

## SCHWERVERKEHRSABGABE, TREIBSTOFFZÖLLE UND OPTIMALE FAHRPREISE<sup>1)</sup>

von PD Dr. Hans-Jürg Büttler, Zürich\*

### 1. Einleitung

Im Zuge der Diskussion über die Schwerverkehrsabgabe wird davon ausgegangen, dass die vom Schwerverkehr verursachten Strassenkosten nicht durch entsprechende Einnahmen aus Treibstoffzöllen, Motorfahrzeugzöllen, kantonalen Steuern und Gebühren auf Motorfahrzeugen gedeckt werden. Einer Unterdeckung des Schwerverkehrs stehe andererseits eine leichte Ueberdeckung der Personenwagen gegenüber, so dass von einer Subventionierung des Schwerverkehrs durch den Personenverkehr gesprochen wird. Die Unterdeckung des Schwerverkehrs wird vor allem durch die stärkere Beanspruchung des Strassenoberbaues infolge Lastwagen begründet. Um die Einnahmelücke zu schliessen, schlägt die Botschaft (1980) des Bundesrates eine Abgabe auf dem Schwerverkehr von beträchtlicher Höhe vor 2). Da die Schwerverkehrsabgabe nicht mehr losgelöst für sich, sondern im Rahmen der gesamten Verkehrskonzeption betrachtet werden soll, stellt sich die allgemeinere Frage, inwieweit die einzelnen Verkehrsmittel durch volkswirtschaftlich gerechtfertigte Abgaben belegt werden sollen.

Dieser Aufsatz bezweckt, die Frage der Schwerverkehrsabgabe und der Treibstoffzölle aufgrund der Frage nach volkswirtschaftlich effizienten Fahrpreisen für die verschiedenen Verkehrsmittel zu beleuchten. Die Differenz zwischen den volkswirtschaftlichen Fahrpreisen und den Kosten, die der einzelne Fahrer selber trägt, entspricht dann der gesuchten Verkehrsabgabe. Im nächsten Abschnitt wird gezeigt, dass effiziente Fahrpreise für verschiedene Motorfahrzeuge eine Abgabe je Kilometer in der Höhe der von ihnen verursachten sozialen Grenzkosten (Zusatzkosten) abzüglich private Fahrtkosten verlangen, falls ein Defizit in der Strassenrechnung durch pauschale Haushaltssteuern (Kopfsteuern) gedeckt werden. Die gegenwärtigen kantonalen Motorfahrzeugsteuern oder die in der Botschaft (1980) des Bundesrates vorgeschlagene Autobahnvignette können als eine

- 1) Für Anregungen und kritische Kommentare möch' e ich Prof. C. Hidber, Dr. K. Kieliger und Prof. J. Niehans herzlich danken.
- 2) Zum Beispiel sollte die Abgabe für einen Sattelschlepper 43 Rappen je Kilometer betragen. Bei einem Dieseltoll von gegenwärtig rund 60 Rappen je Liter und einem Dieserverbrauch laut Strassenrechnung (1976) von 39 Liter je 100 Kilometer ergibt dies eine gegenwärtige Abgabe von 27.6 Rappen je Kilometer, d.h. etwas mehr als die Hälfte der vorgeschlagenen Schwerverkehrsabgabe. Die gesamte Abgabe für einen Sattelschlepper wäre dann rund 70 Rappen je Kilometer. Demgegenüber steht eine gegenwärtige Abgabe von rund 6 Rappen je Kilometer für einen mittelschweren Personenwagen (Benzinzoll rund 52 Rappen je Liter, Benzinverbrauch 12 Liter je 100 Kilometer).

\* Adresse des Autors: PD Dr. H.J. Büttler, dipl. Ing. ETH, Schweizerische Nationalbank, 8022 Zürich

Form der erwähnten Kopfsteuer dienen. Eine zweite Möglichkeit besteht darin, das Defizit in der Strassenrechnung durch allgemeine Einkommenssteuern zu decken. In diesem Fall müssen die Abgaben je geleistetem Kilometer für die verschiedenen Motorfahrzeuge gegenüber der ersten Möglichkeit abgeändert werden. Es ist wahrscheinlich, was im Anhang gezeigt wird, dass die Abgaben für den zweiten Fall kleiner als für den ersten Fall sind. Beide Fälle sind politisch nicht unrealistisch, denn die geltende Strassenfinanzierungsordnung von Artikel 36 ter der Bundesverfassung schreibt keineswegs eine ausgeglichene Strassenrechnung vor, sondern lässt ausdrücklich eine Defizitdeckung aus allgemeinen (Bundes-) Mitteln zu. Schliesslich behandelt die dritte Möglichkeit eine ausgeglichene Strassenrechnung wie sie aus Gründen der Wettbewerbsneutralität gegenüber dem öffentlichen Verkehr von der Gesamtverkehrskonzeption gefordert wird. In diesem Fall sind die Abgaben je geleisteter Kilometer für die verschiedenen Motorfahrzeuge grösser als die Grenzkosten (Abgaben des ersten Falles).

Im dritten Abschnitt wird die Anwendbarkeit der oben erwähnten Fahrpreise diskutiert. Streng genommen wären für jedes Strassenteilstück solche leistungsbezogene Abgaben zu berechnen und zu erheben, was sowohl undurchführbar als auch ökonomisch wenig sinnvoll ist: Es ist undurchführbar, weil gerade in städtischen Agglomerationen die exakten Abgaben weder genau berechenbar sind noch erhoben werden können, ohne den Verkehrsfluss schwerwiegender zu beeinflussen als die Abgabe selbst. Es ist aber auch ökonomisch wenig sinnvoll, weil die Erhebungs- und Ermittlungskosten sehr wahrscheinlich den Effizienzgewinn der Abgaben auffressen würden. Der Effizienzgewinn dieser Abgaben ergäbe sich aus der positiven Differenz der Einnahmen des Staates aus diesen Abgaben und den Entschädigungszahlungen des Staates an die Automobilisten, so dass jeder mit der Abgabe gleich gut gestellt ist wie ohne Abgabe (d.h. jeder Verkehrsteilnehmer behält seinen Nutzen bei). Aus Gründen der Durchführbarkeit werden nur zwei Verkehrstypen unterschieden, nämlich Ueberland- und Stadtverkehr. Es wird gezeigt wie die Grenzkosten für den Ueberlandverkehr und den Stadtverkehr berechnet werden können und anschliessend verschiedene Formen der Abgabenerhebung wie z.B. Schwerverkehrssteuer, Treibstoffzölle und Standortsteuer diskutiert. Im Anhang wird schliesslich das mikroökonomische Modell dargelegt.

## 2. Optimale Fahrpreise

Im Rahmen der Gesamtverkehrskonzeption (1978) wird die Frage der Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur neu aufgeworfen. Dabei empfiehlt die Konzeption "eine neue Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen, die auf klare finanzielle Verantwortlichkeiten und einen wirkungsvolleren Einsatz der Mittel ausgerichtet ist". In diesem Sinn wird eine neue Abgabenform wie z.B. eine Autobahngebühr nicht von vornherein ausgeschlossen. Insbesondere wurde die Antwort des Bundesrates auf einen parlamentarischen Vorstoss (Nationalrat Schatz - St. Gallen), der eine "Autobahngebühr" für die Benützung des schweizerischen Nationalstrassennetzes vorschlägt, bis zur Grundsatz-Stellungnahme des Bundesrates zur GVK-CH ausgesetzt; s. Botschaft (1980). Eine neue Abgabenform und eine neue Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen kann natürlich eine Aenderung der Bundesverfassung nachsichziehen 3).

3) Zum Beispiel erforderte die Einführung von "Autobahngebühren" die Aenderung von Artikel 37 Absatz 2 der Bundesverfassung, der eine Gebührenfreiheit statuiert, oder die Einführung einer Schwerverkehrsabgabe einen neuen Artikel 36 quater in der Bundesverfassung.

Die Bestimmung volkswirtschaftlich effizienter Fahrpreise für die verschiedenen Verkehrsmittel zerfällt in zwei Teilaufgaben: zum einen muss die Höhe der Fahrpreise bzw. der leistungsbezogenen Abgaben bestimmt werden, was in diesem Abschnitt geschehen soll. Zum andern muss jene Form der Abgabe gesucht werden, deren Erhebungskosten am kleinsten sind, was dem nächsten Abschnitt vorbehalten ist. Dabei ist zu beachten, dass die Kluft zwischen theoretisch erwünschter und praktisch erzielbarer Abgabe möglichst gering bleibt.

Zur Bestimmung der Fahrpreishöhe bzw. der leistungsbezogenen Abgabe gehen wir von einem mikroökonomischen Modell aus, das ausführlich im Anhang beschrieben ist. Der Einfachheit halber werden nur zwei Verkehrsmittel unterschieden, nämlich Personenwagen und Lastwagen. Die Ergebnisse können aber sinngemäss auf mehrere Fahrzeugkategorien, z.B. jene der Strassenrechnung (1976) übertragen werden. Drei mögliche Fälle werden hier behandelt.

Im ersten Fall müssen die Einnahmen aus den leistungsbezogenen Verkehrsabgaben die gesamten Strassenkosten nicht decken. Ein solches Defizit in der Strassenrechnung 4) soll vielmehr durch Pauschalsteuern gedeckt werden. In diesem Fall sind die effizienten Fahrpreise der beiden Verkehrsmittel gleich den durch sie verursachten sozialen Grenzkosten. Mit sozialen Grenzkosten bezeichnet man jene Kosten, die in einer Volkswirtschaft entstehen, wenn ein zusätzlicher Automobilist die Strassen benützt. Die Grenzkosten übersteigen die durchschnittlichen Fahrkosten, die ein einzelner Fahrer in Form von Fahrzeugbetriebskosten, Benzin- und Zeitkosten selber trägt. Der einzelne Fahrer bezahlt demnach erst dann den effizienten Fahrpreis bzw. die sozialen Grenzkosten, wenn er nebst seinen privaten Fahrtkosten eine leistungsbezogene Abgabe (in Rappen je Kilometer) entrichtet, die gerade der Differenz aus sozialen Grenzkosten und privaten Fahrtkosten entspricht. Nebst dieser Abgabe müsste für jedes Fahrzeug eine pauschale Steuer (Kopfsteuer) erhoben werden, die von den geleisteten Kilometer unabhängig ist. Eine solche Pauschalsteuer entspricht einer Gebühr zur Benützung öffentlicher Einrichtungen wie Telefon, Elektrizitätsversorgung usw. und kann mit der kantonalen Motorfahrzeugsteuer verglichen werden.

Im zweiten Fall müssen ebenfalls die Einnahmen aus den leistungsbezogenen Verkehrsabgaben die gesamten Strassenkosten nicht decken und die Defizitlücke in der Strassenrechnung soll durch Einkommenssteuern geschlossen werden. In diesem Fall setzen sich die optimalen Fahrpreise aus zwei Gliedern zusammen: aus den oben erwähnten sozialen Grenzkosten und aus "Allokationskosten", die aus der Einführung von Einkommenssteuern gegenüber dem Fall von Pauschalsteuern entstehen. Der einzelne Fahrer muss wiederum eine leistungsbezogene Abgabe (in Rappen je Kilometer) bezahlen, die gleich der Differenz aus optimalem Fahrpreis und privaten Fahrtkosten ist.

Im dritten Fall sollen die Fahrpreise derart bestimmt werden, so dass die Einnahmen aus leistungsbezogenen Verkehrsabgaben gerade die gesamten Strassenkosten decken. Neben den sozialen Grenzkosten und den "Allokationskosten" bestehen die optimalen Fahrpreise noch aus "Budgetkosten", die wegen der Bedingung einer ausgeglichenen Strassenrechnung zusätzlich gegenüber den ersten beiden Fällen

---

4) Man beachte, dass die hier verwendete Definition der Strassenrechnung von der offiziell verwendeten leicht abweicht; vgl. Anhang und Strassenrechnung (1976).

entstehen 5). Die leistungsbezogene Abgabe ist wiederum gleich der Differenz aus Fahrpreis und privaten Fahrtkosten.

Alle drei Fälle unterscheiden sich nicht in der Methode, sondern lediglich in der wirtschaftspolitischen Zielsetzung wie das Defizit der Strassenrechnung zu decken sei. Während die Pauschalsteuer die bestmögliche Nutzung des Strassenverkehrs ermöglicht (effizienzneutrale Allokation), die Einkommenssteuer vielleicht praktikabler ist, zielt die durch leistungsbezogene Verkehrsabgaben ausgeglichene Strassenrechnung auf eine Wettbewerbsneutralität zwischen öffentlichem und privatem Verkehr ab, vorausgesetzt die Bahn muss, wie in der GVK-CH gefordert, die eigenen Kosten allein durch (leistungsbezogene) Tarifeinnahmen decken.

### 3. Anwendbarkeit der optimalen Fahrpreise

Während sich der vorhergehende Abschnitt mit der Frage nach der Höhe des optimalen Fahrpreises bzw. der Verkehrsabgabe beschäftigt, behandelt dieser Abschnitt die Frage nach der Form der Verkehrsabgabe. Zum einen geht es darum, die Frage zu klären, inwieweit die erwähnten optimalen Fahrpreise bzw. Verkehrsabgaben praktisch berechnet werden können und zum anderen darum, welche Form die günstigste in bezug auf die Erhebungskosten ist. Streng genommen ergibt sich für jedes Strassenstück und zu jedem Zeitpunkt ein optimaler Fahrpreis bzw. eine Verkehrsabgabe, vorausgesetzt die übrigen Wirtschaftssektoren sind ebenfalls in der Lage, die Preise derart nach Ort und Zeit zu differenzieren. Aus den in der Einleitung genannten Gründen ist eine gröbere Einteilung der Verkehrsregion ökonomisch sinnvoll (optimal) und zudem praktikabel. Da insbesondere die Zeitkosten der Verkehrsmittel zur Berechnung der leistungsbezogenen Verkehrsabgabe eine wichtige Rolle spielen, drängt sich mindestens eine Unterteilung in Stadt- und Ueberlandverkehr auf. In bezug auf die zeitliche Unterteilung der Fahrpreise wird im einfachsten Fall mit einem ungewichteten Mittel gerechnet werden können.

Sowohl für den Ueberlandverkehr als auch für den Stadtverkehr bestehen die Fahrpreise, aus denen sich die Verkehrsabgaben berechnen lassen, im allgemeinst möglichen Fall aus den sozialen Grenzkosten, den "Allokationskosten" und den "Budgetkosten". Der Einfachheit halber werden wir uns hier auf die Diskussion der sozialen Grenzkosten beschränken, während die übrigen beiden Anteile aus der Diskussion im Anhang folgen. Zur Bestimmung der sozialen Grenzkosten werden drei Angaben benötigt: Die Fahrtkosten der Personenwagen, die Fahrtkosten der Lastwagen und die variablen (leistungsbezogenen) Strassenbaukosten, alle drei in Abhängigkeit der Verkehrsleistung.

### 31. Ueberlandverkehr

Der Ueberlandverkehr auf National- und Kantonsstrassen ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Aenderung der Verkehrsmenge auf einem Teilstück nur eine relativ geringe Wirkung auf die Verkehrsmenge eines anderen, insbesondere entfernten Teilstückes hat. Mit gutem Gewissen kann man sich auf ein repräsentatives Teilstück beschränken. Die Fahrtkosten von Personen- und Lastwagen setzen sich aus drei Teilen zusammen: Den Betriebskosten des Fahrzeugs wie Kapitaldienst, Unterhalt und Wartung, den Treibstoffkosten ohne Zollzuschläge und den

---

5) Falls Pauschalsteuern anstelle von Einkommenssteuern treten, fallen die "Allokationskosten" weg; vgl. Anhang.

Zeitkosten. Die Betriebskosten und Treibstoffkosten in Abhängigkeit der Verkehrsmenge können aus Untersuchungen auf einem repräsentativen Teilstück gewonnen werden. Bisher bekannte Ergebnisse lassen vermuten, dass diese Kosten nur in geringem Masse von der Verkehrsmenge beeinflusst werden; vgl. Porro (1979). Bei den gegenwärtigen Verkehrsmengen auf Ueberlandstrassen dürften auch die Zeitkosten nur geringfügig von der Verkehrsmenge abhängen. Vermutlich werden also die Fahrtkosten von Personen- und Lastwagen vernachlässigbar wenig ansteigen, wenn ein zusätzlicher Personenwagen oder Lastwagen in den Verkehrsstrom eintritt. Mit anderen Worten, es entstehen keine externen Grenzkosten, die durch Verkehrsabgaben besteuert werden müssten, solange die variablen Strassenbaukosten ausser Acht gelassen werden. Die letzteren bestehen aus drei Teilen: Den Brückenbaukosten, den Unterhaltskosten und vor allem den Oberbaukosten. Die übrigen Kosten wie für Land, Planung und Projektierung, Unterbau usw. können als fixe Kosten betrachtet werden. Für die variablen Kosten wäre anhand des repräsentativen Teilstücks eine Beziehung zu finden, welche die Abhängigkeit dieser Kosten von der Verkehrsleistung von Personen- und Lastwagen aufzeigt. Da die Dimensionierung von Brücken und Oberbau wesentlich von der Achslast der Fahrzeuge abhängt, ist vermutlich der Einfluss der Verkehrsleistung von Personenwagen vernachlässigbar klein. Unter den genannten Annahmen ist der volkswirtschaftlich effiziente Fahrpreis des Personenwagens gleich den privaten Fahrtkosten, so dass im Ueberlandverkehr eine Abgabe auf Personenwagen entfällt. Die Abgabe für den Lastwagen entspricht dann gleich den Kosten für Brücken, Unterhalt und Oberbau, die aus einem zusätzlichen Tonnenkilometer entsteht bei einer Verkehrsmenge, die sich nach Einführung dieser Abgabe auf dem repräsentativen Teilstück einstellt. Die Diskussion der Abgabeformen erfolgt im nächsten Abschnitt.

### 32. Stadtverkehr

Im Gegensatz zum Ueberlandverkehr beeinträchtigt die Aenderung der Verkehrsmenge auf einem städtischen Strassenabschnitt nachhaltig die Verkehrsmenge auf anderen Teilstücken. Deshalb ist es nötig, das gesamte Verkehrsnetz einer Stadt zu betrachten. Anstelle eines repräsentativen Teilstücks für den Ueberlandverkehr wäre ein repräsentatives Verkehrsnetz für den Stadtverkehr zu wählen. Zur Berechnung der sozialen Grenzkosten sind wiederum sowohl die Fahrtkosten von Personen- und Lastwagen als auch die variablen Strassenbaukosten in Abhängigkeit der Verkehrsleistung vonnöten. Im Gegensatz zum Ueberlandverkehr erhöhen sich die Fahrtkosten von Personen- und Lastwagen beträchtlich, wenn die Verkehrsmenge auf irgendeinem Strassenabschnitt steigt. Insbesondere steigt der Zeitaufwand für eine Fahrt während der Spitzenzeit. Die Berechnung bzw. Messung der Fahrtkosten, die aus Betriebskosten, Treibstoffkosten und Zeitkosten bestehen, ist in einem städtischen Strassennetz insofern schwierig, weil es kaum möglich ist, den Zusammenhang zwischen Fahrtkosten und Verkehrsleistung für einzelne Teilabschnitte direkt zu messen. Zwei Gründe sind massgebend: Zum einen ist es in der Realität nicht möglich, in einem städtischen Strassennetz die Verkehrsmenge auf einem einzigen Abschnitt zu variieren und gleichzeitig die Verkehrsmenge auf allen anderen Netzabschnitten konstant zu halten. Zum andern werden die Fahrtkosten weit mehr durch die Verkehrssteuerung mittels Ampeln und Signalisation als durch die Verkehrsmenge selbst bestimmt. Grundsätzlich drängen sich die folgenden drei Möglichkeiten zur Berechnung der Fahrtkosten auf.

Die erste Möglichkeit beruht auf einem empirischen (ökonomischen) Verkehrsmodell des städtischen Strassennetzes. Dabei ginge es darum, das Strassennetz

in ein zusammenhängendes System von Kreuzungen und Abschnitten zu zerlegen. Jeder Verkehrsfluss auf einem Abschnitt zerteilt sich an einer Kreuzung i.a. in Linksabbieger, Geradeausfahrer und Rechtsabbieger. Diese Aufteilung, die an jeder Kreuzung zu verschiedenen Zeiten gemessen wird, ergibt ein Bild über den zusammenhängenden Verkehrsfluss durch das gesamte Strassennetz. Sobald diese Beziehungen im Modell festgehalten sind, können die sozialen Grenzkosten (ohne variable Strassenbaukosten) folgendermassen berechnet werden. Zuerst werden als Basis die tatsächlichen Verkehrsflüsse im Netz berechnet. Die (durchschnittlichen) Fahrtkosten eines Fahrzeuges sind dann gleich den gesamten Fahrtkosten aller Fahrzeuge zusammen dividiert durch die insgesamt zurückgelegten Fahrzeugkilometer. Danach wird das Modell jedesmal neu berechnet, wenn auf einem Strassenzug der Verkehrsfluss um eine kleine Menge erhöht wird 6). Die sozialen Grenzkosten sind dann gleich der Summe aus Fahrtkosten und externen Fahrtkosten. Letztere sind die zusätzlichen Fahrtkosten für die sich ursprünglich im Verkehrsnetz befindenden Fahrzeuge, wenn der Verkehrsfluss in einem bestimmten Strassenzug um die besagte kleine Menge erhöht wird, dividiert durch die insgesamt zusätzlich zurückgelegten Fahrzeugkilometer im Verkehrsnetz. Ein ähnliches Modell wäre für die variablen Strassenbaukosten zu erstellen, damit diese in Abhängigkeit der Verkehrsleistung bestimmt werden können.

Die zweite Möglichkeit beruht auf einem Simulationsmodell. Im Unterschied zum empirischen Verkehrsmodell werden im Simulationsmodell die Verkehrsbeziehungen nicht in Wirklichkeit gemessen, sondern zuerst in einem Computer-Modell simuliert. Das Modell wird dann im Basislauf auf den tatsächlichen Verkehrsfluss im Netz kalibriert. Entspricht das Simulationsmodell hinreichend genau der Wirklichkeit, so kann dieses in der gleichen Art wie das empirische Verkehrsmodell zur Berechnung der sozialen Grenzkosten verwendet werden. Dewees (1979), der ein solches Simulationsmodell auf die Stadt Toronto (Kanada) angewendet hat, kommt zu den folgenden beiden Schlüssen. Erstens sind die externen Fahrtkosten wesentlich geringer als jene, die sich ergäben, wenn die bekannten Verkehrsbeziehungen für den Ueberlandverkehr auf einen einzelnen Strassenzug in einem städtischen Verkehrsnetz angewendet würden. Der Grund liegt darin, dass der Fahrer Stauungen auf einem bestimmten Strassenzug durch Ausweichen auf andere Strecken in einem gewissen Mass vermeiden kann. Zweitens sind die Kosten für die Erhebung der Daten, die zur Prüfung (Kalibrierung) des Simulationsmodelles dienen, derart hoch, so dass der Autor vorschlägt, nach einfacheren Modellen zu suchen.

Da die Erhebungskosten für das empirische Verkehrsmodell mindestens so hoch wie für das Simulationsmodell sind, drängt sich die dritte Möglichkeit auf, die auf statischen Teilmodellen beruht. Zur Berechnung der sozialen Grenzkosten für Pendler (ohne variable Strassenbaukosten) liesse sich zum Beispiel eine empirische Untersuchung über die räumliche Verteilung der Wohnungsmieten und Pendler heranziehen. Stellen wir uns einen Mieter vor, der die Wahl zwischen einer Wohnung im Stadtkern und einer gleichen Wohnung am Stadtrand hat, vorausgesetzt alle übrigen Faktoren, die seine Wohnungswahl beeinflussen, seien gleich. Der Mieter steht sich dann gleich gut, wenn er für die Wohnung am Stadtrand eine Miete bezahlt, die gleich ist jener im Stadtkern abzüglich der Geldkosten für das tägliche Pendeln und abzüglich den Kosten für den Zeitaufwand, den das tägliche Pendeln verursacht. Eine empirische Untersuchung über Wohnungsmieten und Pendler ist in der

---

6) Theoretisch müsste die Verkehrsmenge nur um ein einziges Fahrzeug erhöht werden. Der Einfluss eines einzigen Fahrzeuges wäre jedoch von den Rundungsfehlern kaum unterscheidbar.

Lage, gerade diesen Einfluss der Fahrtkosten von anderen Einflüssen zu trennen. Sie hat auch gegenüber den ersten beiden Möglichkeiten den Vorteil, die Zeitkosten für das Pendeln direkt in Geldeinheiten ausdrücken zu können. Damit ergibt sich aufgrund von Wohnungsmieten und Pendler die Möglichkeit, die sozialen Grenzkosten für Pendler zu berechnen.

Schliesslich bleibt die Frage zu beantworten, welche Form der Verkehrsabgabe zu wählen ist. Wir betrachten hier den Fall, wo das Defizit in der Strassenrechnung durch Pauschalabgaben gedeckt wird und die leistungsabhängige Verkehrsabgabe der Differenz aus sozialen Grenzkosten und (privaten) Fahrtkosten entspricht. Aufgrund der obigen Ausführungen ist im Ueberlandverkehr lediglich der Schwerverkehr mit einer leistungsabhängigen Abgabe zu belegen, die gleich den Grenzkosten des Strassenbaus ist. Hingegen ist im Stadtverkehr sowohl für Personenwagen als auch für Lastwagen eine leistungsabhängige Abgabe zu erheben. Wie bereits erwähnt kann die Pauschalabgabe in Form der kantonalen Motorfahrzeugsteuer einbezogen werden. Für Stadtbewohner wäre auch denkbar, die Pauschalabgabe aufgrund des Standort zu berechnen. Aehnlich wie bei der Perimetergebühr richtet sich die Standortsteuer nach dem im Mittel in der Stadt befahrenen Weg. Für die leistungsabhängige Verkehrsabgabe drängen sich zwei Möglichkeiten auf.

Treibstoffzölle sind die eine Möglichkeit. Aufgrund der optimalen Fahrpreise wäre der Dieseltoll grösser als der Benzintoll, falls zwischen Ueberland- und Stadtverkehr nicht unterschieden wird; vgl. Anhang 7). Weil aber mit dem Treibstoffzoll nicht zwischen diesen beiden Verkehrsarten unterschieden werden kann, weicht er von den effizienten Verkehrsabgaben erheblich ab. Ein weiterer Punkt kommt hinzu: Vom Energieverbrauch und von der Umweltbelastung her gesehen wäre die Förderung von dieselgetriebenen Personenwagen ökonomisch sinnvoll. Solange aber der Dieselstoff teurer als das Benzin ist, wird diese Entwicklung gehemmt. Diesen beiden Mängeln steht der Vorteil geringer Erhebungskosten gegenüber.

Die zweite Möglichkeit besteht in der Schaffung neuer Verkehrsgebühren. Diese Gebühr ergibt sich aus der leistungsabhängigen Verkehrsabgabe, deren Berechnung in den vorausgehenden Abschnitten diskutiert wurde, multipliziert mit den Fahrleistungen der Fahrzeuge. Für Lastwagen lässt sich die Leistung mittels Fahrtenstreifen ermitteln, was ausführlich in der Botschaft (1980) über die Autobahnvignette und die Schwerverkehrsabgabe dargelegt wurde. Für Personenwagen liess sich die Fahrleistung durch ein einfaches Meldesystem ermitteln: Jeder Fahrzeuglenker meldet mittels Lochkarte dem kantonalen Strassenverkehrsamt seinen periodischen Kilometerstand. Um eine Kontrolle zu ermöglichen, muss bei jedem Besitzwechsel des Wagens der Kilometerstand durch die Vertrauensperson (Autohändler, Beamter der Fahrzeugkontrolle usw.) gemeldet werden. Die Schwierigkeit besteht dann lediglich darin, festzustellen, welche Leistung die Lastwagen oder Personenwagen im Ueberlandverkehr und Stadtverkehr erbracht haben. Repräsentative Stichprobenerhebungen könnten hier Aufschluss geben. Ein Automobilist, der in der Stadt wohnt, wird verhältnismässig häufiger in der Stadt fahren als ein auf dem Lande wohnender Automobilist. Ebenso wird ein städtisches Unternehmen für den Transport von Baumaterial häufiger in der Stadt verkehren

---

7) Es kann gezeigt werden, dass die bestmöglichen Treibstoffzölle kleiner als die effizienten Verkehrsabgaben im Stadtverkehr, jedoch grösser als jene im Ueberlandverkehr sein müssen, vgl. Henderson (1977).

als ein Unternehmen für Ferntransporte. Die Fahrleistung wäre also je nach Standort des privaten Lenkers oder nach Art des Transportunternehmens zu gewichten. Im Vergleich zu den Treibstoffzöllen führt die Verkehrsgebühr bei ungefähr gleichen Erhebungskosten zu effizienteren Fahrpreisen.

#### 4. Schlussfolgerungen

Es wurde gezeigt, dass Schwerverkehrsabgabe und Treibstoffzölle sich nach volkswirtschaftlich optimalen Fahrpreisen richten sollten. Beide sind, falls überhaupt notwendig und erwünscht, nur eine von mehreren möglichen Formen, um optimale Fahrpreise im Strassenverkehr zu erreichen. Die optimalen Fahrpreise selbst beziehen sich nur auf die leistungsabhängigen Kosten im Strassenverkehr und können deshalb nicht aus der Vollkostenrechnung der Schweizerischen Strassenrechnung ermittelt werden. Insbesondere kann aufgrund der Schweizerischen Strassenrechnung nicht gefolgert werden, dass die Lastwagen durch die Personenwagen subventioniert werden, s. Büttler (1982). Andererseits hängen die optimalen Fahrpreise von der verkehrspolitischen Zielsetzung ab, d.h. es lassen sich beste und zweitbeste optimale Fahrpreise bestimmen, s. Anhang. Ist die verkehrspolitische Zielsetzung bekannt, so drängen sich zwei Möglichkeiten auf. Entweder werden die Treibstoffzölle für Benzin und Dieselstoff oder anstelle der gegenwärtigen Abgaben im Strassenverkehr neue Verkehrsgebühren aufgrund der optimalen Fahrpreisregel im Anhang und neuer Verkehrsuntersuchungen für die Städte ermittelt. Treibstoffzölle oder Verkehrsgebühren wären dann die einzigen zu erhebenden Verkehrsabgaben und würden alle bestehenden ablösen.



## ANHANG

### A1. Das Modell

Das einfache Modell, welches zur Erklärung der optimalen Fahrpreise verwendet wird, besteht in den Grundzügen aus jenem von Moring (1970). Die Volkswirtschaft bestehe aus  $N$  Konsumenten, von denen jeder je drei Güter nachfragt: Eine Verkehrsleistung mit dem eigenen Personenwagen,  $x_i$ , ein aggregiertes Konsumgut,  $v_i$ , und ein zweites aggregiertes Konsumgut,  $w_i$ . Die beiden Konsumgüter unterscheiden sich dadurch, dass das erstere eine Transportleistung mit dem Lastwagen beansprucht, sei es zu dessen Produktion oder sei es zu dessen Verteilung an die Konsumenten, während das letztere lokal produziert und konsumiert wird, also keine Güterverkehrsleistung einschliesst. Güter der ersten Gruppe, z.B. Kühlschränke, unterliegen steigenden Skalenerträgen in der Produktion, wodurch sich eine räumliche Konzentration der Produktion vor allem in städtischen Siedlungen aufdrängt, vgl. Mills (1972). Um diese Güter zentral produzieren und schliesslich räumlich verteilen zu können, sind Transportleistungen notwendig. Güter der zweiten Gruppe, z.B. Brot, unterliegen eher konstanten Skalenerträgen in der Produktion, werden deshalb mit Vorteil lokal produziert und konsumiert, vgl. Mills (1972). Die Transportleistungen sind für diese zweite Gruppe deshalb vernachlässigbar klein. Die Nutzenmaximierung für den  $i$ -ten Konsumenten lautet damit:

$$\max_{\{x_i, v_i, w_i\}} \bar{U}_i = \bar{U}_i(x_i, v_i, w_i), \quad i = 1 \text{ bis } N \quad (1a)$$

Es würde keine Schwierigkeiten bereiten, weitere wichtige Güter im Modell zu berücksichtigen, insbesondere die Verkehrsleistung des öffentlichen Verkehrsmittels. Wie eine Rechnung zeigt wäre der optimale Fahrpreis des öffentlichen Verkehrsmittels gleich den sozialen Grenzkosten dieses Verkehrsmittels. Da hier Fragen wie z.B. die Subventionierung des öffentlichen Verkehrs nicht zur Diskussion stehen, wird der öffentliche Verkehr weggelassen 1). Die private Verkehrsleistung sei in Personenkilometer gemessen, wobei ein jährliches Mittel unterstellt, d.h. die Spitzenbelastung vernachlässigt wird 2). Jeder Konsument verfüge ursprünglich über eine homogene Ausstattung an Ressourcen von  $n_i$  Einheiten, wie z.B. Zeit, Kapital, Ausbildung usw. Dieser Bestand an Ressourcen ergebe einen Leistungsfluss bzw. ein Einkommen von  $y_i$  Einheiten je betrachteter Periode (z.B. ein Jahr), gemessen in Geldeinheiten 3). Der Preis für eine Leistungseinheit privaten Verkehrs sei  $p_x$ . Die Produktionskosten der beiden Konsumgüter,  $V$  und  $W$ , seien ohne Transportkosten gleich eins. Der Preis für das  $V$ -Konsumgut, den der Konsument zu bezahlen hat, sei  $p_v$ . Er schliesst die Transportkosten für diese Güter mit ein. Die Budgetrestriktion des  $i$ -ten Konsumenten lautet demnach:

- 1) Die Subventionierung des öffentlichen Verkehrs wird z.B. in Henderson (1977, Kapitel 7) behandelt.
- 2) Das Problem der Spitzenbelastung wird in Mohring (1970) selber behandelt.
- 3) Diese Einkommensdefinition entspricht jener für das permanente Einkommen von Milton Friedman. Vgl. Mohring (1970) für diese Formulierung der verfügbaren Ressourcen.

$$p_x x_i + p_v v_i + w_i = y_i - h_i, \quad (1b)$$

wobei  $h_i$  eine (positive oder negative) Kopfsteuer bedeutet. Im Abschnitt A3 wird die Kopfsteuer durch eine Einkommenssteuer ersetzt werden. Die Begründung für diese Kopfsteuer erfolgt im nächsten Abschnitt. Die Summe aller Einkommen und die Summe aller Einzelnachfragen über alle Konsumenten schreiben wir wie folgt:

$$Y = \sum_{i=1}^N y_i, \quad X = \sum_{i=1}^N x_i, \quad V = \sum_{i=1}^N v_i, \quad W = \sum_{i=1}^N w_i. \quad (2)$$

Zur Pareto-Optimierung fehlt noch die Produktionsmöglichkeit der Volkswirtschaft, die als lineare Beziehung angenommen wird 4). Zu diesem Zweck benötigen wir die Produktionskosten des Personenverkehrs und des V-Konsumgutes. Da der Produktionssektor in diesem Modell fehlt, unterstellen wir eine lineare Beziehung zwischen der abgeleiteten Nachfrage nach Güterverkehr,  $Z$ , und der Nachfrage nach V-Konsumgüter:

$$Z = \beta \cdot V, \quad \beta > 0. \quad (3)$$

Wenn die V-Konsumgüter in Tonnen und die Güterverkehrsleistung in Tonnenkilometer gemessen werden, dann hat der Koeffizient  $\beta$  die Einheit Kilometer, d.h. er stellt die mittlere Transportdistanz bzw. den mittleren Marktradius für die V-Güter dar. Für die durchschnittlichen variablen Kosten der Verkehrsmittel stellen wir auf die Fundamentalbeziehung des Verkehrs in Abb. 1a ab, vgl. z.B. Beckmann/Mc Guire/Winsten (1955). Auf der Abszisse wird die Verkehrsdichte und auf der Ordinate die Verkehrsmenge,  $X^*$ , aufgetragen. Bei einer Verkehrsdichte von Null herrscht unbehinderter Verkehrsfluss bei einer "freien" Geschwindigkeit,  $g_0$ , vor 5). Mit zunehmender Verkehrsdichte sinkt infolge gegenseitiger Behinderung die Geschwindigkeit,  $g$ , so dass die Verkehrsmenge ein Maximum,  $X_K^*$ , erreicht. Bei weiter sinkender Geschwindigkeit wird schliesslich die Verkehrsmenge Null, dann nämlich, wenn die Fahrzeuge in einer Kolonne stehen. Das maximale Verkehrsvolumen kann als die Kapazität der Strasse bezeichnet werden. Rechts vom Maximum liegt der ineffiziente Bereich, weil eine gleiche Verkehrsmenge im links davon liegenden Bereich mit einer kleineren Dichte erreicht werden kann. Der Zu-

- 
- 4) Die lineare Produktionsmöglichkeit kann als lineare Näherung innerhalb einer kleinen Umgebung um das Optimum herum angesehen werden, vgl. dazu Mirrlees (1976, S. 329).
- 5) Die freie Geschwindigkeit wird vom Verkehrsträger, vom Verkehrsmittel, von der Umwelt und nicht zuletzt von den Präferenzen des Fahrers bestimmt. Die freie Geschwindigkeit eines Bumblers ist kleiner als die eines Rasers, bei gleichen übrigen nicht-bindenden Faktoren.

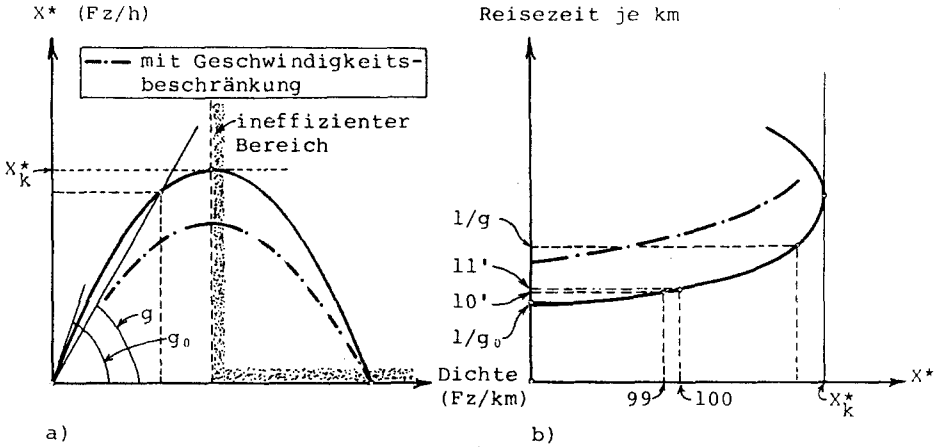


Abb. 1: Fundamentalbeziehung des Verkehrs und Zeitkosten in Abhängigkeit der Verkehrsmenge

sammenhang zwischen Reisezeit je Kilometer und Verkehrsmenge folgt direkt aus Abb. 1a und ist in Abb. 1b dargestellt. Der gestrichelte Teil der Kurve stellt den ineffizienten Bereich dar. Zwei Dinge folgen aus Abb. 1b: Erstens müssen die Zeitkosten des Verkehrs gleich wie die in Abb. 1b gezeigte Kurve verlaufen. Die Zeitkosten sind denn auch der wesentliche Bestandteil der Veränderung der gesamten variablen Kosten infolge einer Aenderung des Verkehrsvolumens, vgl. Beckmann u.a. (1955), Walters (1961) und für die Schweiz Porro (1979). Zweitens lassen sich die Stauungskosten, d.h. die Externalitätskosten des Verkehrs in bezug auf die Zeitkosten leicht veranschaulichen. Unterstellen wir, dass durch den Eintritt des hundertsten Fahrers in den Verkehrsstrom die Reisezeit für alle Fahrer von zehn auf elf Minuten erhöht werde (vgl. Abb. 1b), dann verursacht dieser den übrigen 99 Fahrern zusätzliche Zeitkosten in der Grösse von einer Minute, was gerade den externen Zeitkosten entspricht. Ähnliche, wenngleich geringere Externalitätskosten entstehen den 99 Fahrern in der Form eines höheren Treibstoffverbrauchs, höherer Unterhaltskosten usw., vgl. Porro (1979) für die Schweiz. Die Externalitätskosten infolge eines zusätzlichen Verkehrsmittels mögen als verschwindend klein angesehen werden, multipliziert mit der grossen Zahl betroffener Fahrzeuge belaufen sie sich zu beträchtlichen volkswirtschaftlichen Kosten, insbesondere wenn die Strassenkapazität nahezu erreicht wird 6). Wir unterstellen deshalb für den Personenverkehr eine durchschnittlich variable Kostenfunktion,  $C$ , die die in Abb 1b gezeigte Form hat:

6) Wenn die Strassenkapazität erreicht wird, sind die Externalitätskosten theoretisch unendlich gross.

$$C = C(x, z, S), \quad \frac{\partial C}{\partial x} > 0, \quad \frac{\partial C}{\partial z} > 0, \quad \frac{\partial C}{\partial S} < 0. \quad (4a)$$

Dabei wird unterstellt, dass die Verkehrsmenge der Personenwagen,  $X^*$ , in die hier betrachtete Verkehrsleistung,  $X$ , umgewandelt werden kann. Die Kostenfunktion (4a) beziehe sich lediglich auf den effizienten Bereich. Neben dem Personenverkehr beeinflussen auch der Güterverkehr,  $Z$ , sowie die Strassenqualität,  $S$ , die durchschnittlich variablen Kosten des Personenverkehrs. Drei Bemerkungen zur Funktion (4a) sind notwendig: Erstens werden Personenverkehr und Güterverkehr getrennt behandelt, weil zwei verschiedene Leistungseinheiten unterstellt werden. Im nächsten Abschnitt wird gezeigt, dass bei homogen angenommenem Verkehrsfluss das Ergebnis im wesentlichen nicht ändert. Zweitens, die Strassenqualität bezeichne die "Ebenheit" der Strassenoberfläche oder den sogenannten "riding comfort index". Je glatter die Strassenoberfläche ceteris paribus, umso geringer die Zeitkosten wegen der vorausgesetzten freien Geschwindigkeitswahl, vgl. Büttler/Shortreed (1978). Drittens, die Strassenbreite wird als gegeben angesehen und erscheint deshalb nicht in der Kostenfunktion 7). Ähnlich durchschnittlich variable Kosten ergeben sich für den Güterverkehr:

$$E = E(z, X, S), \quad \frac{\partial E}{\partial z} > 0, \quad \frac{\partial E}{\partial X} > 0, \quad \frac{\partial E}{\partial S} < 0. \quad (4b)$$

Schliesslich muss die Volkswirtschaft noch den Kapitaldienst des bestehenden Strassennetzes tragen. Zum einen fallen sogenannte Fixkosten,  $K_0$ , für Planung, Projektierung, Landkauf, Strassenunterbau usw. an. Diese "Fix"-Kosten sind weitgehend auch eine Funktion der Strassenbreite, die hier konstant ist. Zum andern seien die variablen Kapitalkosten des Strassenbaus (Oberbau, Brücken, Unterhalt),  $K$ , eine Funktion der Ebenheit und der Verkehrsleistung:

$$K = K(SX + \alpha \cdot S \cdot z), \quad \frac{\partial K}{\partial S} > 0, \quad \frac{\partial^2 K}{\partial S^2} > 0 \quad (X, z > 0), \quad \alpha > 1. \quad (5)$$

Diese Kostenfunktion ist in Abb. 2 dargestellt. Bei gegebener Verkehrsleistung steigen die Kapitalkosten mit zunehmend glatter Oberfläche überproportional. Für eine gegebene Strassenqualität steigen hingegen diese Kosten mit zunehmender Verkehrsleistung, wobei der Beitrag des Schwerverkehrs grösser als jener des Personenverkehrs ist. Der Einfachheit halber wird der Parameter  $\gamma$  konstant gehalten. Ist die gesamte Verkehrsleistung Null, dann ist der Kapitaldienst infolge Abschreibung vernachlässigbar klein, d.h.  $K$  ist in (5) gleich Null 8). Somit kann die Pro-

7) Das Problem optimaler Strassenbreite wird z.B. in Henderson (1977) in einem statischen Rahmen und in Büttler/Shortreed (1978) in einem dynamischen Rahmen behandelt.

8) Die Zinskosten seien ebenfalls vernachlässigbar klein.

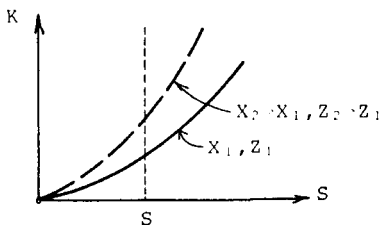


Abb. 2

duktionsmöglichkeit der Volkswirtschaft wie folgt geschrieben werden:

$$Y = C(X, Z, S)X + [1 + E(Z, X, S)\beta]V + W + K(SX + \mu SZ) + K_0. \quad (6)$$

Das erste Glied stellt die gesamten variablen Kosten des Personenverkehrs und das zweite Glied die gesamten Kosten des V-Konsumgutes einschliesslich der variablen Kosten für den Güterverkehr dar. Das dritte Glied bezeichnet die gesamten Produktionskosten des W-Konsumgutes und schliesslich die letzten beiden Glieder den Kapitaldienst des gegebenen Strassennetzes.

## A2. Optimale Fahrpreise mit Pauschalsteuern

Die Optimalität beziehe sich auf einen Pareto-Zustand der Volkswirtschaft. Der Staat maximiere den Nutzen eines Haushaltes unter den folgenden drei Bedingungen: Erstens werden die Nutzen der übrigen Haushalte auf einem konstanten Niveau gehalten. Zweitens maximiere jeder Haushalt für sich seinen Nutzen bei gegebenem eigenen Einkommen und bei gegebenen Konsumentenpreisen. Schliesslich ist drittens der Staat der Produktionsmöglichkeit der Volkswirtschaft unterworfen 9). Zu diesem Zweck muss aus zwei Gründen für jeden Haushalt eine Kopfsteuer eingeführt werden 10). Zum einen ist nicht zu erwarten, dass im Pareto-Optimum die Einnahmen des Staates aus dem "Verkauf" der Strassen gerade die Kapitalkosten des Strassennetzes decken. Der Ausgleich geschieht hier durch Kopfsteuern, deren Allokationseffekte neutral sind. Zum andern sind in diesem Modell die Faktorangebote der Haushalte gegeben. Wenn deshalb der Staat die Konsumentenpreise verändert, um das Pareto-Optimum zu erreichen, dann kann der einzelne Haushalt nur auf einem konstanten Nutzenniveau bleiben, wenn er

- 
- 9) Dieses Problem ist, abgesehen vom Optimalitätskriterium, dasselbe wie für die optimalen Gütersteuern, vgl. Mirrlees (1976).
- 10) Wären die Kopfsteuern ökonomisch nicht erforderlich, so könnte die Optimierung mathematisch nicht durchgeführt werden, weil der Freiheitsgrad negativ wäre.

sich entlang der modifizierten Nachfragekurve bewegt, d.h. durch eine Pauschalsumme für den möglichen Nutzerverlust entschädigt bzw. für einen möglichen Nutzengewinn besteuert wird.

Die Pareto-Optimierung lautet demnach mit Pauschalsteuern:

$$\begin{aligned} \max_{\{p_x, p_v, S, h_i\}} \quad \mathcal{L} = & u_r(p_x, p_v, y, h_i) + \sum_{i=2}^N \alpha_i [u_i(p_x, p_v, y_i, h_i) - u_i^0] \\ & + \lambda \left\{ Y - C(x, z, S)X - [1 + E(z, x, S)\beta]V - W \right. \\ & \left. - K(SX + hS z) - K_0 \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

Dabei bedeuten  $u_i$  indirekte Nutzenfunktionen,  $u_i^0$  vorgegebene Niveaus und  $\alpha_i$ ,  $\lambda$  Lagrange Multiplikatoren. Wir führen  $\alpha_1=1$  ein. Der Staat bestimmt also bei gegebenen Kostenfunktionen ("Produzentenpreisen") die zwei Konsumentenpreise ( $p_x$ ,  $p_v$ ), die Strassenqualität ( $S$ ) und die  $N$  Kopfsteuern ( $h_i$ ). Ableiten von (7) nach  $S$  ergibt (8):

$$K'(SX + hSz) = - \left[ \frac{\partial C}{\partial S} X + \frac{\partial E}{\partial S} z \right]. \quad (8)$$

Der Ausdruck auf der linken Seite stellt die Grenzkosten bei optimalem Verkehrsvolumen und der Ausdruck auf der rechten Seite den Grenznutzen dar. Der Grenznutzen des Personenverkehrs ist gleich der Reduktion der privaten Fahrtkosten,  $-\partial C/\partial S$ , multipliziert mit der optimalen Verkehrsleistung,  $X$ . Schliesslich ist der Grenznutzen des Güterverkehrs gleich der Reduktion der privaten Fahrtkosten,  $-\partial E/\partial S$ , multipliziert mit der optimalen Verkehrsleistung,  $z$ .

Ableiten von (7) nach den übrigen Variablen ergibt:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial p_x} = - \sum \alpha_i \phi_i x_i - \lambda \left\{ SMC_x \frac{\partial X}{\partial p_x} + SMC_v \frac{\partial V}{\partial p_x} + \frac{\partial W}{\partial p_x} \right\} = 0, \quad (9a)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial p_v} = - \sum \alpha_i \phi_i v_i - \lambda \left\{ SMC_x \frac{\partial X}{\partial p_v} + SMC_v \frac{\partial V}{\partial p_v} + \frac{\partial W}{\partial p_v} \right\} = 0, \quad (9b)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial h_i} = - \alpha_i \phi_i - \lambda \left\{ SMC_x \frac{\partial X}{\partial h_i} + SMC_v \frac{\partial V}{\partial h_i} + \frac{\partial W}{\partial h_i} \right\} = 0, \quad i=1..N. \quad (9c)$$

Dabei wurden Roys Identitäten  $\partial u_i / \partial p_x = \phi_i x_i$ ,  $\partial u_i / \partial p_v = \phi_i v_i$  und  $\partial u_i / \partial h_i = \phi_i$  verwendet, wobei  $\phi_i$  den Grenznutzen des Einkommens bedeutet. Weiterhin gilt:

$$SMC_x \equiv \underbrace{\left[ C + \frac{\partial C}{\partial X} X \right]}_{\equiv SMC_{xx}} + \underbrace{\frac{\partial E}{\partial X} z}_{\equiv SMC_{zx}} + \underbrace{K'S}_{\equiv K_x} \equiv SMC_{xx} + SMC_{zx} + K_x$$

$$\frac{SMC_v - 1}{\beta} = SMC_z \equiv \underbrace{\left[ E + \frac{\partial E}{\partial z} z \right]}_{\equiv SMC_{zz}} + \underbrace{\frac{\partial C}{\partial z} X}_{\equiv SMC_{xz}} + \underbrace{K'S}_{\equiv K_z} \equiv SMC_{zz} + SMC_{xz} + K_z$$

Im nächsten Schritt werden die individuellen Budgetrestriktionen nach den selben Variablen abgeleitet:

$$x_i + p_x \frac{\partial x_i}{\partial p_x} + p_r \frac{\partial v_i}{\partial p_x} + \frac{\partial w_i}{\partial p_x} = 0, \quad (10a)$$

$$p_x \frac{\partial x_i}{\partial p_v} + v_i + p_r \frac{\partial v_i}{\partial p_v} + \frac{\partial w_i}{\partial p_v} = 0, \quad (10b)$$

$$p_x \frac{\partial x_i}{\partial h_i} + p_r \frac{\partial v_i}{\partial h_i} + \frac{\partial w_i}{\partial h_i} = -1. \quad (10c)$$

(10a) und (10b) werden über alle Haushalte summiert und in (9a) bzw. (9b) eingesetzt:

$$-\sum \alpha_i \phi_i x_i - \lambda \left\{ X + (p_x - SMC_x) \frac{\partial X}{\partial p_x} + (p_r - SMC_v) \frac{\partial V}{\partial p_x} \right\} = 0, \quad (11a)$$

$$-\sum \alpha_i \phi_i v_i - \lambda \left\{ V + (p_x - SMC_x) \frac{\partial X}{\partial p_v} + (p_r - SMC_v) \frac{\partial V}{\partial p_v} \right\} = 0. \quad (11b)$$

(10c) wird in (9c) eingesetzt:

$$-\alpha_i \phi_i + \lambda \left\{ 1 + (p_x - SMC_x) \frac{\partial x_i}{\partial h_i} + (p_r - SMC_v) \frac{\partial v_i}{\partial h_i} \right\} = 0. \quad (11c)$$

Zuerst wird (11c) mit  $x_i$  multipliziert, summiert über alle Haushalte und dann von (11a) subtrahiert, dies ergibt (12a). Schliesslich wird (11c) mit  $v_i$  multipliziert, summiert über alle Haushalte und dann von (11b) subtrahiert, dies ergibt (12b).

$$S_{xx} (p_x - SMC_x) + S_{vx} (p_v - SMC_v) = 0, \quad (12a)$$

$$S_{vx} (p_x - SMC_x) + S_{vv} (p_v - SMC_v) = 0. \quad (12b)$$

Dabei bedeuten  $S_{kj}$  die aggregierten Substitutionseffekte nach Hicks, z.B. für  $S_{vx}$ :

$$S_{vx} \equiv \sum_i S_{vx}^i \equiv \sum_i \left. \frac{\partial v_i}{\partial p_x} \right|_{u_i=0} = \sum_i \left( \frac{\partial v_i}{\partial p_x} - \frac{\partial v_i}{\partial x_i} x_i \right) = \frac{\partial v}{\partial p_x} - \sum_i \frac{\partial v_i}{\partial x_i} x_i.$$

Das Gleichungssystem (12) hat eine Lösung, da

$$|S| \equiv \begin{vmatrix} S_{xx} & S_{vx} \\ S_{vx} & S_{vv} \end{vmatrix} > 0$$

für streng konkave Nutzenfunktionen wie in (1a) definiert. Als Lösung ergibt sich (13):

$$p_x = \underbrace{\left[ C + \frac{\partial C}{\partial X} X \right]}_{= SMC_{xx}} + \underbrace{\frac{\partial E}{\partial X} Z}_{= SMC_{2x}} + \underbrace{K'S}_{= K_x} = SMC_x \quad (13a)$$

$$p_z \equiv \frac{p_v - 1}{\beta} = \underbrace{\left[ E + \frac{\partial E}{\partial Z} Z \right]}_{= SMC_{zz}} + \underbrace{\frac{\partial C}{\partial Z} X}_{= SMC_{xz}} + \underbrace{\beta K'S}_{= K_z} = SMC_z \quad (13b)$$

Auf den linken Seiten stehen die Fahrpreise für Personenwagen,  $p_x$ , und für Lastwagen,  $p_z \equiv (p_v - 1) / \beta$ . Auf den rechten Seiten bedeuten der erste Ausdruck jeweils die sozialen Grenzkosten, die sich die gleichen Fahrzeuge selber auferlegen; der zweite Ausdruck die sozialen Grenzkosten, die Personenwagen [Lastwagen] den Lastwagen [Personenwagen] verursachen und schliesslich der letzte Ausdruck die Grenzkosten des Oberflächenverschleisses (Oberbau, Brücken, Unterhalt). Diese Situation ist in Abbildung 3 für Personenwagen und Lastwagen dargestellt. Würden die Externalitäten nicht besteuert, dann ergäbe sich eine Leistung von  $X_3$  für den Personenverkehr und eine solche von  $Z_3$  für den Güterverkehr, d.h. dort wo die privaten durchschnittlichen variablen Kosten die ag-



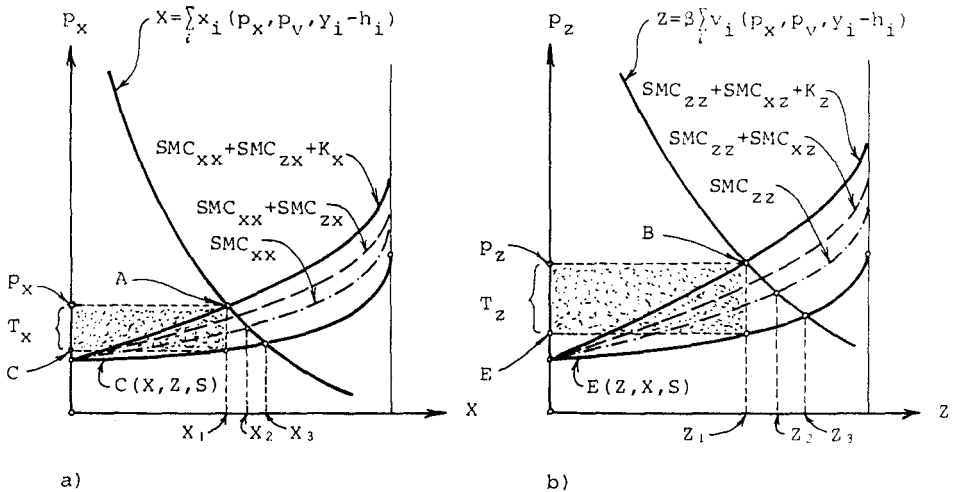


Abb. 3: Strassenzölle für Personen- und Lastwagen

gregierten Nachfragekurven schneiden 11). Optimale Fahrpreise ergeben sich beim Schnittpunkt der sozialen Grenzkostenkurve mit der aggregierten Nachfragekurve. Die optimale Verkehrsleistung beträgt  $X_1$  bzw.  $Z_1$  und ist kleiner als im Gleichgewicht. Der Anteil, der die privaten Kosten bei der optimalen Verkehrsleistung übersteigt, ist gleich den Externalitätskosten und gleich dem Strassenzoll (leistungsabhängige Verkehrsabgabe) für Personenwagen,  $T_X$ , bzw. für Lastwagen,  $T_Z$ . Die gerasterten Gebiete stellen die Gebühreneinnahmen dar. Meistens werden die Leistungen  $X_2$  bzw.  $Z_2$  als die optimalen Werte angegeben. Diese Leistungen vernachlässigen einerseits die Externalitätskosten zwischen verschiedenen Fahrzeugen und andererseits die Grenzkosten des Oberflächenverschleisses.

Aus G1. (13) ist sofort ersichtlich, dass ein Strassenzoll nur für den Güterverkehr dann gerechtfertigt ist, wenn einerseits die Stauungskosten (ersten beiden Glieder) und andererseits die Grenzkosten des Oberflächenverschleisses infolge Personenwagen Null sind. In diesem Fall wäre dieser Güterverkehrszoll gleich den Grenzkosten des Oberflächenverschleisses infolge Lastwagen zu setzen. Sind die Stauungskosten hingegen nicht Null, dann müssen sowohl Personenwagen als auch Lastwagen mit einem Strassenzoll belegt werden. Man beachte, dass hier die Strassenzölle je Verkehrsleistung definiert sind, also eine Staffellung nach gefahrenen Kilometern und beförderten Personen bzw. Tonnen erfordert.

11) Man beachte, dass es sich um modifizierte Nachfragekurven handelt.

An diesen Ergebnissen ändert sich nichts wesentliches, wenn der Verkehrsstrom als homogen aufgefasst wird. Anstelle der beiden Kostenfunktionen (4) setzen wir: 12)

$$C = C(G, S), \quad (4a)'$$

$$E = E(G, S), \quad G = X + Z. \quad (4b)'$$

Nach neuer Rechnung erhalten wir die optimalen Strassenzölle:

$$T_x = \frac{\partial C}{\partial G} X + \frac{\partial E}{\partial G} Z + K'S, \quad (13a)'$$

$$T_z = \frac{\partial C}{\partial G} X + \frac{\partial E}{\partial G} Z + K'S. \quad (13b)'$$

Die Stauungskosten sind für beide Verkehrsmittel gleich, während die Grenzkosten des Oberflächenverschleisses für die Lastwagen grösser als für die Personenwagen sind. Damit ist der Strassenzoll je Leistungseinheit grösser für Lastwagen als für Personenwagen.

Die Treibstoffzölle sind optimal, wenn sie den Zöllen in (13) entsprechen und zwei Bedingungen erfüllen: Erstens muss der Treibstoffverbrauch jedem Verkehrsmittel eindeutig zurechenbar sein und zweitens dürfen keine Spitzenbelastungen auftreten. Im letzteren Falle können die Treibstoffzölle nicht den sozialen Grenzkosten der jeweiligen Belastungsperiode angepasst werden. Unterstellen wir, Personenwagen verbrauchen nur Benzin und Lastwagen nur Diesel, so folgt für die beiden Treibstoffzölle:

$$T_x = t_b \tau_b, \quad (14a)$$

$$T_z = t_d \tau_d, \quad (14b)$$

wobei  $T_x = p_x - C(\cdot)$  und  $T_z = p_z - E(\cdot)$  die in (13) berechneten Strassenzölle bedeuten, gemessen in Franken je Personenkilometer bzw. Franken je Tonnenkilometer. Bedeuten  $\tau_b$  den Benzinzoll in Franken je Liter und  $\tau_d$  den Dieselnoll in Franken je Liter, so sind  $t_1$  die Benzinverbrauchsfunction für Personenwagen in Liter je Personenkilometer und  $t_2$  die Dieselverbrauchsfunction für Lastwagen in Liter je Tonnenkilometer. Beide Treibstoffverbrauchsfunctionen sind in Wirklichkeit abhängig vom Verkehrsvolumen, hier jedoch als konstant angenommen. Aufgrund steigender Skalenerträge ist  $t_1 > t_2$  bei gleichen Einheiten. Da der Strassenzoll für Lastwagen mindestens so gross wie für Personenwagen ist, folgt aus (14), dass der Dieselnoll grösser als der Benzinzoll sein muss.

12) Aufgrund steigender Skalenerträge erwarten wir die Durchschnittskosten für Lastwagen kleiner als für Personenwagen.

Aus Abb. 3 ist ersichtlich, dass mit der Einführung optimaler Fahrpreise die Verkehrsleistungen  $X_3$  auf  $X_1$  bzw. von  $Z_3$  auf  $Z_1$  sinken, und damit auch der Treibstoffverbrauch. Eine andere Massnahme zur Senkung des Treibstoffverbrauchs ist die Beschränkung der Geschwindigkeit, vor allem auf Autobahnen. Eine solche Massnahme ist aber im Vergleich zu Strassenzöllen nicht optimal, solange keine weiteren Externalitäten von der Geschwindigkeit abhängen, bzw. nicht im Modell berücksichtigt werden (z.B. Lärm, Unfälle usw.). Eine Beschränkung der "freien" Geschwindigkeit bewirkt, dass in Abb 1a das Verkehrsvolumen sinkt. Dadurch steigen die durchschnittlich variablen Kosten, d.h. die volkswirtschaftlichen "Produzenten"-Preise wie in Abb. 1b gezeigt. Um die gleiche Treibstoffreduktion zu erhalten, muss die freie Geschwindigkeit solange gesenkt werden, bis die Kostenkurven  $C(\cdot)$  und  $E(\cdot)$  soweit gestiegen sind, dass sie durch die Punkte A und B in Abb. 3 verlaufen. Die Pareto-Optimierung mit den neuen Kostenkurven ergibt Verkehrsleistungen  $X_1$  und  $Z_1$  in Abb. 3, wenn die zusätzlichen Bedingungen, dass die Fahrpreise gleich den durchschnittlichen variablen Kosten sind, berücksichtigt werden. Da in der neuen Situation die optimalen Fahrpreise höher, d.h. gleich den sozialen Grenzkosten wären, führen diese zusätzlichen Nebenbedingungen zu einem Wohlfahrtsverlust. Mit anderen Worten, eine Geschwindigkeitsbeschränkung, die zu optimalem Treibstoffverbrauch führt, ist Pareto inferior im Vergleich zu Strassenzöllen.

### A3. Optimale Fahrpreise mit Einkommenssteuern

Neben einer Pauschalsteuer soll eine Einkommenssteuer in Betracht gezogen werden. Um nicht gleichzeitig mit der Bestimmung optimaler Fahrpreise die Frage nach einem optimalen Steuertarif lösen zu müssen, wird der einfachste Fall betrachtet, nämlich ein Durchschnittssteuersatz. Die Budgetrestriktion des  $i$ -ten Haushaltes lautet:

$$p_x x_i + p_v v_i + w_i = y_i (1 - t_i), \quad (1b)'$$

wobei  $t_i$  der Durchschnittssteuersatz für das Einkommen des  $i$ -ten Haushaltes bedeutet. Die Pareto-Optimierung geht gleich vor sich wie in (7)-(12) und führt zu folgendem Ergebnis für die optimalen Fahrpreise.

$$p_x = SMC_x + \frac{V S_{xx} - S_{xx} \sum_i y_i v_i - S_{xx} X + S_{xx} \sum_i x_i y_i}{|S|} \quad (15a)$$

$$p_v = SMC_v + \frac{X S_{xx} - S_{xx} \sum_i x_i y_i - V S_{xx} + S_{xx} \sum_i y_i v_i}{|S|} \quad (15b)$$

Neben den sozialen Grenzkosten bestimmen noch "Allokationskosten", dargestellt durch die zweiten Glieder, die optimalen Fahrpreise. Falls die Kreuzsubstitutionseffekte vernachlässigbar klein sind, dann sind die Allokationskosten negativ. Die optimalen Fahrpreise sind dann kleiner als die sozialen Grenzkosten.

#### A4. Optimale Fahrpreise mit ausgeglichener Strassenrechnung

Wegen der Fixkosten werden im allgemeinen die Einnahmen aus Verkehrsgebühren die gesamten Strassenbaukosten nicht decken. Eine ausgeglichene Strassenrechnung kann mit der Nebenbedingung

$$\delta \left\{ [p_x - C(\cdot)]X + [p_v - (1 + E(\cdot)\beta)]V - K(\cdot) - k_0 \right\}$$

berücksichtigt werden, wobei  $\delta$  ein Lagrange-Multiplikator ist. Gleiche Rechnung wie in (7)-(12) ergibt sich für die optimalen Fahrpreise:

$$p_x = SMC_x + \frac{1}{|S|} \left\{ \frac{\lambda}{\lambda + \delta} \left[ V S_{vx} - S_{vx} \sum_i y_i \cdot v_i - S_{vv} X + S_{vv} \sum_i x_i \cdot y_i \right] + \frac{\delta}{\lambda + \delta} \left[ V S_{vx} - X S_{vv} \right] \right\} \quad (16a)$$

$$p_x = SMC_x + \frac{1}{\beta |S|} \left\{ \frac{\lambda}{\lambda + \delta} \left[ X S_{xv} - S_{xv} \sum_i x_i \cdot y_i - V S_{xx} + S_{xx} \sum_i y_i \cdot v_i \right] + \frac{\delta}{\lambda + \delta} \left[ X S_{xv} - V S_{xx} \right] \right\} \quad (16b)$$

Die optimalen Fahrpreise bestehen nun aus sozialen Grenzkosten, "Allokationskosten" (zweites Glied) und "Budgetkosten" (drittes Glied). Die Allokationskosten fallen weg, wenn Pauschalsteuern anstelle der Einkommenssteuern treten.

## Literaturverzeichnis

- Beckmann, Martin J., C.B. McGuire and Christopher R. Winsten (1955): Studies in the Economics of Transportation, New Haven: Cowles Commission and Yale University Press.
- "Botschaft über eine Autobahnvignette und eine Schwerverkehrsabgabe vom 16. Januar 1980", Bern.
- Büttler, H.-J. and John H. Shortreed (1978): "Investment Planning of a Road Link", Transportation Research, Vol. 12, No. 5, pp. 357-366.
- Büttler, H.-J. (1982): "Grenzkostenpreise im Strassenverkehr", Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik, 185-203.
- Deweese, Donald N. (1979): "Estimating the Time Costs of Highway Congestion", Econometrica, Vol. 47, No. 6, pp. 1499-1512.
- Henderson, J. Vernon (1977): Economic Theory and the Cities, New York: Academic Press.
- Mills, Edwin S. (1972): Urban Economics, Glenview, Illinois: Scott, Foresman & Co.
- Mirrlees, James A. (1976): "Optimal Tax Theory: A Synthesis", Journal of Public Economics, Vol. 6, pp. 327-358.
- Mohring, Herbert (1970): "The Peak Load Problem with Increasing Returns and Pricing Constraints", American Economic Review, Vol. 60, pp. 693-705.
- Niehans, Jürg (1962): Verkehrspolitik, Vorlesungsautographie, Universität Zürich.
- Porro, Bruno (1979): Produktions- und kostentheoretische Beurteilung des Modal-Split im städtischen Pendlerverkehr, Zürcher Dissertation.
- "Schweizerische Strassenrechnung: Nach Motorfahrzeugkategorien gegliederte Ergebnisse, 1970-1974", Eidgenössisches Statistisches Amt, Heft 578, Bern 1976.
- Walters, A.A. (1961): "The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion", Econometrica, Vol. 29, No. 2, pp. 676-699.





