

Ressourcenverbrauch und Ressourcenschonung beim Automobil

***Kurzfassung eines Vortrages
am PUSCH Hasenstrick Seminar
am 14. November 2003***

Autor



**Gabor Doka
Doka Ökobilanzen, Zürich**

Zürich, November 2003

Inhaltsverzeichnis

1	VORBEMERKUNG	3
2	MOTIVATION DER RESSOURCENSCHONUNG	3
3	RESSOURCENVERBRAUCH DES AUTOMOBILS	4
4	WARUM EINSPARUNGEN NICHTS BRINGEN	7
5	LITERATUR	10

1 Vorbemerkung

Das Automobil stellt eine der intensivst diskutierten Umweltbelastungen dar. Ein Text über die Ressourcenaspekte des Automobils läuft daher Gefahr viele bekannte Aussagen zu wiederholen. In diesem Sinne habe ich mir erlaubt für den vorliegenden Text auf unbekanntere Aspekte einzugehen oder ungewöhnliche Sichtweisen vorzustellen.

2 Motivation der Ressourcenschonung

Wenn der Begriff Ressourcenschonung verwendet wird, ist es wichtig zu verstehen, *weshalb* eine Schonung der Ressourcen erfolgen soll. Denn nur wenn diese Motivation klar ist, ist erkennbar, was als Ressourcenschonung gelten kann - und was nicht.

Es sollen hier zwei Motivationen der Ressourcenschonung unterscheiden werden. Ressourcenschonung kann sich zum einen auf Forderungen nach Effizienz beziehen. Ressourcen stellen mit beträchtlichem Aufwand produzierte Güter dar. Schonen wir sie, können *Umweltbelastungen vermieden* werden. Zum anderen ist der Begriff Ressourcenschonung auch mit *knappen Ressourcen* verknüpft. D.h. wir wollen endliche oder knappe Ressourcen sparsam verwenden, mit der Absicht, einen Teil auch künftigen Generationen zu hinterlassen. Diese zwei Motivationen der Ressourcenschonung haben unterschiedliche Anliegen, welche Werte sie erhalten oder schützen wollen. In der Fachsprache der Ökobilanzierung heissen diese erhaltenswerten Grössen auch Schutzgüter. Eine Person mit der ersten Motivation (nennen wir sie Archetyp A) will Mensch und Natur hauptsächlich vor vermeidbaren schädlichen Einwirkungen schützen. Ihre Schutzgüter sind sowohl die Gesundheit der Menschen als auch die Qualität der Ökosysteme. Eine Person mit der zweiten Motivation (Archetyp B) will das Naturkapital für künftige Generationen erhalten. Ihr Schutzgut sind wertvollen Ressourcen des Planeten, mit einem Fokus auf knappe Ressourcen, da diese als speziell schützenswert erachtet werden, bzw. da verbreitete Ressourcen (z.B. Luftsauerstoff) nicht als kritisch erachtet werden¹.

Welche Ressourcen sollen demnach geschont werden? Ein Archetyp A würde selbst knappe und seltene Ressourcen verschleudern, solange sie ohne grossen Schadstoffausstoss gefördert und produziert werden könnten. Ein Archetyp B würde auch Ressourcen aus sehr belastenden Quellen nutzen, solange diese nur nicht knapp sind. Beide Motivationen zusammen sind wichtig und real auch verkoppelt: Je knapper eine Ressource wird, desto energetisch aufwendiger ist sie i.d.R. abzubauen (s. Beitrag Ruedi Müller-Wenk). In der Ökobilanzierung sind beide Motivationen der Ressourcenschonung anerkannt und z.B. in der Bewertungsmethode Eco-indicator'99 berücksichtigt.

¹ Ein prägnanter Ausdruck dieser Wertehaltung ist z.B. der Ausspruch "Wir investieren in immer bessere Schweißgeräte, mit denen wir einen Naturtresor nach dem andern ausrauben und meinen: Das ist Wertschöpfung."

3 Ressourcenverbrauch des Automobils

Im folgenden sollen ein paar Resultate einer Ökobilanz eines durchschnittlichen Automobils dargestellt werden. Wird erst mal das Fahrzeug allein betrachtet, gilt es zunächst die darin enthaltenen Materialien festzustellen. Eine durchschnittliche Fahrzeugzusammensetzung ist in Abbildung 1 links dargestellt². Der Hauptteil mit 73% sind Eisenwerkstoffe, Kunststoffe machen 16% aus und Nichteisenmetalle (Blei, Kupfer, Aluminium, Zink etc.) belaufen sich auf 7.1%. Werden die ökologischen Belastungen des Fahrzeugs betrachtet, machen Eisenwerkstoffe rund einen Drittel der Belastung aus³. Kunststoffe machen rund 10% aus. Dagegen machen Nichteisenmetalle wiederum rund einen Drittel aus. Das heisst obwohl Nichteisenmetalle im Auto 10mal weniger häufig als Eisenwerkstoffe eingesetzt werden, sind die Belastungen beider Materialklassen pro Fahrzeug etwa gleich gross. Extrem ist das Beispiel des Katalysators: die darin enthaltenen Metalle Platin und Rhodium machen zwar nur 0.003 Promille des Fahrzeuggewichts aus; aber rund 7% der Umweltbelastung. Wer also von der vorhandenen Masse auf die ökologische Bedeutung oder Vernachlässigbarkeit schliesst macht mitunter grosse Fehler.

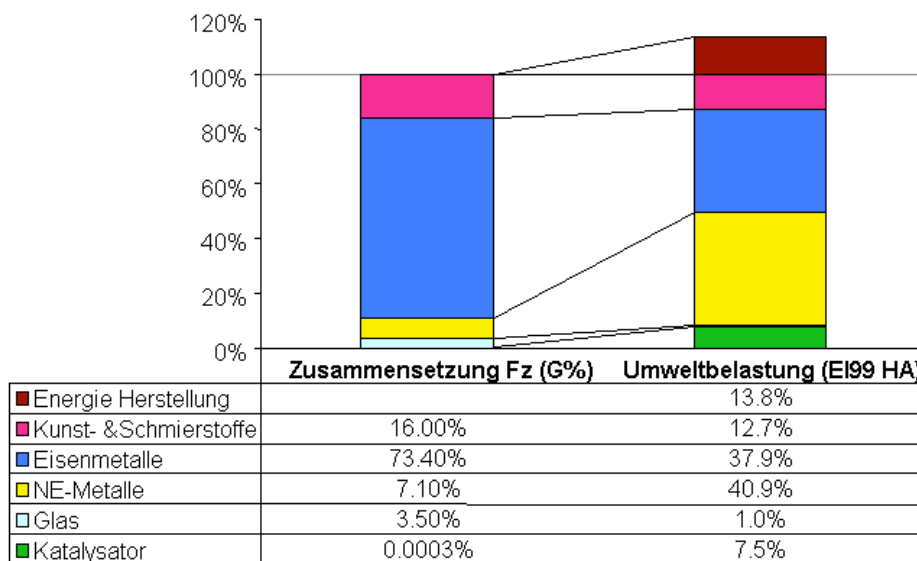


Abbildung 1 Zusammensetzung und ökologische Bedeutung eines PKWs

² Die Fahrzeugzusammensetzung stammt aus den Ökoinventaren für Energiesysteme der ETH Zürich, 1996.

³ Zur Berechnung der ökologischen Belastungen wurden die neuen Ökoinventare des Projektes ecoinvent 2000 verwendet.

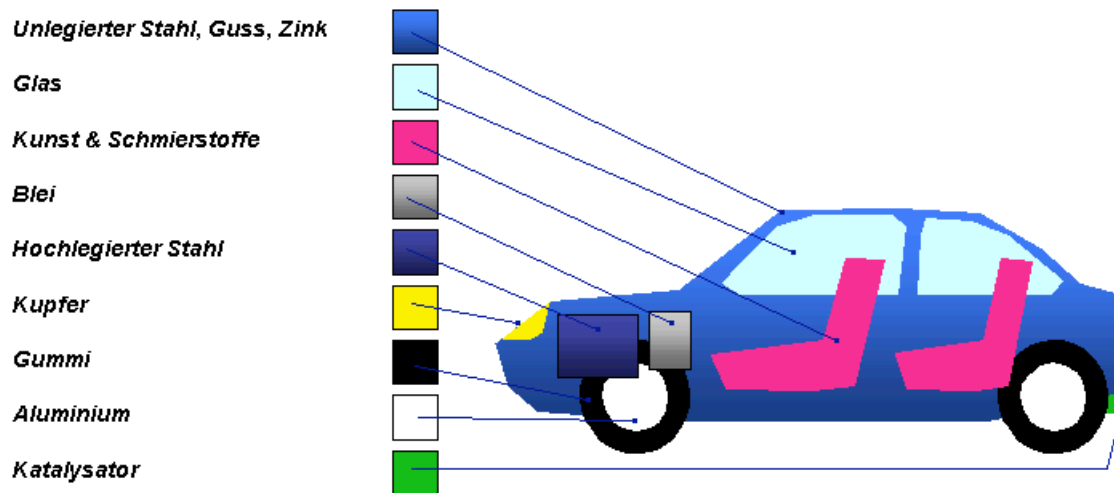


Abbildung 2 Direkte Wahrnehmung der Komponenten eines Fahrzeuges

Der Mensch besitzt keine direkte Wahrnehmung für die oft abstrakten oder indirekten Aspekte der Umweltbelastung. In der Ökobilanz können auch kleine Massen wichtig sein. Mehr als Spielerei lässt sich dieser Einschätzungsfehler auch visuell darstellen. In Abbildung 2 ist ein Fahrzeug dargestellt, so wie wir es direkt wahrnehmen können. Den verschiedenen Materialien wurden bestimmte Fahrzeugteile stellvertretend zugewiesen. Die Grösse der Fläche entspricht diesen Teilen in einem üblichen Fahrzeug. Wie wir gesehen haben enthält die Grösse oder Masse von Teilen keine Aussagekraft über die ökologische Bedeutung dieser Teile. Wer aber trotzdem von Masse auf Umweltbelastung schliesst macht einen Fehler und dieser Fehler (nicht die Umweltbelastung selbst) ist in Abbildung 3 dargestellt. Bei Teilen bei denen der Beitrag zur Umweltbelastung⁴ kleiner ist als der Beitrag zur Fahrzeug-Masse wurde die Fläche geschrumpft. Ist die Umweltbelastung grösser als dies der Beitrag zur Fahrzeug-Masse vermuten lassen würde, wurde die Fläche aufgebläht⁵. Augenfällig wird die relative Bedeutung der Nichteisenmetalle Blei, Alu und Kupfer und auch des hochlegierten Stahls. Schrumpfend sind dagegen unlegierter Stahl und Glas. Hier wurde nicht nur die Fahrzeugmasse berücksichtigt, sondern auch die unterschiedliche Lebensdauer der verschiedenen Materialien im Fahrzeug. Dadurch steigt die Bedeutung der Kunststoffe und Gummi aufgrund des Unterhalts (Schmierstoffe und Reifenersatz). Die Aussagekraft der Abbildung 3 ist z.B. dass ein Kilogramm unlegierter Stahl wesentlich weniger umweltbelastend ist als ein Kilogramm Kupfer.

⁴ Als Bewertungsmethode für Umweltschäden wurde hier die Methode UBP'97 (BUWAL-Umweltbelastungspunkte) gewählt.

⁵ Solche Darstellungen sind neu und noch namenlos. Es gibt verwandte Darstellungsarten in der Kartographie, bei denen Flächen von geographischen Gebieten gemäss einer darzustellenden Grösse verzerrt werden. Solche Karten heissen 'Kartogramme' oder 'anamorphen Karten', basierend auf dem griechischen 'Anamorphose' für Umgestaltung. Beispiele anamorphen Karten auf <http://www.grida.no/cgi/ar/awpack/morph.htm> und <http://www.grida.no/db/maps/poverty-maps/tikunov/> (11.2003). Für die hier präsentierten Bilder wird der Begriff 'anamorphe Darstellungen' vorgeschlagen.

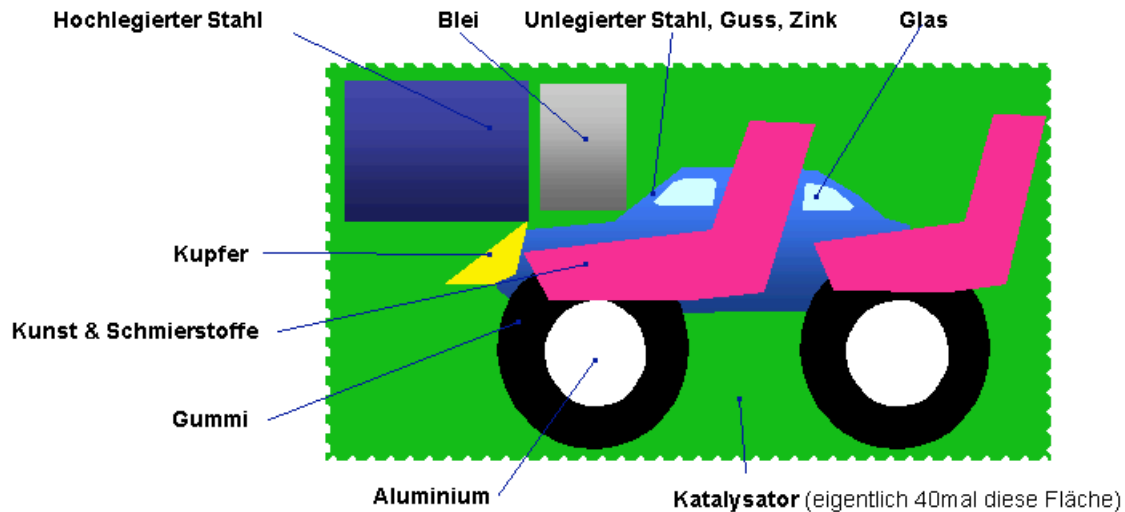


Abbildung 3 Anamorphe Darstellung des Einschätzungsfehlers, wenn von Masse auf Umweltbelastung geschlossen wird

Bis hierher wurde nur die Fahrzeug-Infrastruktur betrachtet. Natürlich konsumiert ein Automobil vor allem auch während der Gebrauchsphase Ressourcen, insbesondere in der Form von Treibstoff. Eine vervollständigte Ökobilanz⁶ eines durchschnittlichen Fahrzeuges ist in Abbildung 4 gezeigt⁷. Die Fahrzeug-Infrastruktur macht dabei 35% der Gesamtbelastung aus. Die Precombustion, d.h. die Bereitstellung des Treibstoffes vor dem Gebrauch macht hier 54% der Gesamtbelastung aus. Der Rest sind die Auspuffabgase, insbesondere Kohlendioxid und Stickoxide. Bei der Entsorgung wurde ein Recycling der grossen Metallteile angenommen. Nicht gut verwertbar sind bisher Reststoffe aus dem Schredder (RESH). Die ca. 220 kg RESH pro Fahrzeug enthalten 150 kg Eisenmetalle und 11 kg Nichteisenmetalle. RESH wird heute vor allem in Kehrichtverbrennungsanlagen verbrannt. Circa ein Fünftel wird nach Frankreich exportiert um die Metalle zu rezyklieren⁸. Gesamthaft werden ca. 85% aller Metalle eines entsorgten Fahrzeuges dem Recycling zugeführt. Nicht oder kaum rezykliert werden vor allem Kunststoffe⁹. Ein zunehmender Anteil der Altfahrzeuge wird zudem nicht in der Schweiz entsorgt, sondern ins Ausland exportiert (v.a. Afrika und Ost-Europa).

⁶ Auch diese Bilanz berücksichtigt noch nicht alle Beiträge. Nicht enthalten sind z.B. Lärm- und Unfallschäden, sowie die Strasseninfrastruktur und spezielle Probleme wie die Zerschneidung von Wildtierkorridoren.

⁷ Als Bewertungsmethode für Umweltschäden wurde hier die Methode Eco-indicator'99 HA (Hierarchist, durchschnittliche Gewichtung) gewählt.

⁸ Die Erstellung einer speziellen Anlage zur Verwertung von RESH in der Schweiz wurde seit 1996 von der IGEA evaluiert. Die Anlage soll 2006 in Monthey VS in Betrieb gehen.

⁹ Die thermische Verwertung von Kunststoffabfällen kann kaum als Recycling angesehen werden, da diese Art von 'Kreislauf' nur genau einmal möglich ist und kein Sekundärmaterial gewonnen wird. Das Material selbst wird dabei zerstört. Die thermische Verwertung gehört zur Standard-Ausrüstung Schweizer Kehrichtverbrennungsanlagen und kann daher nicht als speziell lobenswerte Leistung betrachtet werden. Die Zunahme des Heizwertes der verbrannten Abfälle – insbesondere durch Kunststoffe – hat in der Vergangenheit zu technisch begründeten Kapazitätsreduktionen geführt.

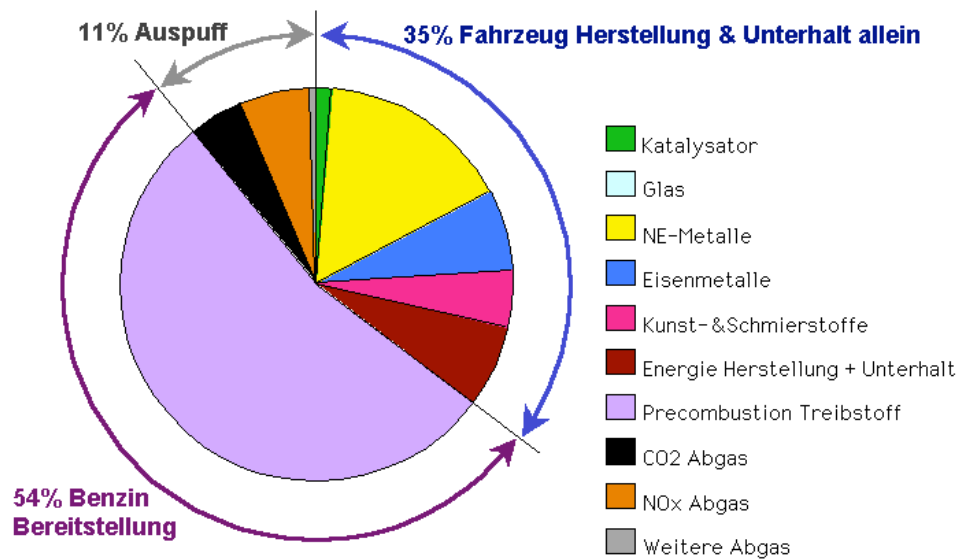


Abbildung 4 Beiträge zur Ökobilanz eines Fahrzeuges (gemäss Eco-indicator'99 HA)

4 Warum Einsparungen nichts bringen

Die Dominanz des Treibstoffverbrauchs, bzw. der entstehenden Auspuffabgase in Abbildung 4 ist nicht überraschend. Seit langem bestehen Bemühungen diese gut bekannten Belastungen des Automobils zu senken. So hat zum Beispiel der Verband Schweizerischer Automobilimporteure VSAI mit dem Bund eine freiwillige Vereinbarung getroffen den Verbrauch der neu verkauften Fahrzeuge von 8.4 liter/100km im Jahre 2000 auf 6.4 liter/100km im Jahre 2008 zu senken. Eine frühere Vereinbarung ist wegen Nichterfüllung gescheitert und auch die aktuelle Vereinbarung erreicht mit ca. 2% Senkung pro Jahr die gesetzten Reduktionsziele von rund 3% bisher leider nicht. Dies ist enttäuschend, denn die Vereinbarung soll helfen, die im Kyoto-Protokoll gesetzten Ziele der Treibhausgasreduktion zu erreichen. Doch selbst wenn die Vereinbarung eingehalten würde, was z.Z. wie gesagt nicht der Fall ist, wäre dies wahrscheinlich zu wenig. Die Vereinbarung setzt auf einer Reduktion des Verbrauchs *per Fahrzeug* an. Es ist zwar verdienstvoll, dass die Fahrzeuge immer weniger Treibstoff auf 100 Kilometer verbrauchen. Diese Effizienzfortschritte werden aber bisher vom *Wachstum des Automobilitäts-Konsums* kompensiert: Wenn immer mehr Leute immer mehr Fahrzeuge besitzen und damit immer weitere Strecken zurücklegen, kann der gesamte Treibstoffverbrauch der Schweiz nie gesenkt werden¹⁰. Die Wachstumsraten der entsprechenden Grössen "Bevölkerung", "Fahrzeugbesitz", "Fahrzeugbestand" und "Verbrauch pro Neufahrzeug" sind in Abbildung** gezeigt¹¹. Während der Verbrauch der Neufahrzeuge zwar sinkt, erhöht sich der Fahrzeugbestand in der Schweiz laufend. Der resultierende gesamtschweizerische Energieverbrauch im Verkehrssektor zeigte daher während der letzten 12 Jahre auch meist eine

¹⁰ Dieser Sachverhalt wird in der sogenannten "I=PAT" Formel prägnant ausgedrückt (Ehrlich & Holdren 1971). Diese besagt, dass die jährliche Umweltbelastung einer Region (Impact) gleich dem Produkt dreier Faktoren entspricht: der Bevölkerung in dieser Region (Population), dem konsumierten Gütern pro Person und Jahr (Affluence = Konsumintensität), und der Umweltbelastung der konsumierten Güter (Technology = technischer Umweltschutz). Die Vereinbarung des VSAI zielt nur auf die Reduktion im letzten Faktor ab (Umweltbelastung pro Fahrzeug-Kilometer), aber beachtet nicht die Konsummuster der Konsumenten (Fahrzeugbesitz und Fahrzeuggebrauch).

¹¹ Aus Datenmangel nicht gezeigt ist die Grösse "Zurückgelegte Strecke pro Fahrzeug und Jahr".

Zunahme (siehe Abbildung**¹²). Lediglich für die Jahre 1993, 2001 und 2002 konnte eine absolute Abnahme verzeichnet werden. Eine deutliche Trendwende ist nicht erkennbar und 2002 wurde immer noch mehr Energie verbraucht als 1990. Es bleibt zu hoffen, dass die Abnahmen der letzten zwei Jahre sich fortsetzen mögen. Der Trend zu immer schwereren Fahrzeugen, mehr Fahrzeug-Komfort und mehr Automobilitäts-Konsum wirkt dieser Entwicklung entgegen.

¹² Die Grafik zeigt den Energieverbrauch inklusive öV und Flugverkehr. Der Verbrauch ist aber proportional zum Verbrauch von Diesel und Benzin, welcher vor allem aus dem Automobilverkehr stammt.

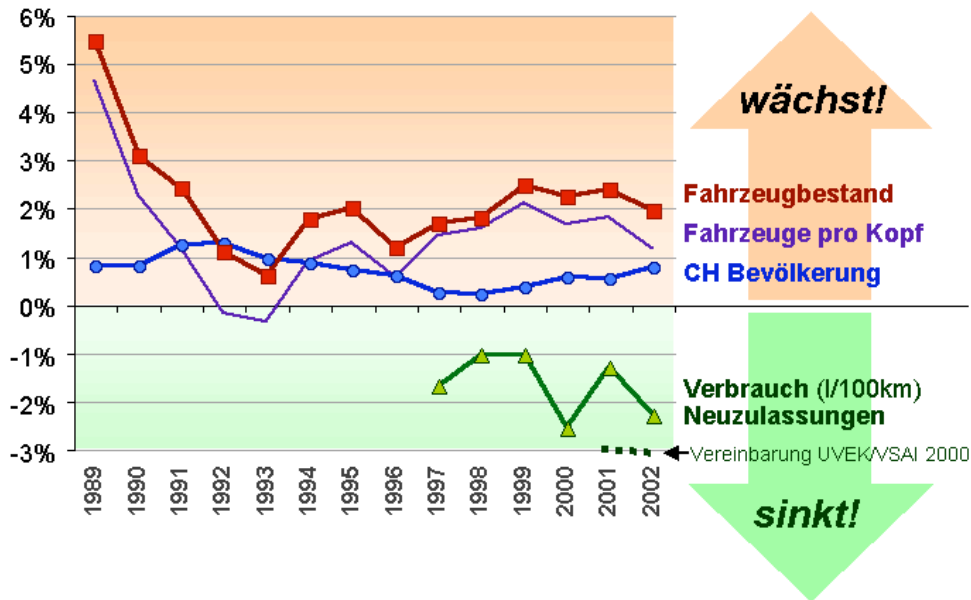


Abbildung 5 Wachstumsraten von Bevölkerung, Fahrzeugbesitz, Fahrzeugbestand und Verbrauch pro Neufahrzeug

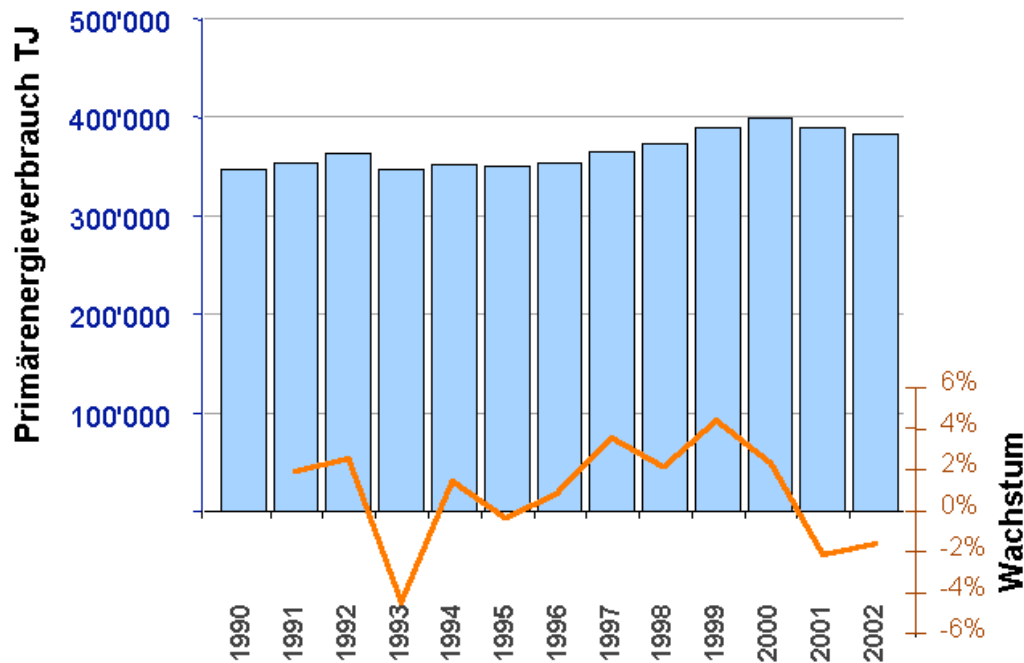


Abbildung 6 Energieverbrauch im Verkehrssektor Schweiz

Interessant in diesem Zusammenhang ist, mit welchen Methoden denn die Automobilindustrie den Treibstoffverbrauch neuer Fahrzeugmodelle senkt. Dies soll am Beispiel des 3-Liter-Lupos (VW Lupo 1.2 TDI) veranschaulicht werden, welcher einen Treibstoffverbrauch von 2.99 l/100km aufweist. Gemäss Werksangaben wurden der Grossteil der Einsparungen, etwa 60%, durch ein geändertes Motorenmanagement erreicht (Direktschaltgetriebe, Tiptronic, Start-Stop-System). Je 20% der Einsparungen wurden durch Gewichtsreduktion (minus 50 kg auf 830kg) sowie geringeren Rollwiderstand durch Veränderte Bereifung erreicht (alle Angaben im Vergleich zum Vorläufermodell VW Lupo 1.7 SDI mit 4.4 l/100km).

Diese auf Fahrzeugebene bemerkenswerten Entwicklungen haben aber auch Nachteile. Die Reduktion des Gewichtes um 6% auf 830kg kann in Relation gesetzt werden z.B. zum Gewicht des ersten VW Golf von 1974. Dieser wog 730kg. Während vor 30 Jahren 730kg ein Gewicht für normal schweres Fahrzeug war, gelten heute 830kg als gewichtsoptimiert. D.h. die Komfortzunahme im Fahrzeugausbau wirkt den Massnahmen zur Gewichtsoptimierung entgegen. Dann muss auch beachtet werden, mit welchen Mitteln die Gewichtsoptimierung erreicht wird. Beim Lupo wurde dies erreicht durch Ersatz von Stahlwerkstoffen durch Aluminium- und Magnesiumlegierungen. Diese Werkstoffe haben pro Kilogramm aber eine höhere Umweltbelastung als Stahl, d.h. der Aufwand für die Fahrzeugherstellung steigt im Bestreben die Umweltbelastung im Betrieb zu senken. Diese Be- und Entlastungen können gegeneinander aufgerechnet werden und der Zeitpunkt bestimmt werden, an welchem die Einsparungen im Betrieb die Mehraufwendungen der Herstellungen kompensiert haben. Diese sogenannte ökologische Rückzahldauer beträgt typischerweise zwischen 4 und 8 Jahren¹³. Diese Zeiträume entsprechen etwa ein bis zwei Drittel der gesamten Fahrzeuglebensdauer. Erst *nach* diesem Zeitpunkt, beginnt ein Fahrzeug die Umwelt effektiv zu entlasten. Beim Lupo TDI beklagt der verwöhnte Automobilist zudem die durch das Motorenmanagement eingeschränkte "Sportlichkeit" des Fahrzeuges. Zudem wird die Klimaanlage vermisst. Dies verdeutlicht nochmals wie Massnahmen zur Umweltentlastung durch steigende Konsumansprüche antagonisiert werden.

5 Literatur

Althaus et al. 2003. Althaus H.-J., Bauer C., Blaser S., Bolliger R., Burger B., Chudacoff M., Classen M., Doka G., Dones R., Dux. D., Erzinger S., Faist Emmenegger M., Frischknecht R., Heck T., Hedemann J., Heil A., Hellweg S., Hirschier R., Hirschier R., Huguenin O., Jungbluth N., Kägi T., Kellenberger D., Künniger T., Meier S., Nemecek T., Osses M., Pennington D. W., Primas A., Rebitzer G., Richter K., Röder A., Spielmann M., Stadler P., Tietje O., Werner F., Zah R., Life Cycle Inventories ecoinvent 2000. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, siehe: www.ecoinvent.ch.

Ehrlich & Holdren 1971. Ehrlich, P.R., Holdren, J., 1971. Impact of population growth. Science 171, 1212–1217.

ESU 1996. R.Frischknecht, P.Suter, U.Bollens, S.Bosshart, M.Ciot, L.Ciseri, G.Doka, R.Hirschier, A.Martin, R.Dones, U.Gantner, "Ökoinventare von Energiesystemen", Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt (ESU), ETH Zürich und PSI, Villigen, 3.Auflage, Juli 1996

¹³ Diese Angaben können nicht absolut gegeben werden, da sie abhängig sind vom Fahrzeugmodell, den erzielten Einsparungen und der jährlich zurückgelegten Fahrstrecke.