$6.27 \cdot 10^4$	$3.73 \cdot 10^3$	$3.78 \cdot 10^6$	$5.89 \cdot 10^3$
Diesel, Golf BlueMotion	$1.48 \cdot 10^3$	$4.25 \cdot 10^4$	$2.38 \cdot 10^3$	$2.14 \cdot 10^6$	$5.68 \cdot 10^3$
Diesel, VW Lupo	$1.47 \cdot 10^3$	$3.72 \cdot 10^4$	$2.01 \cdot 10^3$	$1.91 \cdot 10^6$	$5.61 \cdot 10^3$
Elektroauto, Golfklasse, 2 Batterien	$5.59 \cdot 10^3$	$5.20 \cdot 10^4$	$1.83 \cdot 10^3$	$3.13 \cdot 10^6$	$2.10 \cdot 10^4$
→ Davon Anteil durch Stromerzeugung	64 %	44 %	19 %	35 %	69 %
Elektroauto, Golfklasse, 1 Batterie	$5.18 \cdot 10^3$	$4.57 \cdot 10^4$	$1.40 \cdot 10^3$	$2.69 \cdot 10^6$	$2.05 \cdot 10^4$
→ Davon Anteil durch Stromerzeugung	69 %	50 %	25 %	40 %	71 %

Es ist ersichtlich, dass der heutige Flottendurchschnitt den höchsten kumulierten Energieaufwand verursacht (erneuerbar und nicht erneuerbar). Die dieselbetriebenen Fahrzeuge weisen einen tieferen Energieverbrauch aus als die Elektrofahrzeuge (mit und ohne Ersatzbatterie). Zudem zeigt Tab. 4.1, dass ein grosser Teil der Umweltbelastungen der Elektrofahrzeuge durch den Betrieb, d.h. durch den Stromverbrauch bedingt sind, nämlich 19 % bei den Treibhausgasemissionen oder bis zu 69 % bei den hochradioaktiven Abfällen. Das Treibhauspotential ist bei den Elektrofahrzeugen deutlich geringer als bei den fossil betriebenen Autos. Der VW Lupo weist die tiefste Gesamtumweltbelastung aus. Beim VW Lupo ist allerdings zu beachten, dass es sich dabei um einen Vertreter der Kleinwagen-Klasse handelt. Der Golf BlueMotion ist ein Wagen der unteren Mittelklasse und somit grösser und schwerer als der VW Lupo. Die Menge hochradioaktiver Abfälle ist bei den Elektrofahrzeugen höher als bei den herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

Fig. 4.1 zeigt den kumulierten Aufwand der erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energien pro Fahrzeug und Jahr. Es ist ersichtlich, dass beide Elektroautovarianten den höchsten Anteil des Aufwands an erneuerbaren Energien aufweisen. Im Totalaufwand befinden sich die Elektrofahrzeuge zwischen dem Golf BlueMotion und dem Flottendurchschnitt. Die Analyse zeigt, dass der dieselbetriebene Kleinwagen VW Lupo, gefolgt vom Golf BlueMotion, die geringsten Energieaufwände aufweisen. Die

Elektrofahrzeuge liegen zwischen den energieeffizienten Dieselfahrzeugen und dem Flottendurchschnitt, welcher den höchsten Energieaufwand aufweist.

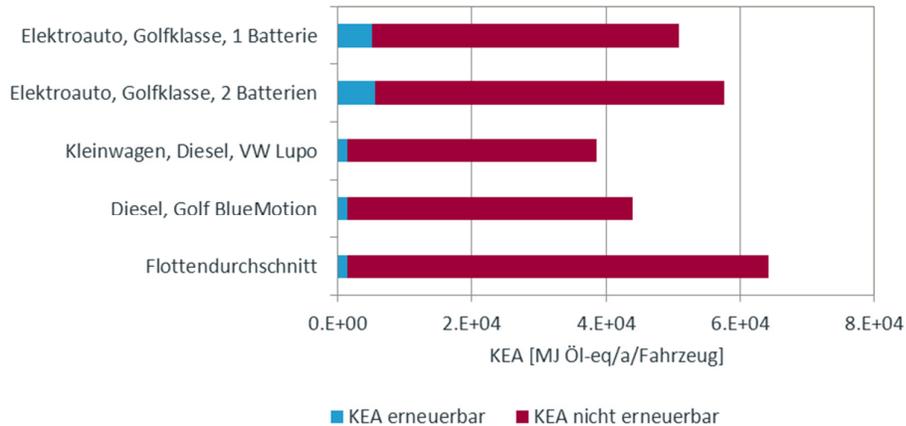


Fig. 4.1 Kumulierter Energieaufwand (KEA), erneuerbar und nicht erneuerbar der unterschiedlichen Fahrzeuge in [MJ Öl eq/a/Fahrzeug]

Bezüglich der Treibhausgase schneiden die fossil betriebenen Fahrzeuge deutlich schlechter ab als die Elektroautos, deren Treibhausgasemission weniger als halb so gross sind als der Flottendurchschnitt.

Die jährliche Gesamtumweltbelastung ist für den Flottendurchschnitt am höchsten und für die dieseltriebenen Fahrzeuge VW Lupo und Golf BlueMotion am geringsten. Die beiden Elektroautovarianten befinden sich im Mittelfeld.

Bezüglich der hochradioaktiven Abfälle schliessen die Elektroautos dadurch schlechter ab, da sie unter anderem mit Strom aus AKWs betrieben werden. Dieser Umweltindikator wird hauptsächlich durch den verwendeten Strommix beeinflusst. Die fossil betriebenen Fahrzeuge haben eine sehr viel tiefere Belastung mit hochradioaktiven Abfällen, da diese grösstenteils aus dem Stromverbrauch der Produktion stammen.

Eine Fahrzeugflotte, welche ausschliesslich aus Elektrofahrzeugen der unteren Mittelklasse besteht, würde den heutigen Stromverbrauch um ca. 15 % steigern. Der Energieaufwand und die Treibhausgasemissionen liegen bei den Elektrofahrzeugen tiefer als beispielsweise beim Flottendurchschnitt. Die Wahl des Strommixes hat jedoch einen grossen Einfluss auf die Treibhausgasemissionen aber auch auf die übrigen Umweltkennwerte. Elektroautos, welche mit Strom aus (mehrheitlich) fossilen Quellen geladen werden, weisen hohe spezifische CO₂-Emissionen auf, produzieren aber relativ wenig radioaktive Abfälle. Werden die Fahrzeuge mit Strom aus Kernkraftwerken geladen, sind die CO₂-Emissionen relativ tief. Dafür werden deutlich mehr radioaktive Abfälle erzeugt. Einzig das Fahren von Elektroautos mit Strom aus erneuerbaren Quellen zeigt in allen fünf Indikatoren tiefe Werte mit Ausnahme des erneuerbaren kumulierten Energieaufwandes (Frischknecht 2012).

4.3 Veränderung der Umweltauswirkungen

Bestände die gesamte Flotte aus energieeffizienten Dieselfahrzeugen gemäss dem VW Lupo, würden die Umweltauswirkungen um 5 % bei den hochradioaktiven Abfällen bis zu 50 % bei den gesamten Umweltbelastungen (UBP'06) reduziert werden, wie Tab. 4.2 zeigt. Die negativen Werte zeigen dabei Reduktionen, die positiven Werte Zunahmen der Umweltbelastungen.

Der Vergleich des heutigen Flottenmixes mit den Elektrofahrzeugen der unteren Mittelklasse (mit und ohne Ersatzbatterie) zeigt, dass das Elektrofahrzeug im totalen Energieaufwand, den Treibhausgasemissionen und der Gesamtumweltbelastung besser abschneidet als der heutige Flottenmix. Die hochradioaktiven Abfälle sind dafür um ca. 250 % höher als heute.

Tab. 4.2 Reduktion, bzw. Zunahme der Umweltbelastungen pro Fahrzeug und Jahr; Indikatoren: gemessen durch Kumulierter Energieaufwand (KEA) (erneuerbar und nicht erneuerbar), Treibhausgase (GWP), Umweltbelastung (Methode der ökologischen Knappheit, Moek), Hochradioaktive Abfälle (HoA). Negative Werte bedeuten eine Reduktion der Umweltbelastung, positive Werte eine Zunahme

	KEA total	GWP	Moek	HoA
Einheit	MJ Öl- _{eq} /a	kg CO ₂ - eq/a	UBP/a	mm ³ /a
Diesel, Golf BlueMotion / Flottendurchschnitt	-31%	-36%	-44%	-4%
Diesel, VW Lupo/ Flottendurchschnitt	-40%	-46%	-50%	-5%
Elektroauto, Golfklasse, 2 Batterien / Flottendurchschnitt	-10%	-51%	-17%	+257%
Elektroauto, Golfklasse, 1 Batterie / Flottendurchschnitt	-21%	-62%	-29%	+249%

Gemessen am totalen Energieaufwand und der Gesamtumweltbelastung würde gegenüber dem heutigen Zustand die grössten Einsparungen bei einer Umstellung zum energieeffizienten Kleinwagen oder zu sparsamen Golfklassefahrzeugen erzielt. Eine Umstellung auf Elektrofahrzeuge würde die grösste Reduktion bei den Treibhausgasemissionen bewirken.

Referenzen

- Althaus & Gauch 2010 Althaus H.-J. and Gauch M. (2010) Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität - Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen. Technologie und Gesellschaft, Empa, Dübendorf.
- ASTRA 2012 ASTRA (2012) Zentrale Motorfahrzeug- und Motorfahrzeughalterdatenbank (MOFIS). Bundesamt für Strassen.
- Bartsch 2010 Bartsch C. (2010) E-Golf geht Ende 2013 ans Netz. In: VDI nachrichten, 10. Dezember 2010, Nr. 49, pp. 15.
- BFE 2011 BFE (2011) Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010. Bundesamt für Energie, Bern, CH, retrieved from: http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=de&dossier_id=04840.
- European Commission 2003 European Commission (2003) Directive 2003/54/EC of the European Parliament and of the Council of 26 June 2003 concerning common rules for the internal market in electricity and repealing Directive 96/92/EC. European Commission; Commission of the European Communities, Brussels.
- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hirschler R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Frischknecht et al. 2008 Frischknecht R., Steiner R. and Jungbluth N. (2008) Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006. Umwelt-Wissen Nr. 0906. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, retrieved from: www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01031/index.html?lang=de.
- Frischknecht 2012 Frischknecht R. (2012) Umweltaspekte von Elektroautos. ESU-services, Uster.
- Höpfner et al. 2009 Höpfner U., Hanusch J. and Lambrecht U. (2009) Abwrackprämie und Umwelt - eine erste Bilanz. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, ifeu, Heidelberg.
- IPCC 2007 IPCC (2007) The IPCC fourth Assessment Report. Cambridge University Press., Cambridge.
- Leuenberger & Frischknecht 2010 Leuenberger M. and Frischknecht R. (2010) Life Cycle Assessment of Battery Electric Vehicles and Concept Cars. implemented in ecoinvent data v2.2 (2010). ESU-services, Uster, CH, retrieved from: www.esu-services.ch/projects/ecoinventdatenbank/ecoinvent-reports/.