



**School of  
Management and Law**

## **Implizite CO<sub>2</sub>-Preise des fossilen Energieverbrauchs in der Schweiz**

**Energy Governance Working Paper Nr. 5**

**Reto Schleiniger**

## **IMPRESSUM**

### **Herausgeber**

ZHAW School of Management and Law  
Stadthausstrasse 14  
Postfach  
8401 Winterthur  
Schweiz

Abteilung Public Sector,  
Fachstelle für Wirtschaftspolitik  
<https://www.zhaw.ch/de/sml/institute-zentren/fwp/>

### **Projektleitung, Kontakt**

Reto Schleiniger  
[reto.schleiniger@zhaw.ch](mailto:reto.schleiniger@zhaw.ch)

Februar 2016

Copyright © 2016 Abteilung Public Sector,  
ZHAW School of Management and Law

Alle Rechte für den Nachdruck und die  
Vervielfältigung dieser Arbeit liegen bei der  
Abteilung Public Sector der  
ZHAW School of Management and Law.  
Die Weitergabe an Dritte bleibt ausgeschlossen.

Zwecks besserer Lesbarkeit wird in  
dieser Publikation überwiegend die  
männliche Form verwendet. Die weibliche  
Form ist selbstverständlich immer mit  
eingeschlossen.

# Abstract

Der Verbrauch von fossiler Energie verursacht sowohl lokale externe Kosten wie Luftverschmutzung als auch globale Probleme durch die Klimaveränderung. Während die lokalen externen Kosten mittels einer Abgabepolitik, deren Abgabesatz je nach Verwendung der fossilen Energie unterschiedlich sein kann, internalisiert werden können, sollte für eine kosteneffektive Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Preis pro Emission für alle Verwendungen gleich hoch sein. Im vorliegenden Artikel wird der implizite Preis von CO<sub>2</sub>-Emissionen der schweizerischen Energie- und Klimapolitik als Differenz der bestehenden Abgaben und der lokalen externen Kosten bestimmt. Es zeigt sich, dass dieser Preis je nach Verwendung der fossilen Energie sehr unterschiedlich ist und damit die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht so kostengünstig wie möglich erfolgt. Beim Luftverkehr und beim Personenverkehr auf der Strasse ist der implizite CO<sub>2</sub>-Preis sogar negativ. In diesen Bereichen würde sich daher eine Verbrauchsreduktion auch ohne Berücksichtigung der Klimafolgen lohnen.

Keywords: Schweizerische Energie- und Klimapolitik, externe Kosten, Internalisierung, implizite CO<sub>2</sub>-Preise

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2. Überlegungen zum effizienten Instrumentenmix</b>	<b>6</b>
<b>3. Vorgehen zur Berechnung der impliziten CO<sub>2</sub>-Preise</b>	<b>8</b>
<b>4. Resultate</b>	<b>10</b>
4.1. Strassenverkehr	10
4.2. Luftverkehr	14
4.3. Wärmeproduktion	15
<b>5. Schlussfolgerungen und politische Implikationen</b>	<b>17</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>19</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>20</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>21</b>
<b>Autor</b>	<b>22</b>

# 1. Einleitung

Aus ökonomischer Sicht ergibt sich das Problem einer übermässigen Umweltbelastung aus dem Vorliegen so genannter externer Kosten. Diese fallen nicht bei den Marktteilnehmern selber, sondern bei Dritten an. Da sich externe Kosten nicht in den Marktpreisen widerspiegeln, sind umweltbelastende Güter zu billig und deren Verbrauch zu gross. Daher kommt es zu einem Marktversagen, indem Umwelt übernutzt wird, weil sie keinen Preis hat.

Es ist unbestritten, dass der Verbrauch von fossiler Energie bedeutende externe Kosten verursacht. So bezeichnet Stern (2006) den Klimawandel, der hauptsächlich aufgrund des Verbrauchs von fossiler Energie entsteht, als «the greatest market failure the world has ever seen» (p. viii). Speziell am fossilen Energieverbrauch ist zudem, dass dabei nicht nur der Treibhauseffekt und damit die globale Erwärmung verstärkt werden, sondern dass gleichzeitig eine Reihe lokaler Umweltprobleme wie Luftverschmutzung verursacht wird.

Ziel des vorliegenden Artikels ist es, die Effizienz der fossilen Energiepolitik der Schweiz zu beurteilen und aufzuzeigen, ob und wie diese zu steigern ist. Dazu wird ein impliziter CO<sub>2</sub>-Preis für die verschiedenen Verwendungen der fossilen Energie hergeleitet. Dieser ergibt sich aus der Differenz der Abgaben auf die Verwendung fossiler Energie und den daraus entstehenden lokalen externen Kosten. Je ausgeglichener der Preis über die verschiedenen Verwendungen ist, desto effizienter ist die bestehende Abgabenregelung. Die Herleitung eines impliziten CO<sub>2</sub>-Preises und seine Interpretation als Effizienzindikator sind ein neuartiger Ansatz, der bisher, zumindest in die Schweiz, noch nie angewandt wurde. Um das neue Vorgehen zu erklären, wird deshalb im Folgenden etwas weiter ausgeholt, bevor die Resultate präsentiert werden.

Im nächsten Abschnitt wird die Frage erörtert, wie ein optimaler Instrumentenmix angesichts der mehrfachen Problematik beim Verbrauch fossiler Energie zu gestalten ist. Ebenso wird erklärt, warum der CO<sub>2</sub>-Preis für alle fossilen Energieträger gleich hoch sein sollte. Anschliessend wird dargelegt, wie sich der implizite CO<sub>2</sub>-Preis aus den aktuellen Schweizer Preisen für fossile Energie und den lokalen externen Kosten herleiten lässt. Die Resultate werden in der Folge getrennt für den Strassenverkehr, den Luftverkehr sowie für die Wärmeerzeugung aufgezeigt. Abschliessend wird diskutiert, welche Bedeutung den Resultaten für eine effiziente Energie- und Klimapolitik der Schweiz zukommt.

## 2. Überlegungen zum effizienten Instrumentenmix

Wie erwähnt, führt der Verbrauch fossiler Energie, z. B. in Form von Benzin oder Diesel, einerseits zu CO<sub>2</sub>-Emissionen und damit zur Verstärkung des Treibhauseffektes, andererseits zu weiteren Emissionen wie lokalen Luftschadstoffen oder Lärm. Beide Auswirkungen fallen in Form von externen Kosten an, unterscheiden sich allerdings in zwei wesentlichen Punkten.

Erstens handelt es sich bei Treibhausgasemissionen um ein globales Problem, weil deren Auswirkungen unabhängig vom Emissionsstandort anfallen. So steigt der Meeresspiegel gleich stark an, unabhängig davon, ob weitere Tonnen CO<sub>2</sub> in der Schweiz, in China oder sonst wo emittiert werden. Im Unterschied dazu sind Emissionen von z. B. Feinstaub oder Lärm von lokaler Natur, deren negative Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden hauptsächlich von der lokalen Bevölkerung zu tragen sind. Aufgrund dieser Unterscheidung in globale und lokale externe Effekte ist es grundsätzlich sinnvoll, das globale Problem international koordiniert anzugehen, während die lokalen Belastungen im Rahmen einer nationalen Umweltpolitik eigenständig reguliert werden können. Inwiefern eine internationale Koordination auch dann sinnvoll ist, wenn die nationalen Umweltprobleme des fossilen Energieverbrauchs ungelöst sind, ist allerdings noch zu diskutieren.

Eine zweite Unterscheidung liegt darin, dass die Auswirkungen der Treibhausgasemissionen äusserst schwierig in Geldeinheiten zu quantifizieren sind. Alleine die physikalischen Auswirkungen von Treibhausgasemissionen sind aufgrund der komplexen klimatischen Prozesse nur mit Mühe vorauszusagen. Deren monetäre Bewertung ist ein zusätzliches Problem. So gibt es auch unter Ökonomen keinen Konsens darüber, wie etwa Kosten, die bei zukünftigen Generationen anfallen, bestimmt werden sollen. Dabei geht es nicht zuletzt um die Frage, ob solche zukünftigen Kosten auf die Gegenwart abdiskontiert werden dürfen oder nicht, und wenn ja, zu welchem Diskontsatz. Weil mit dieser Frage häufig auch persönliche Wertungen verbunden sind, erstaunt es nicht, dass auch Spezialisten unterschiedliche Meinungen vertreten. So schätzt das UK Department of Energy and Climate Change (2009) die Kosten pro Emissionseinheit in einem Bereich von null bis tausend Pfund, je nach gewählter Modellspezifikation und Parameterwerten.

Die Quantifizierung der lokalen externen Kosten ist zwar auch kein leichtes Unterfangen, aber mit weniger Unsicherheiten verbunden als die monetäre Abschätzung der Klimafolgen. Für die Schweiz werden solche Bewertungen regelmässig vorgenommen. Im Bereich des Strassengüterverkehrs sind sie sogar insofern institutionalisiert, als sie zur Festlegung der maximalen Höhe der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) verwendet werden, deren Ertrag gemäss Gesetz «die ungedeckten Wegekosten und die Kosten zulasten der Allgemeinheit nicht übersteigen» darf (Art. 7 Abs.1 des Bundesgesetzes über eine leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe).

Aufgrund der detaillierten Datenlage zu den lokalen externen Kosten des fossilen Energieverbrauchs in der Schweiz bietet sich eine Internalisierung dieser Kosten über eine so genannte Pigou-Steuer an. Dieses Instrument ist keine Steuer im eigentlichen Sinne, da es keine Finanzierungsfunktion erfüllt, sondern einen Lenkungseffekt zum Ziel hat. Durch die Einführung einer Steuer in Höhe der externen Kosten werden diese in den Marktpreisen ersichtlich, was zu einem Verbrauchsrückgang von fossiler Energie führt. Da je nach Energieträger die lokalen externen Kosten unterschiedlich hoch sein können, sollte auch der Pigou-Abgabesatz für die einzelnen Energieträger differenziert ausgestaltet sein.

Da die externen Kosten der Klimaerwärmung jedoch kaum quantifizierbar sind, kann in einem alternativen Ansatz der zu erreichende Umweltstandard politisch festgelegt werden. Konkret passiert dies bereits auf eidgenössischer Ebene, wo eine im Vergleich zum Basisjahr 1990 20-prozentige Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis ins Jahr 2020 gesetzlich vorgesehen ist. Auch international besteht seit der Klimakonferenz Ende 2015 in Paris eine politische Zielvorgabe, die globale Erwärmung auf höchstens zwei Grad zu beschränken. Ob dieses Ziel auch tatsächlich

erreicht werden kann, hängt allerdings davon ab, zu welchem Ausmass der Emissionsreduktion die einzelnen Länder bereit sein werden.

Zur kostengünstigen Erreichung eines politisch vorgegebenen Emissionsstandards bieten sich marktwirtschaftliche Instrumente wie Lenkungsabgaben oder handelbare Verschmutzungsrechte an. Während in der Schweiz auf Brennstoffen eine CO<sub>2</sub>-Abgabe besteht, ist in der Europäischen Union seit 2005 ein supranationales Handelssystem für CO<sub>2</sub>-Emissionen aus grossen Anlagen in Kraft.

Eine Voraussetzung für die Effizienz solcher marktwirtschaftlichen Instrumente ist, dass der Preis einer CO<sub>2</sub>-Emission für alle Emittenten gleich hoch ist. In dem Fall werden diejenigen Emittenten, deren Vermeidungskosten tiefer als der CO<sub>2</sub>-Preis sind, Emissionen vermeiden, während Emittenten mit Vermeidungskosten, die höher sind als der CO<sub>2</sub>-Preis, keine Emissionen vermeiden.<sup>1</sup> Das Preissignal schafft also Anreize, relativ billige Vermeidungen zu realisieren und dadurch ein vorgegebenes Reduktionsziel zu möglichst tiefen Kosten zu erreichen.

Eine effiziente fossile Energie- und Klimapolitik beruht daher auf zwei Pfeilern: Einerseits werden über eine Pigou-Steuer die lokalen externen Kosten internalisiert und damit die lokale Umweltbelastung eingedämmt. Andererseits sorgt ein weiteres marktwirtschaftliches Instrument dafür, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Ausmass eines politisch vorgegebenen Zieles möglichst kostengünstig vermieden werden. Es ist zu beachten, dass sich die beiden Instrumente nicht ausschliessen, sondern ergänzen, weil sie zwei unterschiedliche Probleme angehen – einerseits die lokalen externen Kosten, andererseits das globale Klimaproblem.

Da, wie erwähnt, die lokalen externen Kosten je nach Verwendung der fossilen Energie unterschiedlich hoch ausfallen, variiert auch der Abgabesatz zur Internalisierung der lokalen Externalitäten. Im Unterschied dazu ist der Abgabesatz einer Lenkungsabgabe auf CO<sub>2</sub>-Emissionen für alle Verwendungen fossiler Energie gleich hoch, denn nur so kann eine möglichst kostengünstige Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen erreicht werden.

---

<sup>1</sup> Davon zu unterscheiden ist die Frage, wer die Emissionsvermeidung letztlich zu bezahlen hat. Dies ist bei einem Handelssystem von der Verteilung der Emissionsrechte und bei einer Lenkungsabgabe von der Rückverteilung der Abgabeeinnahmen abhängig. Die Finanzierung der Vermeidung kann damit unabhängig von der Frage, wer wo und wann vermeidet, so ausgestaltet werden, wie es politisch erwünscht ist.

### 3. Vorgehen zur Berechnung der impliziten CO<sub>2</sub>-Preise

Die Bestimmung der impliziten CO<sub>2</sub>-Preise leitet sich aus der Effizienzforderung ab, die besagt, dass der Preis eines Gutes dessen Kosten widerspiegeln soll. Genau genommen geht es dabei um die so genannten Grenzkosten, also um diejenigen Kosten, die bei der Produktion und dem Konsum einer zusätzlichen Einheit entstehen.

Der implizite CO<sub>2</sub>-Preis eines Energieträgers ergibt sich demzufolge als Differenz zwischen dem tatsächlichen Preis, den die Konsumenten dafür bezahlen, und dem effizienten inländischen Preis, wobei letzterer die lokalen externen Kosten, nicht aber die Kosten der Klimaerwärmung einschliesst.

Wenn also beispielsweise der Preis eines Energieträgers inklusive aller verbrauchsspezifischen Abgaben 100 CHF und der effiziente Preis 90 CHF betragen, so verbleibt eine Differenz von 10 CHF, welche als impliziter CO<sub>2</sub>-Preis interpretiert werden kann.<sup>2</sup>

Zur weiteren Erläuterung des Konzepts des impliziten CO<sub>2</sub>-Preises seien drei Spezialfälle erwähnt. Angenommen, es bestehen überhaupt keine spezifischen Abgaben auf einem fossilen Energieträger, dessen Verwendung neben CO<sub>2</sub>-Emissionen auch lokale externe Kosten verursacht. In diesem Fall liegt der tatsächliche Preis unter dem effizienten, und der implizite CO<sub>2</sub>-Preis ist negativ. Wenn dagegen die lokalen externen Kosten über eine Pigou-Steuer internalisiert sind und keine weiteren spezifischen Abgaben bestehen, dann entspricht der tatsächliche Preis dem effizienten inländischen Preis, und der implizite CO<sub>2</sub>-Preis ist null. Wenn nun zusätzlich zur lokalen Pigou-Steuer eine CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe erhoben wird, so entspricht die Differenz zwischen dem tatsächlichen und dem effizienten Preis der CO<sub>2</sub>-Abgabe; in diesem Fall ist der implizite CO<sub>2</sub>-Abgabesatz gleich dem expliziten.

Weil aber in der Schweiz einerseits externe Kosten nur beim Strassengüterverkehr über die LSVA internalisiert werden und andererseits die CO<sub>2</sub>-Abgabe nur auf Brennstoffe erhoben wird, können die impliziten CO<sub>2</sub>-Preise für verschiedene Verwendungen der fossilen Energie stark divergieren. Die Herausforderung bei deren Herleitung liegt in der Bestimmung der (Grenz-)Kosten und damit der effizienten Preise der einzelnen Energieträger. Dabei wird folgendermassen vorgegangen:

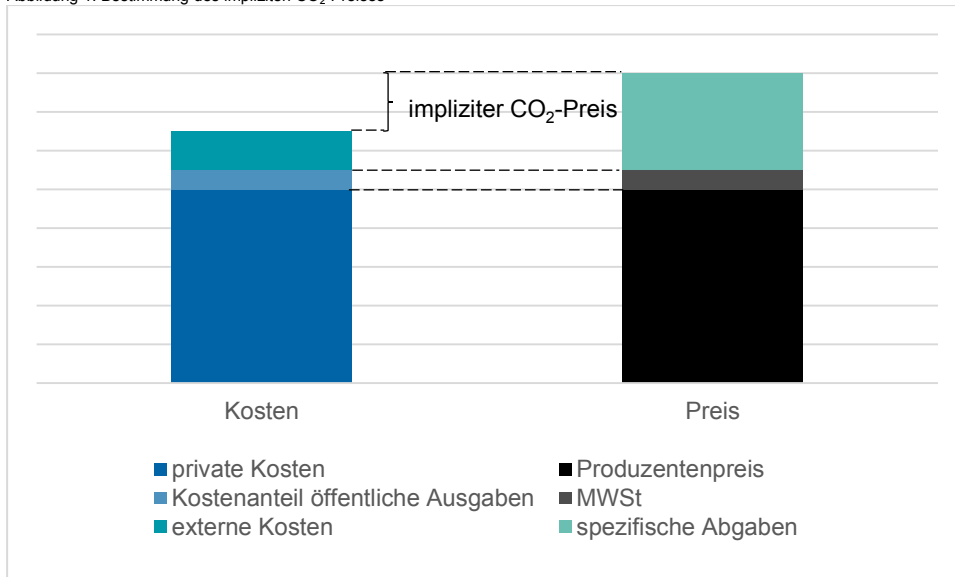
- Wo die Bestimmung der externen Grenzkosten nicht möglich ist, werden alternativ durchschnittliche variable Kosten verwendet. Dies entspricht der Annahme, dass die Schadensfunktion, also z. B. die Unfallkosten in Abhängigkeit von den gefahrenen Fahrzeugkilometern, linear verläuft.
- Beim Strassenverkehr werden die variablen Infrastrukturkosten als Teil der externen Kosten berücksichtigt, welche in den effizienten Preis eingehen.
- Es wird allgemein davon ausgegangen, dass die Produzentenpreise den privaten Grenzkosten entsprechen, dass also die Nettopreise, welche die Anbieter bekommen, deren Kosten gerade decken.
- Es wird berücksichtigt, dass im Bruttopreis der Energieträger eine Mehrwertsteuer enthalten ist, die nicht der Internalisierung von externen Kosten, sondern der Finanzierung von staatlichen Aufgaben dient und deren Satz aus Effizienzgründen für alle Energieträger gleich hoch sein sollte.

Entsprechen die Produzentenpreise, wie angenommen, den privaten Kosten und wird eine allgemeine Mehrwertsteuer erhoben, dann entspricht die Differenz zwischen tatsächlichem und effizientem Preis gerade der Differenz zwischen den spezifischen Abgaben für fossile Energie und den lokalen externen Kosten. Dieser Fall ist in Abbildung 1 dargestellt und kommt mit Ausnahme des Flugverkehrs, wo keine Mehrwertsteuer erhoben wird, in allen Berechnungen zur Anwendung.

---

<sup>2</sup> Je nach verwendeter Masseinheit ist dieser Wert in CO<sub>2</sub>-Einheiten umzurechnen.



Abbildung 1: Bestimmung des impliziten CO<sub>2</sub>-Preises

Die Herleitung der externen Umweltkosten basiert auf umfangreichen und detaillierten Studien von Ecoplan und Infrac (2014), Ecoplan (2012) und Infrac (2012), welche zuhänden des Bundesamts für Raumentwicklung bzw. des Bundesamts für Energie erstellt wurden. Ecoplan und Infrac (2014) verwenden wo möglich einen Schadenskostenansatz und unterscheiden folgende Kategorien von externen Kosten (S. 18):

- Gesundheitskosten, Gebäudeschäden, Ernteauffälle, Waldschäden und Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung
- Lärm
- Klima
- Natur und Landschaft
- Bodenschäden durch toxische Stoffe
- Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse
- Unfälle
- Zusatzkosten in städtischen Räumen

In den hier vorliegenden Berechnungen werden die Klimakosten sowie die Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse eliminiert, da diese keine lokalen externen Kosten darstellen. Ebenso werden die Kosten von Natur und Landschaft sowie der städtischen Räume als Fixkosten ausgesondert.

Zur Bestimmung der Infrastrukturkosten des Strassenverkehrs wird die Strasseninfrastrukturechnung des Bundesamts für Statistik für das Jahr 2010 verwendet. Es ist zu beachten, dass die offizielle Strassenrechnung der Bestimmung des Kostendeckungsgrades der einzelnen Verkehrskategorien und nicht der Herleitung des effizienten Preises der fossilen Energieträger dient. Deshalb müssen aus der Strassenrechnung insbesondere die fixen Kosten sowie die fixen Beiträge wie Motorfahrzeugsteuer oder Autobahnvignette eliminiert werden.

Neuerdings publiziert das Bundesamt für Statistik auch eine Synthesestatistik aus der Strassenrechnung und der Studie über die externen Kosten des Verkehrs, welche auch den Luft- und Schienenverkehr einbezieht. Sie wurde 2015 unter dem Titel *Kosten und Finanzierung des Verkehrs für das Jahr 2010* veröffentlicht und soll jährlich aufdatiert werden. Damit werden in Zukunft jährlich neue Daten zu den externen Umweltkosten zur Verfügung stehen.

## 4. Resultate

Es werden implizite CO<sub>2</sub>-Preise für den fossilen Energieverbrauch im Strassen- und Luftverkehr sowie bei der Wärmeproduktion berechnet. Der Strassenverkehr wird zusätzlich in Personen- und Güterschwerverkehr unterteilt, beim Luftverkehr beschränken sich die Resultate auf den Personenverkehr, und bei der Wärmeproduktion werden die Brennstoffe Heizöl und Erdgas unterschieden. Eine weitere Unterscheidung nach Energieträger (Benzin und Diesel) wird beim Strassenverkehr nicht vorgenommen, da sich die externen Kosten zwischen Personen- und Lastwagen stärker als zwischen Benzin und Diesel unterscheiden. Darüber hinaus entspricht diese Unterscheidung derjenigen von Ecoplan und Infrac (2014).

### 4.1. STRASSENVERKEHR

#### 4.1.1. Methodische Hinweise

Am Beispiel der externen Gesundheitskosten soll gezeigt werden, wie die externen Kosten im Einzelnen bestimmt werden. Ecoplan und Infrac (2014) stützen sich dabei auf Feinstaub als Leitschadstoff. Es wird geschätzt, dass es aufgrund der verkehrsbedingten Luftverschmutzung zu jährlich gut 1'000 frühzeitigen Todesfällen bzw. zu einem Verlust von rund 10'500 Lebensjahren kommt (Ecoplan und Infrac, 2014, S. 138). Der Wert eines verlorenen Lebensjahres wird auf 100'000 Franken festgelegt, was zu Kosten aufgrund frühzeitiger Todesfälle von rund einer Milliarde Franken führt. Dazu kommen weitere Kosten wie die Behandlung von Krankheiten, sodass sich in der Summe jährliche Gesundheitskosten von rund 1.5 Milliarden Franken ergeben.

Es wird davon ausgegangen, dass Feinstaubkonzentrationen unterhalb 7.5 Mikrogramm/m<sup>3</sup> keine nennenswerten Gesundheitsschäden zur Folge haben, sowie dass ab dieser Schwelle die Kosten linear ansteigen. Dadurch ergeben sich höhere Grenz- als Durchschnittskosten von Feinstaubemissionen. Dies ist in den hier präsentierten Resultaten berücksichtigt.

Weiter ist zu beachten, dass nur knapp ein Viertel der verkehrsbedingten Feinstaubemissionen aus Abgasen stammt und damit treibstoffabhängig ist. Gut drei Viertel der Emissionen ergeben sich aus Abrieb und Aufwirbelungen und sind deshalb fahrleistungsabhängig.

Bei den Strasseninfrastrukturkosten ist eine eigene Annahme nötig, um die Abschreibungen in fixe und fahrleistungsabhängige Kosten aufzuteilen. Es wird davon ausgegangen, dass die Hälfte der Abschreibungen aufgrund der Strassenbenutzung erfolgt und deshalb fahrleistungsabhängig ist.

Bei der Bestimmung der effizienten Treibstoffpreise muss der Umstand berücksichtigt werden, dass ein Teil der Kosten fahrleistungs- und nicht verbrauchsabhängig anfällt. Dabei ergibt sich die Frage, wie gut die fahrleistungsabhängigen Kosten mit einer verbrauchsabhängigen Abgabe internalisiert werden können.

Würde eine solche Abgabe den Verbrauch und die Fahrleistung im gleichen Ausmass beeinflussen, liessen sich die Kosten über eine Verbrauchsabgabe vollständig internalisieren. Das eigentliche Problem ergibt sich aber dadurch, dass durch die Abgabe der Verbrauch pro Fahrleistung beeinflusst wird, indem z. B. sparsamere Autos eingesetzt werden oder das Fahrverhalten angepasst wird. In diesem Fall ändern sich als Folge der Abgabe der Verbrauch und die Fahrleistung nicht im gleichen Ausmass, und die Verbrauchsabgabe ist entsprechend kein perfektes Substitut zur direkten Besteuerung der Fahrleistung. Parry et al. (2007) haben gezeigt, dass der optimale Pigou-Steuersatz  $t_p$  wie folgt angepasst werden muss:

$$t_p = EGK_{\text{Verbrauch}} + \rho \gamma EGK_{\text{Fahrleistung}}$$

Hierbei stehen  $EGK_{\text{Verbrauch}}$  für die verbrauchsabhängigen externen Kosten pro Liter,  $EGK_{\text{Fahrleistung}}$  für die fahrleistungsabhängigen externen Kosten pro Fahrzeugkilometer,  $\rho$  für den Anteil der durch die Abgabe ausgelösten

Reduktion des Verbrauchs, der aufgrund der weniger gefahrenen Kilometer zustande kommt, und  $\gamma$  für die Anzahl Fahrzeugkilometer pro Liter Treibstoff.

Für das Verständnis dieser Formel entscheidend ist die Tatsache, dass «what matters for the optimal tax is not the external costs generated while consuming a gallon of fuel, but rather the external costs generated in the process of increasing fuel consumption by a gallon as a result of tax incentives» (Parry et al., 2004, p. 12). Um es an einem Extrembeispiel zu illustrieren, sei angenommen, dass die gesamte Verbrauchsreduktion aufgrund einer Treibstoffabgabe ausschliesslich durch sparsameres Fahren zustande kommt und die Anzahl gefahrener Kilometer unverändert bleibt ( $\rho = 0$ ). In diesem Fall würden die fahrleistungsabhängigen Kosten gar nicht verändert und sollten daher auch nicht Teil des Treibstoffpreises sein.

In ihrer numerischen Simulation für Grossbritannien und die USA verwenden Parry und Small (2005) einen zentralen Wert von 0.4 für  $\rho$ . Aufgrund des gut ausgebauten öffentlichen Verkehrs in der Schweiz wird im Folgenden mit einem leicht höheren Wert von 0.5 für  $\rho$  gerechnet. Damit wird ausgedrückt, dass ein Umsteigen auf den öffentlichen Verkehr aufgrund von höheren Treibstoffpreisen in der Schweiz einfacher ist als in Grossbritannien oder den USA. Mit dem Wert 0.5 wird also entsprechend der obigen Formel nur die Hälfte der fahrleistungsabhängigen externen Kosten in den effizienten Treibstoffpreis eingerechnet.

#### 4.1.2. Personenwagen

Personenwagen verbrauchen 87 Prozent des gesamten berücksichtigten Treibstoffs im Strassenverkehr. Die Kategorie der Personenwagen ist deshalb in Bezug auf den fossilen Energieverbrauch im Vergleich zu den Lastwagen von übergeordneter Bedeutung.

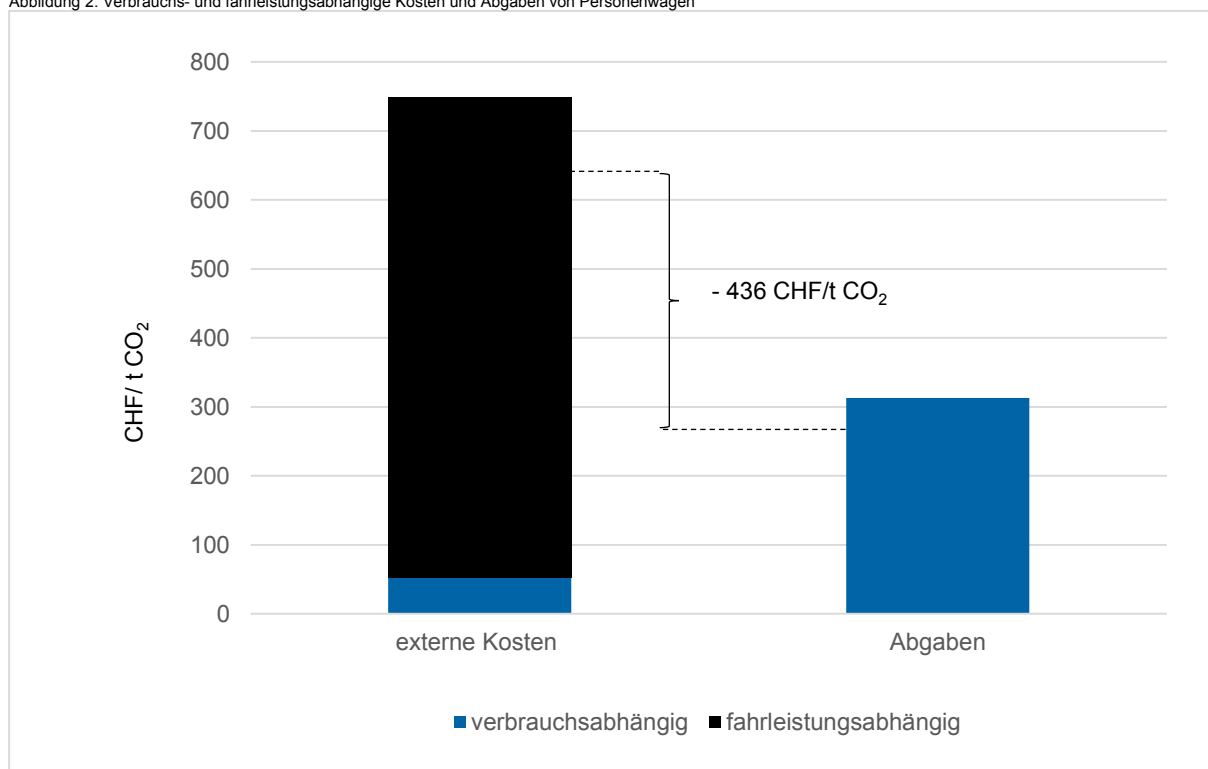
Tabelle 1 zeigt, dass die verbrauchsabhängigen externen Kosten der Luftverschmutzung rund 0.13 CHF pro Liter und die fahrleistungsabhängigen externen Kosten 0.13 CHF pro Fahrzeugkilometer betragen, wovon die Strassenkosten gut 40 Prozent ausmachen. Umgerechnet auf eine Tonne CO<sub>2</sub> ergibt dies eine Summe von 749 CHF. Einnahmeseitig schlägt v.a. die Mineralölsteuer mit rund 0.74 Franken pro Liter zu Buche. Darüber hinaus wird eine so genannte Kompensationsabgabe in der Höhe von 1.5 Rappen berücksichtigt. Diese dient der Finanzierung von CO<sub>2</sub>-Reduktionsprojekten, zu welchen die Treibstoffimporteure im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung verpflichtet sind. Ausgedrückt pro Tonne CO<sub>2</sub> ergeben sich in der Summe variable Einnahmen von 313 Franken, welche damit um 436 Franken geringer als die ausgewiesenen Kosten sind.

Tabelle 1: Externe Kosten und Abgaben Personenwagen

	(1) CHF/l	(2) CHF/Fzkm	(1) + (2) CHF/t CO <sub>2</sub>
<b>Externe Kosten</b>			
Luftverschmutzung verbrauchsabhängig	0.1255		52
Luftverschmutzung fahrleistungsabhängig		0.0252	131
Unfälle		0.0226	117
Lärm		0.0121	63
Boden		0.0011	6
Stau		0.0176	91
Strassen		0.0558	289
<b>Summe externe Kosten</b>	<b>0.1255</b>	<b>0.1345</b>	<b>749</b>
<b>spezifische Abgaben</b>			
Mineralölsteuer	0.7372		307
Kompensationsabgabe	0.0150		6
<b>Summe Abgaben</b>	<b>0.7522</b>	<b>0.0000</b>	<b>313</b>
Differenz Abgaben minus externe Kosten	0.6268	-0.1345	-436
Pigou-Steuersatz ( $\rho = 0.5$ ) auf Treibstoffverbrauch	0.9627		401
Impliziter CO <sub>2</sub> -Preis ( $\rho = 0.5$ )	-0.2105		-88

Abbildung 2 zeigt die Resultate in grafischer Form, wobei die Kosten und Abgaben in einen verbrauchs- und fahrleistungsabhängigen Anteil unterteilt sind. Es wird deutlich, dass der weitaus grösste Teil der externen Kosten fahrleistungsabhängig anfällt, während die Abgaben ausschliesslich vom Verbrauch abhängen. Wenn nun die fahrleistungsabhängigen Kosten über eine Verbrauchsabgabe internalisiert werden sollen, muss, wie oben dargestellt, berücksichtigt werden, dass dies nur teilweise möglich ist, weil annahmegemäss nur die Hälfte des Verbrauchsrückganges auf eine geringere Fahrleistung zurückzuführen ist. Unter dieser Annahme beträgt der effiziente Abgabesatz auf Treibstoff 0.96 CHF, was 0.21 CHF über dem aktuellen Satz liegt. Umgerechnet in Tonnen CO<sub>2</sub> ergibt dies einen impliziten CO<sub>2</sub>-Preis von -88 CHF. Der negative CO<sub>2</sub>-Preis drückt aus, dass eine Preiserhöhung auch ohne Berücksichtigung der Klimafolgen und nur unter Einbezug der lokalen Externalitäten von Vorteil ist.

Abbildung 2: Verbrauchs- und fahrleistungsabhängige Kosten und Abgaben von Personewagen



#### 4.1.3. Schwere Nutzfahrzeuge

Tabelle 2 weist die Resultate für Lastwagen und Sattelschlepper in Franken pro Liter, pro Nettotonnenkilometer und pro Tonne CO<sub>2</sub> aus. Analog zum Vorgehen von EcoPlan und Infrac (2014) werden Nettotonnenkilometer als Leistungsindikator gewählt, weil ein grosser Teil der Kosten, und insbesondere die Strassenkosten, gewichtshängig anfallen.

Tabelle 2: Externe Kosten und Abgaben Lastwagen:

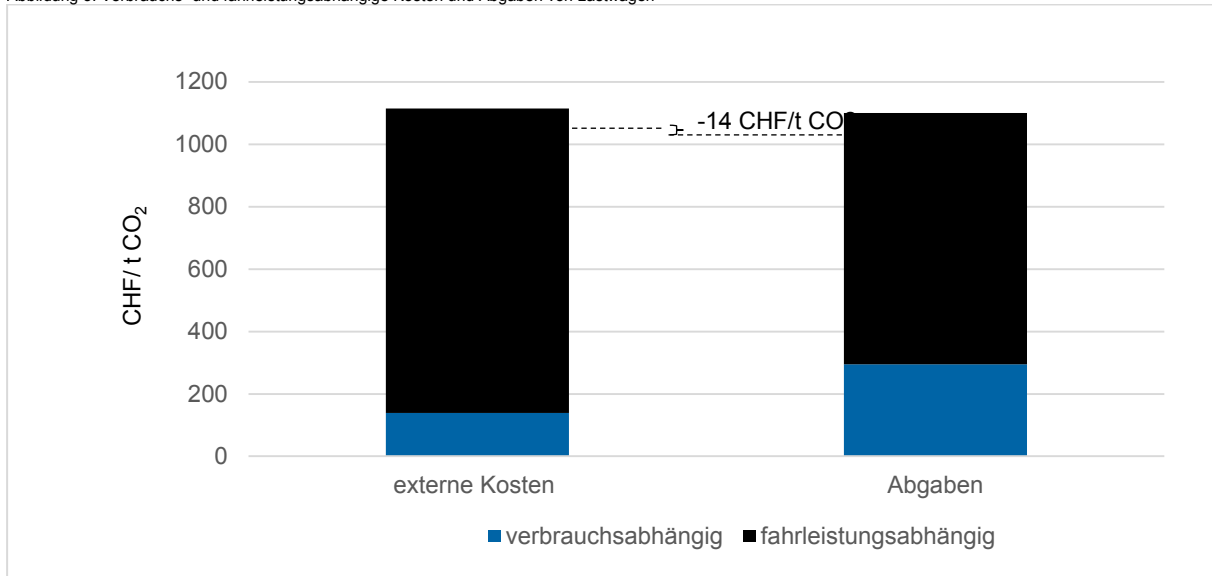
	(1) CHF/l	(2) CHF/Ntkm	(1) + (2) CHF/t CO <sub>2</sub>
<b>Externe Kosten</b>			
Luftverschmutzung verbrauchsabhängig	0.3634		139
Luftverschmutzung fahrleistungsabhängig		0.0180	165
Unfälle		0.0032	29
Lärm		0.0209	191
Boden		0.0026	24
Stau		0.0073	67
Strassen		0.0545	499
<b>Summe externe Kosten</b>	<b>0.3634</b>	<b>0.1066</b>	<b>1'114</b>
<b>spezifische Abgaben</b>			
Mineralölsteuer	0.7587		290
Kompensationsabgabe	0.0150		6
LSVA		0.0879	805
<b>Summe Abgaben</b>	<b>0.7737</b>	<b>0.0879</b>	<b>1'100</b>
<b>Differenz Abgaben minus externe Kosten</b>	<b>0.4103</b>	<b>-0.0187</b>	<b>-14</b>
Pigou-Steuersatz ( $\rho = 0.5$ ) auf Treibstoffverbrauch	0.5874		224
Impliziter CO <sub>2</sub> -Preis ( $\rho = 0.5$ )	0.1863		71

Im Unterschied zu den Personenwagen ergeben sich höhere verbrauchsabhängige Kosten der Luftverschmutzung, welche darauf zurückzuführen sind, dass schwere Nutzfahrzeuge praktisch ausschliesslich mit Diesel fahren. Einnahmeseitig wird neben der Mineralölsteuer und der Kompensationsabgabe auch die LSVA erhoben, die pro Nettotonnenkilometer beinahe 0.09 CHF beträgt.<sup>3</sup> Dadurch ist ein grosser Teil der leistungsabhängigen Kosten internalisiert. Zusammen mit den verbrauchsabhängigen Kosten und Abgaben ergibt sich in der Summe ein leichtes Minus in der Höhe von 14 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub>.

Wie Abbildung 3 zeigt, ist aufgrund der LSVA das Verhältnis von leistungs- und verbrauchsabhängigen Kosten und Abgaben bei den schweren Nutzfahrzeugen ausgeglichener als bei den Personenwagen. Wenn nun die ungedeckten leistungsabhängigen Kosten (0.1066 CHF – 0.0879 CHF aus Tabelle 2) über eine Verbrauchsabgabe internalisiert werden, muss wiederum eine Anpassung dieses ungedeckten Betrags mit demjenigen Anteil erfolgen, welcher beschreibt, dass nur ein Teil der durch die Abgabe ausgelöste Reduktion des Verbrauchs auf eine geringere Fahrleistung zurückzuführen ist. Wird hierfür wie bei den Personenwagen ein Wert von 0.5 gewählt, ergibt sich ein effizienter Abgabesatz auf Treibstoff in der Höhe von 0.59 CHF pro Liter, was 0.19 CHF unter der aktuellen Belastung liegt. Dies entspricht einem impliziten CO<sub>2</sub>-Preis von 71 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub>. Im Unterschied zu den Personenwagen enthält also die Treibstoffbesteuerung der schweren Nutzfahrzeuge einen Teil, der wie eine CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe wirkt.

<sup>3</sup> Der Wert ist nicht zu verwechseln mit den offiziellen Abgabesätzen der LSVA, welche pro Tonne Maximalgewicht festgelegt sind.

Abbildung 3: Verbrauchs- und fahrleistungsabhängige Kosten und Abgaben von Lastwagen



Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass die hier ausgewiesenen Ergebnisse nicht die Gesamterträge den totalen Kosten gegenüberstellen und deshalb nicht zur Ermittlung des Kostendeckungsgrades dienen. Es geht vielmehr um die Bestimmung des effizienten Preises, wobei allen voran die fixen Kosten und Beiträge nicht berücksichtigt werden.

#### 4.2. LUFTVERKEHR

Beim Personenluftverkehr werden die Kosten in Tabelle 3 pro Liter Treibstoff, pro Personenkilometer und umgeformt pro Tonne CO<sub>2</sub> ausgewiesen. Die externen Kosten durch Luftschadstoffemissionen und die externen Lärmkosten sind pro Tonne CO<sub>2</sub> ähnlich gross. Dazu kommen externe Unfallkosten, deren Höhe allerdings wenig ins Gewicht fällt.

Auf der Einnahmeseite sind die emissions- und lärmabhängigen Landegebühren aufgeführt, die von den grossen Schweizer Flughäfen erhoben werden. Da diese Gebühren je nach Flugzeugtyp unterschiedlich hoch anfallen, werden sie in der Tabelle 3 nur in Franken pro Tonne CO<sub>2</sub> ausgewiesen.

Der Luftverkehr ist insofern speziell, als auf internationale Luftverkehrsleistungen keine Mehrwertsteuer erhoben wird. Dabei ist die Schweiz kein Einzelfall. Das Verbot der Besteuerung von Flugtreibstoff ist in der so genannten Chicago Convention on International Civil Aviation, die von 188 Länder unterzeichnet wurde, festgehalten. Die Regelung ist im Sinne eines effizienten Steuersystems problematisch, weil sie den Luftverkehr gegenüber anderen Verkehrsträgern steuerlich bevorteilt, was zu Verzerrungen in der Wahl der Verkehrsträger führen kann. Aus diesem Grund wird in Tabelle 3 die fehlende Mehrwertsteuer auf dem Flugtreibstoff bei den Abgaben negativ aufgeführt.

Tabelle 3: Externe Kosten und Abgaben Personenluftverkehr

	CHF/l	CHF/pkm	umgeformt in CHF/t CO <sub>2</sub>
<b>externe Kosten</b>			
Luft emissionsabhängig	0.0702		28
Lärm		0.0031	36
Unfälle		0.0002	2
Summe externe Kosten			67
<b>spezifische Abgaben</b>			
Emissionsabgabe			1
Lärmgebühr			12
fehlende MWSt auf Treibstoff	-0.0444		-18
Summe spezifische Abgaben	-0.0444		-5
Abgaben minus externe Kosten = impliziter CO <sub>2</sub> -Preis			-71

Per Saldo ergibt sich im Personenflugverkehr ein negativer impliziter CO<sub>2</sub>-Preis von 71 Franken. Eine Abgabenerhebung um diesen Betrag bzw. um 0.18 CHF pro Liter würde sich folglich, ähnlich wie beim Personenverkehr auf der Strasse, auch ohne Berücksichtigung von CO<sub>2</sub>-Emissionen lohnen.

### 4.3. WÄRMEPRODUKTION

#### 4.3.1. Heizöl

Im Unterschied zum Treibstoffverbrauch fallen beim Brennstoffverbrauch nur externe Kosten der Luftverschmutzung an. Diese werden auf 0.11 Franken pro Liter Heizöl geschätzt (vgl. Tabelle 4). Während die Mineralölsteuer auf Brennstoffen relativ klein ist, besteht im Gegensatz zum Treibstoff eine explizite CO<sub>2</sub>-Abgabe, die mit dem aktuellen Wert des Jahres 2016 in der Höhe von 84 Franken pro Tonne CO<sub>2</sub> in die Berechnung eingeht. Bemerkenswert ist, dass die Mehrwertsteuer auf dem Preis inklusive CO<sub>2</sub>-Abgabe erhoben wird. Da dieser Teil der Mehrwertsteuer über die normale Belastung der anderen Güter hinausgeht, wird der Mehrwertsteueranteil auf der CO<sub>2</sub>-Abgabe als spezifische Internalisierungsabgabe berücksichtigt.

Tabelle 4: Externe Kosten und Abgaben Heizöl

	in CHF/l	in CHF/t CO <sub>2</sub>
externe Kosten Luft	0.1060	40
Mineralölsteuer	0.0030	1
CO <sub>2</sub> -Abgabe	0.2226	84
MWSt auf CO <sub>2</sub> -Abgabe	0.0178	7
Summe Abgaben	0.2434	92
Abgaben minus externe Kosten = impliziter CO <sub>2</sub> -Preis	0.1374	52

Aus Tabelle 4 geht hervor, dass die externen Kosten höher sind als die nicht CO<sub>2</sub>-bezogenen Abgaben. Daher beträgt der implizite CO<sub>2</sub>-Preis mit 52 Franken pro Tonne weniger als die explizite CO<sub>2</sub>-Abgabe, sprich ein Teil der expliziten CO<sub>2</sub>-Abgabe kann als Beitrag zur Internalisierung der lokalen externen Kosten interpretiert werden, sodass für die eigentliche CO<sub>2</sub>-Regulierung ein kleinerer Betrag übrig bleibt.

**4.3.2. Erdgas**

Die Ergebnisse für Erdgas gestalten sich ähnlich wie diejenigen für das Heizöl. Da die Verbrennung von Erdgas allerdings sauberer ist als die Verbrennung von Heizöl, führt dies zu geringeren externen Kosten der Luftverschmutzung. Entsprechend liegt der implizite CO<sub>2</sub>-Preis höher als beim Heizöl (vgl. Tabelle 5). Von den 93 Franken spezifischer Abgaben lassen sich 20 Franken zur Deckung der Kosten der Luftverschmutzung abziehen. Damit verbleiben 73 Franken als impliziter CO<sub>2</sub>-Preis.

Tabelle 5: Externe Kosten und Abgaben Erdgas

	in CHF/m <sup>3</sup>	in CHF/t CO <sub>2</sub>
externe Kosten Luft	0.0396	20
Mineralölsteuer	0.0047	2
CO <sub>2</sub> -Abgabe	0.1680	84
MWSt auf CO <sub>2</sub> -Abgabe	0.0134	7
Summe Abgaben	0.1861	93
Abgaben minus externe Kosten = impliziter CO <sub>2</sub> -Preis	0.1466	73



## 5. Schlussfolgerungen und politische Implikationen

Tabelle 6 zeigt die berechneten impliziten CO<sub>2</sub>-Preise für die einzelnen Verwendungsarten im Überblick. Dabei wird ersichtlich, dass sich die impliziten Preise je nach Verwendungsart stark unterscheiden. Sie reichen von -88 Franken bei den Personenwagen bis +73 Franken beim Erdgas, wobei die Ergebnisse im Strassenverkehr sensitiv in Bezug auf die Annahme sind, wie gut sich eine Verbrauchsabgabe zur Internalisierung von fahrleistungsabhängigen externen Kosten eignet.

Negative Preise deuten an, dass die aktuellen Preise tiefer sind als der effiziente Preis, der alle lokalen externen Kosten enthält. Eine Erhöhung der Preise für fossile Energie lohnt sich in diesen Fällen also auch ohne Berücksichtigung der Klimafolgen.

Hinsichtlich Personenwagen ist festzuhalten, dass der grösste Teil der lokalen externen Kosten nicht verbrauchsabhängig, sondern fahrleistungsabhängig anfällt. Daher bietet sich hier ein Instrument analog der LSVA an: eine fahrleistungsabhängige Personenwagenabgabe. Damit liess sich im Unterschied zu Treibstoffabgaben auch der Tanktourismus unterbinden, der bei unterschiedlich hohen Treibstoffpreisen in den Nachbarländern zu kontraproduktiven Mehrfahrten führen kann.

Im internationalen Luftverkehr bietet sich eine Besteuerung des Treibstoffes nur schon aus fiskalischen Gründen an. Dies kann allerdings nur international koordiniert erfolgen, weil die Schweiz an internationale Abkommen gebunden ist.

Tabelle 6: Überblick impliziter CO<sub>2</sub>-Preis

	Strassenverkehr		Luftverkehr	Wärmeproduktion	
	PW	LW		Heizöl	Gas
impliziter CO <sub>2</sub> -Preis in CHF/t	-88	71	-71	52	73

Die unterschiedlichen impliziten CO<sub>2</sub>-Preise bedeuten, dass in der Schweiz die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen wenig effizient erfolgt. Unter der Annahme, dass die impliziten Preise den Vermeidungskosten einer zusätzlichen Tonne CO<sub>2</sub> entsprechen, lässt sich illustrativ folgende Überlegung anstellen: Würde beim Heizöl eine Tonne mehr und bei den Personenwagen eine Tonne weniger emittiert, ergäben sich beim Heizöl Einsparungen von 52 Franken. Bei den Personenwagen beliefe sich die Kostenreduktion aufgrund des Rückgangs der lokalen externen Kosten auf 88 Franken. Es liessen sich also 140 Franken einsparen, ohne dass es zu zusätzlichen Emissionen kommt, sondern schlicht dadurch, dass dort, wo es relativ günstig ist, mehr Emissionen, und dort, wo es relativ teuer ist, weniger Emissionen vermieden würden.

Wie eingangs erwähnt, sollte die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen eigentlich international koordiniert werden, damit sich länderübergreifend ein gleich hoher CO<sub>2</sub>-Preis ergibt. Es stellt sich allerdings die Frage, welche Vorteile eine solche Koordination bringt, wenn die lokalen externen Effekte nicht oder nur teilweise internalisiert sind.

In der Schweiz steht es zur Diskussion, diejenigen Grosseemittenten, die von der CO<sub>2</sub>-Abgabe befreit sind, aber mit den Behörden ein individuelles Vermeidungsziel ausgehandelt haben, dem europäischen Handelssystem anzuschliessen, wo CO<sub>2</sub> aktuell zu rund acht Euro pro Tonne gehandelt wird. Damit würden die inländischen Emittenten CO<sub>2</sub>-Emissionen soweit im Inland vermeiden, als die spezifischen Vermeidungskosten weniger als acht Euro betragen. Bei höheren Vermeidungskosten jedoch (z.B. 10 Euro) würden sie keine Emissionen vermeiden, sondern Emissionsrechte kaufen. Dies bedeutet wiederum, dass die inländischen externen Kosten (40 CHF beim Heizöl gemäss Tabelle 4) nicht reduziert würden, obwohl dies mehr Ertrag generierte als es kostete. Ein Anschluss an ein internationales Handelssystem garantiert also nur dann eine Effizienzsteigerung, wenn die

lokalen externen Kosten internalisiert sind. Solange dies nicht der Fall ist, können sich durch einen solchen Anschluss die Ineffizienzen noch verstärken.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Für eine ausführlichere Darstellung dieses Problems vgl. Schleiniger (2015).

# Literaturverzeichnis

- Bundesamt für Statistik (2015). Strasseninfrastrukturrechnung der Schweiz 2010, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/02/blank/04/01.html>.
- Bundesamt für Statistik (2015). Kosten und Finanzierung des Verkehrs: Jahr 2010, Neuchâtel.
- Ecoplan, Infras (2014). Externe Effekte des Verkehrs 2010, Bern, Zürich und Altdorf.
- Ecoplan (2012). Energiestrategie 2050 – volkswirtschaftliche Auswirkungen, Bern.
- Infras (2012). Neuberechnung der Stauzeitkosten, Schlussbericht, Bern.
- Parry, I. W. H., Small, K., & Street, P. (2004). Does Britain or the United States Have the Right Gasoline Tax? Resources for the Future, Discussion Paper 12-2.
- Parry, I. W. H., Small, K. (2005). Does Britain or the United States have the right gasoline tax? Am. Econ. Rev. 95(4), 1276–1289.
- Parry, I. W. H., Walls, M, Harrington, W. (2007). Automobile Externalities and Policies, Resources for the Future, Discussion Paper 06-26.
- Schleiniger, R. (2015). Die (In-)Effizienz des internationalen CO<sub>2</sub>-Handels, Die Ökonomenstimme, 16. November, 2015.
- Stern, N. (2007). The Economics of Climate Change, Cambridge University Press.
- UK Department of Energy and Climate Change (2009). Carbon Valuation in UK Policy Appraisal: A Revised Approach, Climate Change Economics.

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Externe Kosten und Abgaben Personenwagen .....	11
Tabelle 2: Externe Kosten und Abgaben Lastwagen:.....	13
Tabelle 3: Externe Kosten und Abgaben Personenluftverkehr .....	15
Tabelle 4: Externe Kosten und Abgaben Heizöl .....	15
Tabelle 5: Externe Kosten und Abgaben Erdgas.....	16
Tabelle 6: Überblick impliziter CO <sub>2</sub> -Preis.....	17

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bestimmung des impliziten CO <sub>2</sub> -Preises .....	9
Abbildung 2: Verbrauchs- und fahrleistungsabhängige Kosten und Abgaben von Personenwagen .....	12
Abbildung 3: Verbrauchs- und fahrleistungsabhängige Kosten und Abgaben von Lastwagen .....	14

# Autor

Reto Schleiniger, Prof. Dr. oec. publ.

Dozent für Volkswirtschaftslehre, Fachstelle für Wirtschaftspolitik, ZHAW School of Management and Law

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every sale, purchase, and expense must be properly documented to ensure the integrity of the financial statements. This includes keeping receipts, invoices, and bank statements in a secure and organized manner.

Next, the document outlines the process of reconciling the company's books with the bank statements. This involves comparing the company's records of cash and bank balances with the actual bank statements to identify any discrepancies. If there are differences, the company must investigate the cause, such as a missed deposit or an incorrect recording of a transaction.

The document also covers the preparation of the income statement and the balance sheet. It provides a step-by-step guide on how to calculate net income and determine the company's financial position at the end of the period. The income statement shows the company's revenues, expenses, and profits, while the balance sheet shows the company's assets, liabilities, and equity.

Finally, the document discusses the importance of reviewing the financial statements and providing a clear explanation of the results to the management and the board of directors. It stresses that the financial statements should be presented in a clear and concise manner, highlighting the key findings and any areas of concern.

# School of Management and Law

St.-Georgen-Platz 2  
Postfach  
8401 Winterthur  
Schweiz

[www.zhaw.ch/sml](http://www.zhaw.ch/sml)

