



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

31. Juli 2009

Energie-Effizienz und Reboundeffekte: Entstehung, Ausmass, Eindämmung

Schlussbericht

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

ETH Zürich, Institute for Environmental Decisions
Universitätstr. 22
CH-8092 Zürich
www.nssi.ethz.ch/res/emdm

Autor:

Peter de Haan, ETH Zürich IED-NSSI, dehaan@env.ethz.ch

BFE-Bereichsleiter Nicole Mathys / **BFE-Programmleiter** Nicole Mathys

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153007 / 101953

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Résumé	6
1. Einleitung	7
2. Reboundeffekt als effizienzinduzierte Mehrnachfrage	9
2.1. Definition des Rebound-Effekts	9
2.2. Illustratives Beispiel	10
2.3. Drei Arten von Reboundeffekten: Direkt, indirekt, Makroebene	11
2.4. Drei Gründe der Entstehung: Ökonomisch, soziopsychologisch, regulatorisch	12
2.5. Drei Ausprägungen zusätzlicher Nachfrage: Häufiger, intensiver, mehr	13
2.6. Fragestellung	14
3. Entstehung von Reboundeffekten: Kausale Gründe für Rebound	15
3.1. Das Konzept mentaler Umweltbudgets	15
3.2. Vorstudie zu mentalen Gründen für Reboundeffekt	15
3.3. Schlussfolgerungen für das Befragungsdesign	16
4. Ausmass von Reboundeffekten: Empirische Untersuchungen	17
4.1. Abgrenzung von einkommens- und effizienzinduzierter Mehrnachfrage	17
4.2. Mögliche mentale Reboundeffekte bei biologischen Lebensmitteln: Handeln Biokonsumenten konsequent?	17
4.3. Mögliche mentale Reboundeffekte bei Hybridfahrzeugen: Fahren Hybridkäufer mehr, öfter oder grösser?	18
4.4. Mögliche Reboundeffekte bei der Verkehrsmittelwahl: Fliegt mehr, wer kein Auto hat?	19
4.5. Zusammenhänge zwischen Umweltbewusstsein, Umweltverhalten und Carbon Footprint	19
5. Eindämmung von Reboundeffekten: Diskussion und Schlussfolgerung	20
5.1. Zusammenfassung	20
5.2. Reboundeffekte sind nicht vermeidbar, aber eindämmbar	20
5.3. Wie Energiepolitik Reboundeffekte eindämmen kann	21
6. Ausblick und künftiger Forschungsbedarf	23
Literatur	25
Beilagen	27
Beilage 1: Rebound Research Report 1	28
Beilage 2: Rebound Research Report 2	54
Beilage 3: Rebound Research Report 3	134
Beilage 4: Rebound Research Report 4	170
Beilage 5: Rebound Research Report 5	226

Zusammenfassung

Wenn ein neues Produkt energieeffizienter ist, sinken die Energiekosten. Damit wird das Produkt (in der Total-cost-of-ownership-Perspektive) günstiger. Ökonomisch gesehen führt dies zu einer erhöhten Nachfrage, was als Reboundeffekt bezeichnet wird. Auch eine höhere Effizienz im Umgang mit anderen Ressourcen kann eine Mehrnachfrage induzieren: Neue Straßen und schnellere Züge führen zu einer besseren Zeiteffizienz und damit zu mehr Verkehr. Oft sind sparsamere Produkte in der Anschaffung aber teurer und gibt es keinen ökonomischen Grund für eine solche erhöhte Nachfrage. Aus sozio-psychologischen Gründen kann es dann aber trotzdem zu Reboundeffekten kommen, zum Beispiel wenn Konsumenten eine Art von mentaler Umweltbuchhaltung führen. Neben der Geldwährung haben sie auch ein diffuseres, persönlich geartetes Umweltkonto. Haben die Bewohner von Minergiehäusern grössere Wohnflächen? Fliegt mehr, wer kein Auto besitzt? Fährt mehr, wer ein Hybridfahrzeug gekauft hat? Die Reboundforschung versucht, empirisch aus der Summe von einzelnen Konsumententscheiden zu eruieren, in welchen Fällen erhöhte Ressourceneffizienz zu Mehrnachfrage führen kann und damit einen Teil der erhofften Reduktion der Umweltbelastung zunichte macht. Reboundeffekte lassen sich zwar nicht gänzlich vermeiden, aber in ihrem Ausmass eindämmen. Dies beeinflusst die Ausgestaltung energiepolitischer Vorhaben. Dazu muss die Reboundforschung versuchen, den kausalen Grund für die Mehrnachfrage zu ergründen. War es ein vermeintlicher oder realer Preisvorteil? Geht es um symbolische Werte? Welchen Wissensstand und welches Umweltverständnis haben die Konsumenten? Wenn der Staat solche Kausalitäten kennt, kann in der Energiepolitik der richtige Mix aus Mindestanforderungen, höheren Energiepreisen, Internalisierung externer Kosten, Technologieförderung und Förderanreizen gewählt werden.

Résumé

Lorsqu'un nouveau produit est plus efficace énergétiquement, les coûts de l'énergie baissent. Le produit devient ainsi meilleur marché (optique du coût total de propriété). Du point de vue économique, ce coût moins élevé engendre une hausse de la demande appelée effet de rebond. De même, une utilisation plus efficace d'autres ressources peut aussi induire une demande supplémentaire: p. ex. de nouvelles routes et des trains plus rapides permettent de gagner du temps, ce qui provoque une augmentation du trafic. Souvent, les produits consommant moins d'énergie sont plus chers à l'achat et la hausse de la demande n'est pas due à des raisons économiques. Pourtant, des motifs socio-psychologiques peuvent susciter un effet de rebond, par exemple lorsque les consommateurs tiennent mentalement une sorte de comptabilité environnementale: outre la valeur monétaire, ils prennent en considération un «compte écologique» diffus avec des valeurs environnementales évaluées selon des critères personnels. Les habitants d'immeubles MINERGIE ont-ils de plus grandes surfaces habitables? Les personnes ne possédant pas de voiture prennent-elles plus l'avion? Le conducteur d'un véhicule hybride fait-il plus de kilomètres? La recherche sur l'effet de rebond a pour objectif d'identifier de manière empirique, en additionnant les décisions prises par des consommateurs, dans quels cas une utilisation plus efficace des ressources est susceptible d'induire une demande supplémentaire et, par conséquent, de contrebalancer partiellement la diminution escomptée de la charge environnementale. S'il n'est pas possible d'éliminer totalement les effets de rebond, leur amplitude peut toutefois être limitée. Ce facteur influence la conception de projets en matière de politique énergétique. A cette fin, la recherche sur l'effet de rebond doit tenter d'identifier la cause de la demande supplémentaire. Est-ce un avantage pécuniaire présumé ou réel? S'agit-il de valeurs symboliques? Quelles connaissances et quelle compréhension de l'environnement ont les consommateurs? Lorsque l'Etat connaît les liens de cause à effet en jeu, il peut moduler la politique énergétique en combinant de manière optimale exigences minimales, majoration du prix de l'énergie, internalisation des coûts externes, promotion technologique et incitations.

1. Einleitung

Seit jeher strebt der Mensch danach, Bestehendes zu verbessern, effizienter zu machen, oder auch gänzlich Neues zu erfinden. Welche neuen Produkte und Technologien sich dann durchsetzen, entscheidet in erster Linie der Wettbewerb bzw. der Markt. In Bereichen mit wesentlichen *externen Kosten* obliegt es aber oft dem Staat zu beurteilen, ob eine neue *Technologie speziell gefördert* werden soll, weil sie geringere externe Kosten aufweist, rein aufgrund der internalisierten Kosten im Markt aber nicht reüssieren würde. Dies betrifft naturgemäß vor allem jene Bereiche, in welchen aktuell externe Kosten eine wesentliche Rolle spielen, wie Umweltschutz, Treibhausgasemissionen und nicht-erneuerbare Ressourcen. Darum stellt sich die Frage nach staatlichen Markteingriffen (Subventionen, Vorschriften, Forschungsgelder, Pilotprojekte) oft in diesen Bereichen.

Oft werden die Methoden des Life-Cycle Inventory (LCI) und Life-Cycle Assessment (LCA) verwendet, um zwei alternative Technologien einander gegenüberzustellen und die Förderungswürdigkeit einer neuen Technologie zu beurteilen. Als so genannte „funktionelle Einheit“ wird dabei in der Regel das Produkt oder die Dienstleistung herangezogen, also zum Beispiel „Energie pro beheizte Fläche“, „Energie pro Fahrzeugkilometer“, usw. Die Wahl der funktionellen Einheit „Produkt/Dienstleistung“ bedeutet implizit, dass man davon ausgeht, dass sich die *Nachfrage* nach diesem Produkt sowie weitere externe Größen nicht ändern werden (bekannt unter der *ceteris paribus*-Annahme [„alles übrige bleibt sich gleich“]).

In manchen Fällen ist diese *ceteris paribus*-Annahme aber nicht gerechtfertigt, zum Beispiel wenn mit einer erhöhten Nachfrage zu rechnen ist. Für den Fall von Raumheizungen bei Mehrfamilienhäusern in Österreich wurde beispielsweise nachgewiesen, dass die reale Einsparung (nach Wärmeisolation und neuem Heizungssystem) im Mittel nur 65% der vorgängig berechneten theoretischen Einsparung betrug (Haas und Biermayr 2000). Offenbar geht die höhere Energie-Effizienz der Dienstleistung „Raumwärme“ einher mit einer höheren Nachfrage. Auch bei Autos lässt sich hypothetisieren, dass doppelt so effiziente Autos zu einer Erhöhung der Autokilometer führen könnten. Im Gegensatz zu den bekannten Elastizitäten, welche die *Nachfrageänderung* nach einem bestimmten Produkt in Funktion der *Preisänderung* beschreiben, beschäftigt sich die Reboundforschung mit der *Nachfrageänderung* in Funktion der *Effizienzänderung*.

Die Erforschung von Rebound-Effekten hat ihren Ursprung in der Energie-Ökonomie. Das klassische Beispiel sind Stromsparlampen. Ihre höhere Energie-Effizienz spart rational betrachtet Geld (höhere anfängliche Investitionskosten, niedrigere Betriebskosten, höhere Produktlebensdauer). Die Frage ist, wofür dieses Geld eingesetzt wird, und welchen Energieaufwand diese zusätzliche Aktivität bzw. dieser zusätzliche Konsum nach sich zieht. Zunächst ist der Rebound makroökonomisch definiert und bezeichnet den relativen Energieaufwand für die Summe allen zusätzlichen Konsums. Dies bei gleich bleibendem Gesamtkonsum. Höhere Energienachfrage infolge höherer Kaufkraft ist nicht Teil von Reboundeffekten, sondern nur jene höhere Energienachfrage, welche durch die höhere Effizienz per se induziert wird. Mikroökonomisch wird dies dann weiter unterteilt in den direkten Reboundeffekten (im Beispiel der Stromsparlampen: erhöhte Nachfrage nach der Dienstleistung „Licht“, d.h. hellere Lampen, mehr Lampen, und/oder längere Betriebsstunden), den indirekten Reboundeffekten und, als „Rest-Grösse“, den „macro-level“ Rebound-Effekt.

Zurzeit ist die Energie in ihren verschiedenen Erscheinungsformen (Elektrizität, Erdgas, Heizöl, Benzin/Diesel, usw.) weiterhin relativ kostengünstig. Steigende Energiepreise führen ökonomisch gesehen zu einem Nachfragerückgang, bewirken aber auch, dass die Energiekosten bei Entscheidungen und Konsumverhalten wichtiger werden. Erst wenn Kostenfaktoren vom individuellen Entscheidungsträger überhaupt wahrgenommen und in die bewusste Entscheidungsfindung einfließen, können geänderte Kosten infolge höherer Effizienz überhaupt einen Reboundeffekt auslösen. Mit *steigenden Energiepreisen* ist deshalb mit einer *Zunahme der Rebound-Effekten* zu rechnen, weshalb dieses Forschungsgebiet in Zukunft an Bedeutung gewinnen wird.

Im Gleichschritt mit künftigen Energiepreisen auch die Energie- und Klimapolitik weiter an Bedeutung gewinnen. Neben der Förderung CO₂-armer Energiequellen rücken Energieeffizienzmassnahmen als Möglichkeit, die aktuellen Energie- und Klimaprobleme anzugehen, in den Vordergrund. Bei der Bewertung des möglichen Reduktionspotentials von Energieeffizienzmassnahmen ist es aber ausschlaggebend, die für die Wirksamkeit relevanten Reboundeffekte zu berücksichtigen. Gegenüber einer *ceteris-paribus*-Betrachtung können diese die tatsächlich verwirklichten Effizienzgewinne stark reduzieren. Es erscheint wichtig, geplante oder geforderte Politikmassnahmen unter Beachtung des Rebound-effekts auf ihre effektive potentielle Effizienz zu prüfen.

Neben dem „klassischen“ Rebound in Verbindung mit einer Erhöhung der Energie-Effizienz gibt es auch andere mögliche Rebound-Effekte. Zum Beispiel kann eine höhere Zeiteffizienz (bessere Straßen, schnellere Züge) dazu führen, dass mehr gereist wird. Der Reboundeffekt ist damit ein Effekt der Mengenausweitung, welcher mit jeglicher Ressourceneffizienzsteigerung einhergehen kann. Dies betrifft Energieressourcen, Raum- bzw. Landressourcen ebenso wie Humankapital-/Zeitressourcen. Aber auch die Anwendung des Reboundeffekt-Ansatzes auf Effizienzsteigerungen anderer Ressourcen (z.B. Kapital, nicht-erneuerbare mineralische Ressourcen, soziokulturelle Ressourcen) ist prinzipiell möglich.

Vom Reboundeffekt zu trennen sind jedoch Mengenausweiterungen aufgrund neuer Anwendungen. Dies tritt vor allem bei so genannten General Purpose Technologies (GPT) öfter auf. Wenn zum Beispiel Computer immer energieeffizienter und gleichzeitig auch immer besser und für neue Anwendungen einsetzbar werden, heisst das nicht, dass wir das Gleiche wie bisher mit weniger Computern erledigen werden; vielmehr ist zu erwarten, dass für neue Aufgabenfelder noch mehr Computer als bisher herangezogen werden. Mit Reboundeffekten hat dies jedoch nichts mehr zu tun: Die neuen Anwendungen, d.h. die Mengenausweitung, wurden nicht kausal durch die erhöhte Energieeffizienz induziert. Vielmehr wurden Computer kleiner, günstiger und schneller, und erschlossen sich damit neue Anwendungen. Ein weiteres klassisches Beispiel betrifft die öffentliche Straßenbeleuchtung. Diese wurde in den letzten Dezennien immer sparsamer, gleichzeitig wurden immer mehr Straßenlaternen aufgestellt. Auch dies ist jedoch nicht primär eine Rebound-Fragestellung. Die Mengenausweitung ist aber wohl eher wohlstands- als effizienzsteigerungs-induziert; in den letzten 50 Jahren hat es sowohl Phasen stagnierender Effizienz der Straßenlaternen bei trotzdem steigenden Laternenzahlen gegeben, wie auch Phasen mit Effizienzsprüngen, während deren die Mengenausweitung sich kaum beschleunigte.

Der vorliegende Bericht ist wie folgt aufgebaut. In Kapitel 2 *definieren* wir den Reboundeffekt als jene Mehrnachfrage, welche durch Effizienzsteigerung induziert wird, und führen drei begriffliche Dreiergruppen ein: Die drei möglichen *Arten* des Rebounds ein (diese drei Arten betreffen die Frage, *nach welchem Gut* oder *welcher Dienstleistung* es eine Mehrnachfrage gegeben hat), die drei möglichen *Gründe* (aus welchem Grund die Mehrnachfrage entstand), sowie die drei möglichen *Ausprägungen* der Mehrnachfrage. Alsdann folgt der Berichtsaufbau den drei Schritten von Entstehung über Feststellung des Ausmasses hin zur Eindämmung von Reboundeffekten: In Kapitel 3 (*Entstehung*) widmen wir uns der Erforschung der *kausalen Gründe* für Rebound, in Kapitel 4 (*Ausmass*) der (a priori nicht kausalen) *Empirie*, in Kapitel 5 (Eindämmung) diskutieren wir die Ergebnisse und die daraus resultierenden Schlussfolgerungen, wobei der Schwerpunkt der Ausführungen auf die Sichtweise des Staates entfällt – wann soll die Öffentliche Hand in den Markt einzugreifen versuchen, und wann nicht, weil hohe Reboundeffekte wahrscheinlich oder zumindest nicht auszuschliessen sind? Die Erörterung der Herausforderungen künftiger Forschung in Kapitel 6 beschliesst diesen Bericht.

2. Reboundeffekt als effizienzinduzierte Mehrnachfrage

2.1. Definition des Rebound-Effekts

Der Reboundeffekt als Konzept stammt ursprünglich aus der Energieökonomie. In der Politikanalyse bezeichnet der Reboundeffekt jene Sekundäreffekte einer technischen oder politischen Massnahme, welche den ursprünglichen, positiven Zielsetzungen der Primärmassnahme mindestens teilweise zuwiderlaufen. Reboundeffekte werden also durch eine Massnahme ausgelöst und reduzieren deren beabsichtigte Wirkung. Das Erfordernis einer *Kausalität* (die Sekundäreffekte müssen durch die Primärmassnahme ausgelöst, d.h. von dieser verursacht werden) ist zentral. *Kein Reboundeffekt* liegt vor, wenn die betrachtete Massnahme und gewisse beobachteten Nachfrageeffekten mit gegensätzlicher Wirkung blos zeitlich parallel verlaufen, aber nicht ursächlich verknüpft sind. Beispiel: Aus der blossen zeitlichen Koinzidenz von verbesserter Treibstoffeffizienz der Neuwagen (1% bis 2% pro Jahr) und Zunahme der Verkehrsleistung (2% bis 3% pro Jahr) allein kann nicht gefolgert werden, dass ein Reboundeffekt von über 100% vorliegt. Die Zunahme der Verkehrsleistung kann zwar in Teilen auch durch reduzierte Treibstoffkosten verursacht worden sein, wobei allerdings der Trade-off zwischen Betriebs- und Investitionskosten (energieeffiziente Technik ist teurer in der Anschaffung) zu berücksichtigen ist. Zur Hauptsache aber ist das starke Verkehrswachstum der letzten 60 Jahre auf gestiegenen volkswirtschaftlichen Wohlstand zurückzuführen.

Mit anderer Bedeutung kommt der Begriff Rebound auch vor in der Medizin und in der Psychologie, sowie im Basketball [Rückprall des Balls vom Brett]). Synonyme sind *take-back effect* sowie *Khazzoom-Brookes-Effekt* (nach den grundlegenden Publikationen von Khazzoom (1980) und Brookes (1978)). Der ebenfalls geläufige Begriff *backfire effect* bezeichnet einen Reboundeffekt grösser 100% und ist deshalb ein Spezialfall des allgemeinen Reboundkonzepts. Die Definition, Beobachtung und Quantifizierung von Reboundeffekten sind Gegenstand laufender Forschung (für eine Übersicht zu Definitionsfragen siehe Greening et al. 2000 sowie Grepperud und Rasmussen 2000). Die genaue Definition variiert, aber der gemeinsame Nenner ist, dass wenn ein Produkt oder eine Dienstleistung effizienter wird (hinsichtlich der Verwendung von Energieressourcen oder anderen Ressourcen), dies zu einer Reduktion der Kosten für die Inanspruchnahme des Produkts bzw. der Dienstleistung führt, was zu einer erhöhten Nachfrage führen sollte. Der Reboundeffekt ist also die Verhaltensantwort auf Kostenreduktionen von (Energie-)Dienstleistungen als Resultate von (Energie-)Effizienzsteigerungen.

Der Reboundeffekt definiert sich makroökonomisch aus der Elastizität des Energiebedarfs hinsichtlich einer Änderung der Energie-Effizienz. Wenn man als Mass für den „Ausstoss“ einer Volkswirtschaft das Bruttosozialprodukt (*GDP*) verwendet, so hängt dieses ab von den klassischen Produktionsfaktoren:

$$GDP = f(C, L, E, R) \quad (1)$$

wobei *C* das eingesetzte Kapital, *L* die eingesetzte Arbeit und *E* die eingesetzte (Sekundär-)Energie bezeichnet. Beispiele für den Einsatz von nicht-erneuerbaren Ressourcen, *R*, wären Land, Metalle, Spurenelemente, Seltene Erden, usw. Im Bereich von Energie kann die Abgrenzung zwischen *E* (Sekundär-energieträger) und *R* (Primärenergieträger) manchmal etwas willkürlich sein, was hier aber nicht von Belang ist.

Die für ein bestimmtes Produkt bzw. eine bestimmte Dienstleistung, hier als „energy service“, *ES_i*, bezeichnet, benötigte Sekundärenergiemenge, *E_i*, berechnet sich aus

$$ES_i = E_i \cdot \tau_{E_i} \quad (2)$$

dabei ist τ_{E_i} die Energie-Effizienz, mit welcher die Sekundärenergie in den „energy service“ umgesetzt wird. Die Elastizität von E_i hinsichtlich Änderungen τ_{E_i} lautet dann (zur Vereinfachung verzichten wir auf den Index i):

$$\eta_{\tau_E}^E = \frac{\Delta E/E_0}{\Delta \tau_E/\tau_{E_0}} = \frac{d \ln E}{d \ln \tau_E} \quad (3)$$

Dabei werden die Fälle $\eta_{\tau_E}^E = 0$ als (vollkommene) Inelastizität und $\eta_{\tau_E}^E = -1$ als Einheitselastizität bezeichnet. In aller Regel gilt $-1 \leq \eta_{\tau_E}^E \leq 0$. Bei enger Systemgrenze (ohne Substitutionseffekte bei anderen Produkten/Dienstleistungen, welche von der Änderung in τ_E ebenfalls betroffen sind) werden die Fälle $\eta_{\tau_E}^E < -1$ und $\eta_{\tau_E}^E > 0$ als unmöglich betrachtet, können aber im Rahmen der erweiterten Systemgrenze der Reboundforschung theoretisch ohne weiteres vorkommen, ohne dass dafür nicht-rationale, psycho-soziale Kosten eingeführt werden müssten (sh. unten).

Der Rebound-Effekt ist nun definiert als

$$R = 1 + \eta_{\tau_E}^E \quad (4)$$

In Analogie zu den oben stehenden Fallunterscheidungen sagt man:

$R = 0$:	kein Reboundeffekt	(reale Einsparung = theoretische Einsparung)
$0 < R < 1$:	Reboundeffekt vorhanden	(reale Einsparung > 0 aber < theoretische Einsparung)
$R = 1$:	Reboundeffekt 100%	(trotz höherer Effizienz keine Änderung Energiekonsum).

Die beiden Extremfälle wiederum kommen in praktischen Anwendungen meist nicht vor, wären theoretisch aber zulässig:

$R < 0$:	Negativer Rebound	(überproportionale Einsparung relativ zu Eff.-Änderung)
$R > 1$:	Rebound grösser als 100%	(höhere Effizienz, aber trotzdem Anstieg Energiekonsum)

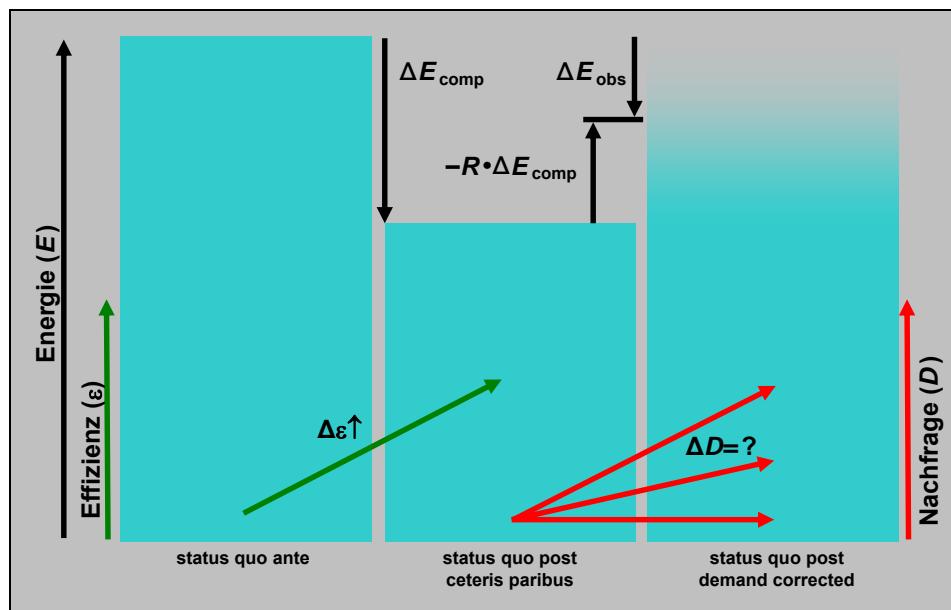
Der Fall $R > 1$ wird meist *back-fire* Effekt genannt.

Obige Definition ist nicht spezifisch für Energieressourcen formuliert, auch wenn die Energieökonomie die Geburtsstätte des Reboundeffekts ist. Wie in Kapitel 1 erwähnt, gibt es neben dem „klassischen“ Rebound in Verbindung mit einer Erhöhung der Energieeffizienz auch andere mögliche Rebound-Effekte. Der Reboundeffekt lässt sich allgemein als ein Effekt der Mengenausweitung induzierte durch jegliche Ressourceneffizienzsteigerung begreifen. Dies kann sämtliche marktwirtschaftlichen Produktionsfaktoren betreffen, namentlich Energie-, Land-, Zeit- sowie Kapitalressourcen. Am häufigsten wird der „rebound in time“ betrachtet (Jalas 2000, Spielmann et al. 2008). Eine höhere Zeiteffizienz (bessere Straßen, schnellere Züge) kann dazu führen, dass mehr gereist wird.

2.2. Illustratives Beispiel

Die Entwicklung des Einsatzes von Geschirrwaschautomaten ist allgemein bekannt und eignet sich gut für die Illustration des Reboundkonzepts. Eine schematische Darstellung findet sich in Figur 1. Anfänglich war den Konsumenten aufgrund öffentlicher Debatten bewusst, dass Geschirrspüler zeiteffizient sind, aber mehr Wasser und mehr Energie verbrauchen als herkömmliches manuelles Spülen. Die verbesserte Technologie ab Mitte der 1990er Jahre mit reduziertem Energieverbrauch (und vor allem mit reduziertem Wasserbedarf, was gekonnt kommuniziert wurde, auch wenn dies die weniger bedeutsame Umweltbelastung darstellt) je Geschirrspülgang hätte, unter der Annahme unveränderter Nachfrage, zu einer erheblichen Energieeinsparung führen sollen (mittlerer Balken in Figur 1). Die Effizienzverbesserung wird aber eine Nachfrageerhöhung induzieren, erstens wegen ökonomisch erklärbarer Substitution (manuelles Spülen braucht in einigen Fällen mehr Energie als automatisches Spülen; die Zeitkosten sind im Privathaushalt zwar schwer zu bestimmen, aber grösser als Null), zweitens wegen soziopsychologischen Faktoren (Änderung der Bewertung der Geschirrspültechnologie, höhere Akzeptanz). Insgesamt dürften die technischen Verbesserungen von

Geschirrspülern in den letzten 15 Jahren einhergegangen sein mit einer Zunahme der Energieaufwendungen für Geschirrspüler, welche mittlerweile zum Standard in nahezu jedem Haushalt geworden sind.



Figur 1. Illustrative Skizze zum Rebound-Effekt. Die Einführung einer Technologie oder Dienstleistung mit höherer Energie-Effizienz, $\Delta\epsilon > 0$, führt einem Systemzustand mit einem um ΔE_{comp} reduzierten Energiebedarf, wenn die gleiche Nachfrage angenommen wird (Status Quo post, mit Ceteris-paribus-Annahme). Abhängig von Substitutionsmöglichkeiten und Verwendungszwecke der freigewordenen Geld- und Zeitmittel kommt es aber zu einem effizienz-induzierten Anstieg, $\Delta D > 0$, der Nachfrage D . Deshalb lässt sich schliesslich nur eine Energieeinsparung $\Delta E_{obs} < \Delta E_{comp}$ beobachten. Der Rebound-Effekt beträgt $R = (\Delta E_{comp} - \Delta E_{obs}) / \Delta E_{comp}$.

2.3. Drei Arten von Reboundeffekten: Direkt, indirekt, Makroebene

Die obige Definition des Reboundeffektes entspricht einer aggregierten Betrachtungsweise. Keine Rolle spielt, für welches Produkt oder welche Dienstleistung der zusätzliche Energieaufwand eingesetzt wird. Dies ist jedoch von Interesse, wenn versucht werden soll, das Ausmass von Reboundeffekten einzudämmen und dazu ihre Entstehung zu erfassen. Deshalb wurde der Reboundeffekt, der in seinen Anfängen sehr eng definiert wurde (Khazzoom 1980), später differenziert und erweitert um so genannte indirekte und „economy-wide“ Reboundeffekte. Greening et al. (2000) sowie Berkhout et al. (2000) unterscheiden die folgenden drei Kategorien von Reboundeffekten (nach de Haan et al. 2006 sowie Hertwich 2003):

- > Direkter (primärer) Reboundeffekt: Erhöhte Nachfrage für das gleiche Produkt oder die gleiche Dienstleistung. UK ERC (2007) nennt dies Substitutionseffekt (erhöhte Energieeffizienz führt zu geringere Energiekosten, was zu einer Verbilligung des Produkts und deshalb zu einer höheren Nachfrage danach führt; dies entspricht dem klassischen Reboundeffekt wie ursprünglich durch Khazzoom 1980 eingeführt).
- > Indirekter (sekundärer) Reboundeffekt: Erhöhte Nachfrage nach anderen Produkten aufgrund der freigewordenen Kaufkraft infolge der reduzierten Energiekosten. Wird auch general equilibrium effect genannt. UK ERC (2007) nennt dies Einkommenseffekt (die niedrigeren Energiekosten führen zu verfügbarer Kaufkraft und damit zu einer erhöhten Nachfrage nach anderen Produkten oder Dienstleistungen, welche ihrerseits ebenfalls Energie benötigen) und zählt dies zum direkten Reboundeffekt.

- > Reboundeffekt auf Makroebene (“economy-wide” effects, Transformationseffekt, tertiärer Reboundeffekt): Strukturelle Effekte auf grössere Teile der Wirtschaft aufgrund veränderter Nachfrage-, Produktions- und Distributionsstrukturen.

2.4. Drei Gründe der Entstehung: Ökonomisch, soziopsychologisch, regulatorisch

Wie oben definiert, ist der Reboundeffekt definiert in Abhängigkeit der Elastizität der Energienachfrage in Funktion der Änderung der Energieeffizienz. Dabei erfolgt primär keine Aussage darüber, aus welchem Grund die Energienachfrage höher wurde. Es lassen sich drei Gründe unterscheiden:

- > Ökonomisch induzierter Rebound: Die erhöhte Nachfrage nach dem energie-effizienteren Produkt erfolgt aus rein ökonomischen Gründen. Dies trifft dann zu, wenn der Aufpreis für die höhere Energie-Effizienz geringer ist als die diskontierte künftige Minderausgaben für die Energiekosten.

Beispiel 1: Zusätzlicher Einsatz von Stromsparlampen wegen ihrer geringen Betriebskosten;

Beispiel 2: *Reduktion* Investitionsaufwand beim Hausbau im Tausch gegen *höhere* Energiekosten im Betrieb, wenn effizientere Heizungen oder Kühlsysteme verfügbar werden.

- > Sozio-psychologischer Rebound: Die erhöhte Nachfrage ist zurückzuführen auf reduzierte sozio-psychologischen Kosten des Erwerbs und/oder des Betriebs. Weil im Falle von Energie die Konsumenten sehr oft keine genaue Vorstellung von den Energiepreisen handeln, und ihre Nachfrage nach energieintensiven Dienstleistungen aufgrund heuristischer Wahrnehmungen und Schätzungen der Energiekosten vornehmen, handelt es sich in den meisten zu beobachtenden Fällen von Rebound mindestens teilweise um sozio-psychologisch induzierte Effekte.

Beispiel 3: Kauf eines SUV mit Hybridantrieb, wenn der Kauf eines SUV mit konventionellem Antrieb nicht in Frage gekommen wäre.

- > Regulatorisch induzierter Rebound: Erhöhte Nachfrage aufgrund von staatlichen Vorschriften oder Subventionen, welche die Förderung energie-effizienter Technologien oder Dienstleistungen bezeichnen. Es geht hier nicht um Reboundeffekte einer neuen, staatlich geförderten Technologie, sondern darum, dass das Nachfrageverhalten sich in (aus energetischer Sicht) ungünstiger Richtung anpasst, weil Vorschriften dies zulassen, Geldmittel umgelenkt oder Werturteile beeinflusst werden.

Beispiel 4: In Minergie-Häusern kann eine grössere Heizleistung eingebaut werden, wenn dazu eine Wärmepumpe verwendet wird, weil deren Elektrizitätsbedarf mit einem Faktor 2 (statt wärmetechnisch korrekt einen Faktor von ca. 3) in die Energierechnung des Objekts eingeht.

Beispiel 5: Kauf von grösseren Geräten/Produkten (z.B. Kühlschränke oder Neuwagen) als eigentlich beabsichtigt, mit dem Ziel, ein Gerät/Produkt mit Energie-Effizienz-Klasse „A“ zu erwerben, entweder als Antriebfeder an sich, oder unterstützt durch eine an Energie-Effizienz-Klassen gekoppelte Lenkungsabgaben wie z.B. Bonusprämien beim Neuwagenkauf [zum Beispiel könnte der Beschluss, nur noch A-Klasse-Neuwagen zu kaufen, zu im Durchschnitt grösseren Autos führen].

Beispiel 6: Die Verbilligung von Elektrofahrrädern führt nicht nur zu einer Reduktion der Motorrad-/Mofa-Kilometer, sondern (weil mit der staatlichen Förderung die Wahrnehmung einhergeht, das Geförderte sei „nachhaltig“) zu Präferenzänderungen und verstärktem Ersatz von Fahrrädern durch Elektrofahrrädern.

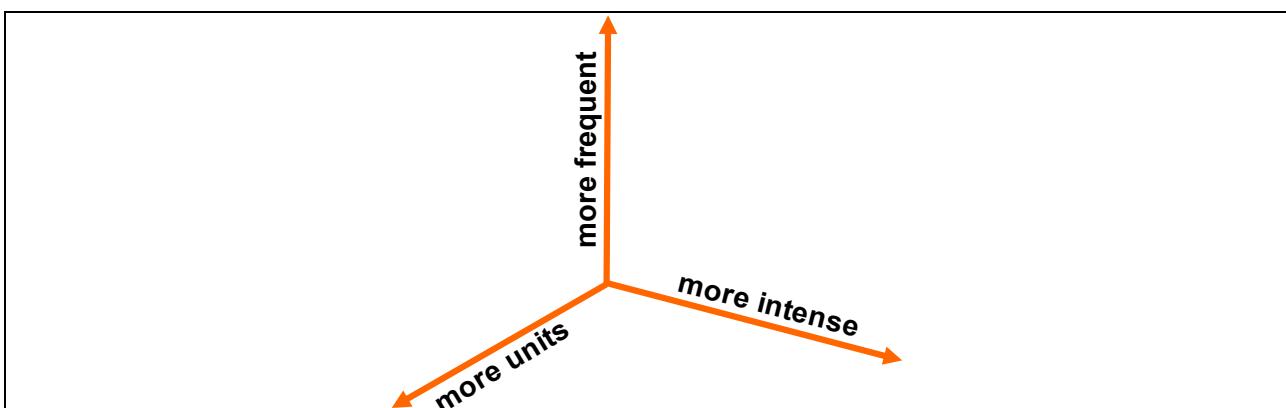
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ...

- ... der *ökonomische Rebound* (im Sinne des Konzepts des Homo Oeconomicus) per se nicht vermeidbar, sondern Teil des marktwirtschaftlichen, stets optimierenden Verhaltens ist, und deshalb bei der Wirkungsabschätzung von Massnahmen zu berücksichtigen ist (mit Hauptaugenmerk auf Substitutionsraten und der Wahl zwischen den beiden Hauptpfaden Energiebesteuerung oder Technologieförderung);

- ... der *psycho-soziale Rebound* ebenfalls nie vermeidbar sein wird, aber grundsätzlich reduzierbar ist mittels besserer Information, Transparenz, Anreizänderungen usw., welche das reale, wertungsbehaftete und von eingeschränkter Rationalität gekennzeichnete Konsumentenverhalten in Richtung des Homo Oeconomicus beeinflussen; dadurch, dass Konsumenten bestimmte Kostenarten anders oder aber gar nicht gewichten, und dadurch, dass auch die Herkunft von Geldmitteln deren Bewertung (d.h. ihren eigentlichen Wert) beeinflusst, kann ein Rebound aus psycho-sozialen Gründen auch dann real auftreten, wenn dafür ein ökonomischer Anreiz gar nicht vorhanden zu sein scheint;
- ... der *regulatorische Rebound*, definiert als Restgrösse (d.h. die Reboundeffekte aufgrund des monetären Anreizes und der psychosozialen Ausgestaltung einer staatlichen Lenkungsabgabe fallen in die weiter oben definierten Kategorien, sie werden nicht als regulatorisch verstanden, auch wenn das Anreizinstrument seitens des Staats implementiert wird), theoretisch gänzlich vermeidbar sein sollte durch eine optimale Ausgestaltung und zielkonforme Definition der Förderkriterien. Der Staat kann einerseits Konsum, Energie oder Verbrauch besteuern, andererseits Technologien und Effizienz fördern. Im ersten Fall kann es zwar zu einem regulatorischen Rebound kommen dann, wenn bei einer produktbasierten Effizienzvorschrift es zu einer Mengenausweitung der geförderten Güter kommt, im Vordergrund würden in diesem Fall aber klar die anderen beiden Rebound-Arten stehen. Im zweiten Fall sind regulatorische Rebound-Effekte denkbar, weil die Technologieförderung sehr oft einher geht mit einer technischen Definition, was gefördert werden soll und was nicht; bei solchen Definitionen besteht immer die Gefahr, dass neue Technologien oder Nachfragemuster dann bewirken, dass es im Falle von Effizienzsteigerungen zu Mehrnachfrage kommt.

2.5. Drei Ausprägungen zusätzlicher Nachfrage: Häufiger, intensiver, mehr

Neben den drei Arten von Reboundeffekten und den drei möglichen kausalen Gründen lassen sich auch drei verschiedene Ausprägungen des (direkten) Reboundeffekts unterscheiden. Die induzierte Mehrnachfrage kann sich manifestieren in der Form von mehr Einheiten, eine häufigere oder längere Verwendung, oder eine intensivere Verwendung (wie in Figur 2 konzeptionell dargestellt). Makroökonomisch ist dies zwar von sekundärer Bedeutung (in allen drei Fällen steigt der Energiebedarf), aber es ist relevant für die Erforschung der möglichen kausalen Gründe und für die Formulierung einer Methode zur Integration von potentiellen Reboundeffekten in die Lebenszyklusanalyse. Beispiele für die drei Ausprägungen ergeben sich zum Beispiel bei der Untersuchung von potentiellen Reboundeffekten von Hybridfahrzeugen, wo neben der Frage einer Zunahme der Anzahl Autos sowie der Grösse der Autos (de Haan et al. 2006, 2007) auch die Frage der Zunahme der Autokilometer (Beilage 4) relevant ist.



Figur 2. Die drei Richtungen des Rebounds: Erhöhte Nachfrage kann bedeuten mehr Einheiten (z.B. mehr Autos; mehr Energiesparlampen), häufigere Nutzung (mehr Autokilometer; mehr Leuchtstunden) und/oder höhere Nutzungsintensität (grösseres/stärkeres Auto; höhere Leuchtstärke in Lumen).

2.6. Fragestellung

Bereits heute ist klar, dass Rebound-Effekte nicht gleichermassen zu unserem wissenschaftlichen „täglichen Brot“ gehören werden wie zum Beispiel die LCA. Die heiklen Abgrenzungsfragen werden dies verunmöglichen. *Aber* es lassen sich Grundregeln herleiten, unter welchen Umständen es vermehrt bzw. zu stärkeren Rebound-Effekten kommt. Wenn man die Anreize richtig wählt, bleiben Rebound-Effekte beschränkt. Diese Diskussion ist eng verwandt mit der Frage, in welchen Fällen man die (relative) Effizienz fördern soll, und in welchen Fällen man die (absolute) Nachfrage besteuern soll (Technologieförderung vs. CO₂- bzw. Energiesteuern). Daraus lassen sich Schlüsse und Handlungsanweisungen z.B. für staatliches Handeln ableiten. Im Bereich LCA lassen sich analog Handlungsanweisungen erarbeiten, in welchen Fällen und mit welcher Systemgrenze Reboundeffekten berücksichtigt werden müssten, damit eine solche „Rebound-LCA“ als Grundlage für nachhaltige Entscheide dienen kann.

Wir betrachten nur Privathaushalte und deren Entscheidverhalten. Nicht Gegenstand sind kommerzielle und institutionelle Entscheidungsträger (Industrie/Gewerbe, Dienstleistungserbringer Landwirtschaft, Verwaltung, usw.), und auch nicht Einzelpersonen ausser in Einzelhaushalte.

Grundannahme ist, dass *erstens* Rebound-Effekte immer auftreten werden und nicht ihre Vermeidung, sondern ihre Eindämmung das Ziel sein sollte, und dass *zweitens* es immer wieder effiziente Innovationen mit hohem Reboundpotential geben wird welche selbständig den Marktdurchbruch schaffen, und sich dabei die eigentliche Frage stellt, ob der Staat solche Innovationen mit Steuermitteln fördern sollte oder nicht.

Leitfragen des vorliegenden Forschungsprojekts sind entsprechend:

- > In welchen Fällen sollte der Staat eine energie-effiziente Technologie oder Dienstleistung fördern (und wenn ja, mit welchen Methoden), und in welchen Fällen könnte eine solche Förderung unerwünschte Nebeneffekte zeitigen, weil das Rebound-Potential hoch erscheint?
- > Welche Präferenzen und Restriktionen haben die Haushalte bzw. fühlen sie sich ausgesetzt, und welchen Kenntnisstand der relevanten Energiekosten und -auswirkungen haben sie? Welche intersektorielles Kompensationsstrategien wenden die Leute an? Die Klärung dieser Fragen ist notwendig, um zuverlässig abschätzen zu können, wo es wie viel behördlichen Aufwand braucht, um den Konsum in energieeffizientere Richtungen zu lenken.

3. Entstehung von Reboundeffekten: Kausale Gründe für Rebound

3.1. Das Konzept mentaler Umweltbudgets

Die verschiedenen möglichen kausalen Gründe für Reboundeffekte wurden in Kap. 2.4 eingeführt. Die heutige Reboundforschung konzentriert sich vor allem auf Fälle, bei denen die Voraussetzungen für einen ökonomischen Rebound gegeben sind: Die höheren Anschaffungskosten für die energieeffizientere Technik sollten niedriger sein als die (diskontierten) künftigen Energiekosteneinsparungen. Sehr oft kommt neue, energieeffiziente Technik jedoch auf den Markt mit einem Aufpreis, welcher vom Hersteller nicht zufälligerweise in der Nähe der zu erwartenden Einsparung festgelegt wurde. Damit ist aber die Voraussetzung für einen aus ökonomischen Gründen verursachten Reboundeffekt nicht mehr gegeben. Um solche Reboundeffekte erklären zu können, haben wir sozio-psychologische Gründe eingeführt. Ein anderer Begriff dafür ist der „mentaler Rebound“. Unser Konzept postuliert, dass Haushalte eine mentale Buchhaltung für Umweltbelastungen führen. Was dabei alles unter Umweltbelastung fällt, kann stark variieren und hängt ausschließlich vom Weltbild und Kenntnisstand des Haushalts bzw. seiner Entscheidungsträger ab. In diesem Konzept führt der Einsatz energieeffizienter Technik zu einer Reduktion des mentalen Umweltbudgets. Dies erlaubt dem Haushalt anderen Konsum mit entsprechender Umweltbelastung. Ein Beispiel wäre, wenn ein Haushalt eigentlich in Zukunft ohne eigenes Auto seine Mobilitätsbedürfnisse abdecken möchte, wegen der Hybridtechnik sich dann aber für das Beibehalten eines (neu hybriden) Personenwagens entscheidet. Einen kurzen Abriss über mögliche zugrundeliegenden psychologischen Konstrukte findet sich in Beilage 3.

Einen entsprechenden Formalismus, analog der Definitionen in Kapitel 2, für mentale Reboundeffekte findet sich in der Beilage 3. Im nächsten Kapitel untersuchen wir, ob sich bei biologischen Lebensmitteln und in der Verkehrsmittelwahl empirische Ansätze für mentale Reboundeffekte zeigen. Im Folgenden stellen wir die Eckdaten und Ergebnisse einer Vorstudie zu einer möglichen künftigen Befragung vor. Mit der Befragung soll mentale Reboundmechanismen erforscht werden. Die Vorstudie soll eine Basis für solche künftige Forschung sein, welche die Verifikation des obigen Konzepts zum Ziel hätte.

Die untenstehende Tabelle 1 zeigt die Anwendung der verschiedenen Arten und kausalen Gründen von Reboundeffekten. Die kausalen Gründe sind komplementär zu, und keine Alternative für, den verschiedenen Reboundarten (direkt, indirekt, Makroebene).

Arten der induzierten Mehrnachfrage ↓	kausale Gründe für Rebound →	ökonomischer Rebound	sozio-psychologischer Rebound	regulatorischer Rebound
Saunders 2000	Sorrel 2007	\$	Ψ	§
Direkter Rebound	direct rebound (income/output eff.)	erhöhte Nachfrage nach dem gleichen Produkt (Saunders 2000) Einkommens-/Output-Effekt (Sorrel 2007)		
Indirekter Rebound	direct rebound (substitution eff.)	erhöhte Nachfrage nach anderen Gütern/Dienstleistungen (Saunders 2000) Substitutionseffekt (Sorrel 2007)		
Reboundeffekt auf Makroebene	indirect rebound	Anpassung von Produktion usw. an neue Nachfragemuster (Saunders 2000) Sekundäre und graue-Energie-Effekte (Sorrel 2007)		

Tabelle 1. Trennung des insgesamt beobachtbaren Reboundeffekts in die verschiedenen Arten und den kausalen Gründen nach den Kategorisierungen von Saunders (2000) sowie Sorrel (2007)

3.2. Vorstudie zu mentalen Gründen für Reboundeffekt

Die Vorstudie untersucht das Wohn- und Mobilitätsverhalten von Haushalten in Minergiehäusern und vergleicht sie mit der Durchschnittsbevölkerung. Zunächst gilt es zu errechnen, inwieweit die fraglichen Minergiebauten in der Gesamtbetrachtung zu Kosteneinsparungen geführt haben, oder ob die höheren

Investitionskosten zu heutigen Energiepreisen die diskontierten künftigen Energiekosten-Einsparungen kompensierten. Für mehrere Beispiele traf dies jeweils zu. Damit gibt es bei Minnergiebauten keinen Grund für ökonomisch motivierte Reboundeffekte. Wenn Reboundeffekte festgestellt werden können, sollten sie mentaler Natur sein.

Für die Vorstudie wurden 100 Adressen von Minnergiebauten, wie sie für private Bauten im Kanton Zürich im Internet öffentlich zugänglich sind, zufällig ausgewählt. Die paper-and-pencil-Umfrage wurde im Juli 2007 zugestellt; es wurde ein Erinnerungsschreiben versandt. Insgesamt resultierte eine Return rate von 45%, was als erfolgreich beurteilt werden darf.

Die Minnergiehaushalte belegen die mehr als doppelte Bruttogeschossfläche (250 m^2 vs. 115 m^2) verglichen mit der mittleren schweizerischen Bevölkerung (BFS 2003). Ihre mittlere Personenzahl je Haushalt war aber auch höher (3.4 statt 2.5) und das mittlere Haushalteinkommen übertraf das schweizerische Mittel ebenfalls ($13'275 \text{ CHF}$ vs. 7995 CHF). Das Pro-Kopf-Einkommen ist mit CHF 3947 vs. CHF 3198 ebenfalls höher (+23%). Die Wohnfläche per capita ist mit 74 m^2 vs. 46 m^2 (+61%) signifikant höher als das Pro-Kopf-Einkommen. Dies deutet auf das Vorhandensein eines mental zu erklärenden Reboundeffekts hin. Detaillierte Auswertungen dazu und eine Regressionsanalyse mit den Kontrollvariablen Einkommen und Haushaltgrösse finden sich in Beilage 3.

Ebenfalls erhoben wurde das Mobilitätsverhalten der in Minnergiehäusern wohnenden Population. Als Kontrollgruppe dient die Population des Mikrozensusverkehr. Wir verwenden als Testgrösse die Anzahl Flüge pro Jahr und pro Person, und als robuste Statistik betrachten wir maximal 3 Flüge pro Jahr und Person. Es zeigt sich, dass die Minnergie-Population deutlich mehr (ca. +50%) mehr Flüge pro Kopf und Jahr absolviert als die Kontrollgruppe. Dies könnte teilweise auf einen Einkommenseffekt zurückzuführen sein, aber ein weiteres Indiz für das Vorliegen eines mentalen Rebounds (es ist sowohl möglich, dass Minnergiebewohner in den Folgejahren mehr fliegen, weil sie ihre Wohnsituation als unterdurchschnittlich umweltbelastend taxieren, als auch, dass Vielflieger bewusst kompensatorisch das Wohnen in einem Minnergiehaus anstreben).

Erfragt wurde ausserdem, wofür bzw. worin man einen bestimmten Geldbetrag verwenden bzw. investieren möchte. Dies wurde in zwei Varianten erfragt: Zuerst war das Framing, dass der Geldbetrag sich ergibt aus niedrigeren Energiekosten infolge einer energieeffizienten Technik. Danach war das Framing, dass der Geldbetrag aus einer Gehaltserhöhung stammt. In beiden Fällen wollte der grösste Teil der Befragten das Geld sparen (53% bei Gehaltserhöhung, 42% bei Energiekosteneinsparung). An zweiter Stelle wurde die Vergrösserung des Wohnraums genannt (12% bei Gehaltserhöhung, 18% bei Energiekosteneinsparung). Die Diskrepanzen in den Allokationspräferenzen je nach Herkunft des Geldbetrags ist ein weiteres Indiz für das Vorhandensein mentaler Reboundeffekte. Zusätzliche Kaufkraft infolge reduzierter Heizkosten scheint überdurchschnittlich häufig für mehr Wohnraum eingesetzt zu werden. Die Detailanalyse findet sich in Beilage 3 (Kap. 4).

3.3. Schlussfolgerungen für das Befragungsdesign

Um Schlussfolgerungen für die staatliche Energiepolitik ableiten zu können, ist die Kenntnis der kausalen Gründe für empirisch festgestellte Reboundeffekte von grosser Bedeutung.

Die Analyse der Befragungsresultate der Vorstudie zeigt, dass die Erhebung und Berücksichtigung der Kontrollvariablen (Einkommen, Haushaltgrösse, usw.) von zentraler Bedeutung ist, um mentale Gründe ermitteln zu können. Mentale Reboundeffekte lassen sich dabei am ehesten ermitteln bei jenen Gütern, deren Kaufpreis höher ist als die diskontierte künftige Betriebskosteneinsparung. Beispiele dafür sind biologische Lebensmittel; Hybridfahrzeuge, und Minnergiehäuser. Ein höherer Kaufpreis ist zwar nicht notwendig, aber hinreichend, zumal allfällige tiefere Betriebskosten (Energiekosten) in der Betriebsphase (Nutzungsphase) eines Produkts beim Investitionsentscheid üblicherweise unterbewertet werden.

4. Ausmass von Reboundeffekten: Empirische Untersuchungen

4.1. Abgrenzung von einkommens- und effizienzinduzierter Mehrnachfrage

Wie im vorliegenden Bericht eingeführt, ist zu unterscheiden zwischen jener Mehrnachfrage, welche durch eine erhöhte Ressourceneffizienz im Allgemeinen (bzw. einer erhöhten Energieeffizienz im Speziellen) induziert wird, und der allgemeinen Mehrnachfrage bzw. Mengenausweitung aufgrund von höherem Einkommen. Bei vorhandenen oder erhebbaren Datenquellen muss diese Trennung meist erst vorgenommen werden, damit Reboundforschung durchgeführt werden kann.

Eine sehr interessante und potentiell ergiebige Datenquelle ist die vom schweizerischen Bundesamt für Statistik regelmässig durchgeführte Einkommens- und Verbrauchserhebung. Neben dem monetären Ausgabeverhalten erhebt sie bei einigen Konsumkategorien, namentlich Lebensmitteln, auch den physischen Konsum (in Kilogramm, Liter, usw.). Dies erlaubt es, die Verbrauchserhebung mit den ökologischen Auswirkungen der Haushalte zu verknüpfen. Eine solche Verknüpfung wurde durch Thiesen et al. (2006) auch mit der Dänischen Verbrauchserhebung durchgeführt. Die schweizerische Datenquellen ist aufgrund ihrer Zeitreihen, ihres Detaillierungsgrades sowie der teilweise Verbrauchserhebung in physischen Einheiten von internationaler Relevanz. Mit der Verknüpfung der Einkommens- und Verbrauchserhebung mit Lebenszyklus-basierten Umweltbelastungsdaten kann die Entwicklung der Umweltbelastung pro Haushalt untersucht werden. Gleichzeitig entsteht eine Datengrundlage, um die Umweltauswirkung von Umverteilungseffekten und Nachfrageänderungen genauer abgeschätzt werden können. Auch können aufgrund dieser Verknüpfung besonders umweltfreundliche Verbrauchsmuster innerhalb der verschiedenen Haushaltstypen identifiziert werden.

Die Übernahme der Einkommens- und Verbrauchserhebung, deren Aggregation zu Produktgruppen mit ähnlichen ökologischen Auswirkungen, sowie die Verknüpfung der Haushaltsausgaben mit deren Umweltbelastung gemäss Ecoinvent-Lebenszyklusinventardaten ist im Detail in der Beilage 2 beschrieben. Auf dieser Basis können die verknüpften Datenbanken dann nach verschiedenen Fragestellungen ausgewertet werden. Unter anderem stehen Fragestellungen im Vordergrund, wohin sich der Haushaltkonsum bei steigendem Haushalteinkommen im Mittel entwickelt, bzw. für Untergruppen entwickeln könnte. Hiermit können namentlich Abschätzungen vorgenommen werden, ob der sich der Konsum hin zu „mehr“ (gemessen in physischen Einheiten) oder zu „besser“ (höhere Preise pro physischer Einheit) entwickelt (Girod und de Haan 2009a). Indem man die Haushalte einteilt in Gruppen gemäss den Kontrollvariablen Einkommensklasse und Haushalttyp, kann ausserdem die Spannweite der Treibhausgasemissionen von Haushalten evaluiert werden. Dabei treten grosse Unterschiede zutage, welche namentlich zurückzuführen sind auf Unterschiede im Mobilitätsverhalten (Einsatz von Personenwagen sowie Flugverkehr), dem Heizsystem und dem Elektrizitätskonsum. Dies erlaubt, das Treibhausgas-Mitigationspotential von „grünem Konsum“ sowie von qualitativ höherwertigen Produkten abzuschätzen (Girod und de Haan 2009b). Beides sind klassische Fragestellungen zur Mehrnachfrage induziert durch Einkommensänderungen. Die verknüpften Datenbanken erlauben aber auch die Reboundforschung im engeren Sinn (Mehrнachfrage induziert durch erhöhte Ressourceneffizienz) namentlich für den Fall des mentalen Rebounds. Dies betrachten wir im nächsten Unterkapitel.

4.2. Mögliche mentale Reboundeffekte bei biologischen Lebensmitteln: Handeln Biokonsumenten konsequent?

Biologische Lebensmittel sind namentlich für mental induzierte Reboundeffekte interessant, weil viele verschiedenartige positive Effekte bzw. Eigenschaften mit ihnen verbunden werden. Die rein lebenszyklusorientiert berechnete Reduktion der Umweltbelastung von biologisch produzierten Lebensmitteln ist deshalb möglicherweise geringer als die subjektiv wahrgenommene. Unter dem Postulat der „Umwelt-

belastungsbuchhaltung“ könnte deshalb der Konsum von biologischen Lebensmitteln einhergehen mit einem Mehrkonsum anderer Güter so, dass insgesamt ein Reboundeffekt entsteht.

Die Daten der Einkommens- und Verbrauchserhebung erlauben die Auswertung nach dem Konsum biologisch produzierter Lebensmittel, weil deren Verbrauch explizit erfasst wird. Wir untersuchen deshalb, ob Haushalte mit einem hohen Bio-Anteil über- oder unterdurchschnittliche Gesamt-Treibhausgasemissionen aufweisen. Das Einkommen wird in der Analyse kontrolliert, Betrachtungen werden innerhalb von Gruppen verschiedener Haushaltstypen durchgeführt. Es zeigt sich, dass Bio-Konsumenten auch insgesamt weniger Treibhausgasemissionen aufweisen. Ein mentaler Rebound kann also nicht nachgewiesen werden. Offenbar ist der postulierte Effekt einer mentalen Umweltbelastungsbuchhaltung weniger stark als die sich manifestierende Kohärenz im Konsumverhalten – Bio-Konsumenten verhalten sich gleichzeitig auch in anderen Konsumkategorien in Richtung höherer Ressourceneffizienz.

Die Ergänzung und Analyse der Einkommens- und Verbrauchserhebung zum Zwecke der Reboundforschung wurde im vorangehenden Unterkapitel eingeführt und ist detailliert in Beilage 2 beschrieben. Die detaillierte Analyse der Erhebungsresultate hin auf mögliche mentale Reboundeffekte bei biologischen Lebensmitteln findet sich in Beilage 3 (Kap. 3.1).

4.3. Mögliche mentale Reboundeffekte bei Hybridfahrzeugen: Fahren Hybridkäufer mehr, öfter oder grösser?

Neben biologischen Lebensmitteln (täglicher, direkt körperrelevanter Konsum) stellt das Auto (ebenfalls täglich, mittelbar körperrelevant, hohe visuelle Sichtbarkeit) eines der Hauptschauplätze ökologischen Verhaltens und des betreffenden gesellschaftlichen Diskurses dar. Entsprechend sind mentale Reboundeffekte möglich. Rein monetär induzierte Reboundeffekte sind jedoch unwahrscheinlich, weil Hybridfahrzeuge im Erwerb teurer sind. Der Verkaufspreis ist aktuell in etwa um jenen Betrag höher, den man über die Lebensspanne mittels Benzinkostenreduktion wieder einspart (de Haan et al. 2007). Weil der reale Konsument hohe Diskontraten verwendet, d.h. Mehrinvestitionen überbewertet im Vergleich zu künftigen Einsparungen bei den Betriebskosten, ist der Aufpreis beim Erwerb geldpsychologisch gesehen meist gar eher grösser als die künftigen Einsparungen. Ausschlaggebend.

Möglich ist im Bereich Hybridfahrzeuge auch das Auftreten eines regulatorischen Rebounds, da vielfach staatliche Anreize (aktuell in der Schweiz auf kantonaler Ebene bei den Motorfahrzeugsteuern) für Hybridfahrzeuge ausgerichtet werden. Darüber hinaus bestehen auch private Anreize (die SwissRe vergütet Angestellte, welche ein Hybridfahrzeug erwerben, CHF 5000). Im Ausland bestehen weitergehende Anreize (in den Niederlanden werden Hybridfahrzeuge mit bis zu EUR 6000 gefördert, was über den Mehrpreis bei der Anschaffung hinausgeht und zu entsprechenden Lieferschwierigkeiten des Importeurs geführt hat). Der regulatorische Rebound wird im vorliegenden Bericht nicht eingehend untersucht.

Durchgeführt wurden Befragungen von Käufern der drei ersten in der Schweiz erhältlichen Hybridfahrzeuge (Toyota Prius, Honda Civic IMA, Lexus RX400h) sowie von Kontrollgruppen (Toyota Corolla/Avensis, Honda Civic 5d, Lexus RX300). In allen Fällen ist das Hybridfahrzeug im Erwerb in etwa im Ausmass der künftigen Benzinkostenreduktion teurer, ein monetär induzierter Rebound beim rationalen Kunden deshalb nicht zu erwarten. Untersucht wurden drei verschiedenen möglichen Ausprägungen des direkten Reboundeffekts: Mehr Autos (Kontrollvariable Haushaltgrösse), grössere Autos, oder mehr gefahrenen Kilometer. Die letztere Grösse bedingt aufwändige Nachbefragungen, weil die selbstrapportierte ex-ante-Schätzung der Kilometerleistung als unzuverlässig gilt. Notwendig ist ausserdem die Erhebung der Kilometerstände aller Fahrzeuge im Haushalt, weil eine Verlagerung von Kilometerleistung von anderen Haushaltautos hin zum Hybridfahrzeug ein angestrebter, positiver Effekt wäre. Es zeigt sich, dass in keinem der drei Automodelle mentale Reboundeffekte auftreten. Im Gegenteil scheinen Hybridkäufer gar einen kleinen „Rückschritt“ bei der Auto-grösse auf sich zu nehmen. Einschränkend gilt festzuhalten, dass die erzielten Resultate nur für das betreffende Kundensegment gilt, welches nach Rogers (1995) als „early market“ („innovators“ und „early adop-

ters“) bezeichnet werden kann. Wie bei Bio-Konsumenten (sh. vorgehendes Unterkapitel) scheinen auch Hybridkonsumenten ein konsistentes Konsumverhalten an den Tag zu legen. Es ist fraglich, ob dies auch für die nachfolgenden Kundensegmente gelten wird. Zu erwarten wäre, dass Reboundeffekte in Zukunft auftreten werden. Gemäss Coad et al. (2009) wäre deshalb die Einführung von Energiesteuern in einer zweiten Phase der Marktdurchdringung prüfenswert. In der Sprache des vorliegenden Berichts gesprochen, ist der „late market“ wohl empfindlicher für mentale Reboundeffekte als der „early market“.

Die detaillierte Analyse aller möglichen Reboundeffekte (Anzahl der Autos im Haushalt, Grösse der Autos im Haushalt, gefahrene Kilometer) für das Hybridfahrzeug Lexus RX400h findet sich in Beilage 5. Die beiden ersten Reboundeffekte (Anzahl und Grösse der Autos) wurden für das Hybridfahrzeug Toyota Prius z publiziert (de Haan et al. 2006, 2007). Gegenwärtig noch nicht publiziert sind die Resultate zur Reboundanalyse zu unserer Befragung von Käufern des Hybridfahrzeugs Honda Civic IMA.

4.4. Mögliche Reboundeffekte bei der Verkehrsmittelwahl: Fliegt mehr, wer kein Auto hat?

Ein Auto zu fahren, ist zwar teuer (für ein typisches Fahrzeug der unteren Mittelklasse bei einer Jahresfahrleistung von 15'000 Kilometern betragen die Kosten pro Kilometer CHF 0.75 [TCS 2008]), aber trotzdem weit verbreitet (der Motorisierungsgrad steigt seit 1990 kontinuierlich und betrug Ende 2007 519 Autos pro 1000 Einwohnern [BFS 2009]). Denn die Zahlungsbereitschaft für individuelle motorisierte Mobilität ist auch in der Schweiz hoch, im Einklang mit den von Schafer und Victor (1999) zusammengetragenen aggregierten Grössen, wonach für die Mobilität 10 bis 15% des BIP eingesetzt wird. Kein Auto zu fahren, kann deshalb sowohl Ausdruck eines monetär begründeten Entscheides sein (Verzicht auf einen teurer Verkehrsträger) als auch einer primär mentaler Werteentscheidung (Verzicht auf einen Verkehrsträger mit einer wahrgenommenen übermässigen Umwelt- oder Ressourcenbelastung). In beiden Fällen kann postuliert werden, dass wer weniger Auto fährt, mehr mit anderen Verkehrsträgern unterwegs sein wird – durchaus auch mit solchen, welche pro Personenkilometer teurer sind bzw. mit einer höheren Ressourcenbelastung einhergehen als Personenwagen. Fliegt mehr, wer kein Auto hat?

Mit der Mikrozensus-Verkehr-Befragung liegt ein Datensatz vor, mit welchem untersucht werden kann, ob der Verzicht auf ein Auto mit einer höheren Nachfrage nach Transportdienstleistungen mit anderen Verkehrsträgern einhergeht. Im Einzelfall sind grosse Abweichungen möglich, aber im Mittel ist, Schafer und Victor (1999) folgend, zu erwarten, dass das Mobilitätsbedürfnis sich eher auf andere Verkehrsträger verlagert als reduziert wird. Dabei ist namentlich eine Verlagerung auf andere ebenfalls kostenintensive Verkehrsträger zu erwarten: Der ÖV ist relativ kostengünstig, so dass der Flugverkehr im Vordergrund steht. Nicht möglich ist bei diesem Datensatz eine Differenzierung nach den kausalen Gründen für den Autoverzicht (monetär oder mental) und damit eine Klassifizierung allfälliger Reboundeffekte. Es zeigt sich, dass – wenn die Einkommensgruppe kontrolliert wird, um rein den monetär bedingten Autoverzicht zu minimieren – tatsächlich mehr fliegt, wer kein Auto fährt. Die Detailanalyse findet sich in Beilage 3 (Kap. 3.2).

4.5. Zusammenhänge zwischen Umweltbewusstsein, Umweltverhalten und Carbon Footprint

Die in den voranstehenden Unterkapiteln vorgestellten empirischen Resultate begründen die folgenden Hypothesen: H1: Haushalte mit vertieftem Umweltwissen weisen eine niedrigere Umweltbelastung auf; H2: Nach dem Kauf energieeffizienter Geräte wird dem verbleibendem Energieverbrauch weniger Bedeutung beigemessen, was einen mentalen Reboundeffekt (innerhalb der gleichen Produktkategorie) auslösen kann; H3: Haushalte mit energiesparendem Verhalten zeigen aufgrund mentales Rebounds (zwischen verschiedenen Produktkategorien) einen erhöhten Energiebedarf bei anderen Aktivitäten. Der Umweltsurvey 2007 würde die Rohdaten bereit halten, um obige Hypothesen zu testen. Die Daten stehen jedoch noch nicht für die Auswertung zur Verfügung.

5. Eindämmung von Reboundeffekten: Diskussion und Schlussfolgerung

5.1. Zusammenfassung

Reboundeffekte bezeichnen eine zusätzliche Nachfrage nach einer Dienstleistung oder einem Gut aufgrund höherer Effizienz. Damit die höhere Effizienz ein Nachfragesignal auslöst, muss eine gewisse von Null verschiedene Elastizität vorhanden sein, die Effizienz also ein knappes Gut betreffen. Reboundeffekte sind deshalb ganz allgemein Ressourcen-Effizienzeffekte (man könnte in Anlehnung an den neoklassischen Ansätzen der Ökonomie noch allgemeiner auch sagen: Produktionsfaktor-Effizienzeffekte). Es kann sich sowohl um *Zeitressourcen* handeln (Umfahrungsstrassen führen zu höherer Zeiteffizienz und deshalb zu Mehrverkehr), um *Raumressourcen* (erhöhte Raumeffizienz führt zu erhöhter Nachfrage nach raumrelevanten Dienstleistungen oder Produkten: Erhöhen Städte die Ausnützungsziffern, ziehen mehr Personen in die Stadt), um Energiressourcen (Energiesparlampen lässt man länger brennen), oder um andere physikalische Ressourcen.

Kein Reboundeffekt liegt hingegen vor, wenn die Nachfrage nach einem Gut oder einer Dienstleistung steigt aufgrund höherer Kaufkraft oder aus welchen Gründen auch immer geänderten Konsumentenpräferenzen. Die oft angestellten makroökonomischen Vergleiche, bei denen die gesamte Mehrnachfrage über einen längeren Zeitraum in Relation gesetzt wird zur gesamten Effizienzsteigerung, um dann zu folgern, dass Effizienzsteigerungen keinen Effekt hätten, und Reboundeffekte nahe bei 100% zu postulieren, sind irrig. Sie ignorieren den grundlegenden Einfluss des wirtschaftlichen Wachstums. Natürlich ist wirtschaftliches Wachstum aus der Sicht des Nachhaltigen Konsums potentiell problematisch. Aber mit Reboundeffekten hat dies nichts zu tun, sondern mit Wirtschaftswachstum generell. Auch die Nachfrage nach vielen jener Produkte, deren Herstellung nicht energieeffizienter geworden ist (z.B. Fleisch), nimmt in Zeiten des Wirtschaftswachstums zu.

Wir behandeln im vorliegenden Bericht ausschliesslich Fälle mit höherer Energieeffizienz. Für die Analyse von Reboundeffekten aufgrund höherer Zeiteffizienz verweisen wir auf Spielmann et al. (2008), die Analyse von Reboundeffekten aufgrund höherer Effizienz bei der Inanspruchnahme von Raum bzw. Land oder nicht-energetischen physikalischen Ressourcen überlassen wir künftiger Forschung.

Wir haben im vorliegenden Bericht drei kausale Erklärungsketten unterschieden (monetärer Rebound, soziopsychologischer Rebound, regulatorischer Rebound), wobei in der Literatur meist nur gerade der erstere untersucht wird. Ausserdem haben wir drei deskriptiv unterscheidbare Arten von Rebound definiert. Sie werden in Anlehnung an Saunders (2000) direkter Rebound, indirekter Rebound, und Rebound auf Makroebene genannt. UKERC (2007) bezeichnet diese als direkter Rebound aufgrund von Einkommenseffekten, direkter Rebound aufgrund von Substitutionseffekten, bzw. indirekten Rebound.

Nota bene: haben nichts mit den deskriptiv unterscheidbaren drei Arten von RE zu tun.

5.2. Reboundeffekte sind nicht vermeidbar, aber eindämmbar

Wir fassen die Erkenntnisse des vorliegenden Berichts wie folgt zusammen:

- > Um die Reboundforschung von allgemeinen Erörterungen über die Grenzen des Wachstums abzugrenzen, ist die Fokussierung auf die eigentliche Definition des Reboundeffekts (durch erhöhte Ressourceneffizienz induzierte [und nicht bloss zeitlich parallel auftretende] Mehrnachfrage) essentiell.
- > Neben energieeffizienz-induzierten Reboundeffekten sind speziell auch zeiteffizienz-induzierte Reboundeffekte zu beachten. Gegenwärtig sind die Energiekosten meist deutlich niedriger als die Zeitkosten. Dies erklärt zum Beispiel die nur geringe Preiselastizität der kurzfristigen Benzinnachfrage auf die Treibstoffpreise ebenso wie die Verkehrszunahmen infolge von Strassenneubauten.

- > Es ist zu unterscheiden zwischen direktem, indirektem und Makroebene-Rebound. Im Allgemeinen lassen sich nur direkte Reboundeffekte überhaupt empirisch erfassen und bilden Gegenstand der Debatte. Die übrigen Effekte sind meist Teil der Forschung zu nachhaltigem Konsum und dem Zusammenhang zwischen Einkommen und Carbon Footprint im Allgemeinen (sh. Girod und de Haan 2009a,b).
- > Es ist allgemein akzeptiert, dass Reboundeffekte auftreten. Das Ziel sollte es sein, sie zu minimieren. Dafür ist aber die Identifikation der kausalen Gründe für den aufgetretenen Effekt unabdingbar. Wir haben drei mögliche Arten von Gründen eingeführt, wobei nur der erstere (der ökonomisch induzierte Rebound) mit der gängigen ökonomischen Literatur im Einklang ist, während der sozio-psychologische Rebound (mit seinem Spezialfall des mentalen Rebounds) sowie der regulatorische Rebound sozio-psychologische bzw. politologische Erweiterungen darstellen, welche sich als notwendig erweisen, um auftretende Reboundeffekt überhaupt erklären zu können.
- > Bessere Technik kostet mehr. In sehr vielen Fällen führen neue, energieeffiziente Technologien zwar zu reduzierten Energiekosten in der Betriebsphase, kosten dafür aber mehr in der Anschaffung. Häufig entspricht die Mehrinvestition in etwa der diskontierten künftigen Energiekostenreduktion (wäre die Mehrinvestition deutlich niedriger, setzt sich die Innovation oft allgemein durch; wäre die Mehrinvestition deutlich höher, kann das Produkt noch nicht am Markt bestehen). Damit entfallen aber mögliche ökonomische Gründe für Reboundeffekte.
- > Die Kenntnis der kausalen Gründe, welche im Falle des Endkonsumenten schon nur aufgrund psychologischer Effekte der Geldwahrnehmung fast immer soziopsychologische Gründe zumindest mit umfassen, ist zentral für Strategien zur Verstärkung von Lebensstilen des nachhaltigen Konsums. Wie verschiedene empirische Untersuchungen gezeigt haben, handeln umweltbewusste Konsumenten oft (aber nicht immer) absichtlich, kohärent und konsistent. Sie vermeiden damit die Entstehung des ökonomischen Reboundeffekts.

5.3. Wie Energiepolitik Reboundeffekte eindämmen kann

Aus der in Beilage 4 vorgenommenen Analyse von schweizerischen Politikinstrumenten zur Steigerung der Energieeffizienz und dem spezifischen Vergleich mit aktuellen Forschungsresultaten ergeben sich Empfehlungen bezüglich Rebound-effekten, die hier zusammengefasst werden (für ausführlichere Erörterungen wird auf Beilage 4 verwiesen). Häufig sind Kombinationen von Massnahmen politisch notwendig und auch sinnvoll; die oft mit einer erhöhten Reboundgefahr verbundenen Zugeständnisse können durch Kompromissbildung hinsichtlich ihres Reboundausmaßes meist erfolgreich minimiert werden, wie die durch die EU verlangte Erhöhung der Gewichtslimite auf 40 Tonnen und deren von der Schweiz eingeforderte Verknüpfung mit der LSVA zeigen.

Vorsicht ist geboten bei Instrumenten, welche eine Veränderung des Modal-Splits anstreben, oder auch bei der CO₂-Abgabe, weil die i. d. R. angezielte und für den Rebound relevante Energieeffizienz nicht mit CO₂-Effizienz gleichzusetzen ist. Grundsätzlich können zahlreiche Kriterien und Wirkmechanismen aus der Forschung bestätigt werden, einige Einschränkungen gilt es aber zu machen. Die gefürchtete ungedämpfte gleichzeitige Produktivitätssteigerung parallel zur Erhöhung der Energieeffizienz erscheint bei den untersuchten Instrumenten aufgrund der Analysen als unwahrscheinlich. Allgemein wurde festgestellt, dass General Purpose Technologies oder die Überwindung von Ineffizienz ohnehin häufig nicht mit Produktivitätssteigerung verbunden sind, so z. B. bei den Mindestanforderungen. Hingegen wurde am Beispiel der CO₂-Abgabe bewusst, dass auch die Förderung von technologischer Innovation langfristig zu Rebound führen kann.

Opportunitätskosten für die Ausweitung der Nachfrage sind für den Rebound zentral (beispielsweise bei Road Pricing), und auch die Sättigung mit den betreffenden Technologien ist von Bedeutung. Die Theorie von Saunders (2000), wonach der Rebound mit steigender Elastizität der Substitution zwischen Energie und

anderen Produktionsfaktoren zunehme, ist mit Vorsicht anzuwenden. So konnte es bei den Mindestanforderungen bestätigt werden, stand aber bei der CO₂-Abgabe im Widerspruch zu anderen Erkenntnissen. Neue Ansätze, welche erweiterte Effekte auf den Rebound berücksichtigen, wurden mit dem Ziel übernommen, realitätsnähere Resultate zu erhalten. Sozio-psychologische Effekte sind omnipräsent, insbesondere bei Informationsmassnahmen, weshalb deren (indirekte) Botschaften gut zu bedenken sind. Auch bei Steuern, welche theoretisch nicht mit Rebound verbunden wären, wurde gezeigt, dass insgesamt entscheidend ist, ob vorher schon Effizienzpotentiale („low hanging fruits“) vorhanden waren. Falls dies der Fall ist, muss trotzdem Rebound erwartet werden. Wichtig sind der Verwendungs-zweck von Steuereinnahmen (z. B. führt bei der LSVA die Bandbreite von umgekehrtem Rebound bis zu backfire) bzw. die Rückerstattung von (indirekten Lenkungs-)Abgaben (wobei auch hier die Wahrnehmung entscheidend ist, wie z. B. bei der CO₂-Abgabe). Aufgezeigt wurde auch, dass sich die Resultate stark unterscheiden können in Abhängigkeit davon, ob ökonomisch oder realwirtschaftlich (durch den Einbezug erweiterter Effekte) argumentiert wird. Dies gilt in beide Richtungen, so ist der reale Rebound gegenüber der theoretischen Argumentation für die LSVA höher, aber für die Erhöhung der Gewichtslimite tiefer.

6. Ausblick und künftiger Forschungsbedarf

Der vorliegende Bericht hat Reboundeffekte in allgemeiner Form als durch erhöhte Ressourceneffizienz induzierte Mehrnachfrage eingeführt und aufgezeigt, dass sie namentlich bei Energieeffizienz-Fragestellungen auch empirisch belegt werden können. Obwohl die Methoden zur empirischen Feststellung von Reboundeffekten bereits anspruchsvoll sind, reichen sie noch nicht aus, um Aussagen über möglichen Eindämmungsstrategien zu ermöglichen. Zu diesem Zweck führt die vorliegende Arbeit die konsequente Unterscheidung von möglichen kausalen Gründen ein. Da diese Gründe vom individuellen Entscheidungsträger und dessen eingeschränkte Rationalität ausgehen und somit unter anderem psychologische Geldwahrnehmungs-Effekte zulassen, liefern sie auch ein Erklärungsgerüst für Reboundeffekte, welche rein geldökonomisch nicht auftreten könnten, und umgekehrt auch für das mögliche Ausbleiben von Reboundeffekten, welche rein geldökonomisch erwartet worden wären.

Wie auch UKERC (2007) betont, ist das Auftreten von Reboundeffekten namentlich infolge von Energieeffizienzmassnahmen zwar nicht mehr umstritten, wird aber dennoch kaum berücksichtigt bei der ex-ante-Prognose der Massnahmeneffizienz von energiepolitischen Vorhaben. Und bei der ex-post-Analyse solcher Politiken wird in aller Regel nicht versucht, das Ausmass des aufgetretenen Reboundeffekts zu eruieren. Dabei sind mittlerweile die Grundlagen und Erfahrungswerte vorhanden, um das Ausmass zu erwartender Reboundeffekte mindestens grob abzuschätzen, und darf die Annahme eines Reboundeffekts von Null unter Hinweis auf fehlenden Erfahrungswerten als wissenschaftlich nicht mehr zulässig betrachtet werden. Vor allem ist bei General Purpose Technologies (GPT) Vorsicht geboten. Solche Technologien bewerben sich gerade bei umwelt- und energiepolitischen Fragestellungen häufig um staatliche Subventionen oder vorteilhafte Normensetzung. In dem Sinne ist die Empfehlung aus Saunders (2000), über die Abschätzung von Substitutionselastizitäten den Reboundeffekt abzuschätzen und zwischen Effizienz- und Technologieförderung zu entscheiden, weiterhin aktuell.

Reboundforschung ist demnach in der Essenz die Erforschung nachhaltigen Konsums im Allgemeinen bzw. kausaler Gründe für Nachfrageverschiebungen bei frei werdender oder zunehmender Kaufkraft im Speziellen. Dazu ist eine empirische Datenbasis zu Konsumverhalten und Haushaltsgaben eine notwendige Ausgangsbasis. Künftiger Forschungsbedarf richtet sich darüber hinaus nach den kausalen Gründen einerseits und nach empirischen Studien und die daraus resultierenden energiepolitischen Schlussfolgerungen anderseits. Es lassen sich die folgenden Stossrichtungen formulieren:

- (a) Die *Verknüpfung der Haushaltsgaben der Einkommens- und Verbrauchserhebung mit deren Umweltbelastung gemäss EcoInvent-Lebenszyklusinventardaten stellt eine Plattform für weitere künftiger Forschung dar* und erlaubt, bisher kaum untersuchte Fragestellungen anzugehen. Da letztlich die Umwelt- und Energiepolitik sowie der globale Klimaschutz sich alle in der Forschung nach Lebensstilen nachhaltigen Konsums vereint sehen, ist die Frage von zentraler Bedeutung, wohin sich der Haushaltkonsum bei steigendem Haushalteinkommen im Mittel entwickelt, bzw. für bestimmte Lebensstile entwickeln könnte. Mit geeigneten Instrumenten kann versucht werden, die Entwicklung nicht hin zu „mehr“ (gemessen in physischen Einheiten), sondern zu „besser“ (höhere Preise pro physischer Einheit) zu steuern (Girod und de Haan 2009a). Die aktuell grosse Spannweite der Treibhausgasemissionen von Haushalten ist primär zurückzuführen auf Unterschiede im Mobilitätsverhalten (Einsatz von Personenwagen sowie Flugverkehr), dem Heizsystem und dem Elektrizitätskonsum. Dies erlaubt, das *Treibhausgas-Mitigationspotential von „grünem Konsum“ sowie von qualitativ höherwertigen Produkten* in diesem Bereich abzuschätzen (Girod und de Haan 2009b).
- (b) Ein zentrales Ergebnis der Reboundforschung ist, dass bei Produkten oder Dienstleistungen, welche ressourceneffizienter sind als bisherige Produkte oder Dienstleistungen, eine induzierte Mehrnachfrage zu erwarten ist und die ceteris paribus-Annahme als nicht erfüllt betrachtet werden muss. Bei der Beurteilung neuer Produkte mittels der Lebenszyklusanalyse (LCA) sollte dies in Zukunft mindestens bei

ausgewählten Fällen berücksichtigt werden. Gegenstand künftiger Forschung sollte demnach sein, wie *potentielle Reboundeffekte in den Rahmen der LCA-Methodologie integriert werden* können.

- (c) Kausale Gründe für nicht-ökonomischen (mental) Rebound liegen begründet in der Führung von wie auch immer gehandhabten mentalen Budgets. Diese Budgets stellen ein Abbild des Umweltverständnisses der Konsumenten dar. Die vertiefte Auswertung des Umweltsurveys 2007 würde Einsichten in Mechanismen mentalen Rebounds erlauben (Kap. 4.5). Relevant sind ausserdem Effekte der psychologischen Wahrnehmung von Geldbeträgen, namentlich von Bonusprämien, Verschrottungsprämien, Anreize für die Anschaffung energieeffizienter Technologien und Apparate, usw.
- (d) Namentlich im Gebäudebereich stellt sich das Problem der relativen Effizienzvorschriften (U-Werte je Bauteil, ausgedrückt je Quadrat- oder Kubikmeter), welche noch keine absoluten Effekte sicherstellen. Wie in Kapitel 3 beschrieben (für Details siehe Beilage 3), verfügen Haushalte in Miniergebäuden, bei kontrollierter Einkommensgruppe, über +61% Wohnfläche je Person im Vergleich zur Gesamtbevölkerung. Auch bestehen Indizien, dass Minerie-Bewohner überdurchschnittlich Flugreisen konsumieren, und scheinen sie eher bereit, finanzielle Einsparungen aufgrund höherer Energieeffizienz in grössere Wohnflächen zu investieren. Eine Vorstudie konnte erfolgreich durchgeführt werden, eine *Hauptstudie mit höherer Anzahl Befragten und sorgfältigem Befragungsdesign* zwecks Kontrolle aller möglicherweise beeinflussender Parameter (Wohnlage, Einkommensgruppe, Gebäudealter, Ausbildung) würde die Überprüfung der genannten drei Effekte erlauben.

Literatur

- Berkhout, P.H.G., Muskens, J.C., Velthuijsen, J.W., 2000. Defining the rebound effect. *Energy Policy*, 28, pp. 425–432.
- BFS (2003). Einkommens- und Verbrauchserhebung ((Swiss federal office for statistics), Trans.). Neuenburg.
- BFS 2009. Strassenfahrzeugbestand 1990-2008 auf Basis Mofis-Datenbank. Exceltabelle T 11.2.1.3.3 von www.bfs.admin.ch
- Binswanger, M., 2001. Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? *Ecological Economics*, 36, pp. 119–132.
- Binswanger, M., 2004: Time-saving innovations and their impact on energy use: some lessons from a household-production-function approach. *Int. J. Energy Technology and Policy*, 2, 2099–218.
- Birol, F., Keppler, J.H., 2000. Prices, technology development and the rebound effect. *Energy Policy*, 28, pp. 457–469.
- Bouman, M., Heijungs, R., van der Voet, E., van den Bergh, J.C.J.M., Huppes, G., 2000. Material flows and economic models: an analytical comparison of SFA, LCA and partial equilibrium models. *Ecological Economics*, 32, 195–216.
- Brookes, L. G., 1978. Energy policy, the energy price fallacy and the role of nuclear energy in the UK. *Energy Policy*, 6, Nr. 2, 94–106.
- Brookes, L., 2000. Energy efficiency fallacies revisited. *Energy Policy*, 28, 355–366.
- BUWAL, 2001. Viele Wege führen in die Klimafalle. In: Magazin UMWELT 1/01, p. 14+15; Herausg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
- Coad A, de Haan P, Woersdorfer J S, 2009. Consumer support for environmental policies: An application to purchases of green cars. *Ecological Economics*, 68, 2078–2086.
- de Haan P, Mueller M G, Peters A, 2006. Does the hybrid Toyota Prius lead to rebound effects? Analysis of size and number of cars previously owned by Swiss Prius buyers. *Ecological Economics*, 58, 592–605.
- de Haan P, Peters A, Scholz R W, 2007. Reducing energy consumption in road transport through hybrid vehicles: Investigation of rebound effects, and possible effects of tax rebates. *Journal of Cleaner Production*, 15, 1076–1084.
- Girod B, de Haan P. 2009b. GHG reduction potential of changes in consumption patterns and higher quality levels: Evidence from Swiss household consumption survey. Accepted for publication in *Energy Policy*.
- Girod B, de Haan P., 2009a. More or better? A model for changes in household greenhouse gas emissions due to higher income. Accepted for publication in *Journal of Industrial Ecology*
- Greening, L.A., Greene, D.L., Difiglio, C., 2000. Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey. *Energy Policy*, 28, pp. 389–401.
- Grepperud, S., Rasmussen, I., 2004. A general equilibrium assessment of rebound effects. *Energy Economics*, Vol. 26, pp. 261–282.
- Haas, R., Biermayr, P., 2000. The rebound effect for space heating: Empirical evidence from Austria. *Energy Policy*, 28, 403–410.
- Heijungs R, R. Frischknecht, 1998. On the nature of the allocation problem, in *Int. J. LCA* (3) No. 6, p. 321-332
- Herring, H., 2006. Energy efficiency – a critical review. *Energy*, 31, 10–20.
- Hertwich, E.G., 2003. Consumption and the rebound effect: The consideration of information and communication technology. *Proceedings of the SETAC-ISIE Case Study Symposium*, Lausanne (CH), 3-4 Dec. 2003.
- Hertwich, E.G., 2005. Consumption and the rebound effect. An industrial ecology perspective. *Journal of Industrial Ecology*, 9, 85–98.
- Hoffmann, K.C., Jorgenson, D.W., 1974. The Bell Journal of Economics, 5, Nr. 2, 444. Referred to by Wene (1996)
- Hofstetter, P., Baumgartner, T., & Scholz, R. W. (2000). Modelling the valuesphere and the ecosphere: Integrating the decision makers' perspectives into LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 5(3), 161-175.
- Ibenholt, K., 2002. Materials flow analysis and economic modelling, In: Ayres RU, Ayres LW, editors. *Handbook of Industrial Ecology*. Cheltenham: Edward Elgar, 177–184.

- Jaccard, M., Bataille, C., 2000. Estimating future elasticities of substitution for the rebound debate. *Energy Policy*, 28, pp. 451–455.
- Jalas, M., 2002. A time use perspective on the materials intensity of consumption. *Ecological Economics*, 41, pp. 109–123.
- Käenzig, J., Jolliet, O., 2006. Umweltbewusster Konsum: Schlüsselentscheide, Akteure und Konsummodelle. *Umwelt-Wissen* Nr. 06/16. Bundesamt für Umwelt, Bern. 113 S.
- Khazzoom, D., 1986. An Econometric Model Integrating Conservation in the Estimation of the Residential Demand for Electricity, JAI Press, Greenwich CT.
- Khazzoom, D.J., 1980. Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances. *The Energy Journal*, 1, 21–40.
- Laitner, J.A., 2000. Energy efficiency: rebounding to a sound analytical perspective. *Energy Policy*, 28, 471–475.
- MacLean, H. L., Lave, L. B., 2003. Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies. *Progress in Energy and Combustion Sciences*, Vol. 29, pp. 1–69.
- Peters A, Mueller M G, de Haan P, Scholz R W, 2008. Feebates promoting energy efficient cars: Design options to address more consumers and possible counteracting effects. *Energy Policy*, Vol. 36, 1355–1365.
- Saunders, H.D., 1992. The Khazzoom–Brookes postulate and neoclassical growth. *The Energy Journal*, 13, 131–148.
- Saunders, H.D., 2000. A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom–Brookes. *Energy Policy*, 28, pp. 439–449.
- Schafer A, Victor D G, 1999. Global passenger travel: implications for carbon dioxide emissions. *Energy* 24, 657–679.
- Schipper, L., Grubb, M., 2000. On the rebound? Feedback between energy intensities and energy uses in IEA countries. *Energy Policy*, 28, pp. 367–388.
- Schipper, L., Unander, F., Murtishaw, S., Ting, M., 2001. Indicators of energy use and carbon emissions: Explaining the Energy Economy Link. *Annual Review Energy Environ.*, 26, pp. 49–81.
- Sorrel S., 2007. The Rebound Effect - an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency: UKERC (UK Energy Research Centre).
- Spielmann M, de Haan P, Scholz R W, 2008. Environmental Rebound Effects of High-Speed Transport Technologies: A case study of climate change rebound effects of a future underground maglev train system. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 16, 1388–1398.
- Stern N., 2007. Stern Review: The Economics of Climate Change. London, HM Treasury.
- TCS 2008. Verbrauchskatalog 2008, Touring-Club der Schweiz, Juni 2008.
- Thiesen J, Christensen Torben S, Kristen T G, Andersen D R, Brunoe B, Gregersen T K, Thrane M, Weidema B P. 2006. Rebound Effect of Price Differences. *International Journal on Life-Cycle-Assessment*.
- UK ERC 2007. The Rebound Effect - an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency: UKERC (UK Energy Research Centre).
- Wene, C.O., 1996. Energy-Economy analysis: linking the macroeconomic and systems engineering approaches. *Energy*, 21, Nr. 9, 809–824.

Beilagen

Beilage 1: Rebound Research Report 1

de Haan P., 2008. Identification, quantification, and containment of energy-efficiency induced rebound effects: A research agenda. Rebound Research Report Nr. 1, ETH Zurich, IED-NSSI, report EMDM1521, 26 pages, download: www.nssi.ethz.ch/res/emdm

Beilage 2: Rebound Research Report 2

Girod B., 2008. Environmental impact of Swiss household consumption, and estimated income rebound effects. Rebound Research Report Nr. 2. ETH Zurich, IED-NSSI, report EMDM1381, 80 pages

Beilage 3: Rebound Research Report 3

Girod B., de Haan P., 2009. Mental rebound. Rebound Research Report Nr. 3. ETH Zurich, IED-NSSI, report EMDM1522, 24 pages, download: www.nssi.ethz.ch/res/emdm

Beilage 4: Rebound Research Report 4

Schlegel M., 2009. Empfehlungen zu Schweizer Politikmassnahmen in Abhängigkeit von Reboundeffekten. Rebound Research Report Nr. 4. ETH Zurich, IED-NSSI, report EMDM1601, 56 pages, download: www.nssi.ethz.ch/res/emdm

Beilage 5: Rebound Research Report 5

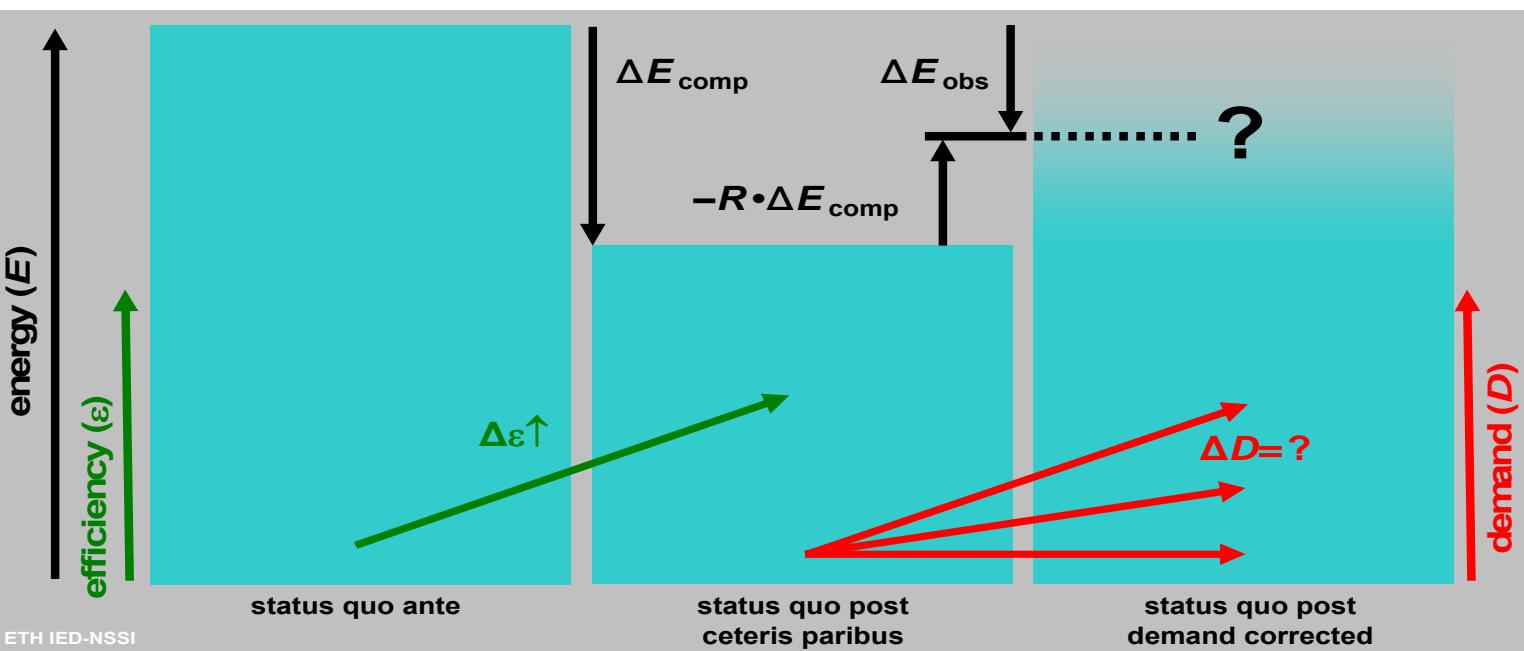
Dickinson J., de Haan P., 2009. Analysis of potential direct rebound effects associated with hybrid Lexus RX400h. Rebound Research Report Nr. 5. ETH Zurich, IED-NSSI, report EMDM1472, 40 pages, download: www.nssi.ethz.ch/res/emdm

Identification, quantification, and containment of energy-efficiency induced rebound effects: A research agenda

Rebound Research Report 1

Zurich, 30 Oct 2008

PdH



Preferred citation style:

de Haan, P., 2008. Identification, quantification, and containment of energy-efficiency induced rebound effects: A research agenda. Rebound Research Report Nr. 1. ETH Zurich, IED-NSSI, report EMDM1521, 26 pages. Download: www.nssi.ethz.ch/res/emdm/

© 2008 ETH Zurich, IED-NSSI, Switzerland.
All rights reserved.

For further information please contact:

ETH Zurich, Dept. of Environmental Sciences
Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
Universitaetstrasse 22, CHN J73.2
8092 Zurich
Switzerland

Tel. +41-44-632 58 92 (secretariat)
Fax. +41-44-632 29 10
www.nssi.ethz.ch/res/emdm/

Author contact:

Peter de Haan
dehaan@env.ethz.ch
www.nssi.ethz.ch/people/staff/pdehaan
+41-44-632 49 78

Table of contents

Abstract.....	5	
1	Introduction.....	7
1.1	Introduction.....	7
1.2	Definition.....	8
1.3	Notation.....	9
1.4	Illustrative example.....	10
1.5	Recommendations from UK ERC.....	11
1.6	Cornerstones for research on rebound effects at IED-NSSI.....	12
2	Identification, quantification, and containment of rebound effects in energy policy.....	13
2.1	Three causal mechanisms for rebound effects, with specific examples and conclusions	13
2.2	Resulting rationale for research	16
3	Integration of Rebound Effects into Life-Cycle Assessment.....	17
3.1	Using LCA for assessment of new technologies.....	17
3.2	Past and future of LCA	17
3.3	On attributional vs. consequential LCA.....	18
3.4	Resulting rationale for research	19
4	Rebound effects associated with hybrid vehicles	21
4.1	Previous work.....	21
4.2	Resulting rationale for research	21
5	References	23

Abstract

The introduction of more efficient products or services is often accompanied by rebound effects, which counteract the positive effect of increased efficiency. For example, newly built highways as well as improved train services lead to higher transportation demand. The definition, identification and quantification of rebound effects (also called take-back effect or backfire) are areas of ongoing research. If a product or service becomes more efficient (regarding energy use or the use of some other resource, like time or space), this increased efficiency itself might give rise to increased demand. Generally, induced rebound effects appear in three different manifestations: Increased demand for the same service as it has become cheaper (direct rebound effect), increased demand for other services as money (i.e., purchasing power) has become available (indirect rebound effect; also called secondary rebound effect or income effect), and structural effects on larger parts of the economy due to changed demand, production and distribution patterns (macro-scale rebound effect; also called economy-wide rebound effect). In parallel to these manifestations, which account for the type of good the additional demand is for, also we differentiate three different causal mechanisms for the different ways how rebound effects might become induced (economic, socio-psychological, and regulatory rebound effects). The occurrence of rebound effects can drastically reduce the environmental efficiency of new technologies. This report lines out the current state of science and existing scientific niches, and proceeds by formulating research questions to be addressed by future rebound research at IED-NSSI. These research questions concentrate on three areas. First, understanding, quantifying and containing rebound effects associated with governmental policies. Second, tools for and recommendations regarding the integration of rebound effects into LCA. At present in most LCA studies the *ceteris paribus* assumption is adopted, which might to overly optimistic results, as new products are likely to change demand. In principle at least direct rebound effects should be introduced into LCA studies. Third, investigation of rebound effects associated with the purchase of hybrid vehicles, in particular mileage rebound.

Keywords

Rebound effects, take-back effect, income rebound, energy-efficiency, households, consumer behavior, energy policy, LCA, hybrid vehicles

1 Introduction

1.1 Introduction

Whether new products and technologies will successfully penetrate the market, is in principle ruled by the market economy. Governmental interventions are not necessary in principle. However, in cases where the product or technology in question is associated with relevant external costs, and where a new product or technology has the potential to lower these externalities, the question arises whether a governmental subsidy or other market intervention can be justified, i.e. whether it would be both effective and efficient. In fact, for many innovations in the field of environmental protection, greenhouse gas emissions and non-renewable resources, the presence of important externalities regularly invokes calls for governmental promotion.

In many cases, life-cycle inventory (LCI) and life-cycle assessment (LCA) methodologies are applied in order to compare two alternative technologies, with the final goal to answer the question whether a governmental market intervention in favor of one of those technologies would be beneficial. Both LCI and LCA analyses call for the definition of a so-called “functional unit”, which often is chosen in the form of the product or service at stake, i.e. “energy per heated square meter” or “energy pro vehicle kilometer”. With the choice of such a functional unit, an implicit “ceteris paribus” assumption comes along, i.e. it is assumed that demand for the technology or service in question will remain unaffected by the change in energy-efficiency.

This assumption seems not to hold true in all cases. For example, for the retrofitting of space heating in Austrian multi-family dwellings, a rebound effect of 30% has been reported. This means that only 70% of the ex-ante estimation of energy savings actually was observable ex-post (Figure 1). Apparently, the higher energy-efficiency of the service “space heating” induces a higher demand; possible explanations are higher nocturnal and daytime temperatures, non-activation of temperature reduction during vacational leaves, and changes in the socio-demographic structure of inhabitants due to increased monthly rent fees after retrofitting.

Building number	Initial energy consumption (kWh/m ² yr)	Calculated energy consumption after retrofit (kWh/m ² yr)	Actual energy consumption after retrofit (kWh/m ² yr)	Calculated savings (%)	Actual savings (%)	Rebound Share (%)
1	203	144	168	29	17	41
2	218	161	176	26	19	27
3	185	132	147	29	20	29
4	218	167	198	24	9	61
5	193	127	150	34	23	34
6	169	108	122	36	28	22
7	168	116	115	31	31	0
8	148	91	97	39	35	11
9	239	140	172	41	28	32
10	179	134	144	25	20	23
11	159	117	141	26	11	57
Average	189	129	148	32	22	30

Figure 1. Results of an empirical investigation of the energy conservation effect of building and heating system retrofit (multi-family dwellings only) (reproduced from Haas and Biermayr 2000).

In the case of energy-efficient cars, one might also hypothesize that higher fuel economy might induce higher demand for vehicle kilometers. In contrast to the well-known elasticities which describe demand changes due to changes in price level, rebound research deals with demand changes (actually, energy demand changes) due to changes in energy-efficiency (or, in the case of rebound in time, time efficiency).

1.2 Definition

The introduction of more efficient products is often accompanied by rebound effects, which counteract the positive effect of increased efficiency. The rebound effect is a concept developed in energy economics. In the policy debate, the general notion of the rebound effect is that a technical or policy measure produces secondary effects which at least in part off-set the initial, positive effect of the primary measure, so that the measure is less effective in achieving the primary policy goal. The definition, identification and quantification of rebound effects are areas of ongoing research (Greening et al. 2000; Grepperud and Rasmussen 2000). Its precise definition varies among researchers, but the common denominator is that if a product or service becomes more efficient (regarding energy use or the use of some other resource), it will also become cheaper, which might give rise to increased demand (in Section 2.1 we will introduce our differentiation of three different causal mechanisms that might induce rebound effects): The rebound effect is the behavioral response to cost reductions of energy services as a result of energy efficiency gains. The behavioral response, for economists, includes changes in purchasing behavior as a result of changes in market prices.

The rebound effect is also called take-back effect, backfire effect, or Khazzoom-Brookes effect (after the founding publications Khazzoom [1980] and Brookes [1978]). The term was first applied narrowly to the direct increase in demand for an energy service whose supply had increased as a result of improvements in technical energy efficiency (Khazzoom 1980). It has later been differentiated and expanded to include indirect and economy-wide effects. Greening et al. (2000) and Berkhout et al. (2000) distinguish three different categories of rebound effects (after de Haan et al. 2005 and Hertwich 2003):

- Direct rebound effects: increased demand for the same service/product. This includes the direct effect or pure price effect. This effect is comprised of the substitution effect (i.e. the increase of demand for an energy service which becomes cheaper as a result of the increase in energy efficiency, i.e. the rebound as originally defined by Khazzoom), and the income effect (i.e. the increase in available income as a result of the reduced price of the energy service, which leads to other, energy consuming purchases).
- Indirect (secondary) rebound effects: increased demand for other services as money (i.e., purchasing power) has become available. Also, technical energy efficiency improvements reduce the cost of energy services to industry, which leads to price reductions of goods and services and hence increased demand. This has also been termed the general equilibrium effect.
- Macro-scale rebound effects (also called economy-wide effects, transformational effects): Structural effects on larger parts of the economy due to changed demand, production and distribution patterns. This includes market-clearing price, quantity adjustments (especially in fuel markets), and changes in technology that have the potential to change consumers' preferences, alter social institutions, and rearrange the organization of production.

For example, if the energy efficiency of a car is increased by technological innovations, 100 km can be driven with less fuel and hence at a lower cost. This lower cost could have the consequence that people consume more car services (direct rebound effect), by (i) drive more often; (ii) driving longer trips; (iii) switching to larger cars, (iv) buying additional cars. The lower cost could also trigger recreational activities (indirect rebound effect), which in turn will lead to an adaptation of the over-all economic system (macro-scale effect).

Identification of occurrence, and, if present, quantification of rebound effects are generally not straightforward. Most empirical studies focus on the direct rebound effects, because the other effects are difficult to isolate. Most work has been done on the effects of the introduction of energy-saving technologies, e.g., space heating (Haas and Biermayr 2000). Greening et al. (2000) present a survey of studies in the United States which indicates that the rebound effect is somewhere between 0 (for white goods) and 50% (for space cooling), but typically less than 30% (space heating,

lighting, automotive transport). Schipper and Grubb (2000) review studies covering 80–90% of energy use in OECD countries and find that the rebound is on the order of 5–15%. They also review the issue of economy-wide effects and find no evidence for substantial macro effects.

As Hertwich (2003) points out, indirect (secondary) effects imply that energy efficiency leads to growth, from the perspective of economic policy makers not an undesired result. Energy efficiency therefore could indeed substantially contribute to growth, and therefore increase the amount of goods and services consumed.

Rebound effects induced by costs savings were the first to be investigated and originate in economics, especially energy economics. In close analogy, also time savings (Jalas 2002; Spielmann et al. 2008) and the reduction of socio-psychological costs of ownership (as postulated in de Haan et al. 2006b) might be regarded as possible drivers for rebound effects. As example for the latter, it may well be not the financial but the socio-psychological cost-of-ownership (due to neighborhood pressure, norms of a peer group, etc.) that prevents people from buying sport-utility vehicles (SUV) (de Haan et al. 2006b).

1.3 Notation

On the macroeconomic level, the rebound effect is defined based on the elasticity of total final energy demand with respect to changes in energy-efficiency (other meanings of the term rebound occur in medical sciences and in sports [basketball]). A commonly used synonym to rebound effect is *take-back* effect. Another term, backfire effect, is sometimes used for rebound effects exceeding 100% (see below).

In neoclassical approaches, one can express the output of an economy, in terms of its gross domestic product (GDP), through a generalized production function f , with the classical production factors as independent variables,

$$GDP = f(C, L, E, R) \quad (1)$$

where C denotes the invested capital stock, L the amount of labour, and E the amount of final (end) energy used. Examples for the use of other non-renewable resources, denoted as R are land occupation, metals, rare elements, spice metals, etc. In the case of energy, the distinction between E (secondary energy carriers) and R (primary energy carriers) sometimes proves difficult, but this is of no relevance to the rebound discussion.

The amount of secondary (final) energy, E_i , needed to produce a given product or service, denoted as “energy service” ES_i , can be computed as

$$ES_i = E_i \cdot \tau_{E_i} \quad (2)$$

where τ_{E_i} is the energy efficiency of the conversion of the secondary energy carrier to the „energy service“. The elasticity of E_i with respect to changes in τ_{E_i} then is (for the sake of simplicity, we now drop index i),

$$\eta_{\tau_E}^E = \frac{\Delta E/E_0}{\Delta \tau_E/\tau_{E_0}} = \frac{d \ln E}{d \ln \tau_E} \quad (3)$$

Here, the case $\eta_{\tau_E}^E = 0$ is called (perfect) inelasticity, and $\eta_{\tau_E}^E = -1$ is unit elasticity. In most cases, however, $-1 \leq \eta_{\tau_E}^E \leq 0$ applies. For tight system boundaries (i.e. without allowing for substitution effects with other services or products that potentially also are affected by changes in τ_E), the cases $\eta_{\tau_E}^E < -1$ and $\eta_{\tau_E}^E > 0$ can be regarded as impossible; but for broader system boundaries, they may in fact occur.

The rebound effect now can be defined as

$$R = 1 + \eta_{\tau_E}^E \quad (4)$$

In analogy to the above cases, the following distinctions can be made

$R = 0$: no rebound effect (observed energy savings equal ex-ante engineering estimation)

$0 < R < 1$: rebound effect present (energy savings > 0 , but smaller than theoretical savings)

$R = 1$: rebound effect 100% (despite higher energy-efficiency, no change in final energy demand).

Again, the two extreme cases hardly occur in real settings, but are allowed for by theory:

$R < 0$: negative rebound (energy savings exceed theoretical savings)

$R > 1$: rebound larger than 100% (despite higher efficiency, an increase in energy demand is observed)

The case $R > 1$ is often referred to as *back-fire effect*.

1.4 Illustrative example

In the following we illustrate energy-efficiency induced rebound effects with the example of dishwashers (Figure 2). Improved technology would yield significant energy savings under the assumption of unchanged demand, however the improved efficiency will give rise to substitution effects and income effects. In addition to these monetary rebound effects, also rebound effects due to reduced psychological costs could take place, if the higher energy-efficiency causes consumers to adapt their attitudes towards dishwashers. In the case of dishwashers, the significant improvements in efficiency over the last 15 years probably have led to an increase, rather than a decrease, of total energy demand for dishwashing machines, as these machines in the meanwhile have become an integrating part of almost any household kitchen.

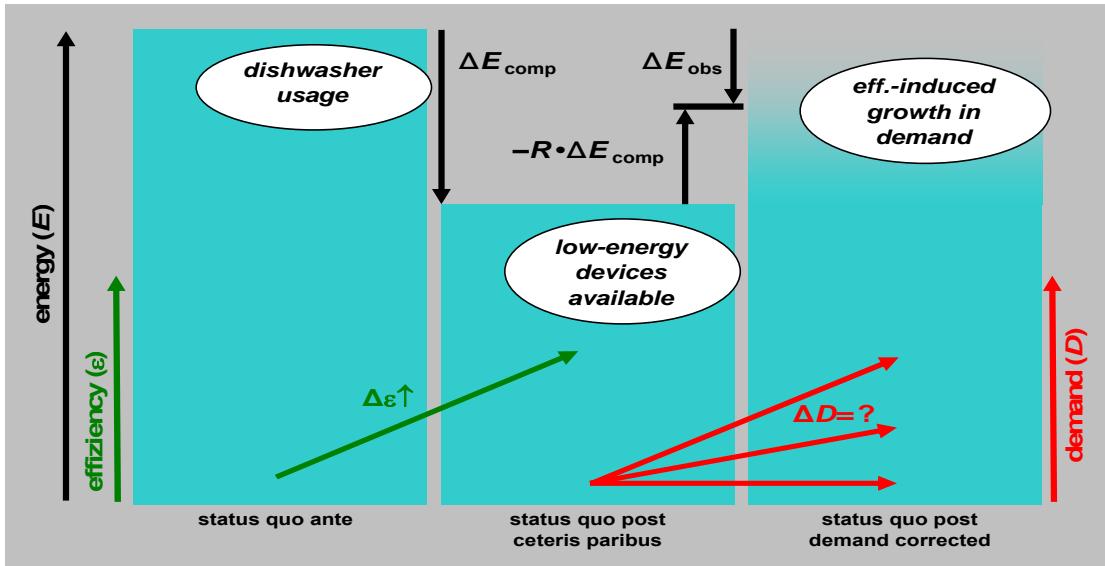


Figure 2. Illustrative example of energy-efficiency induced rebound effects. The introduction of a new technology or service with improved energy-efficiency, $\Delta\epsilon > 0$, will result in a new system state where total energy demand for the technology or service in question is reduced by ΔE_{comp} , assuming constant demand. (status quo post, with so-called *ceteris paribus* assumption). Depending on substitution effects (e.g. replacement of manual dishwashing) and income effects (lower energy costs generate additional purchasing power for e.g. inviting friends for dinner and, consequently, more dishwasher demand), an energy-efficiency induced demand change, $\Delta D > 0$, might take place. As a result, only an energy saving $\Delta E_{obs} < \Delta E_{comp}$ will be observable. The rebound effect in this case is $R = (\Delta E_{comp} - \Delta E_{obs}) / \Delta E_{comp}$.

1.5 Recommendations from UK ERC

Below we reproduce the overall conclusions of the Sorrel (2007) report, which we regard as the state of science and as general guideline for our future research.

1. The potential contribution of energy efficiency policies needs to be reappraised.

- Energy efficiency may be encouraged through policies that raise energy prices, such as carbon taxes, or through non-price policies such as building regulations. Both should continue to play an important role in energy and climate policy. However, many official and independent appraisals of such policies have undoubtedly overstated the contribution of non-price policies to reducing energy consumption and carbon emissions.
- It would be wrong to assume that, in the absence of evidence, rebound effects are so small that they can be disregarded. Under some circumstances (e.g. energy efficient technologies that significantly improve the productivity of energy intensive industries) economy-wide rebound effects may exceed 50% and could potentially increase energy consumption in the long-term. In other circumstances (e.g. energy efficiency

2. Rebound effects should be taken into account when developing and targeting energy efficiency policy

- Rebound effects vary widely between different technologies, sectors and income groups. While these differences cannot be quantified with much confidence, there should be scope for including estimated effects within policy appraisals and using these estimates to target policies more effectively. Where rebound effects are expected to be large, there may be a greater need for policies that increase energy prices.
- 'Win-win' opportunities that reduce capital and labour costs as well as energy costs may be associated with large rebound effects. Hence, the implications of encouraging these opportunities need to be clearly understood and quantified. It may make more sense to focus policy on 'dedicated' energy efficient technologies, leaving the realisation of wider benefits to the market

3. Rebound effects may be mitigated through carbon/energy pricing – whether implemented through taxation or an emissions trading scheme

- Carbon/energy pricing can reduce direct and indirect rebound effects by ensuring that the cost of energy services remains relatively constant while energy efficiency improves. Carbon/energy pricing needs to increase over time at a rate sufficient to accommodate both income growth and rebound effects, simply to prevent carbon emissions from increasing. It needs to increase more rapidly if emissions are to be reduced.
- Carbon/energy pricing may be insufficient on its own, since it will not overcome the numerous barriers to the innovation and diffusion of low carbon technologies and could have adverse impacts on income distribution and competitiveness. Similarly, policies to address market barriers may be insufficient, since rebound effects could offset much of the energy savings. A policy mix is required.

1.6 Cornerstones for research on rebound effects at IED-NSSI

At present, energy in the form of its various secondary carriers (electricity, natural gas, heating oil/diesel, gasoline, etc.) still has to be considered as relatively cheap (in mid 2008, as the price for a Brent quality barrel of oil surpassed the level of USD 100, in real prices the cost of oil was equivalent to oil prices during the 2nd oil crisis in 1983). Increases in price levels for energy will lead to some decrease in demand, but will also induce that consumers become more aware of energy costs and will lead to a higher importance of energy costs in consumption decisions. Therefore, increases in energy prices will exhibit an increase of rebound effects. Research on rebound effects is therefore expected to increase in importance over the next, say, 5 years.

The energy-efficiency and technology diffusion group at ETH Zurich's Institute for Environmental Decisions, Natural and Social Science Interface chair, therefore started a research focus on the identification, quantification and containment of energy-efficiency induced rebound effects. Research has already been done on time rebound (Spielmann et al. 2008) and on the vehicle ownership rebound for hybrid vehicle buyers (de Haan et al. 2006a, 2007). The following overarching research questions will be common to most activities within this line of research:

- > Which system boundaries are adequate;
- > How can rebound effects empirically be measured or their magnitude be estimated by other methods;
- > In which cases should rebound effects be taken into account;
- > How to do so.

However it is clear already today, that rebound effects will not become as common to "daily science" as e.g. LCA itself has become. Rebound effects will always suffer from disputable and partly deliberate system boundaries and will never be able to be fully separated from other effects (wealth increase, changes in use of energy services and technologies, etc.). But it should be possible to establish some basic rules in order to identify those cases where rebound effects are likely to be of importance and be dominant to the overall result. In most if not all concrete policy cases, it should be able to adopt a policy design that contains and minimizes the magnitude of possible rebound effects. This is closely related to the question in which cases energy policies should primarily target (relative) energy efficiency (promotion of energy efficient technologies), and in which cases the internalization of external costs of (fossil) energy use, i.e. CO₂ and energy taxes, are to be preferred. It is the aim of our research to formulate conclusions and guidelines for energy policies with regard to the containment of rebound effects. In the field of the further development of LCA methodologies, it is the aim to give guidance with respect to the identification of case studies where the *ceteris paribus* assumption does not hold and rebound effects have to be accounted for in the case of technology assessment.

In the following sections, we line out our research foci, on the containment of rebound effects in energy policy, partly funded by the Swiss Federal Office for Energy (Section 2), on the integration of rebound effects into life-cycle assessment, partly funded by the Swiss National Science Foundation (Section 3), and on rebound effects associated with hybrid vehicle ownership, performed in collaboration with the Swiss importers of hybrid vehicles Honda automobiles (Suisse) SA, Toyota, and the Lexus Division of Toyota (Section 4).

2 Identification, quantification, and containment of rebound effects in energy policy

2.1 Three causal mechanisms for rebound effects, with specific examples and conclusions

The macroeconomic definition of the rebound effect, as given in Chapter 1, is based on the elasticity of final energy demand with respect to changes in energy-efficiency. This is a purely descriptive metric that does not allow for causal interpretations. The macroeconomic definition also does not allow separating the total rebound effect into direct, indirect, and economy-wide macro rebound effects. For this, one has to switch to the microeconomic level. In this section, we therefore differentiate three possible causal mechanisms that can give rise to rebound effects. Moving towards causality also means distinguishing between drivers for human behavior. Price signals are one of those drivers, but there are others. In the following, we will discuss monetary, socio-psychological, and institutional drivers separately. We differentiate between three possible causal mechanisms for energy-efficiency induced rebound effects:

> Economic (monetary) rebound: The higher demand is caused by price signals, i.e. by the sum of substitution effects and income rebound. This is the classical causal driver for rebound effects mostly dealt with in literature and in empirical microeconomic field studies to identify and quantify rebound effects. However, this causal mechanism requires that in fact money is saved and the increase in energy-efficiency does lead to saved energy costs, corrected for higher investment costs. Normally, more efficient technologies or services have lower operating costs, but higher investment costs (were that not the case, a classical win-win situation would be present). In rebound research it is important to account for the higher investment costs. It has to be kept in mind that in purchase decisions individual consumers often do not correctly compute total costs of ownership. Individuals use to high discount rates and weight the present (investment costs) too high in comparison to the future (running energy costs). The other side of the mirror, however, which may occur especially within the context of human decisions specifically aiming at reducing energy costs, is that any change in investment costs is simply ignored and considered as not relevant to the environmental decision the individual is about to make ("that is another matter"). This can in part be described by the psychological effect called mental accounting, and by the characteristics of human decision making under uncertainty; the Prospect Theory of Kahneman and Tversky unifies these effects among others. If an income rebound effect does occur only due to wrong discount rates or due to mental accounting (i.e., the consumer thinks he is net saving costs, and therefore starts spending more, but in fact he ignored the higher investment and is not net saving anything at all), for us this is not an economic rebound, but a socio-psychological rebound effect instead.

As introduced above, the rebound effect is defined as a function of (final) energy demand elasticity with regard to changes in energy efficiency. This is a purely descriptive measure that can in principle be determined empirically; this definition does not differentiate for different possible causes. Whereas it is generally implied that there should be a price signal (induced by increase energy efficiency) in order for the demand response to come into existence, it might well be that innovative technologies have higher energy efficiency and hence lower energy bills, but need higher investments and have identical cost of ownership, such that for the rational consumer there is no net price signal induced by the new technology. If the consumer would, however, undervalue investment costs, i.e. have different preference weights for investment money than for energy bill money, he or she might perceive a price signal (towards the innovative technology) all the same. If, on the other hand, a consumer applies too high discount rates and values the

present much higher than the future, he or she might overvalue the additional investments and also perceive a price signal (towards conventional technology). It should be noted that the definition of the rebound effect for itself does not state that a price signal should be present, it merely builds upon changes in energy demand due to changes in energy efficiency. Price changes are the most investigated, widely accepted intermediate variable here, but other mechanisms could be present for so-called “bounded rational” decision makers and for so-called “imperfect markets”. In our research we therefore distinguish three different possible causal mechanisms that are suited to induce rebound effects:

- (i) *Income rebound* (“economic rebound”, “rebound induced by rational price signal”): The increased demand for the energy service that has become more energy-efficient is due to economic reasoning only. This causal chain applies if the higher investment costs for the energy service with the better energy-efficiency do not fully compensate financial savings due to lower energy bills (and any tax cuts, incentives, etc.).
- (ii) *Socio-psychological rebound*. The increased demand is due to reduced socio-psychological costs of ownership or usage for the energy service with the better energy efficiency. This effect will be present in most cases where the above-mentioned income rebound occurs, as consumers hardly ever exhibit fully rational decision making and often do not have precise knowledge about energy prices, pay-back periods, etc. Consumer decision making with regard to energy-intensive services is characterized by rules-of-thumb, heuristic decision approaches, and only rough, if at all, knowledge on total energy costs.
- (iii) *Regulatory rebound*. The increased demand is induced by certain regulatory details; the regulatory rebound does not comprise of all rebound effects due to governmental action, but only due to technical definitions that often have been formulated „in favor of“ new, energy-efficient technologies, therefore providing them with competitive advantages, which induce additional demand.

Examples are

- (i) Income rebound examples:
 - Ex. 1: Increased demand for lighting services due to energy-efficient fluorescent bulbs (either more bulbs being installed, or more lumen being installed, or extended operation time).
 - Ex. 2: Reduced investment in isolation of buildings due to more efficient heating, for example heat pumps that allow for reduction isolation thickness or increased total glass surface compared to the case when a conventional heating system would have been chosen.
- (ii) Socio-psychological rebound examples:
 - Ex. 3: Purchase of sport-utility vehicles (SUV) with hybrid powertrain in neighborhoods or social networks where the possession of an SUV with conventional powertrain would be sanctioned.
- (iii) Regulatory rebound examples:
 - Ex. 4: In „Minergie“ certified buildings more heating power can be installed if a heat pump solution is chosen, because the electrical power needed for heat pump operation is balanced with a factor of 2 only, where a factor of 3 would have been correct out thermodynamical reasoning;
 - Ex. 5: As the energy label for whiteware is relative, i.e. the size of e.g. a refrigerator is accounted for when computing the energy-efficiency, such that a larger refrigerator will receive a better energy-efficiency rating if it uses the same amount of power compared to another, smaller refrigerator, consumers might purchase larger appliances as they try to purchase energy-efficiency class “A” whiteware only.
 - Ex. 6: Incentives, tax cuts and subsidies for electrical bikes might well not reduce the total mileage of conventional motor bikes, but in of bicycles instead. And subsidies or other policies promoting small, electrical cars might well be faced with the effect that they are reducing the share of bicycles, but not of conventional passenger cars.

With regard to the potential to arrive at recommendations for energy policy, the following conclusions for the three causal effects of rebound effects can be formulated:

- (i) The *income rebound*, based on the homo oeconomicus concept, cannot be avoided, as it is part of rational behavior of actors in a market economy thriving for optimal allocation of all production factors. However, the income rebound effect should be integrated into any ex-ante policy analysis and the forecasting of

effects of future policies. Main “entry point” is the analysis of substitution rates between production factors, i.e. whether capital or labor can be substituted by energy services if the latter become more efficient. Main question to be answered is in which cases energy policy should focus on energy and/or CO₂ taxes, and in which cases energy policy should concentrate on promoting market penetration of innovative, energy-efficient technologies.

- (ii) The *socio-psychological rebound* also cannot be expected to be avoidable in total, but it is possible in principle to become reduced by means of improved information, transparency, education, changes to the design of incentive schemes, etc. All of these measures might be used to change the decision making behavior of bounded rational individuals towards the „*homo oeconomicus*“ concept. Main points of departure are that consumers weigh prices differently according to the periodicity and payment method (daily out-of-the-pocket expenses, like gasoline costs, are weighed more than the annual car tax bill), according to the level of perceived control (car repair costs due to accidents are perceived as out of control and mostly not part of any „*mass transit vs. own car*“ cost comparison), and according to the transaction partner (being eligible for tax rebates might induce larger behavioral changes than direct rebates on the product price). All of these “*psychology of the perception of money*” effects might induce rebound effects due to perceived price signals, even though a price signal in fact is not present when performing proper financial computations including all cost components and applying realistic discount rates for future payments.
- (iii) The *regulatory rebound*, finally, being defined as residual rebound effect that cannot be attributed to either income rebound or socio-psychological rebound, in principle can be reduced in magnitude, and it will be the main target of policy optimization measures to do so. Of course not all rebound effects induced by governmental action are classified as regulatory rebound; rather governmental action can induce income rebound effects, socio-psychological rebound effects as well as regulatory rebound effects. With careful policy design and precise definition of criteria for tax cuts and subsidies the regulatory rebound can be minimized. The government can either introduce taxes on energy (or other resources) or on labor, or it can subsidize certain technologies or set minimal standards for others. In the case of taxes, regulatory rebounds may emerge if increases in demand occur for products for which efficiency standards have been introduced. However in most cases the other two types of rebound causes are expected to be dominant. In the case of subsidies for energy-efficient new technologies, regulatory rebound effects might emerge because for every subsidy and standard, technical definitions, minimal targets, and conversion factors have to be set. Such definitions are almost never optimal; there might be a general tendency from the side of policy makers to set such values “*in favor of*” the new technologies to be promoted. This will then inevitably lead to demand increases that are to be identified as regulatory rebound effects.

Table 1 shows the application of the above categories of different causal mechanisms: The causal mechanisms are complementary to, and not alternative to, the commonly applied differentiation of rebound effects into different goods or services for which the increased demand has occurred.

types of increased demand ↓		causal mechanisms for rebound →	economic rebound	socio-psychological rebound	regulatory rebound
Saunders 2000	Sorrel 2007	→	\$	Ψ	\S
direct rebound	direct rebound (income/output eff.)		increased demand for the same good or service (Saunders 2000) income/output effects (Sorrel 2007)		
indirect rebound	direct rebound (substitution eff.)		increased demand for other goods/services (Saunders 2000) substitution effect (Sorrel 2007)		
macro-level rebound	indirect rebound		adaptation of production system to new demand patterns (Saunders 2000) secondary and grey energy effects (Sorrel 2007)		
<p><i>Holds for resource rebound effects in general, in special for energy rebound (increased demand due to increased energy-efficiency) and time rebound (increased demand due to increased time-efficiency)</i></p>					

Table 1. Differentiation of total observable rebound effect according to different types of increased demand, both in the Saunders (2000) and Sorrel (2007) categorizations, and according to different causal mechanisms.

2.2 Resulting rationale for research

We identify and focus on the following research questions:

- > Under which circumstances is it advisable for the government to subsidize or otherwise promote a given energy-efficient new technology or service (and, if advisable, by which means and policy tools)?
- > For which circumstances is there a risk that governmental interventions will be associated with adverse effects due to high rebound potential?
- > Which preferences do households have, and to which restrictions do they feel subjected, and which state of knowledge regarding relevant energy costs and consequences of behavioral options do they have? Do household members apply intersectorial compensation strategies?
- > Basis to address the above questions is the investigation of the question, how households adjust their consumption patterns after experiencing savings in energy costs of, say, CHF 1000 to 2000 annually.

3 Integration of Rebound Effects into Life-Cycle Assessment

3.1 Using LCA for assessment of new technologies

Life-Cycle Assessment (LCA) over the last three decades has become widely accepted and today is the method-of-choice for the assessment of the ecological consequences of human activity. Environmental impacts caused by products or services can be made more comparable to each other with the help of LCA. Also, the introduction of new technologies is often assessed using LCA. In the field of transportation, for example, the environmental benefits and consequences of new fuels, new powertrains, and completely new transport systems have in the past and at present been assessed using LCA. The introduction of more efficient products or services is often accompanied by rebound effects, which counteract the positive effect of increased efficiency. For example, newly built highways as well as improved train services lead to higher transportation demand. The definition, identification and quantification of rebound effects (also called take-back effect or backfire) are areas of ongoing research. If a product or service becomes more efficient (regarding energy use or the use of some other resource, like time or space), it will also become cheaper, which might give rise to increased demand. Generally, three different rebound effects might be induced: increased demand for the same service as it has become cheaper (direct rebound effect), increased demand for other services as money (i.e., purchasing power) has become available (indirect rebound effect; also called secondary rebound effect), and structural effects on larger parts of the economy due to changed demand, production and distribution patterns (macro-scale rebound effect; also called economy-wide rebound effect). The occurrence of rebound effects can drastically reduce the environmental efficiency of new technologies. In principle, therefore, at least direct rebound effects should be introduced into LCA studies. However, at present in almost all cases the *ceteris paribus* assumption is adopted: It is assumed that apart from the new technology or service, everything else, including the demand side, will not change.

3.2 Past and future of LCA

Life cycle approaches for the assessment of environmental impacts of goods and services have their origin in technology assessment. In the past three decades, the science of Life-Cycle Assessment (LCA) methodology and procedure has grown and developed significantly, and has undergone a shift from single facility focus to a view of product supply chains. Various methodological problems in LCA have been dealt with (Ekvall 2002): For example, the definition of system boundaries, allocation, the modeling of waste management processes, weighting methods, data quality and uncertainty, and methods for assessing land use in the context of LCA.

Parallel to the scientific development, and often integrated into it, many initiatives have been taken to harmonize LCA methodology. These finally resulted in harmonization efforts on a global level within the international organization of standardization (ISO), leading to a series of international standards for LCA: ISO 14040–14043, which was a milestone for LCA practice. This built consensus on methodology, approaches and procedures is rather unique for an environmental assessment method. However, the standard regulates far from every methodological choice in an LCA. In fact, it allows for producing virtually any LCA result. This common basis for the application of LCA has the potential to be quite polyvalent. Indeed it can be a valid tool for integrating product-related decision making, and for gaining insight into

environmental hot spots, opportunities, and trade-offs. And since the LCA methodology develops rapidly, the standard becomes outdated fairly quickly.

As state-of-the art develops, guidelines and standards need to be adjusted. After Ekvall (2002), interesting developments since the mid 1990s include methods for geographically dependent impact assessment: The effect of a pollutant often depends strongly on where, when, and how it is emitted. This is typically not taken into account in a life-cycle impact assessment. However, approaches that take geographical aspects into account have been presented for the assessment of, e.g., acidification and ecotoxicological effects.

Another interesting development is the distinction between two types of LCA: attributional and consequential LCA. An attributional LCA aims at describing the environmental properties of a life-cycle and its subsystems. A consequential LCA aims at describing the effects of changes within the life-cycle.

3.3 On attributional vs. consequential LCA

The distinction between two different types of LCA, attributional LCA and consequential LCA, each with a different aim or application area, substantially reduces some of the persistent methodological problems in the life-cycle inventory analysis (LCI). These include the definition of system boundaries, allocation problems, and the choice between average and marginal data:

- > Attributional LCA aims at describing the environmental properties of a life cycle and its subsystems;
- > Consequential LCA aims at describing the effects of changes within the life cycle. This makes consequential LCA the more likely candidate to investigate rebound effects.

In the following we rely on the reasoning of Ekvall (2002), who in an editorial drafted the future research needs within LCA. Certain decision-makers can be more interested in knowledge on environmental properties of systems (generated by attributional LCA) than in knowledge on the effects of changes within the life cycle (generated by consequential LCA). Of course, decision-makers need to be informed about the consequences of decisions. This constitutes a strong argument in favor of consequential LCA. There are, however, limitations to consequential LCA regarding accuracy (Ekvall 2002): The effects of changes depend on economic mechanisms, that consequential LCAs only begin to model. Models of such mechanisms might alleviate this problem: Partial equilibrium models can improve the knowledge of what product flows are affected by a change (Bouman et al. 2000). General equilibrium models can give insights on rebound effects (Ibenholt 2002). These make up the most prominent options currently existing for improvements in the methodology of consequential LCA, if the aim is to generate as complete and accurate description of consequences as possible.

To accurately model the effects of an increased demand for a product in the life-cycle investigated, it is necessary to account for effects on the market of this product. These effects depend on how sensitive the supply and demand are to changes in the price of the product. They also depend on how easily the product can be substituted for other products, and on what products are likely to be the substitutes. Such aspects are included in economic partial equilibrium models. Hence, a solution might be to integrate partial equilibrium models into the life-cycle inventory analysis (LCI). Bouman et al. (2000) state that different types of models generate different and complementary types of information.

Consequential LCA only begins to model such mechanisms. To describe more aspects of these consequences, like rebound effects, it is necessary to integrate more of economic theory into the LCI. In this process, LCA researchers can probably learn from energy systems modeling. The experience from integrating knowledge on technology and economic theory is extensive in this area.

Dynamic optimizing models is one of the tools that integrate knowledge on technology and economy in energy systems modeling. Following Ekvall (2002), such models can be relevant for effect-oriented cleaner production tools. In particular, they can be used for generating information on marginal effects in dynamic production systems. In theory, at least, this information is more accurate than the information generated through static models. Rebound effects can occur, for example, when a cost-efficient change is made to make the use of resources more efficient. The savings in costs makes it possible to increase the total economic activity. Such an increase results in a demand for the resource that — partly or

completely — offsets the savings obtained through the original change. The increased economic activity is, of course, also likely to increase the demand for other resources. Current LCAs are far from modeling these effects, but valuable insights can be generated through a general equilibrium model. This is a macroeconomic model of a complete economy based on the assumption that all markets that make up the economy either are in or tend towards a state where the supply of each product equals the demand for that product.

Hence a possible way to model rebound and similar effects in an LCA seems to be to link the process tree of the LCA to a general equilibrium model. The process tree is a bottom-up model in the sense that it starts from unit processes. Macroeconomic models are top-down models because they start from the perspective of the total economy (Ibenholt 2002). The pros and cons of bottom-up and top-down models have been debated in the field of energy economics (Wene 1996). To overcome some of the weaknesses and utilize the advantages of both approaches, attempts have been made to link the two (Hoffmann et al. 1996, Wene 1996).

3.4 Resulting rationale for research

Our rationale arises from the identification of LCA research needs as laid down by Ekvall (2002), and a more specific proposal by Hertwich (2003), that the rebound effect in connection with sustainable consumption is defined as the secondary behavioral response to a primary sustainable consumption measure. What is of interest to sustainable consumption research is how to address the rebound effect, and the benefits we can expect from this.

- How do consumers change their behavior in other areas as a result of adapting one example of sustainable consumption? One hypothesis is that of a spill-over effect. When people accept the concept of consuming responsible for one item, they are more likely to accept this also for other items. Another hypothesis is a conscience-soothing effect. People may commute to work on public transport, but in compensation they feel entitled to fly to far-away vacation spots.
- What is the measurable impact of a sustainable consumption measure from a life-cycle perspective? How can it be assessed? The life-cycle assessment of a single measure, comparing e.g. conventional and fair-trade coffee, could not capture this effect. The assessment of the entire household budget, as it has been pioneered in energy analysis, however, can "take care" of the rebound effect.

We propose a new research approach which combines the assessment of direct and indirect environmental pressures using a combination of (hybrid) LCA, general equilibrium modeling, and consumer expenditure surveys with a case study method for comparing examples of sustainable consumption with conventional consumer behavior.

The area of environmental systems modeling can learn from the experience of energy systems modeling. There are two fundamentally different approaches to linking models (after Ekvall 2002): Softlinking means that the results from one model are manually fed into the other. A number of iterations can be performed where both models are manually tuned to be consistent with each other. Hardlinking means that the models are integrated to become, in essence, a single computer model. According to Wene (1996), softlinking is the most practical starting point. Keeping the two models separate increases transparency, and the iterations in the softlinking procedure contributes to the learning process. This means that more can be learned from softlinking. Hardlinking, on the other hand, makes it possible to produce more results since the automatic calculations are quicker. For this reason, Wene argues, hardlinking is the preferred end result. Hardlinking also produces a unique and completely consistent solution whereas the iterations of softlinking depend on subjective choices and may result in solutions that are not fully consistent.

The goals of the present project proposal therefore are to develop a methodology to test for the presence of direct and indirect rebound effects, and then to develop a guideline in which types of LCA (which type of case study, size of system boundary, etc.) which levels of rebounds effects (direct, indirect, macro-scale) should be incorporated. We then want to adopt and illustrate the proposed method and guideline for two case studies: We will test for, and, if present, quantify direct and indirect rebound effects, and apply a full LCA for both, rebound effects in public transport (e.g. effect of better train services on the demand), and for rebound effects in individual motoring (e.g. effect of high fuel-efficiency on car demand and usage). Two surveys will be conducted; first a survey of 1000 Swiss households on the effect of faster and

3. Integration of Rebound Effects into Life-Cycle Assessment

better train services, for which we will target train users before and after the improvement of train services with the new train time table as of mid-December 2006 in Switzerland; second, a survey of again 1000 Swiss households that recently bought a new, highly fuel-efficient passenger car, on the effect of the availability of highly fuel-efficient cars on the demand for car services: (a) number of trips; (b) length of trips; (c) car used for trip; (d) number of cars owned.

As more aspects of reality are included in a model, the model becomes more complex. This tends to make it more difficult to understand why the model gives a specific result. Even when the model is formally transparent, i.e., when all input data and relationships are presented, it might not be transparent in practice. This has become a problem as LCAs grow more detailed. It is also a problem in complex energy systems models, and it can be expected to be a problem if additional tools based on economic theory are integrated into consequential LCA. As indicated by Wene (1996), the problem might be reduced if the different models are joined by softlinking. Another, complimentary strategy is to make the models less complex by excluding aspects of reality that are not crucial to the question at hand.

With our methodology to be developed, for the first time, product LCAs will no longer be restricted to the assessment of environmental impact per unit function served (e.g. 1 person kilometre driven) but include expected rebound effects in an adequate way.

4 Rebound effects associated with hybrid vehicles

4.1 Previous work

Hybrid powertrains are considered being a promising technology to decrease fuel consumption of passenger cars. Sales numbers of hybrid cars are expected to rise considerable until 2010. However, the introduction of more efficient products is often accompanied by rebound effects, which counteract the positive effect of increased efficiency. Three kinds of direct rebound effects could possibly occur when buying hybrid cars: (i) people could tend to switch from small and/or already fuel-efficient cars to the new hybrid car, (ii) the average vehicle ownership could increase, if the hybrid car is often purchased without disposing of an already owned vehicle, and (iii) the number of miles driven could increase. Previous studies (de Haan et al., 2007, 2006b, 2006a) have determined that rebound effects accompanying hybrid car purchases in the Swiss population occur neither for vehicle size nor for vehicle ownership.

4.2 Resulting rationale for research

The principal aim of future research is to gain insight into the previously unexamined rebound effect: The amount of kilometers driven. This will further establish whether hybrid vehicles such as the Lexus RX400h should rightly be considered a technology effective in lowering overall CO₂ emissions in the population investigated. In addition, various energy policy measures across European countries aimed at promoting hybrid sales shall be compared and discussed in reference to the results of the principle aim of this study, whether hybrid cars show a vehicle kilometer rebound in the Swiss population.

The data to be used for this assignment originates from a follow-up survey sent to Swiss owners of the hybrid Lexus RX400h and owners of the similar non-hybrid RX300 which serve as the control group. The original more elaborate survey was sent to the same people 12 months earlier. The cornerstone of this second survey consists of the participants' odometer readings of all cars owned as it allows direct computation of vehicle kilometers driven in the time between the two surveys and comparison between groups.

Various statistical tests shall be conducted upon these data in order to determine whether the purchase of such a hybrid vehicle leads to an increase in kilometers driven, compared to the control group. Additional data from the follow-up survey shall be evaluated also, such as the amount of cars disposed of or purchased in addition to the Lexus car, and put into comparison with the data from the first survey.

4. Rebound effects associated with hybrid vehicles

5 References

- Berkhout, P.H.G., Muskens, J.C., Velthuijsen, J.W., 2000. Defining the rebound effect. *Energy Policy*, 28, pp. 425–432.
- Binswanger, M., 2001. Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? *Ecological Economics*, 36, pp. 119–132.
- Binswanger, M., 2004: Time-saving innovations and their impact on energy use: some lessons from a household-production-function approach. *Int. J. Energy Technology and Policy*, 2, 2099–218.
- Birol, F., Keppler, J.H., 2000. Prices, technology development and the rebound effect. *Energy Policy*, 28, pp. 457–469.
- Bouman, M., Heijungs, R., van der Voet, E., van den Bergh, J.C.J.M., Huppes, G., 2000. Material flows and economic models: an analytical comparison of SFA, LCA and partial equilibrium models. *Ecological Economics*, 32, 195–216.
- Brookes, L. G., 1978. Energy policy, the energy price fallacy and the role of nuclear energy in the UK. *Energy Policy*, 6, Nr. 2, 94–106.
- Brookes, L., 2000. Energy efficiency fallacies revisited. *Energy Policy*, 28, 355–366.
- BUWAL, 2001. Viele Wege führen in die Klimafalle. In: *Magazin UMWELT 1/01*, p. 14+15; Herausg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
- de Haan P., Peters A., Scholz R.W., 2007. Reducing energy consumption in road transport through hybrid vehicles: Investigation of rebound effects, and possible effects of tax rebates. *Journal of Cleaner Production*, 15, 1076–1084.
- de Haan P., Mueller M. G., Peters A., 2006a. Does the hybrid Toyota Prius lead to rebound effects? Analysis of size and number of cars previously owned by Swiss Prius buyers. *Ecological Economics*, 58, 592–605.
- de Haan P., Peters A., Mueller M.G., 2006b. Comparison of Buyers of Hybrid and Conventional Internal Combustion Engine Automobiles: Characteristics, Preferences, and Previously Owned Vehicles. *Transportation Research Records*, 1983, 106–113.
- Ekvall, T., 2002. Cleaner production tools: LCA and beyond. *Journal of Cleaner Production*, 10, 403–406.
- Frischknecht R. P. Kolm, 1995. Modellansatz und Algorithmus zur Berechnung von Ökobilanzen im Rahmen der Datenbank ECOINVENT, in Schmidt M. and Achim Schorb, *Stoffstromanalysen in Ökobilanzen und Ökoaudits*, Springer Verlag Berlin/ Heidelberg, S. 79–95
- Frischknecht R., 1998. Life Cycle Inventory Analysis for Decision-Making; Scope-dependent System Models and Context-specific Joint Product Allocation, ETH-Dissertation Nr. 12599, Zürich
- Frischknecht R., A. Braunschweig, P. Suter, P. Hofstetter, 2000. Human health damages due to ionising radiation in Life Cycle Impact Assessment, paper accepted for publication in *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 20, No.2, 2000
- Frischknecht R., R. Heijungs, P. Hofstetter, 1998. Einstein's lesson on energy accounting in LCA, in *Int. J. LCA* (3) No. 5, p. 266–272

5. References

- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hischier, R., Nemecek, T., Rebitzer, G., Spielmann, M. 2004: "The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework." In *Int J LCA* Vol. 10 (1).
- Greening, L.A., Greene, D.L., Difiglio, C., 2000. Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey. *Energy Policy*, 28, pp. 389–401.
- Grepperud, S., Rasmussen, I., 2004. A general equilibrium assessment of rebound effects. *Energy Economics*, Vol. 26, pp. 261–282.
- Haas, R., Biermayr, P., 2000. The rebound effect for space heating: Empirical evidence from Austria. *Energy Policy*, 28, 403–410.
- Heijungs R., R. Frischknecht, 1998. On the nature of the allocation problem, in *Int. J. LCA* (3) No. 6, p. 321-332
- Herring, H., 2006. Energy efficiency – a critical review. *Energy*, 31, 10–20.
- Hertwich, E.G., 2003. Consumption and the rebound effect: The consideration of information and communication technology. *Proceedings of the SETAC-ISIE Case Study Symposium*, Lausanne (CH), 3-4 Dec. 2003.
- Hertwich, E.G., 2005. Consumption and the rebound effect. An industrial ecology perspective. *Journal of Industrial Ecology*, 9, 85–98.
- Hoffmann, K.C., Jorgenson, D.W., 1974. *The Bell Journal of Economics*, 5, Nr. 2, 444. Referred to by Wene (1996)
- Hofstetter, P., Baumgartner, T., & Scholz, R. W. (2000). Modelling the valuesphere and the ecosphere: Integrating the decision makers' perspectives into LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 5(3), 161-175.
- Ibenholt, K., 2002. Materials flow analysis and economic modelling. In: Ayres RU, Ayres LW, editors. *Handbook of Industrial Ecology*. Cheltenham: Edward Elgar, 177–184.
- Jaccard, M., Bataille, C., 2000. Estimating future elasticities of substitution for the rebound debate. *Energy Policy*, 28, pp. 451–455.
- Jalas, M., 2002. A time use perspective on the materials intensity of consumption. *Ecological Economics*, 41, pp. 109–123.
- Käenzig, J., Jolliet, O., 2006. Umweltbewusster Konsum: Schlüsselentscheide, Akteure und Konsummodelle. *Umwelt-Wissen* Nr. 06/16. Bundesamt für Umwelt, Bern. 113 S.
- Khazzoom, D., 1986. An Econometric Model Integrating Conservation in the Estimation of the Residential Demand for Electricity, JAI Press, Greenwich CT.
- Khazzoom, D.J., 1980. Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances. *The Energy Journal*, 1, 21–40
- Laitner, J.A., 2000. Energy efficiency: rebounding to a sound analytical perspective. *Energy Policy*, 28, 471–475.
- MacLean, H. L., Lave, L. B., 2003. Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies. *Progress in Energy and Combustion Sciences*, Vol. 29, pp. 1–69.
- Mark, A.J. Huijbregts, , Rombouts, L.J.A., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hendriks, A.J., van de Meent, D., Ragas, A.M.J., Reijnders, L., Struijs, J. 2005 Is Cumulative Fossil Energy Demand a Useful Indicator for the Environmental Performance of Products?, submitted to the *Journal Environmental Science and Technology*
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W.-P., Suh, S., Weidema, B. P., Pennington, D. W. 2004: "Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications." In *Environment International* Vol. 30 (5): 701-720.
- Saunders, H.D., 1992. The Khazzoom–Brookes postulate and neoclassical growth. *The Energy Journal*, 13, 131–148.

- Saunders, H.D., 2000. A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom–Brookes. *Energy Policy*, 28, pp. 439–449.
- Schipper, L., Grubb, M., 2000. On the rebound? Feedback between energy intensities and energy uses in IEA countries. *Energy Policy*, 28, pp. 367–388.
- Schipper, L., Unander, F., Murtishaw, S., Ting, M., 2001. Indicators of energy use and carbon emissions: Explaining the Energy Economy Link. *Annual Review Energy Environ.*, 26, pp. 49–81.
- Sorrel S., 2007. The Rebound Effect - an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency: UKERC (UK Energy Research Centre).
- Spielmann M., de Haan P., Scholz R.W., 2008. Environmental Rebound Effects of High-Speed Transport Technologies: A case study of climate change rebound effects of a future underground maglev train system. *J. Cleaner Production*, Vol. 16, 1388–1398.
- Wene, C.O., 1996. Energy-Economy analysis: linking the macroeconomic and systems engineering approaches. *Energy*, 21, Nr. 9, 809–824.

ETH Zurich
Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
Universitaetstrasse 22
P.O. Box 32
8092 Zurich
SWITZERLAND

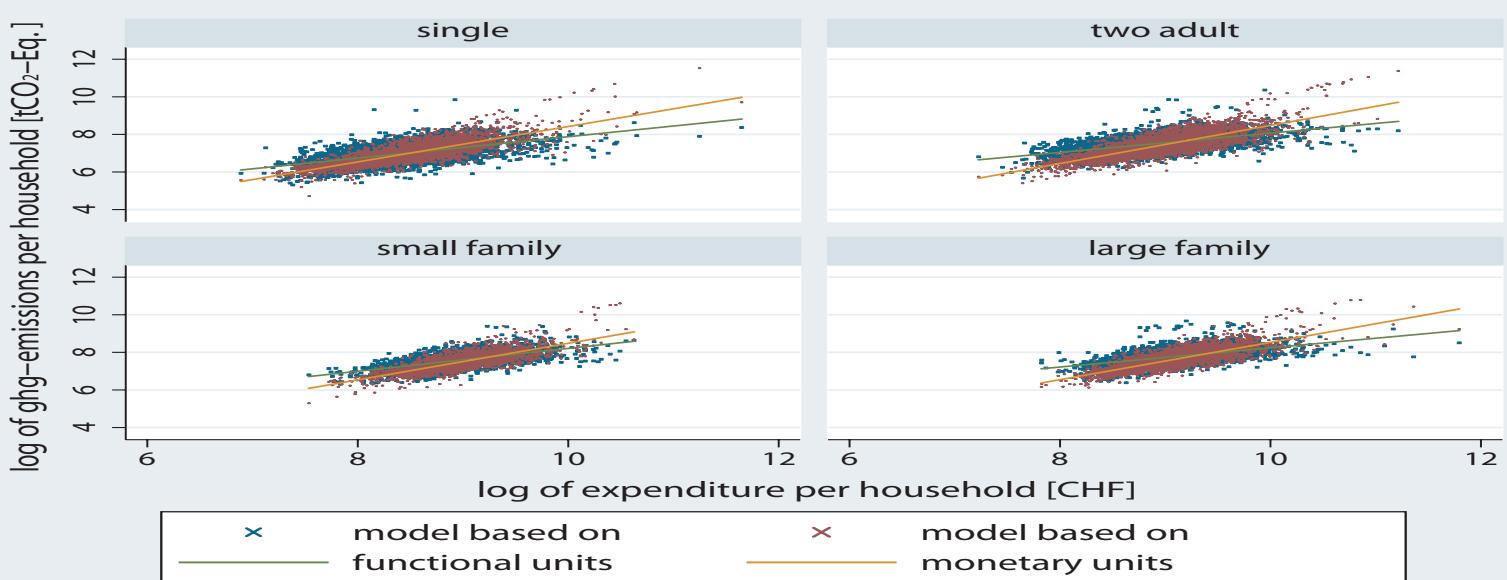
Phone +41 44 632 58 92
www.nssi.ethz.ch/res/

Environmental impact of Swiss household consumption, and estimated income rebound effects

Rebound Research Report 2

Zurich, 14 Nov 2008

BG



Preferred citation style:

Girod, B. S. V., 2008. Environmental impact of Swiss household consumption, and estimated income rebound effects. Rebound Research Report Nr. 2. ETH Zurich, IED-NSSI, report EMDM1381, 80 pages.
Download: www.nssi.ethz.ch/res/emdm/

© 2008 ETH Zurich, IED-NSSI, Switzerland.
All rights reserved.

For further information please contact:

ETH Zurich, Dept. of Environmental Sciences
Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
Universitaetstrasse 22, CHN J72.1
8092 Zurich
Switzerland

Tel. +41-44-632 58 92 (secretariat)
Fax. +41-44-632 29 10
www.nssi.ethz.ch/res/emdm/

Author contact:

Bastien V.S. Girod
bastien.girod@env.ethz.ch
www.nssi.ethz.ch/people/staff/girodb
+41-44-632 63 13

Table of contents

Abstract.....	5
1 Introduction.....	7
1.1 Environmental impact of households.....	7
1.2 Study approach	7
2 Method	9
2.1 Deriving functional units.....	9
2.2 Connecting functional units to LCA processes.....	11
2.3 Collapse to main consumption categories	12
2.4 Formal description.....	15
2.5 Estimating income rebound.....	17
3 Results.....	19
3.1 Consumption and impact of Swiss average household consumption.....	19
3.2 Carbon emissions of marginal consumption	20
4 Discussion and Conclusion	25
4.1 Deriving functional units.....	25
4.2 Bottom-up estimates	25
4.3 Rebound estimates.....	26
5 Outlook	27
5.1 Improvements on the model side.....	27
5.2 Improvements on the data side.....	28
References.....	31
Appendix	33
Appendix A – STATA Commands	33
Appendix B – Swiss average household consumption (5- COICOP level)	44
Appendix C – Assumptions	55

Abstract

Household consumption has an important influence on the environmental impact of a society. This research report introduces a method how the Swiss income and expenditure survey, which is designed mainly to get information about the households' spending patterns, can be used to also retrieve information about the environmental impact of the households. As environmental pressure we focus on energy demand, and, derived therefrom, greenhouse gas emissions. Therewith we gain a database which does not only describe expenditure of households, but also the functional units of their consumption and the corresponding environmental impact. In this research report we evaluate and derive, on the basis of this database, the marginal consumption, and its environmental impact for Swiss households. This result can be used to estimate a possible income rebound (income rebound describes the increasing household impact because of increasing expenditure enabled money saved through efficiency improvements or "greener" consumption). However, this database provides the basis for a multitude of other analysis, for instance the evaluation of the environmental impact of households over time, the differences between the household types, over living areas and so forth. Since the household consumption is connected to LCA processes also different environmental impacts of household consumptions can be assessed. We focus on greenhouse gas emissions expressed in CO₂ equivalents (adopting greenhouse warming potentials for the 100 year timeframe from IPCC [2007]); other assessment methods like the Eco-indicator 99, Cumulative Energy Demand or Ecological Scarcity 2006 would be equally possible as well. After discussing the new method and derived results, we close with an outlook on possible improvements of this method and further development of the research on the ecological footprint of the households.

Keywords

Household consumption, LCA, greenhouse gas emissions, marginal consumption, income rebound

1 Introduction

1.1 Environmental impact of households

The environmental impact of the households includes the impact caused by the consumption, considering the whole life cycle of the products. Hence, the assessment of the environmental impact of the households can be based on the assessment of the environmental impact of the individual products consumed.

While the decoupling of economic growth from environmental problems like acid rain or ozone depletion has largely been achieved through technical solutions, problems related to the energy consumption, like e.g. climate change, are more connected with consumption behavior and purchase decisions. Therefore two questions regarding the impact of the households are of particular interest: What is the potential of changing household consumption to reduce greenhouse gas emissions? And, how will future greenhouse gas emissions develop when “getting richer” – the common goal of many households and the projection of most scenarios – comes to pass? Regarding the first question we distinguish three main strategies: (i) reduce consumption (sufficiency), (ii) change consumption patterns in favor of less energy-intensive products (e.g. public transport instead of car) and (iii) increase quality of consumption (better, not more), which includes the purchase of products with higher efficiency (e.g. hybrid-car), products with higher ecological production standards (e.g. organic food), but also other products of higher quality (e.g. more expensive wine). Regarding the second question, the increasing impact with increasing income is also important to assess the magnitude of a possible income rebound¹.

To answer and evaluate these questions a model for the environmental impact of the households is needed. This is main reason for this research paper.

1.2 Study approach

The assessment of the impact of the Swiss household is based on the Swiss income and expenditure survey, which is collected every year since 2000 and includes each time about 3000 households. The survey collects data about the economic situation of the household, an inventory of the durable goods and all conducted purchases of one month. Using these data, the consumption in functional units is derived in a first step (section 2.1). The next step consists of connecting the functional units of consumption with corresponding LCA processes (section 2.2). Therewith the ecological assessment of the household consumption is accomplished and we get a database with the ecological impact of household consumption, which can be used for various evaluations. The result section shows (i) that the derived bottom-up estimates are plausible and lie within the range of other studies and (ii) the marginal increase of CO₂-Emissions with household income, which can be used as a first estimate to assess the income rebound in Switzerland (section 3). In section 4 we will discuss theses results and draw some conclusions. Finally, the outlook outlines the possible improvement for the ecological assessment of the household consumption on the model and data side.

¹ Income rebound describes the impact from spending the money saved by an efficiency improvement or consumption change towards greener consumption.

1. Introduction

2 Method

2.1 Deriving functional units

Functional units try to describe the use of a product as good as possible. They were introduced to compare the LCA of two products. Examples for functional units are: Persons kilometer, hours of light, calories or livings space. We rely our household model on functional units, but in order to keep methodical complexity low we use only few different functional units. Table 1 exemplary shows how we derive the functional units from the income and spending survey. The *code* variable describes the method to derive the functional units. The shortcuts, which are also used in Table 2 and 6, can be explained as follows:

Functional units derived directly from the survey:

- *n: number of purchases*. Since the households record every single purchase during one month the number of purchases within the consumption categories can be derived.
- *s: monetary expenditure (spending)*. Collected directly by the income and expenditure survey.
- *pu: physical units (kg, liters, number)*. For some consumption categories physical units of the consumption were collected too. The mass in kilograms was collected for many categories from food and beverages, the volume in liters from gasoline and the number from eggs.

Functional units derived by a multiplication with an assumption on the 4th COICOP level:

- *n*a: number of purchases times an assumption*. For many consumption categories only the number of purchases is known. Therefore assumptions about the functional unit per purchase for the consumption categories are made.
- *s*a: expenditure (spending) times an assumption*. For consumption categories with a fixed price per functional unit, the functional unit can be derived from the monetary expenditure directly.
- *pu*a: physical unit times an assumption*. This method is used when a physical unit is collected by the survey, but it has to be adapted to better describe the functional use of the consumption. For instance in case of gasoline the volume is not a very good measure for the functional unit of driving. Therefore we transform the consumed gasoline into persons kilometers by assuming average car efficiency.
- *e*a: household data times an assumption*. For some consumption categories household data, which were also collected in the income and expenditure survey can be used to derive the functional units. For instance in case of living we used the number of rooms and secondary apartment to derive the living space in square meters.

All assumptions to derive functional units are described in Annex B; the commands to derive a data base with the functional units of consumption for the households of the Swiss income and spending survey are listed in Annex A. Table 2 shows which method was used to derive the functional units, by crosstabing the chosen method against the 2nd COICOP level and indicating the number of consumption categories on the 5th COICOP level. The table shows that the most frequent method is an assumption times the number of purchases (*n*a*). Physical units (*pu*) are only provided directly for food and beverage. Expenditure (*s*) is used for services like taxes and insurances as well as repairing or renting, which are part of many consumption category of the 2nd COICOP level. Expenditure times an assumption (*s*a*) is used mainly for heating, some travel categories and telephoning, where constant prices per functional unit can be assumed. External data times and assumption (*e*a*) are used to describe the functional units of living. Finally, for the number of eggs and liters of gasoline the collected physical unit is multiplied by an assumption (*pu*a*) to get the weight of the eggs respectively kilometers driven.

2. Method

Table 1: Examples for deriving functional units from the income and expenditure survey.

COICOP level 5 (English)	COICOP level 5 (German)	code	assumption for y
Rice in all forms	Reis	x	1
meal in canteen	Mahlzeiten in Kantinen und Personalrestaurants	n	.5 kg/n
jeans for gents	Jeans für Herren	n	1 kg/n
rental (clothes)	Miete (Bekleidung)	s	1
mortgage interests	Hypothekarzins	e	30m2/room
gas from pipe	Gas vom Netz	s	50 MJ/CHF
electricity	Elektrizität	s	20 MJ/CHF
Gasoline	Benzin	pu	.08km/liter
air ticket	Flugbilette	n	1
hairdresser, personal hygiene	Coiffeur, Körperpflege	n	1hr/n

Table 2: Derivation of functional unit from the income and spending survey (categories on 2- COICOP level).

COICOP level 2	number of categories on the COICOP level 5 for the functional units						
	e*a	n*a	pu	pu*a	s	s*a	Total
Food and non-alcoholic beverages	-	19	102	1	-	-	122
Alcoholic beverages, tobacco, narcotics	-	4	5	-	-	-	9
Clothing and footwear	-	43	-	-	4	-	47
Housing, water, electricity, gas and other fuels	8	2	-	-	11	41	62
Furnishings, household equipment and routine household maintenance	-	33	-	-	5	-	38
Health	-	10	-	-	3	-	13
Transport	-	16	-	2	6	2	26
Communication	-	1	-	-	2	2	5
Recreation and culture	-	56	-	-	14	-	70
Education	-	6	-	-	-	-	6
Restaurants and hotels	-	13	-	-	-	-	13
Miscellaneous goods and services	-	13	-	-	4	-	17
Insurance	-	-	-	-	18	-	18
Individual consumption expenditure of non-profit institutions serving hh	-	-	-	-	15	-	15
Individual consumption expenditure of general government	-	-	-	-	10	-	10
Total	8	216	107	3	155	45	471
· Are part of the category "miscellaneous goods and services" and on the third level in the UN classification, however the Swiss classification threats them in the second level.							

Table 3 gives an overview of the functional units used to describe the consumption. The cross table indicates the number of consumption categories on the 5th COICOP level for the different functional units against the consumption categories of the 2nd COICOP level. It appears that for some consumption categories of the COICOP level, we have several functional units. For instance housing includes services measured in monetary units (CHF), goods in mass (kg), living space (m) and energy (MJ).

Table 3: Functional units to describe the consumption (categories on 2nd COICOP level).

COICOP level 2	number of categories on the COICOP level 5 for the functional units						
	CHF	MJ	hour	kg	m ²	pkm	Total
Food and non-alcoholic beverages	-	-	-	122	-	-	122
Alcoholic beverages, tobacco and narcotics	-	-	-	9	-	-	9
Clothing and footwear	4	-	-	43	-	-	47
Housing, water, electricity, gas and other fuels	11	28	-	15	8	-	62
Furnishings, household equipment and routine household maintenance	5	-	-	33	-	-	38
Health	3	-	7	3	-	-	13
Transport	6	-	-	8	-	12	26
Communication	2	-	2	1	-	-	5
Recreation and culture	14	-	15	41	-	-	70
Education	-	-	6	-	-	-	6
Restaurants and hotels	-	-	4	9	-	-	13
Miscellaneous goods and services	4	-	2	11	-	-	17
Insurance	18	-	-	-	-	-	18
Individual consumption expenditure of non-profit institutions serving households	15	-	-	-	-	-	15
Individual consumption expenditure of general government	10	-	-	-	-	-	10
Total	92	28	36	295	8	12	471
· Are part of the category "miscellaneous goods and services" and on the third level in the UN classification, however the Swiss classification treats them in the second level.							

2.2 Connecting functional units to LCA processes

After deriving functional units we can connect the consumption with the LCA processes. Since not all LCA are yet available in the functional units derived in the previous section, some LCA processes have to be transformed. For instance we derived living space in m² but the impact of the construction and disposal of the building is only available in m³ of building volume. Therefore we need to multiply the obtained living space in m² by the mass per living space (1m²/m³) and divide it by the live time of the building in month (60yr*12month/yr). All assumptions and allocated LCA processes are listed in Annex C.

Table 4: Examples for the connection of LCA-processes to the consumption of the income and expenditure survey.

COICOP level 5	fu	fu lca	a LCA	LCA Process	kg CO ₂ -Eq./fu
Reis	kg	kg	1	Rice, at farm/US U	0.46
Mahlzeiten Kantinen	kg	kg	1	meal in restaurant, BAS	7.45
Jeans für Herren	kg	p	0.29 kg/p	T-shirt, coloured, at store/p/CH U	4.8
Miete (Bekleidung)	CHF	CHF	193-95. Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	0.02	
Hypothekarzins	m	m	1 m/m: /6oyr*12 month	Building, multi-storey/RER/I U	534
Gas vom Netz	MJ	MJ	1	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U	0.07
Elektrizität	MJ	MJ	1	Electricity, medium voltage, production CH, at grid/CH U	0.01
Benzin	pkm	pkm	0.72 pkm/km	Operation, passenger car, petrol, fleet average/CH U	0.27
Flugbilette	pkm	pkm	1000 km/n	Transport, aircraft, passenger/RER U	0.15
Coiffeur, Körperpflege	h	CHF	193-95. Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	0.02	
			61 CHF/h		

Using the software tool Simapro (PRé Consultants, 2008) many different impact categories can be derived from the LCA processes. For the following study we use CO₂-equivalent as example. The command to derive the data base with the functional units and greenhouse gas emissions (CO₂-Equivalent) of the Swiss income and expenditure survey are listed in Annex A. Most LCA processes were taken from the ECOINVENT v2 LCA database (Frischknecht & Rebitzer, 2005). For food and beverages, additional data from Jungbluth (2000) were used. For holidays, entertainment services and other services, greenhouse gas intensities (kg CO₂-eq./CHF) were used from a Swiss study on indirect greenhouse gas emissions (Jungbluth, Steiner, & Frischknecht, 2007).

2.3 Collapse to main consumption categories

For illustrative and cognitive reasons the description of the consumption need to be simplified to main consumption categories. As table 2 shows, categories of the 2nd COICOP level are not useful, because they include different functional units within a consumption category. Therefore we use main categories, which have the same functional unit. The classification of the consumption on the 5th COICOP level into these main categories is indicated in Annex C.

Table 5 shows, how the new main consumption categories relate to the consumption categories of the 2nd COICOP level. Table 6 – similar like table 2 – indicate which method was used to derive the functional unit on the 5th COICOP level, using the main categories and the additional information about the consumption categories, which were set to zero at the 5th COICOP level (fu*0). Referring to these two tables we describe the main consumption categories as follows:

Nourishments:

- *Food* includes the same categories like the 2nd COICOP category except of the beverages (table 5). The functional unit is kilogram (kg). Most functional units are collected directly by the survey, some categories multiply the purchases by an assumption (n*a), for the eggs the number of eggs were transformed into kilograms (pu*a).
- *Beverages* include both, non-alcoholic and alcoholic beverages. The functional units are kilograms (respectively liters). The survey collected this physical unit directly for all categories on the 5th COICOP level.
- *Eating out*: To get the full picture of the nourishment *eating out* in restaurants, canteen or take-away is separated out of the “restaurants and hotels” category of the 2nd COICOP category.
- *Tobacco* is separated from alcoholic beverages, because it is not part of the nourishment.

Living:

- The category living remains nearly the same like in the COICOP classification. All consumption categories of the main category living, were allocated to living space in square meters derived from the household data (e^*a). Therefore all other functional units were set to zero (fu^*o).
- The electricity is separated from the living category, because electricity use is mainly driven by electrical appliances, which do not depend that much on the living space. Hence we use MJ as functional unit for electricity use.

Goods:

- Clothes and furnishing remain the same, except the services like repairing are classified as services since they can not be described with the functional unit of the mass like the other COICOP consumption categories within these main categories.
- Other goods include various goods with different uses, which we be described by kilograms for simplicity reasons.
- News/books and goods for personal hygiene are separated since these consumption categories (5th COICOP level) have a clear common use.

Transport: The 2nd COICOP category for transport is separated into car, public transport, airplane and bike. For the car similar to the main category of living, all consumption is allocated to the persons kilometers and the other functional units are set to zero (fu^*o). While the persons kilometers of the car are derived from the gasoline use in liters (pu^*a), the persons kilometers of public traffic and airplane are derived from the tickets (n^*a). Finally the bike is not described in persons kilometer but in kilograms of bike. The bike could also be included into goods however, since it provides an alternative transport option we classify it separately.

Time using services:

- For services we distinguish services which can be described with hours. Time using services (t) include for instance hairdresser or massage.
- Education and holydays are also seen as time using services. The holydays do not include the transport.

Consumption with monetary units as functional unit: Finally four consumption categories remain, which can not be described by other functional units and therefore are described in monetary units (s). This includes beside some services, the insurance, taxes and transfers to other households.

2. Method

Table 5: Main consumption categories compared to consumption categories of 2- COICOP level.

new consumption categories	consumption categories of the 5th OICOP level															
	COICOP-2	Food and non-alcoholic beverages	Alcoholic beverages, tobacco and narcotics	Clothing and footwear	Housing, water, electricity, gas and other fuels	Furnishings, household equipment and ...	Health	Transport	Communication	Recreation and culture	Education	Restaurants and hotels	Miscellaneous goods and services	Insurance1	... expenditure of non-profit institutions expenditure of general government ...
food	108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108
beverage	14	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19
eating out	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	9
tobaccos	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
living	-	-	-	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58
electricity	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
furnishing	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33
clothes	-	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43
other goods	-	-	-	-	-	3	-	1	36	-	-	3	-	-	-	43
books/news	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	5
pers. hygiene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	8
car	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	17
public traffic	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	7
airplane	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
bike	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
services (t)	-	-	-	-	-	7	-	2	14	-	-	1	-	-	-	24
holidays	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	4	-	-	-	-	5
education	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	1	-	-	-	7
services (s)	-	-	4	-	5	3	-	2	14	-	-	4	-	-	-	32
other	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	15	-	-	20
transfers	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
insurances	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	13
tax	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10
Total	122	9	47	62	38	13	26	5	70	6	13	17	18	15	10	471

Table 6: Derivation of functional unit from the income and spending survey (main consumption categories)

category	unit of x	consumption categories on disaggregated level [n]							Total
		e*a	fu*o	n*a	pu	pu*a	s	s*a	
income	CHF								
food	kg	-	-	19	88	1	-	-	63
beverage	kg	-	-	-	19	-	-	-	19
eating out	kg	-	-	9	-	-	-	-	9
tobaccos	kg	-	-	4	-	-	-	-	4
living	m	6	52	-	-	-	-	-	58
electricity	MJ	-	-	-	-	-	-	4	4
furnishing	kg	-	-	33	-	-	-	-	33
clothes	kg	-	-	43	-	-	-	-	43
other goods	kg	-	-	43	-	-	-	-	43
books and news	kg	-	-	5	-	-	-	-	5
personal hygiene	kg	-	-	8	-	-	-	-	8
car	pkm	-	13	-	-	2	-	2	17
public traffic	pkm	-	-	7	-	-	-	-	7
airplane	pkm	-	-	1	-	-	-	-	1
bike	n	-	-	1	-	-	-	-	1
services (t)	h	-	-	22	-	-	-	2	24
holidays	h	-	-	5	-	-	-	-	5
education	h	-	-	7	-	-	-	-	7
services (s)	CHF	-	-	-	-	-	32	-	32
other transfers	CHF	-	-	-	-	-	20	-	20
insurances	CHF	-	-	-	-	-	13	-	13
tax	CHF	-	-	-	-	-	10	-	10
Total		6	65	207	107	3	138	8	534

2.4 Formal description

Household consumption model based on functional units

For the formal description of the household consumption model based on functional units we rely on Hertwich (2005)

$$I = \mathbf{CS}(\mathbf{I} - \mathbf{A}) \cdot y \quad (1)$$

where I is the life-cycle impact, expressed as a vector of greenhouse gas emissions for different consumption categories; y is the vector representing the functional units; $\mathbf{I} - \mathbf{A}$ represents the matrix of production, use and disposal processes that contribute to the product life-cycle; \mathbf{S} represents the table of emission factors per unit process; \mathbf{C} is the table of characterization factors per impact category. The matrices and matrix dimensions are listed in Table 7. The term

CS(I – A) can be simplified for this study to a vector with greenhouse gas emissions per functional unit, ghg . Thereby we obtain

$$GHG_h = ghg_y \cdot h_h \quad (2)$$

where GHG_h are the greenhouse gas emissions of a household, h , expressed as a vector for the different consumption categories, n , and h is the consumption pattern of the household, h . The price per functional can be derived as follows:

$$\pi = h \cdot s^{-1} \quad (3)$$

where π is the vector of the prices of each product (CHF per functional unit) paid by the household and s is the expenditure vector of the household.

Household consumption model based on expenditure

For the model based on expenditure we refer to Vringer and Blok (1995) using the following formula

$$E = \varepsilon \cdot s \quad (4)$$

where E is the vector of the total energy consumption expressed as a vector of greenhouse gas emissions for different consumption categories, n ; ε are the energy intensities (MJ/monetary unit); s describes the expenditure per consumption category. By replacing the energy intensity ε , with the greenhouse gas emission per monetary unit, ghg_s , we obtain an equation similar to equation (2):

$$GHG_h = ghg_s \cdot s_h \quad (5)$$

Table 7: Matrices, vectors and indices for describing household consumption and carbon emissions

symbol	size	description
n		number of processes described by the LCA, where each process has a product output
s		number of stressors (chemicals emitted or resources used) taken into account
k		number of impact categories in the assessment
p		number of groups of households
A	$n \times n$	process matrix
S	$s \times n$	stressor matrix
C	$k \times n$	characterization factor matrix
y	n	final demand/functional unit
H	$n \times p$	consumption pattern matrix, often derived from a consumer expenditure survey
H	n	consumption pattern of a specific household (column of H)
P	p	population structure vector
I	$n \times n$	identity matrix
I	k	environmental impact of consumption, measured in category indicators
π	n	price of each product
S	n	monetary expenditure (spending)
ε	n	energy intensity of monetary expenditure
ghg_y	n	greenhouse gas emissions per functional unit
ghg_s	n	greenhouse gas emissions per monetary expenditure
GHG	n	total greenhouse gas emissions
E	n	total energy use

2.5 Estimating income rebound

Income rebound effect. Figure 1 shows rebound effects which can occur on the consumer side. Increasing car efficiency can reduce the costs per kilometer. The direct rebound effects leads to an increasing demand of the energy service with the improved efficiency, in this case driving further or more often. The indirect rebound effect leads either to an increase in the embodied energy or to spending for other consumption categories.

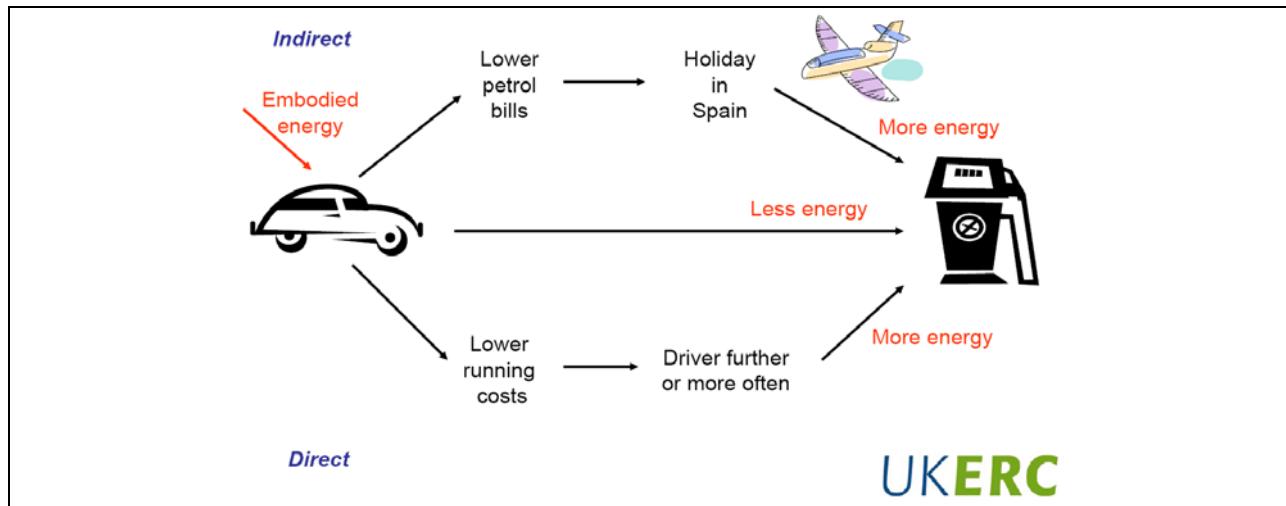


Figure 1. Rebound effect on the consumer side (Sorrel, 2007). Efficiency increase of the car can lead beside the intended lower energy consumption to the following rebound effects: (i) more embodied energy, for instance because of the use of a hybrid engine, which is more energy consuming in the production phase, (ii) more indirect energy use because of the lower petrol bill and the therewith enabled additional consumption or (iii) more direct energy use because of the lower running cost and the therewith enabled additional driving or bigger car.

In this research paper we do not look at specific efficiency improvements, instead we evaluate the impact that is caused from the re-spending of financial savings due to efficiency increase. This rebound is called “income rebound” and includes direct and indirect rebound effects. For our estimate we assume that in average the household spend their money towards the consumption pattern of households with higher income (marginal consumption). Hence, we analyze the changing impact of consumption with increasing income.

Different household types. The next question is how to measure increasing income. We use income because we want to measure people’s “affluence”, but household income does not take into account a household’s rising demand with each additional household member. On the other hand, per capita income ignores the fact that needs do not grow proportionally, due to economies of scale. Furthermore, children and adults do not consume the same amount. Hence, for our analysis we distinguish different household types with similar household structures. Table 8 shows how the households in our representative survey are structured with regard to the number of adults and children. Of these we form two groups with identical household structure, namely the one person households and the two person households. A third group is called “small family” and consists of households with up to three household members excluding the single and two adult households. The remaining group includes all households with more than three members and is called “large family”. From Table 8 it appears that according to the household income, the group “other” is wealthiest, whereas according to per capita income this holds for single households. This underlines the necessity to distinguish the different household types in order to evaluate changing consumption characteristics with increasing income.

2. Method

Table 8: Number of adults and children in surveyed households.

adults (age >17 years)	children (age<18 years)					Total
	0	1	2	3	>4	
1	3'563	190	150	37	10	3'950
2	4'555	1'067	1'901	604	131	8'258
3	620	266	81	27	8	1'002
4	206	69	27	3	3	308
>4	32	7	0	1	0	40
Total	8'976	1'599	2'159	672	152	13'558

Household groups: single, two adult, family. Remaining households are included in "other".

Table 9: Income and household structure of different household types.

household type	Count [n]	household income [CHF]	per capita income [CHF]	adults [n]	children [n]
Single	3563	5796	5796	1	0
two adult	4555	9603	4801	2	0
family (2.5 -3 person)	3588	10753	3114	2.2	1.4
Other	1852	11015	2595	2.4	2
Total	13558	9100	4315	1.8	0.6

Estimates for calculating the income rebound. Income rebound describes the impact from spending the money saved by an efficiency improvement or consumption change towards greener consumption. In literature different methods to calculate the income rebound are proposed: Thiesen et al (2006) forms different income groups and thereof derive the marginal consumption. Alfredsson (2004) use a similar approach. Takase et al (2005) simply linearly increase all consumption until the spending is again equal to the income. For latter simply the carbon emissions per spending and the financial savings need to be known to determine the income rebound. However, we assume similar to Thiesen et al. and Alfredsson that additional income is spent towards higher affluence level by looking at changing impact with increasing income. Thereby we consider the following three aspects:

1. *Affluence parameter:* Depending on the system boundaries different parameters are more adequate for estimating the income rebound. Using the total income could lead to an underestimation because part of the income is used for savings within the survey period, but this money will also be used for purchases in the future. Using expenditure could therefore be a better choice, since it measures the affluence of the household by the consumption behavior. In addition one can argue that the taxes and the transfers (for instance obligatory pension plan) do not change because of additional financial savings from energy efficiency measures. Hence we will evaluate the increasing impact with income respectively expenditure, with as well as without taxes and transfers.
2. *Household types:* Neither Thiesen et al (2006) nor Alfredsson (2004) distinguish the different household types. However, financial savings do certainly not lead to changes in household structure. Therefore the increasing impact within the different household types should be evaluated (see also previous section).
3. *Aggregation level:* The aggregation level of the consumption might have an influence. Therefore we estimate the income rebound using the model with the main consumption categories as well as the model using the COICOP consumption categories (4th level). For latter we simply, do not collapse the consumption categories to the main consumption categories as described above. However, since not all households indicated the detailed heating costs latter estimates is based on only 39 percent of all households.

3 Results

3.1 Consumption and impact of Swiss average household consumption

Table 10 shows the average consumption in functional and monetary units as well as greenhouse gas emissions per capita and year in Switzerland for the years 2002 to 2005. As for greenhouse gas emissions, table 10 reveals that the total per capita greenhouse gas emissions amount to ca. 11 tons CO₂-equivalent per year. The most important consumption categories for greenhouse gas emissions (> 0.5 tons a cap) are car driving, living, other goods, food, flights and eating out. The last column shows the greenhouse gas emissions for the households multiplied by the weighted proposed from the Swiss federal office of statistics to get a representative sample for the Swiss population.

Table 10: Average consumption, spending and impact per year (2002 – 2005)

category	func. units	purchases [n]	h [fu]	s [CHF]	GHG [kgCO ₂ -eq.]	GHG [kgCO ₂ -eq.]
food	kg	1885868	329	3'214	817	830
beverages	kg	219113	269	643	153	157
eating out	kg	480611	77	2'618	327	345
tobacco	kg	38786	1.7	224	1.0	1.1
living	m ²	50929	55	7'999	3'136	3'257
electricity	MJ	13505	8'350	413	43	45
furnishings	kg	150552	102	1'255	463	463
clothes	kg	69619	10	1'289	156	155
other goods	kg	121702	123	1'411	1'093	1'106
books/news	kg	86503	17	419	22	23
pers. hygiene	kg	107826	5.0	435	257	260
car	pkm	79834	12'510	2'806	3'820	3'908
public transport	n	40417	4'452	509	132	137
airplane	n	304	359	102	111	123
bicycle	n	194	1.8	45	5.2	4.9
services(t)	h	101082	510	3'441	70	73
holidays	h	5013	258	798	79	82
education	h	2905	136	218	4.2	3.8
services(s)	CHF	77168	1'067	1'067	76	79
other transfers	CHF	119690	5'726	5'726	114	116
insurances	CHF	162836	5'625	5'625	71	73
tax	CHF	69605	6'450	6'450	105	111
total		3'884'062		46'708	11'056	11'353
income	CHF	263'177	-	51'774	-	-

3. Results

Table 11 compares our bottom-up estimates with other results from literature (Ecospeed SA, 2008; Jungbluth et al., 2007; Kaenzig & Jolliet, 2006; Swiss EPA, 2005). Since there is no pure bottom-up estimates for greenhouse gas emissions we have to compare our results with studies using either top-down or mixed (top-down and bottom-up elements) approaches. This reduces the comparability, especially for more detailed categories; therefore we can only compare the studies on a much aggregated level. Table 11 shows that our estimated total as well as the estimates on the level of the four categories - living, food, mobility (car, public traffic and flight) and the remaining (other and public consumption) - are within the range of current studies. Considering the study from Ecospeed SA (2008) which is a more sophisticated version of the model published by Durenberger et al. (2001), the share of the greenhouse gas emissions for the different categories are very similar. Remaining differences between our results and those from literature will be discussed (section 4.2).

Table 11: Comparison of derived carbon emissions per capita with other estimates

Category	Carbon emissions according to different sources				
	Our study	Ecospeed (2008)	Käenzig et al. (2006)	Swiss EPA (2005)	Jungbluth (2007)
Method	bottom-up	mix	top-down	top-down	top-down
living	29%	26%	18%	26%	25%
food	12%	16%	not sp.	12%	10%
car	34%	29%			
public transport	1.2%	2%	23%	35%	
flight	1.1%	3%			not specified
other consumption	19%	18%	not specified	27 %	
public consumption	3%	6%			
Total	11.4	10.1	11.8	7.4	13

Note: Only carbon emissions of greenhouse gases considered, therefore lower total than if all greenhouse gases would be considered. · Greenhouse gas emissions according to the territorial allocation outlined by the climate convention. · "not specified" means that the allocation of the total to the different consumption group was not possible.

3.2 Carbon emissions of marginal consumption

To analyze the marginal carbon emissions of the households we conduct different regression analysis. Table 14 shows all estimates for different model assumptions. Herewith we describe step by step the regression analysis for the household consumption model using the main consumption categories against the total household spending: First, we test the distribution of the analyzed variables. Figures 2 shows that the logarithm of expenditure and carbon emissions per household is more or less normally distributed. Therefore we use the logarithm of these variables for the regression analysis. Figure 3 shows the regression of expenditure and carbon emissions of all households. Figure 4 shows the same figure for the different household types. Table 12 shows corresponding regression estimates. To calculate the carbon emissions of marginal consumption, we use the following formula:

$$GHG_{h,1CHF} = const. \cdot (S_h + 1)^a - const. \cdot S_h^a \quad (6)$$

Where the factors, *const.* and *a*, are derived from the regression analysis (table 12). For the spending, *S*, the mean spending of the corresponding household type is chosen (table 12). Therewith we obtain estimates for increasing carbon emissions with increasing expenditure in kg CO₂-Equivalent (see table 13). We calculate two totals: First, simply using the regression analysis over all households; second, using the estimates for carbon emissions of marginal consumption for the different household types and summing them together using the corresponding total spending as weight.

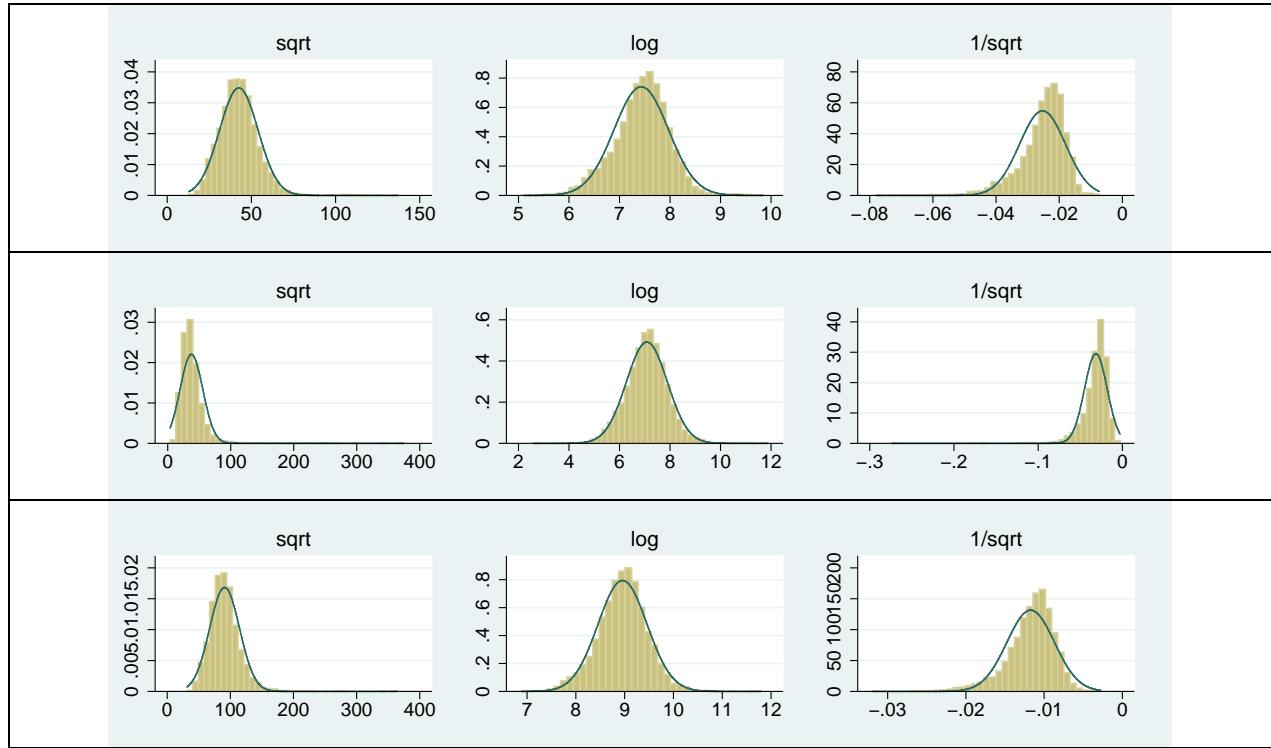


Figure 2. Density of (i) greenhouse gas emissions per household using the model based on functional units, (ii) greenhouse gas emissions per household using the model based on monetary units and (iii) spending per household using the square root (sqrt), logarithm (log) or the reciprocal square root (1/sqrt). The logarithm fits best the indicated normal distribution curve.

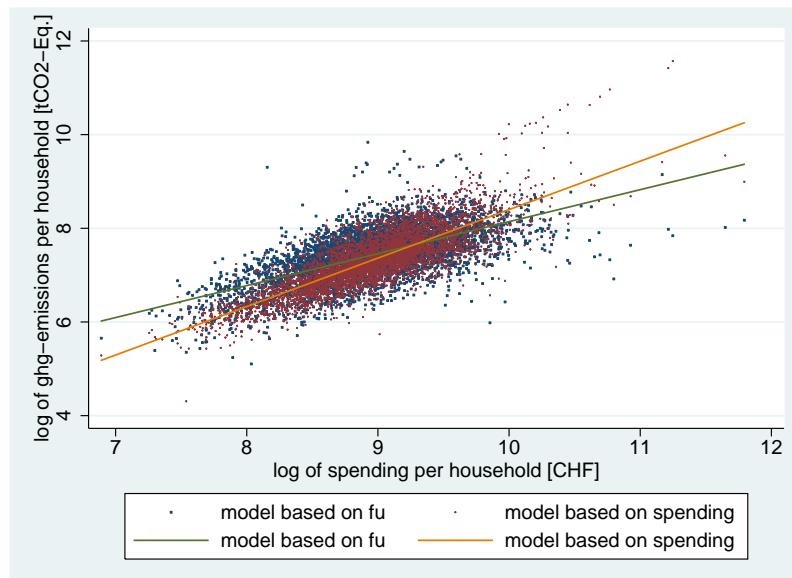


Figure 3. Comparison of methods to allocate greenhouse gas emissions to consumption for increasing greenhouse gas emission with increasing expenditure (spending) of the households. Blue dots and green regression line: Model using functional units (fu); Red dots and orange regression line: Model using monetary units (spending).

3. Results

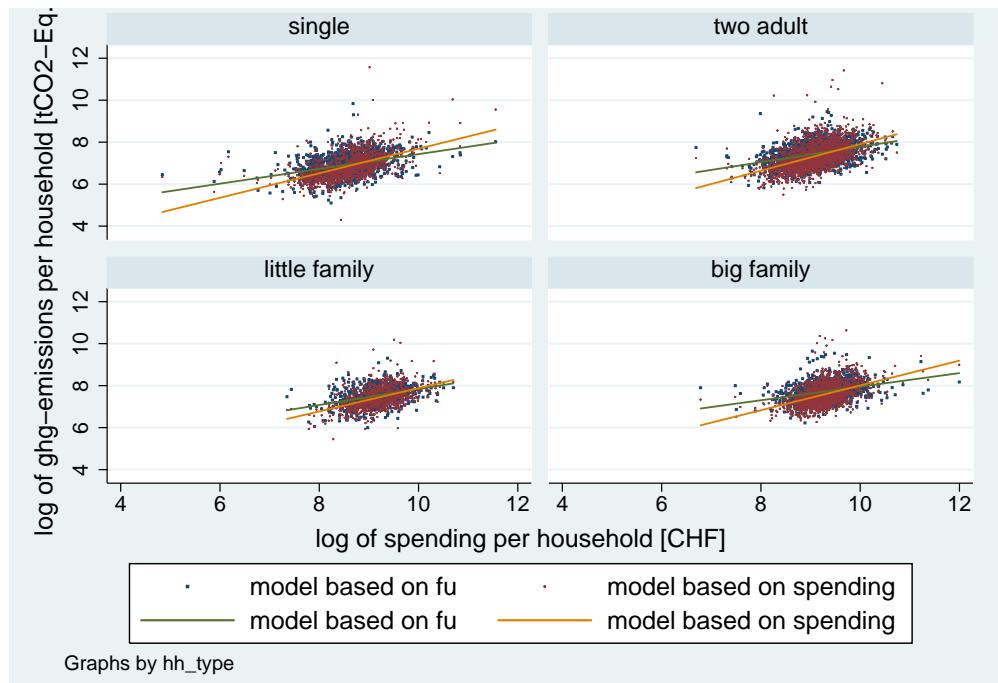


Figure 4. Comparison of the methods to allocate greenhouse gas emissions to consumption for increasing greenhouse gas emissions of the households with increasing expenditure (spending) considering different household types. Blue dots and green regression line for the model using functional units (fu). Red dots and orange regression line for the model using monetary units (spending).

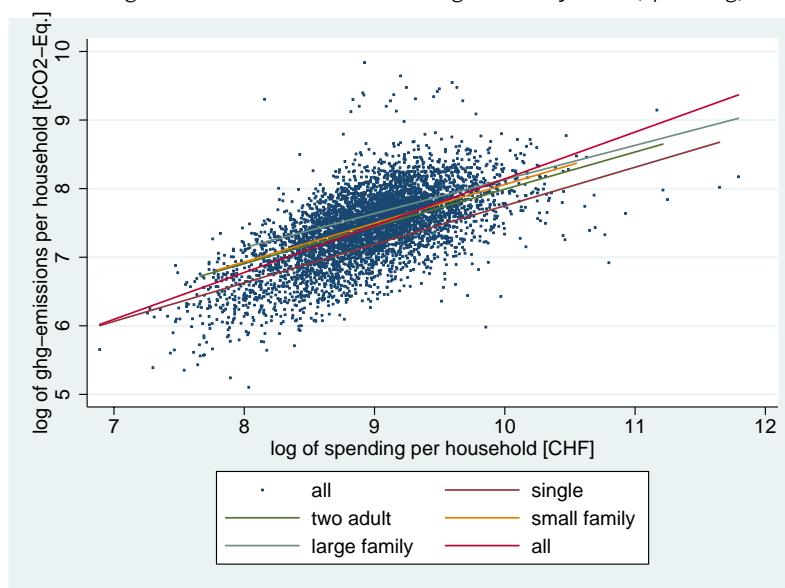


Figure 5. Comparison of household types considering the increasing greenhouse gas emissions of the households with increasing expenditure (spending). Blue dots: Greenhouse gas emissions and expenditure of individual households. Regression lines for single (brown), two adult (green), small family (orange), large family (light-blue) and all households (red). Increase is lower for each household types compared to the overall regression.

Table 12: Regression estimates for increasing greenhouse gas emissions with increasing expenditure

household type	single		two adults		small family		large family		all	
model	fu	s	fu	s	fu	s	fu	s	fu	s
a	0.56	0.97	0.54	1.08	0.56	0.94	0.50	0.98	0.68	1.03
const.	2.13	-1.46	2.57	-2.35	2.41	-1.10	3.17	-1.40	1.32	-1.95
kg CO ₂ /CHF	0.105	0.180	0.110	0.205	0.118	0.184	0.112	0.202	0.142	0.202
N	1068		1707		773		1519		5067	
mean(s)	5993		8986		9296		10418		8832	

Table 13: Income rebound estimates for the model based on monetary expenditure (s) vs. functional units (y)

	total (by hh type)		single	two adults	little family	big family
	total					
model difference	0.021	0.036	0.037	0.038	0.023	0.041
s model	0.12	0.102	0.097	0.105	0.092	0.104
fu model	0.10	0.065	0.061	0.066	0.069	0.064
difference [%]	18%	36%	38%	37%	25%	39%

Table 14: Estimates for income rebound (kg CO₂/CHF) considering different methodical assumptions

income parameter	aggregation level	total income		income without tax and transfer		total expenditure		expenditure without tax and transfer	
		4 ^a	main	4 ^a	main	4 ^a	main	4 ^a	main
		fu, by hh	0.082	0.071	0.083	0.075	0.148	0.123	0.192
method	fu, overall	0.109	0.099	0.117	0.111	0.176	0.154	0.229	0.195
	s, by hh	0.098	0.105	0.099	0.118	0.186	0.216	0.241	0.291
	s, overall	0.120	0.116	0.129	0.137	0.204	0.216	0.269	0.297
	„fu, by hh“ to „s, overall“	-32%	-39%	-36%	-45%	-27%	-43%	-29%	-48%
difference	by hh instead overall (s)	-18%	-9%	-23%	-14%	-9%	0%	-10%	-2%
	fu instead s (by hh)	-14%	-29%	-13%	-31%	-18%	-43%	-18%	-46%

Abbreviations:

s: $ghg_s \cdot s$; fu: $ghg_y \cdot h$; 4: 4 COICOP level; main: main categories; overall: total for all households; by hh: uses the estimates of the household types and sums them up by weighting them with the mean of the income parameter of the corresponding household type

We conduct this calculation also for the increasing carbon emissions of households with increasing income and on the level of the 5 COICOP consumption categories. Table 14 shows how the aggregations level, the consideration of the household types and the chosen affluence parameter shape the estimate of carbon emissions per Swiss franc spent towards increasing affluence. The under part of the table 14 shows, the difference between (i) the common method to calculate the estimates (e.g. Alfredsson, 2004; Thiesen et al., 2006), which do not consider the household types and use a model based on monetary unity only and (ii) the proposed method to calculate the estimate, which uses a model based on functional units and considers the household types. It reveals that there is a substantial difference between these two methods to calculate the income rebound. This difference decreases somewhat with a higher resolution of the consumption categories. The consideration of the household types seems to amplify this difference especially if income is chosen as affluence parameter. We can summarize the following influences on the magnitude of the rebound

3. Results

estimate: using spending as affluence parameter increases the estimate, more aggregated consumption categories, the model based on functional units instead of monetary units and the consideration of the different household types decreases the estimate.

4 Discussion and Conclusion

4.1 Deriving functional units

Our study shows the feasibility of deriving functional units for household consumption for nearly all consumption categories. However, this method is very time consuming. In addition, feasibility depends on data availability in the income and expenditure survey. At least the number of purchases must be known on the level of the subcategories in order to derive functional units. Given this, two assumptions are needed for the derivation: (i) the amount of functional units per purchase within the subcategories and (ii) that the functional unit is constant per purchase within the subcategories. Considering the purchase we disregard the possibility that within one purchase several items of the same consumption category could be bought (e.g. two carpets at once). However, where this is most important, in that case of food, we can use the collected mass of the purchased products. Considering the proposed main categories, it has to be emphasized that this classification is only one possible way to aggregate the consumption categories. Depending on the needs of the analysis of household consumption also other aggregations are possible.

Most income and expenditure surveys also include other household data which can be used as functional units for consumption. For instance, the number of rooms, which we used to derive living space. At best, the survey will collect data about functional units directly, as in our case the weight of most food and beverage categories as well as the volume of gasoline. Beside facilitation of the evaluation and representation of consumption changes such as quality increase or efficiency change, the household model based on functional units would also allow the illustration of emission scenarios, by showing how households live in the different scenarios. This could also be of use in increasing the comprehensibility of long term greenhouse gas emissions scenarios, which at present suffer from a partially unsatisfactory description (Girot & Mieg, 2008).

4.2 Bottom-up estimates

Our estimates lie within the range of estimates from the literature; deviation can mostly be explained by methodological differences. The most similar study, that of Ecospeed SA (2008), shows (i) lower estimates for living (ii) higher estimates for food (iii) lower estimates for car (iv) higher estimates for flights and public transports and (v) higher ones for public consumption. The first two differences can partly be explained by differences in the categorization of consumption: While Ecospeed included cooking in the food category, we include this in the living category, since we can not see from our survey data whether the gas or electricity is used for cooking or for another activity. In addition some of our food LCA processes do not include the last stage of the transport chain and the energy use of the warehouse. For the higher greenhouse gas emissions of car driving a more detailed comparison showed that the higher emissions stem from the embodied emissions of the car. The lower estimate for flights can be explained by the fact that less household participated, which purchased a flight for holiday during the survey period. Here the improved survey method used since 2006 will allow an improvement, since expensive but rare purchases like flights will be collected for the whole year and not only during one month. The lower estimate for public traffic can be attributed to different choices for electricity mix and uncertainties in deriving personkilometer with our method since we only know the number of tickets bought by the households. The impact for public consumption could be too low in our estimates, since we simply assumed greenhouse gas intensity of the communication sector for transfers, insurance and taxes, and did not consider governmental activities which perhaps lead to higher green house gas emissions.

Further improvements of our estimate would be possible by refining the assumptions. While for food the LCA processes are connected quite specifically to the consumption categories, in other categories – for instance goods and services – a more tenuous connection was applied. Also, the assumptions about the functional units per purchase could be refined. Overall our study provides a robust first bottom-up estimate. The advantage of this approach is that our estimates can easily be up-dated every year with the Swiss income and expenditure survey. Only new consumption categories of the survey need to be included and updated in the LCA Database considered.

4.3 Rebound estimates

The range for the estimates for the income rebound from 71 to 297 gram CO₂-Equivalent per Swiss franc illustrate that the following methodical assumption influence the magnitude of the estimate for income rebound:

1. *Allocation of environmental impact:* The use of the model based on functional units leads to a lower increase of greenhouse gas emissions with affluence compared to the model using monetary units only. This is because wealthier households pay higher prices for the same amount of functional units. If for instance a household buys an expensive wine, the model based on monetary units directly allocates a higher impact to this purchase. Contrary the model based on functional units, allocates the same impact to cheap and expensive wine, since it has the same weight. The remaining key question is: Does higher price per functional unit lead to higher greenhouse gas emissions per functional unit? We know that both are possible: that a higher price could come from more environmentally friendly production (e.g. organic food, products with ecological labels or handmade products), but that a higher price could also stem from more intensive processing and more exclusive materials, which would cause higher greenhouse gas emissions. In the literature, apart from the example of an expensive and cheap cheese from Thiesen et al. (2006), mentioned in the introduction, no study was found that had analyzed this issue.
2. *Total versus considering household types:* As figure 5 shows the carbon emissions increase less strong within the household types. This can be explained by a certain saturation of consumption and hence decoupling of affluence and carbon emissions. If the different household types are not considered this saturation is less strong, because the increasing income/spending is coupled with more household members. However, to estimate the income rebound it makes little sense not to distinguish the different household types, since in real life increasing income does not lead to more household members.
3. *Aggregation level of the model:* It reveals that the more detailed consumption categories reduce the difference between the model based on functional units and the model based on monetary expenditure. However the differences remain substantial (larger 14 percent and together with the consideration of the household types larger 27 percent). This shows that there is a shift towards more expensive and more carbon intensive products towards higher income/spending within the main consumption categories. This shift is captured on the more detailed level because these products are separated. For instance households with higher income buy more electronic products this leads also to higher impact. Such a trend is not captured if only main consumption categories are considered, where the same impact per functional unit and per expenditure is assumed.
4. *Affluence parameter:* Considering the affluence parameter, the estimate obtained with income probably fits better for the short term effect. Because in short term not all the saved money is used for consumption, part of the money is put aside. Hence, the impact increase is lower. In the long term however, this money will also be used for consumption, and the estimate using spending as affluence parameter probably fits better to the real income rebound effect.

If income rebound in Switzerland should be assessed, the proposed values are a first estimate. However, for individual household types the rebound effect can be very different. As we saw in Figure 4 the consumption changes varies already for the different household types. In addition, for the income rebound of potential financial saving from a shift towards “greener consumption”, the increasing impact of households with “green consumption” should be used to estimate the income rebound.

5 Outlook

5.1 Improvements on the model side

The derivation of functional units, the connection to LCA processes and the thereby made assumptions as well as the way the data is collapsed to main consumption categories can certainly be refined. These improvements will be considered in an up-date of this report, when the data from the income and expenditure survey of 2006 are available. Considering the sophistication of the description of the household consumption regarding its environmental impact and behavioral constraints, an improvement would be the introduction of the different use-phases of the products. Table 15 sketches such a model: The consumption would therewith not only be described by the purchases. The connection between the different consumptions would be considered. This would demand an extended module for products which need energy during their use phase (active products). These are the house, the car and purchased vehicles for individual traffic and electrical appliances. Therewith the energy use could be modeled as a function of the use and the efficiency of the active products.

Table 15: Possible sophistication of the framework to assess household consumption and its impact

household needs:	economy			household			functional unit
	production	transport	purchase	mobility	use	waste	
eating	agriculture	relevant		shopping	cooking	composting	meals
living		ev.		if secondary homes	living	recycling	living space, comfort
e-appliances		ev.		shopping	use	recycling	hours, power, entertainment potential
other durable goods	material extraction	ev.		shopping	use	recycling	kilogram, use, ev. split category
other non-durable goods		relevant		shopping	use	recycling	kilogram, use, ev. split category
services		relevant		some	use	recycling	hours, monetary unit
taxes	governmental activities	-		-	-		monetary unit
	consumption in future or of other households	-		-	-		monetary unit
transfers							
income			employment	travel	work		
physical units	material flow	ton kilometer	monetary units	person kilometers	hours	share of disposal scenarios	
data source	ecoinvent	ecoinvent /customs statistics	income and expenditure survey	microcensus	electricity use survey	?	

Further improvements could focus on the following issues:

Include time: The time use coupled with the purchase and the use of energy services could be included into the model.

This would allow to analyze and estimate time based rebound (e.g. Binswanger, 2001; Jalas, 2002, 2005)

Dynamic: To analyze the rebound effect of climate change policies long term changes should be considered, since the climate scenarios reach up to the year 2100. Hence a dynamic model with key variables like population, household structure, income level, quality level, environmental awareness, mobility and efficiency of industry that change over time.

Anthropological invariants: To make projections or even forecast household consumption the research for anthropological invariants and their formal description could be of crucial use. Here a nice example of including these invariants into a model is given by Victor and Schaefer (1999; Schaefer & Victor, 2000).

Impact of quality and labeled product: As our results showed wealthier households pay higher prices. The reason is a higher quality. Therefore it would be interesting to further assess the impact of quality. In literature this aspect is analyzed only little, and therefore it is not clear whether the lower impact found for more expensive cheese (Thiesen et al., 2006) is also true for other products.

5.2 Improvements on the data side

Income and expenditure survey

By some additional questions the connection of the Swiss impact and expenditure survey to the LCA processes could be strongly improved. We formulate these recommendations in German as they might be of primary interest to the Swiss federal office of statistics.

Anzahl gekaufte Artikel: Für die Bestimmung der Anzahl gekaufter Artikel muss heute davon ausgegangen werden, dass pro Einkauf jeweils ein Produkt in der jeweiligen Kategorie gekauft wurde. Es ist jedoch auch möglich, dass Beispielsweise mehrere Jeans, Teppiche etc. pro Einkauf gekauft werden. Die Berücksichtigung der Anzahl gekaufter Artikel würde auch die Untersuchung der Preise vereinfachen.

Gebäudedaten: Bis im Jahr 2003 wurden Daten zum Warmwasser- und Heizungssystem der Gebäude erhoben. Diese Daten erlauben eine bessere Beurteilung der Ökobilanz der Gebäude, insbesondere weil nur etwa 30 Prozent der Haushalte ihre Energiekosten sparat aufführen.

Mobilität: Hier würde eine Verfeinerung der Kategorisierung die tatsächliche Mobilität besser abzubilden erlauben. Bei den Tickets sollte zwischen Bahn und Tram, sowie 1. und 2. Klasse unterschieden werden. Bezüglich Abonnementen ist insbesondere die Unterscheidung von Halbtax, Strecken und die verschiedenen Generalabonnementen wichtig. Denn wenn ein Haushalt ein Halbtax hat muss es immer noch Tickets kaufen und somit dienen letztere als Proxi für die Mobilität. Bei einem Streckenabonnement oder Generalabonnement müssen jedoch keine Tickets mehr gekauft werden, weshalb diese selber als grober Proxi für die Mobilität dienen.

Dauer von Ferien: Insbesondere für Ferien, aber auch andere zeitintensive Dienstleistungen, wäre es gut eine Angabe zur Dauer der Dienstleistung zu haben, da sonst Aussagen über unterschiedliche Preise kaum möglich sind.

Güter allgemein: Es ist zu vermeiden die Hauptgüter und Zuberhör in eine Kategorie zu nehmen, da das Gewicht und die Umweltbelastung des Hauptgutes von jener des Zubehörs stark unterscheidet (z.B. Kategorie 903, „Foto- und Filmapparate und dauerhaftes Zubehör“).

Effizienzklassen und Labels: Für die Nahrungsmittel wurde zwischen biologischen und nicht biologischen Nahrungsmittel unterschieden. Diese Unterscheidung erlaubt interessante Untersuchungen zum umweltbewussten Einkauf. Zudem würde sie eine differenzierte Verknüpfung von Konsumkategorien und Ökobilanzprozessen erlauben (die Umweltbelastung von biologischen Nahrungsmitteln unterscheidet sich beispielsweise von konventionellen). Deshalb wäre es wünschenswert wenn auch in anderen Bereichen Labels wie beispielsweise FSC (Forest Stewardship Council) oder die Effizienzklasse von Geräten erhoben würden.

Environmental impact of prices

The difference between the household consumption model based on monetary units compared to the model based on functional units stems from the different prices paid by the household. These higher prices are mostly paid for higher quality, therefore the impact of quality would be of interest: If the price for an expensive bottle of wine is twice as much as the price of a cheap bottle, is the impact also twice as much? Does the impact per liter of wine remain the same? Or does the impact even decrease? To analyze this question would allow to (i) incorporate this effect into our model and (ii) appraise the potential of decoupling income and environmental impact through increasing quality of consumption.

New LCA Processes

Some consumption categories (COICOP 5th level) could not be connected to corresponding LCA processes very satisfying. Especially for the following consumption categories new LCA processes should be assessed and made available on the ECOINVENT database:

Services: For the services we needed mainly input-output data. This is especially unsatisfying for services like hair cutting, holidays or theater, because here we have large quality effects and using monetary units as functional unit does not allow distinguishing these different qualities.

Living and building: Compared to car driving the activity "living", which is also used in offices, is not well described in the ecoinvent database. A description of the impact of living per square meter for average buildings, MINERGIE- and MINERGIE-P buildings would be very useful.

Exemplary good: While for car driving, the ecoinvent provides by the VW Golf an exemplary car, for electronic article, durable goods, furnishings, non-durable goods the ecoinvent provides no exemplary goods. Such case studies would be valuable to improve the connection of LCA processes and the consumption categories.

5. Outlook

References

- Alfredsson, E. C. (2004). "Green" consumption-no solution for climate change. *Energy*, 29(4), 513-524.
- BFE. (2006). *Schweizerische Gesamtenergiestatistik* ((Swiss Federal Office of Energy), Trans.). Bern: BBL.
- Binswanger, M. (2001). Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? *Ecological Economics*, 36(1), 119-132.
- Durrenberger, G., Patzel, N., & Hartmann, C. (2001). Household energy consumption in Switzerland. *International Journal of Environment and Pollution*, 15(2), 159-170.
- Ecospeed SA. (2008). ECO -Privat. Internetbasierte Datenbank und Berechnungstool. Retrieved 30.07. 2008, from <http://eco2.ecospeed.ch/privat/>
- Frischknecht, R., & Rebitzer, G. (2005). The ecoinvent database system: a comprehensive web-based LCA database. *Journal of Cleaner Production*, 13(13-14), 1337-1343.
- Girod, B. V. S., & Mieg, H. A. (2008). Scientific and Political Reasons for Changes in the IPCC Scenarios Series. *GAIA*, 17(3), 302-311.
- Hertwich, E. G. (2005). Life cycle approaches to sustainable consumption: A critical review. *Environmental Science & Technology*, 39(13), 4673-4684.
- Jalas, M. (2002). A time use perspective on the materials intensity of consumption. *Ecological Economics*, 41(1), 109-123.
- Jalas, M. (2005). The everyday life context of increasing energy demands - Time use survey data in a decomposition analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), 129-145.
- Jungbluth, N. (2000). *Umweltfolgen des Nahrungsmittelkonsums: Beurteilung von Produktmerkmalen auf Grundlage einer modularen Ökobilanz*. ETH Zurich, Zurich.
- Jungbluth, N., Steiner, R., & Frischknecht, R. (2007). *Graue Treibhausemissionen der Schweiz 1990 - 2004, Erweiterte und aktualisierte Bilanz*. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Kaenzig, J., & Jolliet, O. (2006). *Umweltbewusster Konsum: Schlüsselentscheide, Akteure und Konsummodelle* (Vol. Umwelt-Wissen Nr. 0616). Bern: Swiss Federal Office for the Environment.
- PRé Consultants. (2008). SimaPro 7.1 LCA software Amersfoort, Netherlands.
- Schafer, A., & Victor, D. G. (1999). Global passenger travel: implications for carbon dioxide emissions. *Energy*, 24(8), 657-679.
- Schafer, A., & Victor, D. G. (2000). The future mobility of the world population. *Transportation Research Part a-Policy and Practice*, 34(3), 171-205.
- Sorrel, S. (2007). *The Rebound Effect - an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*. UKERC (UK Energy Research Centre).
- Swiss EPA. (2005). *Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1999–2003 – National Inventory Report*. Bern: BAFU.
- Takase, K., Kondo, Y., & Washizu, A. (2005). An analysis of sustainable consumption by the waste input-output model. *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), 201-219.
- Thiesen, J., Torben, S. C., Kristen, T. G., Andersen, D. R., Brunoe, B., Gregersen, T. K., et al. (2006). Rebound Effect of Price Differences. *International Journal on Life-Cycle-Assessment*.
- Vringer, K., & Blok, K. (1995). The Direct and Indirect Energy-Requirements of Households in the Netherlands. *Energy Policy*, 23(10), 893-902.

Appendices

Appendix A – STATA Commands

*1. merge surveys of 2002 to 2005 to one database (TB_all)

*Description: This code merges all data from 2002 to 2005 using the household identifier (haushalt_id) as key variable. The code includes three steps: (i) loading the log with the purchases of the households; (ii) merging the household characteristics, which are used for deriving functional units of living, the distinction of household types and the weighting of the households; and (iii) merging the number of secondary homes, which are also used for deriving the functional units of living.

*loading of purchases

```
foreach yr in 02 03 04 05 {  
    insheet using "d:\girodb\504_Daten\3_EVE\2_input\VE20`yr'\hhbuch_tagebuch_union_20`yr'.txt", clear  
    compress  
    for var betrag_chf menge: replace X=. if X<0  
    rename nomenklatur_stufe5_id kv5  
    rename betrag_chf s  
    rename menge pu  
    gen n=1  
    collapse (sum) n s pu, by(haushalt_id kv5)  
    sort haushalt_id  
    gen yr=20`yr'  
    save junk_TB_`yr', replace
```

*merge of household characteristics

```
insheet using "d:\girodb\504_Daten\3_EVE\2_input\VE20`yr'\haushalt_20`yr'.txt", clear  
compress  
sort haushalt_id  
keep haushalt_id anz_zimmer anz_personen anz_zus_raeume gewicht  
merge haushalt_id using junk_TB_`yr'  
rename anz_personen n_pers  
rename _merge merge_hh  
sort haushalt_id  
save junk_TB_`yr', replace
```

*merge secondary homes

```
insheet using "d:\girodb\504_Daten\3_EVE\2_input\VE20`yr'\zweitwohnsitz_20`yr'.txt", clear  
compress  
collapse (count) n_zweitwohnsitze=zweitwohnsitz_nr, by(haushalt_id)
```

```

sort haushalt_id
merge haushalt_id using junk_TB_`yr'
rename _merge merge_2w
save junk_TB_`yr', replace
}

```

```

*datas from 2002 to 2005 to one file
use junk_TB_05, clear
save junk_TB_all, replace
foreach yr in 02 03 04 {
use junk_TB_all, clear
append using junk_TB_`yr'
save junk_TB_all, replace
}

```

```

compress
save TB_all, replace

```

***2. add assumption on functional units, lca and main categories**

*Description: The assumption about functional units are added and therewith the variable with the functional units, fu, is generated.

```

*add table with assumption about functional units (see Appendix 2)
use TB_all, clear
sort kv5
save TB_all_fu, replace
insheet using "d:\girodb\500_Doktorat\3_work\C_X_VECTOR\assumptions.txt", clear
compress
sort kv5
merge kv5 using TB_all_fu
rename _merge merge_assumptions
save TB_all_fu, replace
save TB_all_fu, replace

```

```

*generate fu
gen fu=.
rename anz_zimmer nro
rename anz_zus_raeume nro2
rename n_zweitwohnsitze nap2

```

```

*connect living space to "remaining living costs"
gen nro_a=1 if code=="nro_a"
egen cat_nro_a=sum(nro_a), by(haushalt_id)
replace code="nro_a" if cat_nro_a==0 & (kv5==434 | kv5==436)

gen nap2_a=1 if code=="nap2_a"
egen cat_nap2_a=sum(nap2_a), by(haushalt_id)
replace code="nap2_a" if cat_nap2_a==0 & (kv5==435 | kv5==437)

```

```

foreach yr in 02 03 04 05 {
foreach a in s pu n nro nro2 nap2 {
replace fu=`a`*assum_`yr' if code=="`a'_a" & yr==20`yr'
}
}
replace fu=s if code=="s"
replace fu=pu if code=="pu"

*halbtax entfernen
gen price=s/n
replace fu=. if kv5==722 & price>15

save TB_all_fu, replace

*generate ghg
*add table with assumption about LCA processes and impact (see Appendix 3)

gen ghg=fu*a_lca*ghg_fu

*bei living muss doch mal spending gerechnet werden!!!

*increase weight of heating
gen ghg_heating=ghg if kv5>=442 & kv5<=471
egen sum_ghg_heating=sum(ghg_heating), by(haushalt_id)

bysort haushalt_id: gen hh_nr=_n

*hh mit heating
gen hh_heating=1 if hh_nr==1 & sum_ghg>0
egen sum_hh_heating=sum(hh_heating)

*hh tot erstellen
gen hh_nr_1=1 if hh_nr==1
egen hh_tot=sum(hh_nr_1)

gen ghg_living=ghg*(hh_tot/sum_hh_heating) if kv5>=442 & kv5<=471

replace ghg=ghg*(hh_tot/sum_hh_heating) if kv5>=442 & kv5<=471

drop *heating hh_nr_1

save TB_all_fu_lca, replace

*collapse to main consumption categories

```

```

label define kvp1 1 "income" 2 "food" 3 "beverage" 4 "eating out" 5 "tobaccos" 6 "living" 7 "electricity" 8 "furnishing" 9
"clothes" 10 "other goods" 11 "books and news" 12 "personal hygiene" 13 "car" 14 "public traffic" 15 "airplane" 16 "bike" 17
"services (t)" 18 "holidays" 19 "education" 20 "services (s)" 21 "other transfers" 22 "insurances" 23 "tax"
lab val kvp1 kvp1

replace fu=o if fu_o==o
gen hh_heating_cost=s if (kv5>=442 & kv5<=471)

collapse (sum) hh_heating_cost n s fu ghg (mean) n_pers, by(haushalt_id kvp1 gewicht)

*harmonize all
egen sum_ghg=sum(ghg), by(kvp1)
egen sum_fu=sum(fu), by(kvp1)
gen ghg_fu=sum_ghg/sum_fu
replace ghg=fu*ghg_fu

drop sum* ghg_fu

save TB_main_cat, replace

```

***3. calculation of tables**

***3.1. Derivation of functional unit from the income and spending survey.**

```

insheet using "d:\girodb\500_Doktorat\3_work\C_X_VECTOR\fu_assumptions.txt", clear
sort kv5
save fu_assumption, replace
insheet using "d:\girodb\500_Doktorat\3_work\CAT\CAT_2005.txt", clear
sort kv5
merge kv5 using fu_assumption
replace code=="e_a" if (code=="nap2_a" | code=="nro2_a" | code=="nro_a")
label define kv2 1 "Einkommen aus unselbständiger Arbeit" 2 "Einkommen aus selbständiger Arbeit" 3 "Einnahmen aus
Vermietung" 4 "Vermögenseinkommen" 5 "Sozialleistungen" 6 "Übrige Transfereinkommen" 8 "Nahrungsmittel und
alkoholfreie Getränke" 9 "Alkoholische Getränke und Tabakwaren" 10 "Bekleidung und Schuhe" 11 "Wohnen und Energie"
12 "Wohnungseinrichtung und laufende Haushaltsführung" 13 "Gesundheitspflege" 14 "Verkehr" 15
"Nachrichtenübermittlung" 16 "Unterhaltung, Erholung und Kultur" 17 "Schul- und Ausbildungsgebühren" 18 "Gast- und
Beherbergungsstätten" 19 "Andere Waren und Dienstleistungen" 20 "Versicherungen" 21 "Beiträge, Spenden und
sonstige Übertragungen" 22 "Steuern und Gebühren", modify
label val kv2 kv2
replace code=subinstr(code,"-","s",1)
tab kv2 code
tabout kv2 code using tab_kv_code.xls, replace
tab kv2 fu_unit
tabout kv2 fu_unit using tab_kv_fu.xls, replace

```

***3.2. From kv2 to kvp1**

```

insheet using "d:\girodb\500_Doktorat\3_work\CAT\CAT_2005.txt", clear
sort kv5

```

```

save eve_cat, replace
insheet using "d:\girodb\500_Doktorat\3_work\P1\P1_ASSUMPTIONS\P1_vector.txt", tab clear
sort kv5
merge kv5 using eve_cat
label define kv2 1 "Einkommen aus unselbständiger Arbeit" 2 "Einkommen aus selbständiger Arbeit" 3 "Einnahmen aus Vermietung" 4 "Vermögenseinkommen" 5 "Sozialleistungen" 6 "Übrige Transfereinkommen" 8 "Nahrungsmittel und alkoholfreie Getränke" 9 "Alkoholische Getränke und Tabakwaren" 10 "Bekleidung und Schuhe" 11 "Wohnen und Energie" 12 "Wohnungseinrichtung und laufende Haushaltsführung" 13 "Gesundheitspflege" 14 "Verkehr" 15 "Nachrichtenübermittlung" 16 "Unterhaltung, Erholung und Kultur" 17 "Schul- und Ausbildungsgebühren" 18 "Gast- und Beherbergungsstätten" 19 "Andere Waren und Dienstleistungen" 20 "Versicherungen" 21 "Beiträge, Spenden und sonstige Übertragungen" 22 "Steuern und Gebühren", modify
label val kv2 kv2
label define kvp1 1 "income" 2 "food" 3 "beverage" 4 "eating out" 5 "tobaccos" 6 "living" 7 "electricity" 8 "furnishing" 9 "clothes" 10 "other goods" 11 "books and news" 12 "personal hygiene" 13 "car" 14 "public traffic" 15 "airplane" 16 "bike" 17 "services (t)" 18 "holidays" 19 "education" 20 "services (s)" 21 "other transfers" 22 "insurances" 23 "tax", modify
lab val kvp1 kvp1
tab kvp1 kv2
tabout kvp1 kv2 using tab_kv2_kvp1.xls, replace

```

***3.3. Changes in deriving functional unit for new category**

```

insheet using "d:\girodb\500_Doktorat\3_work\C_X_VECTOR\assumptions.txt", tab clear
label define kvp1 1 "income" 2 "food" 3 "beverage" 4 "eating out" 5 "tobaccos" 6 "living" 7 "electricity" 8 "furnishing" 9 "clothes" 10 "other goods" 11 "books and news" 12 "personal hygiene" 13 "car" 14 "public traffic" 15 "airplane" 16 "bike" 17 "services (t)" 18 "holidays" 19 "education" 20 "services (s)" 21 "other transfers" 22 "insurances" 23 "tax", modify
lab val kvp1 kvp1
tabout kvp1 code using tab_kvp1_codep1.xls, replace
tabout kvp1 fu_o using tab_kvp1_codep1.xls, append

```

***3.4. Number of adults and children in surveyed households**

```

use TB_all, clear
gen hh_income=s if kv5<100
collapse (sum) hh_income, by(haushalt_id)
sort haushalt_id
save TB_all_pers, replace

*get data about the persons
foreach yr in 02 03 04 05 {
  insheet using "d:\girodb\504_Daten\3_EVE\2_input\VE20`yr\person_20`yr.txt", clear
  gen u18=1 if alter_jahre<18
  replace u18=0 if u18==.
  gen n_pers=1
  collapse (sum) u18 n_pers, by(haushalt_id)
  sort haushalt_id
  merge haushalt_id using TB_all_pers, sort
  rename _merge merge_u18_`yr'
  save TB_all_pers, replace
}
gen p18=n_pers-u18

```

tab p18 u18

***3.5. Income and household structure of different household types**

```
gen hh_type=4
replace hh_type=1 if p18==1 & u18==0
replace hh_type=2 if p18==2 & u18==0
replace hh_type=3 if (n_pers<4 & u18!=0) | (n_pers==3 & u18==0)
label define hh_type 1 "single" 2 "two adult" 3 "small family (<4 persons)" 4 "large family (>3 person)", modify
label val hh_type hh_type
gen hp_income=hh_income/n_pers
table hh_type, c(count haushalt_id mean hh_income mean hp_income mean n_pers mean u18)
save hh_type, replace
```

***3.6. Average consumption, spending and impact per year (2002 - 2005)**

```
use TB_main_cat, clear
bysort haushalt_id: gen hh_nr=n
egen junk_hh_nr_1=anycount(hh_nr), values(1)
egen hh_tot=sum(junk_hh_nr_1)

foreach i in n s fu ghg {
    gen `i'p=`i'*(1/(n_pers))*(1/hh_tot)*(12)
}
replace fup=fu*(1/(n_pers))*(1/hh_tot) if kvp1==6
table kvp1, c(sum np sum fup sum sp sum ghgp) row

*Gewichtet
gen junk_gewicht_tot=gewicht if hh_nr==1
egen gewicht_tot=mean(junk_gewicht_tot)
foreach i in n s fu ghg {
    gen `i'w=`i'p*(gewicht/gewicht_tot)
}
replace fuw=fup*(gewicht/gewicht_tot) if kvp1==6
table kvp1, c(sum nw sum fuw sum sw sum ghgw) row
tabout kvp1 using T_bottom_up.xls, c(sum np sum fup sum sp sum ghgp sum ghgw) sum f(6c) replace
save TB_main_cat, replace
```

***3.7. Model based on monetary expenditure (s) or functional units (y): Figures**

```
use TB_main_cat, clear
gen ghg_living=ghg if kvp1==6
egen ghg_living_tot=sum(ghg_living), by(haushalt_id)
drop if ghg_living_tot==0

*s model
egen sum_s=sum(s), by(kvp1)
egen sum_ghg=sum(ghg), by(kvp1)
gen ghg_s=sum_ghg/sum_s
gen s_ghg=s*ghg_s

gen income=s if kvp1==1
gen spending=s if kvp1!=1

foreach i in ghg s_ghg income spending {
    replace `i'=0 if `i'==.
```

```

}

collapse (sum) spending income ghg s_ghg, by(haushalt_id)
*hh typen hinzufügen
sort haushalt_id
merge haushalt_id using hh_type, sort
label define hh_type 1 "single" 2 "two adult" 3 "little family" 4 "big family", modify
label val hh_type hh_type

drop if (spending==0 | income==0 | ghg==0 | s_ghg==0)
drop if (spending==. | income==. | ghg==. | s_ghg==.)

*figures (gladders):
foreach i in ghg s_ghg income spending {
  gladder `i'
  graph export main_cat_ladder_`i'.eps, replace
}

foreach i in ghg s_ghg income spending {
  gen log_`i'=log(`i')
}

foreach i in ghg s_ghg income spending {
  gen sqrt_`i'=sqrt(`i')
}

*figures for against income and spending
foreach i in income spending {
  *scatter, by hh types
  scatter log_ghg log_`i', msymbol(X) msymbol(X) msize(tiny) || scatter log_s_ghg log_`i', msymbol(X) msymbol(X) msize(vtiny) lwidth(vthin) || lfit log_ghg log_`i' || lfit log_s_ghg log_`i' ||, by(hh_type, total row(3)) legend(lab(1 "model based on fu") lab(2 "model based on spending") lab(3 "model based on fu") lab(4 "model based on spending")) xtitle("log of spending per household [CHF]") ytitle("log of ghg-emissions per household [tCO2-Eq.]") xlabel(5(2.5)12.5) xlabel(2.5(2.5)12.5)
  graph export main_cat_compare_modell_and_hh_type_`i'.eps, replace

  *scatter all an hh_types for different models
  scatter log_s_ghg log_`i', msymbol(X) msymbol(X) msize(tiny) || lfit log_s_ghg log_`i' if hh_type==1 || lfit log_s_ghg log_`i' if hh_type==2 || lfit log_s_ghg log_`i' if hh_type==3 || lfit log_s_ghg log_`i' if hh_type==4 || lfit log_s_ghg log_`i' ||, legend(lab(1 "all") lab(2 "single") lab(3 "two adult") lab(4 "small family") lab(5 "large family") lab(6 "all")) xtitle("log of spending per household [CHF]") ytitle("log of ghg-emissions per household [tCO2-Eq.]") xlabel(5(2.5)12.5) xlabel(2.5(2.5)12.5)
  graph export main_cat_hh_types_`i'.eps, replace

  *scatter all compare models
  scatter log_ghg log_`i', msymbol(X) msymbol(X) msize(tiny) || scatter log_s_ghg log_`i', msymbol(X) msymbol(X) msize(vtiny) lwidth(vthin) || lfit log_ghg log_`i' || lfit log_s_ghg log_`i' ||, legend(lab(1 "model based on fu") lab(2 "model based on spending") lab(3 "model based on fu") lab(4 "model based on spending")) xtitle("log of `i' per household [CHF]") ytitle("log of ghg-emissions per household [tCO2-Eq.]") xlabel(5(2.5)12.5) xlabel(2.5(2.5)12.5)
  graph export main_cat_compare_modell_`i'.eps, replace
}

```

*3.8. Estimates for income rebound

```

clear
set mem 500m

```

```

cd d:\girodb\500_Doktorat\3_work\P1
cap log close
log using P1.log, replace

*foreach m in main_cat kv5 {

foreach m in main_cat kv5 {
if "`m'"=="main_cat" {
use TB_main_cat, clear
gen ghg_living=ghg if kvp1==6
egen ghg_living_tot=sum(ghg_living), by(haushalt_id)
drop if ghg_living_tot==0

*s model
egen sum_s=sum(s), by(kvp1)
egen sum_ghg=sum(ghg), by(kvp1)
gen ghg_s=sum_ghg/sum_s
gen s_ghg=s*ghg_s

gen income=s if kvp1==1
gen spending=s if kvp1!=1
}

if "`m'"=="kv5" {
use TB_all_fu, clear
*ghg (without weight for living)
gen ghg=fu*a_lca*ghg_fu

*s model
egen sum_s=sum(s), by(kv5)
egen sum_ghg=sum(ghg), by(kv5)
gen ghg_s=sum_ghg/sum_s
gen s_ghg=s*ghg_s
gen ghg_living=ghg if kv5>=442 & kv5<=471
egen ghg_living_hh=sum(ghg_living), by(haushalt_id)
drop if ghg_living_hh==0
gen spending=s if kv5>100
gen income=s if kv5<100
}

*tax
gen tax=s if kvp1==22
gen transfer=s if kvp1==21
foreach i in ghg s_ghg income spending {
replace `i'=0 if `i'==.
}

```

```

collapse (sum) spending income ghg s_ghg tax transfer, by(haushalt_id)

*hh typen hinzufügen
sort haushalt_id
merge haushalt_id using hh_type, sort
label define hh_type 1 "single" 2 "two adult" 3 "little family" 4 "big family", modify
label val hh_type hh_type

for var spending income ghg s_ghg tax transfer: drop if X==. | X==0

*no tax no transfer
foreach i in income spending {
gen `i'_nt=`i'-tax
gen `i'_ntt=`i'-tax-transfer
}

foreach i in ghg s_ghg income spending income_nt income_ntt spending_nt spending_ntt {
gen log_`i'=log(`i')
}

foreach i in income spending income_nt income_ntt spending_nt spending_ntt{
*values
forvalue n=1(1)4 {
regress log_ghg log_`i' if hh_type==`n'
est store hm_fu_hh_type_`n'
regress log_s_ghg log_`i' if hh_type==`n'
est store hm_s_hh_type_`n'
}
regress log_ghg log_`i'
est store hm_fu_hh_type_tot
regress log_s_ghg log_`i'
est store hm_s_hh_type_tot

estout * using t_`m'_reg_el_`i'.txt, stats(N) replace

est drop *
forvalue n=1(1)4 {
mean `i' if hh_type==`n'
est store hm_fu_hh_type_`n'
est store hm_s_hh_type_`n'
}
mean `i'
est store hm_s_hh_type_tot
est store hm_fu_hh_type_tot
estout * using t_`m'_reg_el_`i'.txt, append
est drop *

```

```

}

}

***  

foreach m in main_cat kv5 {  

foreach i in income spending income_ntt income_ntt spending_ntt spending_ntt{  

insheet using "d:\girodb\500_Doktorat\3_work\P1\t_`m'_reg_el_`i'.txt", clear  

drop if v1==""  

destring v*, replace  

drop v1  

xpose, clear  

rename v1 a  

rename v2 const  

rename v3 N  

rename v4 mean_s  

gen rebound_est=exp(const)*(mean_s+1)^a-exp(const)*mean_s^a  

gen hh_method=_n  

label define hh_method 1 "fu, single" 2 "s, sinlge" 3 "fu, two adult" 4 "s, two adult" 5 "fu, small family" 6 "s, small family" 7  

"fu, large family" 8 "s, large family" 9 "fu, total" 10 "s, total", modify  

label val hh_method hh_method  

gen calc_chf=`i"  

gen calc_ghg=`m"  

if "`m'"=="main_cat" & "`i'"=="income" {  

save rebound_estimates, replace  

}  

append using rebound_estimates  

save rebound_estimates, replace  

}  

}  

use rebound_estimates, clear  

gen rebound_est_w=mean_s*rebound_est  

gen ghg_method="fu" if hh_method==1 | hh_method==3 | hh_method==5 | hh_method==7  

replace ghg_method="s" if hh_method==2 | hh_method==4 | hh_method==6 | hh_method==8  

replace ghg_method="fu, total" if hh_method==9  

replace ghg_method="s, total" if hh_method==10  

collapse (sum) mean_s rebound_est rebound_est_w, by(calc_chf calc_ghg ghg_method)  

gen rebound_est_2=rebound_est_w/mean_s  

drop if calc_chf=="income_nt" | calc_chf=="spending_nt"  

table ghg_method calc_ghg calc_chf, c(mean rebound_est_2)

```

***3.9. Swiss average household consumption (5th COICOP level)**

```
use TB_all_fu_lca, clear
```

```

foreach i in n s fu ghg {
  gen `i'p=`i*(1/(n_pers))*(1/hh_tot)*(12)
}
replace fup=fu*(1/(n_pers))*(1/hh_tot) if kvp1==6

*gewichtet
gen junk_gewicht_tot=gewicht if hh_nr==1
egen gewicht_tot=mean(junk_gewicht_tot)
foreach i in n s fu ghg {
  gen `i'w=`i'p*(gewicht/gewicht_tot)
}

replace kv5=1 if kv5<100
replace kvd5="income" if kv5<100

collapse (sum) n fuw sw ghw, by(kv5 kvd5 fu_unit)
outsheet using annex_kv5_table.xls, replace

```

Appendix B – Swiss average household consumption (5th COICOP level)

Table 16: purchases, spending, functional units and carbon emissions of average Swiss household on 5th COICOP level (2002-2005)

kv5	COICOP 5th level	fu unit	n	fu _w	s _w	ghg _w
1	income		263177	00	53681	00
101	Reis	kg	9133	4.0	12	1.8
102	Brot	kg	157745	28	178	29
103	Teigwaren	kg	35356	9.5	46	9.9
104	Kleines Brotgebäck	kg	110370	8.5	144	8.9
105	Weizenmehl	kg	7341	4.7	7.4	4.9
106	Übrige Mehle, Stärke, Griess, Flocken und Getreidekörner	kg	9044	2.4	11	2.5
107	Andere Produkte auf Getreidebasis	kg	38548	2.8	53	2.9
108	Rindfleisch zum Schnellbraten / Grillieren: Filet, Entrecôte, Steak usw.	kg	6655	1.3	51	20
109	Rindfleisch zum Braten: Braten, Schulter, Voressen usw.	kg	2507	0.63	15	9.9
110	Rindfleisch: Siedfleisch, Gehacktes oder übriges Kalbfleisch zum Schnellbraten / Grillieren: Filet, Plätzli, Geschnetzeltes usw.	kg	7818	2.0	32	31
112	Kalbfleisch zum Braten: Voressen, Braten usw.	kg	2044	0.46	15	11
113	Kalbfleisch zum Sieden oder übriges Schweinefleisch zum Schnellbraten / Grillieren: Filet, Plätzli, Koteletten usw.	kg	810	0.36	8.3	8.3
114	Schweinefleisch zum Braten: Braten, Voressen, Plätzli, Stotzen/Hals usw.	kg	15647	3.0	70	10
115	Schweinefleisch: übrige frische Teile, nicht gesalzen und nicht geräuchert	kg	5240	1.5	27	4.9
116	Schafffleisch und Ziegenfleisch, frisch und tiefgekühlt	kg	966	0.77	8.4	2.6
118	Geflügel: ganz	kg	3547	0.87	26	10
119	Geflügel: Brust, Schnitzel, Geschnetzeltes	kg	15372	2.5	55	6.9
120	Geflügel: Pouletschenkel, Pouletflügeli und übriges Pouletfleisch	kg	6410	1.6	21	4.4
121	Würste, Wurstwaren und Pasteten	kg	88934	9.3	168	78
122	Schweinefleisch: Schinken, Speck und übrige Teile, gekocht, getrocknet, gesalzen oder geräuchert	kg	51293	4.2	114	14
123	Geflügel: grilliert oder geräuchert	kg	3268	0.42	8.1	1.2
124	Übriges gekochtes, getrocknetes, gesalzenes oder geräuchertes Fleisch	kg	10968	0.62	32	5.2
125	Innereien und Knochen	kg	2195	0.37	5.7	3.1
126	Fleischkonserven und fleischhaltige Erzeugnisse	kg	3344	0.46	5.7	3.8
127	Wild, frisch oder tiefgekühlt	kg	629	0.23	5.7	1.9
128	Pferdefleisch, frisch oder tiefgekühlt	kg	1568	0.25	8.2	2.1
129	Kaninchenfleisch, frisch oder tiefgekühlt	kg	1072	0.38	6.9	3.2
130	Sonstiges Fleisch, frisch oder tiefgekühlt	kg	9148	1.8	37	15
131	Fisch, frisch oder tiefgekühlt	kg	11299	2.2	55	19
132	Meeresfrüchte, frisch oder tiefgekühlt	kg	3071	0.65	15	5.5
133	Fische und Meeresfrüchte, zubereitet und tiefgekühlt	kg	3444	0.61	9.3	5.1
134	Fische und Meeresfrüchte, getrocknet, gesalzen oder geräuchert	kg	3658	0.34	15	2.8
135	Fischkonserven, Konserven von Meeresfrüchten und konservierte Produkte auf der Grundlage von Fisch oder Meeresfrüchten	kg	7286	0.92	12	7.7
136	Voll-, Frischmilch pasteurisierte (PAST) oder uperisierte (UP) Vollmilch	kg	22869	22	31	18
137	Pasteurisierte (PAST) oder uperisierte (UP) Vollmilch	kg	22103	18	26	14
138	Magermilch, Milchdrink	kg	26375	24	35	19

kv5	COICOP 5th level	fu unit	n	fu _w	s _w	ghg _w
139	Magermilch (UP)	kg	1240	1.2	1.6	0.94
140	Kondensmilch, Milchpulver	kg	592	0.13	1.2	0.89
141	Joghurt und Produkte auf der Grundlage von Joghurt	kg	38951	8.5	35	86
142	Sauermilch, Quark, Frischkäse	kg	23592	2.4	26	24
143	Frisch-, Weich-, Halbhart-, Hart-, Extrahart-, Schmelzkäse	kg	115870	13	235	130
144	Rahm	kg	39616	5.6	44	4.5
145	Getränke auf der Grundlage von Milch	kg	6306	1.8	6.7	1.4
146	Joghurt, Quark, Getränke und andere Produkte auf Milchbasis	kg	59887	5.4	66	4.3
147	Eier, frisch	kg	27893	4.3	45	12
148	Verarbeitete Eier	kg	2181	0.21	3.5	0.57
149	Butter	kg	28830	3.4	44	64
150	Margarine	kg	8876	1.2	10	23
151	Andere Pflanzenfette	kg	1444	0.29	2.6	0.78
152	Olivenöl	kg	3692	1.6	18	4.5
153	Übriges Speiseöl	kg	6562	3.0	13	8.2
154	Sonstige tierische Speisefette	kg	45	0.011	0.058	00
155	Orangen	kg	11824	7.3	18	1.3
156	Zitronen	kg	9613	1.5	6.8	0.27
157	Übrige Zitrusfrüchte	kg	12469	5.8	16	1.0
158	Bananen	kg	29890	9.0	28	1.6
159	Äpfel	kg	29234	16	50	2.9
160	Birnen	kg	9658	3.4	12	0.59
161	Quitten	kg	98	0.19	0.41	0.033
162	Steinobst	kg	23309	9.1	40	1.6
163	Beeren	kg	12869	3.4	30	0.60
164	Trauben	kg	11196	4.8	19	0.84
165	Melonen und Wassermelonen	kg	7102	3.5	11	0.62
166	Übrige exotische Früchte	kg	14503	3.4	22	0.60
167	Nüsse, andere Schalenfrüchte und ölhaltige Früchte	kg	16738	2.3	27	0.40
168	Anderes Dörrobst	kg	8473	1.3	15	0.22
169	Fruchtkonserven	kg	10095	1.6	11	0.28
170	Grüne Salate und anderes Blattgemüse	kg	74306	11	83	2.7
171	Stengelgemüse	kg	14839	3.2	16	0.80
172	Küchenkräuter	kg	10680	0.49	9.8	0.12
173	Kohlgemüse	kg	18662	4.6	19	1.2
174	Tomaten	kg	28746	8.1	37	2.0
175	Bohnen und Erbsen	kg	7675	2.4	14	0.61
176	Anderes Fruchtgemüse	kg	37594	8.0	37	2.0
177	Zwiebeln und Knoblauch	kg	16398	3.7	13	0.94
178	Rüben und anderes Wurzelgemüse	kg	37733	11	45	2.8
179	Pilze, frisch	kg	6891	0.71	9.8	0.18
180	Gedörrte oder gefriergetrocknete Gemüse und Pilze	kg	3104	0.35	5.9	0.088
181	Gemüse- und Pilzkonserven, Gemüse- und Pilzzubereitungen	kg	32875	7.0	37	1.7
182	Kartoffeln	kg	20548	19	31	4.7
183	Kartoffelhaltige Produkte	kg	24035	3.7	35	0.93
184	Andere Knollen	kg	179	0.041	0.28	0.010
185	Zucker (roh oder raffiniert)	kg	9536	3.9	11	2.4

kv5	COICOP 5th level	fu unit	n	fu _w	s _w	ghg _w
186	Konfitüren, Marmeladen, Kompott	kg	12939	2.2	19	1.3
187	Honig	kg	3069	0.55	14	0.34
188	Schokolade (Tafeln und Riegel)	kg	52223	2.2	114	1.3
189	Süßwaren	kg	24247	1.3	32	0.79
190	Speiseeis (Glacen)	kg	15458	0.88	37	0.54
191	Andere zucker- und/oder kakaohaltige Produkte	kg	2402	0.082	3.2	0.051
192	Saucen, Würzstoffe, Würze	kg	50796	2.0	68	1.0
193	Salz und Gewürze	kg	13419	0.54	13	0.28
194	Suppen und Bouillons	kg	11668	0.27	23	0.14
195	Aromaessenzen, Backpulver, Presshefe usw. Küchenfertige Mahlzeiten (Nahrungsmittel mit mehreren Hauptbestandteilen)	kg	6335	0.64	2.6	0.32
196	Vegetarische Sojaprodukte	kg	41092	1.8	104	0.93
197	Sonstige Nahrungsmittel	kg	1894	0.29	3.9	0.15
198	Babynahrung mit Hauptbestandteil Getreide	kg	6822	0.60	43	0.31
199	Babynahrung mit Hauptbestandteil Fleisch	kg	565	0.045	0.84	0.023
200	Babynahrung mit Hauptbestandteil Milch	kg	102	00	0.14	00
201	Babynahrung mit Hauptbestandteil Früchte	kg	897	0.16	3.5	0.080
202	Babynahrung mit Hauptbestandteil Gemüse	kg	322	0.031	0.37	0.016
203	Babynahrung mit Hauptbestandteil Kakao	kg	234	0.023	0.31	0.012
204	Babynahrung mit mehreren Hauptbestandteilen	kg	37	00	0.066	00
205	Patisserie, Kuchen	kg	654	0.087	1.6	0.044
206	Kekse, Zwieback	kg	23937	1.1	53	0.68
207	Kaffee: Bohnenkaffee und gemahlener Kaffee	kg	26644	3.4	43	2.1
211	Kaffeesurrogate (Kaffee-Ersatz)	kg	12002	3.4	57	16
212	Löslicher Pulverkaffee	kg	514	0.064	1.2	0.30
213	Schwarztee, Kräutertee und Surrogate	kg	3435	0.42	15	1.9
214	Kakaohaltige Nährmittel	kg	13116	0.74	22	3.5
215	Mineralwasser	kg	3062	0.79	8.7	3.7
216	Süßgetränke (Coca, Sprite, Fanta usw.)	kg	27072	91	67	8.4
217	Fruchtsäfte	kg	39269	48	68	4.4
218	Sirupe für Getränke	kg	29919	25	50	2.3
219	Gemüsesäfte	kg	5700	1.9	7.7	0.17
220	Alkoholfreier Likör	kg	985	0.46	2.0	0.043
221	Alkoholfreier Wein	kg	125	0.037	0.16	00
222	Aperitifs, Süßwein und Apfelwein ohne Alkohol	kg	5	00	00	00
223	Alkoholfreies Bier	kg	1466	1.2	3.3	0.11
224	Übrige alkoholfreie Getränke	kg	601	0.80	2.4	0.074
225	Branntweine und Liköre	kg	1754	1.0	3.9	0.095
251	Weine	kg	3179	1.2	34	3.4
252	Qualitätsweine, Weine zum Einkellern	kg	18884	19	184	55
253	Aperitifs, süsse Weine und Apfelweine	kg	2879	3.2	63	9.4
254	Alkoholhaltiges Bier	kg	4687	3.2	35	9.4
255	Zigaretten	kg	10001	15	42	16
256	Zigarren und Zigarillos	kg	36735	1.7	219	1.0
257	Andere Tabakwaren und Zubehör	kg	915	0.041	7.9	0.025
258	Drogen	kg	1085	0.051	5.3	0.031
259	00	51	00	2.5	00	

kv5	COICOP 5th level	fu unit	n	fu _w	s _w	ghg _w
271	Mahlzeiten in den Restaurants, Cafés u.ä.	kg	110521	27	1298	205
272	Alkoholfreie Getränke in den Restaurants, Cafés, Bar u.ä.	kg	155405	23	503	2.1
273	Alkoholische Getränke in den Restaurants, Cafés, Bar u.ä.	kg	60909	9.3	481	27
274	Mahlzeiten von Erfrischungsstand, Fast-Food, Snacks, Partyservice u.ä.	kg	35842	4.8	171	35
275	Alkoholfreie Getränke von Erfrischungsstand, Fast-Food, Snacks, Partyservice u.ä.	kg	20730	1.8	45	0.17
276	Alkoholische Getränke von Erfrischungsstand, Fast-Food, Snacks, Partyservice u.ä.	kg	4291	0.39	26	1.1
277	Mahlzeiten in Kantinen und Personalrestaurants	kg	43788	9.9	179	73
278	Alkoholfreie Getränke in Kantinen und Personalrestaurants	kg	47535	4.1	59	0.38
279	Alkoholische Getränke in Kantinen und Personalrestaurants	kg	1590	0.14	5.1	0.41
280	Hotels, Pensionen und Privatzimmer	hour	2769	36	339	40
281	Ferienwohnungen	hour	268	7.6	53	6.3
282	Campingplätze	hour	346	11	14	2.1
283	Sonstige Übernachtungen	hour	155	2.5	5.0	0.50
301	Kleiderstoffe	kg	634	0.025	10	0.41
302	Herremäntel	kg	47	0.020	6.9	0.32
303	Herrenanzüge und Herrenkombinationen	kg	129	0.025	24	0.41
304	Lange und kurze Hosen für Herren, Shorts	kg	1517	0.42	51	7.0
305	Jeans für Herren	kg	485	0.21	21	3.4
306	Vestons und Jacken für Herren	kg	894	0.25	56	4.1
307	Oberhemden für Herren	kg	1574	0.40	42	6.6
308	Pullover, Sweat- und T-shirts für Herren	kg	2709	0.56	57	9.2
309	Unterwäsche für Herren	kg	3350	0.14	29	2.2
310	Sportkleider für Herren	kg	643	0.12	28	2.0
311	Arbeitskleider für Herren	kg	105	0.027	2.8	0.45
312	Übrige Herrenbekleidung	kg	358	0.029	12	0.48
313	Damenmäntel	kg	191	0.063	17	1.0
314	Damenkostüme und Hosenanzüge	kg	888	0.14	44	2.3
315	Lange und kurze Hosen für Damen, Shorts	kg	2886	0.64	80	11
316	Jeans für Damen	kg	752	0.22	23	3.7
317	Jacken und Blazer für Damen	kg	2138	0.49	90	8.1
318	Blusen für Damen	kg	1645	0.36	42	5.9
319	Pullover, Sweat- und T-shirts für Damen	kg	7243	1.2	127	19
320	Unterwäsche für Damen	kg	8685	0.30	75	5.0
321	Sportkleider für Damen	kg	936	0.14	29	2.4
322	Arbeitskleider für Damen	kg	88	0.019	1.1	0.31
323	Übrige Damenbekleidung	kg	779	0.052	26	0.86
324	Mäntel und Jacken für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg	649	0.066	5.6	1.1
325	Anzüge und Kombinationen für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg	511	0.032	4.7	0.53
326	Hosen für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg	1635	0.11	9.8	1.9
327	Jeans für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg	437	0.042	3.0	0.70
328	Oberhemden und Blusen für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg	218	0.018	1.2	0.30
329	Pullover, Sweat- und T-shirts für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg	2921	0.16	14	2.6
330	Unterwäsche für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg	2515	0.051	6.7	0.84
331	Sportkleider für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg	852	0.033	7.7	0.55
332	Übrige Kleider für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg	619	0.029	4.4	0.48

kv5	COICOP 5th level	fu unit	n	fu _w	s _w	ghg _w
333	Kleider für Kleinkinder zwischen 0 und 2 Jahren	kg	3004	0.17	21	2.9
334	Bekleidungszubehör	kg	3997	0.14	39	2.4
335	Miete von Bekleidung	CHF	43	0.71	0.71	0.014
336	Reparaturen von Bekleidung	CHF	415	11	11	0.21
337	Herrenschuhe: Sport- und Freizeitschuhe	kg	827	0.36	28	4.0
338	Herrenschuhe: übrige Schuhe	kg	1305	0.61	55	6.9
339	Damenschuhe: Sport- und Freizeitschuhe	kg	1182	0.44	29	5.0
340	Damenschuhe: übrige Schuhe	kg	2794	1.1	106	12
341	Kinder- und Bébéschuhe: Sport- und Freizeitschuhe	kg	1449	0.13	8.6	1.5
342	Kinder- und Bébéschuhe: übrige Schuhe	kg	1540	0.15	13	1.7
343	Zubehör für Schuhe	kg	747	0.031	3.1	0.36
344	Reparatur und Miete von Schuhen	CHF	583	8.6	8.6	0.17
345	Merceriewaren und Strickwolle	kg	3144	0.67	17	11
346	Damenkleider und Röcke	kg	597	0.14	21	2.3
408	Hypothekarzins (eigener Erstwohnsitz)	m2	5528	22	1757	199
412	Hypothekarzins (eigene Zweitwohnsitze)	m2	381	1.4	73	13
414	Baumaterial für selbst durchgeführte Reparaturen (Mieter)	kg	160	0.25	3.6	1.6
415	Baumaterial für selbst durchgeführte Reparaturen (Eigentümer)	kg	527	0.68	31	4.3
416	Reparaturen durch Dritte (Mieter)	CHF	49	0.72	8.6	0.17
417	Reparaturen durch Dritte (Eigentümer)	CHF	283	14	168	3.4
418	Kehrichtabfuhrgebühren (gemieteter Erstwohnsitz)	kg	1070	3.2	5.7	00
419	Kehrichtabfuhrgebühren (gemietete Zweitwohnsitze)	kg	20	0.041	0.073	00
420	Kehrichtabfuhrgebühren (eigener Erstwohnsitz)	kg	2596	6.6	12	00
421	Kehrichtabfuhrgebühren (eigene Zweitwohnsitze)	kg	273	0.85	1.5	00
422	Abwassergebühren (gemieteter Erstwohnsitz)	kg	212	187	1.6	0.31
423	Abwassergebühren (gemietete Zweitwohnsitze)	kg	4	2.6	0.022	00
424	Abwassergebühren (eigener Erstwohnsitz)	kg	1423	1419	12	2.3
425	Abwassergebühren (eigene Zweitwohnsitze)	kg	109	86	0.73	0.14
426	Wasserzins (gemieteter Erstwohnsitz)	kg	370	380	3.2	0.73
427	Wasserzins (gemietete Zweitwohnsitze)	kg	7	2.1	0.017	00
428	Wasserzins (eigener Erstwohnsitz)	kg	1928	2382	20	4.6
429	Wasserzins (eigene Zweitwohnsitze)	kg	238	196	1.7	0.38
430	Hausverwaltung, inkl. Hauswartkosten (gemieteter Erstwohnsitz)	CHF	333	1.0	12	0.25
431	Hausverwaltung, inkl. Hauswartkosten (gemietete Zweitwohnsitze)	CHF	17	0.015	0.18	00
432	Hausverwaltung, inkl. Hauswartkosten (eigener Erstwohnsitz)	CHF	4011	14	169	3.4
433	Hausverwaltung, inkl. Hauswartkosten (eigene Zweitwohnsitze)	CHF	318	1.0	13	0.25
434	Übrige Nebenkosten, ohne nähere Angaben (gemieteter Erstwohnsitz)	CHF	1401	2.0	26	0.48
435	Übrige Nebenkosten, ohne nähere Angaben (gemietete Zweitwohnsitze)	CHF	27	00	0.26	00
436	Übrige Nebenkosten, ohne nähere Angaben (eigener Erstwohnsitz)	CHF	4273	12	167	2.9
437	Übrige Nebenkosten, ohne nähere Angaben (eigene Zweitwohnsitze)	CHF	577	1.0	27	0.25
438	Elektrizität (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ	6999	4236	209	22
439	Elektrizität (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ	127	34	1.7	0.18
440	Elektrizität (eigener Erstwohnsitz)	MJ	5748	4063	201	21
441	Elektrizität (eigene Zweitwohnsitze)	MJ	631	290	14	1.5
442	Gas vom Netz (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ	338	76	7.1	67

kv5	COICOP 5th level	fu unit	n	fu _w	s _w	ghg _w
443	Gas vom Netz (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ	6	0.47	0.043	0.41
444	Gas vom Netz (eigener Erstwohnsitz)	MJ	608	250	24	220
445	Gas vom Netz (eigene Zweitwohnsitze)	MJ	39	11	1.1	10
446	Gas in Flaschen (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ	8	1.5	0.14	1.3
447	Gas in Flaschen (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ	0	00	00	00
448	Gas in Flaschen (eigener Erstwohnsitz)	MJ	18	2.8	0.26	2.4
449	Gas in Flaschen (eigene Zweitwohnsitze)	MJ	5	0.71	0.066	0.63
450	Gas und Elektrizität (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ	0	00	00	00
451	Gas und Elektrizität (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ	0	00	00	00
452	Heizöl und andere flüssige Brennstoffe (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ	10	18	1.2	19
453	Heizöl und andere flüssige Brennstoffe (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ	0	00	00	00
454	Heizöl und andere flüssige Brennstoffe (eigener Erstwohnsitz)	MJ	53	447	32	473
455	Heizöl und andere flüssige Brennstoffe (eigene Zweitwohnsitze)	MJ	2	25	2.0	27
456	Feste Brennstoffe (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ	64	21	1.4	22
457	Feste Brennstoffe (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ	1	0.052	00	0.055
458	Feste Brennstoffe (eigener Erstwohnsitz)	MJ	108	26	2.0	28
459	Feste Brennstoffe (eigene Zweitwohnsitze)	MJ	4	7.6	0.47	8.1
460	Zentralheizung/Fernwärme (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ	2068	350	41	371
462	Zentralheizung/Fernwärme (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ	29	4.6	0.50	4.8
464	Zentralheizung/Fernwärme (eigener Erstwohnsitz)	MJ	2679	1115	130	1180
466	Zentralheizung/Fernwärme (eigene Zweitwohnsitze)	MJ	291	93	11	99
470	Gas und Elektrizität (eigener Erstwohnsitz)	MJ	0	00	00	00
471	Gas und Elektrizität (eigene Zweitwohnsitze)	MJ	0	00	00	00
472	Auslagen für Zimmer (ohne Küche), zur Ergänzung des gemieteten Erstwohnsitzes	m2	116	0.081	7.6	0.72
473	Auslagen für Zimmer (ohne Küche), zur Ergänzung des eigenen Erstwohnsitzes	m2	29	0.020	1.9	0.18
481	Nettomiete, ohne Nebenkosten	m2	7402	32	4984	288
482	Total der Wohnnebenkosten (gemieteter Erstwohnsitz)	CHF	6804	55	659	13
486	Miete inkl. Nebenkosten (gemietete Zweitwohnsitze)	m2	160	0.56	42	5.0
489	Total der Wohnnebenkosten (eigener Erstwohnsitz)	m2	0	00	00	00
493	Total Nebenkosten der Zweitwohnsitze	m2	0	00	00	00
501	Möbel	kg	1740	13	278	5.4
502	Einrichtungszubehör	kg	5251	12	106	5.0
503	Teppiche und andere Bodenbeläge	kg	539	1.1	68	30
504	Reparaturen von Möbeln, Einrichtungszubehör und Bodenbelägen	CHF	44	5.7	5.7	0.11
505	Matratzen	kg	449	3.3	44	86
506	Decken, Bettwäsche und andere Wäsche	kg	3588	4.4	55	116
507	Wandbehänge, Möbelbezugsstoffe	kg	123	0.098	1.9	2.6
508	Vorhänge, Zubehör	kg	830	0.35	29	9.1
509	Kühlschränke (ohne Tiefkühlschränke)	kg	156	2.8	11	11
510	Waschmaschinen	kg	223	3.8	19	15
511	Geschirrspülmaschinen	kg	180	2.8	12	11
512	Elektrische Kochherde	kg	39	0.32	16	1.2
513	Gaskochherde, Grills, Barbiques	kg	101	1.1	4.5	4.3
514	Elektrische Heizgeräte und Klimageräte	kg	172	2.0	9.0	7.6
515	Elektrische Raumpflegegeräte	kg	219	1.9	16	7.5
516	Elektrische Näh- und Strickmaschinen	kg	34	0.23	7.5	0.90

kv5	COICOP 5th level	fu unit	n	fu _w	s _w	ghg _w
517	Andere grosse nichtelektrische Haushaltsgeräte	kg	11	0.025	0.16	0.095
518	Elektrische Küchengeräte	kg	574	1.2	36	4.5
519	Sonstige Elektrogeräte	kg	589	0.72	19	2.8
520	Reparaturen von Haushaltsgeräten	CHF	1213	14	14	0.29
521	Glaswaren, Geschirr	kg	4259	3.3	50	13
522	Besteck	kg	681	0.26	8.4	1.0
523	Küchen- und Kochgeräte	kg	6785	2.7	53	11
524	Anderes Zubehör für die Haushaltsführung und zum Nähen	kg	4639	1.9	26	7.2
525	Reparaturen von Haushaltwaren	CHF	12	0.32	0.32	00
526	Maschinen mit Motor für den Garten	kg	226	2.5	15	9.6
527	Andere Werkzeuge mit Motor	kg	173	1.9	6.2	7.2
528	Gartenwerkzeuge, ohne Motor	kg	1066	2.0	12	7.6
529	Andere Werkzeuge, ohne Motor	kg	1701	1.3	16	5.0
530	Kleinmaterial und Zubehör für den Unterhalt von Haus und Garten	kg	21288	8.1	107	31
531	Wasch- und Reinigungsmittel Kehrichtsäcke inkl. Gebühren oder Kehrichtmarken (Gebührenmarken)	kg	42776	18	126	20
533	Sonstige nicht dauerhafte Haushaltsartikel	kg	49429	2.0	88	2.3
534	Häusliche Dienste	CHF	1667	108	108	2.2
535	Dienstleistungen von Reinigungsanstalten	CHF	3796	33	33	0.66
536	Dienstleistungen für die Haushaltsführung	CHF	319	6.7	6.7	0.13
537	Reinigungsmaterial	kg	2130	0.62	7.9	0.70
538	Tiefkühlschränke	kg	228	5.0	6.5	19
539	Wäschetrockner (Tumbler)	kg	89	1.5	4.8	5.7
540	Duvets und Kissen	kg	264	0.13	12	3.4
601	Pharmazeutische Produkte	CHF	25498	354	354	7.1
602	Sanitätsmaterial	kg	3231	0.13	21	2.2
603	Hörgeräte	CHF	425	69	69	1.4
604	Arztleistungen	hour	4867	4.4	590	11
605	Zahnarztleistungen	hour	2571	2.2	471	7.4
606	Medizinische Labors und Röntgeninstitute	hour	862	00	58	00
607	Heimpflege (medizinische)	hour	1794	1.6	127	11
608	Andere ambulante medizinische Dienstleistungen	hour	51	0.025	4.4	0.084
609	Dienstleistungen der Spitäler	hour	374	4.1	310	4.0
610	Brillen und Kontaktlinsen	CHF	306	57	57	1.1
611	Orthopädische Geräte	kg	41	0.011	5.3	0.31
612	Andere therapeutische Geräte und Material	kg	67	0.037	9.8	1.0
613	Andere medizinische Hilfsdienstleistungen	hour	1485	0.79	130	0.96
651	Coiffeur, Körperpflege	hour	10673	5.0	294	6.1
652	Elektrische Apparate und Geräte für die Körperpflege	kg	499	0.099	14	5.1
653	Nichtelektrische Artikel für die Körperpflege, halbdauerhaft	kg	4677	0.39	18	20
654	Nichtdauerhafte Artikel in Watte und Papier für Körperpflege	kg	73322	2.8	240	144
655	Andere Dienstleistungen für die Körperpflege	CHF	421	14	14	0.29
656	Schmuck und Uhren	kg	3409	0.13	107	14
657	Reise- und Lederartikel	kg	2424	0.19	51	0.86
658	Übrige persönliche Ausstattung	kg	2535	0.21	46	2.3
659	Krippe, Kinderhorte	hour	545	19	37	0.86

kv5	COICOP 5th level	fu unit	n	fu _w	s _w	ghg _w
660	Andere soziale Dienstleistungen	CHF	30	5.3	5.3	0.11
662	Übrige finanzielle Dienstleistungen	CHF	10788	36	36	0.71
663	Sonstige Dienstleistungen	CHF	2666	62	62	1.2
664	Körperseife und Badezusatz	kg	4940	0.23	16	12
665	Haarpflegemittel	kg	6146	0.67	24	35
666	Zahnpflegemittel	kg	4516	0.22	13	11
667	Körperpflege- und Kosmetikmittel	kg	13409	0.63	104	33
668	Babyartikel, halbdauerhaft	kg	317	00	4.7	00
701	Neue Autos	kg	666	427	690	1207
702	Occasionsautos	kg	717	47	347	133
703	Motorräder (Hubraum ab 125 cm ³) Kleinmotorräder, Motorroller und Mopeds (Hubraum weniger als 125 cm ³)	kg	150	13	36	36
704	Fahrräder	kg	83	2.9	11	8.2
705	Ersatzteile für Fahrzeuge	kg	194	1.7	51	4.9
706	Zubehör für Fahrzeuge	kg	1710	0.63	84	22
707	Benzin	pkm	36428	10088	792	1932
709	Diesel	pkm	2409	894	64	150
712	Schmiermittel und andere Pflegemittel für Fahrzeuge	kg	1583	0.038	7.4	0.040
713	Service und Reparaturen an Fahrzeugen Miete von Garagen und Einstellplätzen (zusätzlich zum gemieteten Erstwohnsitz)	CHF	2996	230	230	4.6
714	Miete von Garagen und Einstellplätzen (zusätzlich zu gemieteten Zweitwohnsitzen)	CHF	2476	142	142	2.3
715	Miete von Garagen und Einstellplätzen (zusätzlich zum eigenen Erstwohnsitz)	CHF	17	0.57	0.57	00
716	Miete von Garagen und Einstellplätzen (zusätzlich zu eigenen Zweitwohnsitzen)	CHF	596	23	23	0.37
717	Übrige Ausgaben zum Parkieren	CHF	19289	48	48	0.79
719	Leasing von Fahrzeugen	pkm	1378	1341	280	260
720	Übrige Dienstleistungen (Fahrzeugmiete usw.)	pkm	8315	471	98	91
721	Bahn- und Trambillette Bahnabonnemente: Generalabonnement, Streckenabonnement, Halbtaxabonnement	pkm	14630	357	169	5.4
723	Bus-, Car- und Postautobillette Abonnemente von öffentlichen Verkehrsmitteln innerhalb einer Agglomeration	pkm	10203	4166	192	63
724	Flugbillette	pkm	8055	47	35	4.9
725	Schiffbillette	pkm	3225	602	81	63
726	Weitere Verkehrleistungen	pkm	304	797	110	123
727	Taxi, Privatchauffeur	pkm	855	22	19	2.3
801	Posttaxen	CHF	1787	3.9	31	0.40
802	Kauf von Telefonapparaten und Faxgeräten	kg	1662	11	26	1.2
803	Kauf von Telefonapparaten und Faxgeräten	kg	815	0.37	35	19
804	Fixtelefonie: Abo, Miete von Apparaten, Gespräche	hour	21462	110	662	14
805	Internet: Dienstleistungen des Providers, evtl. Miete von Apparaten	CHF	2375	47	47	2.3
821	Mobiletelefonie: Abo, SMS, Gespräche Alters- und Hinterbliebenenversicherung (AHV), Invaliditätsversicherung (IV) und Erwerbsersatzordnung (EO): Beiträge	hour	5609	7.3	174	0.20
822	Arbeitslosenversicherungsbeiträge(ALV)	CHF	18515	1818	1818	30
823	Unfallversicherungsbeiträge(UVG)	CHF	15340	349	349	5.7
824	Pensionskassenbeiträge(BVG)	CHF	14202	343	343	5.6
		CHF	13039	1789	1789	29

kv5	COICOP 5th level	fu unit	n	fu_w	s_w	ghg_w
825	Andere Sozialversicherungsbeiträge der Erwerbspersonen	CHF	1772	34	34	0.55
829	Krankenkasse: Prämien für die Grundversicherung	CHF	33254	2524	2524	41
830	Prämien für die Spital-Zusatzversicherung	CHF	9931	524	524	8.5
831	Prämien für weitere Zusatzversicherungen	CHF	27652	354	354	5.8
832	Beiträge für die Säule 3A (anteilsgebundene Lebensversicherung) Beiträge für die Säule 3B (nicht anteilsgebundene Lebensversicherung)	CHF	7149	959	959	16
833		CHF	5786	280	280	4.6
834	Fahrzeugversicherungsprämien Prämien für die Versicherung des Hausrats gegen Feuer- und andere Schäden (Haushaltsversicherung)	CHF	21752	623	623	10
835	Prämien für Brand- und andere Gebäudeversicherungen (eigener Erstwohnsitz)	CHF	12850	193	193	3.1
836	Prämien für Brand- und andere Gebäudeversicherungen (eigene Zweitwohnsitze)	CHF	6057	92	92	1.5
837		CHF	666	11	11	0.18
838	Prämien für die private Haftpflichtversicherung	CHF	9039	55	55	0.90
839	Prämien für die Rechtsschutzversicherung Organisationen mit Versicherungsanteil (Rega, ETI-Schutzbrevi, Paraplegikerstiftung usw.)	CHF	5107	31	31	0.50
840		CHF	21610	55	55	0.89
841	Prämien für andere Privatversicherungen	CHF	1983	24	24	0.39
843	Direkte Bundessteuer	CHF	13608	822	822	13
844	Kantonale Einkommens- und Vermögenssteuern Kommunale und andere Einkommens- und Vermögenssteuern	CHF	15035	2863	2863	47
845	(Kirche, usw.)	CHF	16209	2638	2638	43
847	Quellensteuer	CHF	270	133	133	2.2
848	Liegenschaftssteuer (eigener Erstwohnsitz)	CHF	3200	45	45	0.73
849	Liegenschaftssteuer (eigene Zweitwohnsitze)	CHF	513	7.8	7.8	0.13
850	Fahrzeugsteuer	CHF	16399	212	212	3.4
851	Militärpflichtersatz	CHF	826	16	16	0.25
852	Andere Steuern und Gebühren (Hunde usw.)	CHF	3182	58	58	0.94
853	Bussen	CHF	363	19	19	0.31
854	Beiträge an Sportclubs oder -vereine	CHF	9918	54	54	0.88
855	Beiträge an Freizeitvereine	CHF	5385	13	13	0.22
856	Beiträge an kulturelle Vereinigungen	CHF	5882	17	17	0.27
857	Beiträge an Quartiervereine	CHF	377	0.41	0.41	0.00
858	Beiträge an politische Parteien	CHF	767	4.1	4.1	0.066
859	Beiträge an Gewerkschaften oder Berufsverbände	CHF	6668	36	36	0.58
860	Beiträge an religiöse Vereinigungen	CHF	785	23	23	0.38
861	Beiträge an Umweltschutzorganisationen Beiträge an Konsumentenschutzorganisationen, Mieterverbände	CHF	2862	7.6	7.6	0.12
862	u.ä.	CHF	581	1.4	1.4	0.023
863	Beiträge an andere politische Vereinigungen oder Bewegungen	CHF	1052	3.1	3.1	0.051
864	Andere Beiträge Bargeldspenden an private Organisationen ohne Erwerbscharakter (POoE) (ohne Legate und Schenkungen)	CHF	8363	51	51	0.84
865	Übertragungen an andere private Haushalte im Inland (inkl. Legate und Schenkungen)	CHF	5176	110	110	1.8
866	Übertragungen an andere private Haushalte im Ausland (inkl. Legate und Schenkungen)	CHF	7675	1017	1017	17
867		CHF	1218	120	120	2.0
879	Verluste (netto) aus informeller Erwerbstätigkeit	CHF	113	82	82	1.3
901	Radios und Audiogeräte	kg	763	0.30	45	84
902	Fernsehgeräte	kg	321	0.25	71	69
903	Foto- und Filmapparate und dauerhaftes Zubehör	kg	336	0.081	61	23

kv5	COICOP 5th level	fu unit	n	fu _w	s _w	ghg _w
904	Optische Instrumente	kg	61	0.014	2.6	4.0
905	Büromaschinen	kg	136	0.10	2.6	29
906	Desktop, Heimcomputer	kg	944	1.1	119	318
907	Musikträger - oder für Musik vorbestimmt (CD, Schallplatten, Kassetten und Tonbänder)	kg	4161	0.18	59	50
908	Filmträger - oder für den Film vorbestimmt (DVD, Videokassetten VHS)	kg	2550	0.11	38	30
909	Fototräger - oder für den Film vorbestimmt (Memory Karte, Film, andere Produkte)	kg	1146	0.024	10	6.8
910	Multimedia-Träger, unbespielt oder bespielt (CD, DVD, Disketten, etc.)	kg	961	0.019	15	5.4
911	Reparaturen von Radios, Audio-, Fernseh- und Videogeräten, Foto- und Filmapparaten, Büromaschinen und Computern	CHF	283	10	10	0.20
912	Musikinstrumente	kg	284	0.29	18	0.12
913	Wohnwagen und Mobilheime	kg	10	3.2	0.74	8.9
914	Flugzeuge und Boote	kg	25	9.5	2.8	27
915	Andere dauerhafte Güter für Freizeit und Sport	kg	157	0.12	26	1.4
916	Reparaturen von dauerhaften Gütern für Sport und Freizeit	CHF	253	5.4	5.4	0.11
917	Spielzeuge	kg	7477	1.1	54	2.1
918	Gesellschaftsspiele und Zeitvertreib	kg	1150	0.086	7.7	0.058
919	Elektronische oder elektrische Spiele	kg	485	0.069	11	3.6
920	Sammlungen und sonstige Waren für Unterhaltungszwecke	kg	5946	0.21	44	0.41
921	Wintersportartikel	kg	2871	0.86	71	9.7
922	Pflanzen und nicht dauerhafte Güter für die Gartenpflege	kg	28165	77	206	16
923	Kauf von Haustieren	kg	181	0.55	10	4.6
924	Nahrung für Haustiere	kg	23860	20	94	171
925	Andere Waren für die Haltung von Haustieren	kg	4449	3.5	28	30
926	Tierarztleistungen und übrige Dienstleistungen für Haustiere	CHF	790	49	49	0.98
927	Eintritte für Sportveranstaltungen	hour	1000	1.9	13	0.28
928	Dienstleistungen von Sport- und Freizeitbetrieben	hour	15841	12	224	4.5
929	Miete von Wintersportartikeln	CHF	850	13	13	0.27
930	Sport- und Bastelkurse	hour	1422	2.1	32	0.79
931	Musik- und Tanzkurse	hour	1843	1.4	41	0.78
932	Andere Kurse im Freizeitbereich	hour	1310	2.4	53	1.0
933	Theater und Konzerte	hour	3386	6.6	91	2.0
934	Museen, Ausstellungen, Bibliotheken, zoologische Gärten u.ä.	hour	3728	6.6	28	0.49
935	Radio- und Fernsehkonzession	hour	12883	196	228	3.2
936	Telekabel-Abonnement (gemieteter Erstwohnsitz)	hour	1924	65	27	0.37
937	Telekabel-Abonnement (gemietete Zweitwohnsitze)	hour	18	0.037	0.18	00
938	Telekabel-Abonnement (eigener Erstwohnsitz)	hour	3910	92	36	0.50
939	Telekabel-Abonnement (eigene Zweitwohnsitze)	hour	159	0.73	1.6	0.018
940	Miete von Fernseh- und Videogeräten	CHF	115	4.9	4.9	0.098
941	Miete von Radios und Audiogeräten	CHF	16	0.50	0.50	0.010
942	Miete von Foto- und Filmgeräten	CHF	4	0.13	0.13	00
943	Miete von Videokassetten und von CD	CHF	612	3.1	3.1	0.063
944	Miete von Büromaschinen	CHF	3	0.13	0.13	00
945	Miete von Heimcomputern und PC	CHF	15	0.99	0.99	0.020
946	Sonstige Dienstleistungen im Unterhaltungs- und Kulturbereich	CHF	2879	53	53	1.1
947	Spieleinsätze (Lotto, Toto und andere Spiele)	CHF	9173	86	86	1.7
948	Bücher und Broschüren (Freizeit)	kg	9116	3.9	126	5.1

kv5	COICOP 5th level	fu unit	n	fu _w	s _w	ghg _w
949	Schulbücher	kg	551	0.20	10	0.26
950	Zeitungen und Zeitschriften	kg	67868	9.3	256	12
951	Zeitungen und Zeitschriften: Abonnemente	kg	0	00	00	00
952	Übrige Druckerzeugnisse	kg	8968	4.1	43	5.3
953	Schreib- und Zeichenmaterial	kg	19668	2.9	55	3.7
954	Pauschalreisen	hour	1475	212	424	39
955	Abonnemente für Privatfernsehen	hour	317	9.6	6.0	0.080
956	Kino	hour	3593	4.1	34	0.74
957	Videogeräte (VHS, DVD)	kg	101	0.086	12	24
958	Zubehör TV, Video	kg	102	0.014	3.8	4.0
959	Laptop	kg	37	0.023	30	6.4
960	Drucker	kg	63	0.060	7.2	17
961	Spielgruppen (Sozialisierung des Kindes)	hour	323	6.6	3.9	0.077
962	Kindergarten (vorschulische Erziehung)	hour	51	1.4	3.5	0.063
963	Primarschule	hour	275	9.3	11	0.22
964	Sekundarschule	hour	297	18	11	0.15
965	Nachobligatorische Schule	hour	804	50	78	1.5
966	Weiterbildung, Fortbildungskurse für Erwachsene	hour	610	19	73	1.4
970	Computerbildschirm	kg	19	0.025	9.6	6.9
971	Andere Peripheriegeräte und Computerzubehör	kg	339	0.18	14	50
972	Elektronische Agendas und Organizer	kg	12	00	1.3	0.98
973	Nichtdauerhaftes Informatikzubehör	kg	415	0.038	9.5	11
974	Andere Sportartikel	kg	1238	0.21	23	2.4
975	Camping- und nichtsportliche Freizeitartikel	kg	451	0.081	4.0	0.92
976	Miete von anderen Sportartikeln	CHF	47	5.6	5.6	0.11
977	Miete von Camping- und Freizeitartikeln	CHF	211	4.1	4.1	0.083
978	Büro-Softwareprogramme	kg	178	00	8.9	2.7
979	Spiel-Softwareprogramme	kg	118	00	2.4	1.2
Total			4147239	102214	11062	

Appendix C – Assumptions

Table 17 describes the assumptions to derive the functional units of energy use (MJ), which are the only consumption category, where different assumptions were made for the price (BFE, 2006), because they highly influence the total impact of the households. Table 18 describes the process LCA process “meal”, which had to be build-up for some consumptions categories and was not directly available in the LCA database. Finally, Table 19 describes all assumptions needed to set up our household consumption model according to the description in the method section.

Table 17: Assumptions to derive functional units of energy use (MJ)

kvd5	x_unit	code	2005	2001	2002	2003	2004	2005
electricity	MJ	s	19.8	19.6	19.7	20.1	20.3	20.8
gas	MJ	s	60.0	50.7	54.5	55.4	54.5	50.0
heating oil	MJ	s	70.4	76.1	87.5	81.5	70.9	51.1

Note: For the central heating (COICOP category 460 to 466, german: Zentralheizung/Fernwärme) we use the LCA and prices for heating oil and assume maintenance costs of 40 percent.

Table 18: LCA process “meal in restaurant, BAS”

Output		kg	1	7.45
meal in restaurant, BAS				
Input				
meat mixed, IP, at slaughter house/CH U		kg	0.50	1.78
vegetables mean, greenhouse, at farm/kg/CH U		kg	0.67	4.17
155.Beherbergungs- und Gaststätten, Export/CHF/CH U		CHF	16.7	1.51

Table 19: Assumptions on the 5th COICOP-level

kv5	kvds5	fu_unit	code	assum	kvdlca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvpi	kvecos	fu	o
1-75	income	-	-												
101	Reis	kg	pu	o											
102	Brot	kg	pu	o											
103	Teigwaren	kg	pu	o											
104	Kleines Brotgebäck	kg	n_a	0.2											
105	Weizenmehl	kg	pu	o											
106	Übrige Mehle, Stärke, Griess, Flocken und Getreidekörner	kg	pu	o											
107	Andere Produkte auf Getreidebasis	kg	n_a	0.2											
108	Rindfleisch zum Schnellbraten / Grillieren: Filet, Entrecôte, Steak usw.	kg	pu	o											
109	Rindfleisch zum Braten: Braten, Schulter, Voressen usw.	kg	pu	o											
110	Rindfleisch: Siedfleisch, Gehacktes oder übriges	kg	pu	o											
111	Kalbfleisch zum Schnellbraten / Grillieren: Filet, Plätzli, Geschnetzeltes usw.	kg	pu	o											
112	Kalbfleisch zum Braten: Voressen, Braten usw.	kg	pu	o											
113	Kalbfleisch zum Sieden oder übriges	kg	pu	o											
114	Schweinefleisch zum Schnellbraten / Grillieren: Filet, Plätzli, Koteletten usw.	kg	pu	o											
115	Schweinefleisch zum Braten: Braten, Voressen, Plätzli, Stotzen/Hals usw.	kg	pu	o											
116	Schweinefleisch: übrige frische Teile, nicht gesalzen und nicht geräuchert	kg	pu	o											
117	Schafffleisch und Ziegenfleisch, frisch und tiefgekühlt	kg	pu	o											
118	Geflügel: ganz	kg	pu	o											

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvpi	kvecos	fu	o
119	Geflügel: Brust, Schnitzel, Geschnetzeltes	kg	pu	o		poultry meat, IP, at slaughterhouse/CH U	kg	1	2.77	2	6	1					
120	Geflügel: Pouletschenkel, Pouletflügeli und übriges Pouletfleisch	kg	pu	o		poultry meat, IP, at slaughterhouse/CH U	kg	1	2.77	2	6	1					
121	Würste, Wurstwaren und Pasteten	kg	pu	o		meat mixed, IP, at slaughterhouse/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
122	Schweinefleisch: Schinken, Speck und übrige Teile, gekocht, getrocknet, gesalzen oder geräuchert	kg	pu	o		pork, IP, at slaughterhouse/kg/CH U	kg	1	3.38	2	6	1					
123	Geflügel: grilliert oder geräuchert	kg	pu	o		poultry meat, IP, at slaughterhouse/CH U	kg	1	2.77	2	6	1					
124	Übriges gekochtes, getrocknetes, gesalzenes oder geräuchertes Fleisch	kg	pu	o		meat mixed, IP, at slaughterhouse/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
125	Innereien und Knochen	kg	pu	o		meat mixed, IP, at slaughterhouse/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
126	Fleischkonserven und fleischhaltige Erzeugnisse	kg	pu	o		meat mixed, IP, at slaughterhouse/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
127	Wild, frisch oder tiefgekühlt	kg	pu	o		meat mixed, IP, at slaughterhouse/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
128	Pferdefleisch, frisch oder tiefgekühlt	kg	pu	o		meat mixed, IP, at slaughterhouse/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
129	Kaninchenfleisch, frisch oder tiefgekühlt	kg	pu	o		meat mixed, IP, at slaughterhouse/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
130	Sonstiges Fleisch, frisch oder tiefgekühlt	kg	pu	o		meat mixed, IP, at slaughterhouse/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
131	Fisch, frisch oder tiefgekühlt	kg	pu	o		fish, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
132	Meeresfrüchte, frisch oder tiefgekühlt	kg	pu	o		fish, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
133	Fische und Meeresfrüchte, zubereitet und tiefgekühlt	kg	pu	o		fish, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
134	Fische und Meeresfrüchte, getrocknet, gesalzen oder geräuchert	kg	pu	o		fish, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
135	Fischkonserven, Konserven von Meeresfrüchten und konservierte Produkte auf der Grundlage von Fisch oder Meeresfrüchten	kg	pu	o		fish, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	8.38	2	6	1					
136	Voll-, Frischmilch pasteurisierte (PAST) oder uperisierte (UP)	kg	pu	o		whole milk, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.798	3	6	1					
137	Pasteurisierte (PAST) oder uperisierte (UP) Vollmilch	kg	pu	o		whole milk, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.798	3	6	1					
138	Magermilch, Milchdrink	kg	pu	o		whole milk, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.798	3	6	1					
139	Magermilch (UP)	kg	pu	o		whole milk, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.798	3	6	1					
140	Kondensmilch, Milchpulver	kg	pu	o		milk powder, IP, at plant/kg/CH U	kg	1	6.94	2	6	1					

Appendices

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o
141	Joghurt und Produkte auf der Grundlage von Joghurt	kg	pu	o		cheese, at diary/CH U	kg	1	10.1	2	6	1					
142	Sauermilch, Quark, Frischkäse	kg	pu	o		cheese, at diary/CH U	kg	1	10.1	2	6	1					
143	Frisch-, Weich-, Halbhart-, Hart-, Extrahart-, Schmelzkäse	kg	pu	o		cheese, at diary/CH U	kg	1	10.1	2	6	1					
144	Rahm	kg	pu	o		whole milk, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.798	2	6	1					
145	Getränke auf der Grundlage von Milch	kg	pu	o		whole milk, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.798	2	6	1					
146	Joghurt, Quark, Getränke und andere Produkte auf Milchbasis	kg	n_a	0.2		whole milk, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.798	2	6	1					
147	Eier, frisch	kg	pu_a	0.05		poultry meat, IP, at slaughterhouse/CH U	kg	1	2.77	2	6	1					
148	Verarbeitete Eier	kg	n_a	0.2		poultry meat, IP, at slaughterhouse/CH U	kg	1	2.77	2	6	1					
149	Butter	kg	pu	o		butter, at diary/CH U	kg	1	18.7	2	6	1					
150	Margarine	kg	pu	o		butter, at diary/CH U	kg	1	18.7	2	6	1					
151	Andere Pflanzenfette	kg	pu	o		Rape oil, at oil mill/RER U	kg	1	2.74	2	6	1					
152	Olivenöl	kg	pu	o		Rape oil, at oil mill/RER U	kg	1	2.74	2	6	1					
153	Übriges Speiseöl	kg	pu	o		Rape oil, at oil mill/RER U	kg	1	2.74	2	6	1					
154	Sonstige tierische Speisefette	kg	pu	o		Tallow, at plant/CH U	kg	1	0.668	2	6	1					
155	Orangen	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
156	Zitronen	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
157	Übrige Zitrusfrüchte	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
158	Bananen	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
159	Äpfel	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
160	Birnen	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
161	Quitten	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
162	Steinobst	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
163	Beeren	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
164	Trauben	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
165	Melonen und Wassermelonen	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
166	Übrige exotische Früchte	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					
167	Nüsse, andere Schalenfrüchte und ölhaltige Früchte	kg	pu	o		apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U	kg	1	0.176	2	6	1					

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o
168	Anderes Dörrobst		kg	pu	o	apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.176	2	6	1				
169	Fruchtkonserven		kg	pu	o	apples, for eating, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.176	2	6	1				
170	Grüne Salate und anderes Blattgemüse		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
171	Stengelgemüse		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
172	Küchenkräuter		kg	n_a	0.1	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
173	Kohlgemüse		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
174	Tomaten		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
175	Bohnen und Erbsen		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
176	Anderes Fruchtgemüse		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
177	Zwiebeln und Knoblauch		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
178	Rüben und anderes Wurzelgemüse		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
179	Pilze, frisch		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
180	Gedörrte oder gefriergetrocknete Gemüse und Pilze		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
181	Gemüse- und Pilzkonserven, Gemüse- und Pilzzubereitungen		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
182	Kartoffeln		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
183	Kartoffelhaltige Produkte		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
184	Andere Knollen		kg	pu	o	vegetables mean, IP, at farm/kg/CH U		kg	1	0.251	2	6	1				
185	Zucker (roh oder raffiniert)		kg	n_a	1	sugar, at plant/kg/CH U		kg	1	0.613	2	6	1				
186	Konfitüren, Marmeladen, Kompott		kg	n_a	0.4	sugar, at plant/kg/CH U		kg	1	0.613	2	6	1				
187	Honig		kg	n_a	0.4	sugar, at plant/kg/CH U		kg	1	0.613	2	6	1				
188	Schokolade (Tafeln und Riegel)		kg	n_a	0.1	sugar, at plant/kg/CH U		kg	1	0.613	2	6	1				
189	Süßwaren		kg	n_a	0.15	sugar, at plant/kg/CH U		kg	1	0.613	2	6	1				

Appendices

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o
190	Speiseeis (Glacen)		kg	n_a	0.15		sugar, at plant/kg/CH U		kg	1	0.613	2	6	1			
191	Andere zucker- und/oder kakaohaltige Produkte		kg	n_a	0.1		sugar, at plant/kg/CH U		kg	1	0.613	2	6	1			
192	Saucen, Würzstoffe, Würze		kg	n_a	0.1		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
193	Salz und Gewürze		kg	n_a	0.1		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
194	Suppen und Bouillons		kg	n_a	0.05		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
195	Aromaessenzen, Backpulver, Presshefe usw.		kg	n_a	0.3		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
196	Küchenfertige Mahlzeiten (Nahrungsmittel mit mehreren Hauptbestandteilen)		kg	n_a	0.1		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
197	Vegetarische Sojaprodukte		kg	pu	o		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
198	Sonstige Nahrungsmittel		kg	n_a	0.2		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
199	Babynahrung mit Hauptbestandteil Getreide		kg	pu	o		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
200	Babynahrung mit Hauptbestandteil Fleisch		kg	pu	o		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
201	Babynahrung mit Hauptbestandteil Milch		kg	pu	o		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
202	Babynahrung mit Hauptbestandteil Früchte		kg	pu	o		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
203	Babynahrung mit Hauptbestandteil Gemüse		kg	pu	o		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
204	Babynahrung mit Hauptbestandteil Kakao		kg	pu	o		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
205	Babynahrung mit mehreren Hauptbestandteilen		kg	pu	o		Soybeans, at farm/US U		kg	1	0.509	2	6	1			
206	Patisserie, Kuchen		kg	n_a	0.1		sugar, at plant/kg/CH U		kg	1	0.613	2	6	1			
207	Kekse, Zwieback		kg	pu	o		sugar, at plant/kg/CH U		kg	1	0.613	2	6	1			
211	Kaffee: Bohnenkaffee und gemahlener Kaffee		kg	pu	o		coffee, at farm/CH U		kg	1	4.68	2	6	1			
212	Kaffeesurrogate (Kaffee-Ersatz)		kg	pu	o		coffee, at farm/CH U		kg	1	4.68	2	6	1			
213	Löslicher Pulverkaffee		kg	pu	o		coffee, at farm/CH U		kg	1	4.68	2	6	1			
214	Schwarztee, Kräutertee und Surrogate		kg	pu	o		coffee, at farm/CH U		kg	1	4.68	2	6	1			
215	Kakaohaltige Nährmittel		kg	pu	o		coffee, at farm/CH U		kg	1	4.68	2	6	1			
216	Mineralwasser		kg	pu	o	mineral water, production mix, at plant/CH S		kg	1	0.0923	3	6	1				

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o
217	Süßgetränke (Coca, Sprite, Fanta usw.)	kg	pu	o		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	3	6		1				
218	Fruchtsäfte	kg	pu	o		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	3	6		1				
219	Sirupe für Getränke	kg	pu	o		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	3	6		1				
220	Gemüsesäfte	kg	pu	o		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	3	6		1				
221	Alkoholfreier Likör	kg	pu	o		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	3	6		1				
222	Alkoholfreier Wein	kg	pu	o		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	3	6		1				
223	Aperitifs, Süßwein und Apfelwein ohne Alkohol	kg	pu	o		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	3	6		1				
224	Alkoholfreies Bier	kg	pu	o		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	3	6		1				
225	Übrige alkoholfreie Getränke	kg	pu	o		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	3	6		1				
251	Branntweine und Liköre	kg	pu	o		wine, in bottle, at plant/DE U	kg	1	2.91	3	6		1				
252	Weine	kg	pu	o		wine, in bottle, at plant/DE U	kg	1	2.91	3	6		1				
253	Qualitätsweine, Weine zum Einkellern	kg	pu	o		wine, in bottle, at plant/DE U	kg	1	2.91	3	6		1				
254	Aperitifs, süsse Weine und Apfelweine	kg	pu	o		wine, in bottle, at plant/DE U	kg	1	2.91	3	6		1				
255	Alkoholhaltiges Bier	kg	pu	o		wheat flour, at plant/CH U	kg	1	1.04	3	6		1				
256	Zigaretten	kg	n_a	0.1		Grain maize IP, at farm/CH U	kg	1	0.61	5	13		1				
257	Zigarren und Zigarillos	kg	n_a	0.1		Grain maize IP, at farm/CH U	kg	1	0.61	5	13		1				
258	Andere Tabakwaren und Zubehör	kg	n_a	0.1		Grain maize IP, at farm/CH U	kg	1	0.61	5	13		1				
259	Drogen	kg	n_a	0.01		Grain maize IP, at farm/CH U	kg	1	0.61	5	13		1				
271	Mahlzeiten in den Restaurants, Cafés u.ä.	kg	n_a	0.5		meal in restaurant, BAS	kg	1	7.45	4	6		1				
272	Alkoholfreie Getränke in den Restaurants, Cafés, Bar u.ä.	kg	n_a	0.3		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	4	6		1				
273	Alkoholische Getränke in den Restaurants, Cafés, Bar u.ä.	kg	n_a	0.3		wine, in bottle, at plant/DE U	kg	1	2.91	4	6		1				

Appendices

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o
274	Mahlzeiten von Erfrischungsstand, Fast-Food, Snacks, Partyservice u.ä.	kg	n_a	0.3		meal in restaurant, BAS	kg	1		7.45	4	6	1				
275	Alkoholfreie Getränke von Erfrischungsstand, Fast-Food, Snacks, Partyservice u.ä.	kg	n_a	0.2		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	4	6	1					
276	Alkoholische Getränke von Erfrischungsstand, Fast-Food, Snacks, Partyservice u.ä.	kg	n_a	0.2		wine, in bottle, at plant/DE U	kg	1	2.91	4	6	1					
277	Mahlzeiten in Kantinen und Personalrestaurants	kg	n_a	0.5		meal in restaurant, BAS	kg	1	7.45	4	6	1					
278	Alkoholfreie Getränke in Kantinen und Personalrestaurants	kg	n_a	0.2		mineral water, production mix, at plant/CH S	kg	1	0.0923	4	6	1					
279	Alkoholische Getränke in Kantinen und Personalrestaurants	kg	n_a	0.2		wine, in bottle, at plant/DE U	kg	1	2.91	4	6	1					
280	Hotels, Pensionen und Privatzimmer	hour	n_a	24	155.Beherbergungs- und Gaststätten, Export/CHF/CH U	CHF ^{12.247} ₂₉	0.0903		18	14	1						
281	Ferienwohnungen	hour	n_a	72	155.Beherbergungs- und Gaststätten, Export/CHF/CH U	CHF ^{9.230} ₉₂	0.0903		18	14	1						
282	Campingplätze	hour	n_a	72	155.Beherbergungs- und Gaststätten, Export/CHF/CH U	CHF ^{2.1502} ₁	0.0903		18	14	1						
283	Sonstige Übernachtungen	hour	n_a	48	155.Beherbergungs- und Gaststätten, Export/CHF/CH U	CHF ^{2.232} ₆₅	0.0903		18	14	1						
301	Kleiderstoffe	kg	n_a	0.1		T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p ^{3.448} ₂₇₆		4.8	9	13	1					
302	Herrenmäntel	kg	n_a	1		T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p ^{3.448} ₂₇₆		4.8	9	13	1					
303	Herrenanzüge und Herrenkombinationen	kg	n_a	0.5		T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p ^{3.448} ₂₇₆		4.8	9	13	1					
304	Lange und kurze Hosen für Herren, Shorts	kg	n_a	0.7		T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p ^{3.448} ₂₇₆		4.8	9	13	1					
305	Jeans für Herren	kg	n_a	1		T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p ^{3.448} ₂₇₆		4.8	9	13	1					
306	Vestons und Jacken für Herren	kg	n_a	0.7		T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p ^{3.448} ₂₇₆		4.8	9	13	1					

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum	kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvpi	kvecos	fu	o
307	Oberhemden für Herren	kg		n_a	0.6				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
308	Pullover, Sweat- und T-shirts für Herren	kg		n_a	0.5				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
309	Unterwäsche für Herren	kg		n_a	0.1				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
310	Sportkleider für Herren	kg		n_a	0.5				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
311	Arbeitskleider für Herren	kg		n_a	0.7				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
312	Übrige Herrenbekleidung	kg		n_a	0.2				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
313	Damenmäntel	kg		n_a	0.8				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
314	Damenkostüme und Hosenanzüge	kg		n_a	0.4				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
315	Lange und kurze Hosen für Damen, Shorts	kg		n_a	0.56				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
316	Jeans für Damen	kg		n_a	0.8				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
317	Jacken und Blazer für Damen	kg		n_a	0.56				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
318	Blusen für Damen	kg		n_a	0.48				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
319	Pullover, Sweat- und T-shirts für Damen	kg		n_a	0.4				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
320	Unterwäsche für Damen	kg		n_a	0.08				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	
321	Sportkleider für Damen	kg		n_a	0.4				T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1	

Appendices

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum	kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvpi	kvecos	fu	o
322	Arbeitskleider für Damen	kg		n_a	0.56					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
323	Übrige Damenbekleidung	kg		n_a	0.16					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
324	Mäntel und Jacken für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg		n_a	0.48					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
325	Anzüge und Kombinationen für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg		n_a	0.24					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
326	Hosen für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg		n_a	0.336					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
327	Jeans für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg		n_a	0.48					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
328	Oberhemden und Blusen für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg		n_a	0.336					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
329	Pullover, Sweat- und T-shirts für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg		n_a	0.24					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
330	Unterwäsche für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg		n_a	0.1					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
331	Sportkleider für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg		n_a	0.2					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
332	Übrige Kleider für Kinder zwischen 3 und 13 Jahren	kg		n_a	0.2					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
333	Kleider für Kleinkinder zwischen 0 und 2 Jahren	kg		n_a	0.2					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
334	Bekleidungszubehör	kg		n_a	0.1					T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	9	13	1
335	Miete von Bekleidung	CHF		s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U					CHF	1	0.02	20	13	1
336	Reparaturen von Bekleidung	CHF		s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U					CHF	1	0.02	20	14	1

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o
337	Herrenschuhe: Sport- und Freizeitschuhe	kg		n_a	1.1	women shoes, at plant/p/CH U		p	11.1111		1.02		9	13		1	
338	Herrenschuhe: übrige Schuhe	kg		n_a	1.1	women shoes, at plant/p/CH U		p	11.1111		1.02		9	13		1	
339	Damenschuhe: Sport- und Freizeitschuhe	kg		n_a	0.9	women shoes, at plant/p/CH U		p	11.1111		1.02		9	13		1	
340	Damenschuhe: übrige Schuhe	kg		n_a	0.9	women shoes, at plant/p/CH U		p	11.1111		1.02		9	13		1	
341	Kinder- und Bébéschuhe: Sport- und Freizeitschuhe	kg		n_a	0.5	women shoes, at plant/p/CH U		p	11.1111		1.02		9	13		1	
342	Kinder- und Bébéschuhe: übrige Schuhe	kg		n_a	0.5	women shoes, at plant/p/CH U		p	11.1111		1.02		9	13		1	
343	Zubehör für Schuhe	kg		n_a	0.1	women shoes, at plant/p/CH U		p	11.1111		1.02		9	13		1	
344	Reparatur und Miete von Schuhen	CHF		s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U		CHF		1	0.02		20	13		1	
345	Merceriewaren und Strickwolle	kg		n_a	0.5	T-shirt, coloured, at store/p/CH U		p	3.448 276		4.8		9	13		1	
346	Damenkleider und Röcke	kg		n_a	0.5	T-shirt, coloured, at store/p/CH U		p	3.448 276		4.8		9	13		1	
408	Hypothekarzins (eigener Erstwohnsitz)	m2		nro_a	28	Building, multi-storey/RER/I U		m3	0.001 39		534		6	4		1	
412	Hypothekarzins (eigene Zweitwohnsitze)	m2		nap2_a	98	Building, multi-storey/RER/I U		m3	0.001 39		534		6	4		1	
414	Baumaterial für selbst durchgeführte Reparaturen (Mieter)	kg		n_a	50	Building, multi-storey/RER/I U		m3	0.001		534		6	4	o		
415	Baumaterial für selbst durchgeführte Reparaturen (Eigentümer)	kg		n_a	50	Building, multi-storey/RER/I U		m3	0.001		534		6	4	o		
416	Reparaturen durch Dritte (Mieter)	CHF		s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U		CHF		1	0.02		6	14		o	
417	Reparaturen durch Dritte (Eigentümer)	CHF		s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U		CHF		1	0.02		6	14		o	
418	Kehrichtabfuhrgebühren (gemieteter Erstwohnsitz)	kg		s_a	6.76261	waste treatment		kg	1	o	6		13		o		

Appendices

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum	kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvpi	kvecos	fu	o
419	Kehrichtabfuhrgebühren (gemietete Zweitwohnsitze)	kg		s_a	6.76261		waste treatment	kg	1	o	6	13	o			
420	Kehrichtabfuhrgebühren (eigener Erstwohnsitz)	kg		s_a	6.76261		waste treatment	kg	1	o	6	13	o			
421	Kehrichtabfuhrgebühren (eigene Zweitwohnsitze)	kg		s_a	6.76261		waste treatment	kg	1	o	6	13	o			
422	Abwassergebühren (gemieteter Erstwohnsitz)	kg		s_a	1420.539	Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3/CH U		m3	0.001	0.13739	6	4	o			
423	Abwassergebühren (gemietete Zweitwohnsitze)	kg		s_a	1420.539	Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3/CH U		m3	0.001	0.13739	6	4	o			
424	Abwassergebühren (eigener Erstwohnsitz)	kg		s_a	1420.539	Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3/CH U		m3	0.001	0.13739	6	4	o			
425	Abwassergebühren (eigene Zweitwohnsitze)	kg		s_a	1420.539	Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3/CH U		m3	0.001	0.13739	6	4	o			
426	Wasserzins (gemieteter Erstwohnsitz)	kg		s_a	1420.539		Tap water, at user/CH U	kg	1	0.00016	6	4	o			
427	Wasserzins (gemietete Zweitwohnsitze)	kg		s_a	1420.539		Tap water, at user/CH U	kg	1	0.00016	6	4	o			
428	Wasserzins (eigener Erstwohnsitz)	kg		s_a	1420.539		Tap water, at user/CH U	kg	1	0.00016	6	4	o			
429	Wasserzins (eigene Zweitwohnsitze)	kg		s_a	1420.539		Tap water, at user/CH U	kg	1	0.00016	6	4	o			
430	Hausverwaltung, inkl. Hauswartkosten (gemieteter Erstwohnsitz)	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U			CHF	1	o.02	6	14	o			
431	Hausverwaltung, inkl. Hauswartkosten (gemietete Zweitwohnsitze)	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U			CHF	1	o.02	6	14	o			
432	Hausverwaltung, inkl. Hauswartkosten (eigener Erstwohnsitz)	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U			CHF	1	o.02	6	14	o			
433	Hausverwaltung, inkl. Hauswartkosten (eigene Zweitwohnsitze)	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U			CHF	1	o.02	6	14	o			
434	Übrige Nebenkosten, ohne nähere Angaben (gemieteter Erstwohnsitz)	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U			CHF	1	o.02	6	14	o			
435	Übrige Nebenkosten, ohne nähere Angaben (gemietete Zweitwohnsitze)	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U			CHF	1	o.02	6	14	o			
436	Übrige Nebenkosten, ohne nähere Angaben	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal,			CHF	1	o.02	6	14	o			

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum	kvdlca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvpi	kvecos	fu	o
	(eigener Erstwohnsitz)															
437	Übrige Nebenkosten, ohne nähere Angaben (eigene Zweitwohnsitze)	CHF		s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF		1	o.02	6	14	o			
438	Elektrizität (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ		s_a	20.80925	Electricity, medium voltage, production CH, at grid/CH U	MJ		1	o.00518	7	3	1			
439	Elektrizität (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ		s_a	20.80925	Electricity, medium voltage, production CH, at grid/CH U	MJ		1	o.00518	7	3	1			
440	Elektrizität (eigener Erstwohnsitz)	MJ		s_a	20.80925	Electricity, medium voltage, production CH, at grid/CH U	MJ		1	o.00518	7	3	1			
441	Elektrizität (eigene Zweitwohnsitze)	MJ		s_a	20.80925	Electricity, medium voltage, production CH, at grid/CH U	MJ		1	o.00518	7	3	1			
442	Gas vom Netz (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ		s_a	50	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U	MJ		1	o.0734	6	2	o			
443	Gas vom Netz (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ		s_a	50	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U	MJ		1	o.0734	6	2	o			
444	Gas vom Netz (eigener Erstwohnsitz)	MJ		s_a	50	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U	MJ		1	o.0734	6	2	o			
445	Gas vom Netz (eigene Zweitwohnsitze)	MJ		s_a	50	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U	MJ		1	o.0734	6	2	o			
446	Gas in Flaschen (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ		s_a	50	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U	MJ		1	o.0734	6	2	o			
447	Gas in Flaschen (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ		s_a	50	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U	MJ		1	o.0734	6	2	o			
448	Gas in Flaschen (eigener Erstwohnsitz)	MJ		s_a	50	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U	MJ		1	o.0734	6	2	o			
449	Gas in Flaschen (eigene Zweitwohnsitze)	MJ		s_a	50	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U	MJ		1	o.0734	6	2	o			
450	Gas und Elektrizität (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ		s_a	50	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U	MJ		1	o.0734	6	2	o			
451	Gas und Elektrizität (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ		s_a	50	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U	MJ		1	o.0734	6	2	o			
452	Heizöl und andere flüssige Brennstoffe (gemieteter	MJ		s_a	51.0470	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-	MJ		1	o.0882	6	2	o			

Appendices

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum	kvdlca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvpi	kvecos	fu	o		
	Erstwohnsitz)				8													
453	Heizöl und andere flüssige Brennstoffe (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ	s_a	51.0470	8	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH U							MJ	1	0.0882	6	2	o
454	Heizöl und andere flüssige Brennstoffe (eigener Erstwohnsitz)	MJ	s_a	51.0470	8	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH U							MJ	1	0.0882	6	2	o
455	Heizöl und andere flüssige Brennstoffe (eigene Zweitwohnsitze)	MJ	s_a	51.0470	8	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH U							MJ	1	0.0882	6	2	o
456	Feste Brennstoffe (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ	s_a	51.0470	8	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH U							MJ	1	0.0882	6	2	o
457	Feste Brennstoffe (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ	s_a	51.0470	8	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH U							MJ	1	0.0882	6	2	o
458	Feste Brennstoffe (eigener Erstwohnsitz)	MJ	s_a	51.0470	8	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH U							MJ	1	0.0882	6	2	o
459	Feste Brennstoffe (eigene Zweitwohnsitze)	MJ	s_a	51.0470	8	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH U							MJ	1	0.0882	6	2	o
460	Zentralheizung/Fernwärme (gemieteter Erstwohnsitz)	MJ	s_a	30.6282	5	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U							MJ	1	0.0882	6	2	o
462	Zentralheizung/Fernwärme (gemietete Zweitwohnsitze)	MJ	s_a	30.6282	5	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U							MJ	1	0.0882	6	2	o
464	Zentralheizung/Fernwärme (eigener Erstwohnsitz)	MJ	s_a	30.6282	5	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U							MJ	1	0.0882	6	2	o
466	Zentralheizung/Fernwärme (eigene Zweitwohnsitze)	MJ	s_a	30.6282	5	Natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW/RER U							MJ	1	0.0882	6	2	o
470	Gas und Elektrizität (eigener Erstwohnsitz)	MJ	s_a	50	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH U								MJ	1	0.0882	6	2	o
471	Gas und Elektrizität (eigene Zweitwohnsitze)	MJ	s_a	50	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/CH U								MJ	1	0.0882	6	2	o
472	Auslagen für Zimmer (ohne Küche), zur Ergänzung des gemieteten Erstwohnsitzes	m2	nro2_a	28		Building, multi-storey/RER/I U	m3	0.001										
473	Auslagen für Zimmer (ohne Küche), zur Ergänzung des eigenen Erstwohnsitzes	m2	nro2_a	28		Building, multi-storey/RER/I U	m3	0.001										
							39							534		6	4	1

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o	
481	Nettomiete, ohne Nebenkosten			m2	nro_a	28						Building, multi-storey/RER/I U	m3	0.001 39	534	6	4	1
482	Total der Wohnnebenkosten (gemieteter Erstwohnsitz)	CHF	s		o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U							CHF	1	0.02	6	4	0
486	Miete inkl. Nebenkosten (gemietete Zweitwohnsitze)			m2	nap2_a	98						Building, multi-storey/RER/I U	m3	0.001 39	534	6	4	1
489	Total der Wohnnebenkosten (eigener Erstwohnsitz)			m2	nap2_a	o						Building, multi-storey/RER/I U	m3	0.001 39	534	6	4	0
493	Total Nebenkosten der Zweitwohnsitze			m2	nap2_a	o						Building, multi-storey/RER/I U	m3	0.001 39	534	6	4	0
501	Möbel	kg	n_a		20							Particle board, indoor use, at plant/RER U	m3	0.001 54	267	8	13	1
502	Einrichtungszubehör	kg	n_a		6							Particle board, indoor use, at plant/RER U	m3	0.001 54	267	8	13	1
503	Teppiche und andere Bodenbeläge	kg	n_a		5							Textile, woven cotton, at plant/GLO U	kg	1	26.4	8	13	1
504	Reparaturen von Möbeln, Einrichtungszubehör und Bodenbelägen	CHF	s		o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U							CHF	1	0.02	20	14	1
505	Matratzen	kg	n_a		20							Textile, woven cotton, at plant/GLO U	kg	1	26.4	8	13	1
506	Decken, Bettwäsche und andere Wäsche	kg	n_a		3							Textile, woven cotton, at plant/GLO U	kg	1	26.4	8	13	1
507	Wandbehänge, Möbelbezugsstoffe	kg	n_a		2							Textile, woven cotton, at plant/GLO U	kg	1	26.4	8	13	1
508	Vorhänge, Zubehör	kg	n_a		1							Textile, woven cotton, at plant/GLO U	kg	1	26.4	8	13	1
509	Kühlschränke (ohne Tiefkühlschränke)	kg	n_a		35							Agricultural machinery, general, production/CH/I U	kg	1	3.85767	8	6	1
510	Waschmaschinen	kg	n_a		40							Agricultural machinery, general, production/CH/I U	kg	1	3.85767	8	6	1
511	Geschirrspülmaschinen	kg	n_a		40							Agricultural machinery, general, production/CH/I U	kg	1	3.85767	8	6	1
512	Elektrische Kochherde	kg	n_a		20							Agricultural machinery, general, production/CH/I U	kg	1	3.85767	8	6	1
513	Gaskochherde, Grills, Barbecues	kg	n_a		30							Agricultural machinery, general, production/CH/I U	kg	1	3.85767	8	6	1
514	Elektrische Heizgeräte und Klimageräte	kg	n_a		30							Agricultural machinery, general, production/CH/I U	kg	1	3.85767	8	4	1
515	Elektrische Raumpflegegeräte	kg	n_a		20							Agricultural machinery, general, production/CH/I U	kg	1	3.85767	8	4	1
516	Elektrische Näh- und Strickmaschinen	kg	n_a		20							Agricultural machinery, general, production/CH/I U	kg	1	3.85767	8	4	1

Appendices

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o
517	Andere grosse nichtelektrische Haushaltsgeräte	kg	n_a	5		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	4	1				
518	Elektrische Küchengeräte	kg	n_a	5		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	6	1				
519	Sonstige Elektrogeräte	kg	n_a	3		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	4	1				
520	Reparaturen von Haushaltsgeräten	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U			CHF	1	0.02	20	14	1				
521	Glaswaren, Geschirr	kg	n_a	2		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	6	1				
522	Besteck	kg	n_a	1		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	6	1				
523	Küchen- und Kochgeräte	kg	n_a	1		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	6	1				
524	Anderes Zubehör für die Haushaltsführung und zum Nähen	kg	n_a	1		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	4	1				
525	Reparaturen von Haushaltwaren	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U			CHF	1	0.02	20	14	1				
526	Maschinen mit Motor für den Garten	kg	n_a	30		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	4	1				
527	Andere Werkzeuge mit Motor	kg	n_a	30		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	4	1				
528	Gartenwerkzeuge, ohne Motor	kg	n_a	5		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	13	1				
529	Andere Werkzeuge, ohne Motor	kg	n_a	2		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	13	1				
530	Kleinmaterial und Zubehör für den Unterhalt von Haus und Garten	kg	n_a	1		Agricultural machinery, general, production/CH/I U		kg	1	3.85767	8	13	1				
531	Wasch- und Reinigungsmittel	kg	n_a	1			Soap, at plant/RER U	kg	1	1.14	8	13	1				
532	Kehrichtsäcke inkl. Gebühren oder Kehrichtmarken (Gebührenmarken)	kg	s_a	6.76261			waste treatment	kg	1	0	6	13	0				
533	Sonstige nicht dauerhafte Haushaltsartikel	kg	n_a	0.1			Soap, at plant/RER U	kg	1	1.14	8	13	1				
534	Häusliche Dienste	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U			CHF	1	0.02	20	14	1				

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum	kvdlca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o
535	Dienstleistungen von Reinigungsanstalten	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	1	0.02	20	14	1					
536	Dienstleistungen für die Haushaltsführung	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	1	0.02	20	14	1					
537	Reinigungsmaterial	kg	n_a	0.7	Soap, at plant/RER U	kg	1	1.14	8	13	1					
538	Tiefkühlschränke	kg	n_a	50	Agricultural machinery, general, production/CH/I U	kg	1	3.85767	8	6	1					
539	Wäschetrockner (Tumbler)	kg	n_a	50	Agricultural machinery, general, production/CH/I U	kg	1	3.85767	8	4	1					
540	Duvets und Kissen	kg	n_a	1	Textile, woven cotton, at plant/GLO U	kg	1	26.4	8	13	1					
601	Pharmazeutische Produkte	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	1	0.02	20	13	1					
602	Sanitätsmaterial	kg	n_a	0.1	T-shirt, coloured, at store/p/CH U	p	3.448 276	4.8	10	13	1					
603	Hörgeräte	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	1	0.02	20	4	1					
604	Arztleistungen	hour	n_a	2	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	118.87 26	0.02	17	14	1					
605	Zahnarztleistungen	hour	n_a	2	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	168.83 76	0.02	17	14	1					
606	Medizinische Labors und Röntgeninstitute	hour	n_a	0.01	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	1	0.02	17	14	1					
607	Heimpflege (medizinische)	hour	n_a	2	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	328.4 842	0.02	17	14	1					
608	Andere ambulante medizinische Dienstleistungen	hour	n_a	1	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	166.57 5	0.02	17	14	1					
609	Dienstleistungen der Spitäler	hour	n_a	24	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	48.64 797	0.02	17	14	1					
610	Brillen und Kontaktlinsen	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	1	0.02	20	13	1					

Appendices

kv5	kvds5	fu	unit	code	assum	kvdlca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvpi	kvecos	fu	o
611	Orthopädische Geräte		kg	n_a	0.5		Electronics for control units/RER	U	kg	1	27.7	10	13		1	
612	Andere therapeutische Geräte und Material		kg	n_a	1		Electronics for control units/RER	U	kg	1	27.7	10	13		1	
613	Andere medizinische Hilfsdienstleistungen	hour	n_a	1	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	60.92 298		0.02	17	14		1			
651	Coiffeur, Körperpflege	hour	n_a	1	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	60.92 298		0.02	17	14		1			
652	Elektrische Apparate und Geräte für die Körperpflege	kg	n_a	0.5	Electronic component, passive, unspecified, at plant/GLO	U	kg	1	51.8	12	4		1			
653	Nichtelektrische Artikel für die Körperpflege, halbdauerhaft	kg	n_a	0.2	Electronic component, passive, unspecified, at plant/GLO	U	kg	1	51.8	12	13		1			
654	Nichtdauerhafte Artikel in Watte und Papier für Körperpflege	kg	n_a	0.1	Electronic component, passive, unspecified, at plant/GLO	U	kg	1	51.8	12	13		1			
655	Andere Dienstleistungen für die Körperpflege	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	1	0.02	20	14		1				
656	Schmuck und Uhren	kg	n_a	0.1	Silver, from combined gold-silver production, at refinery/PE	U	kg	1	106	10	13		1			
657	Reise- und Lederartikel	kg	n_a	0.2		leather, tanned, at plant/kg/CH	U	kg	1	4.42	10	13		1		
658	Übrige persönliche Ausstattung	kg	n_a	0.2		women shoes, at plant/p/CH	U	p 11.1111	1.02	10	13		1			
659	Krippe, Kinderhorte	hour	n_a	171.4286	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	2.3	0.02	19	14		1				
660	Andere soziale Dienstleistungen	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	1	0.02	20	14		1				
662	Übrige finanzielle Dienstleistungen	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	1	0.02	20	14		1				
663	Sonstige Dienstleistungen	CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	CHF	1	0.02	20	14		1				
664	Körperseife und Badezusatz	kg	n_a	0.1	Electronic component, passive, unspecified, at plant/GLO	U	kg	1	51.8	12	13		1			
665	Haarpflegemittel	kg	n_a	0.25	Electronic component, passive, unspecified, at plant/GLO	U	kg	1	51.8	12	13		1			

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o
666	Zahnpflegemittel		kg	n_a	0.1	Electronic component, passive, unspecified, at plant/GLO U		kg	1		51.8	12	13	1			
667	Körperpflege- und Kosmetikmittel		kg	n_a	0.1	Electronic component, passive, unspecified, at plant/GLO U		kg	1		51.8	12	13	1			
668	Babyartikel, halbdauerhaft		kg	n_a	0.1		Soap, at plant/RER U		kg	1		1.14	12	13	1		
701	Neue Autos		kg	n_a	1600		Passenger car/RER/I U		p	0.000	667	4240	13	8	o		
702	Occasionsautos		kg	n_a	160		Passenger car/RER/I U		p	0.000	667	4240	13	8	o		
703	Motorräder (Hubraum ab 125 cm ³)		kg	n_a	200		Passenger car/RER/I U		p	0.000	667	4240	13	8	o		
704	Kleinnotorräder, Motorroller und Mopeds (Hubraum weniger als 125 cm ³)		kg	n_a	120		Passenger car/RER/I U		p	0.000	667	4240	13	8	o		
705	Fahrräder		kg	n_a	30		Passenger car/RER/I U		p	0.000	667	4240	16	8	1		
706	Ersatzteile für Fahrzeuge		kg	n_a	1		Maintenance, passenger car/RER/I U		p	0.045	455	787	13	8	o		
707	Zubehör für Fahrzeuge		kg	n_a	1		Maintenance, passenger car/RER/I U		p	0.045	455	787	13	8	o		
708	Benzin		pkm	pu_a	17.36111	Operation, passenger car, petrol, fleet average/CH U		km	0.72		0.266	13	7	1			
709	Diesel		pkm	pu_a	19.84127	Operation, passenger car, diesel, fleet average/CH U		km	0.72		0.233	13	7	1			
712	Schmiermittel und andere Pflegemittel für Fahrzeuge		kg	n_a	0.05716		Lubricating oil, at plant/RER U		kg	1		1.07	13	8	o		
713	Service und Reparaturen an Fahrzeugen		CHF	s	o	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U		CHF	1		0.02	13	8	o			
714	Miete von Garagen und Einstellplätzen (zusätzlich zum gemieteten Erstwohnsitz)		CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1		0.0163	13	8	o			
715	Miete von Garagen und Einstellplätzen (zusätzlich zu gemieteten Zweitwohnsitzen)		CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1		0.0163	13	8	o			
716	Miete von Garagen und Einstellplätzen (zusätzlich zum eigenen Erstwohnsitz)		CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1		0.0163	13	8	o			
717	Miete von Garagen und Einstellplätzen (zusätzlich		CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1		0.0163	13	8	o			

Appendices

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o
zu eigenen Zweitwohnsitzen)																	
718	Übrige Ausgaben zum Parkieren	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1	0.0163	13	8	0					
719	Leasing von Fahrzeugen	pkm	s_a	4.79481 5		Transport, passenger car/CH U	pkm	1	0.19402	13	9	1					
720	Übrige Dienstleistungen (Fahrzeugmiete usw.)	pkm	s_a	4.79481 5		Transport, passenger car/CH U	pkm	1	0.19402	13	9	1					
721	Bahn- und Trambillette	pkm	n_a	50		Transport, regional train, SBB mix/CH U	pkm	1	0.0152	14	9	1					
722	Bahnabonnemente: Generalabonnement, Streckenabonnement, Halbtaxabonnement	pkm	n_a	1338.333		Transport, regional train, SBB mix/CH U	pkm	1	0.0152	14	9	1					
723	Bus-, Car- und Postautobillette	pkm	n_a	12		Transport, regular bus/CH U	pkm	1	0.104	14	9	1					
724	Abonnemente von öffentlichen Verkehrsmitteln innerhalb einer Agglomeration	pkm	n_a	400		Transport, regular bus/CH U	pkm	1	0.104	14	9	1					
725	Flugbillette	pkm	n_a	5000		Transport, aircraft, passenger/RER U	pkm	1	0.154	15	11	1					
726	Schiffbillette	pkm	n_a	50		Transport, regular bus/CH U	pkm	1	0.104	14	9	1					
727	Weitere Verkehrleistungen	pkm	n_a	5		Transport, regular bus/CH U	pkm	1	0.104	14	9	1					
728	Taxi, Privatchauffeur	pkm	n_a	10		Transport, regular bus/CH U	pkm	1	0.104	14	9	1					
801	Posttaxen	CHF	s	o	160-62-Post.Landverk., Rohrtransp., Schiff- und Luftfahrt, Export/CHF/CH U		CHF	1	1.20761	20	14	1					
802	Kauf von Telefonapparaten und Faxgeräten	kg	n_a	1.1	Electronic component, passive, unspecified, at plant/GLO U		kg	1	51.8	10	4	1					
803	Fixtelefonie: Abo, Miete von Apparaten, Gespräche	hour	s_a	0.16666 7	164.Nachrichtenübermittlung, Export/CHF/CH U		CHF	9.487	0.0138	17	14	1					
804	Internet: Dienstleistungen des Providers, evtl. Miete von Apparaten	CHF	s	o	164.Nachrichtenübermittlung, Export/CHF/CH U		CHF	3.5793 1	0.0138	20	14	1					
805	Mobiletelefonie: Abo, SMS, Gespräche	hour	s_a	0.04166 7	164.Nachrichtenübermittlung, Export/CHF/CH U		CHF	2	0.0138	17	14	1					

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum	kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvpi	kvecos	fu	o
Alters- und Hinterbliebenenversicherung (AHV),																
821	Invaliditätsversicherung (IV) und Erwerbsersatzordnung (EO): Beiträge	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
822	Arbeitslosenversicherungsbeiträge(ALV)	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
823	Unfallversicherungsbeiträge(UVG)	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
824	Pensionskassenbeiträge(BVG)	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
825	Andere Sozialversicherungsbeiträge der Erwerbspersonen	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
829	Krankenkasse: Prämien für die Grundversicherung	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	22	14	1					
830	Prämien für die Spital-Zusatzversicherung	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	22	14	1					
831	Prämien für weitere Zusatzversicherungen	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	22	14	1					
832	Beiträge für die Säule 3A (anteilsgebundene Lebensversicherung)	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
833	Beiträge für die Säule 3B (nicht anteilsgebundene Lebensversicherung)	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
834	Fahrzeugversicherungsprämien	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	22	8	1					
835	Prämien für die Versicherung des Haustrats gegen Feuer- und andere Schäden (Haushaltsversicherung)	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	22	14	1					
836	Prämien für Brand- und andere Gebäudeversicherungen (eigener Erstwohnsitz)	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	22	14	1					
837	Prämien für Brand- und andere Gebäudeversicherungen (eigene Zweitwohnsitze)	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	22	14	1					
838	Prämien für die private Haftpflichtversicherung	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	22	14	1					
839	Prämien für die Rechtsschutzversicherung	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	22	14	1					

Appendices

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum	kvdlca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o
840	Organisationen mit Versicherungsanteil (Rega, ETI-Schutzbrief, Paraplegikerstiftung usw.)	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	22	14	1					
841	Prämien für andere Privatversicherungen	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	22	14	1					
843	Direkte Bundessteuer	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	23	14	1					
844	Kantonale Einkommens- und Vermögenssteuern	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	23	14	1					
845	Kommunale und andere Einkommens- und Vermögenssteuern (Kirche, usw.)	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	23	14	1					
847	Quellensteuer	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	23	14	1					
848	Liegenschaftssteuer (eigener Erstwohnsitz)	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	23	14	1					
849	Liegenschaftssteuer (eigene Zweitwohnsitze)	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	23	14	1					
850	Fahrzeugsteuer	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	23	8	1					
851	Militärpflichtersatz	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	23	14	1					
852	Andere Steuern und Gebühren (Hunde usw.)	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	23	14	1					
853	Bussen	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	23	14	1					
854	Beiträge an Sportclubs oder -vereine	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
855	Beiträge an Freizeitvereine	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
856	Beiträge an kulturelle Vereinigungen	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
857	Beiträge an Quartiervereine	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
858	Beiträge an politische Parteien	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
859	Beiträge an Gewerkschaften oder Berufsverbände	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
860	Beiträge an religiöse Vereinigungen	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					
861	Beiträge an Umweltschutzorganisationen	CHF	s	o	170-74.Immobiliens, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U	CHF	1	o.0163	21	14	1					

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum		kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvpi	kvecos	fu	o	
862	Beiträge an Konsumentenschutzorganisationen, Mieterverbände u.ä.	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1	o.0163	21	14		1					
863	Beiträge an andere politische Vereinigungen oder Bewegungen	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1	o.0163	21	14		1					
864	Andere Beiträge	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1	o.0163	21	14		1					
865	Bargeldspenden an private Organisationen ohne Erwerbscharakter (POoE) (ohne Legate und Schenkungen)	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1	o.0163	21	14		1					
866	Übertragungen an andere private Haushalte im Inland (inkl. Legate und Schenkungen)	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1	o.0163	21	14		1					
867	Übertragungen an andere private Haushalte im Ausland (inkl. Legate und Schenkungen)	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1	o.0163	21	14		1					
879	Verluste (netto) aus informeller Erwerbstätigkeit	CHF	s	o	170-74.Immobilien, unternehmensbez. DL, Export/CHF/CH U		CHF	1	o.0163	21	14		1					
901	Radios und Audiogeräte	kg	n_a	1		Electronic component, unspecified, at plant/GLO U		kg	1	278.493	10	4		1				
902	Fernsehgeräte	kg	n_a	2		Electronic component, unspecified, at plant/GLO U		kg	1	278.493	10	4		1				
903	Foto- und Filmapparate und dauerhaftes Zubehör	kg	n_a	0.5		Electronic component, unspecified, at plant/GLO U		kg	1	278.493	10	4		1				
904	Optische Instrumente	kg	n_a	0.5		Electronic component, unspecified, at plant/GLO U		kg	1	278.493	10	13		1				
905	Büromaschinen	kg	n_a	2		Electronic component, unspecified, at plant/GLO U		kg	1	278.493	10	13		1				
906	Desktop, Heimcomputer	kg	n_a	3		Electronic component, unspecified, at plant/GLO U		kg	1	278.493	10	4		1				
907	Musiktonträger - oder für Musik vorbestimmt (CD, Schallplatten, Kassetten und Tonbänder)	kg	n_a	0.1		Electronic component, unspecified, at plant/GLO U		kg	1	278.493	10	13		1				
908	Filmträger - oder für den Film vorbestimmt (DVD, Videokassetten VHS)	kg	n_a	0.1		Electronic component, unspecified, at plant/GLO U		kg	1	278.493	10	13		1				
909	Fototräger - oder für den Film vorbestimmt (Memory Karte, Film, andere Produkte)	kg	n_a	0.05		Electronic component, unspecified, at plant/GLO U		kg	1	278.493	10	13		1				
910	Multimedia-Träger, unbespielt oder bespielt (CD, DVD, Disketten, etc.)	kg	n_a	0.05		Electronic component, unspecified, at plant/GLO U		kg	1	278.493	10	13		1				

Appendices

kv5	kvd5	fu	unit	code	assum	193-95.Erbring. von sonst. DL, priv. Haushalte mit Personal, Export/CHF/CH U	kvd1ca	lca	unit	a	lca	ghg	fu	kvp1	kvecos	fu	o	
911	Reparaturen von Radios, Audio-, Fernseh- und Videogeräten, Foto- und Filmapparaten, Büromaschinen und Computern	CHF	s	o			CHF		1		0.02		20		14		1	
912	Musikinstrumente	kg	n_a	3		Particle board, indoor use, at plant/RER U	m ³		0.001			267		10		13		1
913	Wohnwagen und Mobilheime	kg	n_a	1000		Passenger car/RER/I U	p		0.000			4240		10		8		1
914	Flugzeuge und Boote	kg	n_a	1000		Passenger car/RER/I U	p		0.000			4240		10		8		1

ETH Zurich
Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
Universitaetstrasse 22
P.O. Box 32
8092 Zurich
SWITZERLAND

Phone +41 44 632 58 92
www.nssi.ethz.ch/res/

Mental rebound

Rebound Research Report 3

Zurich, 31 Mar 2009
BG, PdH



Preferred citation style:

Girod B, de Haan P, 2009. Mental rebound. Rebound Research Report Nr. 3. ETH Zurich, IED-NSSI, report EMDM1522, 34 pages. Download:
www.nssi.ethz.ch/res/emdm/

© 2009 ETH Zurich, IED-NSSI, Switzerland.
All rights reserved.

For further information please contact:

ETH Zurich, Dept. of Environmental Sciences
Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
Universitaetstrasse 22, CHN J73.2
8092 Zurich
Switzerland
Tel. +41-44-632 58 92 (secretariat)
Fax. +41-44-632 29 10
www.nssi.ethz.ch/res/emdm/

Author contact:

Bastien Girod
bastien.girod@env.ethz.ch
www.nssi.ethz.ch/people/staff/girodb
+41-44-632 63 13
Peter de Haan
dehaan@env.ethz.ch
www.nssi.ethz.ch/people/staff/pdehaan
+41-44-632 49 78

Table of contents

Abstract.....	5
1 Introduction.....	7
1.1 Non-monetary causes for rebound effects.....	7
1.2 Empirical evidence for mental rebound: Indications from current surveys and further evaluations.....	9
2 Formal description	10
2.1 Household consumption: An optimization problem.....	10
2.2 Rebound effect	10
2.3 Mental rebound	11
2.3.1 Mental environmental Budget.....	11
Mental rebound	11
2.3.2 Mental accounting	11
3 Indications from existing surveys	13
3.1 Income and expenditure survey: Organic food and total GHG emissions.....	13
3.1.1 Method	13
3.1.2 Results.....	13
3.1.3 Discussion and Conclusion	14
3.2 Traffic survey: Car availability and flights.....	15
3.2.1 Method	15
3.2.2 Results.....	15
3.2.3 Discussion and Conclusion	16
3.3 Environmental survey: Flights, car, efficient building and environmental awareness	16
4 Rebound due to efficient buildings?	17
4.1 No monetary basis for Rebound effects.....	17
4.2 Indications for (mental) rebound	17
4.2.1 Parameters of the survey.....	17
4.2.2 Larger Flat.....	17
4.2.3 More flights	18
4.2.4 Spending of financial saving and wage increase.....	18
4.3 Lessons learned for future surveys	19
4.3.1 Quantitative aspects	19
4.3.2 Qualitative aspects.....	19
4.3.3 Questionnaire for future survey on rebound from MINERGIE Buildings	20
5 General findings for future research and recommendation for policy	21
5.1 Indications for mental rebound concept from existing surveys	21
5.2 Indication for mental rebound from case study (efficient buildings).....	21
5.3 Robust recommendation for policy.....	22
6 Literature.....	23
Annex 1 - Questionnaire of Pretest.....	25

Abstract

Current research on causes of rebound effects focus on changes in limiting factors on consumption or production, such as financial or time costs. For instance if the energy efficiency of a car increases, the costs per kilometer also become cheaper and thus consumers might drive longer distances. However, rebound effects due to behavioral changes of households can also be observed for efficiency increases where the costs do not decrease. For instance people driving further with more efficient cars, even though the costs are not lower if higher investment costs are considered. To explain such rebound effects we propose a concept of "mental rebound". This concept postulates that households apply a mental accounting (bookkeeping) for the environmental impacts caused. The use of higher efficiency, according to our concept, allows households to compensate for this pro-environmental action with an increase in consumption. For instance a buyer of a hybrid car accounts this purchase as a strong reduction in personal environmental impact and hence feels "allowed" to drive more. This report includes a formal description of the mental rebound concept. Based on existing surveys, we evaluate whether a mental rebound can be observed for the purchase of organic food and the absence of a car. In addition, we present the results of a pretest on the rebound effect of more efficient buildings which also provide indications of mental rebound effects. To support the concept of mental rebound, further investigations are needed; with this report we establish a basis for such studies. Although the proposed concept needs further verification, the reflections conducted and the formal evaluations allow some robust policy recommendations.

Keywords

Rebound effects, mental budgets, mental accounting, household consumption, GHG emissions.

1 Introduction

1.1 Non-monetary causes for rebound effects

Rebound effects¹ induced by cost savings were the first to be investigated and originate in the field of economics, especially energy economics. In close analogy, *time savings* (Jalas, 2002; Spielmann, de Haan, & Scholz, 2008) and the *reduction of socio-psychological costs of ownership* (as first postulated in de Haan, Mueller, & Peters, 2006) might also be regarded as possible drivers for rebound effects. As an example of the latter, it may well be not the financial but the socio-psychological cost-of-ownership (due to neighborhood pressure, norms of a peer group, etc.) that prevents people from buying sport-utility vehicles (SUV) (de Haan, Peters, & Scholz, 2007).

The macroeconomic definition of the rebound effect, as given in de Haan (2008), is based on the elasticity of final energy demand with respect to changes in energy-efficiency. This is a purely descriptive metric that does not allow for causal interpretations. Neither does the macroeconomic definition allow separating the total rebound effect into direct, indirect, and economy-wide macro rebound effects². For this, one has to switch to the microeconomic level. In this section, we therefore differentiate three possible causal mechanisms that can give rise to rebound effects. Moving towards causality also means distinguishing between drivers of human behavior. Price signals are one of those drivers, but there are others.

Economic (monetary) rebound is caused by price signals, i.e. by the sum of substitution effects and income rebound. This is the classic causal driver for rebound effects mostly dealt with in the literature and in empirical microeconomic field studies aimed at identifying and quantifying rebound effects. However, this causal mechanism requires that money is in fact saved and the increase in energy-efficiency does lead to saved energy costs, corrected for higher investment costs. Normally, more efficient technologies or services have lower operating costs, but higher investment costs (were that not the case, a classic win-win situation would be present). In rebound research it is important to account for the higher investment costs. It has to be kept in mind that in purchase decisions individual consumers often do not correctly compute total costs of ownership. Individuals use excessively high discount rates and weight the present (investment costs) too high in comparison with the future (running energy costs). The other side of the coin, however, which may occur especially in the context of human decisions specifically aiming at reducing energy costs, is that any change in investment costs is simply ignored and considered irrelevant to the environmental decision the individual is about to make ("that is another matter"). This can in part be described by the psychological effect called *mental accounting* (Thaler, 1999), and by the characteristics of human decision making under uncertainty; the Prospect Theory of Kahneman and Tversky unifies these effects among others (Kahneman & Tversky). If an income rebound effect only occurs due to incorrect discount rates or due to mental accounting (i.e., the consumer thinks he is net saving, and therefore starts spending more, but in fact has ignored the higher investment and is not net saving at all), in our terms this is not an economic rebound, but a socio-psychological rebound effect instead.

The rebound effect is defined as a function of (final) energy demand elasticity with regard to changes in energy efficiency. This is a purely descriptive measure that can in principle be determined empirically; this definition does not differentiate among different possible causes. Whereas it is generally implied that there should be a price signal

¹ Increasing demand for energy subsequent to increasing energy efficiency.

² Direct rebound: Increasing demand for the energy service with increased energy efficiency; indirect rebound: increasing demand for other energy services; economy-wide macro rebound: increasing energy demand on the macro level.

(induced by increased energy efficiency) in order for the demand response to come into existence, it might well be that innovative technologies have higher energy efficiency and hence lower energy bills, but need higher investments and have an identical cost of ownership, such that for the rational consumer there is no net price signal induced by the new technology. If the consumer were, however, to undervalue investment costs, i.e. have different preference weights for investment money than for energy bill money, he or she might perceive a price signal (towards the innovative technology) all the same. If, on the other hand, a consumer applies too high discount rates and values the present much more highly than the future, he or she might overvalue the additional investments and also perceive a price signal (towards conventional technology). It should be noted that the definition of the rebound effect in itself does not state that a price signal should be present, it merely builds upon changes in energy demand due to changes in energy efficiency. Price changes are the most often investigated, most widely accepted intermediate variable here, but other mechanisms could be present for so-called “bounded rational” decision makers and for so-called “imperfect markets”. We therefore distinguish different possible causal mechanisms that are suited to inducing (direct) rebound effects:

1. Income rebound (“economic rebound”, “rebound induced by rational price signal”): The increased demand for the energy service that has become more energy-efficient is due to economic reasoning only. This causal chain applies if the higher investment costs for the energy service with the better energy-efficiency do not fully compensate financial savings due to lower energy bills (and any tax cuts, incentives, etc.).
2. Socio-psychological rebound. The increased demand is due to reduced socio-psychological costs of ownership or usage for the energy service with the better energy efficiency. This effect will be present in most cases where the above-mentioned income rebound occurs, as consumers hardly ever exhibit fully rational decision making and often do not have precise knowledge about energy prices, pay-back periods, etc. Consumer decision making with regard to energy-intensive services is in most cases characterized by rule-of-thumb, heuristic decision approaches, and only rough, if any, knowledge on total energy costs.

Socio-psychological causes for rebound effect cannot be expected to be completely avoidable. But improved information, transparency, education, changes to the design of incentive schemes, etc., might help. All of these measures might be used to change the decision making behavior of bounded rational individuals towards the „homo oeconomicus“ concept. Main points of departure are that consumers weight prices differently according to the periodicity and payment method (daily out-of-the-pocket expenses, like gasoline costs, are given more weight than the annual car tax bill), according to the level of perceived control (car repair costs due to accidents are perceived as out of control and mostly not part of any „mass transit vs. own car“ cost comparison), and according to the transaction partner (being eligible for tax rebates might induce greater behavioral changes than direct rebates on the product price). All of these “psychology of the perception of money” effects might induce rebound effects due to perceived price signals, even though a price signal is in fact not present when proper financial computations are performed, including all cost components and applying realistic discount rates for future payments.

In addition to the above-mentioned effects that describe how people might deviate from “rational” decision making (in the homo oeconomicus sense), but personally perceive their decision as being rational, individual decision makers of course are not guided by monetary signals alone (“extrinsic motivation”, see Coad, de Haan, & Woersdorfer, 2009 (in press)); they also have goals, norms, and preferences (“intrinsic motivation”). Over the last decades many studies have been conducted to investigate the determinants of different environmental behaviors. For the following short overview we follow Peters et al. (2009 (submitted)). The theories most often applied are the theory of planned behavior (TPB, Ajzen, 1991) and the norm-activation model (NAM, Schwartz, 1997). According to the TPB, behavior is immediately influenced by a person’s intention to perform the behavior. Intention, in turn, is determined by (1) a person’s attitude towards the behavior, defined as an overall evaluation of its possible consequences, (2) subjective norms, referring to the perceived expectations of other important persons (social norms), and (3) the perceived behavioral control (PBC), defined as a person’s perceived power to perform the behavior due to non-motivational factors such as availability of opportunities and resources. Studies using the NAM explain environmental behavior as being influenced by (1) a personal ecological norm, denoting a strong intrinsic feeling of obligation to engage in the specific pro-environmental behavior. This personal norm is formed and activated by (2) the awareness of an environmental problem and by (3) the

awareness of environmental consequences of one's own behavior, denoting the perception that one's own behavior has harmful consequences for the environment and that, therefore, a change in behavior has an effect on the problem. For example, somebody might purchase a hybrid vehicle even if projected overall costs per vehicle kilometer are somewhat higher, because of a strong personal norm and at the same time the presence of strong social norms. This purchase decision could however weaken the personal attitude to also act pro-environmentally in other, upcoming decisions. For example, the personal feeling of obligation to reduce car driving as much as possible might become less strong once a hybrid vehicle is owned. Or the social norm not to use the car for very short trips might decrease once a hybrid vehicle is employed.

We define mental rebound as the increase in energy consumption or GHG (greenhouse gas emissions) subsequent to increasing efficiency due to mental reasons. For instance, if someone buys organic food he might think that he has done something good for the environment and can therefore drive a bigger car and/or longer distances. Thus the concept of "mental rebound" assumes that people keep something like an ecological account. That such mental accounts matter for financial activities is argued by Thaler (1999). While Thaler focus on a monetary bookkeeping we propose a bookkeeping for environmental impacts. "Increasing efficiency" also includes changes in consumption patterns towards more ecological consumption (or consumption *perceived* as being more ecological). In the literature the term "mental rebound" is not used and there is no extensive research focus on this issue. However, Hoffstetter et al. (2006) postulate that efficiency improvement can lead to changing preferences for mental reasons, which could for instance be a compensation for lower happiness due to changes in consumption.

1.2 Empirical evidence for mental rebound: Indications from current surveys and further evaluations

While the concept of "mental rebound" is intuitive and different anecdotal stories like "I separate the waste, therefore I am allowed to drive around a little more with my car" indicated its potential relevance, to our knowledge no empirical study has yet proven its existence. With this report we will outline a formal description of the mental rebound and investigate whether existing surveys provide evidence for mental rebound. First, we use the Swiss traffic survey to analyze whether households with no car fly more often. This would indicate that "having no car", which is broadly seen as climate friendly, leads to more flights, which are known for their high GHG emissions. Second, we consider the income and expenditure survey to analyze whether people who buy more organic food tend to compensate for this ecological behavior with other non-ecological activities. Third, we will lay out how the environmental survey 2007 (Diekmann, Meyer, Mühlmann, & Diem, 2009) could be used to investigate the presence of mental rebound effects. Finally, we will outline the results of a pretest conducted to assess for mental rebound in the case of more efficient buildings. Thus the report lays the groundwork for further in-depth analyses of the mental rebound. Conceptual reflections and results from existing surveys allow us to draw some conclusions and make some hypotheses on the rebound effect, which however need further verification. Of course these indications do not prove any causality yet. However, a general finding from the conceptional analysis is that, independent of the outcome of further research on mental rebound, the magnitude of this effect can be reduced by (i) increasing awareness of the gap between current consumption and the earth's carrying capacity and (ii) more transparency about the environmental impact of different activities and purchases.

2 Formal description

In this section we start with a general formal description of household consumption. Subsequently, the formal description of mental rebound is derived. Since we use different methods to analyze potential mental rebound effects and environmental accounting, we will describe the methods applied together with the corresponding results in sections 3 and 4.

2.1 Household consumption: An optimization problem

We assume consumers face a choice of n commodities labeled $1, 2, \dots, n$. The consumer is assumed to have a cardinal utility function U (cardinal in the sense that it assigns numerical values to utilities), depending on the amounts of the commodities x_1, x_2, \dots, x_n consumed. The model further assumes that consumers purchase goods x_1, x_2, \dots, x_n in such way as to maximize $U(x_1, x_2, \dots, x_n)$, considering different constraints on consumption like the expenditure budget, M , household time, T , and other household resources, R . Each commodity uses part of the household resources. The expenditure budget is linked to the market price p_1, p_2, \dots, p_n ; household time, to the time use of the products, tu_1, tu_2, \dots, tu_n , (which is equal to the inverse of the speed $tu_1 = s^{-1}$), and other household resources needed to consume the commodities, ru_1, ru_2, \dots, ru_n . The problem of rational behavior in this model then becomes an optimization problem that is:

$$\max U(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad x_i \geq 0 \quad i \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ subject to } \sum_{i=1}^n p_i \cdot x_i \leq M; \sum_{i=1}^n tu_i \cdot x_i \leq T; \sum_{i=1}^n r_{ij} \cdot x_i \leq R_j$$

The impact of the household, I , can be described as:

$$I = \sum_{i=1}^n ei_i \cdot x_i$$

where ei_i is the environmental impact per functional unit of consumption. Changes in consumption due to a new product or an induced consumption change lead to an increase in household resource R :

$$\Delta R_j = \sum_{i=1}^n r_{ij,new} \cdot x_{i,new} - r_{ij,old} \cdot x_{i,old}$$

where the changing household resource, ΔR_j , can also be expenditure, M , or time use, T .

2.2 Rebound effect

According to (Dimitropoulos & Sorrell, 2006) the rebound effect, R can be described as:

$$R_i = \frac{ENG - ACT}{ENG} = \left(1 - \frac{ACT}{ENG}\right)$$

where **ENG** is the percentage of savings predicted by engineering energy calculation, assuming *ceteris paribus*; **ACT**, describes the actual saving in energy consumption, including behavioral changes or marked adjustments. The rebound can be applied also to other environmental resource use and hence environmental impact in general. The rebound effect can be reformulated as elasticity of energy use to efficiency increase, η :

$$R_i = 1 - \eta_e(E) \text{ with } \eta_e(E) \sim \frac{\Delta E/E_0}{\Delta \epsilon/\epsilon_0} = \frac{ACT}{ENG}$$

2.3 Mental rebound

2.3.1 Mental environmental Budget

Relying on findings from the literature (Thaler, 1999) we propose that people have mental environmental budgets. Thus we can treat the mental environmental budget similarly to a household resource like income and time (see formal description above). The following formulation describes the total (subjective) environmental impact budget, EB , of a household:

$$EB_{hh} = \sum es_{hh,i} \cdot x_{i,hh} \quad (n \geq i \geq 0)$$

where $es_{hh,i}$ describes the subjective environmental impact per consumption in functional units, fu , for the different activities/consumption categories i .

Difference between target and subjective environmental budget: Unlike for other household resources the subjective environmental budget is not necessarily in balance with the targeted budget, ET , of the household. The difference between the subjective environmental budget and the target budget, $EB - ET$, leads to cognitive dissonance (Festinger, 1957).

Difference between real and subjective environmental budget: The difference between the subjective and the real environmental impact of a household, $EB - I$, can be described as a lack of information about the environmental impact of different consumption activities:

$$EB_{hh} - I_{hh} = \sum (es_{hh,i} - ei_i) \cdot x_{i,hh}$$

where ei_i is the real environmental impact and $es_{hh,i}$ the subjective impact per functional unit of consumption. Consistent with the proposed difference between the subjective and real environmental impact, a Dutch survey showed that people rate the impact of an appliance according to its size, and that energy consumption which is not visible (like hot water for a shower) tends to be neglected or underestimated (Schuitema & Steg, 2005).

Mental rebound

The formal description of mental rebound can be summarized from the formal descriptions of household consumption and rebound effect (above). The change in energy saving, applying the *ceteris paribus* assumption, corresponds to the change in total environmental impact of the household ($ENG \rightarrow \Delta I$). The actual reduction of environmental impacts can be described as follows – neglecting other constraints than mental rebound:

$$ACT = ENG - \sum ei_i \cdot a_i \cdot \underbrace{\Delta EB \cdot \frac{x_i}{es_{hh,i}}}_{\Delta x} \quad \{1 \geq a_i \geq 0 \mid \sum a_i = 1\}$$

where Δx describes the change in functional unit through mental rebound. Mental rebound is determined by the amount of change in the subjective environmental budget, ΔEB ; the share, a_i , describes how this difference is used to increase consumption in the different categories. The change in consumption (Δx) is then accounted with the real environmental impact ei_i and summed up over all consumption categories to obtain the actual reduction in environmental impact. It is important to emphasize that for this case we assume the subjective environmental rebound, EB , to be equal to the personal target for the environmental impact, ET .

2.3.2 Mental accounting

In the sections above we have introduced the notion of a mental environmental budget as an additional household resource, complementing the financial budget. This mental environmental budget might also be regarded as an “operationalization of conscience”. Of course, households do not perform exact bookkeeping with regard to their environmental budget (most households do not even have an exact notion of their financial budget). Instead, we postulate that households have a fuzzy conceptionalization of their mental environmental budget.

2. Formal description

Households can also be expected to apply mental accounting. Mental accounting is usually applied to financial bookkeeping, but also describes the effect that consumers have different „accounts”. In the context of mental environmental budgets, mental accounting might emerge in two different ways:

1. different accounts for different environmental compartments (e.g. local pollution vs. global GHG)
2. different accounts for different types of activities.

This mental accounting has an influence on how changes in the subjective environmental impact, ΔEB , is “spent” on other activities, a_i .

Beside the proposed mental account for the household (subjective) environmental budgets, classical mental accounting in financial budgets also matters for the rebound effect in the following ways:

1. Use of saved money: The proven fact that consumers set budgets for categories of expenditure (Heath & Soll, 1996; Thaler, 1999) implies for financial savings due to efficiency improvements that these savings will largely be re-spent on the same activity. For instance savings from a more efficient car are used toward a higher quality of car or more driving (however, the latter is probably limited by time use). Hence, the classical mental financial budgets favor direct rebound effects in the case of a cost reducing increase in environmental efficiency.
2. Use of financial incentive: That mental budgets also matter for financial incentives is proposed by Abeler and Marklein (2008). They claim that incentives given for a certain purpose are often also used in this way and hence that money is – at least for this case – not fungible. They found in a field experiment that even in a simple, incentivized setup many subjects do not treat money as fungible. When a label is attached to a part of their budget, subjects change consumption according to the suggestion of the label. A controlled laboratory experiment confirms this result and further shows that subjects with lower mathematical abilities are more likely to violate fungibility. One implication of these results is that in-kind benefits distort consumption more than is usually assumed.

3 Indications from existing surveys

3.1 Income and expenditure survey: Organic food and total GHG emissions

3.1.1 Method

Formal description of the case: The consumption of organic food is an interesting case because one can argue that the household assumes that buying organic food is favorable for the environment. However, LCA studies show that for instance GHG emissions for organic food per functional unit (kg) are similar to those for conventional food. Hence, the subjective environmental impact is considerably smaller than the real environmental impact $ei_{hh,organic\ food} \gg es_{hh,organic\ food}$. According to the mental rebound assumption, if all households had the same target for their environmental footprint, households buying organic food would compensate for this environmentally friendly action by driving more, booking more flights or other environmentally unfriendly actions. Hence, the share of organic products would have a negative influence on the total GHG emissions of households.

Data and calculation: We use the income and expenditure survey from the years 2000 to 2003 (BFS, 2003). We derive the total impact of all these households (Girod, 2008). Subsequently we analyze whether the households with a high share of organic food purchases have a higher environmental impact by (i) a regression analysis and (ii) comparing average share of organic purchases for different GHG emitter groups. Since environmental impact increases with expenditure (Kok, Benders, & Moll, 2006) we (i) use expenditure as the control variable in the regression analysis and (ii) keep the expenditure level constant within the different household groups.

Limitation: If the intended environmental budget of households buying more organic food is lower because of greater environmental awareness, total GHG emissions will be lower than average despite mental rebound. Hence, environmental awareness should be used as the control variable. However, this variable was not covered in the survey.

3.1.2 Results

Table 1 shows the regression of the share of organic food and the total GHG emissions considering total expenditure as the control variable. We consider different cases: First, using only the control variable “total expenditure” shows that expenditure explains a considerable part of the variance in total GHG emissions. Second, the “share of organic food purchase” correlates significantly negatively with the “total GHG emissions”. This means that people buying more organic food have lower GHG emissions. The fact that in the third case, where only the “share of expenditure for organic food” and “total GHG emissions” are used, the coefficient of the organic share is not significant, can be explained by the correlation of expenditure and GHG emissions as well as the increasing share of organic food with income, which leads to an overlapping of two contradictory influences on GHG emissions. Controlling for “total expenditure”, the “share of expenditure for organic food” also correlates significantly negatively with the “total GHG emissions”.

3. Indications from existing surveys

Table 1. Regression of household GHG emissions with share of purchases of organic food and expenditure

	1. case	2. case	3. case	4. case	5. case
Independent variable:					
Share of organic purchases (0-1) ¹		-767.4***		-1150***	
Share of organic expenditure (0-1) ¹			-16.07		-347.3***
Independent variable:					
Spending (CHF/month)	0.173***			0.174***	0.174***
Constant	1187***	2210***	2179***	1230***	1211***
Observations	14584	14581	14581	14581	14581
R-squared	0.108	0.001	0.000	0.110	0.109

Note: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. ¹ Purchases and expenditure for food and beverages only. N=14'000 households

Table 2 shows different household groups with similar expenditure level and household structure, but decreasing total GHG emissions. It reveals that the share of organic purchases and expenditure decreases with increasing total GHG emissions. The differences in share of organic purchases are significant (p<0.01) between the 1st and 2nd as well as between the 2nd and 3rd quintile.

Table 2. Consumption of organic food by different GHG emission household groups

Household emitter groups	GHG	Share of organic purchases	Share of organic expenditure	GHG emissions [kgCO ₂ e /month]	GHG emissions for nourishment [kgCO ₂ e /month]	Total expenditure [CHF /month]
1 st quintile		6.0%	10.2%	1243	224	5666
2 nd quintile		4.6%	8.7%	1679	246	5752
3 rd quintile		3.9%	7.6%	2008	258	5617
4 th quintile		3.5%	7.2%	2383	269	5757
5 th quintile		3.3%	6.7%	3585	278	5811
Total		4.2%	8.1%	2178	255	5720

Note: ¹ Purchases and expenditure for food and beverages only. The differences in the share of organic purchases are significant (p<0.01) between the 1st and 2nd as well as the 2nd and 3rd quintile.

3.1.3 Discussion and Conclusion

First, it is important to emphasize that these results only deliver indications and that further investigations are needed. For instance, there are, beside the better environmental performance, other reasons like health or quality that can lead to the purchase of organic food. However, the results indicate that the purchase of organic food does not lead to higher GHG emissions because the purchase of organic food is seen as very ecological and therefore can be compensated elsewhere. However, this does not contradict the proposed concept of mental rebound, because what we observe could also be explained by different environmental targets among the households. The household purchasing organic food might be more environmentally aware and therefore set themselves a stricter target for their environmental impact. This effect could simply overlay the mental rebound of organic food purchase. To exclude this effect one would also have to consider environmental awareness as a control variable and proxy for the household target.

3.2 Traffic survey: Car availability and flights

3.2.1 Method

Formal description: Since car use is well known for its environmental impact, it can be assumed that people with no car have a considerably lower subjective environmental impact. Assuming an average target for personal environmental budget, households will compensate for the low car use with a higher frequency of other activities with high environmental impact. We will therefore assess whether households without a car take airplane flights more often than those who own one.

Data and calculation: The basis for this analysis is the Swiss traffic survey (BFS & ARE, 2007), which surveyed the mobility (including journeys) behavior of 9706 households. For these households we know how many flights they undertook for their last three journeys and whether they have a car. In addition, we will again control for income.

Limitation: If the subjective environmental budget of households with no car is lower because of higher environmental awareness, the total GHG emissions will be lower than average despite mental rebound. Therefore the number of flights could also be lower. Hence, environmental awareness should be used as a control variable. However, this variable was not indicated.

3.2.2 Results

Table 3 shows the output of a regression analysis for the number of flights. Considering only cars (Case 1) reveals a significantly positive relation. However, this is a cross correlation since both the number of cars and the number of flights depend on income (for flights and income see Case 2). Controlling for income reveals that the number of cars is indeed significantly negatively correlated with the number of flights.

Table 3. Regression of number of flights for journeys, number of cars and income

	Case 1	Case 2	Case 3
Independent variable			
Number of cars	0.0316***		-0.0141**
Income		0.0451***	0.0481***
Constant	0.102***	-0.0302***	-0.0250**
Observations	9706	7793	7793
R-squared	0.004	0.035	0.036

Note: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. Number of observations: 7793

Table 4 shows the underlying distribution of flights relative to household income class and car availability. Comparing the number of flights per household within the different income categories reveals that for the income category higher than 4000 CHF per month the households without a car take more flights, which is consistent with the results from the regression analysis.

3. Indications from existing surveys

Table 4. Number of flights for journeys of different income group of households, with and without a car

Income group	Number of flights per household		Number of households (households with flights in brackets)	
	No car	One or more cars	No car	One or more cars
Lower CHF 2000	0.06	0.12	165 (9)	105 (9)
Up to 4000 CHF	0.04	0.06	590 (24)	825 (44)
Up to 6000 CHF	0.12	0.10	341 (36)	1751 (167)
Up to 8000 CHF	0.21	0.13	136 (24)	1579 (179)
Up to 10000 CHF	0.24	0.21	76 (13)	997 (178)
Over 10000 CHF	0.40	0.28	48 (12)	1180 (251)
Total	0.10	0.15	1356 (118)	6437 (828)

3.2.3 Discussion and Conclusion

The higher number of flights for journeys for households without a car compared to households of the same income group with at least one available car could be explained by a mental rebound effect. However, the sample size of households without car for the different income groups is quite small. In addition, the higher number of flights for households without a car could also be explained by (i) income rebound, since lower expenses for car use allow higher spending on holidays or (ii) logistic reasons, since households without a car can less easily choose car travel for a holiday, hence leaving plane or train as the travel mode. In addition we analyzed

3.3 Environmental survey: Flights, car, efficient building and environmental awareness

The environmental survey (Diekmann, et al., 2009) allows us (i) to assess the environmental footprint of participating households, (ii) to determine their environmental awareness and (iii) includes questions on different environmentally friendly (perceived) behaviors. Thus this survey would allow evaluation of the following three hypotheses, which are of interest in proving our concept of mental rebound and help to explain the results obtained above:

1. Households with higher environmental awareness have lower total environmental impact (controlling for same income and household structure). This would verify that higher environmental awareness leads to stricter mental environmental budgets and therefore that the mental rebound can hardly be measured on the aggregated (population) level, since people showing environmental behavior also choose stricter targets for mental environmental budgets. This would also explain why households buying organic food on average also have a considerably lower environmental impact.
2. Mental rebound I: Households which consider efficient appliances for purchase attach less value to the energy use of these appliances (compared to other households with similar environmental awareness). This would prove a mental rebound effect as defined in section 2.2, with the compensation occurring within the same mental account (activity).
3. Mental rebound II: Households which follow the classical – but overrated – energy/environment saving hints do not show a lower household footprint compared to households with similar environmental awareness and income. This would prove a mental rebound effect as defined in section 2.2, with the compensation occurring across different activities.

Such an analysis would be very valuable for the analysis of the mental rebound concept. However, the data are not yet available for external analysis because first the main evaluation of the data needs to be completed.

4 Rebound due to efficient buildings?

In the case of more efficient buildings, the rebound was analyzed in-depth by our own calculations and a pretest survey was conducted (Tobler & Reinhard, 2007). In the following we summarize the main contributions of this study.

4.1 No monetary basis for Rebound effects

Since it was assumed that the basis for a rebound effect are the monetary savings from the more efficient building, first the cost difference and CO₂ reduction of more efficient buildings (MINERGIE label) were calculated. Comparing MINERGIE-buildings to normal buildings, Reinhard and Tobler (2007) found that there are nearly no financial savings if the higher investment costs are considered. The carbon emissions are, however, reduced by more than 90 percent due to efficiency improvement and decarbonization.

4.2 Indications for (mental) rebound

Even if no basis was found for income rebound, the survey gives various indications of mental rebound: First, larger living space (in m²) was observed for the surveyed sample (N=45) compared to the Swiss average. Second, more flights were observed for the people living in the efficient buildings, however this cannot be causally related to energy efficiency. In both cases income was considered as the control variable. Finally, asking directly what people would use the money saved from the more efficient building for indicates that mental rebound towards more consumption of GHG-intensive activities is possible, however for many households also an increase in quality of consumption is indicated. The quality orientation of marginal consumption and the therewith enabled decoupling of expenditure and material use is consistent with analysis of the Swiss income and expenditure households (Girod & de Haan, 2009, accepted for publication)

4.2.1 Parameters of the survey

For the evaluation a sample of 100 addresses was randomly selected from the address list of the MINERGIE (label for efficient buildings) residents in the canton of Zurich (only buildings for private use were considered). The questionnaire was mailed on July 2, 2007; a reminder followed on August 13. The evaluation of the questionnaires started on November 8, 2007. The rate of return amounted to 45 percent (45/100) and the first return rate – before the reminder – already attained 30 percent (30/100).

4.2.2 Larger Flat

Table 5 shows that MINERGIE households from our sample use twice as larger living space compared to average Swiss population derived from the Swiss income and expenditure survey (BFS, 2003). However, MINERGIE household have also more persons per households and higher household income. If we use a regression model for living space, household persons and household income (see Table 6) the value for the Swiss population with same income and number of persons per household like in our sample raises to 133 m², which is still nearly half of the living space used by the households of MINERGIE buildings according to our sample.

Beside income and household members also other factors like living areas (rural versus urban) or age of building could be considered. However, these variables might not be as independent like income and household member because they

4. Rebound due to efficient buildings?

could be influenced by the more efficient building itself, since such buildings could promote to live in rural areas or new buildings.

Table 5. Comparison of living space use for MINERGIE inhabitants and Swiss population

	MINERGIE survey		Swiss income and Expenditure survey 2000 -2003		Difference between samples
	N	Average value	N	Average value	
Persons per household [n]	44	3.4	14583	2.5	135%
Living space per household [m^2]	45	250	14583	115	217%
Living space per person [m^2]	44	74	14583	46	161%
Household income [CHF/month]	40	13275	14583	7995	166%
Income per person [CHF/month]	40	3947	14583	3198	123%

Table 6. Regression model for living space use, household income and persons per household from the Swiss income and expenditure survey 2000 - 20003

Independent variables	Coefficient	Std. Error	t-value	Significance level
Household income [CHF/month]	0.0016	0.0001	25.56	0.000
Persons per household [n]	12.57	0.2939	42.76	0.000
Constant factor	70.62	0.8544	82.65	0.000

Dependent Variable: Living space per household [m^2]; R-squared = 0.1841; Number of observations = 14583

4.2.3 More flights

The comparability for the number of flight is limited since we collected flights per household and the Swiss traffic survey collects flights per target person (BFS & ARE, 2007). In addition we had some outliers in our pretest, one household indicating 120 flights, another 72 flights in the year 2005. We corrected for the outliers by considering 3 flights per household and year in maximum for comparison. The targeted persons of the Swiss traffic survey show considerably lower number of flights compared to inhabitants of MINERGIE buildings (see table 7). Even if flights of the targeted persons are multiplied by the number of persons per households of the MINERGIE buildings (3.4 persons) the average number of flights is nearly 50 percent higher compared to Swiss average. Beside the average number also the share of frequent flier is considerably higher in the sample of the MINERGIE households. Further research is needed to verify this indication.

Table 7. Number of flights during one year

	N	Average number of flights per year ¹				
			No flight	1 flight	2 flights	3+ flight
Households MINERGIE	45	1.33	42%	9%	22%	27%
Target persons (Traffic survey, 2005)	4'566	0.27	76.0%	20.4%	2.7%	0.6%

¹Only up to three flights are considered.

4.2.4 Spending of financial saving and wage increase

Figure 1 compares the allocation preferences indicated in the questionnaires of financial savings from the more efficient MINERGIE building with those for the same amount from a wage increase. For both wage increase and efficiency-related savings, the largest part would be allocated to personal savings: for a wage increase, 53 percent; for building efficiency savings, 42 percent. The second largest part is used for apartment expansion (18 percent for building efficiency savings

and 12 percent for wage increase). Never mentioned were the following preferences: more car use (person kilometers), more travel by train, secondary residential locations and working less.

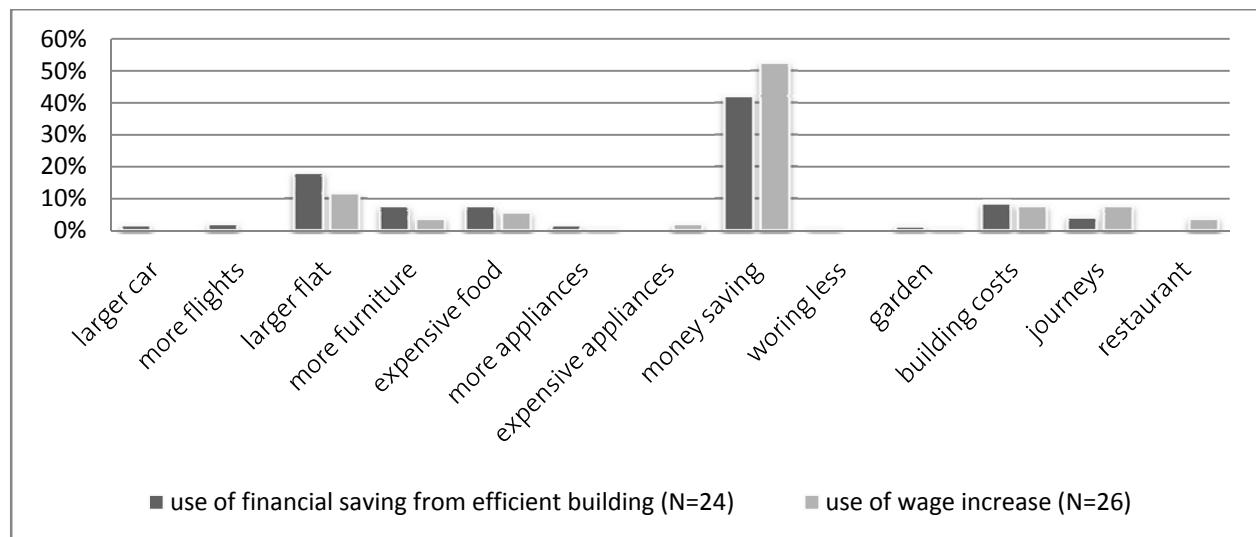


Figure 1. Preferences indicated for spending (i) savings from energy efficient buildings and (ii) wage increase.

4.3 Lessons learned for future surveys

This study lays a basis for further investigations on rebound effects of efficient buildings. This section summarizes lessons learned from the survey pretest (for the complete questionnaire, see Annex 1 (in German)).

4.3.1 Quantitative aspects

The survey feedback question (question 23) allowed participants to rate the questionnaire for the fulfillment of various criteria on a scale from 1 (do not agree at all) to 5 (agree complete). All criteria (hard to understand, too long, interesting, boring, easy to answer, thought-provoking) got scores between 2.3 and 3 (see Table 7). Nevertheless, 43 percent of the participants did not want to be contacted a second time for a subsequent questionnaire.

Table 8. Feedback on questionnaire

	hard to understand	was too long	was interesting	was boring	was easy to answer	thought-provoking
N	43	40	40	41	40	40
Mean	2.3	2.58	2.58	2.9	3.03	2.4
Std. Deviation	1.225	1.196	0.984	1.338	1.187	1.236
Variance	1.502	1.43	0.969	1.79	1.41	1.528

4.3.2 Qualitative aspects

- Several respondents noted that the effort of looking for the data on the building, bills and other documents was too high
- Wrongly understood questions: Probably the estimates on the number of flights are even too low. In the corresponding question (10), we noted that the respondent should indicate the outward and return flight separately. Some persons noted in the feedback that they had indicated the outward and return flight as one

4. Rebound due to efficient buildings?

flight. In addition, for long distance flights, which do not indicate a return flight, it is not plausible that a different travel mode was chosen for the way back.

- Not or badly answered questions: Questions on the second home were virtually left unanswered; question 12 (energy use of the building) was often answered inadequately; for question 15 (use of money saved thought more efficient building) only rarely was expenditure in Swiss Francs indicated (however the percentages were correctly indicated – adding up to 100 percent).
- Comparability of answers: To compare the behavior of the inhabitants of MINERGIE buildings with Swiss average it is important that the questions are designed exactly the same like in the large surveys. The challenge is that to compare the living space you use as reference a household survey and to compare flights a person survey.
- For question 15 (use of money saved) many respondents did not have the impression of saving much money because of higher mortgages (which is consistent with the calculations on financial savings)

4.3.3 Questionnaire for future survey on rebound from MINERGIE Buildings

Beside general improvements derived from the feedback and results described above, the following improvements would be suitable to assess possible (mental) rebound effects of MINERGIE Buildings:

- *Environmental awareness*: The condition for mental rebound is a certain environmental awareness, hence relevant questions should be included in the survey.
- *Subjective environmental impact*: If mental accounting exists, not the real environmental impact but the subjective environmental impact is accounted. Hence respondents' subjective reduction of environmental impact should be asked for. Beside a question on the absolute reduction (By what percent does the MINERGIE building reduce your GHG emissions?), questions comparing the environmental contribution with other actions should also be asked. For instance: What how high is the environmental impact of the following compared to the impact reduction by a MINERGIE building? i) one flight to New York per year, ii) recycling of waste, iii) having no car, iv) using a smaller car, v) using a hybrid car, vi) halving your living space, etc.
- *Justification of mental rebound*: Another way to evaluate the existence of mental budgets triggered by social norms is to ask how respondents judge the compensation of ecological behavior through some less ecological behavior. This, for efficient buildings these three statements should be judged by respondents:
 - Inhabitants of MINERGIE buildings are legitimated to book more flights compared to inhabitants of ordinary buildings.
 - MINERGIE inhabitants should book fewer flights compared to Swiss average to be consistent and credible in their behavior.
 - Living in a MINERGIE building has no influence on the legitimation for booking flights
- *Implicit or explicit*? To evaluate the mental rebound concept by a survey with direct questions on possible mental accounts and compensations of ecological behavior it is also important to distinguish whether this mental process is done explicitly or implicitly, which has consequence on the measurability per

5 General findings for future research and recommendation for policy

5.1 Indications for mental rebound concept from existing surveys

While the proposed concept of mental rebound cannot be verified by the analysis of existing surveys, the concept is able to help explain the results obtained:

1. More organic food purchases for households with lower total GHG emissions (controlling for income): Assuming mental rebound and that all households had the same target for their environmental impact, consumers of organic food would have higher GHG emissions since they compensate the environmentally perceived organic purchase by activities with a higher impact on climate. However, our results show that households with low GHG emissions purchase more organic food. This indicates that households can develop stricter targets for environmental impact together with more environmentally friendly actions, allowing them to mitigate mental rebound effects.
2. More flights for households without car availability (controlling for income): The higher number of flights for households without a car compared to households of the same income group with at least one available car could be explained by a mental rebound effect. However, the sample size of households without a car for the different income groups is quite small (see above). In addition, the higher number of flights for households without a car could also be explained by (i) income rebound, since lower expenses for car use allow higher spending on holidays or (ii) logistic reasons, since households without a car can less easily choose car travel for their holiday, hence leaving airplane or train as the main travel mode.

For an extended assessment of the concept of mental rebound with current surveys, evaluation of the data from the Swiss environmental survey (Diekmann, et al., 2009) would be suitable (see section 2.5).

5.2 Indication for mental rebound from case study (efficient buildings)

Although the case study conducted cannot verify the proposed concept of mental rebound, the concept is consistent with the results obtained and establishes a basis for further investigations in this direction:

1. *Larger flat*: Our pretest showed that inhabitants of MINERGIE buildings use 75 m² living space compared to 50 m² for the Swiss average of the same income level. The indications that MINERGIE building inhabitants use more living space compared to inhabitants of regular buildings (even if income is controlled for) should be further investigated, since, if confirmed, this would be a strong argument for a direct rebound effect, leading to a decrease in the overall efficiency gain of MINERGIE buildings.
2. *More flights*: The higher number of flights taken by households in efficient buildings is, despite its small empirical basis, quite impressive. Like the higher number of flights for households without a car, it indicates that people compensating for ecological behavior with more flights could be reality.
3. *Spending of money saved on a larger flat*: Consistent with the concept of mental financial accounts for different activities or consumption categories, 12 percent of the surveyed households indicated that they would spend additional income on a larger apartment, while 18 percent of the households would spend savings from more

5. General findings for future research and recommendation for policy

efficient buildings on a larger apartment. This effect indicates a certain danger for direct rebound: with time (eventually) more efficient buildings may lead to larger flats even if households do not save any money.

These are interesting indications, which have – if verified – a certain importance for climate policy (energy saving policy). Hence, the pretest provides a background for a larger and more representative survey on this issue. Such a survey should assess the following hypotheses:

1. *Larger flat*: Our pretest showed that inhabitants of MINERGIE buildings use 75 m² living space compared to 50 m² for the Swiss average of the same income level. The indications that MINERGIE building inhabitants use more living space compared to inhabitants of regular buildings (even if income is controlled for) should be further investigated, since, if confirmed, this would be a strong argument for a direct rebound effect, leading to a decrease in the overall efficiency gain of MINERGIE buildings.
2. *More flights*: In the pretest, Inhabitants of MINERGIE buildings clearly showed a higher number of flights (see section 4.2, table 6). If this finding holds true, an indirect rebound could reduce the efficiency gain of MINERGIE buildings on a macro level.
3. *Mental rebound*: If the larger flat and higher number of flights for inhabitants of MINERGIE buildings is verified, the causality for these differences needs further investigation. Considering the explanation via the mental rebound concept the questions proposed in 4.3 for a future questionnaire should be considered in a broader survey.

5.3 Robust recommendation for policy

Even though the empirical basis for the mental rebound needs further research the following recommendation for policy to mitigate mental rebound effects can be derived from the proposed concept:

1. *Increase environmental awareness*: Greater environmental awareness reduces the personal environmental target for the environmental impact. Hence this leads to a dissonance between the attained goal and the actual environmental impact caused. As a consequence environmentally friendly actions are used to reduce this dissonance and they are less compensated through other – non-environmentally friendly – actions.
2. *Improve information about environmental impact of various actions*: If information about real environmental impact is increased, the difference between subjective and real environmental impact is reduced. Thus false compensation of environmentally friendly actions is avoided, e.g., that a household books an additional flight because it recycles its plastic bottles.

6 Literature

- Abeler, J., & Marklein, F. (2008). *Fungibility, Labels, and Consumption - Discussion Paper*. Bonn: Institute for the Study of Labor
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- BFS (2003). *Einkommens- und Verbrauchserhebung* ((Swiss federal office for statistics), Trans.). Neuenburg.
- BFS, & ARE (2007). *Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus 2005 zum Verkehrsverhalten* ((Swiss federal office for statistics and land use planning), Trans.). Neuenburg, Bern: BBL.
- Coad, A., de Haan, P., & Woersdorfer, J. S. (2009 (in press)). Consumer support for environmental policies: An application to purchases of green cars. *Ecological Economics*.
- de Haan, P. (2008). *Identification, quantification, and containment of energy-efficiency induced rebound effects: A research agenda. Rebound Research Report Nr. 1. report EMDM1521*: ETH Zurich, IED-NSSI. Download: www.nssi.ethz.ch/res/emdm/.
- de Haan, P., Mueller, M. G., & Peters, A. (2006). Does the hybrid Toyota Prius lead to rebound effects? Analysis of size and number of cars previously owned by Swiss Prius buyers. *Ecological Economics*, 58(3), 592-605.
- de Haan, P., Peters, A., & Scholz, R. W. (2007). Reducing energy consumption in road transport through hybrid vehicles: investigation of rebound effects, and possible effects of tax rebates. *Journal of Cleaner Production*, 15(11-12), 1076-1084.
- Diekmann, A., Meyer, R., Mühlemann, C., & Diem, A. (2009). *Schweizer Umweltsurvey 2007. Analysen und Ergebnisse. Bericht für das Bundeamt für Statistik (BFS) und Bundesamt für Umwelt (BAFU)*. Zürich: Professur für Soziologie, ETH Zurich.
- Dimitropoulos, J., & Sorrell, S. (2006). *The Rebound Effect: Microeconomic Definitions, Extentions and Limitations*. Paper presented at the 29th IAEE International Conference. from <http://www.ukerc.ac.uk/content/view/130/187>
- Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance*. . Stanford, CA: Stanford University Press.
- Girod, B. V. S. (2008). *Environmental impact of Swiss household consumption and estimates for income rebound - research report nr. 2*. Zurich: ETH Institute for Environmental Decisions (IED).
- Girod, B. V. S., & de Haan, P. (2009, accepted for publication). Better or more? A model on changes in greenhouse gas emissions of households due to higher income. *Industrial Ecology*.
- Heath, C., & Soll, J. (1996). Mental Budgeting and Consumer Decisions. *Journal of consumer research*, 23, 40-52.
- Hofstetter, P., Madjar, M., & Ozawa, T. (2006). Happiness and Sustainable Consumption - Psychological and physical rebound effects at work in a tool for sustainable design. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11, 105-115.
- Jalas, M. (2002). A time use perspective on the materials intensity of consumption. *Ecological Economics*, 41(1), 109-123.
- Kahneman, D., & Tversky, A. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. 47(2), 291.
- Kok, R., Benders, R. M. J., & Moll, H. C. (2006). Measuring the environmental load of household consumption using some methods based on input-output energy analysis: A comparison of methods and a discussion of results. *Energy Policy*, 34(17), 2744-2761.
- Peters, A., Scholz, R. W., & Gutscher, H. (2009 (submitted)). Psychological factors that influence the choice of new vehicles with regard to fuel economy and CO₂ emissions. *Submitted to Transportation Research Part F - Psychology*.
- Schuitema, G., & Steg, L. (2005). Percepties van energieverbruik van huishoudelijke apparaten (Perception of Energy Use of Domestic Appliances). In A. E. Bronner, P. Dekker, E. d. Leeuw, K. d. Ruyter & A. S. J. E. Wieringa (Eds.), *Ontwikkelingen in het marktonderzoek. Jaarboek 2005 MarktOnderzoekAssociatie (Developments in Marketing Research. Yearbook 2005)* (pp. pp. 165-180). Haarlem (NL): De Vrieseborch.
- Schwartz, S. H. (1997). Normative influences on altruism. *Advances in Experimental Social Science*, 10(221-279).

6. Literature

- Spielmann, M., de Haan, P., & Scholz, R. W. (2008). Environmental rebound effects of high-speed transport technologies: a case study of climate change rebound effects of a future underground maglev train system. [Article]. *Journal of Cleaner Production*, 16(13), 1388-1398.
- Thaler, R. H. (1999). Mental accounting matters. *Journal of Behavioral Decision Making*, 12(3), 183-206.
- Tobler, M., & Reinhard, M. (2007). *Minergie und Flugverkehr: Rebound? Semester Thesis 38/07*. ETH Zurich, Zürich.

Annex 1 - Questionnaire of Pretest



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Ecole polytechnique fédérale de Zurich
Politecnico federale di Zurigo

Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
CHN J72.1, Universitätstr. 22, 8092 Zürich

Umfrage zu MINERGIE-Gebäuden und ihren Bewohnerinnen und Bewohnern

Vielen Dank, dass Sie sich Zeit nehmen, diesen Fragebogen auszufüllen!

Bitte beachten Sie folgendes:

- Der Fragebogen sollte von jener erwachsenen Person, welche in der Regel für die Haushaltausgaben verantwortlich ist, ausgefüllt werden
- Falls mehrere Personen für die Haushaltausgaben verantwortlich sind, sollte aus statistischen Gründen jene Person die als nächstes Geburtstag hat, den Fragebogen beantworten

Bitte mit dem beiliegenden Antwortcouvert zurück an ETH Zürich, IED-NSSI, CHN J72.1, Universitätstr. 22, 8092 Zürich.

Informationen zum Datenschutz

Für diese Studie werden Personen in der ganzen Schweiz befragt. Die ETH garantiert, dass Ihre Daten absolut vertraulich behandelt und nur für die wissenschaftliche, nicht-kommerzielle Forschung verwendet werden.

Die Antworten aller an der Umfrage teilnehmenden Personen werden zusammengetragen und unter anderem nach Personenmerkmalen zu Statistiken verarbeitet. Aus diesem Grund enthält der Fragebogen einige Fragen zu Ihrer Person und Ihrem Haushalt. Die Statistiken erlauben keine Rückschlüsse auf Einzelpersonen.



A. Fragen zu Ihrem MINERGIE-Haus

1. Ist es korrekt, dass Sie in einem Gebäude im MINERGIE-Standard mit einer Fläche von «EBF» m² wohnen?

Ja, Nein, korrekt ist, dass es sich um einen _____ Standard handelt und die Wohnfläche _____ m² beträgt

2. Wie involviert waren Sie beim Kauf- oder Mietentscheid?

Ich habe den Entscheid zur Hauptsache gefällt, Ich habe den Entscheid gleichberechtigt mit weiteren Personen gefällt, Ich war am Entscheid nicht beteiligt

3. Sind Sie Hauseigentümer oder Mieter?

Mieter, Hauseigentümer

4. Wie wichtig war für Sie der MINERGIE-Standard Ihres Gebäudes beim Kauf- oder Mietentscheid?

	war entscheidend						war nicht relevant	
	1	2	3	4	5	6		
MINERGIE-Standard	<input type="checkbox"/>							

5. Wie wichtig waren die folgenden Gründe beim Kauf- oder Mietentscheid:

	war entscheidend						war nicht relevant	
	1	2	3	4	5	6		
Tiefere Heizkosten	<input type="checkbox"/>							
Tiefere Umweltbelastung	<input type="checkbox"/>							
Wohnkomfort	<input type="checkbox"/>							
Sonstige, nämlich	<input type="checkbox"/>							
Sonstige, nämlich	<input type="checkbox"/>							

B. Fragen zu Ihrer Mobilität

6. Geben Sie bitte folgende Eigenschaften des Arbeits- oder Ausbildungsweges der drei ältesten Personen Ihres Haushaltes an.

(Das Hauptverkehrsmittel ist jenes Verkehrsmittel, welches die längste Teilstrecke zurück legt)

Weg zum Arbeits- oder Ausbildungsort (nur Hinweg):	älteste Person des Haushaltes	zweitälteste Person des Haushaltes (leer lassen falls nicht zutreffend)	drittälteste Person des Haushaltes (leer lassen falls nicht zutreffend)
Zweck des Weges	<input type="checkbox"/> Ausbildung, <input type="checkbox"/> Arbeit	<input type="checkbox"/> Ausbildung, <input type="checkbox"/> Arbeit	<input type="checkbox"/> Ausbildung, <input type="checkbox"/> Arbeit
Distanz des Hinwegs:	_____ km	_____ km	_____ km
Unterwegszeit (Tür zu Tür):	_____ Minuten	_____ Minuten	_____ Minuten
Adresse: Arbeitsort	_____	_____	_____
Adresse: Postleitzahl	_____	_____	_____
Anzahl Hinwege pro Woche:	_____ mal	_____ mal	_____ mal
Hauptverkehrsmittel: (nur EINE Nennung)	<input type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Motorrad/Mofa <input type="checkbox"/> Bahn <input type="checkbox"/> Bus/Tram <input type="checkbox"/> Velo <input type="checkbox"/> zu Fuss	<input type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Motorrad/Mofa <input type="checkbox"/> Bahn <input type="checkbox"/> Bus/Tram <input type="checkbox"/> Velo <input type="checkbox"/> zu Fuss	<input type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Motorrad/Mofa <input type="checkbox"/> Bahn <input type="checkbox"/> Bus/Tram <input type="checkbox"/> Velo <input type="checkbox"/> zu Fuss

7. Geben Sie bitte folgende Eigenschaften für den häufigsten Freizeitwege der drei ältesten Personen Ihres Haushaltes an.

(Freizeitaktivitäten sind: Besuche (Verwandte und Bekannte), nicht sportliche Aussenaktivitäten, Sport, Kulturelle- und Freizeitveranstaltungen, Gastronomie, unbezahlte Arbeit, alle privaten Einkäufe, etc.)

Weg zum Arbeits- oder Ausbildungsort (nur Hinweg):	älteste Person des Haushaltes	zweitälteste Person des Haushaltes (leer lassen falls nicht zutreffend)	drittälteste Person des Haushaltes (leer lassen falls nicht zutreffend)
Art der Aktivität:	_____	_____	_____
Distanz des Hinwegs:	_____ km	_____ km	_____ Km
Unterwegszeit (Tür zu Tür):	_____ Minuten	_____ Minuten	_____ Minuten
Adresse: Arbeitsort	_____	_____	_____
Adresse: Postleitzahl	_____	_____	_____
Anzahl Hinwege pro Woche:	_____ mal	_____ mal	_____ Mal
Hauptverkehrsmittel: (nur EINE Nennung)	<input type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Motorrad/Mofa <input type="checkbox"/> Bahn <input type="checkbox"/> Bus/Tram <input type="checkbox"/> Velo <input type="checkbox"/> zu Fuss	<input type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Motorrad/Mofa <input type="checkbox"/> Bahn <input type="checkbox"/> Bus/Tram <input type="checkbox"/> Velo <input type="checkbox"/> zu Fuss	<input type="checkbox"/> Auto <input type="checkbox"/> Motorrad/Mofa <input type="checkbox"/> Bahn <input type="checkbox"/> Bus/Tram <input type="checkbox"/> Velo <input type="checkbox"/> zu Fuss

8. Wie viele Autos hat es in Ihrem Haushalt?

(Inkl. Autos von Lebenspartner/-in, noch zu Hause lebenden erwachsenen Kindern und weiteren im Haushalt lebenden Personen)

 kein, 1, 2, 3, 4 oder mehr

9. Falls es Autos in Ihrem Haushalt hat, welche:

(Inkl. Autos von Lebenspartner/-in, noch zu Hause lebenden erwachsenen Kindern und weiteren im Haushalt lebenden Personen)

Marke	Modell	Motogrösse (in Liter)	Treib- stoff	Schaltung	Baujahr/	gefahren km
					Jahrgang	pro Jahr
			<input type="checkbox"/> Benzin	<input type="checkbox"/> handgeschaltet		
			<input type="checkbox"/> Diesel	<input type="checkbox"/> automatik		
			<input type="checkbox"/> anderer	<input type="checkbox"/> variomat/tiptronic	_____	_____ km
			<input type="checkbox"/> Benzin	<input type="checkbox"/> handgeschaltet		
			<input type="checkbox"/> Diesel	<input type="checkbox"/> automatik		
			<input type="checkbox"/> anderer	<input type="checkbox"/> variomat/tiptronic	_____	_____ km
			<input type="checkbox"/> Benzin	<input type="checkbox"/> handgeschaltet		
			<input type="checkbox"/> Diesel	<input type="checkbox"/> automatik		
			<input type="checkbox"/> anderer	<input type="checkbox"/> variomat/tiptronic	_____	_____ km
			<input type="checkbox"/> Benzin	<input type="checkbox"/> handgeschaltet		
			<input type="checkbox"/> Diesel	<input type="checkbox"/> automatik		
			<input type="checkbox"/> anderer	<input type="checkbox"/> variomat/tiptronic	_____	_____ km

10. Bitte geben Sie an wie viele Flüge die drei ältesten Personen des Haushaltes **im Jahr 2006** zurückgelegt haben.

Geben Sie bitte jeweils an, ob der Flug aus privaten (Ferien, Besuche, Einkäufen etc.) oder geschäftlichen Gründen (im Rahmen der Erwerbsarbeit) stattgefunden hat und ob es sich um einen Kurz-, Mittel oder Langstreckenflug handelte.

WICHTIG: Hin- und Rückflug werden als **zwei** Flüge angegeben. Ein Flug geht von Start- zu Zielflughafen, Zwischenlandungen werden deshalb nicht berücksichtigt.

	älteste Person des Haushaltes	zweitälteste Person des Haushaltes	drittälteste Person des Haushaltes
Kurzstreckenflüge (kürzer als 1500km, Flüge innerhalb der EU) (Retour = 2 Flüge):			
Anzahl private Flüge.....	_____ mal	_____ mal	_____ mal
Anzahl geschäftliche Flüge.....	_____ mal	_____ mal	_____ mal
Anzahl teils geschäftliche, teils private Flüge.....	_____ mal	_____ mal	_____ mal
Mittelstreckenflüge (1500–3500 km, Beispiele: Moskau, Island, Ägypten) (Retour = 2 Flüge):			
Anzahl private Flüge.....	_____ mal	_____ mal	_____ mal
Anzahl geschäftliche Flüge.....	_____ mal	_____ mal	_____ mal
Anzahl teils geschäftliche, teils private Flüge.....	_____ mal	_____ mal	_____ mal
Langstreckenflüge (länger als 3500 km, interkontinentale Flüge; Beispiele: USA, Südafrika) (Retour = 2 Flüge):			
Anzahl private Flüge.....	_____ mal	_____ mal	_____ mal
Anzahl geschäftliche Flüge.....	_____ mal	_____ mal	_____ mal
Anzahl teils geschäftliche, teils private Flüge.....	_____ mal	_____ mal	_____ mal

C. Fragen zu Haushaltsausgaben

11. Wie viele Zweitwohnsitze haben Sie?

 kein, 1, 2, 3, 4 oder mehr

12. Geben Sie folgende Ausgaben für Energie in Ihrem Hauptwohnsitz an:

(Bitte keine Betriebsausgaben eintragen, sondern nur den Ausgabenanteil für den privaten Wohnsitz)

Energieträger	Verwendungszweck	BETRAG	DAUER für welche die Zahlung gilt
Heizöl.....	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Gas.....	Kochen <input type="checkbox"/> Backen <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Holz (Heizkessel, z.B Pellets)	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Cheminee-Holz.....	Heizung <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Fernwärme.....	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Sonstige.....	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
	Geräte und Beleuchtung <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Elektrischer Strom (Standard Angebot)	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Ökostrom Strom	Geräte und Beleuchtung <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
	Geräte und Beleuchtung <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)

Geben Sie bitte an viel der Elektrische Strom kostet:

Standartangebot: _____ Rp./kWh, Ökostrom: _____ Rp./kWh,

Falls Sie für den Hauptwohnsitz zudem noch Energie beziehen, welche Sie nicht bezahlen müssen (Sonnenenergie, Erdwärme, Umgebungswärme, eigenes Holz), geben Sie diese mit entsprechenden Kenngrössen an.

Energieform	Verwendungszweck	Energieproduktion pro Jahr	Kenngrösse
Sonnenkollektor	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Fläche: _____ m ²
	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Fläche: _____ m ²
Photovoltaik	Geräte und Beleuchtung <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Anteil an Wärme- versorgung: _____ %
<input type="checkbox"/> Umgebungswärme (mit Wärmepumpe)	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Anteil an Wärme- versorgung: _____ %
<input type="checkbox"/> Erdsonden	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Anteil an Wärme- versorgung: _____ %
<input type="checkbox"/> Cheminee	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Anteil an Wärme- versorgung: _____ %

13. Falls Sie eine Zweitwohnung haben, geben Sie bitte auch die Ausgaben für Energie des Zweitwohnsitz an:
(Falls Sie mehrere Zweitwohnsitze haben, geben Sie die Angaben für den grösseren Zweitwohnsitz an)

Energieträger	Verwendungszweck	BETRAG	DAUER für welche die Zahlung gilt
Heizöl	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Gas	Kochen <input type="checkbox"/> Backen <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Holz (Heizkessel, z.B Pellets)	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Cheminee-Holz	Heizung <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Fernwärme	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Sonstige	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
	Geräte und Beleuchtung <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Elektrischer Strom (Standard Angebot)	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
	Geräte und Beleuchtung <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
Ökostrom Strom	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)
	Geräte und Beleuchtung <input type="checkbox"/>	_____ SFR	_____ Monat(e)

Geben Sie bitte an viel der Elektrische Strom kostet:

Standartangebot: _____ Rp./kWh, Ökostrom: _____ Rp./kWh,

Falls Sie für den Zweitwohnsitz zudem noch Energie beziehen, welche Sie nicht bezahlen müssen (Sonnenenergie, Erdwärme, Umgebungswärme, eigenes Holz), geben Sie diese mit entsprechenden Kenngrössen an.

Energieform	Verwendungszweck	Energieproduktion pro Jahr	Kenngrösse
Sonnenkollektor	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Fläche: _____ m ²
	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Fläche: _____ m ²
Photovoltaik	Geräte und Beleuchtung <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Fläche: _____ m ²
<input type="checkbox"/> Umgebungswärme (mit Wärmepumpe)	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Anteil an Wärme- versorgung: _____ %
<input type="checkbox"/> Erdsonden	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Anteil an Wärme- versorgung: _____ %
<input type="checkbox"/> Cheminee	Heizung <input type="checkbox"/> Warmwasser <input type="checkbox"/>	_____ kWh	Anteil an Wärme- versorgung: _____ %

14. Geben Sie an wie stark Sie beim Einkaufen von **Lebensmitteln** auf folgende Kriterien achten:

	immer						nie
	1	2	3	4	5	6	
Biologischer Anbau	<input type="checkbox"/>						
Saisonale Produkte (bei frisches Gemüse und Früchten)	<input type="checkbox"/>						
Schweizerische Herkunft	<input type="checkbox"/>						

D. Fragen zur Verwendung der Einsparungen

15. Betrachtet man nur die Kosteneinsparungen aufgrund des tieferen Energieverbrauch so sparen Sie im schweizerischen Durchschnitt im Vergleich zu einem konventionellen Gebäude, welches zwischen 1980 und 2000 erbaut wurden, mit einem Minergie-Haus «Variable_Kosten» Franken pro Jahr ein. Wofür verwenden Sie dieses Geld hauptsächlich?
(Kreuzen Sie mindestens jene Bereiche an, für welche Sie das Geld tendenziell verwenden. Falls möglich geben Sie auch noch den Betrag in Franken oder in Prozent der gesamten Einsparung an).

Mobilität

- grösseres Auto, _____ SFR; _____ %
- mehr Auto fahren, _____ SFR; _____ %
- mehr Fliegen, _____ SFR; _____ %
- mehr Bahnfahren, _____ SFR; _____ %,

Wohnung

- Ausbau der Wohnung, _____ SFR; _____ %
- Zweitwohnung, _____ SFR; _____ %
- teurere Einrichtung, _____ SFR; _____ %
- sonst, nämlich _____, _____ SFR; _____ %
- sonst, nämlich _____, _____ SFR; _____ %
- sonst, nämlich _____, _____ SFR; _____ %

Nahrung

- teurere Nahrung, _____ SFR; _____ %

Geräte

- mehr Geräte, _____ SFR; _____ %
- teurere Geräte, _____ SFR; _____ %

Sparen/weniger Arbeiten

- Sparen/Vermögensbildung/3. Säule, _____ SFR; _____ %
- weniger Arbeiten, _____ SFR; _____ %

16. Falls Sie Schwierigkeiten hatten, die Frage 15 zu beantworten, beschreiben Sie bitte weshalb und wie man die Frage verbessern könnte:

Frage 15 war schwierig zu beantworten, weil:.....

.....

.....

.....

.....

Frage 15 wäre einfacher zu beantworten, wenn:.....

.....

.....

.....

.....

17. Nochmals eine ähnliche Frage: Falls Sie eine **Gehaltserhöhung** erhalten und «Variable_Kosten2» SFR pro Jahr mehr als bisher erhalten, wofür würden Sie dieses Geld verwenden?

Mobilität

- grösseres Auto, _____ SFR; _____ %
- mehr Auto fahren, _____ SFR; _____ %
- mehr Fliegen, _____ SFR; _____ %
- Bahn, _____ SFR; _____ %

Wohnung

- Ausbau der Wohnung, _____ SFR, _____ %
- Zweitwohnung, _____ SFR, _____ %
- teurere Einrichtung, _____ SFR, _____ %
- sonst, nämlich _____ SFR; _____ %
- sonst, nämlich _____ SFR; _____ %
- sonst, nämlich _____ SFR; _____ %

Nahrung

- teurere Nahrung, _____ SFR; _____ %

Geräte

- mehr Geräte, _____ SFR; _____ %
- teurere Geräte, _____ SFR; _____ %

Sparen/weniger Arbeiten

- Sparen/Vermögensbildung/3. Säule, _____ SFR; _____ %
- weniger Arbeiten, _____ SFR; _____ %

18. Falls Sie Schwierigkeiten hatten, Frage 17 zu beantworten, beschreiben Sie bitte weshalb und wie man die Frage verbessern könnte:

Frage 17 war schwierig zu beantworten, weil:.....
.....
.....
.....

Frage 17 wäre einfacher zu beantworten, wenn:.....
.....
.....
.....



F. Zum Schluss bitten wir Sie noch um einige Angaben zu Ihrem Haushalt.

Die ETH Zürich sichert Ihnen zu, dass Ihre Angaben anonym bleiben (Datenschutz-Info: Seite 1).

19. Bitte geben Sie Jahrgang und Geschlecht der drei ältesten Personen des Haushalts an:

Älteste Person: Jahrgang: 19_____; Geschlecht: männlich weiblich

Zweitälteste Person: Jahrgang: 19_____; Geschlecht: männlich weiblich

Drittälteste Person: Jahrgang: 19_____; Geschlecht: männlich weiblich

20. Wie viele Personen wohnen in Ihrem Haushalt insgesamt:

	Keine	1	2	3	4	5 oder mehr
... älter als 18 Jahre sind (sich selber mitzählen)	<input type="checkbox"/>					
... unter 18 Jahren sind.	<input type="checkbox"/>					

21. Welche Ausbildungen haben die drei ältesten Personen des Haushaltes abgeschlossen? (Bitte geben alle abgeschlossenen Ausbildungen an.)

älteste Person des Haushalts	zweitälteste Person des Haushalts	drittälteste Person des Haushalts	Ausbildung:
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Keine
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	obligatorische Schule (Primar-, Real-, Sekundar-, Bezirks-, Orientierungsschule, Pro-, Untergymnasium)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Diplommittelschule (bis 2 Jahre), Verkehrsschule, Sozialjahr, berufsvorbereitende Schule, Anlehre
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Berufslehre oder Vollzeit-Berufsschule (z.B. Handelsschule, Lehrwerkstätte)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Maturitätsschule, Berufsmatura, Diplommittelschule (3 Jahre)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Lehrkräfte-Seminarien (z.B. Kindergarten, Primarschule), Musiklehrkräfte, Turn- und Sportlehrkräfte
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Höhere Fach- und Berufsausbildung (z.B. eidg. Fachausweis, eidg. Fach- oder Meisterdiplom, HKG, TS)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Höhere Fachschule (z.B. HTL, HWV, HFG, HFS), mind. 3 Jahre Vollzeitausbildung (inkl. Nachdiplome)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fachhochschule (inkl. Nachdiplome)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Universität, TU, ETH, HSG (inkl. Nachdiplome)



22. Gesamt-Bruttoeinkommen pro Monat **aller Personen in Ihrem Haushalt** (inkl. Renter):

Unter 2000 Fr.	2000 – 4000 Fr.	4001 – 6000 Fr.	6001 – 8000 Fr.	8001 – 10'000 Fr.	10'001 – 12'000 Fr.	12'001 – 14'000 Fr.	höher als 14'000 Fr.	weiss nicht	keine Angabe
<input type="checkbox"/>									

23. Jetzt ist es fast geschafft! Wie fanden Sie den Fragebogen?

Der Fragebogen...	stimmt		stimmt völlig			
	gar nicht	1	2	3	4	5
... war schwer zu verstehen.	<input type="checkbox"/>					
... war zu lang.	<input type="checkbox"/>					
... war interessant.	<input type="checkbox"/>					
... war langweilig.	<input type="checkbox"/>					
... war einfach und leicht zu beantworten.	<input type="checkbox"/>					
... hat mich zum Nachdenken angeregt.	<input type="checkbox"/>					

24. Falls Sie weitere Bemerkungen haben, können Sie diese gerne hier notieren:

.....
.....
.....
.....

Noch eine letzte Frage...

In ca. 6 Monaten möchten wir einige vertiefende Interviews zur Energiebilanz von MINERGIE-Bewohnern machen. Dürfen wir Sie für ein solches ausführlicheres Interview kontaktieren? Ja, Nein

Herzlichen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

Index: «Stichprobe_Nr»

ETH Zurich
Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
Universitaetstrasse 22
8092 Zurich
SWITZERLAND

Phone +41 44 632 58 92
www.nssi.ethz.ch/res/

Empfehlungen zu Schweizer Politikinstrumenten in Abhängigkeit von Reboundeffekten

Rebound Research Report 4

Zurich, 27 Apr 2009

MSch



Preferred citation style:

Schlegel M, 2009. Empfehlungen zu Schweizer Politikinstrumenten in Abhangigkeit von Reboundeffekten. Rebound Research Report Nr. 4. ETH Zurich, IED-NSSI, report EMDM1601, 56 pages. Download: www.nssi.ethz.ch/res/emdm/

© 2009 ETH Zurich, IED-NSSI, Switzerland.
All rights reserved.

For further information please contact:

ETH Zurich, Dept. of Environmental Sciences
Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
Universitaetstrasse 22, CHN J73.2
8092 Zurich
Switzerland

Tel. +41-44-632 58 92 (secretariat)
Fax. +41-44-632 29 10
www.nssi.ethz.ch/res/emdm/

Peter de Haan
dehaan@env.ethz.ch
www.nssi.ethz.ch/people/staff/pdehaan
+41-44-632 49 78

Author contact:
Mathias Schlegel
mschlegel@student.ethz.ch

Table of contents

Abstract	5
1. Einführung.....	7
1.1 Ausgangslage.....	7
1.2 Fragestellung.....	8
1.3 Methode	8
2. Der Reboundeffekt	9
2.1 Definitionen.....	9
2.2 Einflussfaktoren	12
3. Analyse ausgewählter Politikinstrumente.....	17
3.1 Auswahl zu untersuchender Politikmassnahmen	17
3.2 LSVA und 40-Tonnen-Gewichtslimite	20
3.3 Road Pricing.....	24
3.4 CO ₂ -Abgabe	28
3.5 energieEtikette.....	33
3.6 Mindestanforderungen an elektrische Geräte	37
4. Diskussion	41
4.1 Diskussion der analysierten Politikinstrumente.....	41
4.2 Rückschlüsse auf weitere Instrumente.....	46
4.3 Kritische Betrachtung der Arbeit	47
5. Schlussfolgerungen	49
Literaturverzeichnis.....	51

Abstract

Energieeffizienzmassnahmen stellen eine Möglichkeit dar, die aktuellen Energie- und Klimaprobleme anzugehen. Bei ihrer Bewertung werden aber die für die Wirksamkeit relevanten Reboundeffekte kaum berücksichtigt. Andererseits geht auch die Reboundforschung wenig auf Wechselwirkungen mit Politikmassnahmen ein. In dieser Arbeit werden Reboundeffekte in einer umfassenden Art definiert und beschrieben. Basierend auf UKERC (2007) werden Einflussfaktoren zusammengetragen und strukturiert, um Fallbeispiele Schweizer Politikinstrumente auszuwählen. Diese werden anhand der ermittelten Einflussfaktoren – vorwiegend qualitativ – auf Reboundeffekte untersucht. Schliesslich werden die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Literatur diskutiert. Es zeigt sich, dass bei den untersuchten Schweizer Politikmassnahmen eher tiefe Reboundeffekte zu erwarten sind, sofern vor deren Umsetzung keine unausgeschöpften Effizienzpotentiale vorhanden waren. Von Bedeutung sind jedoch erweiterte Effekte, wie aus Umweltsteuern resultierende Mehrausgaben und die Rück erstattung von Lenkungsabgaben durch den Staat, oder auch sozio-psychologische und Wahrnehmungseffekte. Insgesamt ist es bedeutsam, ob ökonomisch (ideale Marktwirtschaft) oder realwirtschaftlich (Einbezug erweiterter Effekte) argumentiert wird. Insbesondere in letzterem Bereich scheinen weitere Untersuchungen angezeigt.

Keywords

Energiepolitik; Reboundeffekt; Wirkungsabschätzung, soziopsychologischer Rebound

1. Einführung

1.1 Ausgangslage

Die öffentliche Diskussion um die drohende „Stromlücke“ in der Schweiz, gefolgt von der Veröffentlichung des 4. IPCC Assessment Report „Climate Change 2007“ und begleitet von Rekordpreisen für Erdöl hat die Energie- und Klimapolitik in den Vordergrund gerückt. Dies hat den Bundesrat im Februar 2007 dazu veranlasst, die schweizerische Energiepolitik neu auszurichten (BFE 2007a). Wie die Politik richtig erkannt hat, bieten sich als Reaktion auf die vorhandenen Probleme die zwei Hauptstrategien Energieeffizienz und Förderung CO₂-armer Energiequellen an. Um den Verbrauch fossiler Energie zu reduzieren, den Stromverbrauch zu stabilisieren und den Anteil erneuerbarer Energien zu steigern, wurde deshalb ein halbes Jahr später unter anderem der „Aktionsplan „Energieeffizienz““ lanciert (BFE 2007a) und 2008 verabschiedet. Daneben machen sich Umweltorganisationen für griffige und weitgehende Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz stark.

Allerdings bergen Effizienzmassnahmen unter gewissen Bedingungen die Gefahr sogenannter Reboundeffekte in sich. Diese können die tatsächlich verwirklichten Effizienzgewinne stark reduzieren oder sogar völlig zunichte machen. Wie eine umfassende Review des UK Energy Research Centre (UKERC 2007) [ab hier verweisen wir mittels „(ERCxx“ auf Seite xx von UKERC (2007)] zum Reboundeffekt betont, wurde dieser Gefahr bisher zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt, was sich auch im ernüchternden Fazit der Autoren über die bisherigen Forschungsresultate widerspiegelt (UKERC 2007). So gehen weder die yieldiskutierte „Stern Review“ (Stern 2007) noch der oben erwähnte IPCC-Bericht (IPCC 2007) auf Reboundeffekte ein. Das gleiche Bild zeigt sich auch beim genannten Aktionsplan „Energieeffizienz“ des Bundesamtes für Energie (BFE 2007b), wo der Einfluss des Reboundeffekts an keiner Stelle erwähnt, geschweige denn berücksichtigt wird. Dies, obwohl der Reboundeffekt für die Energie- und Klimapolitik von grosser Bedeutung ist, da dieser zur Nichterreichung entsprechender Politikziele führen könnte, wie das UKERC schlussfolgert (ERCv).

Vor diesem Hintergrund erscheint es unverzichtbar, bereits umgesetzte sowie geplante oder geforderte Politikmassnahmen unter Beachtung des Reboundeffekts auf ihre effektive Effizienz zu prüfen. Gerade bei den zurzeit vorherrschenden Budgetzwängen der öffentlichen Hand wird sich das nicht nur für die Umwelt, sondern auch finanziell auszahlen. Zudem ist es auch deshalb relevant, weil gewisse Instrumente zur Beeinflussung der Energieeffizienz als Einschränkung der Wirtschaftsfreiheit (nach der schweizerischen Bundesverfassung ein Grundrecht) gelten, insbesondere da es sich bei Energie um einen wichtigen Produktionsfaktor handelt. Deswegen ist in diesen Fällen den Prinzipien staatlichen Handelns besondere Beachtung zu schenken, was nach Art. 36 BV neben dem Legalitätsprinzip (gesetzliche Grundlage) und dem öffentlichen Interesse oder Schutz von Grundrechten Dritter auch nach Verhältnismässigkeit verlangt (Schweizerische Eidgenossenschaft 1999). Letztere kann in Anlehnung an Ruch (2005) in Effektivitäts- (Eignung zur Zielerreichung) und Proportionalitätsprinzip (Angemessenheit) unterteilt werden. Diese zwei Prinzipien stellen Anforderungen an einschneidende Politikmassnahmen im Effizienzbereich und verlangen nach deren eigenen Effizienz, also dass sie unter anderem möglichst geringfügig durch Reboundeffekte kompensiert werden.

1.2 Fragestellung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, Empfehlungen abzugeben für die optimale Umsetzung bestehender und geplanter Politikmassnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz in der Schweiz, so dass das Auftreten und das Ausmass von Reboundeffekten minimiert werden kann.

Dazu werden die Mechanismen der Massnahmen auf mögliche Reboundeffekte und deren zu erwartendes Ausmass analysiert. Da es sich hierbei um eine meist qualitative Analyse handelt, können keine Quervergleiche der Effizienz verschiedener Massnahmen gemacht werden. Die Untersuchung beschränkt sich auf eine Auswahl von Massnahmen. Ähnliche Massnahmen werden miteinander verglichen und von den Ergebnissen werden Rückschlüsse auf weitere, nicht untersuchte Instrumente gemacht. Abgedeckt wird eine breite Palette von politischen Instrumenten in den Bereichen Mobilität, Gebäude sowie Geräte und Beleuchtung. Dabei wurden sowohl angebots- als auch nachfrageseitige Massnahmen untersucht.

Zuerst wird die gewählte Methode zur Beantwortung obiger Fragestellung näher beschrieben (Kap. 1.3). In einem Theoriekapitel (Kap. 2) wird der Reboundeffekt definiert und die relevanten Faktoren werden zusammengefasst. Anschliessend werden die einzelnen Massnahmen vorgestellt und hinsichtlich Reboundeffekte kritisch analysiert, woraus Empfehlungen abgeleitet werden (Kap. 3). Schliesslich werden die Ergebnisse diskutiert und den zusammengefassten Forschungsresultaten aus der UKERC-Review gegenübergestellt (Kap. 4), so dass abschliessende Schlussfolgerungen gezogen werden können (Kap. 5).

1.3 Methode

Als theoretische Grundlage zum Reboundeffekt und seiner Einflussfaktoren dient die umfassende und aktuelle Literaturreview „The Rebound Effect“ (UKERC 2007). Daraus konnten zudem Kriterien zur Auswahl von Politikmassnahmen abgeleitet werden. Als weitere Hauptquelle wurde der „Aktionsplan „Energieeffizienz“ des Bundes herbeigezogen (BFE 2007b; 2008d), um aktuelle Politikmassnahmen auf dem Gebiet der Energieeffizienz zu ermitteln. Ergänzt wurde die Aufstellung durch die Konsultation von Homepages verschiedener Umweltorganisationen.

Die gesammelten Massnahmen wurden nach verschiedenen Kriterien klassifiziert, sodass eine Auswahl getroffen werden konnte. Deren Beeinträchtigung durch Reboundeffekte wurde mittels ökonomischer Betrachtungen analysiert und teilweise durch grobe Abschätzungen quantifiziert. Schliesslich wurden die Ergebnisse der Analyse und die daraus gewonnenen Empfehlungen in Bezug zu den Ergebnissen des UKERC (2007) sowie anderen Befunden gesetzt und kritisch diskutiert. Daraus leiteten sich bereinigte Optimierungsempfehlungen ab, welche nach einer Verallgemeinerung auch auf die übrigen Massnahmen angewandt werden können. Somit können konkrete, fundierte Handlungsempfehlungen für die Schweizer Politik abgegeben werden. Zudem ergeben sich auch allgemein-theoretische Erkenntnisse bezüglich den Wechselwirkungen zwischen Reboundeffekten und Politikmassnahmen, sowie Empfehlungen für weitere Forschungsanstrengungen.

2. Der Reboundeffekt

Zum ersten Mal wurde der direkte Reboundeffekt vom Wirtschaftsökonomen Daniel Khazzoom 1980 zur Sprache gebracht (Khazzoom 1980). Bereits im 19. Jahrhundert vertrat allerdings der Britische Ökonom William Jevons die Ansicht, dass Energieeffizienzsteigerungen den Energieverbrauch erhöhen würden (Jevons 1865), und 1978 publizierte Len Brookes zum ersten Mal zum Thema Rebound (Brookes 1978). Trotz Forschung seit rund 30 Jahren (für eine Review sh. Greene et al 2000) ist der Reboundeffekt vielerorts noch ein relativ neuer Faktor, wie die Beispiele in Kapitel 1.1 zeigen: Weder das schweizerische Bundesamt für Energie, das IPCC als internationales Forschergremium der UNO, noch der renommierte Ökonom Nicholas Stern beziehen Reboundeffekte in ihren Berichten mit ein (BFE 2007b; IPCC 2007; Stern 2007). Im Sinne eines Beitrags zu einer Verbreitung dieses Konzepts und als Grundlage für die späteren Ausführungen wird im Folgenden auf die damit zusammenhängenden Begriffe sowie auf Einflussfaktoren eingegangen, aufbauend auf der englischsprachigen Review „The Rebound Effect“ (UKERC 2007).

2.1 Definitionen

Die grosse Diskrepanz zwischen verschiedenen Studien röhrt vielfach von unterschiedlichen Definitionen her. Deshalb werden hier – wo nicht anders angegeben basierend auf UKERC (2007) – einige wichtige Begriffe definiert und erklärt.

Reboundeffekt allgemein

Saunders (2000) definiert den *Reboundeffekt R* als

$$R = 1 + \eta_{\tau_F}^F \quad (1)$$

wobei $\eta_{\tau_F}^F$ die Elastizität des Produktionsfaktors F (bei Saunders ist dies „fuel“) bei Effizienzgewinn τ_F ist:

$$\eta_{\tau_F}^F = \frac{d \ln F}{d \ln \tau_F} \approx \frac{\Delta F/F_0}{\Delta \tau_F/\tau_{F_0}} \quad (2)$$

Von Rebound wird bei $R > 0$ gesprochen, wobei $R > 1$ backfire ist (s. unten).

Grundsätzlich lässt sich diese Definition des Reboundeffekts auf jede Umwandlung von Primärressourcen (neben Primärenergie beispielsweise auch Zeit) in Sekundärressourcen, Produkte oder Dienstleistungen (beispielsweise Sekundärenergie, Energiedienstleistungen oder Transportleistung) anwenden. Im Folgenden beschränkt sich der Begriff „Reboundeffekt“ auf Energieeffizienz einsparungen.

Backfire/Khazzoom-Brookes Postulat

Führt eine Effizienzmassnahme über direkte und indirekte Reboundeffekte gesamthaft zu einer Zunahme der Energienachfrage – wird also die Einsparung überkompensiert – spricht man von *backfire*. Das *Khazzoom-Brookes Postulat* besagt, dass bei konstanten Energiepreisen kostenwirksame Energieeffizienzmassnahmen unweigerlich zu einer Zunahme des gesamtwirtschaftlichen Energiekonsums (backfire) führen (Saunders 1992). Dies sei selbst dann der Fall, wenn keine weiteren Produktivitätsgewinne anderer Produktionsfaktoren damit verbunden seien. Allerdings werden diese Aussagen vom UKERC (2007) stark in Frage gestellt und als nicht bewiesen betrachtet.

Gesamtwirtschaftlicher (economy-wide) Reboundeffekt

Bei gewissen Effizienzmassnahmen kann beobachtet werden, dass nicht die vollständige ingenieurtechnisch zu erwartende Einsparung erzielt wird. Dies lässt sich hauptsächlich damit erklären, dass durch den Effizienzgewinn die Energiedienstleistung vergünstigt wird, was zu verschiedenen Varianten von Mehrkonsum führen kann. Der *gesamtwirtschaftliche Reboundeffekt* setzt sich zusammen aus direktem und indirektem Reboundeffekt (Abbildung 1).

Ingenieurtechnisch zu erwartende Energieeinsparung	Tatsächliche Energieeinsparung		
	Gesamtwirtschaftlicher Reboundeffekt	Indirekter Reboundeffekt	Sekundäre Effekte
			Graue Energie
		Direkter Reboundeffekt	Einkommens-/ Outputeffekt Substitutionseffekt

Abbildung 1. Klassifizierung der Reboundeffekte (enthält keine Aussage über deren Größenordnung). Quelle: verändert nach UKERC (2007), Box 1.2.

Direkter Reboundeffekt

Der *direkte Reboundeffekt* bezieht sich auf direkten Mehrkonsum der Energiedienstleistung: Einerseits ersetzt – bei gleichbleibendem Nutzen – der gestiegene Energiekonsum bei Verbrauchern den Konsum anderer Produkte oder Dienstleistungen bzw. bei Produzenten den Einsatz der anderen Produktionsfaktoren (*Substitutionseffekt*). Als Produktionsfaktoren werden in der Ökonomie natürliche Ressourcen (inkl. Energie), Kapital, Arbeit und Wissen unterschieden (Eisenhut 2002), wobei Letzteres hier weniger relevant ist, da es im Allgemeingebräuch durch Energie praktisch nicht substituierbar ist. Anderseits ermöglicht der *Einkommenseffekt* für Konsumenten einen höheren Nutzen durch verstärkten Konsum (mehr und größere Geräte/Motoren sowie höherer Auslastungsgrad), bzw. erlaubt die Kosteneinsparung den Produzenten einen höheren Output durch gestiegenen Input aller Produktionsfaktoren, inkl. der Energiedienstleistung (*Outputeffekt*, beinhaltet aber auch sekundäre Effekte, s. unten).

Indirekter Reboundeffekt

Selbst ohne Konsumzunahme der betrachteten Energiedienstleistung kann das technische Einsparpotential teilweise zunichte gemacht werden. Dabei werden folgende Mechanismen unterschieden:

- Einerseits ist, um die Effizienzmassnahme überhaupt zu erreichen, häufig ein Materialeinsatz nötig, der *graue Energie* in sich birgt.
- Anderseits hat die Effizienzmassnahme, ist sie einmal umgesetzt, folgende *sekundäre Effekte*:
 - Konsumenten können die erzielten Ersparnisse für andere, energieintensive(re) Produkte oder Dienstleistungen/Aktivitäten nutzen.
 - Produzenten können die Kostenersparnisse zur Erhöhung des Outputs verwenden, was zu erhöhtem Materialverbrauch führt (zusammenhängend mit dem Outputeffekt, s. oben).
 - Durch kostenwirksame Effizienzmassnahmen wird Wirtschaftswachstum angeregt, was den Konsum und damit indirekt auch die Energienachfrage anregt.
 - Bei einem signifikanten Rückgang der Energienachfrage sinken die Energiepreise, was zu höherem Energie- und allgemeinem Konsum führt.
 - Durch die Energieeffizienzmassnahmen und den Rückgang der Energiepreise nimmt der Preis energieintensiver Produkte und Dienstleistungen überproportional ab, wodurch diese attraktiver und somit verstärkt nachgefragt werden.

Erweiterte Reboundeffekte

Die obige Definition von Rebound beschränkt sich auch in ihrer verallgemeinerten Form auf streng ökonomische Theorien. Bei der angewandten Untersuchung von Reboundeffekten in der Realität (vgl. Kap. 3) fällt auf, dass diese Sichtweise Einschränkungen mit sich bringt und es Sinn macht, den Rahmen zu erweitern und weitere Aspekte einzubeziehen, um zuverlässige Schlussfolgerungen ziehen zu können. In der vorliegenden Arbeit werden folgende Effekte berücksichtigt, welche eine Erweiterung der Definition von Rebound nötig machen:

- **Sozio-psychologische Effekte**

Erstens beschränkt sich die klassische Sicht des Rebounds auf finanzielle oder zumindest monetarisierbare Werte. Wie Hertwich (2005) erstmals hervor streicht, können auch nicht-preisbasierte Reboundeffekte auftreten. Dies wird von de Haan et al. (2006) aufgenommen, welche sogenannte *sozio-psychologische Reboundeffekte* einführen, die mit den sozialen und psychologischen Kosten für den Konsum eines Gutes verbunden seien. In der vorliegenden Arbeit werden diese zwei Effekte einbezogen, aber als eigenständiger behandelt, wobei *sozialer Rebound* durch Normen aus Gesellschaft und persönlichem Umfeld geprägt wird, während *psychologischer Rebound* durch persönliche Normen und Präferenzen bedingt ist. Dabei sind sowohl direkte (Mehrkonsum der gleichen Energiedienstleistung) als auch indirekte Effekte (kompensatorischer Konsum) möglich.

- **Verwendung von Steuereinnahmen**

Das UKERC (2007) schliesst den durch die Wiederverwendung von Steuereinnahmen, welche mit effizienzfördernden Politikinstrumenten verbunden sind, verursachten Mehrkonsum von Energie nicht in die Definition des Reboundeffekts mit ein. Allerdings verweist es auf eine Studie, bei welcher nach einer Steuersenkung, welche durch anderweitige, zusätzliche Steuereinnahmen finanziert wurde, der Reboundeffekt zugenommen hat (Allan et al. 2006). Dieser Ansatz, auch indirekten Mehrkonsum von Energie einzubeziehen, der durch die Regelungstätigkeit des Staates im Bereich der Energieeffizienz verursacht wurde, wird hier übernommen. Diese Effekte sind i. d. R. den indirekten Reboundeffekten zuzuordnen.

Realwirtschaftliche Mechanismen

Neben erweiterten Reboundeffekten führt eine Ausweitung des Fokus über theoretische ökonomische Betrachtungen hinaus auch zu folgenden realwirtschaftlichen Effekten, welche auf weitere, ansonsten unberücksichtigt gebliebene Reboundeffekte hinweisen:

- **Low hanging fruits**

Unter sogenannten *low hanging fruits* versteht man nicht ausgeschöpfte Effizienzpotentiale, welche eigentlich bereits zu heutigen Energiepreisen und mit moderaten Diskontraten wirtschaftlich wären, aber trotzdem nicht ausgenützt werden. So spricht ecoplan (1998) nach Auswertung verschiedener Studien von bis zu 30% des Energieverbrauchs der Industrie, das nichtausgeschöpftes, rentables Energiesparpotential darstelle. Dies wird durch Kirchner et al. (2003) präzisiert, welche hervorheben, dass die Energiekosten im Industriesektor in der Regel von untergeordneter Bedeutung sind und deshalb weniger einem Optimierungsdruck als im Gewerbe und im Dienstleistungssektor unterliegen. Eine Ausnahme sind sicherlich die energieintensiven Branchen wie die Aluminium- oder Zementindustrie.

- **Threshold effects**

Der Einfluss einer Grösse auf eine andere ist unter Umständen nicht kontinuierlich, sondern kann Sprünge aufweisen, was man als *threshold effect* bezeichnet. Dies kann einerseits der Einfluss eines finanziellen Anreizes sein, der erst ab einem gewissen Schwellenwert eine Wirkung zeigt, was beispielsweise der Fall ist, wenn es zuerst gilt, die Aufmerksamkeit auf Energie zu lenken (Stern et al. 1985). Gemäss Wilson und Dowlatabadi (2007) haben dann psychologische Effekte Überhand.

Anderseits ist es aber auch durchaus vorstellbar, dass bei einer geringen Verbilligung von Produkten (beispielsweise durch eine Erhöhung der Gewichtslimite für Lastwagen, *ceteris paribus*) oder bei diffusen/kleinen Effizienzgewinnen aus entsprechenden Massnahmen beide Effekte ebensowenig wahrgenommen werden, weil sie unter einem gewissen Betrag bleiben. Zu dieser These konnte jedoch keine Evidenz gefunden werden.

- **Wahrnehmung von Rückerstattungen**

Wie oben ausgeführt ist es wichtig, die Rückerstattung von Steuern/Lenkungsabgaben für die Beurteilung des Rebounds zu berücksichtigen. Allerdings ist dies wiederum insofern zu relativieren, als dass nicht die Rückerstattung per se zu Rebound führt, sondern auch deren Wahrnehmung entscheidend ist. So haben Epley et al. (2006) festgestellt, dass die Betrachtung einer Einkommensveränderung als „Bonus“ zu höheren Mehrausgaben führt als ein „Rabatt“. Weiter befinden Chambers und Spencer (2008), dass einmalige Rückerstattungen eher für ausserordentliche Ausgaben (möglicherweise zum Beispiel energieintensive Ferien) gespart werden als kleinere, periodische Vergütungen.

Energieeffizienz

Das Verhältnis von nützlichem Output und Energieinput eines Systems wird als *Energieeffizienz* bezeichnet. Sie kann mit physikalischen oder ökonomischen Indikatoren und auf verschiedenen Ebenen von einzelnen Produktionsschritten bis zur Wirtschaft als Gesamtes gemessen werden.

Preiselastizität

Das Verhältnis der relativen Nachfrageänderung zur relativen Preisänderung eines Gutes oder einer Dienstleistung, *ceteris paribus*, wird als (Eigen-)Preiselastizität (der Nachfrage) bezeichnet. In der Regel ist sie negativ. Die Nachfrage wird als elastisch bezeichnet, wenn der Betrag der Elastizität grösser als eins ist, und als unelastisch für Werte darunter.

Für praktische Probleme kann folgende vereinfachte Form der Preiselastizität $\varepsilon(P)$ verwendet werden,

$$\varepsilon(P) = \frac{\Delta N/N}{\Delta P/P} \quad (3)$$

wobei N für die Nachfrage, P für den Preis und Δ für deren relativen Änderung stehen.

2.2 Einflussfaktoren

Im Folgenden werden wichtige Aspekte bezüglich Reboundeffekte dargelegt, wobei nicht auf theoretische Überlegungen quantitativer Studien eingegangen wird, sondern entsprechend dem Fokus dieser Arbeit vielmehr auf qualitative Aussagen.

Reboundeffekte allgemein

Sowohl direkte als auch indirekte Reboundeffekte variieren stark in Abhängigkeit der folgenden Faktoren (ERC83):

- **Technologie (ERC83):**
 - Technologien, die am Anfang ihres Lebenszyklus (vor der breiten Diffusion) stehen, haben aufgrund ihrer geringen Marktsättigung und der damit verbundenen hohen Anzahl potentieller marginaler Konsumenten (Englisch *marginal consumer*; Konsumenten, welche ein bestimmtes Produkt zum ersten Mal erwerben [Wirl 1997]) ein grosses Potential für hohe Reboundeffekte. Dies erklärt sich dadurch, dass bei einem Durchbruch in der Entwicklung die daraus folgenden Effizienzgewinne zu einer Verbilligung und somit weiten Verbreitung der Technologie führen.
 - *Kern-Verfahrenstechnologien* („core process technologies“) sind vielfältig einsetzbar und haben einen Einfluss auf die Produktionskosten vieler anderer Anwendungen, so dass sich Effizienzgewinne und damit auch die Reboundeffekte weit verbreiten und multiplizieren.
 - Technologien, welche neben der Energieeffizienz zusätzlich auch die Kapital- und Arbeitsproduktivität verbessern, bringen abgesehen von den Energieeinsparungen zusätzliche Gewinne und verstärken somit das Risiko von Rebound massiv. So zeigen Modelle verschiedener Studien, dass Verbesserungen in der Produktivität von Energieinputs einen dramatischen Effekt auf Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch haben, und somit einen hohen Reboundeffekt bewirken (ERC80). Allerdings relativiert das UKERC diese Kausalität und mahnt zur vorsichtigen Interpretation (ERC81).

Allgemein werden sogenannte *general-purpose technologies* (GPTs) mit besonders starken Reboundeffekten in Verbindung gebracht. Sie zeichnen sich aus durch grosses Optimierungspotential, breite Einsetzbarkeit, potentiellen Einsatz in vielen Produkten und Prozessen sowie starke Komplementarität mit bestehenden oder potentiellen neuen Technologien (Lipsey et al. 2005). Klassische Beispiele für GPTs sind Dampfmaschinen, Eisenbahnen, Automobile oder Computer.

- **Wirtschaftssektor:**

Es wird davon ausgegangen, dass Reboundeffekte im Haushaltssektor tiefer sind als in den Produktionssektoren (ERC79). Dabei ist der Einkommenseffekt geringer als der Substitutionseffekt (ERC58f). Besonders hohe Reboundeffekte werden in energieintensiven Sektoren (ERC51) sowie in der Energieversorgung (ERC83) erwartet. So hat eine Studie befunden, dass der Rebound signifikant tiefer wäre, würden Effizienzmassnahmen nur bei Energiekonsumenten umgesetzt (ERC55).

- **Einkommensgruppe:**

Die Beziehung zwischen direkten Reboundeffekten und Haushaltseinkommen ist unsicher. Wegen Sättigungseffekten wird aber mit einem tieferen Rebound bei höherem Einkommen gerechnet (Boardman und Milne 2000). Umgekehrt ist deshalb der Reboundeffekt in Entwicklungsländern häufig sehr gross (bis hin zu backfire), da viele marginale Konsumenten auf dem Markt sind, für die der Konsum durch eine Effizienzmassnahme überhaupt erst erschwinglich werden kann (ERC32). Es kann angenommen werden, dass die Einkommenselastizität der Energienachfrage zwischen 0.7 (Dargay 1992) und 1.0 (Brookes 1972) liegt, aber mit der Entwicklung der Wirtschaft fällt (ERC68; s. auch Abbildung 2), und damit gleichzeitig allenfalls der Reboundeffekt abnimmt, folgt man den Annahmen von Zein-Elabdin (1997).

Energieökonomisch gesehen vertritt Saunders (2000) die Meinung, dass Reboundeffekte stark von der Elastizität σ der Substitution zwischen Energie und anderen Produktionsfaktoren abhängen, also inwiefern günstigere Energiedienstleistungen Substitute für Kapital, Arbeit und Rohstoffe sein können (Saunders 1992; Allan et al. 2006) und damit wie flexibel der Inputmix ist (ERC51). Die Auswirkungen sind im Folgenden basierend auf ERC73 ausgeführt sowie in Tabelle 1 zusammengefasst:

- Auf der einen Seite bringe eine tiefe Elastizität ($\sigma \ll 1$), also eine niedrige Substitution, einen geringen Reboundeffekt mit sich, so dass Förderung zur Entwicklung (neuer) Energieeffizienztechnologien auch zu einer Energieeinsparung führe. In diesem Falle sei hingegen die Besteuerung von Energie/CO₂ weniger effektiv, da die Konsumenten nicht auf andere Produktionsfaktoren ausweichen und (zumindest kurzfristig) auch die Effizienz nur bedingt steigern können. Die Erreichung eines gegebenen Reduktionsziels führe deshalb zu einem BIP-Rückgang und verursache hohe Kosten (da die verbrauchte Energie weniger konsumiert wird, aber schlecht substituierbar ist und somit insgesamt weniger produziert wird), was die Wirtschaft belaste. Ein Beispiel für eine tiefe Elastizität der Substitution ist Beleuchtung, da diese kaum Kapital (höchstens weniger Fenster in Gebäuden nötig) oder Arbeit (mehr Licht führt nicht zu weniger Arbeit) substituieren kann.
- Andererseits gehe bei einer hohen Elastizität der Substitution ($\sigma = 1$) trotz Eingriffen der Politik die Produktion dank einer Anpassung des Inputmix nicht zurück, wodurch kein BIP-Rückgang in Kauf genommen werden müsse und die Kosten für ein gegebenes Reduktionsziel tiefer liegen. Effizienzmassnahmen führen durch die Substitution aber zu einer Produktionserhöhung und somit einem hohen Rebound. Um eine Reduktion des Energieverbrauchs zu erreichen empfahlen sich deshalb in diesem Fall Energiesteuern, deren Ziel die Reduktion des Energieverbrauchs direkt vielmehr als die Steigerung der Energieeffizienz sei. Eine hohe Substitution besteht beispielsweise zwischen Energie zum Heizen und Kapital für Isolation, da diese einfach gegenseitig austauschbar sind (z. B. kann dank einer effizienten Heizung bei der Isolation gespart werden).

Substitution	niedrig ($\sigma \ll 1$)	hoch ($\sigma = 1$)
Reboundeffekte	nicht erwartet	erwartet
Energiesteuer	Produktionsrückgang	Energieeinsparung
Produktion (BIP)	Rückgang	konstant
Reduktionskosten	höher	tiefer
Effizienzförderung	Energieeinsparung	höhere Produktion

Tabelle 1. Zusammenfassung des Einflusses der Substituierbarkeit zwischen Energie und anderen Produktionsfaktoren auf Politikinstrumente und deren Wirkung.

Allerdings befindet das UKERC, dass grosse Reboundeffekte auch bei geringer Elastizität der Substitution möglich seien (ERC75). Zudem seien für den Reboundeffekt folgende wichtigen Faktoren zu berücksichtigen: Elastizität des Angebots von Kapital und Arbeit, Eigenpreiselastizität der Produktnachfrage, Energieintensität des Produktionssektors (Anteil der Energie an den Gesamtkosten), Substitution zwischen verschiedenen Konsumgütern, Einkommenselastizität der Nachfrage für Güter, und schliesslich wie die Regierung Einkünfte wiederverteile (ERC52). So sind hohe direkte Reboundeffekte bei hohen Eigenpreiselastizitäten von Energienachfrage für eine individuelle Energiedienstleistung zu erwarten (ERC51), während eine tiefe Langzeitelastizität für Primärenergienachfrage einen hohen indirekten Reboundeffekt bedeuten könnte (ERC45f). Das UKERC hat allerdings bei letzterer Interpretation Vorbehalte. Die Eigenpreiselastizität von Energienachfrage wird durch Kaufmann (1992) als unelastisch (leicht negativ) eingeschätzt, was unter Umständen für hohen indirekten Rebound sprechen würde. Die indirekten Reboundeffekte als solche sind unempfindlich zu Variationen von Energie- und CO₂-Preisen (ERC59).

Häufig wird wie oben angetönt das Argument vorgebracht, Reboundeffekte seien klein, da die Nachfrage nach Energiedienstleistungen unelastisch sei, und die Energie einen kleinen Anteil der Kosten ausmache und somit wenig Einfluss auf die Betriebsentscheide habe (ERC5). Allerdings werden diese Argumente durch quantitative Studien nicht unterstützt (ERC45), und das Argument bezüglich des kleinen Kostenanteils gelte nicht, sobald damit Produktivitätssteigerungen verbunden seien (ERC70). Trotzdem meint Ayres (2002), zumindest backfire sei nicht zu erwarten bei Verbesserungen von Konsumtechnologien, die Energiedienstleistungen mit geringer Eigenpreiselastizität liefern und bei denen die Energie einen kleinen Anteil der Gesamtkosten ausmacht. Es kann aber postuliert werden, dass vielfach ohnehin die Wahrnehmung der Energiekosten entscheidend ist, vielmehr als deren eigentliche Grösse (vgl. Kap. 2.1, Abschnitte „Erweiterte Reboundeffekte“ und „Realwirtschaftliche Mechanismen“).

Für die meisten Energiedienstleistungen wird eine Zunahme des Reboundeffekts mit der Zeit erwartet, da Märkte, Technologien und Verhalten eine bestimmte Anpassungszeit benötigen (ERC3). Allerdings tritt langfristig Marktsättigung ein, was einen gegenläufigen Trend bewirkt (ERC26). Zudem nimmt über einen noch längeren Zeithorizont hinweg mit der Entwicklung der Wirtschaft die Einkommenselastizität der Energienachfrage ab, und damit auch der Rebound (s. oben). Ein Beispiel anhand der Nachfrage nach Privatfahrzeugen, bei dem die Entwicklung der Wirtschaft als steigendes Pro-Kopf-Einkommen zu betrachten ist, findet sich in Abbildung 2.

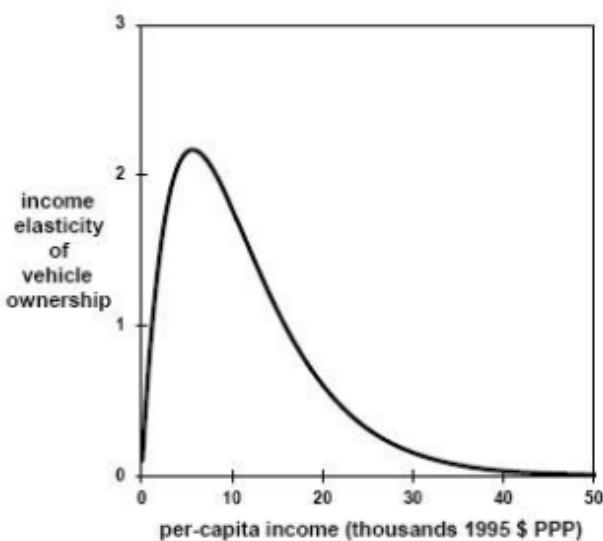


Abbildung 2. Beispiel für die Einkommenselastizität der Energienachfrage in Abhängigkeit der wirtschaftlichen Entwicklung. Quelle: Cohen (2007).

Nach Binswanger (2001) sollte der direkte Reboundeffekt für viele Energiedienstleistungen kleiner werden, wenn der Preis von Zeit weiter an Bedeutung gegenüber den Energiepreisen gewinnt, weil dann Erhöhungen der Energieeffizienz einen abnehmenden Einfluss auf die Gesamtkosten haben.

Reboundeffekte werden weiter durch Opportunitätskosten für die Nachfrageerhöhung eingeschränkt, z. B. Zeit oder Raum (ERC22). So werden bei Geräten wie Geschirrspülern, Staubsaugern, Fernsehern, elektrischen Werkzeugen, Computern oder Druckern tiefe Reboundeffekte erwartet (ERC35).

Ein nicht zu vernachlässigender Effekt ist weiter, dass durch die zusätzlichen Kosten für Energieeffizienz der Reboundeffekt grundsätzlich wieder reduziert wird (ERC50). Schliesslich ist die Kausalität zwischen Effizienz und Energienachfrage zu beachten. So kann es auch sein, dass antizipierte hohe Nachfrage zu Effizienz führt (ERC 37).

Khazzoom-Brookes/backfire

Das Khazzoom-Brookes Postulat wird als unbewiesen betrachtet. Allerdings erscheint es wahrscheinlicher für Effizienzverbesserungen, die mit weit verbreiteten, und breit einsetzbaren Technologien verbunden sind (GPTs). Dies umso mehr, wenn sie von Produzenten statt Konsumenten eingesetzt werden und Effizienzverbesserungen in einem frühen Entwicklungs- und Verbreitungsstadium erfolgen. Beispiele sind die Dampfmaschine, der Elektromotor sowie Computerkomponenten (ERCviii). Alles zusammengenommen erscheint es unwahrscheinlich, dass alle Energieeffizienz-verbesserungen zu backfire führen sollten (ERC86).

Energiekonsum

Die Energieintensität der Energienachfrage der Haushalte ist um eine Größenordnung höher als die Energieintensität anderer Güter und Dienstleistungen. Deshalb könnte die Reduktion des Anteils des BIPs, das direkt durch die Haushalte für Energie ausgegeben wird, die effektivste Weise sein, das Verhältnis von Energie pro BIP zu reduzieren (ERC79). Weiter ist der indirekte Energiekonsum von Haushalten grösser als der direkte und er zeigt keine Sättigung bei steigendem Einkommen. Dies bedeutet, dass indirekter Energiekonsum mit der Zeit an Bedeutung gewinnt (ERC48). Wird die Energiequalität der

verschiedenen Energieformen berücksichtigt, läuft die Kausalität von Energieverbrauch zu BIP (Stern 1993; 2000), was eine Reduktion des Energieverbrauchs ohne negative Effekte auf das Wirtschaftswachstum erschwert (ERC 78).

Implikationen für Politikmassnahmen

Viele Untersuchungen haben den Beitrag von nicht-preislichen Politikmassnahmen zu Energieeinsparungen überschätzt, weil sie Reboundeffekte ausser Acht liessen. Deren Berücksichtigung reduziert die scheinbar hohe Effizienz von nicht-monetären Energieeffizienzpolitikmassnahmen, aber da viele finanziell hoch effizient sind, werden sie es auch bleiben. (ERC92).

Geht Energieeffizienz mit verbesserter Produktivität der anderen Produktionsfaktoren Kapital, Arbeit oder natürliche Ressourcen einher, nimmt die Kostenwirksamkeit der Massnahme stark zu. Dadurch wird allerdings der Reboundeffekt verstärkt und es kann backfire eintreten. Gerade die „Überwindung von Ineffizienz“, welche häufig durch nicht-preisliche Politikmassnahmen angeregt wird, erhöhe die Faktorproduktivität noch mehr als andere Effizienzmassnahmen (ERC13). Deshalb ist es sinnvoller, Politikmassnahmen auf geeignete, selektiv ausgewählte Effizienzmassnahmen zu beschränken, die einen geringeren Einfluss auf Faktorproduktivitäten haben (ERC71), und die Abschöpfung weiterer Gewinne durch eine breitere Anwendung dem Markt zu überlassen (ERC93). Energiepolitik sollte also auf die Unterstützung von zweckbestimmten Energieeffizienztechnologien (*dedicated energy efficiency technologies*) fokussieren anstatt die Effizienz von GPTs zu verbessern. Allerdings ist die Volkswirtschaft für Wachstum auf die Diffusion von GPTs angewiesen (ERC84). Bei *dedicated energy efficiency technologies* handelt es sich um eng umschriebene und oft bestehende, herkömmliche Anwendungen (der Staat kann selten rechtzeitig neue Fälle erkennen), über deren Förderung mit Bedacht entschieden werden muss. Dies könnte beispielsweise die Verbesserung thermischer Isolation sein, welche grundsätzlich hohe Effizienzgewinne ermöglicht, aber auch ein hohes Reboundpotential aufweist (s. oben). Entscheidend ist bei gewissen Technologien, dass sie sehr selektiv gefördert werden, so dass unmittelbare Reboundeffekte vermieden werden können. Wird einer Technologie dadurch aber zum Durchbruch verholfen, können trotzdem Reboundeffekte auftreten. Diese müssen dann mit anderen Massnahmen bekämpft werden, aber zumindest wurden in einem anderen Bereich gezielt Effizienzgewinne erreicht.

Werden hohe Reboundeffekte erwartet, empfehlen sich nach Saunders (2000) allgemein Politikmassnahmen, welche die Energiepreise erhöhen (s. oben). Der Einsatz der Einnahmen aus einer zusätzlichen Steuer ist aber vorsichtig zu planen, so erhöhte sich in einem Modell bei Verwendung der Mehreinnahmen für eine Steuersenkung der Reboundeffekt (ERC55). CO₂- oder Energiebesteuerung kann sowohl direkte als auch indirekte Reboundeffekte reduzieren, wenn sichergestellt wird dass die Kosten der Energiedienstleistungen konstant bleiben, während die Effizienz steigt. Die Besteuerung muss mit einer Rate wachsen, die dem Einkommenswachstum und den Reboundeffekten entspricht, um den *status quo* zu erhalten, oder stärker, um den Verbrauch zu senken.

Besteuerung alleine ist womöglich ungenügend, da diese die zahlreichen Schranken für Innovation und Verbreitung von CO₂-armen Technologien nicht zu überwinden vermag und negative Effekte auf Einkommensverteilung und Wettbewerbsfähigkeit haben könnte. Anderseits sind Politikmassnahmen, welche auf die Beseitigung von Marktschranken abzielen, auch ungenügend, da Reboundeffekte die Einsparungen zunichte machen könnten. Deshalb ist eine Kombination von Massnahmen nötig. (ERC93). Verbilligt sich Kapital relativ zu Energie (z. B. durch Investitionssubventionen) kann sich unter Umständen laut empirischen Untersuchungen der Energiekonsum erhöhen. Hat weiter die Reduktion der Energienachfrage nach einer Preiserhöhung einen Rückgang des Kapitaleinsatzes zur Folge, kann die Wirtschaft dadurch stark betroffen werden. So erklären sich die potentiell hohen Kosten einer Reduktion des Energieverbrauchs. (ERC 75) Diese volkswirtschaftlichen Nebenwirkungen müssen bei der Auswahl von Politikinstrumenten auch berücksichtigt werden.

3. Analyse ausgewählter Politikinstrumente

3.1 Auswahl zu untersuchender Politikmassnahmen

Eine umfassende Übersicht von Politikinstrumenten für Energieeffizienz mit potentiellen Reboundeffekten ist in Tabelle 2 enthalten. Eine Auswahl von zu diskutierenden Politikmassnahmen im Bereich der Energieeffizienz, vorgeschlagen durch das BFE (2007b), findet sich in Tabelle 3. Ergänzt wurde letztere Aufstellung durch bereits umgesetzte Instrumente sowie Vorschläge und Initiativen von Umweltschutzorganisationen. Um die zur Auswahl stehenden Politikmassnahmen näher zu charakterisieren und zu kategorisieren, sowie anschliessend die zu untersuchenden Politikinstrumente strukturiert auszuwählen zu können, wurden aus der Synthese relevanter Einflussfaktoren für Reboundeffekte in Kapitel 2.2 folgende bezüglich Rebound interessante Selektionskriterien abgeleitet (in Klammern wird jeweils auf damit verbundene Massnahmen aus Tabelle 3 verweisen):

- **Technologie:** Reboundeffekte sind stark von der Technologie abhängig, allerdings lassen sich ausser allenfalls bei Computerkomponenten (→ Mindestanforderungen an elektrische Geräte) oder bei der Beleuchtung (→ energieEtikette und Mindestanforderungen) keine GPTs identifizieren. Keine der aufgeführten Massnahmen ist nur auf eine bestimmte Technologie zugeschnitten.
- **Sektor:** Hier bietet der Massnahmenmix keine grosse Variation, die meisten Instrumente stammen aus den Bereichen Mobilität oder Gebäude, welche sowohl Privathaushalte als auch Unternehmen betreffen. Die LSVA betrifft als eine der wenigen Massnahmen nur die Wirtschaft direkt und ist die einzige solche im Bereich Mobilität. Der Bereich Stromerzeugung wäre wegen seiner inhärenten Energieintensität interessant, relevante Politikinstrumente sind aber nicht bekannt. Auch Massnahmen, die speziell einen energieintensiven Sektor betreffen würden, bestehen nur am Rande, beispielsweise Vereinbarungen mit der Zementindustrie im Rahmen des CO₂-Gesetzes (CO₂-Abgabe; Künig (2006)).
- **Einkommensgruppe:** Allgemein hat die Schweiz wegen der hohen nationalen Wertschöpfung ein hohes Sättigungsniveau; ein Vergleich mit anderen Ländern ist aber im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Massnahmen im Gebäudebereich betreffen grundsätzlich eher höhere Einkommen, weil die Wohneigentumsquote mit dem Einkommen steigt und Mieter häufig weniger Handlungsspielraum haben.
- **Elastizität der Substitution von Energie durch andere Produktionsfaktoren:** Über die Wirkung des Betrags der Substitutionselastizität auf Rebound-Effekte besteht kein wiss. Konsens(ERC75). Trotzdem scheint gerade die Anwendung der Erkenntnis von Saunders (2000) bezüglich dieser Beziehung zwischen Elastizität der Substitution und Rebound interessant, um die Aussage anhand praktischer Überlegungen zu verifizieren.
- **Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten:** Dieses Kriterium lässt sich schlecht allgemein und schnell bestimmen, so dass es nicht für die Auswahl sondern nur allenfalls für die spätere Analyse verwendet wird.
- **Opportunitätskosten für Nachfrageausweitung:** Besonders bei der energieEtikette und beim Erlass von Mindestanforderungen an einerseits Haushaltgeräte/Unterhaltungselektronik und anderseits Beleuchtung ist dieser Aspekt von Interesse, da grosse Unterschiede bezüglich Opportunitätskosten bestehen.
- **Angemessenheit von Besteuerung:** In der Regel werden Reboundeffekte vor allem mit nicht-preislichen Massnahmen in Verbindung gesetzt, weil bei diesen zumindest auf den ersten Blick keine zusätzlichen Kosten die Effizienzgewinne ausgleichen können. Auch bei preislichen Massnahmen interessiert die genaue Ausgestaltung, denn Reboundeffekte hängen davon ab, ob resultierende Effizienzgewinne allenfalls über- oder nur teilweise kompensiert werden. In dieser Hinsicht sind die LSVA, Road Pricing und Motorfahrzeug(import)steuern interessant.

#	BFE	Instrument	Massnahmentyp	Kategorie	Monetär	§	Bereich	N/A	Wirkung	Quelle
1.1		Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA) und Erhöhung der Gewichtslimite	Steuer/Norm	ALZ/ SNG	ja/n ein	W	Mobilität	N	BAV	
1.2		Road Pricing	Steuer/ Lenkungsabg.	ALZ	ja	H + W	Mobilität	N	BAV	
2.1		Lenkungsabgabe auf nicht-erneuerbare Energieträger/ CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe	Lenkungsabg.	ALZ	ja	H + W	Gebäude (Geräte und el. Motoren)	N	BAV	
2.2	alt	CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe	Lenkungsabg.	ALZ	ja	H + W	Mobilität	N	+++	BFE
3.1		energieEtikette für Haushaltgeräte und Beleuchtung	Information	WF	nein	H (+ W)	Geräte und el. Mot.	N	BAV	
3.2		energieEtikette für Personenwagen	Information	WF	nein	H + W	Mobilität	N	BAV	
4.1	8b	Mindestanforderungen an elektronische Geräte	Norm	SNG	nein	H + W	Geräte/el. Motoren	A	+++	BFE
4.1	8c	Mindestanforderungen an elektrische Beleuchtung	Norm	SNG	nein	H + W	Geräte/el. Motoren	A	+++	BFE
4.2	6a	Neue Zielvereinbarung mit auto-schweiz	Norm	SNG	nein	H + W	Mobilität	A	+++	BFE
5	1	Nationales Förderprogramm für die energetische Gebäude-Erneuerung	Subvention	FM	ja	H (+ W)	Gebäude	N	+++	BFE
6	9	Förderung d. Energieeffizienz durch Zertifikate/ Effizienzboni in Industrie und DL	Zertifikate/ Subvention	FM	ja	W	Industrie und DL	N	++	BFE
7.1	9	Koordinierte und flächendeckende Einführung verbrauchsabhängiger kant. Motorfahrzeugsteuern	Steuer	ALZ	ja	H + W	Mobilität	N	+	BFE
7.2	6b	Einführung eines Bonus-Malus-Systems auf der Importsteuer für Personenwagen	Steuer/ Subvention	ALZ	ja	H + W	Mobilität	N	++	BFE
2		Revision Mustervorschriften der Kantone im Gebäudebereich: Neubauten und Sanierung	Norm	SNG	nein	H + W	Gebäude	A	++	BFE
3		Gesamtschweizerischer Gebäude-Energieausweis (Mustervorschriften der Kantone im Gebäudebereich)	Information	SNG	nein	H + W	Gebäude	N (&A)	++	BFE
4		Programmvereinb. für Effizienzmassn. der Kantone und Erhöhung der Globalbeiträge	Subvention	FM	ja	H (+ W)	Gebäude	N	++	BFE
5		Abbau von rechtlichen Hemmnissen im Sanierungsbereich Gebäude	Erleichterung (gesetzl.)	SNG	nein	H (+ W)	Gebäude	N	+	BFE
5'		Vereinbarungen m. Versicherungsgesellschaften für Boni für energ. sanierte Gebäude	Subvention	FM	ja	H + W	Gebäude	N		BFE
8		Mindestanforderungen an elektron. Geräte und Zielvereinbarungen für spez. Gerätekat.	Norm	SNG	nein	H + W	Geräte/el. Motoren	A	+++	BFE
8a		Erlass von Mindestanforderungen an Haushaltgeräte mit Energieetikette	Norm	SNG	nein	H (+ W)	Geräte/el. Motoren	A	+++	BFE
8d		Erlass von Mindestanforderungen an elektrische Normmotoren	Norm	SNG	nein	W (+ H)	Geräte/el. Motoren	A	++	BFE
8e		(Branchen-)Vereinbarung Mindestanf./Energie-deklarationen für best. Gerätekategorien	Norm/ Information	SNG	nein	H (+ W)	Geräte/el. Motoren	A	+	BFE
alt		Erlass neuer Ziele und Massnahmen für Personenwagen in der EnV	Norm	SNG	nein	H (+ W)	Mobilität	A	+++	BFE
10		Verstärkung der Energieeffizienz-Forschung	Information	WF	nein	H + W	Forschung, Bildung	A	+	BFE
11		Beschleunigung des Technologietransfers	Information	WF	nein	n/a	Forschung, Bildung	A	++	BFE
12		Offensive in der Aus- und Weiterbildung über Energieeffizienz	Information	WF	nein	H + W	Forschung, Bildung	A & N	+	BFE
13		Minimalanforderungen im Sinne einer Vorbildfunktion bei Gebäuden der öffentl. Hand	Norm	SNG	nein	Staat	Vorbildfunktion öffentliche Hand	N	++	BFE
14		Verstärkte Beschaffungsrichtlinien des Bundes beim Energieverbrauch und -bezug	Norm	SNG	nein	Staat	Vorbildfunktion öffentliche Hand	N	++	BFE
15		Durchführung von Energiefolgenabschätzungen bei neuen Aktivitäten der Bundesämter EcoDrive (finanzielle Förderung/gesetzl. Verpflichtung)	Norm/ Information Subv./Norm	WF	nein	Staat	Vorbildfunktion öffentliche Hand	N	+	BFE
		Lenkungsabgabe für nicht-erneuerbare Energieträger	Lenkungsabg.	ALZ	ja	H (+ W)	Stromerzeugung	N		green peace
		Verbot Elektroheizung	Norm	SNG	nein	H + W	Gebäude	A		
		Freiw. Massn. (ClimateSavers/WWF Climate Group)	-	WF	nein	W	Industrie und DL	A (&N)		WWF

Tabelle 2. Gesamtübersicht über vorgeschlagene Politikinstrumente zur Steigerung der Energieeffizienz in der Schweiz.

Erläuterung der Spaltenüberschriften: #: Instrumentennr. in nachfolgenden Tabellen; BFE: Massnahmen-Nr. aus (BFE 2008d); Kategorie: ALZ=steuerliche Anreize/ Lenkungsabgabe/Zertifikate, FM=Fördermassnahmen, SNG=Standards/Normen/Gesetzesregelung, WF=Weiche Faktoren; Sektor der Massnahme: gibt an, ob Wirtschaft (W) und/oder Haushalte (H) betroffen, oder der Staat bei sich selbst angreift; N/A: angebotsseitig (A) oder nachfragerseitig (N) wirkend; Wirkung: Effektstärke gemäss BFE (2007b), +gering, ++mittel, +++=gross.

Informationsmassnahmen durch Forschung, wie sie durch das BFE (2007b) auch vorgebracht wurden (vgl. Tabelle 2), führen zu keinen direkten Effizienzgewinnen, deshalb sind Überlegungen bezüglich Reboundeffekten hier schlecht anwendbar. Deswegen wurde als Informationsmassnahme die energieEtikette gewählt.

Branchenvereinbarungen sind ähnlich wie gesetzliche Einschränkungen (z. B. Mindestanforderungen), nur scheinen sie weniger verbindlich zu sein. Deren genaue Ausgestaltung zu analysieren könnte interessant sein, darauf musste aber im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden.

Aufgrund der obigen Überlegungen wurden für die weitere Analyse folgende Politikinstrumente ausgewählt:

- LSVA und Erhöhung der Gewichtslimite
- Road Pricing
- CO₂-Abgabe
- energieEtikette
- Mindestanforderungen an elektrische Geräte

Viele Beispiele in der Auswahl fallen in die Kategorie *Steuern/Abgaben*, wie erwähnt ist es bei diesen aber interessant zu prüfen, ob die Besteuerung angemessen ausgestaltet wurde. *Normen* sind gesetzliche/vertragliche Grenzwerte; eine Lenkungsabgabe hat als Hauptzweck, das Verhalten der Abgabepflichtigen in eine bestimmte, vom Gesetzgeber gewünschte Richtung zu lenken (und nicht die Erzielung von Einnahmen).

#	Instrument	Bereich	Massnahm entyp	Wirkung nach BFE (2007b)	Monetär	Marktorientier ung	Sektor der Effizienzmass nahme
1.1	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA) und Erhöhung der Gewichtslimite (auf 40 Tonnen)	Mobilität	Steuer/ Norm	ja/ nein	N		Wirtschaft
1.2	Road Pricing	Mobilität	Steuer	ja	N		Haushalte und Wirtschaft
2.1	Lenkungsabgabe auf nicht-erneuerbare Energieträger/ CO₂-Abgabe auf Brennstoffe	Gebäude (Geräte und el. Motoren)	Lenkungsab gabe	ja	N		Haushalte und Wirtschaft
2.2	CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe	Mobilität	Lenkungsab gabe	+++ ja	N		Haushalte und Wirtschaft
3.1	energieEtikette für Haushaltgeräte und Beleuchtung	Geräte und el. Motoren	Information	nein	N		Haushalte (und Wirtschaft)
3.2	energieEtikette für Personenwagen	Mobilität	Information	nein	N		Haushalte und Wirtschaft
4.1	Mindestanforderungen an elektrische Geräte (Haushaltgeräte & Lampen, elektronische Geräte und Motoren)	Geräte und el. Motoren	Norm	+++ nein	A		Haushalte und Wirtschaft
4.2	Neue, verschärzte Zielvereinbarungen mit auto-schweiz	Mobilität	Norm	+++ nein	A		Haushalte und Wirtschaft
5	Nationales Förderprogramm für die energetische Gebäude-Erneuerung	Gebäude	Subvention	+++ ja	N		Haushalte (und Wirtschaft)
6	Förderung der Energieeffizienz durch Zertifikate und/ oder Effizienzboni in Industrie und Dienstleistungen	Industrie und Dienstleistungen	Zertifikate/ Subvention	++ ja	N		Wirtschaft
7.1	Koordinierte und flächendeckende Einführung verbrauchsabhängiger kantonaler Motorfahrzeugsteuern	Mobilität	Steuer	+ ja	N		Haushalte und Wirtschaft
7.2	Einführung eines Bonus-Malus-Systems auf der Importsteuer für Personenwagen	Mobilität	Steuer/ Subvention	++ ja	N		Haushalte und Wirtschaft

Tabelle 3. Übersicht einer Auswahl von Politikinstrumenten (analysierte Instrumente und interessante Merkmale fett).

3.2 LSVA und 40-Tonnen-Gewichtslimite

Da die LSVA und die Erhöhung der Gewichtslimite auf 40 Tonnen zusammen im Landverkehrsabkommen mit der EU ausgehandelt wurden und untrennbar miteinander verbunden sind, werden diese beiden Instrumente als eine Massnahme betrachtet.

Die LSVA in Kürze

Im Folgenden wird auf Krebs und Balmer (2002) gestützt die 2001 eingeführte Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA) kurz vorgestellt. Die Ziele der LSVA sind:

- Wachstum des Strassenschwerverkehrs begrenzen
- Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene fördern (durch Verteuerung der Strasse, aber auch durch Finanzierung der Bahngrossprojekte NEAT und Bahn 2000/ZEB [Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur])
- Umwelt entlasten (vornehmlich Luftverschmutzung und Lärm auf den Transitachsen, sowie indirekt Energie- und CO₂-Effizienz durch das Ziel der Verlagerung des alpenquerenden Güterverkehrs). Allerdings werden Energie- und CO₂-Effizienz in Krebs und Balmer (2002) weder als Ziel noch als Erfolg erwähnt (später in Krebs und Balmer (2008) dann aber schon). Trotzdem ist die LSVA indirekt ein Instrument zur Steigerung der Energieeffizienz der gesamten Wirtschaft, da sie neben der modalen Verlagerung (Wirkung s. unten) eine bessere Auslastung von Transporten oder deren teilweise Vermeidung anregt.

Das Prinzip der LSVA ist die Kostenwahrheit im Strassengüterverkehr. Dazu sollen dem Schwerverkehr die durch ihn verursachten, ungedeckten Kosten angelastet werden (Verursacherprinzip): Der maximale durchschnittliche Tarif pro Tonnenkilometer wurde so berechnet, dass die Gesamteinnahmen der LSVA den externen Kosten des Strassenschwerverkehrs entsprechen (ca. 1.5 Mia. SFr. (Krebs und Balmer 2008), wozu gemäss Schreyer (2008) vor allem die Luftverschmutzung, der Lärm und der Treibhauseffekt beitragen, vgl. Abbildung 3). Durch diese Internalisierung der externen Effekte soll die Wirtschaft dazu gebracht werden, dass der vom freien Markt gewährleistete optimale Technologieeinsatz durch Berücksichtigung der Externalitäten auch tatsächlich zum gesamtwirtschaftlichen Optimum hinführt.

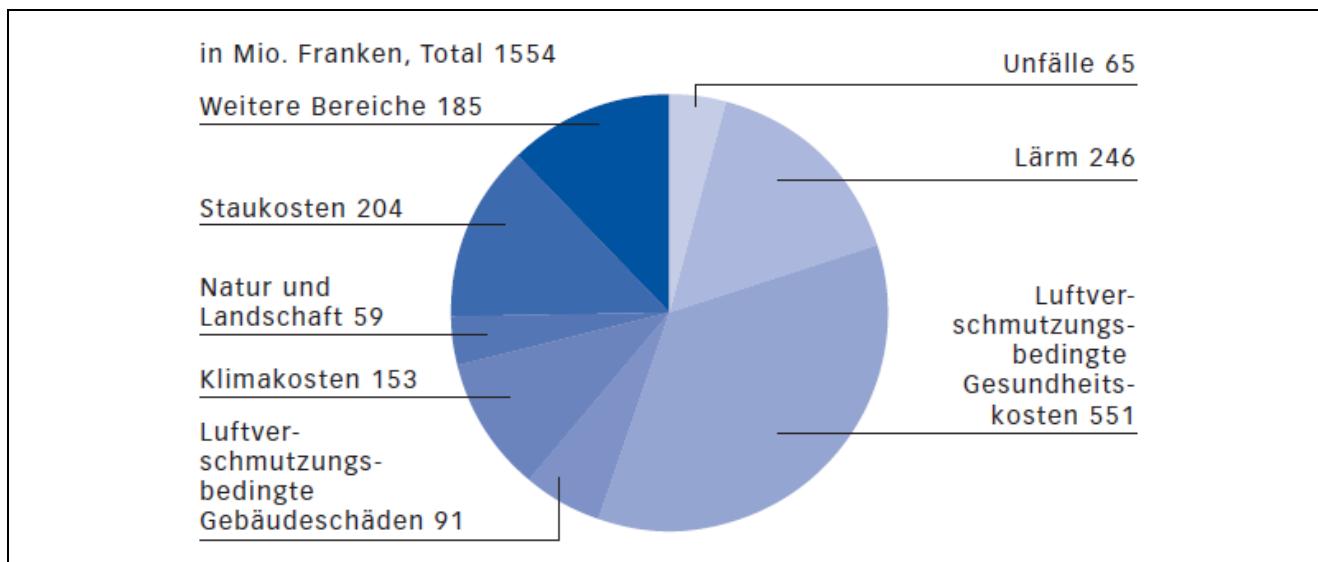


Abbildung 3. Externe Kosten des Strassengüterverkehrs (2005). Quelle: Krebs und Balmer (2008).

Die Höhe der Abgabe ist von folgenden Faktoren abhängig, welche entsprechende Lenkungswirkungen bezeichnen:

- zurückgelegte Distanz auf dem schweizerischen Strassennetz (→ Reduktion der Fahrleistung)
- zulässiges Gesamtgewicht des Fahrzeugs (→ hohe Auslastung)
- Emissionskategorie des Fahrzeugs (→ geringe Luftverschmutzung)

Der Abgabesatz wurde schrittweise bis zur Eröffnung des Lötschberg-Basistunnels erhöht. Der Maximalsatz von 2.75 Rp./tkm (entspricht 325 Fr. für eine Transitfahrt mit einem 40-Tonnen-LKW) hätte somit spätestens ab dem 1. Januar 2008 erhoben werden sollen. Anscheinend auf politischen Druck hin (Hagenbüchle 2007) verzichtete der Bundesrat jedoch darauf und erhöhte den massgebenden Abgabesatz auf 2.66 Rp./tkm (Krebs und Balmer 2008). Die Erhöhung für Euro III-Lastwagen wurde zuerst auf 2009 verschoben (UVEK 2007), sollte dann möglicherweise erst 2011 erfolgen (Stricker 2008), wurde aber schliesslich doch per 1. Januar 2009 umgesetzt (EZV 2009). Gemäss offizieller Auskunft des ARE sei damit der Handlungsspielraum zurzeit ausgeschöpft und eine weitere Erhöhung sei nicht geplant (Balmer 2009). Die Erträge müssen zur Deckung von Kosten im Zusammenhang mit dem Strassenverkehr verwendet werden. Zwei Drittel gehen an den Bund und ein Drittel an die Kantone, wobei die Randkantone bevorzugt werden. Der Bund darf seinen Anteil für die Eisenbahngrossprojekte verwenden, bis deren Bau und Finanzierung abgeschlossen ist (Schweizerische Eidgenossenschaft 1999).

Die Erhöhung der Gewichtslimite in Kürze

Im Landverkehrsabkommen mit der EU wurde neben den Abgabesätzen der LSVA auch eine parallele schrittweise Erhöhung der Gewichtslimite bis 2005 vereinbart: Diese stieg von 28 Tonnen über 34 Tonnen (ab 1. Januar 2001, daneben bereits namhafte 40-Tonnen-Kontingente) auf 40 Tonnen (ab 1. Januar 2005). (Krebs und Balmer 2008)

Einordnung der Massnahmen

Beide Instrumente sind relevant für die Energieeffizienz im Bereich Mobilität, wobei es um eine Steuerung der Nachfrage geht. Es handelt sich hier um zwei der wenigen Massnahmen, welche direkt und einzeln bei der Wirtschaft angreifen. Die LSVA ist eine Steuer, welche die Nachfrage nach Transportleistung durch deren Verteuerung reduzieren soll. Allerdings ist das vordergründige Ziel der LSVA die Veränderung des Modal-Splits und somit nur indirekt die Steigerung der Energieeffizienz, wobei trotzdem auch ein Anreiz für eine höhere Auslastung (und somit Effizienz) geschaffen wird. Die Erhöhung der Gewichtslimite ist eine gesetzliche Norm, welche nicht-monetär ist. Ausserordentlicherweise handelt es sich hierbei nicht um eine Verschärfung, sondern um eine Lockerung, welche eine höhere Energieeffizienz ermöglicht.

Analyse

Als Ergebnis der LSVA und der Erhöhung der Gewichtslimite wurde schon bis 2005 ein Rückgang der Fahrleistung (Fzkm) des Strassengüterschwerverkehrs (vgl. Abbildung 4) bei gleichzeitiger Zunahme der Transportleistung (tkm) beobachtet. Zudem fand eine verstärkte Erneuerung der Fahrzeugflotte statt. Entgegen Befürchtungen blieben die Beschäftigtenzahlen im Strassenverkehr konstant. Auch die Teuerung beschränkte sich auf geschätzte 0.11%. (Krebs und Balmer 2008).

Seit 2005 wird laut dem UVEK der Produktivitätsgewinn aus der Erhöhung der Gewichtslimite und höheren Auslastungen durch den zu diesem Zeitpunkt erhöhten LSVA-Satz kompensiert (UVEK 2002). Diese Einschätzung wird auch von der SBB Cargo geteilt (Hagenbüchle 2002). Zudem war die LSVA als Lenkungsinstrument bei den Abgabesatzerhöhungen 2005 und 2008 für die Unternehmer stärker spürbar, da sie nicht mit einer Produktivitätssteigerung einherging, und hat somit zweimal einen deutlichen finanziellen Anreiz gegeben. (Produktivitätssteigerungen waren natürlich auch 2001 und 2005 nur mit 34- bzw. 40-Tönnern möglich, nicht bei weiterem Betrieb von 28-Tönnern.)

Wäre die LSVA *ceteris paribus* (ohne gleichzeitige Erhöhung der Gewichtslimite) eingeführt worden, so wäre der Strassengütertransport verteuert worden, bezogen auf die erwirtschaftete Wertschöpfung am stärksten bei Leerfahrten. Geht man von einer idealen Marktwirtschaft aus, wäre die Logistik vor und nach der LSVA-Einführung am jeweiligen ökonomischen Optimum gewesen, so dass sich für die Transportunternehmen keine reboundgefährdeten Effizienzgewinne

ergeben hätten. Allerdings wäre in der realen Wirtschaft davon auszugehen, dass sogenannte „low hanging fruits“ vorhanden sind (vgl. Kap. 2.1). Deren Ausnützung könnte die Zusatzkosten überkompensieren und somit durch die Kostensenkung für die angebotene Dienstleistung zu direkten Reboundeffekten führen, deren Ausmass allerdings relativ gering sein dürfte. Analog zu den untenstehenden Ausführungen für die Gewichtslimitenerhöhung könnte dadurch sowohl ein Outputeffekt (verstärkte Nachfrage nach Transportleistung) als auch ein Substitutionseffekt (Verlagerung von der Schiene auf die energieintensivere Strasse [Spielmann und de Haan 2008]) erwartet werden. Indirekte Reboundeffekte durch die Transportunternehmen sind weniger zu erwarten, da wegen dem Wettbewerbsdruck der Gewinn kaum anderweitig ausgegeben, sondern an die Kunden weitergegeben würde, was allerdings dort doch noch mit indirektem Rebound verbunden sein kann (s. unten).

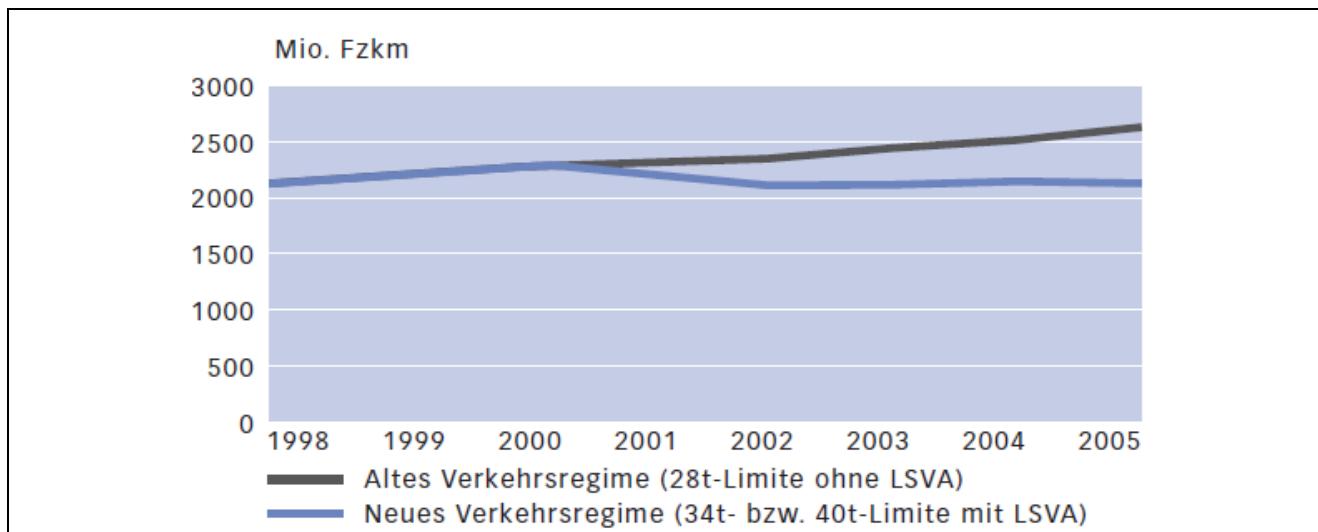


Abbildung 4. Entwicklung der Fahrleistung im Strassengüterverkehr im neuen und alten Verkehrsregime. Quelle: Krebs und Balmer (2008).

Eine Erhöhung der Gewichtslimite auf 40 Tonnen, *ceteris paribus*, hätte signifikante Effizienzgewinne mit sich gebracht, welche vollumfänglich der Wirtschaft zugute gekommen wären. Der mit der Energieeinsparung verbundene Produktivitätsgewinn hätte den Wettbewerbsvorteil gegenüber der Schiene erhöht. Einerseits hätte eine Veränderung des Modal-Splits zugunsten der Strasse stattgefunden, welche aufgrund der niedrigeren Energieintensität des Schienengüterverkehrs als direkter Reboundeffekt (Substitutionseffekt) aufgefasst werden kann. Zudem würden als weiterer direkter Reboundeffekt neue Möglichkeiten der Arbeitsteilung mit den damit verbundenen Transporten wirtschaftlich werden und somit zu einer Zunahme des Strassengüterverkehrs führen (Outputeffekt). Indirekte Reboundeffekte konzentrieren sich hier vermutlich wie oben erwähnt auf die als Preissenkungen an die Haushalte weitergegebenen (oder durch Zwischenverteiler absorbierten) Effizienzgewinne, deren Verwendung wiederum eine gewisse Energieintensität hat. Durch Multiplikatoreffekte werden diese Preisänderungen der Transportbranche theoretisch weit verbreitet. Wegen der meist geringen Kostenanteile, welche nur zu kleinen Preissignalen – unter Umständen unter der Wahrnehmungsgrenze – führen, kann in der Praxis allerdings in Frage gestellt werden, wie stark diese Verbilligung ins Gewicht fällt. Deshalb sind die insgesamt resultierenden indirekten Reboundeffekte schwer abzuschätzen. Um die verschiedenen Reboundeffekte zu verhindern, ohne zu stark mit gesetzlichen Beschränkungen in die Wirtschaft einzugreifen, würde sich hier die Kompensation der Effizienzgewinne mit einer Steuer empfehlen, was mit der LSVA genau erfolgt ist.

Nun werden also in der Schweiz bewusst beide Instrumente gekoppelt eingesetzt. Kompensiert die LSVA tatsächlich die Produktivitätssteigerung durch die Erhöhung der Gewichtslimite (nach Expertenaussagen ist dies der Fall, s. oben), sind

idealerweise keine Effizienzgewinne und somit kein Rebound zu erwarten. (Die leicht positive Teuerung ist angesichts des hohen Wettbewerbsdrucks in der Transportbranche auch ein Hinweis darauf, dass keine signifikanten Effizienzgewinne möglich waren.) Grundsätzlich wäre ein zusätzlicher Nachfragerückgang durch die Verteuerung der äußerst energieintensiven Dienstleistung „Transport“ möglich, da allerdings die Teuerung gering ausfiel, wird sich dieser in Grenzen gehalten haben.

Um eine umfassende Bilanz zu ziehen, muss jedoch auch die Verwendung der Steuererträge betrachtet werden. Rund ein Drittel der Erträge der LSVA geht an den Bund und wird zunächst bis zu deren Fertigstellung für die Bahngrossprojekte verwendet. Aufgrund der unterschiedlichen Energieintensität von Schienen- und Strassengüterverkehr kann durch diese als Zusatzeffekt zur Lenkungswirkung der LSVA-Erhebung stattfindende Förderung der Bahn und der daraus resultierenden Energieeinsparung eine Art „umgekehrter“ indirekter Reboundeffekt erwartet werden. Die Kantone hingegen verwenden ihren Anteil (zwei Drittel) wie in Art. 85 Abs. 2 der Bundesverfassung (BV) vorgesehen „zur Deckung von Kosten [...], die im Zusammenhang mit dem Strassenverkehr stehen“ (Schweizerische Eidgenossenschaft 1999), also nicht nur von externen Kosten, sondern auch für den gewöhnlichen Strassenbau und -unterhalt, oder entgegen dieser Bestimmung gar für die allgemeinen Staatsausgaben (VCS Bern 2001). Weil diese Verwendungszwecke alle eine gewisse Energieintensität aufweisen, muss hier im erweiterten Sinne von Reboundeffekt gesprochen werden. Im Extremfall könnte sogar ein höherer zusätzlicher Energiekonsum vermutet werden, als Energie vordergründig eingespart wurde (backfire). Wie eine grobe Abschätzung von Schlegel (2009) mit starken Vereinfachungen zeigt, könnte die Verwendung der Kantonsanteile für Strassenbau tatsächlich einen Rebound in der Größenordnung von bis zu 80% verursachen¹.

Würden die Kantone ihre Anteile an den LSVA-Einnahmen zugunsten des weniger energieintensiven öffentlichen Verkehrs oder Schienengüterverkehrs [die Energieintensität von motorisiertem Privatverkehr (Bureau of Transportation Statistics 2008) deutlich höher ist als diejenige von öffentlichem Schienenverkehr (Schlegel 2008)], oder zur vermutlich ebenfalls energieextensiveren Deckung bzw. Vermeidung externer Kosten einsetzen, könnte dieser Reboundeffekt reduziert werden. Zur Analyse der aufgetretenen Reboundeffekte lassen sich erhobene Verkehrsstatistiken schlecht verwenden, da diese durch zahlreiche weitere äussere Faktoren beeinflusst wurden, beispielsweise das geänderte Verkehrsregime am Gotthardtunnel (Krebs und Balmer 2008).

Zusammenfassung und Empfehlungen

Idealerweise würden die Effizienzgewinne aus der Produktivitätssteigerung aufgrund der Erhöhung der Gewichtslimite durch die LSVA abgeschöpft und somit keinen Rebound verursachen. In der Realität muss es aber als günstig betrachtet werden, dass durch eine hohe Kompetitivität in der Transportbranche die bestehenden, nichtausgeschöpften Einsparungspotentiale anscheinend gering waren. Dies sollte die direkten Reboundeffekte aufgrund zusätzlich freigesetzter Effizienzgewinne tief halten. Daneben hat es auch zur Folge, dass weniger mit indirektem Rebound (v. a. durch Weitergabe der Gewinne an die Haushalte) gerechnet werden muss. Wesentlich für den Reboundeffekt ist weiter die Verwendung der Steuereinnahmen, bei der wie gezeigt die Gefahr eines hohen Rebounds besteht. Hier besteht noch Optimierungspotential durch konsequente Förderung von Mobilitätsformen mit niedrigerer Energieintensität oder zumindest eine energieextensive Verwendung der Einnahmen. Es kann also festgestellt werden, dass die beiden Instrumente in dieser

¹ Im Folgenden wird die Berechnung von Schlegel (2009) wiedergegeben: Bei einem Nettoertrag der LSVA im Jahr 2008 von 1'350 Mio. Fr. (Balmer 2008) ergibt sich ein Kantonsanteil von 900 Mio. Fr.. Nimmt man an, dass damit im Extremfall vollumfänglich Strassen neu gebaut werden, ergibt dies bei einem Richtpreis für Kantonsstrassen von 4.6 Mio. Fr./1'150 km (Kt. AG 2009) = 4 Mio. Fr./km (eher tief, da aus Mittellandkanton) bis zu 225 km neue Strassen, was einem Zuwachs von 0.315% (= 225 km/71'346 km (BFS 2009a)) entspricht. Geht man von einer linearen Verkehrszunahme aus, ergibt dies zusätzliche 180.7 Mio. Fzkm (= 57'296 Mio. Fzkm (Evéquoz 2008) * 0.315%), oder 910.6 TJ (= 288'740 TJ (BFE 2008f) * 0.315%), gegenüber einer Einsparung von 1'170 TJ durch die LSVA und die Gewichtslimitenerhöhung (Balmer 2008). Dies entspricht einem Reboundeffekt von 77.8% (= 910.6 TJ / 1'170 TJ), wobei die graue Energie der gebauten Strassen nicht berücksichtigt wurde.

Kombination bezüglich Rebound ziemlich optimal wirken. Eine Verbesserung könnte durch die oben beschriebene gezielte Verwendung der Einnahmen erreicht werden.

3.3 Road Pricing

Road Pricing in Kürze

Neben den bisherigen, vorwiegend auf Geboten und Verboten abstützenden Instrumenten zur Verkehrssteuerung wird aktuell vermehrt Road Pricing als neue Massnahme zur Diskussion gebracht. Grundsätzlich ist auch die oben diskutierte LSVA eine Form von Road Pricing (und zwar des flächendeckenden, landesweiten Road Pricings, s. unten), hier wird der Begriff allerdings generell auf den Privatverkehr bezogen (bzw. auf sämtliche Fahrzeuge unter 3.5 Tonnen, da diese nicht der LSVA unterstellt sind). Das Funktionsprinzip des Instruments „Road Pricing“ und seine zahlreichen Variationen werden gestützt auf eine Informationsbroschüre des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung (TA-SWISS) vorgestellt (Walter 2004), ergänzt durch weitere Quellen:

Anstatt weitere kostspielige Infrastrukturbauten mit ihren auch nachteiligen Effekten zu planen, greift Road Pricing auf der Nachfrageseite an: Durch die Erhebung von Strassenbenutzungs-Abgaben wird die Mobilität verteuert und es werden Einnahmen geschaffen. Somit wird einerseits Kostenwahrheit im Verkehr geschaffen (Internalisierung von Externalitäten), was Anreize zur Reduktion der Mobilität schafft und dadurch deren externen Effekte reduziert. Bei diesen Externalitäten geht es im Strassenpersonenverkehr hauptgewichtig um Unfallkosten und die klassischen Umweltauswirkungen des Verkehrs (Lärm und Luftverschmutzung sowie Beitrag zum Klimawandel; vgl. Abbildung 5 und Schreyer [2008]), daneben aber auch wesentlich um die zeitabhängige Landinanspruchnahme durch die Verkehrsteilnehmer („Staus“).

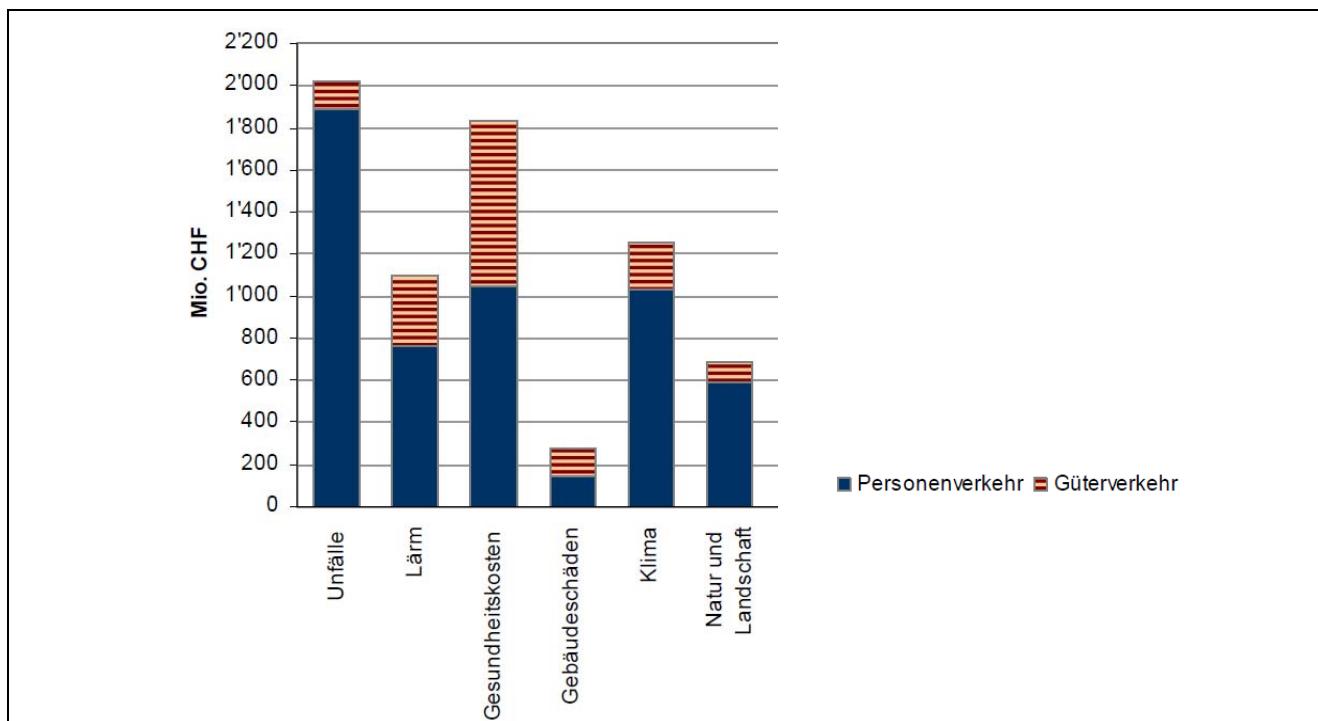


Abbildung 5. Externe Kosten des Strassenverkehrs (Personen- und Güterverkehr, 2005). Quelle: ecoplan und Infras (2008).

Anderseits werden Mittel generiert, i. d. R. für Ausbauten des Verkehrsnetzes. Allerdings argumentieren Gegner häufig damit, dass der motorisierte Verkehr seine Kosten bereits über bestehende Abgaben und Steuern mehr oder weniger deckt

– dies schliesst freilich seine nicht unerheblichen externen Kosten nicht mit ein. Die Einnahmen können aber auch für den öffentlichen Verkehr sowie zur Senkung anderer Verkehrsabgaben oder allgemeiner Steuern verwendet, oder direkt an die Bevölkerung ausgeschüttet werden. Grundsätzlich ist die Verwendung des Ertrags entscheidend für die Akzeptanz von Road Pricing (Kasser 2006), wie auch die unterschiedlichen Zustimmungsraten für verschiedene Verwendungszwecke in Abbildung 6 zeigen.

Die Abgabe kann auf einzelnen Strassenabschnitten, in bestimmten Stadtgebieten, auf Autobahnen oder landesweit eingeführt werden (Letzteres gewährt am ehesten die Verhinderung von Ausweichverkehr, so dass auch ein positiver Effekt auf die Umwelt eintreten kann). Dabei kann sie pauschal oder fahrleistungsabhängig ausgestaltet werden. Sie kann auch in Abhängigkeit der Zeit, des Emissionsstandards des Fahrzeugs, der Umweltbelastung in der Erhebungszone sowie der Strassenqualität variiert werden. Die Einführung von Road Pricing in verschiedenen Städten hat gezeigt, dass der Verkehr dadurch wirksam reduziert werden kann. Wird die Abgabe tageszeitlich beschränkt erhoben, kann eine zeitliche Verlagerung der Verkehrsaktivitäten beobachtet werden. Die Akzeptanz nimmt nach der Einführung stark zu und scheint höher zu sein bei einfacher Preisgestaltung und transparenten Geldflüssen.

Durch diese Erfahrungen ermutigt und angesichts vorherrschender Probleme insbesondere in den Schweizer Agglomerationen bestehen politische Bestrebungen, mittelfristig Road Pricing in der Schweiz einzuführen. Auch das UVEK sieht dies als eines der wirksamsten Instrumente zur Verkehrslenkung (Rey 2004). Die Erhebung von Gebühren auf öffentlichen Strassen wird zurzeit noch durch die Bundesverfassung verboten bzw. bedarf einer Ausnahmebewilligung durch das Parlament (BV Art. 82 Abs. 3; Schweizerische Eidgenossenschaft (1999)). Als (allenfalls günstigere) Alternativen gelten verstärkte Parkplatzbewirtschaftung und eine Erhöhung der Mineralölsteuer. Wie eine publifocus-Studie der TA SWISS zeigte, ist Road Pricing allerdings auch in der Schweiz eine äusserst umstrittene Massnahme (Rey 2004).

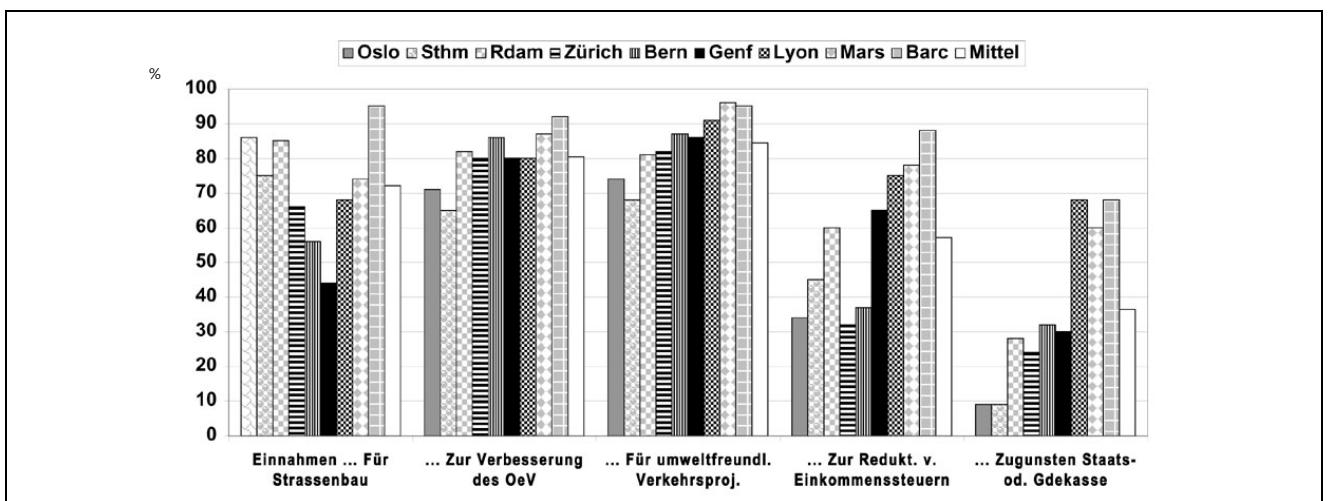


Abbildung 6. Zustimmung zu verschiedenen Verwendungszwecken von Road Pricing-Einnahmen (einzelne Balken für verschiedene Städte in Europa). Quelle: Güssler et al. (2000).

Einordnung der Massnahme

Road Pricing ist wie die LSAV eine Steuer, welche nachfrageseitig im Mobilitätsbereich wirken soll. Dabei ist die Steigerung der Energieeffizienz nur ein indirekter Effekt (s. unten). Betroffen ist nach der hier verwendeten Unterscheidung grösstenteils der Privatverkehr, mit Ausnahme von der Wirtschaft eingesetzter kleiner Fahrzeuge unter 3,5 Tonnen. Da die Massnahme viele verschiedene variierbare Faktoren aufweist besteht noch grosses Gestaltungspotential, um allfällige Reboundeffekte zu minimieren.

Analysis

Road Pricing strebt bedingt durch die Ausgestaltung der Besteuerung direkt die Erhöhung der Effizienz bezüglich externer Kosten an, wobei es sich um die zeitliche Rauminanspruchnahme und allenfalls Luftschadstoffe handelt. Indirekt kann dies aber auch zu verbesserter Energieeffizienz führen: Durch die Verteuerung von Transportleistungen des motorisierten Individualverkehrs werden je nach Design – allenfalls auch zeitlich variierend – Anreize für eine höhere Auslastung der Fahrzeuge, den Verzicht auf ineffiziente Fahrten sowie deren Substitution durch den energieextensiveren öffentlichen Verkehr, oder sogar für den Kauf umweltfreundlicher Fahrzeuge gegeben. Neben tieferen Mobilitätskosten führt die erwähnte Verminderung von Externalitäten u. a. durch effizientere Nutzung des Strassenraums zur Vermeidung von kostspieligem Ausbau der Kapazität. Weiter werden durch den flüssigeren Verkehr nicht nur Emissionen reduziert, sondern auch Treibstoffkosten gespart und die Staukosten (Opportunitätskosten und psychisch begründete Produktivitätseinbussen) verringert. Dies führt also zu Effizienzgewinnen für die öffentliche Hand, für die Wirtschaft und die Haushalte. Demgegenüber steht – unter Ausblendung einer unten diskutierten Rückerstattung – eine Mehrbelastung grösstenteils der Haushalte [lediglich 8% des Personenverkehrs (Pkm) ist gewerbsmäßig (BFS 2009b)] durch die neue Abgabe. Die Gesamtbilanz ist schwer zu ermitteln, da die Effizienzgewinne wie festgestellt nicht direkt das Ziel sind und somit diffus auftreten. Potentielle Reboundeffekte lassen sich aber trotzdem analysieren.

Direkter Rebound wäre allenfalls bei einer starken Verflüssigung des Verkehrs möglich, indem individuelle Mobilität wieder vermehrt genutzt würde (Einkommenseffekt). Dafür spricht insbesondere, dass wegen dem hohen Wert von Zeitgewinnen die Kosten überkompensiert werden könnten. Andererseits stehen dem aber ebensolche Zeitkosten für die zusätzliche Mobilität gegenüber, weshalb der Nutzen ziemlich hoch sein müsste, um einen solchen Rebound zu generieren. Weniger bedeutsam sollte aus diesem Grund auch der Einkommenseffekt nach dem Kauf energieeffizienter Fahrzeuge sein, weil deren Nutzung zeitintensiv ist (Mobilität ist eher zeit- als kostenlimitiert). Da bei Einkommenseffekten automatisch wieder ein Gegendruck aufgebaut würde, sollten sich diese Reboundeffekte ohnehin allgemein im Rahmen halten. Das Auftreten von Substitutionseffekten ist zumindest im Haushaltsektor eher schwer vorstellbar.

Bezüglich indirekten Rebounds fällt je nach Besteuerungsmodell die graue Energie von neuen, effizienten Fahrzeugen zu Buche. Diese graue Energie gilt per Definition als Rebound (sofern das energieeffizientere Fahrzeug energieintensiver in der Produktion ist oder früher als geplant das Vorgängerauto ersetzt), auch wenn sie zumeist durch die Einsparung im Betrieb kompensiert wird. Allerdings könnte dieser Effekt schwach sein, wenn man von einer vorübergehenden Verschiebung effizienter Fahrzeuge in die besteuerten Zonen und ineffizienter Autos in die anderen Gebiete ausgeht, was eine Anpassung im Rahmen der natürlichen Erneuerung ermöglichen würde. Ein durch Road Pricing bedingter Umstieg auf den öffentlichen Verkehr wäre eher nicht mit sekundären Effekten verbunden, da dieser energieextensiver ist (s. oben) und ein solcher Wechsel gezielt stattfinden würde und somit keine Ausdehnung der Nachfrage nach Mobilität beinhalten sollte. Betrachtet man Mobilität als Ganzes als betroffene Energiedienstleistung, kann dieser Rebound auch als Einkommenseffekt klassifiziert werden. Die höhere Auslastung von Autos oder der Verzicht auf Fahrten sollten auch nicht zu Rebound führen, da die damit verbundenen Gewinne theoretisch im Durchschnitt durch die Steuer kompensiert werden, weil immer nur so weit Effizienzgewinne gesucht werden, bis die Grenzgewinne der zusätzlichen Belastung durch die Abgabe entsprechen.

Diese Überlegung könnte auf den ersten Blick folgendermassen weiterentwickelt werden: Da zwar theoretisch jedes Individuum seine Effizienz so anpasst, dass diese Steigerung gerade die zusätzlichen Kosten ausgleicht, dies aber für alle Verkehrsteilnehmer einen Nutzen mit sich bringt, folgt eine gesamtwirtschaftliche Produktivitätssteigerung. Dazu kommt, dass auch die nicht in diese Rechnung einbezogenen externen Kosten durch den Verkehr reduziert werden, was einen zusätzlichen positiven Effekt bedeutet. Diese zwei Effekte zeigen, dass durch die Internalisierung der externen Effekte durch Road Pricing das Phänomen der „Tragik der Allmende“ (infolge nicht vollständiger Kostenwahrheit kann das Ausmass der aus individueller Optik optimalen Nutzung einer frei verfügbaren, begrenzten Kollektivressource, wie zum Beispiel Verkehrsflächen, zu einem gesamtwirtschaftlichen Schaden und schliesslich zum Kollaps der Kollektivressource führen) umgekehrt wurde. Allerdings ist dieser Effekt schwer quantifizierbar und wird durch die beschränkte Rationalität und

unvollständige Information der Marktteilnehmer (insbesondere der Haushalte) gedämpft. Während Road Pricing vornehmlich Privatpersonen betrifft, profitieren wie oben angedeutet grundsätzlich alle Verkehrsteilnehmer von einer allfälligen Entlastung der Straßen. Dies könnte zu einem Nettogewinn für die Wirtschaft und damit zu einem Outputeffekt führen. Allerdings gilt es auch die Elastizität der verschiedenen Nachfragergruppen zu berücksichtigen: Es kann vermutet werden, dass diese bei den Haushalten grösser ist, so dass schlussendlich die Wirtschaft verhältnismässig stärker belastet würde als vordergründig anzunehmen wäre, womit auch obiger Effekt zu relativieren wäre. In der Realität besteht beim Road Pricing insofern ein Unterschied zur LSVA, als dass die Effizienzgewinne, welche die Mehrbelastung mildern, relativ gering und für den einzelnen Haushalt schlecht fühlbar sind. Weil die Haushalte also die Effizienzgewinne vermutlich nicht gut wahrnehmen und diese die zusätzlichen Kosten eher nicht ausgleichen, ist kaum mit weitreichenden indirekten Reboundeffekten zu rechnen. Da Unternehmen wegen ihrer wettbewerbsbedingten Sensitivität für Effizienz und ihrer Grösse die Effizienzgewinne stärker spüren sollten, muss hier mit einem höheren Reboundeffekt gerechnet werden als bei den Haushalten.

Wiederum ist jedoch die Verwendung der Einnahmen aus der Abgabe entscheidend für den Gesamteffekt der Massnahme. Die Auswirkungen bei Investition der Steuereinnahmen in Straßenbau- bzw. Projekte des öffentlichen Verkehrs sind analog wie für die LSVA diskutiert mit den unterschiedlichen modalen Energieintensitäten verknüpft (vgl. Kap. 3.2, Abschnitt „Analyse“). Werden andere Verkehrsabgaben wie die Automobilsteuer (bei Import), die Motorfahrzeugsteuer oder die Mineralölsteuer im selben Ausmass wie die neu erhobene Straßenbenützungssteuer gesenkt oder aufgehoben, erhalten die Verkehrsteilnehmer im Durchschnitt ein zusätzliches „Einkommen“ von derselben Größenordnung wie die zusätzliche Belastung durch Road Pricing. Theoretisch würden also netto nur die Effizienzgewinne übrig bleiben, dieser Link wird mental aber wahrscheinlich nur selten gemacht. Dieselben Überlegungen treffen bei einer allgemeinen Steuersenkung zu. Bei einer Rückerstattung der Steuer an Bevölkerung und Wirtschaft wird diese von den Haushalten mit einer durchschnittlich relativ hohen Energieintensität ausgegeben (sekundäre Effekte), während sie in der Wirtschaft eher für Outputeffekte verwendet werden.

Allerdings ist realwirtschaftlich auch die Art der Rückerstattung relevant: Werden die Mehreinnahmen direkt und explizit in Form einer Gutschrift ausgeschüttet, wird dieser Bonus wahrscheinlich für eher energieintensive Luxusgüter wie Ferien verwendet. Werden die Steuereinnahmen hingegen indirekt über (Verkehrs-)Steuersenkungen zurückerstattet, ist dies weniger offensichtlich und wird weniger stark wahrgenommen, was den Rebound dämpfen sollte. Jedoch sinkt dadurch die Akzeptanz für Road Pricing. Daneben müssen weitere psychologische Effekte berücksichtigt werden. Zwar einmalige, aber grosse Steuersenkungen wie bei der Motorfahrzeugimportsteuer werden stärker wahrgenommen als jährliche Rabatte wie bei der Motorfahrzeugsteuer, weshalb mit einem höheren Reboundeffekt zu rechnen wäre. Demgegenüber steht ein pro Einheit (Kilometer oder Stunde individuelle Mobilität) verhältnismässig günstiges Road Pricing, das allerdings für viele Einzelpersonen durch seinen Symbolcharakter verhältnismässig stark wirken kann.

Zusammenfassung und Empfehlungen

Durch die Steuer sollten also wiederum die Effizienzgewinne und damit die (vorwiegend direkten) Reboundeffekte teilweise kompensiert werden; dabei ergeben sich aber Unterschiede in Abhängigkeit der Substitutionselastizitäten der verschiedenen Verkehrsteilnehmer. Dies wird hier nicht quantifiziert, je nach Ausgestaltung könnte die Nettobilanz aber vermutlich positiv oder negativ sein. Entscheidend ist auch hier die Verwendung der Steuereinnahmen (sowohl Zweck als auch Verfahren). Der Reboundeffekt kann gemindert werden, indem der Steuerertrag möglichst mit einer geringen Energieintensität ausgegeben wird. Wird er dennoch an die Bevölkerung zurückgegeben, wäre eine indirekte und tranchenweise Anrechnung anzustreben.

3.4 CO₂-Abgabe

Die CO₂-Abgabe in Kürze

Als Ausgangspunkt für die folgenden Ausführungen wird hier basierend auf einer Publikation des Bundesamts für Umwelt BAFU (2007c) die CO₂-Abgabe in ihrem Kontext vorgestellt: Die CO₂-Abgabe hat ihre gesetzliche Grundlage im CO₂-Gesetz, welches zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls eingeführt wurde. Neben dieser Abgabe setzt der Bundesrat auch auf freiwillige Massnahmen wie den Klimarappen (privatwirtschaftlich erhobene Abgabe zur Finanzierung von CO₂-Kompensationsprojekten) und die steuerliche Begünstigung von biogenen Treibstoffen. Neben der tatsächlich eingeführten und hier diskutierten CO₂-Abgabe auf Brennstoffe wäre gemäss der Zielvereinbarung des UVEK mit auto-schweiz auch eine CO₂-Abgabe auf gewöhnliche Treibstoffe eine Option gewesen, falls die Vereinbarung nicht zum erhofften Erfolg geführt hätte (auto-schweiz 2002). Obschon diese Vereinbarung auch tatsächlich nicht eingehalten wurde, hat der Bundesrat die genannte Möglichkeit nicht wahrgenommen, weil zu diesem Zeitpunkt die Stiftung Klimarappen mehr CO₂-Emissionen pro Zertifikat kompensierte hatte, als zunächst erforderlich (strasseschweiz 2007). Im Folgenden wird nicht weiter auf diese Variante der CO₂-Abgabe eingegangen.

Die aktuell erhobene CO₂-Abgabe wurde per Anfang 2008 als Lenkungsabgabe auf fossile Brennstoffe eingeführt und soll einen Anreiz zu mehr CO₂- und Energieeffizienz bilden. Betroffen sind sämtliche Brennstoffe zur Wärmegewinnung und/oder Stromproduktion, nicht aber Treibstoffe. Die Abgabe soll in Abhängigkeit von der Reduktionszielerreichung schrittweise während drei Jahren von 12 Fr. (2008) über 24 Fr. (2009) auf maximal 36 Fr. pro Tonne CO₂ steigen (2010), was verglichen mit dem Vorschlag des Bundesrates (35 Fr./tCO₂) und der Maximalforderung (78 Fr./tCO₂, swissinfo (2006)) relativ tief erscheint. Der 2008er Erhöhungsschritt wurde nicht umgesetzt, weil die CO₂-Reduktion die gesetzlichen Vorgaben übertraf (BAFU 2008a). Da die Abgabe abhängig von den CO₂-Emissionen ist, variiert diese auch für die verschiedenen Brennstoffe in Abhängigkeit von deren CO₂-Intensität. Trotzdem setzt sie einen relativ direkten Anreiz für Energieeffizienz. Weil es sich um eine Lenkungsabgabe handelt, wird der Ertrag wieder an die Bevölkerung und an die Wirtschaft zurückerstattet (siehe Abbildung 7; Rückerstattung im selben Verhältnis wie die von diesen beiden Gruppen geleistete Abgabesumme). Da dies pauschal pro Kopf bzw. *pro rata* AHV-Lohnsumme geschieht, wird Energieeffizienz belohnt, allerdings bringt dieser Mechanismus bei Unternehmen gewisse Verzerrungen: Betriebe mit einem hohen Verhältnis von Lohnsumme zu Energieverbrauch profitieren. Die Rückerstattung erfolgt erst zwei Jahre nach der Erhebung.

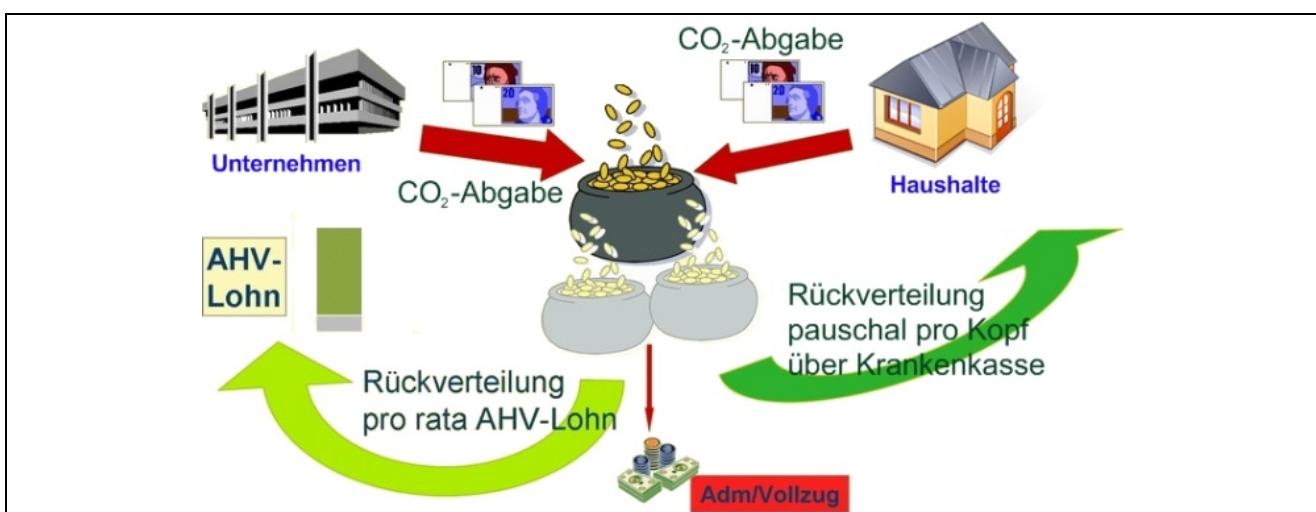


Abbildung 7. Schematische Darstellung der Geldströme der CO₂-Abgabe. Quelle: angepasst nach fenaco-Landi (2009).

Als Reaktion auf den Anreiz durch die Abgabe bieten sich im Siedlungsbereich gemäss Kirchner et al. (2003) drei Formen von Massnahmen:

- Nicht-investive (verhaltensorientierte) Massnahmen haben nur beschränkt einen dauerhaften Einfluss und ihre Wirkung ist auch begrenzt.
- Geringinvestive Massnahmen führen zu dauerhaften, mittleren Einsparungen, stehen aber starken Umsetzungshemmnissen gegenüber.
- Investive Massnahmen sind aufwändig, bergen aber auch ein hohes Potential.

Neben ähnlichen Vorkehrungen können sich Unternehmen auch von der CO₂-Abgabe befreien lassen, indem sie sich zu Emissionsreduktionen verpflichten. Sie werden dann auch nicht an der Ausschüttung der Einnahmen beteiligt, können aber mit Emissionszertifikaten handeln, um überschüssige oder fehlende Einsparungen auszugleichen.

Einordnung der Massnahme

Die CO₂-Abgabe ist dank der Rückerstattung eine klassische Lenkungsabgabe und ist damit auch ein monetäres Instrument. Da die Rückerstattung aber pauschal, ohne vorgegebenen Verwendungszweck und rein monetär an Haushalte und Wirtschaft erfolgt, gilt sie als *indirekte* Lenkungsabgabe. Sie betrifft sowohl Haushalte als auch Unternehmen, letztere stehen dabei im Spannungsfeld zwischen CO₂-Abgabe und CO₂-Zertifikathandel. Die Abgabe zielt auf eine nachfrageseitige Reduktion der Energieintensität, in der aktuellen Umsetzungsform allerdings lediglich im Gebäudebereich (sowie indirekt und in der Schweiz in sehr geringem Masse über eine Verteuerung des inländischen Stroms aus fossilen Energiequellen für die Kategorie „Geräte und Motoren“).

Analyse

Über den reellen Effekt der CO₂-Abgabe lassen sich noch keine Aussagen machen, da deren Einführung erst ein Jahr zurückliegt. Grundsätzlich muss aber festgestellt werden, dass die Lenkungsabgabe relativ tief ist, insbesondere verglichen mit den Schwankungen des Erdölpreises (TCS 2005), an den auch die anderen Brennstoffpreise indirekt gekoppelt sind. Zudem zeigt eine Studie von Prognos (Kirchner et al. 2003) unter Verwendung von Modellierungen mit Preiselastizitäten, dass die CO₂-Abgabe bei einer Einführung 2005 zuerst 30 Fr./tCO₂ und ab 2008 50 Fr./tCO₂ hätte betragen müssen, um das Reduktionsziel des Schweizer CO₂-Gesetzes zu erreichen (auch in dieser Studie bleiben Reboundeffekte unberücksichtigt). Allerdings liegt dabei die Annahme für den Rohölpreis mit maximal 25 \$/barrel stark unter dem aktuellen Preisniveau von über 40 \$/barrel, nachdem er monatlang sogar über 100 \$/barrel war (Erdöl-Vereinigung 2009). Durch diese Differenz wäre der absolute Effizienzgewinn höher, bzw. eine tiefere Abgabe hätte zusammen mit den höheren Marktpreisen eine ähnliche Wirkung gehabt. (Der Beitrag der CO₂-Abgabe wäre aber selbst in ersterem Falle geschmälert, da die durch sie bewirkte zusätzliche relative Verteuerung tiefer wäre, was unter der verwendeten Annahme konstanter Elastizitäten zu einer geringeren Nachfragerreduktion führen würde.)

Theoretisch bewirkt die Internalisierung von externen Effekten durch die CO₂-Abgabe das Ergreifen von Massnahmen durch Privathaushalte und Unternehmen in dem Ausmass, dass die dadurch erzeugten Ersparnisse (durch Abgabevermeidung und Energieeinsparung) die Massnahmenkosten ausgleichen (die Grenzvermeidungskosten entsprechen der Grenzersparnis). Dies verunmöglicht Effizienzgewinne, wodurch dieses Instrument keinen Rebound mit sich bringen sollte. Allerdings gilt es, den Blickwinkel etwas zu öffnen: Einerseits wurde bis dahin die Rückerstattung der Lenkungsabgabe richtigerweise nicht berücksichtigt, da diese ohnehin pauschal ausbezahlt wird und somit keine Relevanz für den oben beschriebenen Vermeidungsentscheid hat. Mit der Verwendung dieses nicht zu vernachlässigenden Zusatzeinkommens sind aber in der Regel Reboundeffekte aller Formen verbunden, ausser es wird eine CO₂-freie oder -sparende Investition getätigt. Die Gutschrift kann einerseits für eine Ausweitung der Heizleistung verwendet werden (Einkommenseffekt) oder Substitutionen auslösen (wie z. B. eine geringere Isolation), oder auch dem generellen Konsum zufließen (sekundäre Effekte). Zudem könnten damit auch mit grauer Energie verbundene Energiesparmassnahmen finanziert werden. Andererseits ist bei vielen Vermeidungsstrategien der Einsatz grauer Energie notwendig (indirekter Rebound) und es ist technologische Innovation damit verbunden, was wiederum Effizienzgewinne und Rebound mit sich bringen kann.

Konkret auf die Privathaushalte bezogen, können nicht-investive Massnahmen (s. oben) als monetär kostenlos aufgefasst werden, wodurch die Haushalte die volle Kosteneinsparung für getroffene Massnahmen erfahren. Trotzdem ist selbst unter diesen Bedingungen bei einer Preiselastizität zwischen -0.2 und 0 (Kirchner et al. 2003), also unelastisch ($-1.0 < \varepsilon < 0$), im Durchschnitt netto keine Entlastung zu erwarten, weil die Nachfrage weniger stark abnimmt als der Preis zunimmt und somit die Gesamtkosten steigen (dies bezieht die Rückerstattung der Abgabe nicht mit ein). Allerdings sind bei der Betrachtung von Einzelfällen durchaus höhere Einsparungen möglich, diese werden jedoch – bei Annahme einer optimalen Ausnutzung der Einsparpotentiale vor der Massnahme – die Zusatzkosten durch die Abgabe auch nur ausgleichen und nicht überkompensieren. Somit wären auf rationaler Ebene keine Reboundeffekte zu erwarten.

Bei investiven Massnahmen kommen zusätzlich die Kosten für deren Umsetzung hinzu, wie oben bereits dargelegt wäre aber hier erst recht kein Rebound zu erwarten.

Bei Unternehmen gilt im Allgemeinen das Gleiche, wobei freilich die Besonderheit der lohnsummenabhängigen Rückerstattung zu berücksichtigen ist:

- Firmen, die netto durch die Abgabe belastet werden, können dies durch die Umsetzung von Sparmassnahmen abfedern, oder – insbesondere wenn ihr Einsparpotential sehr gering oder unwirtschaftlich ist – durch die Verpflichtung zu einer Emissionsbegrenzung und der Teilnahme am Emissionshandel (dies lohnt sich insbesondere für energieintensive Branchen (BAFU 2008b)). Für Rebound aus ersterem Fall wird auf die Ausführungen weiter oben verweisen, während in letzterem Fall die Firma nicht mehr von der CO₂-Abgabe tangiert wird, sondern vom Emissionshandel und der zugehörigen Zielvereinbarung, die hier nicht diskutiert werden.
- Unternehmen, welche netto von der Abgabe profitieren, sind entweder energieextensiv, oder aber einfach personalintensiv. Bezüglich Rebound kann bei ersteren vermutet werden, dass auch der „Gewinn“ aus der Abgabe eine relativ energieextensive Verwendung findet, und auch letztere haben vermutlich eine unterdurchschnittliche Energieintensität (es handelt sich dabei vorwiegend um Dienstleistungsunternehmen). In beiden Fällen ist somit kein starker Rebound zu erwarten.

In der Realität sind aber zahlreiche weitere Betrachtungen zu berücksichtigen, da das Modell einer idealen Marktwirtschaft – wie in Kapitel 2.1 in den Abschnitten „Erweiterte Reboundeffekte“ und „Realwirtschaftliche Mechanismen“ dargelegt – in vielen Punkten angepasst werden muss, wie auch im Folgenden klar wird.

So bewegt sich als Folge des bescheidenen Abgabeniveaus der Nettoeffekt der CO₂-Abgabe auf die Haushalte – sei er nun negativ oder positiv – selbst beim höchsten vorgesehenen Abgabesatz im Rahmen von ein paar Dutzend Franken pro Person und Jahr (BAFU 2007a; b). Dies ist zwar nicht insignifikant, kann aber insbesondere beim anfänglichen Abgabesatz (2008) sowohl auf der Ausgaben- als auch auf der Einnahmenseite nicht viel mehr als symbolische Wirkung haben: Die Mehrbelastung durch die CO₂-Abgabe beträgt je nach Energieträger rund 2-5%, was jährlich 40 bis 60 Fr. pro Haushalt entspricht (Erdgas Obersee 2007). Aus dem etwas tiefer liegenden Wert des BAFU (2007b) für die Rückerstattung ergibt sich auf die relevante Zeitperiode von einem Monat heruntergebrochen ein Rabatt von voraussichtlich Fr. 1.33 pro Person auf eine Krankenkassenrechnung von mehreren hundert Franken (swissinfo 2008). Auch Kirchner et al. (2003) fordern deutlich höhere Abgaben, um einen signifikanten Effizienzgewinn zu erzielen. Würde die Abgabe hingegen als dauerhaft wahrgenommen, würden gar weitere Abgabeerhöhungen erwartet oder hätte die CO₂-Abgabe einen symbolischen Charakter, könnte der Effekt einer tiefen Abgabe aber auch verstärkt werden – dies ist hier jedoch weniger zu erwarten. Weiter ist gerade bei nicht-investiven Massnahmen in Haushalten anzunehmen, dass schon vor der Massnahme wirtschaftliche Einsparungen möglich gewesen wären, was obige, Rebound ausschliessende Feststellung relativiert. Dieser Effizienzüberschuss sollte aber keine direkten Reboundeffekte auslösen, da dies nicht mit der ursprünglichen Motivation zur Kosteneinsparung vereinbar wäre, wohl aber sekundäre Effekte durch die Verwendung des eingesparten Betrags. Parallel dazu kann durch Beachtung sozio-psychologischer Effekte weiterer Rebound erwartet werden, insbesondere indirekt durch das Aufbrauchen des akquirierten „Kredits“.

Bei investiven Massnahmen kann ebenfalls angenommen werden, dass die neue Abgabe insbesondere bei Privatpersonen einen gewissen Investitionsschub auslöst, der lediglich aus Trägheit und nicht aus finanziellen Überlegungen bisher nicht getätigt wurde („low hanging fruits“). Deshalb könnten trotz obigen Elastizitätsüberlegungen unter Umständen höhere finanzielle Einsparungen erwartet werden als der Gesamtbetrag von Abgabe und Massnahmenkosten, da in diesem Fall vor Einführung der Massnahme die Grenzeinsparungskosten eben durchschnittlich tiefer als die Grenzeinsparung lagen. Anders gesagt bedeutet dies, dass der Effizienzgewinn netto nicht durch die Abgabe ausgeglichen wird und somit die Energiedienstleistung zumindest für einzelne Haushalte günstiger wird. Dies bringt ein Reboundpotential mit sich. Weil bei den Privathaushalten das Heizen die einzige direkt betroffene Energiedienstleistung ist, sind Substitutionseffekte kaum vorstellbar. Hingegen muss zumindest bei einzelnen aktiv gewordenen Haushalten mit Einkommenseffekten gerechnet werden, indem beispielsweise nach Isolationsmassnahmen die Temperatur oder der Heizbereich ausgeweitet werden. Wegen einer diesbezüglich relativ hohen Sättigung in der Schweiz fällt dieser Effekt jedoch geringer aus, als dies in Ländern mit einem tieferen Komfortstandard der Fall sein könnte (für eine Einordnung des Isolationsstandards in der Schweiz sei auf Abbildung 8 verwiesen, welche allerdings Faktoren wie Klima und Hausgröße sowie aussereuropäische Entwicklungs- und Schwellenländer nicht berücksichtigt). Da es sich um eine Investitionsmaßnahme handelt, findet zudem automatisch ein indirekter Rebound in Form grauer Energie statt. Zusätzlich sind auch sekundäre Effekte zu erwarten. Auch hier spielen analog zu den nicht-investiven Maßnahmen sozio-psychologische Aspekte eine Rolle.

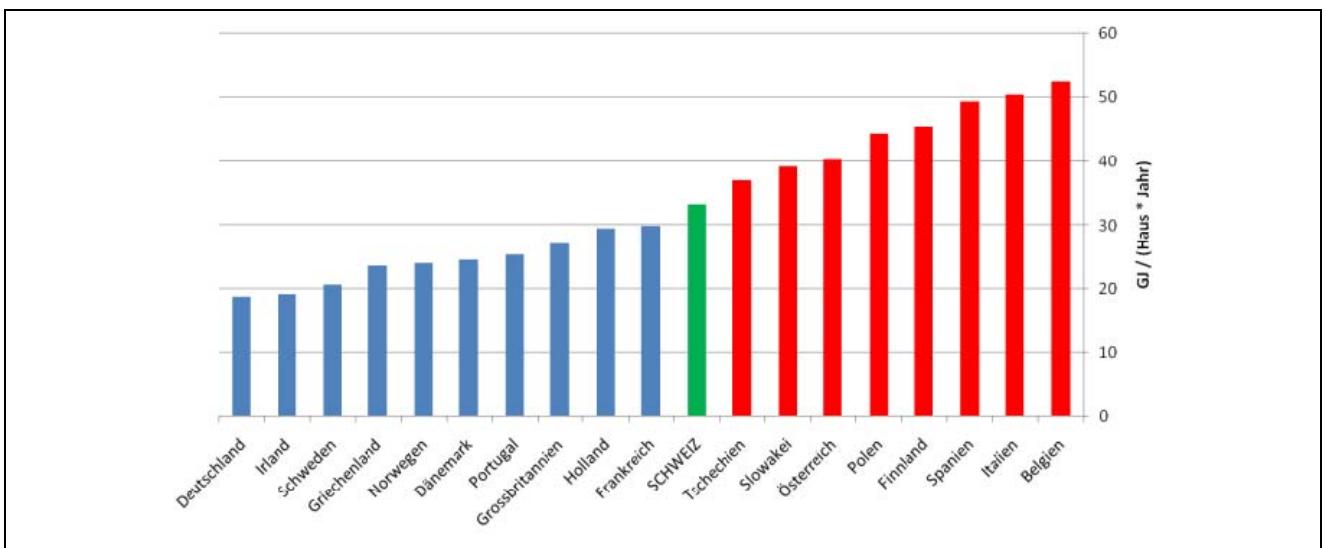


Abbildung 8. Energieverlust pro Haus und Jahr in verschiedenen europäischen Ländern. Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von EURIMA (2003).

Auf Seite der im freien Markt stehenden Unternehmen wäre gerade unter dem Licht der oben beschriebenen Preissteigerungen bei fossilen Brennstoffen zu vermuten, dass sie eine möglichst hohe Energieeffizienz anstreben. Allerdings besteht wie weiter oben gezeigt wurde eine relativ grosse Investitionslücke in Form von „low hanging fruits“. Selbst vor Einführung der CO₂-Abgabe übt diese einen gewissen Druck aus und fördert das Ausschöpfen dieser Potentiale, wobei dessen Auswirkungen den Reboundeffekten durch die Abgabe zugerechnet werden müssen. Nach Einführung der Abgabe ist selbstverständlich, dass zumindest grosse und mittlere Unternehmen mögliche Einsparungen und die Belastung durch die Abgabe genau abwägen werden. Erreichen energieintensive Firmen – durch die Abgabe angeregt – Reduktionen und investieren mit den daraus frei werdenden Mitteln weiter in ihre trotzdem noch energieintensive Produktion, führt dies unweigerlich zu relativ bedeutendem Rebound (Outpueteffekt, oder allenfalls Einkommenseffekt durch Weitergabe an die Haushalte). Auf der Seite der indirekten Reboundeffekte wäre in diesem Fall lediglich die graue Energie zu verzeichnen.

Schliesslich sind auch zur Rückerstattung der Abgabeeinnahmen zumindest bei den Haushalten einige Bemerkungen zu machen. So sind die Erhebung und die Rückerstattung sowohl prozessmässig als auch zeitlich nicht direkt miteinander verbunden: Sie erfolgen über den Brennstoffkauf bzw. über die Bezahlung der Krankenkassenprämien, zudem liegen Belastung und Gutschrift zwei Jahre auseinander. Weiter ist der Betrag wie oben schon ausgeführt ziemlich klein, und er wird nicht als solcher ausbezahlt, sondern bewirkt lediglich einen Rabatt auf eine ohnehin zu begleichende Rechnung. So kann auch bei begleitenden Informationsanstrengungen nur beschränkt damit gerechnet werden, dass Erhebung und Rückerstattung kausal zueinander in Beziehung gebracht werden, und insbesondere die Rückerstattung angemessen wahrgenommen wird. Aus diesen Gründen kann angenommen werden, dass durch die Rückerstattung der Abgabe bis auf diffuse sekundäre Effekte normalerweise kein Rebound auftritt. Bei Investitionsmaßnahmen werden allerdings auch Privatpersonen die Rückerstattung der Abgabe in ihren Rentabilitätsüberlegungen einbeziehen, was weitergehende Massnahmen attraktiv macht und/oder deren Nettoerfolg verbessert. In diesem Fall müssten stärkere Einkommens- und sekundäre Effekte erwartet werden.

Zuletzt sei nochmals auf die Tatsache hingewiesen, dass die Abgabe auf CO₂-Emissionen und nicht auf Energieumsatz erhoben wird, und dass die CO₂-Intensität verschiedener Energieträger nicht gleich ist (vgl. Abbildung 9). Dies hat zur Folge, dass eine Substitution fossiler Brennstoffe beispielsweise durch eine Wärmepumpe einen hohen Effizienzgewinn bringt, der Einsatz einer Widerstandsheizung allerdings einen stark gegenläufigen Effekt hätte. Durch den Wechsel von einer Ölheizung zu einer Gasheizung wird hingegen neben einer CO₂-Einsparung fast 13% weniger Primärenergie für die gleiche Nutzwärme aufgewendet (gemäss Nussbaumer (2008) benötigt eine Erdgasheizung mit Abgaskondensation 1.23 J Primärenergie pro Joule Nutzenergie, während der gleiche Wert bei einer Ölheizung 1.41 beträgt). Dies bedeutet, dass die Rebound verursachenden Effizienzgewinne nicht proportional zu einer beobachteten Reduktion der CO₂-Intensität (eines Betriebs oder einer Volkswirtschaft) sind, aber auch, dass die oben dargelegten Reboundeffekte selbst im Ausmass nochmals um einen zusätzlichen Faktor stark variieren können.

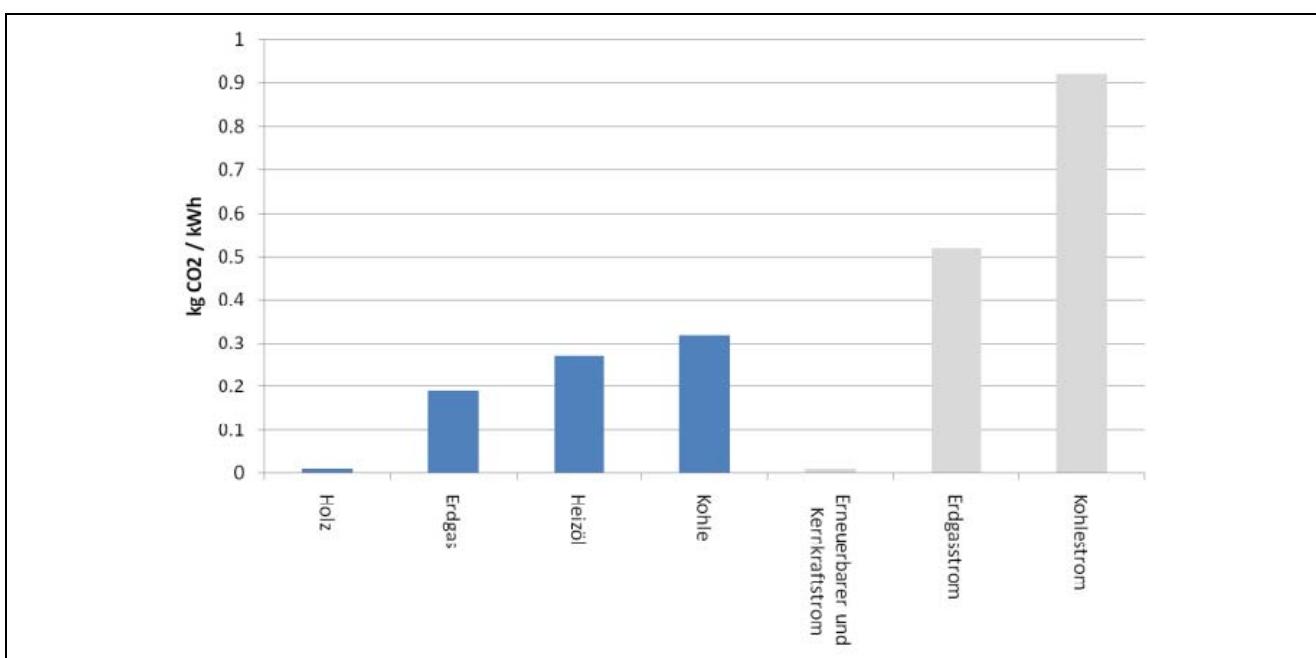


Abbildung 9. CO₂-Intensitäten verschiedener Energieträger. Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von bp (2009).

Zusammenfassung und Empfehlungen

Theoretisch müsste ökonomisch gesehen bei einer Lenkungsabgabe auf den ersten Blick kein Reboundeffekt erwartet werden, weil die Abgabe Effizienzgewinne kompensiert. Wie allerdings aufgezeigt wurde, gibt es hierzu zahlreiche weitergehende Betrachtungen, welche dies relativieren. Schon die durch die Abgabe indirekt auch angestrebte Technologieentwicklung führt über längere Zeit zu Rebound. Weiter ist die Verwendung der rückerstatteten Lenkungsabgabe von Bedeutung, sie führt zu diversen Reboundeffekten – es zeigt sich also, dass der Charakter einer indirekten Lenkungsabgabe problematisch sein kann, weil ihre Verwendung nicht direkt steuerbar ist. Die Lohnsummenabhängigkeit bei Unternehmen per se sollte jedoch keinen übermässigen Rebound verursachen, da die aufgrund dieses Effekts entlasteten Firmen tendenziell eine unterdurchschnittliche Energieintensität aufweisen.

Realwirtschaftlich (unter Berücksichtigung von in der Realität beobachteter Mechanismen, welche über die vereinfachenden allgemeinen ökonomischen Theorien hinausgehen; zum Beispiel eingeschränkt rationelles Verhalten) ist bereits fraglich, ob die vorliegende Abgabe genug hoch ist, um wahrgenommen zu werden (die Annahme linearer Preiselastizitäten wird also in Frage gestellt), und insbesondere die Wahrnehmung der Rückerstattung kann – bedingt durch deren Ausgestaltung – angezweifelt werden. Dies würde für tieferen Rebound sprechen (mit Ausnahme von Fällen, wo Investitionen umfassend abgewogen werden). Eine wichtige Einschränkung ist anderseits die Tatsache, dass sowohl bei Haushalten als auch Unternehmungen signifikante brachliegende Effizienzpotentiale vorhanden sind, welche die durch die Abgabe angeregten Massnahmen dann doch mit Effizienzgewinnen versehen. Dies führt sowohl zu Einkommens-/Outputeffekten (nur bei investiven Massnahmen), als auch zu sekundären Effekten (und logischerweise auch zu höherem Konsum grauer Energie bei investiven Massnahmen). Um grössere Effizienzsteigerungen durch die CO₂-Abgabe zu erreichen, sollte also die Wahrnehmung der Abgabe durch höhere Beträge oder kommunikative Massnahmen verstärkt werden. Um die Reboundeffekte zu minimieren sollte hingegen die Rückerstattung möglichst indirekt erfolgen.

3.5 energieEtikette

Die energieEtikette in Kürze

Die energieEtikette wurde in den 90er Jahren von der europäischen Fachorganisation der Haushaltapparatebranche geschaffen und später in allen EU-Ländern Standard. Nach einer freiwilligen Einführung ist sie seit 2003 in der Schweiz laut Energieverordnung (EnV) obligatorisch für grosse Elektrogeräte im Haushalt (darunter fallen zurzeit Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschinen, Wäschetrockner (Tumbler), Geschirrspüler, Backöfen und Raumklimageräte (BFE 2008b)) und Lampen. Die Geräte werden aufgrund ihres Energieverbrauchs bezogen auf ihre Grösse (und teilweise der Qualität ihrer Dienstleistung) auf einer Skala von sieben Güteklassen bewertet (siehe Beispiel in Abbildung 10) – aufgrund von technischen Effizienzsteigerungen wurden 2003 als Übergangslösung bis zu einer umfassenden Überarbeitung der Klassen zusätzlich die beiden Güteklassen A+ und A++ für Bestgeräte eingeführt. (Kafsack 2009). Daneben werden weitere Geräteklassenspezifische Angaben gemacht. (BFE 2002) Dabei werden im Gegensatz zu einem Herkunftszeugnis die Produktion und die damit verbundene graue Energie völlig ausser Acht gelassen.

Ebenfalls 2003 wurde nach dem gleichen Prinzip eine energieEtikette für Personenfahrzeuge verbindlich eingeführt. Diese führt das Leergewicht, den Treibstoffverbrauch (l/100 km) sowie den CO₂-Ausstoss (g/km) auf. Die Einteilung in die sieben Güteklassen erfolgt aufgrund des Verhältnisses zwischen Treibstoffverbrauch und Leergewicht. (energieschweiz 2008) Dies hat den Vorteil, dass Wagen gleicher Klasse miteinander verglichen werden. Anderseits stehen so aber grosse Autos mit hohem Treibstoffverbrauch im Vergleich zu Kleinwagen mit mittlerem Verbrauch zu gut da (vgl. Abbildung 11). Weiter plant der Bund die Einführung eines „Gebäude-Energieausweises“, analog zur energieEtikette (BFE 2007b).

Einordnung der Massnahme

Die energieEtikette ist das Flaggenschiffinstrument auf der Ebene der Informationsmassnahmen für mehr Energieeffizienz, und dementsprechend nicht-monetär. Zwei verschiedene Varianten decken die beiden Bereiche Mobilität sowie Geräte und

Motoren ab, wobei letzterer eine wachsende Abdeckung verzeichnet. Sie zielen allgemein auf jeglichen Konsum sowohl von Haushalten als auch der Wirtschaft, sind also nachfrageseitig orientiert. Allerdings ist zu erwarten, dass die energieEtikette vorwiegend bei Privatpersonen die Komponente „Energie“ neu vermehrt in den Entscheidungsprozess einfließen lässt, während dies zumindest in gewissen Wirtschaftsbranchen aus Kostengründen bereits selbstverständlich ist.

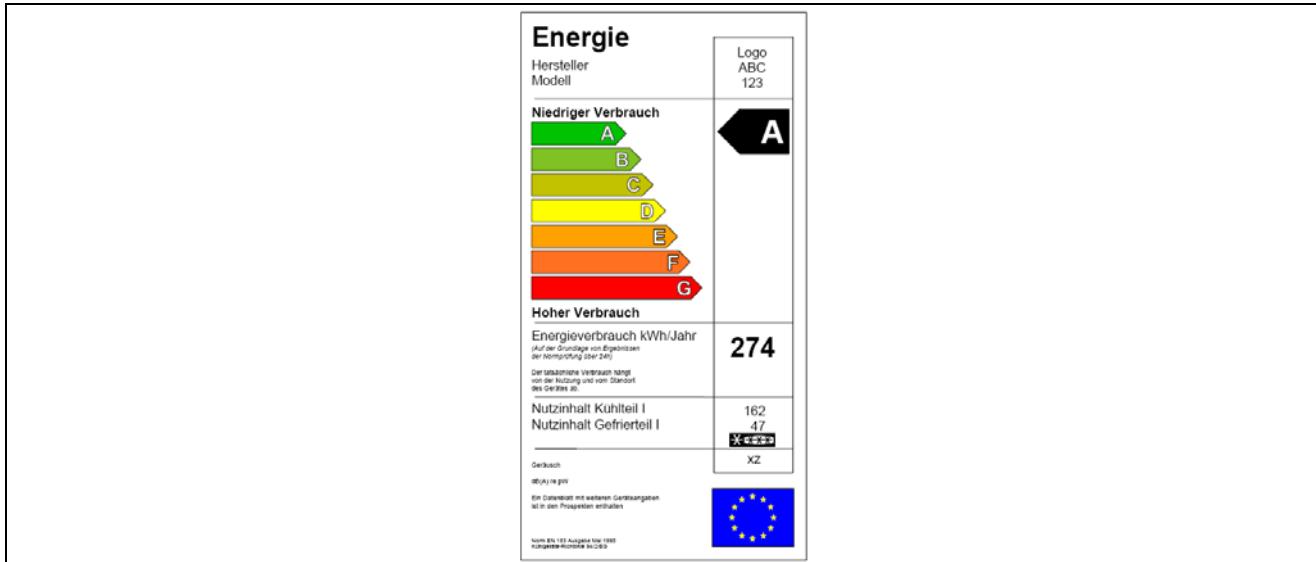


Abbildung 10. Beispiel energieEtikette für Kühlgeräte. Quelle: energieschweiz (2004).

Analysen

Die folgende Analyse beschränkt sich auf die energieEtikette für Haushaltgeräte und Beleuchtung. Gemäss dem BFE (2008c) hat eine Evaluation dieser energieEtikette gezeigt, dass bereits im Einführungsjahr Einsparungen im niedrigen einstelligen Prozentbereich erzielt wurden. Zwei der wichtigsten Prämissen der Wirtschaftstheorie sind, dass vollständige Information herrscht und jedes Individuum (*homo oeconomicus*) rational anstrebt, seinen eigenen Nutzen zu maximieren (Eisenhut 2002). Unter diesem Gesichtspunkt wäre ein Instrument wie die energieEtikette überflüssig und wirkungslos.

In der Realwirtschaft müssen aber diverse Formen von Marktversagen berücksichtigt werden, was auch Informationsanstrengungen des Staates legitimiert. Darunter fallen zwei Aspekte, welche mit den zwei Funktionen von Information übereinstimmen und somit durch die energieEtikette korrigiert werden können:

- Im freien, nichtregulierten Markt werden externe Effekte nicht berücksichtigt. Da Information normbildend ist, ermöglicht es die energieEtikette dem Staat, indirekt Externalitäten beim Konsum als möglichen und wünschenswerten Entscheidungsfaktor aufzuzeigen.
- Ein weiteres Marktversagen ist asymmetrische Information [entsteht, wenn nicht alle Marktteilnehmer über vollständige Information bezüglich der Güter und Akteure verfügen (Eisenhut 2002)]. Hier jedoch stellt der Staat reine Information bereit und schafft mit der energieEtikette eine erweiterte, objektive Entscheidungsgrundlage, mit der Konsumenten einen mit bereits bestehenden Präferenzen stimmigen Entscheid treffen können.

Wohl kann argumentiert werden, dass mit sämtlichen Instrumenten automatisch Information verbunden ist (beispielsweise durch Medienpräsenz), doch das Ziel der vorliegenden Massnahme ist neben dem normativen Charakter gerade die Lieferung neutraler Information. Insofern schafft sie einen Mehrwert, deren Nutzen im Sinne einer effektiven Effizienzpolitik trotzdem kritisch überprüft werden sollte, da sie für den Staat auch mit Kosten verbunden ist.

Die Normbildung sollte theoretisch keine Reboundeffekte verursachen, da sich demzufolge das gesamte Konsumverhalten eines betrachteten Akteurs unabhängig von monetären Argumenten konsequent ändern sollte. Der Informationsfaktor

hingegen könnte Rebound mit sich bringen, da die neu gekauften Geräte nun durchschnittlich energiesparender wären, was zusätzliche Effizienzgewinne verursachen würde.

Im „typischen“ Schweizer Haushalt kann der Grossteil der bisher mit der energieEtikette zu kennzeichnenden Geräte als bereits vertreten erwartet werden, nur Raumklimageräte können noch nicht als typisch gelten (Bush et al. 2007). Das bedeutet, dass die energieEtikette mehrheitlich bei Ersatzbeschaffungen zum Tragen kommt. In diesem Fall besteht zumindest nicht die Gefahr eines Substitutionseffekts. Auch indirekter Rebound durch graue Energie ist bei Ersatzkäufen nicht zu befürchten. Allenfalls könnte es zwar sein, dass das energieeffizientere (Ersatz-)Gerät mehr graue Energie beinhaltet, bei der Stromsparlampe ist dies aber beispielsweise nicht der Fall (Hofer 2008). Hingegen werden die Effizienzgewinne sowohl Einkommens- als auch sekundäre Effekte auslösen. Erstere sind allerdings abhängig von den Möglichkeiten und der Attraktivität der Nachfrageausdehnung, also auch der Opportunitätskosten. Daneben sind aber gerade hier, wo einzelne Subjekte angesprochen werden, die Auswirkungen auf deren Psyche nicht zu vernachlässigen. Dies wird im Folgenden analysiert.

Bei Ersatzkäufen, wo die energieEtikette also mehrheitlich zum Tragen kommt, muss ein nicht unbedeutender direkter Rebound durch die Förderung des Einkommenseffekts erwartet werden, da dem Kunden stärker bewusst wird, dass er neuerdings ein energieeffizientes Gerät besitzt. Es geht allerdings nicht mehr nur um den finanziellen Aspekt – welcher bei Haushaltgeräten zwar durchaus vorhanden ist, aber absolut wegen den relativ tiefen Strompreisen eher schwach ins Gewicht fällt – sondern vielmehr um erweiterte Formen des Reboundeffekts. Dabei tritt der soziale Rebound vor allem beim Kauf in Erscheinung, während der psychologische Rebound eher den Gebrauch betrifft (da vom Umfeld i. d. R. vor allem das Gerät und weniger dessen Gebrauchsmuster wahrgenommen wird).

Erweiterte sekundäre Reboundeffekte sind weniger zu erwarten, weil die finanziellen Einsparungen relativ gering sind und die energieeffizienten Geräte auch sozio-psychologisch nur begrenzt kompensatorische Handlungen legitimieren. Letzteres gründet auf der Einschätzung, dass es sich bei den betreffenden Geräten bezüglich Umweltfreundlichkeit nicht gerade um Prestigeobjekte oder solche mit Symbolcharakter handelt, welche eine genügend starke Ausstrahlung hätten, dass sozio-psychologische Effekte auf den übrigen Konsum übertragen würden. Eine Ausnahme stellt hier vermutlich die Energiesparlampe dar, welche durchaus als Symbol angesehen werden kann. Hier besteht die Gefahr, dass beispielsweise deren Effekt durch den Anwender subjektiv überschätzt wird, wodurch ein übermässiger, nicht rechtfertigbarer psychologischer Kredit geschaffen würde.

Erst bei einer erweiterten Anwendung der energieEtikette auf eine breitere Produktpalette im Haushaltsbereich ist unter Umständen ein zusätzlicher Effekt dadurch zu erwarten, dass Konsumenten (insbesondere Haushalte) neu Geräte weiterer Klassen kaufen würden. Der Reboundeffekt besteht darin, dass diese Geräte teilweise nur deshalb gekauft würden, weil die Topgeräte der Produktkategorie als „umweltfreundlich“ (und gleichzeitig auch kostengünstig im Betrieb) dargestellt würden. Dies ist ein häufig negativ bewertetes Charakteristikum der energieEtikette: Sie macht vordergründig Aussagen zum relativen Energieverbrauch eines Gerätes innerhalb einer Produkteklasse (eine „Klasse“ ist z. B. „Kühlschränke“) und nicht zu dessen absoluten Energieverbrauch (s. auch weiter unten). Dabei dürfte wiederum der sozio-psychologische Effekt stärker ins Gewicht fallen als der monetäre.

Bei einer solchen Neuanschaffung handelt es sich um einen klaren Substitutionseffekt (direkter Rebound): Eine bisher ohne Gerät ausgeübte Tätigkeit wird durch ein Haushaltgerät ersetzt. Zudem stellt der zusätzlich ausgelöste Verbrauch grauer Energie einen indirekten Reboundeffekt dar. Weiter sind ausgehend von der oben geschilderten Motivation zusätzliche Einkommens- und sekundäre Effekte zu erwarten, da der Kauf eines effizienten Gerätes einen sozio-psychologischen Gewinn mit sich bringt – auch wenn es sich dabei um ein zusätzliches Gerät handelt, was diesen Effekt gegenüber Ersatzkäufen allerdings abschwächen könnte. Der monetäre Einkommenseffekt sollte vernachlässigbar sein.

Allgemein ist bei der energieEtikette problematisch, dass aufgrund der Berücksichtigung der Grösse eines Gerätes bei der Berechnung der Güteklassie grosse Geräte unter Umständen besser bewertet werden als kleine, welche zwar ineffizienter sind, aber trotzdem weniger Energie brauchen (als Veranschaulichung zeigt Abbildung 11 den analogen Fall der energieEtikette für Personenwagen). Da dies vielen Konsumenten wohl nicht bewusst ist, führt die energieEtikette hiermit zum Kauf von grösseren Geräten und damit zu psychologisch bedingtem Rebound (Einkommenseffekt) durch „falsche“ oder zumindest irreführende Information (und schafft es in dieser Hinsicht nicht vollständig, das Marktversagen der asymmetrischen Information zu beheben). Daneben führt der erhöhte Materialaufwand beim Kauf von grösseren Geräten zu weiterem Reboundeffekt in Form grauer Energie.

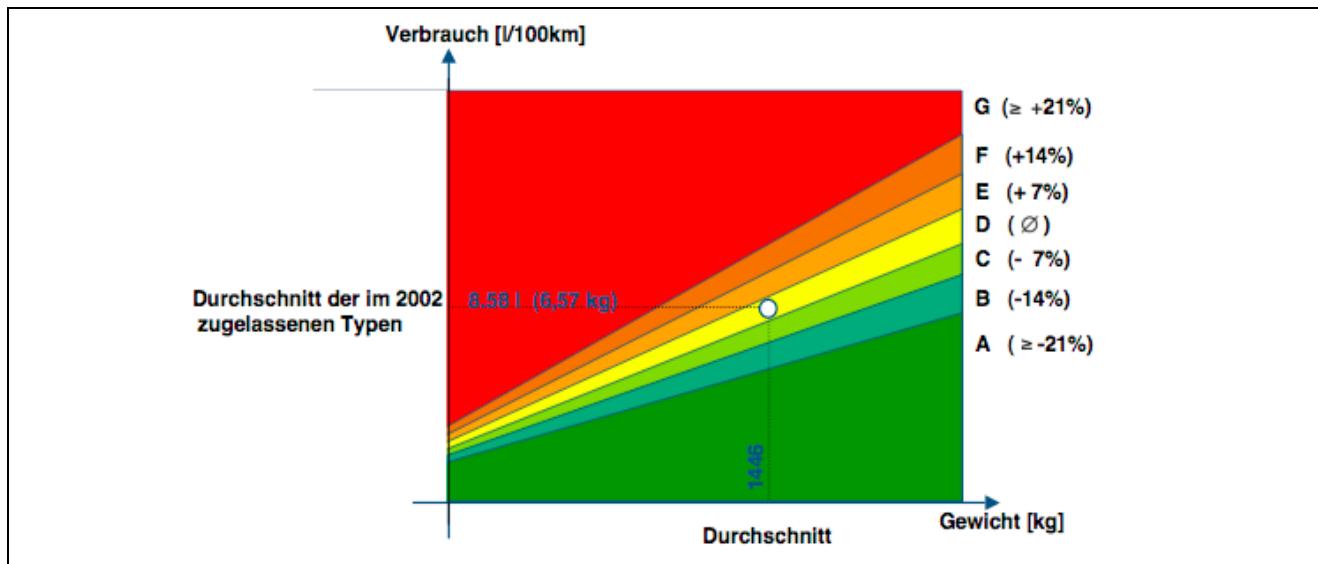


Abbildung 11. Kategorien der energieEtikette für Personenwagen in Abhängigkeit von Gewicht und Verbrauch. Quelle: de Haan (2008).

Die Anwendung einer energieEtikette auf deutlich unterschiedliche Produkte, wie z. B. Fahrzeuge oder Gebäude, bringt weitgehende andere Bedingungen als in den obigen Ausführungen zur energieEtikette für Haushaltgeräte. Insbesondere das Verhältnis zwischen monetären und sozio-psychologischen Gewinnen ist unterschiedlich, da bei Autos oder Häusern die potentiellen Einsparungen bei den Betriebskosten tendenziell grösser sind. Die Auswirkungen auf die Reboundeffekte solcher energieEtiketten sind jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Unvollkommenheit der Marktwirtschaft legitimiert Informationsinstrumente wie die energieEtikette. Diese kommt mehrheitlich bei Ersatzkäufen zur Geltung, wobei Substitutionseffekte und graue Energie als Reboundeffekte ausscheiden. Bei Neukäufen ist Rebound sämtlicher Arten zu erwarten, worin sich auch die Schwäche der energieEtikette spiegelt: deren Relativität. Während allgemein die monetären Aspekte weniger wichtig sind, haben sozio-psychologische Effekte grosse Bedeutung (insbesondere der Einkommenseffekt). Letztere lassen sich schwer vermeiden, da das Transportieren einer Botschaft inhärent mit der energieEtikette verbunden ist.

Um einen weiteren Reboundeffekt durch den Kauf zusätzlicher Geräte – weil diese als umweltfreundlich ausgewiesen sind – zu verhindern, sollte die energieEtikette nur auf Geräteklassen angewendet werden, welche bei den Konsumenten bereits breit vertreten sind. Daneben wäre das Überdenken der von der Gerätegrösse abhängigen Skala zu empfehlen hin zu einem teilweise relativen und teilweise absoluten Ansatz (analog Energieetikette für Neuwagen).

3.6 Mindestanforderungen an elektrische Geräte

Mindestanforderungen an elektrische Geräte in Kürze

Als Umsetzung des in Kapitel 1.1 vorgestellten Aktionsplans und angetrieben durch verschiedene parlamentarische Motionen (BFE 2008c) hat der Schweizer Bundesrat im Oktober 2008 unter anderem die Revision der Energieverordnung (EnV) betreffend Anforderungen an netzbetriebene elektrische Geräte in die Vernehmlassung geschickt. Er präzisierte sein Vorhaben folgendermassen (BFE 2008a): Erstmals werden der Wirtschaft Verbrauchsvorschriften für Haushalt- und elektronische Geräte auferlegt. Die entsprechenden Vorschriften sollen 2010 mit einer Übergangsfrist von wenigen Jahren in Kraft gesetzt werden. Dabei werde das Angebot nicht merklich eingeschränkt, sondern die Grenzwerte seien so angesetzt, dass vornehmlich Billigeräte mit hohem Stromverbrauch verboten würden, welche für die Konsumenten ohnehin nicht wirtschaftlich wären (BFE 2008c). Betroffen sind bei den Haushaltgeräten und Lampen die der energieEtikette unterstellten Geräte ab einer bestimmten Energieeffizienzklasse [z. T. bereits ab Klasse A (BFE 2008c)]. Weiter werden der Stand-by-Verbrauch elektronischer Geräte [TV-Geräte, Set-Top-Boxen, Audio-Video-DVD, PC, Monitore, Drucker, Kopierer, Netz- und Ladegeräte. (BFE 2008a)] sowie der Stromverbrauch industrieller Elektromotoren reglementiert. Das Einsparpotential (exkl. Lampen und Elektromotoren) nach Erneuerung des gesamten Geräteparks beträgt unter Annahme einer durchschnittlichen Einsatzdauer von 10 Jahren ca. 0.64% (100+8+200+1 GWh Haushaltgeräte + 60 GWh elektronische Geräte; BFE 2008e) des Schweizer Stromverbrauchs 2007 (57'432 GWh, BFE 2008f).

Einordnung der Massnahme

Das Setzen von Mindestanforderungen bezüglich Energieeffizienz an elektrische Geräte (eine Norm, also eine nicht-monetäre Massnahme) bezweckt, das Angebot (direkt) zu steuern. Da sie auf Güter abzielt, welche auf dem freien Markt verkauft werden, stellt dies einen Eingriff in die Wirtschaftsfreiheit dar. Allerdings kann sich der Staat dabei auf das nötige öffentliche Interesse stützen, weil dadurch externe Kosten (der Stromerzeugung) reduziert werden, und dazu lediglich – häufig für den Konsumenten nicht auf den ersten Blick als solche ersichtliche – unwirtschaftliche Geräte verboten werden. Profitieren sollten davon sowohl Haushalte als auch Unternehmen bei der Beschaffung neuer Geräte.

Analyse

Durch die neue Energieverordnung erhalten die Konsumenten automatisch ein Angebot von effizienteren Geräten, welche insgesamt Stromersparnisse im Wert von 54 Mio. Fr. pro Jahr (BFE 2008c) (exkl. Elektromotoren und Beleuchtung) ermöglichen, wobei der Grossteil (45 Mio. Fr. pro Jahr) auf Haushaltgeräte und somit auf die Haushalte entfällt. Obschon die Einsparungen laut einer Übersicht des Bundes (BFE 2004) – welche nach einem Vergleich mit Zahlen des WWF (2008) weiterhin aktuell erscheint – pro Jahr lediglich wenige Dutzend Franken ausmachen, kann dies für einen Haushalt nach einer Gesamterneuerung doch über hundert Franken ergeben. Als weiterer Effekt werden die Produzenten und der Handel durch die Einführung von Normen für die Effizienz der Geräte sensibilisiert (BFE 2008c).

Der Grossteil der Effizienzgewinne kommt also den Privathaushalten zu Gute, wodurch deren Stromrechnung dauerhaft entlastet wird. Andererseits ist es wahrscheinlich, dass die einmaligen Anschaffungskosten für die betreffenden Geräte teilweise ansteigen. Allerdings sind diese Mehrkosten – wenn überhaupt vorhanden – i. d. R. relativ gering und sollen in Zukunft sogar sinken (BFE 2008c). Durch die oben quantifizierte, insgesamt zu erwartende Entlastung folgen theoretisch unabwendbar Reboundeffekte. Dabei sind – was den direkten Reboundeffekt betrifft – der Substitutionseffekt stark von der Sättigung mit der Technologie bzw. der Einkommenseffekt von der bisherigen Nutzungsintensität der entsprechenden Dienstleistung abhängig: Während beispielsweise die Haushalte mit Backöfen grösstenteils gesättigt sind, können energieeffiziente Tumbler, Kühlschränke oder Geschirrspüler zu deren Neuanschaffung bzw. verstärkten Verwendung führen (Abbildung 12 zeigt den Anteil verschiedener Haushaltgeräte am Stromverbrauch sowie den Sättigungsgrad für gewisse Geräte); Kühlschränke zum Beispiel weisen zwar eine flächendeckende Verbreitung auf, ihre Nutzung weist aber effizienzbedingtes Steigerungspotential auf, sei es für grössere Verpackungen oder mehr Fertig- und Frischprodukte. Dabei

kann auch ein Substitutionseffekt von Zeit (zum einkaufen/kochen) durch Energie (Kühlung von grossen Vorräten/Fertigprodukten in Haushalten) erwartet werden.

Zu beachten sind aber auch die mit der Zusatznutzung verbundenen Zeit- und Raumkosten. So ist insbesondere die Nutzung eines Grossteils der hier reglementierten elektronischen Geräte wie Fernseher oder Computer mit einem direkten, gleich grossen Zeitaufwand verbunden (sofern sie nicht lediglich im Hintergrund laufen ohne eigentliche Nutzung), was den Rebound vermindern sollte. Im Gegensatz dazu ist die Beleuchtung praktisch unabhängig von menschlicher Präsenz, und auch die Nutzung vieler betroffener Haushaltgeräte wie Kühlgeräte ist nicht mit einem direkten Arbeitseinsatz verbunden. Bei Haushaltgeräten, welche Arbeit nicht vollständig ersetzen (beispielsweise Waschmaschinen oder Geschirrspüler) hängt die Bilanz aber davon ab, ob tatsächlich mehr gewaschen wird (führt zu erhöhtem Zeitaufwand für Vor- und Nachlauf), oder ob die Maschine für die gleiche Menge häufiger genutzt wird (spart unter Umständen sogar Zeit).

Da die Auswahl an Bestgeräten durch die neue Regelung nicht ändert, bleibt auch der Anreiz konstant, ein altes Gerät durch ein neues zu ersetzen. Deshalb sind indirekte Reboundeffekte in Form grauer Energie nicht zu erwarten. Sekundäre Effekte hingegen sind wiederum automatisch mit der finanziellen Ersparnis verbunden, wegen der geringen Beträge wird ihr absoluter Betrag jedoch relativ klein sein.

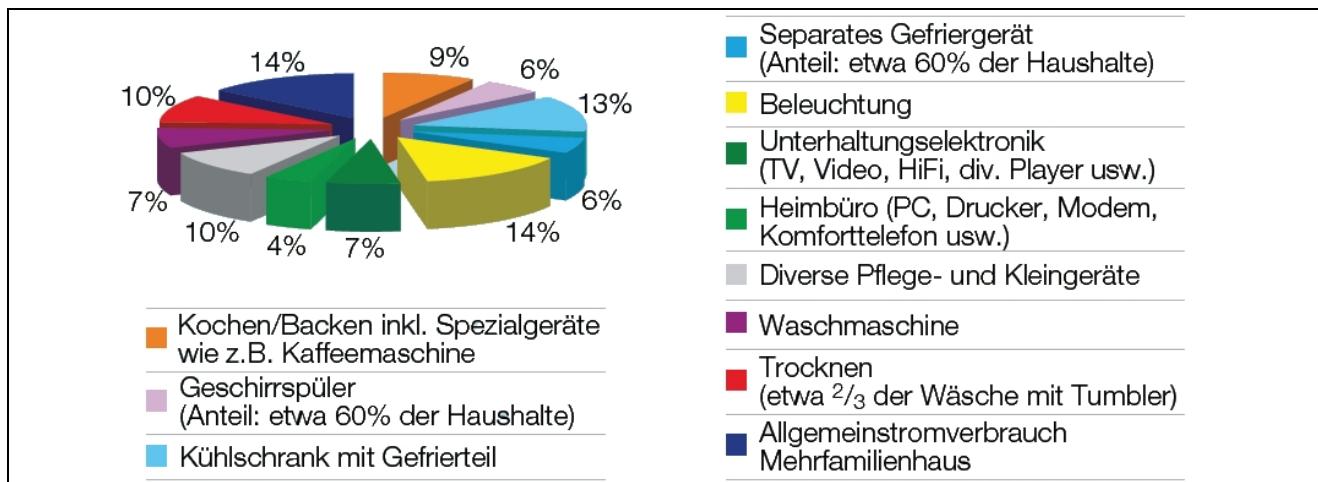


Abbildung 12. Aufteilung des typischen Haushalt-Stromverbrauchs (im Mehrfamilienhaus; inkl. Sättigungsgrad einzelner Geräte). Quelle: Bush et al. (2007).

Berücksichtigt man auch erweiterte Effekte, deuten die tiefen monetären Werte auf relativ kleine direkte Reboundeffekte hin, da sie unter Umständen zu tief sind, um entscheidungsrelevant zu sein.

Zusätzlich ist aber auch mit psychologischen Effekten zu rechnen (weniger mit sozialen, da die betreffenden Geräte kaum ausserhalb des Haushaltes wahrgenommen werden). Dabei handelt es sich einerseits um eine Substitution (neu Einsatz von elektrischen Geräten anstelle von Handarbeit), anderseits kommt es aber auch zu einer Erhöhung des Nutzens durch die vermehrte Verwendung von Geräten (nach Definition ein Einkommenseffekt). Allerdings sind diese Effekte nur in den Fällen der hier besprochenen Massnahme anzulasten, in denen sonst eines der neu verbotenen, hochineffizienten Geräte gekauft worden wäre. Bei den sekundären Effekten führt vermutlich neben der geringen Ersparnis insbesondere die Tatsache, dass diese nur indirekt, verzögert und ratenweise auf der Stromrechnung erscheint, zu verhältnismässig tiefem Rebound. Dadurch werden allerdings auch die oben postulierten psychologischen direkten Reboundeffekte reduziert, da das Bewusstsein, ein sparsames, umweltfreundliches Gerät zu besitzen, nur schwach durch finanzielle Signale bestätigt wird.

Während sich bei den Unternehmen die Betroffenheit auf elektronische Geräte und die Beleuchtung konzentriert, kann grundsätzlich von den gleichen Effekten wie bei den Haushalten ausgegangen werden. Lediglich die geringere Wahrnehmung aufgrund kleiner Beträge ist womöglich wegen des höheren Kostenbewusstseins weniger ausgeprägt, anderseits könnte aber deswegen auch die durchschnittliche Effizienz der Geräte schon vor Einführung der Massnahme relativ hoch sein.

Zusammenfassung und Empfehlungen

Insgesamt wurde gezeigt, dass der Erlass von Mindestanforderungen an elektrische Geräte zwangsläufig mit Rebound verbunden ist, da die Effizienzgewinne den Konsumenten überlassen werden – allerdings wird bei Unternehmen eine etwas geringere Wirkung erwartet, weil diesen eine höhere bestehende Effizienz zugeschrieben wird. Dabei variiert der direkte Reboundeffekt in Abhängigkeit der bisherigen Nutzung und der Opportunitätskosten für die Mehrnutzung des Geräts.

Auch hier kann – zumindest bei den Haushalten – jedoch argumentiert werden, dass die geringen Beträge und deren indirekten Wahrnehmung über die Stromrechnung zu einer Abschwächung des Rebounds führen könnten. Anderseits kann er durch psychologische Effekte auch verstärkt werden, da ein grösserer Anteil der Konsumenten einen mentalen Gewinn durch den Kauf eines umweltfreundlichen, effizienten Geräts erfährt.

Die Reboundeffekte könnten also reduziert werden, indem die Effizienzgewinne durch eine Abgabe abgeschöpft würden. Dies scheint aber schlecht praktikabel, aufwändig und es würde die Attraktivität der effizienten Geräte mindern. Insgesamt scheint das Instrument aber – auch dank den Gegebenheiten – effizient und gut ausgestaltet zu sein.

4. Diskussion

4.1 Diskussion der analysierten Politikinstrumente

Nun sollen die oben durch die Analyse der verschiedenen Instrumente erhaltenen Resultate zuerst allgemein und anschliessend massnahmenspezifisch mit den durch das UKERC zusammengefassten bisherigen Forschungsresultaten verglichen werden.

Nicht nur bei nicht-monetären Massnahmen, sondern auch durch steuerliche Anreize (LSVA, Road Pricing) oder solche von Lenkungsabgaben (CO_2 -Abgabe) können brachliegende Effizienzpotentiale zur Ausnutzung angeregt werden. Dies entspricht der Überwindung von Ineffizienz, was nach UKERC die Produktivitätssteigerung und somit den Rebound noch verstärken dürfte (ERC13). Allerdings variieren diese ungenutzten Potentiale und sie sind schwer zu quantifizieren. Während in den folgenden Ausführungen vorwiegend argumentiert wird, dass eine schlechte Wahrnehmbarkeit der Rückerstattung einer Abgabe/Steuer den Reboundeffekt reduziert würde, könnte auch die Meinung vertreten werden, dass dies irrelevant ist, weil diese Beträge trotzdem ausgegeben werden – Evidenz wurde dazu aber nicht gefunden.

LSVA und 40-Tonnen-Gewichtslimite

Beim Gütertransport handelt es sich zwar nicht um eine Technologie, er hat aber ähnliche Merkmale wie eine Kern-Verfahrenstechnologie nach ERC83, indem er wie erwähnt an den Kosten fast sämtlicher Produkte beteiligt ist und sich so allfällige Reboundeffekte verteilen können. Weiter entspricht er zumindest teilweise einer (reboundanfälligen) GPT nach Lipsey et al. (2005), insbesondere durch die möglichen Optimierungen in Form höherer Auslastungen und/oder höherer Gewichtslimiten. Gerade erstere Reboundmöglichkeit wäre zwar theoretisch nicht gegeben, wie gezeigt könnte sie aber in der Realität durchaus relevant sein. Die in den Resultaten dargelegte Erwartung geringer Reboundeffekte stimmt zwar mit ERC79 nicht überein, wo in der Wirtschaft höhere Reboundeffekte vorhergesagt werden. Dies hängt aber gerade damit zusammen, dass durch den Kostendruck in der hier betroffenen Branche die Effizienzgewinne, falls nicht von der Steuer abgeschöpft, voraussichtlich an die Haushalte weitergegeben werden.

Zudem müsste laut UKERC auch angesichts der hohen Energieintensität der Transportbranche ein hoher Reboundeffekt erwartet werden (ERC51). Die Substituierbarkeit von Energie (Transporten) durch andere Produktionsfaktoren variiert aber stark zwischen gering für die Verteilung von Gütern (v. a. Binnenverkehr) und hoch für gewisse Arbeitsteilungsprozesse (v. a. grenzüberschreitend), weshalb keine eindeutige Aussage für Rebound nach Saunders (2000) gemacht werden kann. Wird die Gewichtslimitenerhöhung als Effizienzförderungsmassnahme aufgefasst, wäre demnach gemäss der nicht unumstrittenen Ansicht von Saunders (2000) für eine Energieeinsparung eine Erhöhung der Gewichtslimite für den Binnenverkehr und die Einführung einer LSVA für den internationalen Verkehr zu empfehlen. Die umgekehrte Zuordnung würde allerdings im internationalen politischen Kontext realistischer erscheinen.

Das UKERC argumentiert, dass sich der Staat auf Effizienzmassnahmen beschränken sollte, welche nicht zu Produktivitätssteigerungen führen (ERC71). Im Vorliegenden Fall widerspricht zwar die Erhöhung der Gewichtslimite für LKWs dieser Empfehlung, die Produktivitätssteigerung scheint aber durch die LSVA erfolgreich aufgefangen worden zu sein. Zudem entspricht es auch der empfohlenen Beseitigung von Marktschranken zugunsten der Wettbewerbsfähigkeit (ERC93). Anderseits kann auch argumentiert werden, dass eine Beibehaltung der Gewichtslimite die Attraktivität der

energieeffizienten Bahn erhalten hätte und daneben mit einer LSVA die Effizienz im Strassentransport trotzdem hätte optimiert werden können. Angesichts der beschränkten Bahnkapazitäten und des politischen Drucks durch die EU kann die vorliegende Lösung jedoch als praktisch optimales Modell betrachtet werden, wobei zudem die Beschränkung des zwar effizienten Strassenverkehrs zugunsten der Bahn (beispielsweise durch eine Alpentransitbörse) dadurch nicht ausgeschlossen wird. Sie entspricht schlussendlich auch der durch das UKERC empfohlenen Kombination von Massnahmen zur Beseitigung von Markthemmnissen und Steuern (ERC93).

Wie auch das UKERC herausstreich (ERC55), muss die Verwendung von Steuereinkünften genau bedacht werden, was hier ebenfalls betrachtet wurde. Logischerweise gilt es, die Einnahmen möglichst für Zwecke mit einer geringen Energieintensität zu verwenden, um keinen Rebound zu generieren. Wie beim vorliegenden Instrument dargelegt wird, ist unter günstigen Umständen und guter Ausgestaltung sogar ein „umgekehrter Rebound“ möglich. Weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet wären für künftige Politikentscheide von grossem Wert, denn die UKERC-Review lässt in dieser Hinsicht weitergehende Betrachtungen vermissen. Anderseits weist eine grobe Abschätzung des Rebounds durch die Verwendung der Kantonsanteile für den Strassenbau auf potentiell hohe Reboundeffekte hin, weshalb sich eine genauere Analyse und allenfalls eine Anpassung der Verwendungszwecke (hin zu einer geringeren Energieintensität) aufdrängen würden. Das Resultat der erwähnten Abschätzung ist allerdings mit Vorsicht zu geniessen, da einerseits für bestimmte Werte möglicherweise keine repräsentativen Daten verwendet wurden, und anderseits gewisse angenommene Mechanismen (insbesondere die zum Strassenausbau proportionale Verkehrszunahme) ohne wissenschaftliche Grundlage, sondern nur aus Vereinfachungsgründen verwendet wurden.

Abschliessend kann die LSVA in Kombination mit der Gewichtslimitenerhöhung bezüglich Rebound folgendermassen beurteilt werden: Es ist sehr vorteilhaft, dass die Effizienzpotentiale anscheinend vor Einführung grösstenteils ausgeschöpft waren und die später entstehenden Gewinne durch die Steuer abgeschöpft wurden. Die ansonsten zu erwartenden Reboundeffekte könnten relativ hoch sein und sich weit verteilen. Die Auswirkungen der Einnahmenverwendung könnten aber bezüglich Rebound stark negativ sein und müssen unbedingt weiter untersucht werden. Auch wenn insgesamt ein Verzicht auf die Erhöhung der Gewichtslimite (bei alleiniger Einführung der LSVA) besser erscheinen mag, ist die vorliegende Lösung pragmatischer und womöglich ebenso gut.

Road Pricing

Wie bei der LSVA und der Gewichtslimitenerhöhung handelt es sich auch hier um Effizienz im Mobilitätsbereich, welche weitreichende Auswirkungen hat. Allerdings sind vor allem die Haushalte betroffen, und diese können vermutlich auch besser auf die Abgabe reagieren und erfahren somit höhere Effizienzgewinne, weshalb die Gewinne vornehmlich nur indirekt über die Wirtschaft verbreitet werden. Zudem sind wie gezeigt die Produktivitätsgewinne relativ schwach ausgeprägt, weswegen nicht die in ERC80 bei Produktivitätssteigerungen beschriebenen starken Reboundeffekte zu gewärtigen sind. Insbesondere die für Haushalte erwartete geringere Wahrnehmung der Effizienzgewinne und der damit verbundene schwächere Rebound entspricht der Feststellung des UKERC, wonach bei Unternehmen i. d. R. ein höherer Rebound erfolgt (ERC79). Wie erwähnt, müssen die (in der Analyse nicht ausgeschlossenen) direkten Reboundeffekte zusätzlich relativiert werden, da diese mit signifikanten Opportunitätskosten in Form von Zeit verbunden sind, wodurch der Rebound gedämpft wird (ERC22).

Auch Road Pricing ist zwar keine gezielte Förderung einer geeigneten Technologie nach ERC71, allerdings ist auch keine klare Steigerung von Faktorproduktivitäten ersichtlich. Wiederum gelten bezüglich der Verwendung der Steuern die gleichen Bemerkungen wie bei der LSVA. Beim Road Pricing besteht dazu ein grosser Spielraum, wobei auch der Einfluss auf die (politische) Akzeptanz berücksichtigt werden sollte. Die vermutete hohe Energieintensität von Haushaltsausgaben aufgrund einer Rückerstattung wird von einem Modell von Allan et al. (2006) bestätigt, welches darauf hinweist, dass eine direkte Rückgabe an die Bevölkerung (hier konkret über Steuersenkungen) den Reboundeffekt erhöht. Dies liege an den unterschiedlichen Energieintensitäten von staatlichem und privatem Konsum. (Ein gutes Beispiel, welches einerseits den

Reboundeffekt durch die Verwendung der Erträge minimiert und anderseits den Anreiz für den Staat reduziert, möglichst hohe Steuererträge zu erzielen, findet sich in Dänemark: Der Staat gibt den Erlös aus der Abgabe an die Industrie zurück, wobei der Grossteil für Umweltinnovationen reserviert wird. [Prasad 2008.] Neben der Energieintensität der Verwendung ist insbesondere auch auf die Wahrnehmung einer allfälligen Art von Rückerstattung zu achten. Dabei würde ein monatlicher Modus die (zu Rebound führenden) Ausgaben stärker stimulieren als eine grössere, jährliche Rückerstattung (Chambers und Spencer 2008); anderseits kann aber auch argumentiert werden, dass Sparen über Investitionen zu Rebound führen könnte. Wie das UKERC festhält, darf die Anpassung der Steuer an das Einkommen (oder allgemeiner: an die Inflation) nicht vergessen werden (ERC93). Weiter ist es zentral, dass im Sinne eines Massnahmenmix neben dem finanziellen Anreiz durch Road Pricing auch effiziente Alternativen gefördert werden (ERC93).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Rebound bei Road Pricing insbesondere bei Haushalten – vor allem aufgrund des mit individueller Mobilität verbundenen schlechten (tiefen) Verhältnisses zwischen Opportunitätskosten und Wertschöpfung pro Zeiteinheit – tief bleiben sollte. Beachtung geschenkt werden sollte nichtsdestotrotz der Verwendung der Erträge.

CO₂-Abgabe

Beim durch die CO₂-Abgabe besonders betroffenen Heizen herrscht eine hohe Marktsättigung, weshalb wie oben festgestellt Einkommenseffekte zwar möglich, aber doch begrenzt sind. Dies stimmt angesichts des hohen schweizerischen Einkommensniveaus mit den Aussagen von Boardman und Milne (2000) zum Einfluss des Einkommens auf Rebound überein. Allerdings besteht ein gewisses Potential für die Initiierung technologischer Innovation, wobei auch hier die Auswirkungen limitiert sind, da es sich nicht um eine Kern-Verfahrenstechnologie oder eine GPT nach ERC83 handelt. Aufgrund der ausgemachten geringen Preiselastizität wäre gemäss ERC5 ein tiefer direkter Reboundeffekt, dafür aber laut ERC45f ein hoher indirekter Reboundeffekt zu gewärtigen. Allerdings ist letztere Schlussfolgerung gemäss UKERC nicht gesichert, obschon auch Kaufmann (1992) diese Beziehung herstellt. Trotzdem lässt sich aus der hier vorgenommenen Analyse eine entsprechende Tendenz erkennen.

Da bedingt durch die Ausgestaltung der Rückerstattung gewisse Unternehmen in den Genuss eines Nettogewinns aus der Abgabe kommen, könnte befürchtet werden, dass dies die in ERC79 festgestellten hohen Reboundeffekte von Firmen zur Folge haben könnte. Jedoch wurde gezeigt, dass die Betreffenden tendenziell eine tiefe Energieintensität aufweisen sollten, weshalb sich die Effekte im Rahmen halten müssten. Weil heizen mit sehr geringen Zeitkosten verbunden ist, kann nicht wie nach Binswanger (2001) mit einer Abnahme der Reboundeffekte in der Zukunft gerechnet werden. Auch wird die Nachfragesteigerung nicht durch damit verbundene hohe zeitliche Opportunitätskosten gemäss ERC22 eingeschränkt.

Aus dem Betrachtungswinkel von Saunders (2000) ist im durch die Abgabe hauptsächlich tangierten Gebäudesektor (Heizen) sowohl bei Privaten als auch in der Wirtschaft die Elastizität der Substitution zwischen Energie und anderen Produktionsfaktoren – im Gegensatz zur Preiselastizität der Energienachfrage – als relativ hoch anzuschauen, insbesondere angesichts der aufgezeigten hohen ungenutzten Effizienzpotentiale. Dies würde zwar entgegen der angestellten ökonomietheoretischen Überlegungen deutliche Reboundeffekte erwarten lassen, die Überlegungen von Ayres (2002) würden jedoch aufgrund der niedrigen Eigenpreiselastizität zumindest backfire eher ausschliessen. Anderseits wäre aber die Anwendung einer Steuer, wie es auch die CO₂-Abgabe im weiteren Sinne ist, aus dieser Optik zu unterstützen. Allerdings weist dies auch indirekt darauf hin, dass der Rückerstattung der Abgabe – dem Unterschied zwischen einer Lenkungsabgabe und einer Steuer – besonderes Augenmerk zu schenken ist. Dies wird durch ERC52 und ERC55 bekräftigt.

Interessant ist weiter im Kontext der aufgezeigten Preisentwicklung, dass gemäss ERC59 die indirekten Reboundeffekte generell als unabhängig zu Variationen von Energie- und CO₂-Preisen betrachtet werden können.

Da der Einsatz von Brennstoffen im Allgemeinen lediglich die Funktion des Heizens hat, ist eine diesbezügliche Verbesserung der Effizienz nicht mit weiteren reboundfördernden Produktivitätssteigerungen verbunden, obschon es sich häufig auch um die Überwindung von Ineffizienz nach ERC13 handelt, wenn auch in diesem Fall ausgelöst durch eine monetäre Massnahme. Zusätzlich ist wie schon beim Road Pricing gezeigt auch die Rückerstattungsperiode von Bedeutung. Die von ERC93 für die Minimierung des Rebounds geforderte Erhaltung des Kostenniveaus der betreffenden Energiedienstleistung durch die Anpassung einer Steuer ist bei der CO₂-Abgabe eigentlich nicht gegeben, denn deren potentielle jährliche Erhöhung ist nicht auf diesen Zweck ausgerichtet. Zudem wird die vorliegende Abgabe (nach aktuellem Kenntnisstand) auch lediglich für wenige Jahre erhoben werden und garantiert somit keine Konstanz. Die in ERC93 weiter geforderte Kombination von Steuern mit der Förderung energieeffizienter Technologien ist auch im vorliegenden Kontext nicht von der Hand zu weisen. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass im Gebäudebereich sehr wohl hervorragende Technologien vorhanden und auch wirtschaftlich sind (wie zum Beispiel durch Minergie®-Bauten vor Augen geführt wird), diese aber einfach nur selten eingesetzt werden.

Abschliessend muss somit anerkannt werden, dass die vorliegende Untersuchung aufgrund verschiedener Überlegungen zu unterschiedlichen Resultaten kommt, weshalb weitere, allenfalls quantitative Untersuchungen angezeigt scheinen. So weisen zahlreiche Argumente wie hohe Sättigung, Abwesenheit von GPTs und allgemein von Produktivitätserhöhungen, tiefe Energieintensitäten der profitierenden Unternehmen, sowie eine geringe Wahrnehmung der Abgabe eher auf kleine Reboundeffekte. Anderseits ergibt die Überlegung in Anlehnung an Saunders die Vermutung hoher Reboundeffekte, was weiter durch identifizierte „low hanging fruits“ und das Nichtvorhandensein von Opportunitätskosten unterstützt wird. Unbestritten ist, dass die Verwendung der Erträge aus der Lenkungsabgabe sehr relevant ist. Schliesslich wäre die Weiterführung (und allenfalls Anpassung) der CO₂-Abgabe über einen längeren Zeithorizont sehr zu empfehlen.

energieEtikette

Wie oben herausgestrichen wurde, ist es relevant, auf welche Geräte die energieEtikette angewendet wird. Dies wird auch vom UKERC bestätigt. So sei zu berücksichtigen, dass Technologien mit einer geringen Marktsättigung hohe Reboundeffekte hätten (ERC83).

Neben den festgestellten psychologischen Effekten besitzt die gesamte Beleuchtung Merkmale einer GPT nach Lipsey et al. (2005): Sie wird universell eingesetzt, ist – wenn auch marginal – indirekt an sämtlichen Produktionsprozessen beteiligt, und besitzt ein deutliches Optimierungspotential (von herkömmlichen Glühlampen über Energiesparlampen zu LED-Technologie). Hoher Rebound ist damit zu erwarten, backfire scheint aber unter Abwesenheit der in ERCviii erwähnten Faktoren wie Einsatz nur auf Produzentenseite oder Effizienzverbesserungen in frühem Entwicklungsstadium weniger wahrscheinlich. Trotz dieser Überlegungen ist Rebound in diesem Bereich aber vermutlich weniger verbreitet als befürchtet werden könnte, denn der Effekt der energieEtikette auf den Beleuchtungssektor hält sich in Grenzen (BFE 2008c). Ausser der Beleuchtung ist vor allem der Haushaltssektor durch die Massnahme betroffen, wodurch gemäss ERC79 der Rebound eher tief bleiben sollte.

Die Elastizität der Substitution zwischen Energie und anderen Produktionsfaktoren ist hier ziemlich gering, da es sich bis auf Raumklimageräte um Geräte handelt, die in der Schweiz dem Mindestlebensstandard zuzurechnen sind. Dies bedeutet, dass weniger Rebound befürchtet werden muss, und Massnahmen zur Effizienzsteigerung effektiver sind als Steuern, was im weiteren Sinne dem hier gewählten Ansatz entspricht. Wie in der Analyse richtig erwähnt sind nach ERC22 die Opportunitätskosten für die Erhöhung der Nachfrage zu berücksichtigen. Dabei bestehen grosse Unterschiede zwischen Beleuchtung (tief) und Haushaltgeräten (hoch). Dies bedeutet, dass bei ersterer der Rebound wie anderweitig schon festgestellt relativ hoch sein kann, während er bei den Haushaltgeräten gering sein sollte. (ERC35 erwähnt diesbezüglich Geschirrspüler explizit.)

Die allgemeine Bemerkung in ERC92, wonach die Wirkung nicht-preislicher Massnahmen wegen Vernachlässigung von Rebound überschätzt worden sei, trifft auch auf die energieEtikette zu, gleichzeitig wohl aber auch der Hinweis auf die ohnehin hohe Effizienz dieser Instrumente. Dabei handelt es sich zwar auch um die „Überwindung von Ineffizienz“ (ERC13), aber da die Faktorproduktivität kaum signifikant erhöht wird, ist dies hier nicht relevant. Nichtsdestotrotz könnten analog zu ERC71 die der energieEtikette unterstellten Geräteklassen so ausgewählt werden, dass solche mit ohnehin grösstenteils Bestgeräten ausgelassen werden, und ineffiziente Geräte könnten allenfalls durch Mindestanforderungen vom Markt ausgeschlossen werden (vgl. Kap. 3.6). So würde der mit der energieEtikette verbundene Rebound reduziert. Wie ERC84 festhält, ist die Verbreitung von GPTs für die Wirtschaft wichtig, dies wird aber durch das vorliegende Instrument nicht verhindert. Die energieEtikette ist bestimmt eine hilfreiche Massnahme, um die Verbreitung von effizienten Technologien zu fördern, nach Auffassung des UKERC idealerweise in Kombination mit monetären Instrumenten (ERC93).

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass die Relevanz der abgedeckten Geräteklassen bestätigt wurde, wobei bezüglich Rebound in Abhängigkeit der Sättigung eine Differenzierung nach Ersatz- und Neukäufen zu machen ist. In diesem Zusammenhang könnte eine Kombination mit Mindestanforderungen an Geräte oder monetären Instrumenten sinnvoll sein. Insgesamt sollte sich der Rebound ausser bei der Beleuchtung im Rahmen halten, wobei (sozio-)psychologische (Einkommens-)Effekte die Hauptrolle spielen. Dies liegt in der Natur einer Informationsmassnahme, wird aber verstärkt durch den relativen Aspekt der Bewertung eines Geräts durch die energieEtikette. Insbesondere die Berücksichtigung der Gerätegrösse führt zu verzerrter Information und stellt somit eine Schwäche der energieEtikette dar.

Mindestanforderungen an elektrische Geräte

Die identifizierte Wichtigkeit der Sättigung mit den verschiedenen Gerätearten stimmt überein mit der Feststellung in ERC83, wobei die Sättigung zu einem gewissen Teil mit dem Einkommen korrelieren sollte (Boardman und Milne 2000). Diese ist umso relevanter, als dass zwar durch den Einsatz eines energieeffizienteren Geräts der betroffenen Klassen die Produktivität der anderen Einsatzfaktoren kaum markant gesteigert wird, wohl aber beim Umstieg von Handarbeit auf den Gebrauch eines Geräts, was laut ERC80 hohen Rebound mit sich bringen könnte.

Da auch hier wie bei der energieEtikette festgestellt die Beleuchtung als GPT betrachtet werden kann, wäre in diesem Bereich aufgrund der analogen Überlegungen mit hohem Rebound zu rechnen. Zudem lässt sich der Beleuchtungsbereich auch als Kern-Verfahrenstechnologien nach ERC83 auffassen, was auf eine weite Verbreitung des Reboundeffekts hinweist. Gerade auch Computer gelten als Paradebeispiel für GPTs (und könnten im erweiterten Sinne auch als Kern-Verfahrenstechnologie bezeichnet werden). Da es bei den vorliegenden Anforderungen aber lediglich um den Stand-by-Verbrauch geht (BFE 2008c), wird dadurch die Produktivität nicht erhöht. Somit werden zwar Energie und damit auch Geld gespart, aber eine Verstärkung des Rebounds durch eine begleitende Produktivitätssteigerung muss nicht befürchtet werden.

Dass die Massnahme naturgemäß mehrheitlich im Haushaltssektor angreift, ist gemäss ERC79 positiv zu werten, da hier der Rebound eher tiefer als in der Wirtschaft ist. Die Elastizität der Substitution von Energie durch andere Produktionsfaktoren ist bei den betroffenen Geräten ähnlich wie bei der energieEtikette als gering anzunehmen, da deren Leistung kaum in gleicher Qualität auf andere Weise zu erbringen ist. Nach Saunders (2000) wäre damit eher kein Rebound zu befürchten, und Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz wären gegenüber Energiesteuern zu bevorzugen, was hier mit der Steigerung der Durchschnittseffizienz der Geräte auch gewissermassen umgesetzt wurde. Die aufgrund der vorhandenen geringen Preiselastizität zu befürchtenden hohen indirekten Reboundeffekte nach ERC45f wurden in den obigen Ausführungen allerdings nicht festgestellt. Die oben beschriebene Reduktion des Rebounds aufgrund von Opportunitätskosten für die Nachfrageausdehnung, insbesondere bei elektronischen Geräten, entspricht der Argumentation des UKERC in ERC22, wobei wie schon bei der energieEtikette die Beleuchtung von diesem Effekt ausgenommen ist. In ERC35 werden in dieser Hinsicht zahlreiche unter die neue Energieverordnung fallende Geräte explizit erwähnt.

Auch beim geplanten Erlass von Mindestanforderungen an elektrische Geräte wurde wie in ERC92 für nicht-monetäre Instrumente postuliert der Nutzen vermutlich überschätzt, wird doch der Rebound in den Erläuterungen des Bundes nirgends auch nur erwähnt. Trotzdem sind aber die in der vorliegenden Analyse ausgemachten Reboundeffekte relativ bescheiden. Somit ist auch die Einschätzung des BFE, wonach diese Massnahme bei Kosten von 130'000 Fr. eine „hohe“ Wirkung entfalten werde (BFE 2007b), nur geringfügig zu relativieren.

Bei der vorliegenden Massnahme ist das primäre Ziel zwar ganz klar die Überwindung von Ineffizienz. Allerdings ist diese hier wie schon für die GPTs ausgeführt nur beschränkt mit der Steigerung von anderen Faktorproduktivitäten verbunden, welche vom UKERC mit hohem Rebound in Verbindung gebracht würde (ERC13). Durch das Verbot ineffizienter Geräte wird dem Markt aber ohnehin wie in ERC 93 empfohlen die Möglichkeit gelassen, von Innovationen selbst zu profitieren, während eine weitere Effizienzerhöhung von GPTs wie Computer oder Lampen zumindest direkt nicht gefördert wird, wie ERC84 auch rät. Insgesamt kann die Einführung von Mindestanforderungen an elektrische Geräte als nur relativ schwach reboundgefährdet betrachtet werden. Dafür sind unter anderem die mit der Nutzung verbundenen Opportunitätskosten sowie der Sättigungsgrad der Geräte verantwortlich, aber auch die Wahrnehmung der Effizienzgewinne. Interessant ist die Feststellung, dass mit der Effizienzsteigerung verbundene Produktivitätserhöhungen zwar erwartet werden könnten, unter den gegebenen Umständen aber nur bedingt auftreten sollten.

4.2 Rückschlüsse auf weitere Instrumente

CO₂-Lenkungsabgabe auf Treibstoffen

Die CO₂-Abgabe auf Treibstoffen würde analog zur CO₂-Abgabe auf Brennstoffen funktionieren, sie konnte sich bisher allerdings politisch nicht durchsetzen. Da sie im Mobilitätsbereich ansetzt, werden auch Erkenntnisse aus dem Road Pricing berücksichtigt.

Eine solche Abgabe auf Treibstoff hätte je nach Ausgestaltung von Road Pricing ziemlich genau die gleiche Wirkung, weshalb in Anlehnung an dessen Analyse ein tiefer Rebound erwartet werden könnte. Wie sowohl dort als auch bei der Abgabe auf Brennstoffe vermerkt, ist daneben aber auch die Rückerstattung der Lenkungsabgabe zu beachten. Das unschlüssige Ergebnis der Analyse zur CO₂-Abgabe auf Brennstoffen macht es schwierig, daraus Folgerungen für die Abgabe auf Treibstoffen zu ziehen. Aufgrund des grundsätzlich unterschiedlichen Sektors scheint dies aber ohnehin nicht einfach zu sein. Insgesamt lässt sich somit die Einschätzung des BFE (2007b), wonach diese Massnahme eine „grosse“ Wirkung entfalten sollte, tendenziell unterstützen, aber nicht abschliessend beurteilen.

Zielvereinbarung mit auto-schweiz

Die geplante neue, verschärzte Zielvereinbarung mit auto-schweiz entspricht wie der Erlass von Mindestanforderungen an elektrische Geräte einer Norm und ist somit nicht-monetär und angebotsorientiert. Allerdings ist die Massnahme im Mobilitätsbereich anzusiedeln; und es wird vermutlich lediglich ein zu erreichender Durchschnittswert vorgegeben, welcher nicht nur durch den Verzicht auf den Verkauf der ineffizientesten Fahrzeuge erreicht werden kann, sondern auch neue, top-effiziente Fahrzeuge in der Angebotspalette notwendig macht. Insgesamt könnte in Anlehnung an die Analyse der Mindestanforderungen von einem eher geringen Reboundeffekt ausgegangen werden. Allerdings sind die aufgrund der diskutierten Regelung notwendigen Einsparungen im motorisierten Individualverkehr vermutlich höher, so dass die Wahrnehmung der Effizienzgewinne stärker wäre. Ansonsten gelten die gleichen Argumente bezüglich Opportunitätskosten und Sättigung wie bei den Mindestanforderungen. Auch die für die elektrischen Geräte diskutierten Produktivitätsgewinne sind hier bestimmt nicht zu erwarten. Da ausserdem die Elastizität der Substitution mit anderen Produktionsfaktoren als relativ gering eingeschätzt werden kann, sollte insgesamt von einem ebenfalls geringen Reboundeffekt ausgegangen werden können. Somit scheint auch die Einstufung der Wirkung dieser Massnahme durch das BFE (2007b) als „gross“ nicht in Frage gestellt werden zu müssen.

4.3 Kritische Betrachtung der Arbeit

Aufbauend auf einer klaren Theoriegrundlage war es mittels einer detaillierten Analyse ausgewählter Instrumente möglich, zahlreiche Aspekte deren Implementierung aufzuzeigen, und sowohl vermutete als auch weniger wahrscheinliche Reboundeffekte zu bestimmen. Aus dem Vergleich mit bisherigen Forschungsresultaten geht hervor, dass diese Erkenntnisse robust sind. In manchen Fällen müssen bestehende (teilweise zu allgemeine) Ansichten in Frage gestellt werden. Eine bedeutende Einschränkung stellt dabei aber der qualitative Charakter der vorliegenden Arbeit dar. Somit lassen sich zwar Handlungsempfehlungen ableiten, ein Vergleich der Grösse verschiedener Reboundeffekte ist allerdings kaum möglich oder wäre mit höchster Vorsicht zu genießen. Ebenfalls unmöglich ist auf diese Art eine abschliessende Effizienzbewertung verschiedener Massnahmen. Der Grund für die Inkaufnahme dieser Schwäche ist neben dem hohen Aufwand auch die schwache Datengrundlage, daneben wäre zudem eine schlechte Verallgemeinerbarkeit der Resultate anzunehmen.

Bei sämtlichen untersuchten Politikinstrumenten ist das Ziel entgegen dem Fokus des UKERC nicht die Förderung einer spezifischen Technologie, sondern eine allgemeine (z. T. indirekte) Steigerung der Energieeffizienz in einem bestimmten Bereich. In anderen Worten heisst dies, dass zwar sehr wohl Technologien gefördert werden, die Politikmassnahmen diese aber nicht gezielt auswählen (können), sondern jeweils höchstens auf eine ganze Gerätekategorie fokussieren. Dieser Unterschied hat den für diese Arbeit nutzbaren Teil des UKERC-Berichts eingeschränkt und auch die Anwendung der Erkenntnisse erschwert, da stets nach den verschiedenen von einem Instrument betroffenen Technologien zu differenzieren war.

Schliesslich ist darauf hinzuweisen, dass der hier über Energie definierte Rebound vor dem Hintergrund des Klimawandels der aktuellen Diskussion nur bedingt gerecht wird und eine Definition über den CO₂-Ausstoss zu diesem Zweck mehr Sinn machen würde (zumindest bis Energie grösstenteils erneuerbar ist, aber dann wäre auch der Rebound weniger besorgniserregend).

5. Schlussfolgerungen

Aus der vorgenommenen Analyse von schweizerischen Politikinstrumenten zur Steigerung der Energieeffizienz und dem spezifischen Vergleich mit aktuellen Forschungsresultaten ergeben sich eine konkrete Bewertung sowie Empfehlungen bezüglich Reboundeffekten, welche in Tabelle 4 in Stichworten knapp zusammengefasst sind. Diese Resultate sind für die Politik relevant und können für Anpassungen bestehender Instrumente oder neue Massnahmen berücksichtigt werden. Wie im Rahmen dieser Arbeit auch klar wurde, sind häufig Kombinationen sinnvoll; und politisch manchmal notwendige, mit Rebound verbundene Zugeständnisse können durch Kompromissbildung durchaus erfolgreich ausgestaltet werden, wie die durch die EU verlangte Erhöhung der Gewichtslimite auf 40 Tonnen und deren von der Schweiz eingeforderte Verknüpfung mit der LSVA zeigen.

Insgesamt wurde festgestellt, dass die untersuchten Instrumente gut ausgestaltet sind, obschon der Rebound nicht nur bei nicht-preislichen Massnahmen unterschätzt, sondern von den Bundesämtern nicht in Betracht gezogen wird. Vorsicht ist geboten bei Instrumenten, welche eine Veränderung des Modal-Splits anstreben, oder auch bei der CO₂-Abgabe, weil die i. d. R. angezielte und für den Rebound relevante Energieeffizienz nicht mit CO₂-Effizienz gleichzusetzen ist. Grundsätzlich können zahlreiche Kriterien und Wirkmechanismen aus der Forschung bestätigt werden, einige Einschränkungen gilt es aber zu machen. Die gefürchtete ungedämpfte gleichzeitige Produktivitätssteigerung parallel zur Erhöhung der Energieeffizienz erscheint bei den untersuchten Instrumenten aufgrund der Analysen als unwahrscheinlich. Allgemein wurde festgestellt, dass GPTs oder die Überwindung von Ineffizienz ohnehin häufig nicht mit Produktivitätssteigerung verbunden sind, so z. B. bei den Mindestanforderungen. Hingegen wurde am Beispiel der CO₂-Abgabe bewusst, dass auch die Förderung von technologischer Innovation langfristig zu Rebound führen kann.

Opportunitätskosten für die Ausweitung der Nachfrage sind für den Rebound zentral (beispielsweise bei Road Pricing), und auch die Sättigung mit den betreffenden Technologien ist von Bedeutung. Die Theorie von Saunders, wonach der Rebound mit steigender Elastizität der Substitution zwischen Energie und anderen Produktionsfaktoren zunehme, ist mit Vorsicht anzuwenden. So konnte es bei den Mindestanforderungen bestätigt werden, stand aber bei der CO₂-Abgabe im Widerspruch zu anderen Erkenntnissen. Genau umgekehrt verhält es sich mit der Theorie über den Einfluss der Preiselastizität auf den Rebound aus dem UKERC-Bericht. Allgemein ist zu beachten, dass häufig die betroffenen Gerätekategorien relevant sind und nicht nur der breitere Anwendungsbereich einer Massnahme (dies gilt konkret für Überlegungen zu Opportunitätskosten oder solche basierend auf der Elastizität der Substitution nach Saunders).

Politikinstrument	zu erwartender Reboundeffekt	Empfehlung
LSVA & Gewichtslimite	direkt gering, hoch durch Steuerverwendung	energieextensive Steuerverwendung
Road Pricing	je nach Design; eher tief ausser Rückerstattung	energieextensive oder indirekte Rückerstattung
CO ₂ -Abgabe	nicht eindeutig; Rückerstattung wichtig	indirekte Rückerstattung; Konstanz garantieren
energieEtikette	mittel, vor allem sozio-psychologisch	keine relative Skala, nur gesättigte Gerätearten
Mindestanforderungen	gering – mittel, je nach Sättigung & Zeitkosten	– (allenfalls Gewinne mit Abgabe abschöpfen)

Tabelle 4. Knappe Zusammenfassung der zu erwartenden Reboundeffekte und Empfehlungen für die verschiedenen untersuchten Massnahmen.

Anderseits wurden auch neue Ansätze, welche erweiterte Effekte auf den Rebound berücksichtigen, mit dem Ziel übernommen, realitätsnähere Resultate zu erhalten. So wurde aufgezeigt, dass sozio-psychologische Effekte omnipräsent sind, insbesondere bei Informationsmassnahmen, weshalb deren (indirekte) Botschaften gut zu bedenken sind. Ebenfalls zu beachten sind potentielle (z. T. irreführende) Symbolwirkungen einzelner Objekte oder Massnahmen. Auch bei Steuern, welche theoretisch nicht mit Rebound verbunden wären, wurde gezeigt, dass insgesamt entscheidend ist, ob vorher schon Effizienzpotentiale („low hanging fruits“) vorhanden waren. Falls dies der Fall ist, muss trotzdem Rebound erwartet werden. Weiter bestätigte sich, dass die Ausgestaltung einer Steuer und damit deren Wahrnehmung entscheidend ist (beidseitig, so kann z. B. die Wirkung von Road Pricing sowohl gedämpft als auch zu einer Symbolwirkung verstärkt werden). Ebenso wichtig sind der Verwendungszweck von Steuereinnahmen (z. B. führt bei der LSVA die Bandbreite von umgekehrtem Rebound bis zu backfire) bzw. die Rückerstattung von (indirekten Lenkungs-)Abgaben (wobei auch hier die Wahrnehmung entscheidend ist, wie z. B. bei der CO₂-Abgabe). Bezüglich der Wahrnehmung von Effizienzgewinnen wurden zahlreiche Überlegungen angestellt, es wurden aber keine neuen, allgemein gefestigten Einsichten erlangt.

Als zentrale Erkenntnis wurde insgesamt aufgezeigt, dass sich die Resultate stark unterscheiden können in Abhängigkeit davon, ob ökonomisch oder realwirtschaftlich (durch den Einbezug erweiterter Effekte) argumentiert wird. Dies gilt in beide Richtungen, so ist der reale Rebound gegenüber der theoretischen Argumentation für die LSVA höher, aber für die Erhöhung der Gewichtslimite tiefer. Daneben gilt es zu beachten, dass gewisse Politikinstrumente wie die energieEtikette erst durch den Einbezug von Marktversagen legitimieren werden können.

Literaturverzeichnis

- Allan, G., N. Hanley, P. G. McGregor, J. K. Swales, K. Turner (2006). The macroeconomic rebound effect and the UK economy - Final report to the Department Of Environment Food and Rural Affairs. Strathclyde, Department Economics, University of Strathclyde.
- auto-schweiz (2002). "Vereinbarung über die Absenkung des Verbrauchs mit dem UVEK unterzeichnet." Abgerufen am 17. März 2009, von http://www.auto-schweiz.ch/cms/Vereinbarung_ueber_die_Absenkung_des_Verbrauchs_mit_dem_UVEK_unterzeichnet.html.
- Ayres, R. U. (2002). Resources, scarcity, technology and growth', INSEAD Working Paper No. 2002/118/EPS/CMER. Fontainebleau, Centre for the Management of Environmental Resources, INSEAD.
- BAFU (2007a). "Die CO2-Abgabe könnte bereits 2008 in Kraft treten." Abgerufen am 25. Dezember 2008, von <http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=16609>.
- BAFU (2007b). Faktenblatt 2 zur CO2-Abgabe. Rückverteilung des Abgabeertrags an die Bevölkerung und Wirtschaft. UVEK. Bern.
- BAFU (2007c). "Was ist die CO2-Abgabe." Abgerufen am 25. Dezember 2008, von <http://www.bafu.admin.ch/co2-abgabe/05179/index.html?lang=de>.
- BAFU (2008a). "CO2-Abgabe auf Brennstoffen wird 2009 nicht erhöht." Abgerufen am 17. März 2009, von <http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=19643>.
- BAFU (2008b). Emissionshandel in der Schweiz, UVEK.
- Balmer, U. (2008). So wird die LSVA berechnet. UVEK. Bern, ARE.
- Balmer, U. (2009). Telefonische Auskunft. M. Schlegel. Bern, Bundesamt für Raumentwicklung.
- BFE (2002). Schwerpunkt energieEtikette. energie extra. Bern, BFE.
- BFE (2004). "Die energieEtikette für Haushaltgeräte und Beleuchtung." Abgerufen am 27. Dezember 2008, von http://www.bfe.admin.ch/energieetikette/00887/index.html?lang=de&dossier_id=00923.
- BFE (2007a). "Bundesrat Leuenberger will Energieeffizienz und Anteil der erneuerbaren Energien massiv ausbauen." Abgerufen am 3. Juli 2008, von <http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=14286>.
- BFE (2007b). Entwurf: Aktionsplan Energieeffizienz. V. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Energie und Kommunikation UVEK. Bern.
- BFE (2008a). "Bundesrat schickt Revisionspaket für mehr Energieeffizienz in die Vernehmlassung." Abgerufen am 26. Dezember 2008, von <http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=22122>.
- BFE (2008b). "Die energieEtikette für Haushaltgeräte und Beleuchtung." Abgerufen am 29. Oktober 2008, von <http://www.bfe.admin.ch/energieetikette/00887/index.html?lang=de>.

- BFE (2008c). Erläuterungen zu den Änderungen der Energieverordnung (EnV) betreffend Anforderungen an netzbetriebene elektrische Geräte. UVEK. Bern.
- BFE (2008d). Faktenblatt 5: Aktionsplan "Energieeffizienz". V. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Energie und Kommunikation UVEK. Bern.
- BFE (2008e). Faktenblatt. Vorschläge zur Revision der Energieverordnung. UVEK. Bern.
- BFE (2008f). Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2007. UVEK. Bern.
- BFS (2009a). "Mobilität und Verkehr: Wichtigste Kennzahlen." Abgerufen am 22. März 2009, von <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/01/key.html>.
- BFS (2009b). Panorama. Neuchâtel.
- Binswanger, M. (2001). "Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect?" *Ecological Economics* 36(1): 119-32.
- Boardman, B., G. Milne (2000). "Making cold homes warmer: the effect of energy efficiency improvements in low-income homes." *Energy Policy* 218(6-7): 411-24.
- bp (2009). "Carbon calculator." Abgerufen am 11. April 2009, von <http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9011367&contentId=7025803>.
- Brookes, L. G. (1972). "More on the output elasticity of energy consumption." *The Journal of Industrial Economics* 21(1): 83-92.
- Brookes, L. G. (1978). "Energy policy, the energy price fallacy and the role of nuclear energy in the UK." *Energy Policy* 6(2): 94-106.
- Bureau of Transportation Statistics (2008). "National Transportation Statistics - Table 4-20: Energy Intensity of Passenger Modes." Abgerufen am 04.08.2008, von http://www.bts.gov/publications/national_transportation_statistics/html/table_04_20.html.
- Bush, E., S. Gasser, J. Nipkow (2007). Der typische Haushalt-Stromverbrauch. *Bulletin SEV/VSE*. Fehrltorf, electrosuisse.
- Chambers, V., M. Spencer (2008). "Does changing the timing of a yearly individual tax refund change the amount spent vs. saved?" *Journal of Economic Psychology* 29: 856-862.
- Cohen, D. (2007). "Car crazy." Abgerufen am 10. April 2009, von <http://www.energybulletin.net/node/37525>.
- Dargay, J. M. (1992). Are price & income elasticities of demand constant? Oxford, The UK experience, Oxford Institute for Energy Studies.
- de Haan, P. (2008). energieEtikette - Kategorien. 081211-25_Lenkungsabgaben_I_HANDOUTS.ppt. Zürich, ETH Zürich.
- de Haan, P., M. G. Müller, A. Peters (2006). "Does the hybrid Toyota Prius lead to rebound effects? Analysis of size and number of cars previously owned by Swiss Prius buyers." *Ecological Economics* 58(3): 592-605.
- ecoplan (1998). Investitionsentscheide und Energiesparoptionen: Umfrage zu Hemmnissen und Einflussfaktoren. Bern, Bundesamt für Energie.
- ecoplan, Infras (2008). Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz - Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten. Bern, Schweizerische Eidgenossenschaft.
- Eisenhut, P. (2002). *Aktuelle Volkswirtschaftslehre*. Chur/Zürich, Verlag Rüegger.
- energieschweiz (2004). energieEtikette für Kühl- und Gefriergeräte. UVEK. Bern, BFE.

energieschweiz (2008). Die energieEtikette gibt Auskunft. Bern, BFE.

Epley, N., D. Mak, L. C. Idson (2006). "Bonus or rebate? The impact of income framing on spending and saving." Journal of Behavioral Decision Making 19(June): 213-227.

Erdgas Obersee (2007). "Informationen zur CO₂-Abgabe für Haushalte." Abgerufen am 25. Dezember 2008, von <http://www.erdgasobersee.ch/de/markt-und-politik/co2-abgabe/co2-abgabe-fuer-haushalte.html>.

Erdöl-Vereinigung (2009). "Rohölpreise. Brent 38 - Monatsmittel." Abgerufen am 9. Januar 2009, von <http://www.erdoel-vereinigung.ch/de/erdoelvereinigung/Preise/Rohoel/Rohoelmonat.aspx>.

EURIMA (2003). The critical importance of building insulation for the environment. Brüssel, European insulation manufacturers association.

Evéquoz, R. (2008). Leistungen des motorisierten privaten Personenverkehrs auf der Strasse - Aktualisierte Zeitreihe bis 2007. EDI. Neuchâtel, BFS.

EZV (2009). "Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA)." Abgerufen am 10. Februar 2009, von http://www.ezv.admin.ch/zollinfo_firmen/steuern_abgaben/00379/index.html#.

fenaco-Landi (2009). "CO₂-Abgabe/Klimarappen." Abgerufen am 11. April 2009, von <http://www.holz-pellets.ch/default.asp?linkthemedit=9&marketid=25&lng=d&linkid=1392>.

Greening, L. A., D. L. Greene, C. Difiglio (2000). "Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey." Energy Policy 28(6-7): 389-401.

Güller, P., R. Neuenschwander, M. Rapp, M. Maibach (2000). Road Pricing: Konzepte und Akzeptanz. NFP 41: Verkehr und Umwelt - Wechselwirkungen Schweiz-Europa. Schweizerischer Nationalfonds. Bern.

Hagenbüchle, W. (2002). Eine unbequeme Wahrheit. Neue Zürcher Zeitung. Zürich.

Hagenbüchle, W. (2007). Anhaltender Druck gegen LSVA-Erhöhung. Neue Zürcher Zeitung. Zürich, NZZ.

Hertwich, E. G. (2005). "Consumption and the Rebound Effect - An Industrial Ecology Perspective." Journal of Industrial Ecology 9(1-2): 85-98.

Hofer, B. (2008). Die Energie hinter der Energie. Zürcher UmweltPraxis. Zürich, Umweltschutzverwaltung des Kantons Zürich. 53: 38-39.

IEA (2004). 30 years of energy use in IEA countries. Oil crises & climate challenges. Paris, IEA.

IPCC (2007). Working Group III contribution to the IPCC Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jevons, W. S. (1865). The Coal Question: Can Britain Survive? The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-mines. A. W. Flux. New York, A. M. Kelley.

Kafsack, H. (2009). Neues Energieetikett für Haushaltsgeräte. Frankfurter Allgemeine Zeitung. Frankfurt.

Kasser, F. (2006). Road Pricing in der Schweiz: Soziale Verteilungseffekte und Umweltauswirkungen. Zürich, Natural and Social Science Interface (NSSI), ETH Zürich.

Kaufmann, R. K. (1992). "A biophysical analysis of the energy/real GDP ratio: implications for substitution and technical change." Ecological Economics 6(1): 35-56.

Khazzoom, J. D. (1980). "Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances." Energy Journal 1(4): 21-40.

- Kirchner, A., M. Schlesinger, P. Hofer, J. Limbers (2003). CO₂-Abgabe bei Brennstoffen. Basel, prognos.
- Krebs, P., U. Balmer (2002). Fair und effizient. Bern, ARE/UVEK.
- Krebs, P., U. Balmer (2008). Fair und effizient. Bern, ARE/UVEK.
- Kt. AG (2009). "Tiefbau - Unterhalt." Abgerufen am 22. März 2009, von
<http://www.ag.ch/tiefbau/de/pub/portrait/aufgaben/unterhalt.php>.
- Küng, M. (2006). Noch einen Klimarappen oder CO₂-Abgabe? Aargauer Zeitung. Aarau, AZ Medien.
- Lipsey, R. G., K. I. Carlaw, C. T. Bekar (2005). Economic Transformations: General Purpose Technologies and Long-term Economic Growth. Oxford, Oxford University Press.
- Nussbaumer, T. (2008). Energietechnik und Umwelt. Zürich, ETH Zürich.
- Prasad, M. (2008). On Carbon, Tax and Don't Spend The New York Times. New York, The New York Times Company.
- Rey, L., Dr. (2004). publifocus Road Pricing - Bericht eines Mitwirkungsverfahrens. Bern, TA SWISS.
- Ruch, A. (2005). Grundzüge der Rechtslehre. Zürich.
- Saunders, H. D. (1992). "The Khazzoom-Brookes postulate and neoclassical growth." The Energy Journal **13**(4): 131.
- Saunders, H. D. (2000). "A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes." Energy Policy **28**(6-7): 439-49.
- Schlegel, M. (2008). Energy use and carbon emissions from passenger rail travel. Norwich, School of Environmental Sciences, University of East Anglia.
- Schlegel, M. (2009). Rebound effect of the Swiss heavy vehicle fee and the 40 tonnes weight limit. Zürich, ETH Zürich (unveröffentlichtes Dokument).
- Schreyer, C. (2008). External Costs of Transport - Today + Future development. SATW Congress, Yverdon.
- Schweizerische Eidgenossenschaft (1999). Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999. SR 101.
- Spielmann, M., P. de Haan (2008). Umweltindikatoren im Verkehr. Zürich, Verlag Rüegger.
- Stern, D. I. (1993). "Energy and economic growth in the USA : A multivariate approach." Energy Economics **15**(2): 137-50.
- Stern, D. I. (2000). "A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy." Energy Economics **22**: 267-83.
- Stern, N. (2007). Stern Review: The Economics of Climate Change. London, HM Treasury.
- Stern, P. C., L. G. Berry, E. Hirst (1985). "Residential conservation incentives." Energy Policy **13**(2): 133-142.
- strasseschweiz (2007). "Klimarappen weist den Weg." Abgerufen am 17. März 2009, von
http://www.strasseschweiz.ch/dcs/users/2/Klimarappen_Genehmigung_d.pdf.
- Stricker, C. (2008). Bundesrat Merz beugt sich der Lastwagenlobby. Neue Zürcher Zeitung. Zürich.
- swissinfo (2006). "Gestaffelte Abgabe für umweltgefährdende Emissionen." Abgerufen am 25. Dezember 2008, von
http://www.swissinfo.ch/ger/specials/deutsche_in_der_schweiz/Gestaffelte_Abgabe_fuer_umweltgefaehrrende_Emissionen.html?siteSect=23001&sid=6833229&cKey=1150965942000&ty=st.

- swissinfo (2008). "Schweiz vor weiterer Prämienerhöhung." Abgerufen am 9. Januar 2009, von [http://www.swissinfo.ch/ger/news/wirtschaft/Schweiz_vor_weiterer_Praemienerhoebung.html?siteSect=164&sid=9802789&cKey=1223063317000&ty=st](http://www.swissinfo.ch/ger/news/wirtschaft/Schweiz_vor_weiterer_Praemienerhoehung.html?siteSect=164&sid=9802789&cKey=1223063317000&ty=st).
- TCS (2005). "CO2-Abgabe." Abgerufen am 25. Dezember 2008, von http://www.tcs.ch/main/de/home/der_tcs/presse/archiv/co2_abgabe_.html.
- UKERC (2007). The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency. London.
- UVEK (2002). Kurzfassung Verlagerungsbericht 2002. UVEK. Bern.
- UVEK (2007). "LSVA-Erhöhung auf 2008: Einjähriger Aufschub des Klassenwechsels für EURO 3-Lastwagen." Abgerufen am 30.07.08 2008, von <http://www.uvek.admin.ch/dokumentation/00474/00492/index.html?lang=de&msg-id=14038>.
- VCS Bern (2001). "Die Verwendung der LSVA-Gelder in den Kantonen." Abgerufen am 01.08 2008, von http://www.vcs-be.ch/Neue_Dateien/die_verwendung_der_lsva.htm.
- Walter, F. (2004). publifocus Road Pricing. Bern, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung (TA SWISS).
- Wilson, C., H. Dowlatabadi (2007). "Models of Decision Making and Residential Energy Use." *Annual Review of Environment and Resources* **32**: 169-203.
- Wirl, F. (1997). *The economics of conservation programs*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- WWF (2008). "Für Geräte: Top Ten! Klimafreundliche Produkte." Abgerufen am 27. Dezember 2008, von http://www.wwf.ch/de/tun/tipps_fur_den_alltag/gerate_lampen/topten/index.cfm.
- Zein-Elabdin, E. O. (1997). "Improved stoves in Sub-Saharan Africa: the case of the Sudan." *Energy Economics* **19**(4): 465-75.

ETH Zurich
Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
Universitaetstrasse 22
8092 Zurich
SWITZERLAND

Phone +41 44 632 58 92
www.nssi.ethz.ch/res/

Analysis of potential direct rebound effects associated with hybrid Lexus RX400h

Rebound Research Report 5

Zurich, 31 Mar 2009
JD, PdH

<p>ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich École polytechnique fédérale de Zurich Scuola polytechnica di Zurigo</p> <p>Institute for Human-Environment Systems: Natural and Social Science Interface CH-8093, Universitätstrasse 12, Zürich</p> <p>Umfrage zum Lexus RX400h</p> <p>Vorien Danke, dass Sie sich Zeit nehmen, diesen Fragebogen auszufüllen!</p> <p>Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Der Fragebogen richtet sich an diejenige Person in Ihrem Haushalt, welche den RX400h meistens fährt/reisen wird. > Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen, welche beim Beschaffungsentscheid hilfreichend war. > Die ETH Zürich kennt wieder ihre Namen auch ihre Adresse! Ihre Angaben bleiben destruktiv strikt anonym. > Die ETH Zürich wird diese Daten nur für die wissenschaftliche, nicht-kommerzielle Forschung und Lehre verwenden. > Bitte mit dem beiliegenden Antwortzettel auf die an ETH Zürich, HES-NSSI, CH-8093, Universitätstrasse 12, Zürich <p>A. Fragen zum Einsatz ihres Autos</p> <p>1. Wenden Sie den Lexus RX400h persönlich/familie oder haben Sie im Namen einer Firma/Organisation/Institution den Beschaffungsentscheid für andere Nutzer/Innen gefällt? □ ja, ich handle persönlich <input type="checkbox"/> □ nein, ich habe nur den Beschaffungsentscheid gefällt.</p> <p>2. Wann haben Sie den RX400h beschafft? Jahr _____ Monat _____ Wann wurde der RX400h erworben? Jahr _____ Monat _____</p> <p>3. Wie haben Sie Ihren RX400h erworben? □ Leasing <input type="checkbox"/> □ Kredit <input type="checkbox"/> □ Barzahlung</p> <p>4. Zu welchem Zweck verwenden Sie den RX400h? (Nur 1 Antwort) □ Fahrt zur Arbeit/Ausbildung <input type="checkbox"/> □ Einkauf/Besorgungen <input type="checkbox"/> □ Taxi-Dienste* für Kinder, Betagte, usw. <input type="checkbox"/> □ Geschäftsaufentnahmen <input type="checkbox"/> □ Freizeit <input type="checkbox"/> □ andere Zwecke <input type="checkbox"/></p> <p>5. Wird/wurde für den RX400h ein Vorgängerauto verkauft, eingeschaut oder abgestossen? Falls ja, welches?</p> <table border="1"> <tr> <td>Marke</td> <td>Modell</td> <td>Motorengruppe</td> <td>Typ* (In Litri)</td> <td>Jahr</td> <td>Schaltung</td> <td>Beugerkilometerstand</td> </tr> <tr> <td>Merke</td> <td>Modell</td> <td>Autogruppe</td> <td>Stoff</td> <td>Jahrgang</td> <td>Autoschaltung</td> <td>Kilometerstand</td> </tr> <tr> <td>Merke</td> <td>Modell</td> <td>Autogruppe</td> <td>Stoff</td> <td>Jahrgang</td> <td>Autoschaltung</td> <td>Kilometerstand</td> </tr> <tr> <td>Merke</td> <td>Modell</td> <td>Autogruppe</td> <td>Stoff</td> <td>Jahrgang</td> <td>Autoschaltung</td> <td>Kilometerstand</td> </tr> </table> <p>Wie viel ist dieses Vorgängerauto in den letzten 12 Monaten vor dem RX-Kauf gefahren? ca. _____ km</p> <p>6. Gibt es in Ihrem Haushalt (oder in Ihrer Firma) weitere Fahrzeuge außer dem RX400h? Falls ja, welche? (nur Autos von Lebewesen, in, nach zu Hause/Mietwohnung/Arbeitsort und weitere Fahrzeuge von Lebewesen)</p> <table border="1"> <tr> <td>Marke</td> <td>Modell</td> <td>Motorengruppe</td> <td>Typ* (In Litri)</td> <td>Jahr</td> <td>Schaltung</td> <td>Beugerkilometerstand</td> </tr> <tr> <td>Merke</td> <td>Modell</td> <td>Autogruppe</td> <td>Stoff</td> <td>Jahrgang</td> <td>Autoschaltung</td> <td>Kilometerstand</td> </tr> <tr> <td>Merke</td> <td>Modell</td> <td>Autogruppe</td> <td>Stoff</td> <td>Jahrgang</td> <td>Autoschaltung</td> <td>Kilometerstand</td> </tr> <tr> <td>Merke</td> <td>Modell</td> <td>Autogruppe</td> <td>Stoff</td> <td>Jahrgang</td> <td>Autoschaltung</td> <td>Kilometerstand</td> </tr> <tr> <td>Merke</td> <td>Modell</td> <td>Autogruppe</td> <td>Stoff</td> <td>Jahrgang</td> <td>Autoschaltung</td> <td>Kilometerstand</td> </tr> </table>	Marke	Modell	Motorengruppe	Typ* (In Litri)	Jahr	Schaltung	Beugerkilometerstand	Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand	Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand	Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand	Marke	Modell	Motorengruppe	Typ* (In Litri)	Jahr	Schaltung	Beugerkilometerstand	Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand	Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand	Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand	Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand	<p>ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Natural and Social Science Interface Nachbefragung KäuferInnen Lexus RX, Seite 1 von 2</p> <p>Änderungen beim Autobesitz Ihres Haushaltes</p> <p>1. Im Juni 2006 haben Sie uns auf die Frage nach allen Autos Ihres Haushaltes folgende Fahrzeuge genannt: → Bitte geben Sie uns auf jeder Fahrzeug, ob es noch im Haushalt vorhanden ist oder nicht. → Bitte geben Sie ausserdem den heutigen Stand des Kilometerzählers dieser Fahrzeuge an (falls das Fahrzeug nicht mehr vorhanden ist, so geben Sie bitte den letzten Km-Stand an)</p> <table border="1"> <tr> <td>Marke und Modell, Baujahr (Wk bestellt oder geliefert)</td> <td>Jahr 2006</td> <td>Haushalt?</td> <td>Km-Stand heute*</td> </tr> <tr> <td>Auto-Nr. 1</td> <td>Lexus RX400h, ausgeliefert Apr. 2006</td> <td>400</td> <td>□ ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Auto-Nr. 2</td> <td>Mercedes-Benz A-Klasse, Baujahr 2001</td> <td>47500</td> <td>□ ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <p>* falls das Fahrzeug verkauft/Anhänger gegeben/herschrottet wurde, bitte den letzten Km-Stand angeben.</p> <p>2. Sind in Ihrem Haushalt seither (seit Juni 2006) weitere Autos dazugekommen? □ nein <input type="checkbox"/> ja, und zwar von Personen, die in derselben Wohnung leben, jedoch einen gemeinsamen Haushalt.</p> <p>Auto A, das seit Juni 2006 dazugekommen ist:</p> <table border="1"> <tr> <td>Marke</td> <td>Modell</td> <td>Motorengruppe</td> <td>Typ* (In Litri)</td> <td>Schaltung</td> <td>Beugerkilometerstand</td> <td>Wann gekauft?</td> </tr> <tr> <td>a)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>a) Km-Stand bei Kauf/Übernahme: _____ Km-Stand heute: _____</p> <p>□ Hat dieses Auto ein Vorgängerauto ersetzt? <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, und zwar aus obiger Liste Auto-Nr. _____</p> <p>Auto B, das seit Juni 2006 dazugekommen ist:</p> <table border="1"> <tr> <td>Marke</td> <td>Modell</td> <td>Motorengruppe</td> <td>Typ* (In Litri)</td> <td>Schaltung</td> <td>Beugerkilometerstand</td> <td>Wann gekauft?</td> </tr> <tr> <td>b)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>b) Km-Stand bei Kauf/Übernahme: _____ Km-Stand heute: _____</p> <p>□ Hat dieses Auto ein Vorgängerauto ersetzt? <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja, und zwar aus obiger Liste Auto-Nr. _____</p> <p>Anmerkungen: _____ _____ _____</p> <p>Herzlichen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!</p>	Marke und Modell, Baujahr (Wk bestellt oder geliefert)	Jahr 2006	Haushalt?	Km-Stand heute*	Auto-Nr. 1	Lexus RX400h, ausgeliefert Apr. 2006	400	□ ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	Auto-Nr. 2	Mercedes-Benz A-Klasse, Baujahr 2001	47500	□ ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	Marke	Modell	Motorengruppe	Typ* (In Litri)	Schaltung	Beugerkilometerstand	Wann gekauft?	a)							Marke	Modell	Motorengruppe	Typ* (In Litri)	Schaltung	Beugerkilometerstand	Wann gekauft?	b)						
Marke	Modell	Motorengruppe	Typ* (In Litri)	Jahr	Schaltung	Beugerkilometerstand																																																																																																		
Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand																																																																																																		
Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand																																																																																																		
Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand																																																																																																		
Marke	Modell	Motorengruppe	Typ* (In Litri)	Jahr	Schaltung	Beugerkilometerstand																																																																																																		
Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand																																																																																																		
Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand																																																																																																		
Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand																																																																																																		
Merke	Modell	Autogruppe	Stoff	Jahrgang	Autoschaltung	Kilometerstand																																																																																																		
Marke und Modell, Baujahr (Wk bestellt oder geliefert)	Jahr 2006	Haushalt?	Km-Stand heute*																																																																																																					
Auto-Nr. 1	Lexus RX400h, ausgeliefert Apr. 2006	400	□ ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>																																																																																																					
Auto-Nr. 2	Mercedes-Benz A-Klasse, Baujahr 2001	47500	□ ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>																																																																																																					
Marke	Modell	Motorengruppe	Typ* (In Litri)	Schaltung	Beugerkilometerstand	Wann gekauft?																																																																																																		
a)																																																																																																								
Marke	Modell	Motorengruppe	Typ* (In Litri)	Schaltung	Beugerkilometerstand	Wann gekauft?																																																																																																		
b)																																																																																																								

Preferred citation style:

Dickinson J, de Haan P., 2009. Analysis of potential direct rebound effects associated with hybrid Lexus RX400h. Rebound Research Report Nr. 5. ETH Zurich, IED-NSSI, report EMDM1472, 39 pages. Download: www.nssi.ethz.ch/res/emdm/

© 2009 ETH Zurich, IED-NSSI, Switzerland.
All rights reserved.

For further information please contact:

ETH Zurich, Dept. of Environmental Sciences
Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
Universitaetstrasse 22, CHN J73.2
8092 Zurich
Switzerland

Tel. +41-44-632 58 92 (secretariat)
Fax. +41-44-632 29 10
www.nssi.ethz.ch/res/emdm/

Author contact:

Peter de Haan
dehaan@env.ethz.ch
www.nssi.ethz.ch/people/staff/pdehaan
+41-44-632 49 78

Table of contents

Abstract.....	5
1 Introduction.....	7
2 Rebound effects with hybrid vehicles.....	9
2.1 Rebound effect theory	9
2.2 Research questions.....	10
3 Hybrid electric vehicles and the Lexus RX400h	13
4 Survey.....	15
4.1 Design of the mail-back surveys.....	15
4.2 Characterization of RX400h owners	16
4.3 Statistical testing	16
4.4 Testing survey data with SPSS.....	17
5 Results.....	19
5.1 DRE1: Car size rebound effect.....	19
5.2 DRE2: Increase in car ownership.....	22
5.3 DRE3: Vehicle kilometer rebound effect.....	24
5.4 Testing Kurani's 'household shift' observation	24
5.5 Analysis of income groups	25
5.6 Analysis of intended vehicle kilometers.....	25
5.7 Comparison of kilometric performance with the previous year	26
5.8 Analysis of payback time for surplus purchasing price of the RX400h.....	26
6 Discussion.....	27
7 Conclusions.....	29
8 References	31
Appendix	33

Abstract

Hybrid power trains are considered to be a promising technology to decrease fuel consumption of passenger cars. However, the introduction of more efficient technology is often accompanied by rebound effects, which counteract the potential positive effect of increased efficiency. Three kinds of direct rebound effects could possibly occur when buying hybrid cars: (1) people could tend to switch from small and/or already fuel-efficient cars to the new hybrid car, (2) the average vehicle ownership could increase, if the hybrid car is often purchased without disposing of an already owned vehicle, and (3) the number of miles driven could increase. This study investigates whether these potential direct rebound effects can be empirically observed in the case of the second-most sold hybrid vehicle in Switzerland, the Lexus RX 400h. Two groups of Lexus vehicle owners serve as experimental and control group: owners of the Lexus gasoline-electric hybrid RX400h and of the conventional internal combustion engine Lexus RX300. The data needed for the purpose of these investigations were obtained through two mail-back surveys with a time interval of roughly one year (return rates: 43% and 71%, respectively). Most importantly, two consecutive odometer readings for all cars in the respective households were collected, allowing the computation of vehicle kilometers traveled by all vehicles in the household. Regarding the switch from the previously owned car to the new bought Lexus RX, buyers of hybrid Lexus RX400h do not exhibit an increase in car size compared to the control group, so the first potential rebound effect is not present. On the contrary, despite the 165 kg extra weight of the hybrid power train, hybrid car buyers only have an additional increase in car weight 95 kg compared to the control group. While the difference in rated CO₂ emissions between hybrid RX400h and conventional RX300 is 92 g CO₂/km, the observed difference between the two groups even is 20% larger at 109 g CO₂/km. The second possible direct rebound effect, increase in car ownership, cannot be confirmed as on differences between the experimental and the control group in car transaction and car ownership can be detected. The third possible direct rebound effect has not been observed either: People driving the RX400h do not drive more kilometers than purchasers of the RX300, neither with respect to all household vehicles nor when regarding the hybrid vehicle alone, i.e. no vehicle kilometer rebound effect could be found. In conclusion, at present hybrid electric vehicles can rightly be considered a technology effective in lowering overall CO₂ emissions. Hence socio-psychological rebound effects could not be detected for the investigated Lexus RX, being a crossover SUV.

Keywords

Hybrid cars, hybrid electric vehicle, direct rebound effect, fuel consumption, energy conservation, kilometric performance, energy-efficiency, socio-psychological rebound, consumer behavior

1 Introduction

Hybrid electric vehicles (HEV) are widely considered one of the most viable alternative propulsion systems to help reduce fuel usage and decrease CO₂ and other emissions in cars. An increasing number of car manufacturers produce hybrid vehicles (Toyota, Lexus, Honda, amongst others) or are developing hybrids that will enter the market in the coming years. Currently, the Swiss automobile market is dominated by cars with gasoline and diesel powered internal combustion engines (ICEs), while HEVs make up approx. 1.1% of Swiss car sales in 2007 (auto-schweiz, 2008). To help promote the market entry of HEVs, many cantons in Switzerland offer tax breaks for such vehicles, and further incentive schemes are being examined on a federal level.

The introduction of more efficient technologies is often accompanied by rebound effects, which counteract the positive effect of increased efficiency. To ensure that state-sponsored energy conservation measures are effective, the occurrence of a strong rebound effect must be ruled out. Three kinds of direct rebound effects could possibly occur when buying hybrid cars: (i) people could tend to switch from small and/or already fuel-efficient cars to the new hybrid car, (ii) the average vehicle ownership could increase, if the hybrid car is often purchased without disposing of an already owned vehicle, and (iii) the number of miles driven could increase. Previous studies (de Haan et al., 2007, 2006c, 2006b, 2006a) have determined that for the most-sold hybrid vehicle in Switzerland, Toyota Prius, rebound effects occur neither for vehicle size nor for vehicle ownership. The Toyota Prius survey however did not allow testing for the occurrence of a direct rebound effect in the amount of kilometers driven.

The original Toyota Prius survey design has been improved and extended for the investigation of the second-most sold hybrid electric vehicle, Lexus' RX400h. Two surveys were sent out (April 2006 and July 2007) to Swiss owners of the Lexus RX400h and the otherwise identical, conventional internal combustion engine non-hybrid RX300, which serve as the control group. The surveys were anonymous, but unique identifiers allowed collecting, and matching, odometer readings of all the cars in the surveyed households at the times of the two surveys. This enabled us to compute kilometers traveled in those 15 months both for the hybrid vehicle and for the total household car fleet.

The aim of this report is thus to analyze the occurrence of all three direct rebound effects possibly associated with the purchase of hybrid Lexus RX400h: (i) possible increase in car size; (ii) possible increase in car ownership; and (iii) possible increase in mileage. With the improved survey design, for the first time we are able to gain insight into the previously unexamined rebound effect regarding the amount of kilometers driven. This will further establish whether hybrid vehicles should rightly be considered a technology effective in lowering overall CO₂ emissions in the Swiss population.

1. Introduction

2 Rebound effects with hybrid vehicles

2.1 Rebound effect theory

Energy conservation measures often rely on new technologies that use less energy resources to produce the same amount of services (e.g. transport, heating, entertainment, etc.) for the user. These energy efficient technologies lead to lower fuel costs during operation. When trying to anticipate the overall energy savings due to a particular new technology, it is important to consider changes in the demand of these services as a (direct or indirect) result of the increased energy efficiency. I.e., the enhanced energy efficiency of a given new technology has ancillary effects that may mitigate or even completely compromise the intended energy savings effect. For example, if the energy efficiency of a car is increased by technological innovations, 100km can be driven with less fuel and hence at a lower cost. This lower cost could have the consequence that people drive more and longer because mobility has become cheaper.

The diminishing factor that can be present in energy conservation measures is called the rebound effect. It is important to distinguish energy use effects that should not be assigned to the rebound effect, e.g. increases in fuel demand due to economic growth (Saunders, 2000).

Three levels of rebound effects are generally distinguished: direct effects, indirect effects and macro-level effects (Berkhout et al., 2000). These shall be presented in the following paragraphs.

The direct rebound effect (DRE) is also called own price effect. It is a first-order effect which stands for increased demand for the same service, e.g. because the service has become cheaper (Berkhout et al., 2000; de Haan et al., 2007). The service that is more resource-conserving because of increased energy-efficiency is being demanded more than when less efficient technology was used. The DRE can be computed simply as the difference between calculated savings and actual savings. The calculated savings are determined by the jump in energy efficiency due to new technology and would be generated applying the *ceteris paribus* assumption, i.e., assuming that service demand remains the same (de Haan, Mueller et al., 2006). The actual savings can be obtained by measurement or observation.

The indirect rebound effect, also called secondary rebound effect, can occur due to more money (i.e. purchasing power) or more time becoming available through the use of higher-efficiency energy technologies (de Haan et al., 2007). When demand for other fuel-consuming services increases due to the increased efficiency, one speaks of an indirect rebound effect.

The macro-level rebound effect, also called economy-wide or tertiary rebound effect is a structural effect on larger parts of the economy due to changed demand, production and distribution patterns (de Haan et al., 2007). The first- and second-order effects (direct and indirect rebound effects) induce a shift of individual household and company spending patterns which in turn alter the pattern of sales in the production sector. This large-scale structure effect has consequences for energy demand resulting in either positive or negative net energy use (Berkhout et al., 2000). Looking at macro-level effects in neo-classical growth terms, the source of rebound is twofold. First, a fuel efficiency gain increases the attractiveness of fuel relative to other production factors needed for production (capital, labor) which leads to the increased substitution of the latter by the use of fuel. Second, fuel efficiency gains can be assumed to increase overall economic output. This increased economic activity then drags up fuel use, because economic growth

and fuel use are very closely linked in today's economies (Saunders, 2000). The macro-level rebound effect is almost impossible to quantify (de Haan, Mueller et al., 2006).

types of increased demand ↓		causal mechanisms for rebound →	economic rebound	socio-psychological rebound	regulatory rebound
Saunders 2000	Sorrel 2007	→	\$	Ψ	§
direct rebound	direct rebound (income/output eff.)		increased demand for the same good or service (Saunders 2000) income/output effects (Sorrel 2007)		
indirect rebound	direct rebound (substitution eff.)		increased demand for other goods/services (Saunders 2000) substitution effect (Sorrel 2007)		
macro-level rebound	indirect rebound		adaptation of production system to new demand patterns (Saunders 2000) secondary and grey energy effects (Sorrel 2007)		
<i>Holds for resource rebound effects in general, in special for energy rebound (increased demand due to increased energy-efficiency) and time rebound (increased demand due to increased time-efficiency)</i>					

Table 1. Differentiation of total observable rebound effect according to different types of increased demand, both in the Saunders (2000) and Sorrel (2007) categorizations, and according to different causal mechanisms.

2.2 Research questions

The following three direct rebound effects are conceivable when more fuel-efficient cars enter the market (de Haan, Mueller et al., 2006; de Haan et al., 2007).

Increase in car size (DRE1). Households purchasing the new fuel-efficient vehicle may substitute a smaller lighter car for a larger hybrid car because its operational costs will be comparable to cars which are smaller in size and weight. This purchasing behavior would constitute a direct rebound effect to the potential fuel-savings associated with hybrid power train technology. It is only considered rebound if it exceeds the current market trend behavior of buying ever larger cars.

Increase in average household vehicle ownership (DRE2). The (cost-saving) advantages of the HEV may encourage a household to increase its vehicle fleet by buying the hybrid vehicle. In this case the HEV has caused more vehicles to be produced, than if the hybrid had not entered the market. Every vehicle accounts for energy use in its production. An increase in vehicle ownership in a household would therefore constitute the occurrence of the second possible rebound effect.

Increase in kilometers traveled (DRE3). Due to its more efficient power train, the operational costs of an HEV are lower compared to another car of comparable weight and power. The most intuitive rebound effect therefore is the increased use of the hybrid vehicle compared to its precursor. I.e. more kilometers may be driven in the hybrid car, than with a similar car without hybrid technology. This would constitute the third possible rebound effect: an increase in kilometers traveled.

DRE 1 through 3 could occur due to a variety of possible rebound drivers. These include cost saving, time saving and socio-psychological cost of ownership (see de Haan, Mueller et al. (2006) for a detailed introduction, especially regarding DRE1 and DRE2). A discussion of possible drivers for DRE3 follows hereafter.

One of the goals of this report is to establish whether a direct vehicle kilometer rebound effect (DRE3) is measurable for the RX400h vehicles and for the complete household vehicle fleets, comparing Swiss RX400h owners with the control group consisting of Swiss Lexus RX300 purchasers. In case a DRE3 can be identified, it shall be quantified as a percentage of rebound. Furthermore, a more comprehensive test of a CO₂ rebound in all household vehicle fleets shall follow any occurrence of DRE3 found. It is conceivable that a rebound for the RX400h or even for the household fleet can occur without the total CO₂ emissions increasing, because the HEV might be used more in place of other less fuel-efficient cars in the household.

The rebound effect has been studied in the field of energy economics for decades. The principle goal is to improve the economic models to better describe what rebound effects will take place on the introduction of any new energy- or resource-saving technology. Being able to predict the rebound effects that will occur would be especially useful in supporting economic policy decisions; case in point being possible tax cuts or other subsidies for hybrid vehicles. Policy measures that aim at lowering energy use could be made more effective by knowing in detail where to best implement such policies, viz. by subsidizing technologies which are expected to show the lowest degree of rebound. The rebound effect has a sound theoretical basis; however, its magnitude and importance for any specific technology and application are an empirical question (Saunders, 2000). A number of factors need to be better constrained, e.g. the substitution and fuel elasticity (Binswanger, 2001). Empirical results in a wide range of applications are needed to better understand the rebound effect and to better predict its occurrence for any specific technology introduction.

It has been suggested, based on theoretical and semi-empirical econometric studies on the subject, that a rebound effect will be present in the transport sector (Binswanger, 2001; Greening et al., 2000). Binswanger (2001) cites various studies that have established vehicle kilometer rebound effects (DRE3) ranging from 5% to 51% based on regression models that use time series of energy prices and estimated constant price elasticities of service demand to derive rebound intensity. These results must be viewed with care, though, as they don't arise from direct observation. A number of recent studies (Altorfer et al., 2006; de Haan, Mueller et al., 2006; Minder, 2006) have investigated various direct rebound effects for two hybrid vehicles in the Swiss market: Toyota Prius 2 and the Lexus RX400h. The results of these studies are all similar. Neither the first nor the second direct rebound effect (DRE1 and DRE2) could be detected in either of the two hybrid vehicles investigated. In fact, for both the Prius 2 and Lexus RX400h vehicles, the average increase in vehicle curb weight was slightly (not significantly) lower for the hybrid vehicle buyers than for the respective control groups representing similar vehicles with conventional ICEs. I.e. on average, hybrid car buyers seem not to switch from small, already fuel-efficient cars to new larger hybrid cars and they seem not to expand their household vehicle fleets by adding the new hybrid vehicles (but instead replace an old car with the new hybrid vehicle).

Qualitative studies by Kurani (2008) have established that households display a shift from other household vehicles to the HEV, i.e. the HEV is used more while other vehicles in the households are used less; this behavior would manifest itself as a DRE3 for the HEV. Yet to date, no quantitative empirical research is known to have been carried out on the third direct rebound effect (DRE3). The reason is probably to be found in the complexity and detail involved in acquiring the necessary data (de Haan, Peters et al., 2006). This study aims to provide the first empirical research results for this possible effect accompanying the market introduction of hybrid vehicles: the vehicle kilometer rebound effect (DRE3).

There are various conceivable drivers for the DRE3. The first possible driver is that of lower operating costs, i.e. because the hybrid technology reduces fuel use and its costs, the owners of hybrid cars might use the car in situations they may not have otherwise. Additionally, RX400h owners may want to "earn back" the price premium paid for the hybrid technology (CHF 6'650), which can only be achieved by driving the car a substantial amount (see section 5.8). The evaluation of the first mail-out survey had established that the owners of the RX400h were quite aware of its fuel saving nature and indicated that this fact was vital in choosing this hybrid automobile: Among 12 possible purchasing criteria, fuel usage ranked first among RX400h purchasers, whereas it ranked last among RX300 purchasers (Altorfer et

al., 2006). Therefore an important precondition for the rebound driver of lower operating cost is indeed met, viz. the awareness of fuel and cost saving property of the hybrid vehicle. The above stated awareness of RX400h owners could however simply encourage them to substitute driving the RX400h for more fuel consuming cars, as observed by Kurani (2008), yet this would not lead to a rebound on the household level.

Altorfer et al. (2006) also determined, however, that owners of the RX400h did not intend to drive more on average in the 12 months after purchase than the RX300 owners, despite their explicit awareness of the fuel saving advantages of the hybrid vehicle. According to this data, the possible rebound driver of lower operating costs is not in effect. The reason for this may be found in the income class of RX400h customers: The 'crossover' vehicle RX400h with a purchase price of CHF 85'900 is almost in the class of luxury vehicles. Therefore, saving money can be assumed not to be a high priority for these customers. But as mentioned above, there are further possible drivers for the DRE3.

As postulated by de Haan et al. (2007), a direct rebound effect should be expected for the RX400h in particular (as opposed to other hybrid vehicles) because of the possibly large decrease in the socio-psychological cost of ownership. This suggested driver emanates from the assumption that big, highly fuel-consuming cars (a.k.a. 'gas guzzlers') attract disapproval from surrounding friends, family and neighbors. The case studies of Heffner (2007) provide some anecdotal evidence for this assumption. Altorfer et al. (2006) point out that the cars owned previously to the RX400h were of similar size: large heavy vehicles. The hybrid technology may significantly increase outside approval of these large cars, despite its fuel use still being higher than the average car owned in Switzerland. Because of the strong social disapproval of the RX400h vehicle class to begin with, the relative difference in social perception between the non-hybrid and hybrid vehicles will be biggest for this vehicle class, i.e. the decrease in socio-psychological cost of ownership can assumed to be large for this vehicle.

The decrease in socio-psychological cost of ownership may not have been foreseen by the respondents when they filled out the first survey stating that they did not intend to drive the RX400h more than previous cars. This rebound driver may only have its effect after the owners of the hybrid vehicle experience their peers' (positive) reactions over time. Further, as mentioned earlier, the driver of lower operating costs only has rational justification for large amounts of annual vehicle kilometers (see section 5.8). Therefore we postulate that if a rebound effect is found, it is due to the socio-psychological effect mentioned earlier. Relating to this assumption I shall further explore the relationship of intended vehicle kilometers and the previous year's vehicle kilometers (indicated in the 2006 survey) with actual kilometric performance of the respective RX vehicle owners.

There is another reason, however, why a rebound may not occur despite the rebound driver introduced above. Each model of the RX400h is equipped with a real-time display which shows the person driving in real-time how energy is being allocated, where it is coming from and when energy is being used or regained. It also provides a quick overview of how much fuel was consumed and whether the driving style was fuel-efficient or not. The heightened awareness of RX400h owners for the resource use associated with driving mustn't be underestimated and may counteract the psychological rebound driver mentioned earlier. In fact, this driver could even lead to a reduction in the number of vehicle kilometers driven for all vehicles in the household. We also investigate how many years it takes an average RX400h owner to save as much money in fuel savings as was spent extra at purchase compared to the RX300.

3 Hybrid electric vehicles and the Lexus RX400h

HEVs can be classified into three categories according to their degree of hybridization: stop-start HEV, mild HEV and full HEV (Bitsche et al., 2004). The battery in stop-start HEVs, with some potential to regain energy by regenerative braking, is only used to supply the necessary power while the ICE is shut off (when not needed, e.g. at a traffic light); the only source of propulsion power is the ICE. In a mild hybrid vehicle, the electric system is expanded by an electric motor (42V) running in parallel with the ICE during acceleration of the vehicle. Full HEVs allow for total flexibility in battery power allocation in order to run the parallel ICE-HEV system most efficiently at all times. The battery in full HEV (300V) is capable of powering the car's propulsion on its own.

Compared to conventional ICE vehicles, full HEVs effectively save energy and substantially reduce fuel consumption in a number of ways (Brahma et al., 2000; Chau et al., 2002):

- No engine idling: When the vehicle does not need propulsion energy the engine is always turned off. It can be turned on instantaneously when needed.
- Recuperation of braking energy: When the vehicle brakes to slow down, the kinetic energy of the vehicle is used as a power source to load the batteries, thus recycling energy that would otherwise be lost as heat in the brake pads. This makes HEVs especially efficient in stop-and-go traffic.
- Additional degree of freedom: The power demand of the driver can be satisfied by splitting between thermal and electrical paths to always be the most energy efficient.
- Maximization of engine operation in its peak efficiency area: In many driving situations the engine can be run at RPM and torque values that are most fuel efficient while the electrical motors take over the rest of the power needed, or load the battery with excess power, depending on the given situation. Furthermore, small fluctuations in acceleration are handled by the electrical motor, letting the ICE run smoothly and constantly to conserve fuel.
- Smaller ICE: The size and power of the ICE is generally determined by the acceleration power that customers demand. Because the electric drive system provides a large amount of power to accelerate the car, the ICE can be substantially downsized, reducing inefficiencies from underutilization of the engine.
- Efficiency of the electric system: Electric motors and batteries operate with very high efficiency.

The Lexus RX vehicle line was first introduced in 1997 with the RX300, while the RX400h has been on the market since 2005. The RX400h and the Lexus RX300 use the same body design of a crossover SUV and have many of the same specifications. The main difference lies in the drive train: The RX300 uses only a V6 gasoline ICE with 150 kW (204 hp), while the full hybrid RX400h has an all-wheel 'Lexus Hybrid Drive' drive train which combines a similar V6 gasoline ICE with 2 electrical motors (for front and rear wheels), achieving a total combined power of 200 kW (272 hp). The RX400h uses the display of the GPS system to show the driver real-time details on the operation of the hybrid technology, such as direction of energy flow, motors running, battery charge and fuel usage (mileage) for each trip. Both vehicles have been re-launched in the meantime as new versions: The RX350, released in 2007, and the RX450h, which will be released in the US in 2009 (Evans, 2008). See Table 1 for more details on the differences of these vehicle's specifications.

Table 2. Comparison of Lexus RX300 and RX400h specifications (Lexus, 2005a, 2005b). *CVT = electronically controlled continuously variable transmission. **See text for methodology used to compare purchasing prices of RX300 and RX400h.

specifications	Lexus RX300	Lexus RX400h
motor	V6 Gasoline ICE	V6 Gasoline ICE & 2 electric motors
transmission	4-wheel drive automatic	dynamic 2- and 4-wheel E-CVT*
motor power	150 kW (204 hp)	200kW (272 hp) total
fuel consumption	12.2 l/100km	8.1 l/100km
CO₂ emissions	288 g CO ₂ /km	192 g CO ₂ /km
vehicle weight	1835 kg	2000 kg
acceleration 0-100 km/h	9.0 sec	7.6 sec
sales price**	CHF 79'250	CHF 85'900

The RX400h was sold in 2006 with far fewer options than the RX300. The purchase price of the RX300 therefore was corrected for the various components that were included in every RX400h but were optional in the RX300. We started with the specifications of the basic RX400h model and listed every included component quoted on the sales brochure of the RX400h (Lexus, 2005b). We then compared this list with the sales brochure of the RX300 and added the prices of all optional components that came as standard with the RX400h to the price of the RX300 (Lexus, 2005a). The analogous version of the RX300 had the following setup: Lexus RX300 class 'edition' with the optional components 'Power-Package' and 'GPS navigation system'. The RX400h cost CHF 85'900, while the RX300 with analogous components had a price of CHF 79'250. The price difference between comparable versions of the RX400h and RX300 therefore amounted to CHF 6'650.

4 Survey

4.1 Design of the mail-back surveys

The data needed for the purpose of these investigations were obtained with two mail-back surveys, conducted in collaboration with Lexus Switzerland who supplied and managed the addresses of Lexus customers. The first comprehensive survey was sent out in April 2006 to two groups of Lexus customers in German and French speaking Switzerland: those who bought the hybrid Lexus RX400h (the experimental group) and purchasers of the Lexus RX300 (the control group). The Italian speaking part of Switzerland was omitted from these surveys for cost-benefit reasons: the resulting sample size would have been too small. 746 surveys were sent out with a return rate of 43%, i.e. the sample consisted of 195 (RX400h) and 123 (RX300) cases (Altorfer et al., 2006). This survey covered many areas of interest including car usage, purchasing decision criteria, sociodemographic data, traffic behavior and more. As part of this first survey, the odometer readings of all the cars owned by the survey participants were recorded. To take a look at the full questionnaire, see Altorfer et al. (2006).

Roughly 15 months later, in July 2007, a one-page follow-up survey was sent out to the Lexus customers who had agreed to participate in a follow-up survey (RX400h: 181, RX300: 106). 205 of the total 287 follow-up surveys sent out were filled out and sent back, yielding an exceptional return rate of 71% (see Table 3 for more details). This follow-up survey allowed for the collection of odometer readings for all the cars in the respective households for the successive year. By using a unique code for each household participating in the two surveys, we gathered two odometer readings of the same cars in the same households in two consecutive years. Final odometer readings of cars disposed of and original odometer readings of new cars acquired since the first survey were also recorded. This data forms the basis for the investigation of the occurrence of the third possible DRE: the vehicle kilometer rebound effect. Notice that all odometer data is recorded for a time frame of approx. 15 months (between April 2006 and July 2007). The complete follow-up survey questionnaire can be viewed in the Appendix.

Table 3 Sample of 2007 follow-up survey

RX400h	Sent out	Returned	Return rate
RX400h total	181	143	79%
RX300 total	106	62	58%
Overall total	287	205	71%

4.2 Characterization of RX400h owners

Altorfer et al. (2006) provide us with some information about the purchasers of these two Lexus vehicles in Switzerland. See Table 4 for an overview of the differences in RX purchasers' characteristics and behavior. Considering age, education and gender the differences that can be found between purchasers of the RX400h and RX300 are marginal. However RX400h owners do earn a slightly higher income on average, as can easily be explained by the higher cost of the Lexus RX400h. Further, RX400h owners attribute higher importance to fuel usage than do owners of the RX300 and they indicate fuel cost to be an important factor in their purchasing decision, but they do not intend to drive significantly more kilometers than RX300 owners. The most striking difference between the two groups of Lexus owners is found in their willingness to adopt new technologies as described by Rogers (2003). Most owners of the RX400h can be assigned to the category of 'early adopters' with a few even belonging to the 'innovators'. Owners of the RX300 belong to the 'late majority' or 'laggards', i.e. they are among the last 10% to buy a car with new technology (Altorfer et al., 2006).

Table 4 The owners of the Lexus RX series in Switzerland in April 2006.

	Lexus RX300	Lexus RX400h
Characteristics		
Gender	86.6% male	88.2% male
Average age	53.8 years	55.6 years
Education	Vocational education, Technical college, University	Mostly university degree
Monthly income	50% over CHF 14'000	>60% above CHF 14'000
Behavior		
Intended use for RX	Mostly leisure	Mostly leisure
Selling point	Security	Fuel usage
Technology adoption category	Late majority, laggards	Early adopters, innovators

4.3 Statistical testing

We have two groups of samples, the experimental group consisting of RX400h customers and the control group consisting of RX300 customers. To detect a rebound in vehicle kilometers in RX400h purchasers, their average kilometric performance is compared to a control group with similar characteristics, namely RX300 purchasers. I assume, therefore, that a lack of rebound for the hybrid technology in the RX400h would express itself as an identical average of vehicle kilometers driven in both sample groups, while a significantly differing average would point to the occurrence of the DRE3. By using a control group which is very similar in characteristics to the experimental group, we avoid many possible external effects (apart from differing power train technology) arising from differences in vehicle class, design and price. To statistically test the differences in average kilometric performance, T tests for two independent samples are conducted. If they yield significant results (i.e. if the null hypotheses mentioned in section 2.2 can be discarded), a DRE3 is prevalent or vice versa. These tests are performed (1) for the RX vehicle only, (2) for the complete vehicle household fleet and (3) for the household vehicle fleet excl. the Lexus RX vehicles.

Further testing with the T test shall be conducted with various subgroups of the sample according to income and the amount of household vehicles owned. To investigate on the motivators for more or less kilometers driven with the

RX400h, the amount of kilometers RX owners intend to drive (indicated in the 2006 survey) shall be compared to the actual kilometric performance of the respective RX vehicles, differentiating between the owners of the RX300 and RX400h. For this purpose, the observed kilometric performances must be adapted from a 15 month to a 12 month time frame by multiplying them by a factor of 0.8.

With this method and the sample sizes given for the various statistical tests conducted, a DRE₃ that occurs in reality can only be determined in the sample groups if it is of large enough magnitude, i.e. if the averages in the sample groups differ by a large enough margin. Using the program G*Power, it is possible to investigate how large the rebound effect would have to be in reality, for a significant result to appear in the test setups used for the various statistical tests (Faul et al., 2007). This enables an estimation of the range in which the rebound effect truly lies, even if results of the T tests are non-significant. A statistical power ($1 - \beta$ error) of 0.8 was used for these G*Power analyses.

4.4 Testing survey data with SPSS

Data preparation, data quality assurance, data manipulation, and statistical examinations of survey data were all conducted using the statistics software SPSS version 16 for Mac. The digital data originated from the two surveys described earlier (see section 4.1). Two principal assumptions were applied for quality assurance: (1) the odometer readings from the 2007 survey have to be larger than the odometer readings of the same car in the 2006 survey and (2) very small (<5000 km) and very large (>50'000 km) values for kilometers traveled are unlikely. Questionable kilometer values were double-checked by manually referring to the original questionnaire sheets.

To calculate kilometric performances of the RX vehicles and all other vehicles in the household fleet, the odometer readings of all cars in the 2006 survey were simply subtracted from the odometer readings of the 2007 survey. For vehicles that had been disposed of, the last odometer reading before disposal was used. For vehicles acquired between the two surveys, the odometer reading at time of purchase was subtracted from the respective odometer reading at the time of the second survey. Total household kilometric performances were calculated by adding up the kilometric performances of all cars in every household. The calculation of the cumulated kilometric performance of all secondary vehicles (excluding the RX) was done analogously. To test for the occurrence of DRE₃ in RX owners, the SPSS function 'Independent Samples T test' was used to compare the means of the two sample groups made up of households owning an RX300 and households owning an RX400h, respectively. When testing kilometric performances of the RX vehicles, as well as when testing kilometric performances of all secondary household vehicles (other than the RX), all cases were excluded where the RX vehicle was already disposed of again before the 2007 follow-up survey. When testing household kilometric performances of all household vehicles two cases were excluded where the odometer readings specified by the survey respondents were not realistic. One case was dropped (for all tests) because it did not represent a private household. Table 5 lists the circumstances under which cases were dropped when the statistical tests were conducted. Note that for numerous cases multiple of the circumstances listed apply.

Table 5 Cases that were dropped for statistical testing (with overlap)

Circumstance	No. of Cases	Cases dropped when testing
Not a private household	1	All tests
Lexus sold before follow-up survey (2007)	13	RX vehicles, secondary vehicles
Missing values for RX vehicle	5	RX vehicles
Values unfeasible	2	Household fleet, secondary vehicles

4. Survey

5 Results

5.1 DRE1: Car size rebound effect

In this section we analyze the difference in car size from the previously owned car (that has been, according to the respondents, replaced by the Lexus RX vehicle) to the Lexus RX. If hybrid car buyers previously owned smaller cars than the control group did, this would be an indication of a direct rebound effect, i.e. the hybrid powertrain might have served as socio-psychological justification for an increase in car size that is larger than in the case of a new non-hybrid vehicle. As proxies for car size, we regard curb weight (empty vehicle weight). We also test for vehicle length and the volume of the smallest box the vehicle would fit into. The RX400h and control group's RX300 are identical with regard to car size, with the exception of curb weight: Due to the hybrid drive train, especially the battery pack, the RX400h has a surplus weight of 165 kg (Table 2). We will also analyze whether the decrease in rated CO₂ emissions that can be observed for the RX400h group is smaller than, or larger than, the theoretically expected decrease due to the differences between RX400h and RX300. Two-sided Student's T tests for independent samples were used for all these metric parameters.

Curb weight as proxy for car size

Differences in curb weight were significant, $t(285) = 3.144$, $p = 0.002$ (Table 7). However, the difference in weight increase is 95 kg (Table 6) which is below the difference of 165 kg that is caused by the hybrid powertrain. So while the buyers of the control group, by purchasing the Lexus RX, increased the car weight owned by 233 kg, the hybrid buyers group increased car weight by 163 kg (plus 165 kg for the hybrid powertrain), i.e. they exhibited a below-average increase in car size.

Purchased car model		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
DiffLGEW	Lexus RX 400h	180	328.0222	249.61378	18.60511
	Lexus RX 300	107	233.6729	239.37638	23.14139

Table 6. Descriptive statistics for differences in curb weight between previously owned vehicle and new Lexus RX.

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means							95% C.I. of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
DiffLGEW	Equal variances assumed	.003	.959	3.144	285	.002	94.34933	30.01191	35.27621	153.42244
	Equal var. not assumed									

Table 7. Test results for differences in curb weight between previously owned vehicle and new Lexus RX (T test for independent samples).

5. Results

Car length as proxy for car size

No significance emerges for differences in length in millimeters, $t (286) = 0.030$, $p = 0.976$ (Table 9), with both groups showing an increase in vehicle length of approx. 11.5 cm (Table 8).

Purchased car model		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
DIFF_LEN	Lexus RX 400h	181	115.1547	236.92926	17.61081
	Lexus RX 300	107	116.0000	213.88738	20.67727

Table 8. Descriptive statistics for differences in vehicle length (in millimeters) between previously owned vehicle and new Lexus RX.

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means						95% C.I. of the Difference		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
DIFF_LEN	Equal variances assumed Equal var. not assumed	.169	.681	.030	286	.976	.8453	27.88404	-54.0387	55.72927

Table 9. Test results for differences in vehicle length (in millimeters) between previously owned vehicle and new Lexus RX (T test for independent samples).

Car cubic volume as proxy for car size

No significance results emerge for differences in cubic volume (vehicle length times width times height), with $t (285) = 0.047$, $p = 0.963$ (Table 11). An average, both groups increased the cubic volume (in the definition used here) by approx. 1.65 m^3 .

Purchased car model		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
DIFF_KUB	Lexus RX 400h	181	1.6482	1.67198	.12428
	Lexus RX 300	106	1.6579	1.75225	.17019

Table 10. Descriptive statistics for differences in cubic volume (car length times car width times car height, in cubic meters) between previously owned vehicle and new Lexus RX.

DIFF_KUB	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% C.I. of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.023	.879	.047	285	.963	.0097	.20816	-.40004	.41943
Equal var. not assumed			.046	211.714	.963	.0097	.21074	-.40572	.42511

Table 11. Test results for differences in cubic volume (car length times car width times car height, in cubic meters) between previously owned vehicle and new Lexus RX (T test for independent samples).

Differences in rated CO₂ emissions

As had to be expected, differences between groups for the differences in rated CO₂ emissions between previously owned and newly purchased Lexus RX vehicle are highly significant (Table 13), $t(285) = 18.019$, $p = 0.000$. The RX300 has rated CO₂ emissions of 288 g CO₂/km, the RX400h of 192 g CO₂/km; a difference of 96 g CO₂/km. The observed difference between previously owned and newly bought Lexus RX vehicle increases by 23 g CO₂/km for the control group, but decreases by -87 g CO₂/km for the hybrid group. The difference between the averages for the two groups hence is -109.85 g CO₂/km, which exceeds the theoretically expected decrease (due to the hybrid powertrain) of -87 g CO₂/km by over 20%.

Purchased car model	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
DiffCO2	180	-86.6332	50.90111	3.79395
	107	+23.2184	48.27460	4.66688

Table 12. Descriptive statistics for differences in rated CO₂ emissions (g CO₂/veh-km) between previously owned vehicle and new Lexus RX.

DIFF_CO2	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% C.I. of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	.277	.599	18.019	285	.000	109.85160	6.09628	97.85216	121.85104
Equal var. not assumed			18.265	232.318	.000	109.85160	6.01447	98.00173	121.70147

Table 13. Test results for differences in rated CO₂ emissions (g CO₂/veh-km) between previously owned vehicle and new Lexus RX (T test for independent samples).

5. Results

Overall conclusion on DRE1 (potential direct rebound effect manifested as increased car size)

In none of the different proxies used for car "size", the hybrid group showed an increase in car size with respect to the control group. On the contrary, the increase in car weight in the hybrid group is lower than theoretically expected: In the hybrid group car weight increase was only 95 kg higher than in the control group, although the surplus weight of the hybrid power train is 165 kg. The similar (inverted) picture becomes visible for rated CO₂ emissions, where the decrease in the hybrid group exceeds the theoretical expectation: While the difference in rated CO₂ emissions between conventional RX300 and hybrid RX400h is -96 g CO₂/km, in the hybrid group the CO₂ emissions on average drop by -110 g CO₂/km compared to the control group. No differences can be seen regarding changes in average car length or car cubic volume. Hence overall, the hybrid group did not buy a larger vehicle (regarding the proxies length or cubic volume) only because of the hybrid power train, but changes in car weight and rated CO₂ emissions even exceeded the theoretical expectation.

5.2 DRE2: Increase in car ownership

Changes in car ownership are tested for regarding two aspects: First, by analyzing the share of new cars that truly replaced a previously owned car versus the share of new cars that increased household car ownership (first-ever car owned by the household, or car is added to car fleet). Second, by analyzing the distribution of the number of cars in the household fleets. Both a Mann-Whitney test and a Students' T-Test have been performed, as the variable "previously owned car has been sold or scrapped" can be interpreted either as an ordinal or as a metric variable. Both types of test yielded similar results: The Mann-Whitney test shows no significance, Mann-Whitney-U = 9828.000, p = 0.442 (Table 14, Table 15), nor does the T test, t (289) = -0.768, p = 0.443 (Table 16, Table 17).

	Purchased car model	N	Average rank	Rank sum
Previously owned car sold or scrapped	Lexus RX 400h	183	145.70	26664.00
	Lexus RX 300	108	146.50	15822.00
	Total	291		

Table 14. Mann-Whitney test: Rank statistics for replacement of previously owned vehicle.

	Previously owned car sold or scrapped
Mann-Whitney-U	9828.000
Wilcoxon-W	26664.000
Z	-0.768
Asymptotic significance (2-sided)	0.442

Table 15. Test statistics for Mann-Whitney U test for replacement of previously owned vehicle.

	Purchased car model	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Previously owned car sold or scrapped	Lexus RX 400h	183	.99	.074	.005
	Lexus RX 300	108	1.00	.000	.000

Table 16. Descriptive statistics for replacement of previously owned vehicle.

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% C.I. of the Difference	
									Lower	Upper
Prev. owned car sold/scrapped	Equal variances assumed	2.383	.124	-.768	289	.443	-.005	.007	-.019	.009

Table 17. Test results for differences share of previously owned vehicle that has been sold or scrapped (T test for independent samples).

Regarding the frequency distribution of the size of the household car fleet (number of cars owned by the household), also no significant differences could be found.

Purchased car model	N	Average rank	Rank sum
Lexus RX 400h	193	166.70	32174.00
Lexus RX 300	122	144.23	17596.00
Total	315		

Table 18. Mann-Whitney test: Rank statistics for replacement of previously owned vehicle.

	Number of household vehicles apart from Lexus RX
Mann-Whitney-U	10093.000
Wilcoxon-W	17596.000
Z	-2.334
Asymptotic significance (2-sided)	.020

Table 19. Test statistics for Mann-Whitney U test for replacement of previously owned vehicle.

Purchased car model	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Lexus RX 400h	193	1.26	1.064	.077
Lexus RX 300	122	.98	.918	.083

Table 20. Descriptive statistics for frequency distribution of number of household vehicles apart from Lexus RX.

5. Results

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						95% C.I. of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference			
							Lower	Upper		
# hh veh. apart from RX	Equal variances assumed	2.986	.085	2.402	313	.017	.281	.117	.051	.511

Table 21. Test results for frequency distribution of number of household vehicles apart from Lexus RX. (T test for independent samples).

In conclusion, there are no significant differences in car transaction behavior and car ownership between the hybrid group and the control group, hence the hybrid power train does not seem to give rise to a tendency to own more vehicles for the reason of hybrid power trains having entered the market.

5.3 DRE3: Vehicle kilometer rebound effect

The mean difference in kilometric performance between owners of the RX400h and RX300 vehicles is a mere 597 km (RX400h: 21'630 km p.a., RX300: 21'034 km p.a.), i.e. the RX300 is driven a little bit less in our sample than the RX400h. While this might allude to a diminutive rebound, it is not a significant result to refute the null hypothesis of equal means. Therefore, no significant rebound can be found for the Lexus RX400h, $t(185) = 0.377$, $p = 0.707(0.05)$, $n(\text{RX400h}) = 135$, $n(\text{RX300}) = 52$. G*Power analysis reveals that the true rebound would have to be larger than 22% for it to be significant in this test ($\sigma \approx 10'000$ km, stat. power = 0.8). On the household level we see the opposite of a rebound for owners of the RX400h: Households owning a Lexus RX400h drive an average of 1'367 km less per year with all household vehicles (RX400h: 33'230 km p.a., RX300: 34'597 km p.a.). These results are not significant, $t(86.325) = -0.410$, $p = 0.683(0.05)$, $n(\text{RX400h}) = 142$, $n(\text{RX300}) = 58$. According to G*Power analysis, rebound would have to be larger than 25.5% for a significant result to appear ($\sigma \approx 20'000$ km, stat. power = 0.8). See Table 4 for an overview of the factors that caused the different sample sizes in the two tests above. The T test for the secondary household vehicles (household vehicles excluding the Lexus RX) brought forth another non-significant result: $t(135) = 0.020$, $p = 0.984(0.05)$, $n(\text{RX400h}) = 100$, $n(\text{RX300}) = 37$. The difference in average kilometric performance of all secondary vehicles results in a mere 58 km (RX400h: 16'667 km, RX300: 16'609 km). Rebound would have to be larger than 49% for this test to yield significant results ($\sigma \approx 15'000$ km, stat. power = 0.8).

5.4 Testing Kurani's 'household shift' observation

To investigate further on Kurani's observations of a 'household shift' from secondary vehicles to the hybrid vehicle, I repeated the three tests for all households owning multiple vehicles, and the first test for all households owning only one vehicle:

Multiple-vehicle households

In the sample of households owning multiple cars the following results are attained. The RX is driven 776 km less in households owning the hybrid version (RX400h: 21'727 km, RX300: 22'503 km). The result is non-significant, $t(133) = -0.421$, $p = 0.674(0.05)$, $n(\text{RX400h}) = 99$, $n(\text{RX300}) = 36$. For this test a rebound would have to be larger than 24.5% to ($\sigma \approx 10'000$ km, stat. power = 0.8). The complete household fleet is driven 1'007 km less (RX400h: 38'372 km, RX300: 39'379 km) in households owning a hybrid vehicle. Results are non-significant, $t(133) = -0.279$, $p = 0.781(0.05)$, $n(\text{RX400h}) = 99$, $n(\text{RX300}) = 36$. Only a rebound larger than 28% would yield a significant result in this test ($\sigma \approx 20'000$ km, stat. power = 0.8).

Secondary vehicles are driven 221 km less (RX400h: 16'655 km, RX300: 16'876 km) in households owning a hybrid vehicle. This result is non-significant, $t(133) = -0.075$, $p = 0.94(0.05)$, $n(\text{RX400h}) = 99$, $n(\text{RX300}) = 36$. This test can only yield significant results for a rebound above 48.5% ($\sigma \approx 15'000$ km, stat. power = 0.8).

One-vehicle households

Regarding households with one vehicle only, namely the respective Lexus RX vehicle, we see a hint of rebound, albeit non-significant: The mean difference in kilometric performance amounts to 3'228 km (RX400h: 21'004 km, RX300: 17'776 km), $t(48) = 1.018$, $p = 0.314(0.05)$, $n(\text{RX400h}) = 35$, $n(\text{RX300}) = 15$. In this test, the rebound would have to be larger than 49.5% ($\sigma \approx 10'000$ km, stat. power = 0.8) for a significant result to emerge.

Table 22 Overview of results (MVHH: multiple-vehicle households; OVHH: one-vehicle households)

Vehicles considered	Mean difference [km]	t	p	n(RX400h)	n(RX300)	Theoretically detectable rebound ¹
RX	597	0.377	0.707	135	52	22%
Household fleet	-1'367	-0.41	0.683	142	58	25.5%
Secondary vehicles	58	0.02	0.984	100	37	49%
RX (MVHH)	-776	-0.421	0.674	99	36	24.5%
Household fleet (MVHH)	-1'007	0.279	0.781	99	36	28%
Secondary vehicles (MVHH)	-221	-0.075	0.94	99	36	48.5%
RX (OVHH)	3'228	1.018	0.314	35	15	49.5%

5.5 Analysis of income groups

Various tests were conducted investigating the question whether a rebound can be found for certain income groups while not for others. Some differences could be found, e.g. regarding the income group with a salary of between CHF 12'000 and CHF 14'000 a significant rebound was detected ($p=0.043$). But due to small sample sizes for these salary sub-groups these results are considered inconclusive. A larger sample size and higher ranging income groups (going beyond CHF 14'000 per month) would be necessary to investigate this question in more detail.

5.6 Analysis of intended vehicle kilometers

Owners of the RX400h expect to drive an average of 1'300 km more (RX400h: 18'392 km, RX300: 17'092 km) with their car than RX300 owners as indicated by the respondents in the first survey (2006) but this result is non-significant, $t(284) = 1.115$, $p = 0.266$, $n(\text{RX400h}) = 177$, $n(\text{RX300}) = 109$. When comparing the amount of kilometers intended to be driven in the coming year with the amount driven according to odometer readings gathered in the second survey (2007), we get the following results. On average, RX400h owners drive 937 km less than expected while RX300 owners drive 491 km more than expected, yielding a non-significant difference of 1'427 km between the two groups, $t(181) = -1.245$, $p = 0.215(0.05)$, $n(\text{RX400h}) = 131$, $n(\text{RX300}) = 52$.

¹ Statistical power ($1 - \beta$) of 0.8 was used to conduct these sensitivity analyses with G*Power.

5.7 Comparison of kilometric performance with the previous year

Both sample groups drive less km p.a. than they indicated to have driven with the precursor vehicle: RX300h owners drive 2'354 km less, RX300 owners drive 1'873 km less, on average, with a non-significant mean difference of 481 km, $t(173) = -0.214$, $p = 0.831(0.05)$, $n(\text{RX400h}) = 128$, $n(\text{RX300}) = 47$. These results must be taken with care, since the data on the previous cars' kilometric performances were supplied by estimation. Nevertheless, these results do confirm the RX owners' intention not to drive more with the new car (RX) than with the old car (Altorfer et al., 2006).

5.8 Analysis of payback time for surplus purchasing price of the RX400h

The following formula is used to estimate the amount of years (t) that the RX400h would have to be driven to compensate for the initial surplus in the purchasing price of CHF 6'650 compared to the RX300.

$$t = \frac{x \cdot \nabla n \cdot b^{\frac{1}{2}}}{\nabla b}$$

ΔP (price difference between RX vehicles) = CHF 6'650.

x (average yearly distance driven by RX400h owners in first year of ownership) = 17'120 km p.a.

P_{gas} (average price of gasoline from April 2006 to April 2007) = CHF 1.69 per liter.

Δu (average difference in fuel usage between the two vehicles) = 4.1 l per 100km = 0.041 l per km.

X is derived from survey data, P_{gas} is derived from the Zurich Bureau of Statistics (2008) and Δu is derived from the Lexus RX sales brochures (Lexus, 2005a, 2005b).

Time to payback (assuming constant kilometers traveled annually) results to 5.6 years, assuming constant fuel price and annual kilometric performance and disregarding maintenance costs. The annual fuel cost savings, given identical assumptions, amount to CHF 1'186 per year. The initial premium price of CHF 6'650 paid at purchase of the RX400h therefore can be realistically earned back with fuel savings due to the hybrid technology, assuming fuel prices and annual kilometric performances don't drop significantly. We must consider however, that although a pay-back time of 5.6 years is short enough for a rational consumer, real-world purchasers mostly consider initial vehicle price differences (Diamond, 2009) and the first few years of fuel savings (Greene et al., 2005).

6 Discussion

The principle aim of this study was to investigate the presence of a DRE₃ in our sample of Lexus RX400h owners in Switzerland by comparing the average kilometric performances of RX400h owners with owners of the RX300 in statistical tests. The results indicate that neither of the first two null hypotheses can be rejected. Therefore, our main result for this research paper is the following: No statistically significant vehicle kilometer rebound (DRE₃) can be found for the RX400h, neither on the level of the RX vehicle alone, nor on the level of all household vehicles. When including considerations of statistical power, our results imply more precisely that no rebound above roughly 25% occurs in the sample of RX400h owners in Switzerland. To test for smaller degrees of rebound our sample size would have to be augmented considerably (for more details see the end of this chapter).

When we take a separate look at the kilometric performances of the RX vehicle in households with multiple vehicles and households that own only the Lexus RX vehicle, we see an indication of differing driving behavior in these two groups. While in multiple vehicle households (anywhere from 2 to 5 vehicles) the RX400h seems to be driven less kilometers compared to the control group (RX300), the RX400h was driven for substantially more kilometers in single-vehicle households. The latter test for households owning only a single vehicle has a small sample size (RX400h: 35; RX300: 15) and produces a non-significant result ($p = 0.314$); still it seems to hint at a rebound somewhere below 50% (due to considerations of statistical power). To investigate this more precisely, the kilometric performances of experimental and control groups would have to be compared separately for the number of people in the household who drive. Due to time constraints this was not done. Further tests were conducted in order to investigate Kurani's 'household shift' observation from secondary vehicles to the hybrid vehicle in the household. The direct comparison of the results of all three tests (RX vehicle, all household vehicles and secondary vehicles) required a smaller sample size which remained constant for all three tests with $n(\text{RX400h}) = 99$ and $n(\text{RX300}) = 36$. The results do not substantiate Kurani's observation of a 'household shift'. We see that the RX400h accounts for the bulk of the difference in kilometric performances (-776 km) between RX400h and RX300 owners on the household level, while the secondary vehicles accounts for a smaller fraction (-221 km). This means we see no evidence for the Lexus RX400h being used more while the other vehicles in the household are driven less. Instead, the RX400h group drives all cars slightly less, on average, than the control group (in multi-vehicle households).

In section 2.2 two potential drivers were presented that might play a role in generating rebound: low operating costs and the drop in socio-psychological cost of ownership. It was argued that the first driver might not affect customers in this high-income market segment, while the second potential driver would have particular importance for this type of vehicle due to its high fuel consumption and disfavor in society (de Haan et al., 2007). Reviewing these considerations with the results at hand leads to the conclusion that the potential rebound driver of socio-psychological cost of ownership is also not strong enough to create a remarkable rebound effect (though as noted above, the test at hand is not strong enough to determine a rebound below approx. 25%). The investigation of intended vehicle kilometers as given by respondents in the 2006 survey (see section 5.6) suggests that RX400h owners end up driving less than they first intended, while RX300 owners drive slightly more than anticipated. Therefore a psychological driver may truly be in effect that leads owners of the RX400h to drive fewer kilometers. This is further supported by the fact that even the secondary vehicles are driven slightly less in households owning an RX400h. One possible reason for this could be heightened awareness of their fuel-use due to fuel efficiency data provided by the vehicle's multi-function display.

6. Discussion

Interestingly, both groups of Lexus owners drove less than they indicated to have driven with the precursor vehicle. Previous theoretical and semi-empirical studies predicted a rebound effect for the transport sector ranging from 5% to 51% (see section 2.2). The results of the present research were not able to substantiate a rebound effect in kilometric performance for the Lexus RX400h, neither for the hybrid vehicle itself nor when regarding all cars in the respective household fleets. Naturally, the previous theoretical results may not be correct, but also we must be aware of the fact that a generalization based on the results for the Lexus RX400h must be done with caution for a number of reasons.

The market segment investigated in this study earns a very high income which reduces some potential for rebound. We must expect differing behavior from other market segments, especially such with monthly incomes closer to average. The high fuel elasticity of substitution otherwise to be expected in Switzerland due to an excellent and inexpensive (state-subsidized) public transportation network cannot be observed in high-income groups because the price does not matter to them (Saunders, 2000). The cost-saving due to more fuel-efficiency might have a larger effect on lower-income consumer segments that use public transportation more often; they may be enticed to switch more often from public transport to using the car. That said, the result of this study can be taken as representative for the high income market, i.e. for cars in the luxury segments. It would be interesting to conduct similar research with a low-cost hybrid vehicle which would be more representative for the whole market of hybrid vehicles including future models. This would perhaps allow more generalized conclusions about the rebound to be expected with such vehicles.

As described in Binswanger (2001) the price of energy and the energy price trend can also be significant for the rebound to be expected because they influence energy-price elasticities. The period in which the surveys were conducted saw an average fuel cost of CHF 1.69 and overall rising energy prices (Zurich Bureau of Statistics, 2008). Had this research been done at a different time under different circumstances, the results may have varied. The literature on rebound differentiates between a short- and long-term rebound effect (Greening et al., 2000). The time-frame of this study only allows for the investigation of rebound during the first year after purchase. While it is possible that research over a longer period might reveal new results, I consider it improbable that the drivers for a direct rebound effect would change considerably over longer periods of time. The consideration of long-term rebound effects is more appropriate for more complex indirect and macro-level rebound effects.

Using a control group to discern rebound behavior, as was done in this study, is a simple and effective method to measure rebound. It is important that the two groups are as similar to each other as possible and to consider any external effects that might distort the findings. As shown in Altorfer (2006), the sociodemographic differences between the two groups of Lexus purchasers are marginal. The only statistically significant difference between the two groups of Lexus purchasers can be found in the income with RX400h purchasers earning a slightly higher salary, on average. This can easily be explained by the higher cost of the Lexus RX400h, even though according to a simple estimation (section 5.8) the premium in initial cost is indeed saved again over the time of vehicle use. Further, the surveyed Lexus customers did not differ significantly in their answers to the intended purpose of their RX vehicle or the expected amount of kilometers to travel with their car (Altorfer et al., 2006). Therefore we can eliminate the possibility that a substantial amount of RX400h purchasers bought this vehicle specifically to drive more kilometers with it.

To my knowledge this study is the first to empirically investigate the vehicle kilometer rebound effect. Keeping the considerations above in mind, further research would be advantageous to help constrain the results and allow for a generalization for the whole hybrid market, at least in Switzerland. Future research should ideally reach a higher sample size to make possible the detection of smaller amounts of rebound: E.g. according to G*Power estimations, the sample size would have to be around 700 to significantly determine a rebound of as small as 10% (assuming a standard deviation of 8'000 km, mean annual performance of 17'000 km and statistical power of 0.8). A more middle-class hybrid model would be advantageous as the object of investigation for any future survey as it would enable a generalization of its results.

7 Conclusions

Previous research established that the low fuel consumption of hybrid vehicles does not motivate people to switch to larger vehicles or to buy additional vehicles (Altorfer et al., 2006; de Haan, Peters et al., 2006). This study presents evidence that owners of a Lexus RX400h hybrid electric vehicle in Switzerland exhibit no significant vehicle kilometer rebound behavior, thereby adding to the evidence that hybrid electric technology does not lead to any substantial direct rebound effects; at least for 'innovator' and 'early adaptor' consumer groups to which the majority of RX400h owners belong (Altorfer et al., 2006).

Overall, we conclude that no direct rebound effects are to be expected to counteract the fuel saving and CO₂ emissions reduction potential of the hybrid vehicle technology. Therefore hybrid cars indeed are suited to play a role in energy conservation measures aiming at reducing CO₂ emissions from individual road transport, such as state-sponsored cash rewards, sales tax exemption or tax rebates for hybrid vehicles. The double dividend offered by hybrid technology saving both costs and energy and the abatement costs per ton CO₂, which are comparable to other carbon reduction measures in the road transport field makes this technology politically favorable (de Haan et al., 2007). Having ruled out the occurrence of a direct rebound effect, the suitability of a specific state-subsidized incentive for a given situation must be closely examined before implementation, paying particular attention to current gas prices and expected gas price evolution, which can easily crowd out any modest effects from incentives or gasoline taxes (Diamond, 2009).

Further studies with other hybrid vehicles and other market segments would be desirable to help constrain the results and allow for a generalization for the whole hybrid vehicle market. The upcoming 3rd generation Toyota Prius which is to come into the market towards the end of 2009 offers a good opportunity for a subsequent survey with a more middle-class vehicle. We propose conducting a two-part mail-in survey of purchasers of the 3rd generation Prius which is more or less analogous to the survey conducted for the Lexus RX400h. As a control group a similar Toyota car would have to be chosen, as was done in de Haan, Peters et al. (2006) and data collected in the survey would help to check for similar demographics and especially driving behavior.

According to the considerations made in section 2.2 and our current results with the RX400h, a large-scale rebound effect should not be expected for the Prius. Compromising for practicability we suggest trying to achieve a sample size of at least 320 for a survey with the Prius, which would allow for the detection of a rebound of 15% and above (assuming kilometric performance of 17'000km and standard deviation of 8'000km). It must be expected that a substantially higher number of these middle-class Toyota vehicles will be sold compared to the high-end Lexus RX vehicles, which would enable a future survey to reach the sample size proposed.

7. Conclusions

8 References

- Altorfer, A., Meier, I., & de Haan, P. (2006). Charakteristika von KäuferInnen des hybriden Lexus RX400h und des konventionellen Lexus RX300. Forschungsbericht zum Projekt Hybridfahrzeugkäufer. Bericht zum Schweizer Autokaufverhalten Nr. 13 (report No. EMDM1471). In German. Zurich: ETH Zurich, IED-NSSI.
- auto-schweiz. (2008). 12. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung über die Absenkung des spezifischen Treibstoff-Normverbrauchs von Personenwagen 2007 [Electronic Version in German].
- Berkhout, P. H. G., Muskens, J. C., & Velthuijsen, J. W. (2000). Defining the rebound effect. *Energy Policy*, 28(6-7), 425-432.
- Binswanger, M. (2001). Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? *Ecological Economics*, 36(1), 119-132.
- Bitsche, O., & Gutmann, G. (2004). Systems for hybrid cars. *Journal of Power Sources*, 127(1-2), 8-15.
- Brahma, A., Guezennec, Y., & Rizzoni, G. (2000). Optimal energy management in series hybrid electric vehicles. Paper presented at the American Control Conference, 2000.
- Chau, K. T., & Wong, Y. S. (2002). Overview of power management in hybrid electric vehicles. *Energy Conversion and Management*, 43(15), 1953-1968.
- de Haan, P., Duthaler, C., Peters, A., 2006c. Käufer des Hybridfahrzeugs Toyota Prius im Vergleich mit Käufern von Toyota Corolla und Toyota Avensis. Forschungsbericht zum Projekt Hybridfahrzeuge. Bericht zum Schweizer Autokaufverhalten Nr. 6. ETH Zurich, IED-NSSI, report EMDM1152, 51 pages
- de Haan, P., Mueller, M. G., & Peters, A. (2006a). Does the hybrid Toyota Prius lead to rebound effects? Analysis of size and number of cars previously owned by Swiss Prius buyers. *Ecological Economics*, 58(3), 592-605.
- de Haan, P., Peters, A., & Mueller, M. (2006b). Comparison of Buyers of Hybrid and Conventional Internal Combustion Engine Automobiles: Characteristics, Preferences, and Previously Owned Vehicles. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1983(-1), 106-113.
- de Haan, P., Peters, A., & Scholz, R. W. (2007). Reducing energy consumption in road transport through hybrid vehicles: investigation of rebound effects, and possible effects of tax rebates. *Journal of Cleaner Production*, 15(11-12), 1076-1084.
- Diamond, D. (2009). The impact of government incentives for hybrid-electric vehicles: Evidence from US states. *Energy Policy*, 37(3), 972-983.
- Evans, S. (2008). New 2010 Lexus RX 350 and RX 450h To Bow at Los Angeles Auto Show [Electronic Version]. *Motor Trend*, from <http://wot.motortrend.com/6348063/auto-shows/new-2010-lexus-rx-350-and-rx-450h-to-bow-at-los-angeles-auto-show/index.html>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175-191.
- Greene, D. L., Patterson, P. D., Singh, M., & Li, J. (2005). Feebates, rebates and gas-guzzler taxes: a study of incentives for increased fuel economy. *Energy Policy*, 33(6), 757-775.

8. References

- Greening, L. A., Greene, D. L., & Difiglio, C. (2000). Energy efficiency and consumption -- the rebound effect -- a survey. *Energy Policy*, 28(6-7), 389-401.
- Heffner, R. R. (2007). Semiotics and Advanced Vehicles: What Hybrid Electric Vehicles (HEVs) Mean and Why it Matters to Consumers. Unpublished Dissertation University of California, Davis.
- Kurani, K. (2008). Personal communication.
- Lexus. (2005a). RX 300 - Preise, Technik, Ausstattung. Information brochure on the Lexus RX300 model (in German). 6 pages.
- Lexus. (2005b). RX 400h - Preise, Technik, Ausstattung. Information brochure on the Lexus RX400h model (in German). 5 pages.
- Minder, E. (2006). Auftreten von Reboundeffekten beim Hybridfahrzeug Lexus RX 400h. Unpublished Semester Thesis nr. 46/06 (in German), ETH Zurich.
- Rogers, E. M. (2003). Diffusion of Innovation (5th ed.). New York: Free Press.
- Saunders, H. D. (2000). A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes. *Energy Policy*, 28(6-7), 439-449.
- Zurich Bureau of Statistics. (2008). Zürcher Städteindex der Konsumentenpreise - Treibstoffe [Electronic Version in German]. Retrieved 28. Dez. 2008, from http://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/prd/Deutsch/Statistik/Weitere_Dokumente/Wirtschaft/T_ZIK_Treibstoffe.xls

Appendix

The original questionnaires sent out to German and French speaking owners of the RX400h during the follow-up survey in July 2007 are displayed on the following six pages.

[Herr/Frau]
[Vorname] [Name]
[Adresse]
[PLZ Ort]

[Datum]

Umfrage zum Lexus RX 400h

[Anrede] [Herr/Frau] [Name]

Sie haben letztes Jahr einen Lexus RX erworben. Die ETH Zürich hat im Juni 2006 eine wissenschaftliche Befragung unter Lexus RX-Käufern durchgeführt. Sie haben den Fragebogen ausgefüllt und der ETH die Erlaubnis zu einer Nachbefragung gegeben.

Die ETH Zürich verspricht sich von Ihren Angaben neue Erkenntnisse darüber, wie innovative und neuartige Fahrzeuge konzipiert werden sollen, damit sie von einem breiteren Publikum gekauft werden.

Lexus hat sich zur Mithilfe bereit erklärt und versendet deshalb diesen Fragebogen. Ihr Name und Ihre Adresse werden der ETH Zürich nicht bekanntgegeben. Ihre Antworten bleiben damit anonym.

Wir bitten Sie höflich, den beiliegenden Fragebogen auszufüllen und mit dem beigelegten Antwort-Couvert an die ETH Zürich zu senden.

Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!

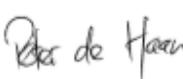
Mit freundlichen Grüßen

Lexus Schweiz

ETH Zürich, IED-NSSI


Christian Wellauer
Director of Marketing Communication


Prof. Dr. R. W. Scholz


Dr. P. de Haan



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
 Ecole polytechnique fédérale de Zurich
 Politecnica federale di Zurigo

Institute for Environmental Decisions (IED)
 Natural and Social Science Interface (NSSI)
 Universitätstrasse 22, CHN J73-2, 8092 Zürich

1

Nachbefragung zum Lexus RX

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer an unserer Untersuchung

Herzlichen Dank, dass Ihr Haushalt letztes Jahr an unserer Lexus-Befragung teilgenommen und sich bereit erklärt hat, an einer Vertiefung der Befragung teilzunehmen!

Bitte senden Sie uns Ihre Antworten wenn möglich bis zum **16. Juli** zurück mit beiliegendem Antwortkuvert.
Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe bei unserer Forschung!

Ihre ETH Zürich, Dr. Peter de Haan van der Weg & Katrin Häni

Informationen zum Datenschutz

Ihre Daten werden absolut vertraulich behandelt und nur für die wissenschaftliche, nicht-kommerzielle Forschung und Lehre verwendet. Die ETH garantiert Ihnen den vollumfänglichen Schutz Ihrer persönlichen Daten.

Die von der ETH erstellten Auswertungen und Statistiken erlauben keine Rückschlüsse auf Einzelpersonen.

Die **Nummer in der rechten oberen Ecke dieses Fragebogens** benötigen wir ausschliesslich, um die Daten mit denen der ersten Befragung vom Sommer 2006 zu verknüpfen. Ihre Antworten werden nicht mit Ihrem Namen und Ihrer Adresse in Verbindung gebracht.

bitte wenden

Änderungen beim Autobesitz Ihres Haushaltes

1. Im Juni 2006 haben Sie uns auf die Frage nach allen Autos Ihres Haushaltes folgende Fahrzeuge genannt.

→ Bitte geben Sie uns für jedes Fahrzeug an, ob es noch im Haushalt vorhanden ist oder nicht.

→ Bitte geben Sie ausserdem den *heutigen Stand des Kilometerzählers* dieser Fahrzeuge an

(falls das Fahrzeug nicht mehr vorhanden ist, so geben Sie bitte den *letzten Km-Stand* an).

	Marke und Modell, Baujahr [RX: bestellt oder geliefert]	Km-Stand Juni 2006	Noch im Besitz des Haushalts?	Km-Stand heute*
Auto-Nr. 1	Lexus RX400h, ausgeliefert Apr. 2006	400	[] ja [] nein	_____
Auto-Nr. 2	Mercedes-Benz A-Klasse, Baujahr 2001	47'500	[] ja [] nein	_____

* falls das Fahrzeug verkauft/weitergegeben/verschrottet wurde, bitte den letzten Km-Stand angeben.

2. Sind in Ihrem Haushalt seither (seit Juni 2006) **weitere Autos** dazugekommen? nein ja, und zwar:
(Alle Personen, die in derselben Wohnung leben, bilden einen gemeinsamen Haushalt.).

Auto A, das seit Juni 2006 dazugekommen ist:

Marke	Modell	Motorgrösse (in Liter)	Treib- stoff	Schaltung	Baujahr/ Jahrgang	Wann gekauft? Monat/Jahr
a)	_____	_____	<input type="checkbox"/> Benzin <input type="checkbox"/> Diesel <input type="checkbox"/> anderer	<input type="checkbox"/> handgeschaltet <input type="checkbox"/> automatik <input type="checkbox"/> variomat/tiptronic	_____	_____ / _____

b) Km-Stand bei Kauf/Übernahme: _____ Km-Stand heute: _____

c) Hat dieses Auto ein Vorgängerauto ersetzt? nein ja, und zwar aus obiger Liste **Auto-Nr.** _____

Auto B, das seit Juni 2006 dazugekommen ist:

Marke	Modell	Motorgrösse (in Liter)	Treib- stoff	Schaltung	Baujahr/ Jahrgang	Wann gekauft? Monat/Jahr
a)	_____	_____	<input type="checkbox"/> Benzin <input type="checkbox"/> Diesel <input type="checkbox"/> anderer	<input type="checkbox"/> handgeschaltet <input type="checkbox"/> automatik <input type="checkbox"/> variomat/tiptronic	_____	_____ / _____

b) Km-Stand bei Kauf/Übernahme: _____ Km-Stand heute: _____

c) Hat dieses Auto ein Vorgängerauto ersetzt? nein ja, und zwar aus obiger Liste **Auto-Nr.** _____

Anmerkungen:

Herzlichen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

[Monsieur/Madame]
 [Vorname] [Name]
 [Adresse]
 [PLZ Ort]

[date]

Sondage concernant la Lexus RX 400h

[Anrede] [Monsieur/Madame] [Name]

L'année dernière, vous avez acquis une Lexus RX. En juin 2006, l'Ecole Polytechnique Fédérale (ETH) de Zurich a effectué un sondage scientifique parmi des acheteurs d'une Lexus RX. Vous avez rempli ce questionnaire et vous avez consenti de recevoir l'enquête suivante.

L'Ecole polytechnique fédérale de Zurich espère que vos indications lui permettront de tirer des conclusions en ce qui concerne la façon de concevoir de nouveaux véhicules innovants, pour qu'ils soient achetés par un large public.

Disposée à collaborer, Lexus vous envoie ce questionnaire. Vos nom et adresse ne seront pas communiqués à l'ETH de Zurich, vos réponses demeureront donc anonymes.

Nous vous prions de bien vouloir remplir le questionnaire ci-inclus et de le retourner à l'ETH de Zurich au moyen de l'enveloppe-réponse ci-jointe.

Merci de votre coopération!

Avec nos salutations les meilleures

Lexus Schweiz

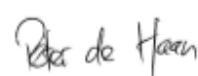
ETH Zurich, IED-NSSI



Christian Wellauer
 Director of Marketing Communication



Prof. Dr. R. W. Scholz



Dr. P. de Haan

«CODE»

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Ecole polytechnique fédérale de Zurich
Politecnico federale di Zurigo

Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
Universitätstrasse 22, CHN J73-2, 8092 Zürich

Deuxième sondage concernant la Lexus RX

Chère participante, cher participant de notre sondage,

Nous remercions cordialement votre ménage d'avoir participé au sondage „Lexus RX“ de juin 2006, et d'avoir accepté de participer également à ce deuxième sondage.

Veuillez s.v.p. nous retourner vos réponses d'ici si possible jusqu'au **16 juillet** au moyen de l'enveloppe-réponse ci-incluse.

Nous vous remercions cordialement de votre participation à notre recherche!

Votre EPF Zurich, Dr. Peter de Haan van der Weg & Katrin Häni

Informations concernant la protection des données

Vos données feront l'objet d'un traitement strictement confidentiel et elles ne seront utilisées que pour la recherche **et l'enseignement scientifiques et non commerciaux**. L'EPF vous garantit une protection totale de vos données personnelles.

Les statistiques et analyses de l'EPF Zurich ne permettent pas de tirer de conclusions concernant des individus.

Le **numéro figurant dans le coin droit en haut du questionnaire** a uniquement pour but de nous permettre d'établir un lien avec les données du premier sondage de l'été 2006. Vos réponses **ne seront pas** reliées à votre nom et à votre adresse.

tourner la page s.v.p.



Changements au niveau de la possession des voitures par votre ménage

1. L'année passée, vous avez cité comme faisant partie de votre ménage les véhicules suivants.
 → Veuillez s.v.p. nous indiquer si chacun de ces véhicules existe encore dans votre ménage ou non.
 → Veuillez s.v.p. aussi indiquer les *kilomètres actuellement au compteur* de ces véhicules.
 (si le véhicule n'est plus en possession par votre ménage, veuillez indiquer les kilomètres au compteur à la fin).

	Marque et modèle, année de construction [RX: commandée ou livrée]	Kilomètres au compteur	Encore en possession du ménage?	Kilomètres actuels au compteur*
voiture no. 1	Lexus RX400h, livrée janv. 2006	10'000	[] oui [] non	_____
voiture no. 2	Mercedes-Benz C-Klasse, construit 1998	200'000	[] oui [] non	_____
voiture no. 3	Renault Trafic, construit 2006	12'000	[] oui [] non	_____

* si le véhicule a été vendu/transmis/cassé, veuillez indiquer les kilomètres au compteur à la fin.

2. Des **autres voitures** sont-elles venues s'y ajouter (depuis juin 2006)? non oui, à savoir:
 (Toutes les personnes habitant dans la même unité d'habitation forment un ménage commun.).

Voiture A qui est venue s'ajouter depuis juin 2006:

Marque	Modèle	Taille moteur (en litres)	Carbu- rant	Boîte à vitesses	Année de construction	Date d'achat: Mois/année
a)	_____	_____	_____	<input type="checkbox"/> essence <input type="checkbox"/> levier manuel <input type="checkbox"/> diesel <input type="checkbox"/> automatique <input type="checkbox"/> autre <input type="checkbox"/> variomat/tptronic	_____	/
b)	Kilomètres au compteur au début: _____			Kilomètres actuellement au compteur: _____		
c)	Ce véhicule a-t-il remplacé un véhicule précédent?			<input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> oui, voiture no. _____ de la liste ci-dessus.		

Voiture B qui est venue s'ajouter depuis juin 2006:

Marque	Modèle	Taille moteur (en litres)	Carbu- rant	Boîte à vitesses	Année de construction	Date d'achat: Mois/année
a)	_____	_____	_____	<input type="checkbox"/> essence <input type="checkbox"/> levier manuel <input type="checkbox"/> diesel <input type="checkbox"/> automatique <input type="checkbox"/> autre <input type="checkbox"/> variomat/tptronic	_____	/
b)	Kilomètres au compteur au début: _____			Kilomètres actuellement au compteur: _____		
c)	Ce véhicule a-t-il remplacé un véhicule précédent?			<input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> oui, voiture no. _____ de la liste ci-dessus.		

Si vous avez des remarques à faire, veuillez s.v.p. les noter ci-dessous: _____

Merci d'avoir rempli ce questionnaire!

ETH Zurich
Institute for Environmental Decisions (IED)
Natural and Social Science Interface (NSSI)
Universitaetstrasse 22
8092 Zurich
SWITZERLAND

Phone +41 44 632 58 92
www.nssi.ethz.ch/res/