

Schlör, Holger

**Article — Digitized Version**

## Individuelle Wohlfahrtseffekte einer ökologischen Steuerreform am Beispiel des Verkehrsbereiches

Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung

**Provided in Cooperation with:**

German Institute for Economic Research (DIW Berlin)

*Suggested Citation:* Schlör, Holger (1995) : Individuelle Wohlfahrtseffekte einer ökologischen Steuerreform am Beispiel des Verkehrsbereiches, Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung, ISSN 0340-1707, Duncker & Humblot, Berlin, Vol. 64, Iss. 4, pp. 642-655

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/141115>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

# Individuelle Wohlfahrtseffekte einer ökologischen Steuerreform am Beispiel des Verkehrsbereiches

von Holger Schläö r

## Zusammenfassung

*Die Partialanalyse des Verkehrsmarktes anhand des Zweigüter-Modells hat gezeigt, daß Wohlfahrtsneutralität der ökologischen Steuerreform und optimale Lenkungswirksamkeit schwer zu erreichen sind. Gründe hierfür sind die unzureichende Erfassung der Präferenzen der Haushalte für Verkehrsgüter in der traditionellen Nachfragetheorie und das Konzept der direkten monetären Kompensation in Form des Öko-Bonus.*

*Durch Einführung der Reisezeit in das traditionelle Nachfragemodell konnten die nicht-monetären Aspekte der Nachfrage im Verkehrsbereich besser erfaßt werden. Den traditionellen direkten monetären Kompensationsmodellen wurde das Konzept der indirekten Nutzenkompensation gegenübergestellt. Dieses Konzept hat im Rahmen einer ökologischen Steuerreform im Verkehrsbereich den Vorteil, daß es nicht nur die relativen Preise verändert sondern auch die relativen Qualitätskomponenten (z.B. die Reisezeit). Die indirekte Nutzenkompensation ermöglicht es, die für eine nachhaltige Veränderung des Modal-splits notwendigen Investitionen zu finanzieren.*

*Mit dem erweiterten Pollak-Index wurde ein Wohlfahrtsmaß gefunden, das es erlaubt, die individuellen Wohlfahrtseffekte der verschiedenen Kompensationsmodelle unter Berücksichtigung der Reisezeit im Rahmen einer ökologischen Steuerreform zu erfassen.*

## Einleitung

Umweltökonomien empfehlen seit einiger Zeit den Einsatz von Steuern und Abgaben als marktwirtschaftliche Instrumente der Umweltpolitik. Ziel solcher Maßnahmen ist es, Marktversagen aufgrund negativer externer Effekte zu vermeiden bzw. zu reduzieren. Dabei dienen Steuern primär fiskalischen Zwecken (Beschaffung von Einnahmen für den Staat). Umweltabgaben stellen dagegen die Lenkungsfunktion in den Mittelpunkt.

Im Rahmen dieser Arbeit soll auf der Grundlage wohlfahrtstheoretischer Ansätze untersucht werden, wie eine ökologische Steuerreform im Verkehrsbereich sich auf die Wohlfahrt eines ausgewählten Haushaltes auswirkt.

Ein Grundgedanke ökologischer Steuerreformkonzepte ist es, die Aktivitäten der Haushalte, die negative externe Umwelteffekte auslösen, durch steigende Preise aufgrund höherer Steuern, zu reduzieren. Auf der anderen Seite sollen die Haushalte mit den Steuereinnahmen einkommensmäßig so kompensiert werden, daß das Haushaltsbudget weitgehend unverändert bleibt.

In der vorliegenden Untersuchung werden sowohl direkte monetäre Kompensationsmodelle als auch indirekte

Nutzenkompensationsmodelle diskutiert. Die direkte monetäre Kompensation erfolgt dabei durch die Zahlung eines Pauschbetrages an jeden Haushalt. Die verschiedenen Möglichkeiten der administrativen Ausgestaltung dieser Kompensationszahlungen werden dabei hier nicht diskutiert<sup>1</sup>. Im Rahmen einer indirekten Nutzenkompensation wird das Steueraufkommen zur Förderung des öffentlichen Verkehrs verwendet, mit dem Ziel, negative externe Effekte zu vermeiden und das ursprüngliche Nutzenniveau der Haushalte zu erhalten.

Die Effekte einer ökologischen Steuerreform und die ihr zugrunde liegenden Kompensationsmodelle werden mit dem Instrument der individuellen Wohlfahrtsmessung analysiert. Die Wohlfahrtsmessung erlaubt es, die subjektiven Elemente der persönlichen Wahrnehmung und Bewertung der verschiedenen Individuen zu berücksichtigen<sup>2</sup> und darzustellen, wie die Wohlfahrtssituation des jeweils betroffenen Haushaltes durch die ökologische Steuerreform verändert wird.

<sup>1</sup> Eine ausführliche Begründung für diese Art der Kompensation findet sich in DIW, 1994a, S. 66 ff.

<sup>2</sup> Vgl. Ahlheim, 1994, S. 5.

## 1. Das Basis-Verkehrsnachfragemodell

Um die Wirkung einer Verteuerung von Verkehrsleistungen auf die einzelnen Haushalte im Verkehrsbereich für das Jahr 1993 beispielhaft zu untersuchen, wird ein disaggregiertes Zwei-Güter-Modell gemäß der traditionellen Nachfragetheorie verwendet.

Hierbei wird davon ausgegangen, daß der Haushalt alle anderen Güter außer dem Paar  $X_1$  (Kraftstoff für den eigenen Pkw) und  $X_2$  (öffentliche Verkehrsleistungen) in bekannten Mengen besitzt, und seine Ausgaben für  $X_1$  und  $X_2$  unabhängig von allen anderen Gütern betrachtet<sup>3</sup>. Weiterhin wird angenommen, daß der Haushalt eine Separierung seines Einkommens für die verschiedenen Konsumbereiche vornimmt und nur einen bestimmten Einkommensanteil zur Nutzenmaximierung auf dem Verkehrsmarkt verwendet. Es wird ausgeschlossen, daß der Haushalt nach der Verteuerung eines Verkehrsgutes Umschichtungen in seinem Gesamtbudget vornimmt, um so die Verkehrsleistungen, die er vor der Preiserhöhung realisierte, weiterhin aufrechtzuerhalten.

Für den Modellfall bedeutet dies, daß der Konsument wählen kann zwischen den Ausgaben für Kraftstoff, stellvertretend für den motorisierten Individualverkehr (MIV), und den Aufwendungen für die Inanspruchnahme von Verkehrsleistungen des öffentlichen Verkehrs (ÖV). Um die Vergleichbarkeit von MIV und ÖV zu gewährleisten, werden nur die direkten variablen Kosten als Grundlage der Analyse verwendet. Die Aufwendungen zur Anschaffung eines Pkws werden nicht betrachtet.

Die Markthandlungen des Konsumenten ergeben sich aus der Konfrontation seiner durch die Präferenzordnung beschriebenen Mobilitätswünsche und seinen tatsächlichen ökonomischen Möglichkeiten, die durch sein Verkehrsbudget ausgedrückt werden. Die Präferenzordnung muß nach den Voraussetzungen des Modells vollständig, reflexiv, transitiv, stetig, streng monoton, streng konvex und glatt sein<sup>4</sup>. Im folgenden soll untersucht werden, welche Funktionen sich aus der Präferenzordnung ableiten lassen.

Die Marshallschen Nachfragefunktionen auf der Basis des Nutzenmaximierungsansatzes und die Hicks'schen kompensierten Nachfragefunktionen auf der Basis des Ausgabenminimierungsansatzes werden analysiert, um das Marktverhalten eines ausgewählten Haushaltes zu erfassen, unter der Berücksichtigung seiner separierten Präferenzordnung für Verkehrsgüter und der daraus ableitbaren Nutzenfunktion.

Die Hicks'schen Nachfragefunktionen sind für die Wirkungsanalyse eines ökologischen Steuerreformkonzeptes bei den Haushalten von zentraler Bedeutung, da sie die für das Reformkonzept wichtige direkte monetäre Kompensation berücksichtigen.

Findet keine Einkommenskompensation statt, wird durch die Preiserhöhung ein Substitutions- und Einkommenseffekt ausgelöst. Beide Effekte werden von der

Marshallschen Nachfragefunktion erfaßt und wirken bei normalen Gütern in die gleiche Richtung. Durch eine direkte monetäre Kompensation hingegen entfällt der Einkommenseffekt. Es tritt nur der Substitutionseffekt auf. Dies wird durch die Hicks'sche Nachfragefunktion erfaßt<sup>5</sup>. Bei gegebenem Preis, Einkommen und Nutzenniveau verläuft die Hicks'sche Nachfragefunktion steiler als die Marshallsche Nachfragefunktion<sup>6</sup>, d.h. sie zeigt unelastischere Reaktionen auf Preisveränderungen.

Die Präferenzen der Konsumenten werden mit der neoklassischen Nutzenfunktion beschrieben. Die Nutzenfunktion ist eine Möglichkeit, die individuellen Präferenzen in einem Gütervektor darzustellen.

Im Rahmen einer empirischen Analyse wird hier beispielhaft ein 4-Personen-Haushalt mit einem monatlichen Nettoeinkommen von 3 200 DM betrachtet. Die entsprechenden Daten zur Einkommensverwendung wurden aus der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe (EVS) des Statistischen Bundesamtes für verschiedene Jahre entnommen<sup>7</sup>. Auf dieser Grundlage ergibt sich folgende Nutzenfunktion:

$$(1) \quad U(x) = x_1^{\frac{4}{5}} \cdot x_2^{\frac{1}{5}}$$

Die konventionelle Behandlung des Konsumentenverhaltens besteht in der Annahme, daß der Konsument seinen Nutzen bei gegebenem Einkommen ( $I$ ) maximiert. Wobei ( $P_1$ ) den Kraftstoffpreis darstellt und ( $P_2$ ) den Preis der öffentlichen Verkehrsleistungen.

$$(2) \quad \max_x \{U(x) : p_1 x_1 + p_2 x_2 \leq I\}$$

Für das Verkehrsmodell ergeben sich somit folgende Marshallschen Nachfragefunktionen für Kraftstoff ( $x_1^0$ ) und die öffentlichen Verkehrsleistungen ( $x_2^0$ ).

$$(3) \quad x_1^0 = \frac{4}{5} \cdot \frac{I}{P_1}$$
$$x_2^0 = \frac{1}{5} \cdot \frac{I}{P_2}$$

Die folgende Analyse soll auf die Ausgabenfunktion und die aus ihr ableitbaren Funktionen beschränkt werden. Diese ist aufgrund ihrer Eigenschaften für die Darstellung der Problematik der ökologischen Steuerreform besser geeignet.

<sup>3</sup> Vgl. Allen in: A. E. Ott (Hrsg.), 1965, S. 138.

<sup>4</sup> Vgl. Krelle, 1961, S. 109 ff., Varian, 1985, S. 116 ff., Stobbe, 1991, S. 92 ff. und Lancaster, 1971, S. 20 f.

<sup>5</sup> Vgl. den Beweis in Ahlheim/Rose, 1989, S. 267 ff.

<sup>6</sup> Vgl. Schumann, 1987, S. 40.

<sup>7</sup> Die Nutzenfunktion wurde auf der Basis der Einkommens- und Verbrauchsstichproben (EVS) der Jahre 1978, 1983 und 1988 geschätzt.

Die Ausgabenfunktion  $E(P,U)$  gibt die Höhe der Ausgaben an, die der Konsument tätigen muß, um bei Gültigkeit der jeweiligen Preise ein bestimmtes Nutzenniveau zu erreichen.

$$(4) \quad E(P, U) = \min_x \{ p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 : U(x) \geq U \}$$

Mit den hier geschätzten Parametern ergibt sich:

$$(5) \quad E(P, U) = U \left( \frac{5}{4} p_1 \right)^{\frac{4}{5}} \cdot (5p_2)^{\frac{1}{5}}$$

Die Ausgabenfunktion ist stetig in  $p$  und  $U$ , streng monoton zunehmend in  $U$ , positiv linear-homogen in  $p$ , zweimal stetig differenzierbar und konkav in  $p^8$ .

Das Theorem von Shephard ermöglicht die Bestimmung der kompensierten Hicks'schen Nachfragefunktionen:

$$(6) \quad \nabla_p E(p, U) \equiv x^* \equiv \xi_n(p, U)$$

Die Hicks'schen Nachfragefunktionen geben die Nachfrage eines Haushaltes nach einem Gut in Abhängigkeit von dessen Preis und dem Nutzenniveau des Konsumenten wieder.

Grundgedanke dabei ist, daß der Konsument bei partiellen Preisänderungen einkommensmäßig so kompensiert wird, daß er vor und nach der Preisänderung das gleiche Nutzenniveau realisiert. Es findet somit eine Bewegung auf der Indifferenzkurve statt.

Für das Zwei-Güter-Verkehrsmodell wurden mit den hier geschätzten Parametern folgende Hicks'schen Funktionen ermittelt:

$$(7) \quad \begin{aligned} \xi_1(P, U) &= U \left( \frac{5}{4} p_1 \right)^{-\frac{1}{5}} \cdot (5p_2)^{\frac{1}{5}} \\ \xi_2(P, U) &= U \left( \frac{5}{4} p_1 \right)^{\frac{4}{5}} \cdot (5p_2)^{-\frac{4}{5}} \end{aligned}$$

Die Hicks'schen Nachfragefunktionen sind dabei homogen vom Grade Null, die Matrix der partiellen Ableitungen ist symmetrisch und negativ semidefinit.

## 2. Kompensationsmodelle

Im folgenden werden drei Kompensationsmodelle vorgestellt und auf ihre Eignung zur Beschreibung der Wirkung einer ökologischen Steuerreform untersucht.

### 2.1 Direkte monetäre Kompensation

Bei der direkten monetären Kompensation unterscheidet man zwischen einkommensorientierter Kompensation nach Slutsky und nutzenorientierter nach Hicks.

#### 2.1.1 Das Kompensationskonzept nach Slutsky

Das Kompensationskonzept von Slutsky<sup>9</sup> wird anhand von Abbildung 1 erläutert.

Die durch eine Steuer bewirkte Preiserhöhung führt zu einer Realeinkommensenkung des Konsumenten. Diese soll durch eine Einkommenserhöhung kompensiert werden. Die durch die Steuererhöhung ausgelöste Preiserhöhung bewirkt eine Drehung der Budgetgeraden nach innen ( $\overline{AB}$  nach  $\overline{AB}^1$ ). Die neue Budgetgerade ( $\overline{AB}^1$ ) wird solange parallel verschoben, bis sie den Tangentialpunkt von Indifferenzkurve und Budgetgerade der Ausgangssituation schneidet ( $P^0$ ). Somit wird gewährleistet, daß der Konsument wieder das ursprüngliche Güterbündel kaufen kann. Die Kompensation führt aber zu einer Indifferenzkurve ( $U^2$ ) mit einem höheren Nutzenniveau als in der Ausgangssituation ( $U^0$ ).

Die Einkommenskompensation bewirkt, daß der Konsument ein höheres Nutzenniveau erreicht als in der Ausgangssituation. Die Nachfrage nach Gut 2 geht von  $X_{21}$  auf  $X_{24}$  zurück. Die Nachfrage nach Gut 1 steigt hingegen von  $X_{11}$  auf  $X_{14}$ .

#### 2.1.2 Das Kompensationskonzept von Hicks

Abbildung 1 illustriert auch das Kompensationskonzept von Hicks.

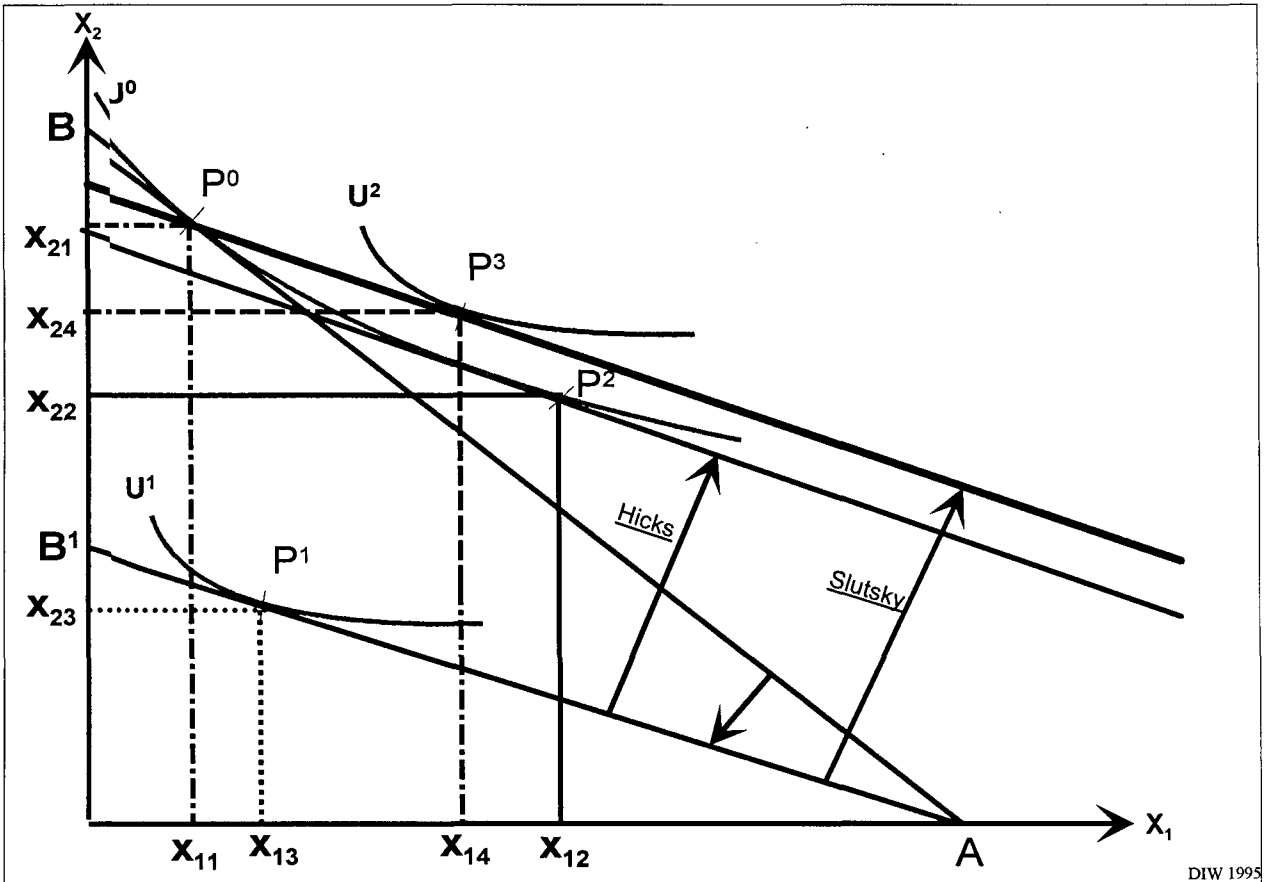
Die Kompensation gemäß Hicks hat das Ziel, das Nutzenniveau ( $U^0$ ) des Konsumenten unverändert zu lassen. Sie erfolgt durch eine Parallelverschiebung der neuen Budgetgeraden ( $\overline{AB}^1$ ) solange bis sie die Ausgangsindifferenzkurve ( $U^0$ ) wieder tangiert ( $P^2$ ). Somit hat sich der Konsument nutzenmäßig nicht verschlechtert, da alle Punkte auf der Ausgangsindifferenzkurve ( $U^0$ ) gleich eingeschätzt werden. Die Substitution äußert sich darin, daß der Konsument vom Gut  $X_2$  ( $X_{21}$  nach  $X_{22}$ ) weniger konsumiert, vom Gut  $X_1$  ( $X_{11}$  auf  $X_{12}$ ) hingegen mehr. Ohne die Kompensation wäre die Nachfrage nach Gut 2 auf  $X_{23}$  zurückgegangen.

## 2.2 Das Konzept der indirekten Nutzenkompensation

Durch eine direkte monetäre Kompensation wird der Einkommenseffekt der partiellen Preisänderung aufgehoben und dadurch die potentielle Lenkungswirksamkeit der Steuer erheblich reduziert. Im folgenden soll ein alternatives theoretisches Kompensationsverfahren vorgestellt werden, das den gesamten Nachfrageeffekt einer partiellen Preisänderung umfaßt.

<sup>8</sup> Vgl. Diamond/McFadden, 1974, S. 18 ff. Ausführliche Darstellung der Eigenschaften der Ausgabenfunktion.

<sup>9</sup> Vgl. Stobbe, 1991, S. 103.



DIW 1995

Ziel dieses Ansatzes ist es, daß der Haushalt vor und nach der Steuererhöhung das Ausgangsnutzenniveau ( $U^0$ ) wieder erreicht und trotzdem das umweltpolitische Vermeidungsziel der Steuererhebung — die Emissionsminderung im Verkehrsbereich — bei gegebenem Steuersatz erreicht wird. Es sind somit keine direkten Kompensationszahlungen notwendig. Grundvoraussetzung hierfür ist, daß der Haushalt das Ziel hat, sein Nutzenniveau zu halten bzw. aufgrund der Nichtsättigungsbedingung immer ein höheres Nutzenniveau anstrebt.

Die Wirkung der indirekten Nutzenkompensation wird anhand von Abb. 2 erläutert.

Im ersten Schritt steigt durch die Einführung bzw. Erhöhung der Steuer der Preis für Gut  $x_2$ . Die Nachfrage vermindert sich entsprechend der direkten Preiselastizität von Gut 2. Die Nachfrage sinkt von  $x_{20}$  auf  $x_{21}$ . Die Nachfrage von Gut 1 steigt leicht von  $x_{10}$  auf  $x_{11}$ . Das Nutzenniveau des Haushaltes reduziert sich von  $U^0$  auf  $U^1$ .

Werden nun die Steuereinnahmen, die durch die Erhebung der Steuer erzielt werden, zur Preisreduzierung bzw. zur Angebotsverbesserung von Gut 1 verwendet, steigt die entsprechende Nachfrage. Durch die Preissenkung von  $x_1$  wird der Haushalt aufgrund der Adding-up-Bedingung

mehr von Gut 1 nachfragen. Der Konsument kann mit seinem Ausgangshaushaltsbudget das Ausgangsnutzenniveau  $U^0$  wieder erreichen. D.h. die Budgetgerade dreht sich nach oben ( $\overline{AB^1} \Rightarrow A^1\overline{B^1}$ ), im Idealfall tangiert sie die Indifferenzkurve  $U^0$  in  $P^2$ .

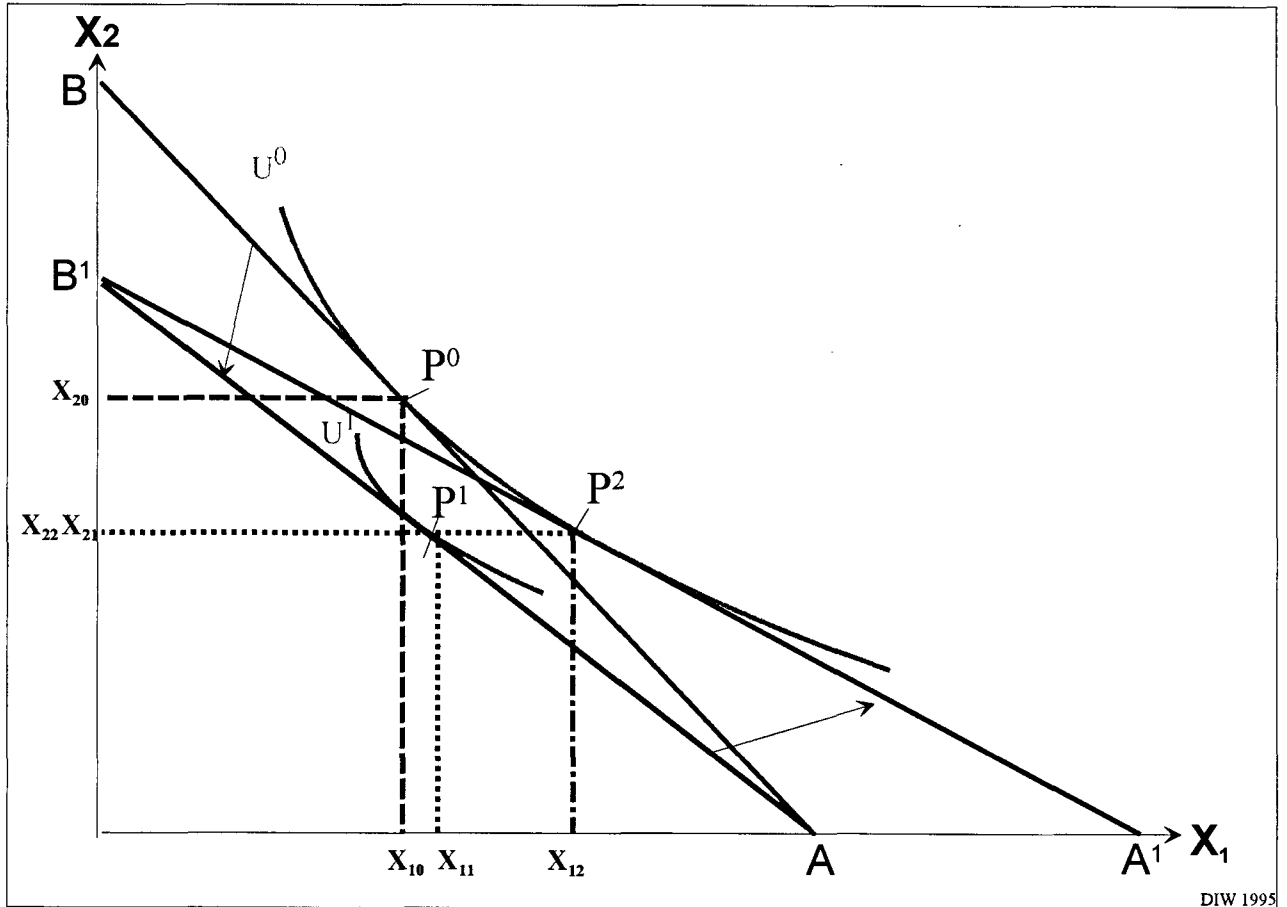
Die indirekte Nutzenkompensation bewirkt, daß die mit den Verkehrsleistungen verbundenen Schadstoffemissionen ( $S$ ) reduziert werden. Da die spezifischen Emissionen des MIV ( $x_i$ ) höher sind als die der öffentlichen Verkehrsleistungen ( $x_i$ ) gilt:

$$(8) \quad S_i(x_i) < S_k(x_k)$$

Die Umweltsituation wird durch die indirekte Nutzenkompensation (j) deutlich verbessert, da der gesamte Nachfrageeffekt wirksam wird. Die Vermeidungswirksamkeit bei der direkten monetären Kompensation (n) ist dagegen aufgrund des fehlenden Einkommenseffektes geringer:

$$(9) \quad [S_{ij}(x_{ij}) < S_{kj}(x_{kj})] > [S_{in}(x_{in}) < S_{kn}(x_{kn})]$$

Desweiteren bleibt das Nutzenniveau des Haushaltes unverändert. Aufgrund der Reflexivität wird der Haushalt die neue Situation genauso einschätzen wie die alte.



DIW 1995

### 3. Wohlfahrtseffekte einer verkehrsbezogenen ökologischen Steuerreform für einen 4-Personen-Haushalt

Im folgenden soll untersucht werden, welche individuellen Wohlfahrtseffekte sich aus einer ökologischen Steuerreform ergeben. Zur Projektevaluierung wird ein funktionaler Mengenindex auf der Basis der Ausgabenfunktion verwendet.

#### 3.1 Einführung

Es soll zunächst ein Kriterium für die Messung von Wohlfahrtsveränderungen eines Haushaltes bestimmt werden. Dabei kann die Frage, ob die ökologische Steuerreform zu einer Wohlfahrtsveränderung führt nur auf der Basis der Präferenzordnung des betrachteten Haushaltes beantwortet werden.

„Grundlegend ist hierbei die Idee, daß uns ein Wohlfahrtsmaß als empirisch meßbarer Indikator in Übereinstimmung mit der individuellen Präferenzordnung anzeigen muß, ob der Konsument eine bestimmte Konsumsituation einer anderen vorzieht oder nicht. Ein Wohlfahrtsmaß ist somit keine eigenständige Ausdrucksform für das Emp-

finden eines Konsumenten, sondern genau wie eine Nutzenfunktion nur eine Möglichkeit unter anderen zur Beschreibung seiner Präferenzen, die ja in der ordinalen Nutzentheorie die einzige ‚authentische‘ Darstellung für seine Präferenzen ist“<sup>10</sup>.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Wohlfahrtsänderung mit Hilfe von Indexmaßen bestimmt. Ein ökonomischer Index ist eine dimensionslose Funktion. Bei Indexmaßen unterscheidet man funktionale und atomistische Indizes. Atomistische Indizes behandeln Preise und Gütermengen als voneinander unabhängige Variablen. Bei den funktionalen Indizes wird ein auf der Theorie des Haushaltes basierender funktionaler Zusammenhang zwischen Preis- und Mengenvariablen unterstellt<sup>11</sup>.

Die bekanntesten atomistischen Indexmaße sind Laspeyres- und Paasche-Index<sup>12</sup>. Da beide die Indikator-, Ordnungs- und Zirkularitätsbedingung nicht erfüllen, können sie nur als halbseitige Wohlfahrtsindikatoren einge-

<sup>10</sup> Ahlheim/Rose, 1989, S. 6.

<sup>11</sup> Vgl. Ahlheim/Rose, 1989, S. 137 ff.

<sup>12</sup> Vgl. Pollak, 1989, S. 11.

stzt werden<sup>13</sup>. Die atomistischen Mengenindizes sind nichts anderes als Maßzahlen zur eindimensionalen Darstellung komplexer, mehrdimensionaler Gütermengenänderungen, die nutzentheoretisch interpretiert werden müssen. Funktionale Mengenindizes sind dagegen schon im Hinblick auf ihre Verwendung als Wohlfahrtsmaß bszipiert<sup>14</sup>. Im folgenden wird die Wohlfahrtsmessung mit Hilfe des Pollak-Index als funktionalem Mengenindex vorgenommen.

### 3.2 Der Pollak-Index

Der Pollak-Index ist ein funktionaler Mengenindex auf Basis der Ausgabenfunktion<sup>15</sup>.

$$(0) \quad PO_{ok}^1 = \frac{E(p^k, U(x^k))}{E(p^k, U(x^0))} = \frac{I^k}{E(p^k, U(x^0))} \quad (16)$$

Der Pollak-Index erfüllt die Indikatorbedingung, aber nicht Ordnungs- und Zirkularitätsbedingung. Der Pollak-Index kann folglich nur zur Ermittlung des Nutzens eines einzelnen Projektes verwendet werden, aber nicht zum Vergleich von mehreren Projekten bzw. von Teilprojekten.

#### 3.2.1 Pollak-Index bei direkter monetärer Kompensation

Als Beispiel wird mit dem Pollak-Index die Wohlfahrt eines 4-Personen-Haushaltes mit einem monatlichen Nettoeinkommen von 3 200 DM für das Jahr 1993 bestimmt. Zur Wohlfahrtsbestimmung wird die bereits bekannte Nutzenfunktion zugrunde gelegt.

$$(11) \quad U^0 = x_1^{\frac{4}{5}} \cdot x_2^{\frac{1}{5}}$$

Neben der Nutzenfunktion sind für die Bestimmung des Wohlfahrtsmaßes, das Einkommen, die Preise der Güter und deren konsumierte Mengen notwendig. Auf der Grundlage des Separierungsansatzes werden hier nur die verkehrsbezogenen Ausgaben und das dafür zur Verfügung stehende Einkommen betrachtet.

Das Einkommen des Haushaltes wird definiert als die Summe seiner Verkehrsausgaben für Kraftstoffe ( $x_1$ ) und für Verkehrsleistungen des öffentlichen Verkehrs ( $x_2$ )<sup>17</sup>.

$$(12) \quad I^0 = p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2$$

Die Preise und die verbrauchten Mengen wurden für das Jahr 1993 auf der Basis der Einkommens- und Verbrauchsstichproben (EVS) 1988 und der Datensammlung „Verkehr in Zahlen 1994“ ermittelt<sup>18</sup>.

Es wurde ein Preis von 1,31 DM für einen Liter Kraftstoff und ein Kraftstoffverbrauch von 97 Liter pro Monat ermit-

telt. Der Haushalt konsumiert 132 Personenkilometer (Pkm) pro Monat bei einem Preis von 0,24 DM pro Pkm<sup>19</sup>.

Vor Einführung einer ökologischen Steuerreform ergibt sich für den betrachteten Haushalt folgender Preis-Einkommens-Vektor.

$$(13a) \quad [p_1^0 \ p_2^0 \ I^0] = [1,31 \ 0,24 \ 159]$$

Im Rahmen des Modells resultiert das Steueraufkommen ausschließlich aus der Besteuerung des Kraftstoffes. Damit soll der ökologisch weniger verträgliche motorisierte Individualverkehr gegenüber dem öffentlichen Verkehr verteuert werden.

Das Steueraufkommen wird als Pro-Kopf-Bonus an den Haushalt zurückgegeben. Der 4-Personen-Haushalt erhält eine Kompensationszahlung in Höhe von 11 DM im Monat aufgrund eines Steueraufschlages von 0,13 DM/Liter Kraftstoff incl. MwSt.<sup>20</sup>, wodurch sich das Einkommen ( $I^k$ ) auf 170 DM erhöht. Somit ergibt sich bei Einführung der Steuer folgender Preis-Einkommens-Vektor.

$$(13b) \quad [p_1^k \ p_2^0 \ I^k] = [1,44 \ 0,24 \ 170]$$

Mit diesen Daten kann anhand der kompensierten Hicks'schen Nachfragefunktionen der Wohlfahrtseffekt der ökologischen Steuerreform für den 4-Personen-Haushalt direkt bestimmt werden.

$$(14) \quad \begin{aligned} \xi_1(P, U) &= U \left( \frac{5}{4} P_1 \right)^{-\frac{1}{5}} \cdot (5P_2)^{\frac{1}{5}} \\ \xi_2(P, U) &= U \left( \frac{5}{4} P_1 \right)^{\frac{4}{5}} \cdot (5P_2)^{-\frac{4}{5}} \end{aligned}$$

<sup>13</sup> Vgl. Ahlheim, 1994, S. 6 f. Indikatorbedingung: Ein zuverlässiges Wohlfahrtsmaß zeigt dann eine Wohlfahrtserhöhung an, wenn der Nutzen des Konsumenten infolge eines staatlichen Projektes tatsächlich zugenommen hat. Ordnungsbedingung: Das Wohlfahrtsmaß muß in der Lage sein, alternative Projekte mit derselben Ausgangssituation simultan in Übereinstimmung mit den Präferenzen des Konsumenten zu ordnen. Zirkularitätsbedingung: Die Summe der Wohlfahrtsänderungen der Teilprojekte muß gleich der durch das gesamte Projekt verursachten Wohlfahrtsänderung sein. Vgl. Ahlheim/Rose, 1989, S. 12 ff.

<sup>14</sup> Vgl. Ahlheim/Rose, 1989, S. 155. Monotonie- und Identitäts-Axiom sind allgemeine Kennzeichen aller Mengenindizes, vgl. hierzu Appendix.

<sup>15</sup> Vgl. Ahlheim/Rose, 1989, S. 164 ff. und Pollak, 1989, S. 3 ff.

<sup>16</sup>  $E(p^k, U^k) = p^k \cdot x(p^k, I^k) = p^k \cdot x^k = I^k$ .

<sup>17</sup> Definition der Verkehrsleistung: Die im öffentlichen Verkehr in Anspruch genommene Leistung während eines Monats. Diese wird im Personenverkehr in Personenkilometer gemessen. Vgl. VDV, 1992, S. 104.

<sup>18</sup> DIW, 1994b, S.100 und S. 290 ff.

<sup>19</sup> Dieser Preis entspricht dem Kilometerpreis der Deutschen Bundesbahn für Westdeutschland.

<sup>20</sup> Vgl. DIW, 1994a, S. 61 und S. 66, dort ist eine ausführliche Begründung für diesen Steueraufschlag und die Kompensationshöhe nachzulesen.

Aus der Definition des Pollak-Indexes ergibt sich:

$$(15) \quad PO_{ok}^1 = \frac{I^k}{E(p^k, U^0)}$$

wobei gilt:

$$(16) \quad E(p^k, U^0) = \int_{p^0}^{p^k} \nabla_p E(p, U^0) + E(p^0, U^0)$$

Aus dem 2. Hauptsatz der Integral- und Differentialrechnung und dem Theorem von Shephard folgt:<sup>21</sup>

$$(17) \quad \nabla_p E(p, U^0) = \xi(p, U^0)$$

und

$$(18) \quad E(p^0, U^0) = I^0$$

somit ergibt sich:

$$(19) \quad E(p^k, U^0) = I^0 + \sum_{n=1}^N \int_{p^0}^{p^k} \xi_n(p, U^0) dp$$

für den Ausdruck [19] ergibt sich<sup>22</sup>:

$$(20) \quad E(p^k, U^0) = 159 + \int_{p_1^0}^{p_1^k} \xi_1(p_1, p_2^0, U^0) dp_1 + \int_{p_2^0}^{p_2^k} \xi_2(p_1^k, p_2, U^0) dp_2$$

$$E(p^k, U^0) = 172$$

$$(21) \quad PO_{ok}^1 = \frac{I^k}{E(p^k, U^0)} = \frac{170}{172} = 0,98$$

Aus der Indikatorbedingung für Wohlfahrtsmaße (vgl. Fußnote 13) folgt, daß  $U_k < U_0$  wenn  $PO_{ok}^1 < 1$  ist. Dies bedeutet, daß bei direkter monetärer Kompensation die Wohlfahrt des Haushaltes aufgrund einer ökologischen Steuerreform abnimmt. Die mit dem Pollak-Index erzielten Ergebnisse können mit dem Laspeyres-Mengenindex überprüft werden.

Der Laspeyres Mengenindex mißt die durch die ökologische Steuerreform ausgelöste Wohlfahrtsänderung „durch das Verhältnis der Ausgaben, die der Konsument bei Gültigkeit des ursprünglichen Preisvektors  $p^0$  zum Kauf des neuen Güterbündels  $x^k$  bzw. des ursprünglichen Güterbündels  $x^0$  tätigen muß“<sup>23</sup>.

$$(22) \quad LAM_{ok} = \frac{p^0 x^k}{p^0 x^0} = \frac{p^0 x^k}{I^0}$$

Da der Laspeyres-Mengenindex aber ein halbseitiger Wohlfahrtsindikator ist<sup>24</sup> kann er nur zur Überprüfung von Wohlfahrtsminderungen eingesetzt werden. Sind die Meßwerte des Laspeyres-Indexes größer als Eins, so können daraus keine Schlüsse über die Wohlfahrtswirkung eines Projektes gezogen werden. Für den betrachteten 4-Personen-Haushalt ergibt sich folgendes Ergebnis:

$$(23) \quad \begin{aligned} LAM_{ok} &= 0,9 \Rightarrow LAM_{ok} < 1 \\ LAM_{ok} < 1 &\Rightarrow U(x^k) < U(x^0) \end{aligned}$$

Damit weist der Laspeyres-Index ebenfalls eine Wohlfahrtsminderung für den 4-Personen-Haushalt aus und bestätigt somit das Ergebnis, das sich bei der Verwendung des Pollak-Index ergeben hat.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß der 4-Personen-Haushalt des Verkehrsmodells durch die ökologische Steuerreform bei direkter monetärer Kompensation Wohlfahrtsverluste hinnehmen muß. Die Einkommenskompensation in Form des Öko-Bonus ist nicht ausreichend, damit der Haushalt das ursprüngliche Nutzenniveau ( $U^0$ ) erreicht.

### 3.2.2 Der Pollak-Index bei indirekter Nutzenkompensation

Für die indirekte Nutzenkompensation wird angenommen, daß das Steueraufkommen zur Förderung und zum Ausbau des öffentlichen Verkehrssystems (ÖV) verwendet wird. Im Rahmen des Modells bedeutet dies, daß sich die Ausgaben des Haushaltes für öffentliche Verkehrsleistungen verringern. Der Preis für den Personenkilometer im öffentlichen Verkehr sinkt auf 0,21/Pkm. Das Haushaltseinkommen bleibt konstant. Somit ergibt sich folgender Preis-Einkommens-Vektor:

$$(24) \quad [p_1^k \ p_2^k \ I^k] = [1,44 \ 0,21 \ 159]$$

Mit diesen Werten ergibt sich für den Pollak-Index folgendes Ergebnis:

$$(25) \quad PO_{ok}^1 = 0,95 \Rightarrow U^k < U^0$$

Die Wohlfahrt des Haushaltes sinkt bei der indirekten Nutzenkompensation. Zur Plausibilitätsprüfung wird auch hier der Laspeyres-Mengenindex berechnet. Dabei ergibt sich für den 4-Personen-Haushalt folgendes Ergebnis:

$$(26) \quad \begin{aligned} LAM_{ok} &= 0,92 \Rightarrow LAM_{ok} < 1 \\ LAM_{ok} < 1 &\Rightarrow U(x^k) < U(x^0) \end{aligned}$$

<sup>21</sup>  $E(p^0, U^0) = p^0 \cdot x(p^0, I^0) = p^0 \cdot x^0 = I^0$ .

<sup>22</sup> Vgl. Appendix über die Bedeutung des Integrationsweges.

<sup>23</sup> Ahlheim/Rose, 1989, S.146.

<sup>24</sup> Siehe analytische Begründung bei Ahlheim/Rose, 1989, S. 148 ff.



Der Laspeyres-Mengenindex bestätigt damit die Berechnungen des Pollak-Index. Der 4-Personen-Haushalt muß auch bei indirekter Nutzenkompensation Wohlfahrtsverluste hinnehmen. Die Angebotsverbesserungen des ÖV ermöglichen es dem Haushalt nicht, das ursprüngliche Nutzenniveau ( $U^0$ ) zu erreichen.

### 3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Auswirkung einer Einführung bzw. Erhöhung einer Energiesteuer für den Pkw-Verkehr auf die Nachfrage und somit auf die Wohlfahrt der Haushalte wurde mit Hilfe des Pollak-Index dargestellt.

Dabei konnte gezeigt werden, daß der 4-Personen-Haushalt sowohl bei der indirekten als auch bei der direkten Kompensation Wohlfahrtsverluste hinnehmen muß. Die indirekte Nutzenkompensation führt aber im Gegensatz zur direkten monetären Kompensation zu einer größeren Vermeidung von Emissionen bei gegebenem Steuersatz, da sowohl Substitutions- als auch Einkommenseffekt wirksam werden. Im folgenden soll untersucht werden, ob dieses Ergebnis Bestand hat, wenn in das Modell die Reisezeit als erklärende Variable in die Nutzenfunktion einbezogen wird.

Ein möglicher Grund für die ermittelten Wohlfahrtsverluste wäre die nicht hinreichende Erfassung der nicht-monetären Präferenzen für die jeweiligen Verkehrsgüter in der Nutzenfunktion ( $U^0$ ). Es gilt also nicht-monetäre Variablen daraufhin zu untersuchen, ob sie neben dem Preis, die Nachfrage im Verkehrsbereich mitbeeinflussen, denn „The traditional model of consumer demand is not suitable for analyzing the transport market since it does not explicitly identify the time spent travelling“<sup>25</sup>. Deshalb wird im folgenden ein Modell verwendet, in dem der Einfluß der Zeit auf die Verkehrsnachfrage zusätzlich berücksichtigt wird.

## 4. Das erweiterte Verkehrsmodell — die Reisezeit als Nachfragekomponente

### 4.1 Empirische Untersuchungen zur Bedeutung der Zeit bei der Verkehrswahl

Von P. Kirchhoff und P. Stöveken wurde untersucht, wie Konsumenten die Angebotsqualität des ÖPNV und des MIV beschreiben<sup>26</sup>. Im folgenden soll die Studie kurz skizziert und die Ergebnisse erläutert werden. Grundlage der Studie waren Haushaltserhebungen mit folgender Fragestellung:

1. „Welche Wirkungen auf die Verkehrsmittelwahl gehen von der Verbesserung der ÖPNV-Angebotsqualität aus?
2. Welche Wirkungen auf die Verkehrsmittelwahl gehen vom Verhältnis zwischen der ÖPNV- und MIV-Angebotsqualität aus“<sup>27</sup>.

Für die Beschreibung der Angebotsqualität von ÖPNV und MIV wurden folgende Merkmale als wichtig erkannt<sup>28</sup>:

- 1) — ÖPNV:
  - a) — Art des ÖPNV-Verkehrsmittels
  - b.1) — Zu- und Abgangszeit
  - b.2) — Wartezeit
  - b.3) — Beförderungszeit
  - b.4) — Umsteigehäufigkeit
- 2) — MIV
  - a.1) — Zu- und Abgangszeit
  - a.2) — Fahrzeit
  - a.3) — Parkplatzverfügbarkeit

An Hand von Abb. 3 wird deutlich, daß die ÖPNV-Anteile bei unterschiedlicher MIV-Qualität stärker differieren als bei unterschiedlicher ÖPNV-Qualität, daß bei guter MIV-Qualität Maßnahmen zur Attraktivitätssteigerung des öffentlichen Verkehrs weniger erfolgreich sind als bei schlechter MIV-Qualität<sup>29</sup>. Daraus ziehen Kirchhoff/Stöveken die Schlußfolgerung, daß das „Einschränken der MIV-Qualität (z.B. durch Parkrestriktionen) .. eine z.T. erhebliche Zunahme des ÖPNV-Anteils bei nahezu allen Wegezwecken und sozio-demographischen Gruppen“ bewirkt<sup>30</sup>.

Den größten Zuwachs erzielt der ÖPNV-Anteil bei einer Angebotsverbesserung im ÖPNV und einer gleichzeitigen Angebotsverschlechterung im MIV. Bei koordinierten Maßnahmen werden Synergieeffekte deutlich, die bei einer isolierten ÖPNV-Qualitätssteigerung bzw. bei isolierten MIV-Restriktionen nicht auftreten würden<sup>31</sup>.

Im folgenden soll nun untersucht werden, ob koordinierte Maßnahmen aus steuerlichen Belastungen des MIV mit Reisezeitverbesserungen im ÖV mit Hilfe der individuellen Wohlfahrtsmessung bewertet werden können.

### 4.2 Notwendige Modellerweiterungen

Um die Reisezeit in das Wohlfahrtsmodell einzubeziehen muß die Basisnutzenfunktion ( $U^0$ ) um die entsprechende Variable erweitert werden<sup>32</sup>.

<sup>25</sup> Bruzelius, 1978, S. 50.

<sup>26</sup> Vgl. Kirchhoff/Stöveken, 1990, S. 34 ff.

<sup>27</sup> Kirchhoff/Stöveken, 1990, S. 35.

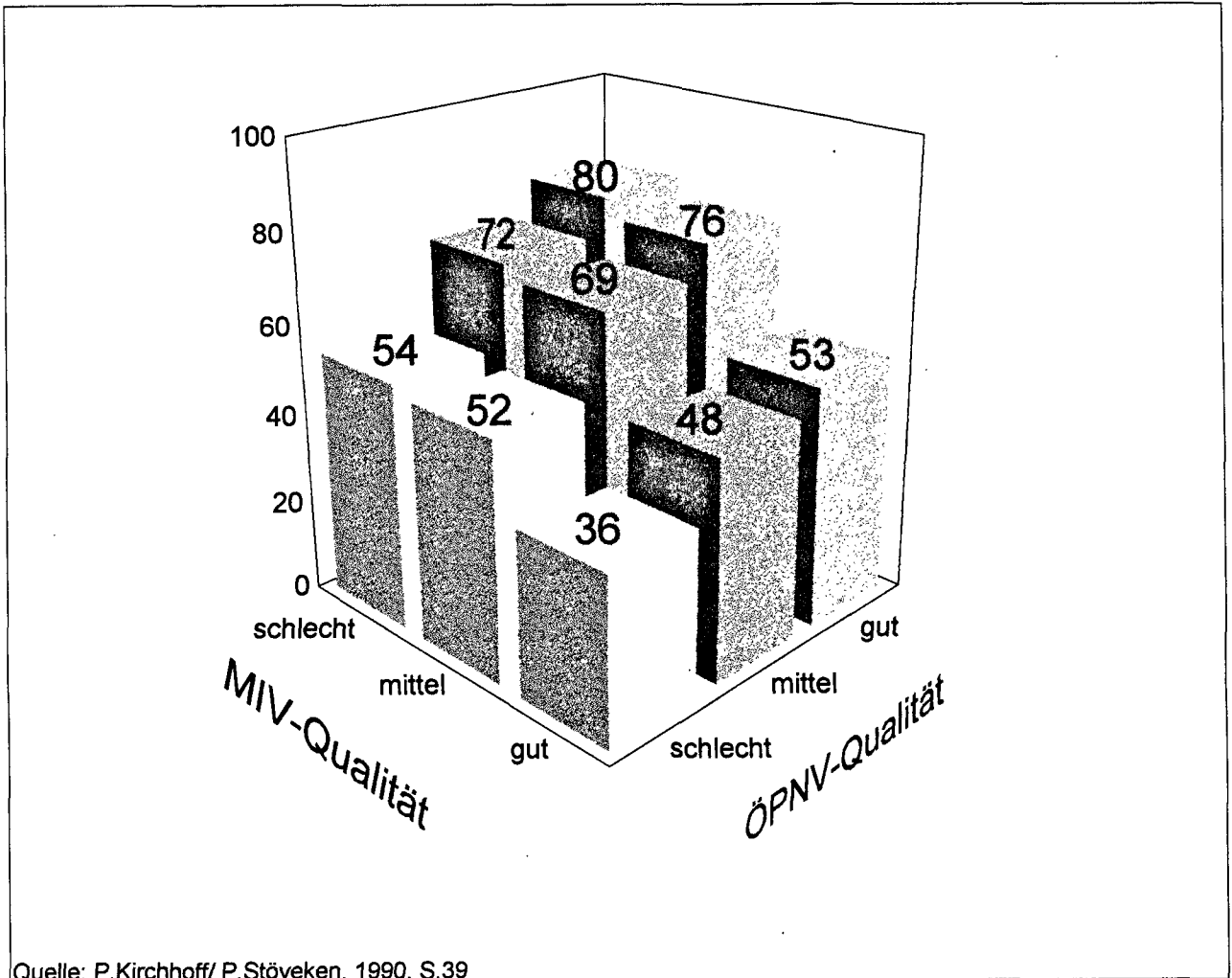
<sup>28</sup> Vgl. Kirchhoff/Stöveken, 1990, S. 38.

<sup>29</sup> Die absoluten Werte sowie die Steigerungsraten sind abhängig vom Wegezweck (Arbeit, Ausbildung, Freizeit, Einkaufen) und den sozio-demographischen Gruppen (Schüler, Studenten, Arbeitnehmer, Rentner, Hausfrauen).

<sup>30</sup> Kirchhoff/Stöveken, 1990, S. 40.

<sup>31</sup> Vgl. DIW, 1992, S. 109 und UBA, 1993, S. 11-1 ff.

<sup>32</sup> Vgl. G. S. Becker, 1965, S. 493-517.



Quelle: P. Kirchoff/ P. Stöveken, 1990, S. 39

Es ergibt sich folgende Nutzenfunktion<sup>33</sup>:

$$(27) \quad U^1 = U(x_1, x_2, L, t_1, t_2)$$

- $x_1$  = motorisierter Individualverkehr
- $x_2$  = öffentlicher Verkehr
- $t_1$  = Konsumzeit für Aktivität 1
- $t_2$  = Konsumzeit für Aktivität 2
- $L$  = Freizeit

Die erweiterten Marshallschen Nachfragefunktionen lassen sich dann unter der Berücksichtigung folgender Restriktionen bestimmen:

1. Einkommensrestriktion

$$(28) \quad \sum_{i=1}^n p_i \cdot x_i - I = 0$$

2. Zeitbudgetrestriktion

$$(29) \quad L + \sum_{i=1}^n t_i - T = 0$$

Die Zeitbudgetrestriktion garantiert, daß die aufgewendete Zeit nicht das tatsächlich vorhandene Zeitbudget übersteigt.

3. Zeitallokationrestriktion

$$(30) \quad q_i \cdot x_i - t_i = 0 \quad i = 1, \dots, n$$

$q_i$  (30) entspricht der Zeit, die der Haushalt für die jeweilige Aktivität  $i$  mindestens aufwenden muß<sup>34</sup>. Mit Hilfe von  $q_i$  können die von den Haushalten als wichtig erachteten zeitlichen Qualitätsmerkmale Zu- und Abgangszeit, Wartezeit und Beförderungszeit bzw. Fahrzeit des ÖPNV und des

<sup>33</sup> Vgl. Bruzelius, 1978, S. 51 ff. und TRRL, 1980, 258 ff. Das Bruzelius-Modell wurde erweitert, um die individuellen Wohlfahrtseffekte der Kompensationsmodelle zu bestimmen.

<sup>34</sup> Vgl. TRRL, 1980, S. 259.

MIV auch formal in Form eines Vektors erfaßt werden. Das gesamte Zeitbudget, das für Reisen mit dem ÖV bzw. dem MIV zur Verfügung steht, wird durch  $t$  dokumentiert.

Aus der Zeitallokationsrestriktion folgt, daß davon abgesehen wird, daß der Haushalt im Bereich des MIV mehr Zeit für eine Reise verwenden kann als notwendig. Es wird nur die Zeit für eine Reise veranschlagt, die für die entsprechende Ortsveränderung auch notwendig ist. Umwege die z.B. aus dem Spaß am Fahren unternommen werden, werden dadurch ausgeschlossen.

Zur Bestimmung der Marshallschen Nachfragefunktionen ergibt sich folgender Lagrange-Ansatz<sup>35</sup>:

$$(31) \quad L = U(x_1, x_2, L, t_1, t_2) - \omega(p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 - I) - \mu(L + t_1 + t_2 - T) - \eta(q_1 \cdot x_1 + q_2 \cdot x_2 - (t_1 + t_2))$$

Daraus ergeben sich folgende Marshallschen Nachfragefunktionen:

$$(32) \quad \begin{aligned} x_1 &= x_1(p_1, p_2, q_1, q_2, I) \\ x_2 &= x_2(p_1, p_2, q_1, q_2, I) \end{aligned}$$

Die beiden Nachfragefunktionen stellen das Nachfragemodell für den Konsumenten im Verkehrsbereich dar. Dieses Modell läßt sich wie folgt interpretieren:

Die Nachfrage nach Aktivität 1 ist nicht nur abhängig von dessen Preis und Zeitbedarf sondern auch vom Preis der Konkurrenzaktivität und deren Zeitbedarf und dem verfügbaren Einkommen. Das Zeitbudget für Freizeit wird kurzfristig als konstant angenommen und deshalb im folgenden nicht weiter berücksichtigt. Durch die Erweiterung des Basismodells wird die tatsächliche Entscheidungssituation des Haushaltes besser berücksichtigt.

Im folgenden werden für das erweiterte Verkehrsmodell die kompensierten Hicks'schen Nachfragefunktionen als Basis der Wohlfahrtsbestimmung hergeleitet.

### 4.3 Der Pollak-Index bei Einbeziehung des Wertes der Reisezeit

Auch im erweiterten Verkehrsmodell ist die Ausgabenfunktion die Grundlage für die Bestimmung der Hicks'schen Nachfragefunktionen. Die Ausgabenfunktion und die kompensierten Hicks'schen Nachfragefunktionen lassen sich mit Hilfe des folgenden Lagrangeansatzes bestimmen<sup>36</sup>:

$$(33) \quad L = \sum_{i=1}^n p_i \cdot x_i + \alpha(U - U(x_1, x_2, t_1, t_2)) + \mu(T - t_1 - t_2) + \sum_{i=1}^n \eta(t_i - q_i \cdot x_i)$$

Es ergeben sich folgende Hicks'sche kompensierte Nachfragefunktionen:

$$(34) \quad \xi_n(p, q, U) = x_n^*$$

und folgende Ausgabenfunktion, die eine Funktion von  $p$ ,  $q$  und  $U$  ist.

$$(35) \quad E(p, q, U) = p \cdot x^*$$

Bei Differenzierung nach dem Preis erhalten wir:

$$(36) \quad \nabla_p E(p, q, U) = x_n^*$$

Nach der Zeit differenziert ergibt sich:

$$(37) \quad \nabla_q E(p, q, U) = \eta_n x_n^*$$

wobei  $\eta_n$  als einkommenskompensierter Grenznutzen der Reisezeit interpretiert werden kann:

$$(38) \quad \eta_n = \frac{1}{x_n^*} \nabla_q E(p, q, U)$$

Mit diesen Ergebnissen lassen sich die aus einer ökologischen Steuerreform ergebenden Wohlfahrtseffekte mit Hilfe des Pollak-Index bestimmen:

$$(39) \quad PO_{ok}^2 = \frac{I^k}{E(p^k, q^k, U^0)}$$

$$(40) \quad E(p^k, q^k, U^0) = I^0 + \underbrace{\sum_{n=1}^N \int_{p^0}^{p^k} x_n^*(p, q^k, U^0) dp}_A + \underbrace{\sum_{n=1}^N \int_{q^0}^{q^k} \eta_n x_n^*(p^k, q, U^0) dq}_B$$

Teil A von Gleichung (40) beschreibt die Effekte, die sich aus den Preisveränderungen ergeben. Teil B hingegen gibt die Wohlfahrtseffekte wieder, die durch den veränderten Zeitbedarf für die Benutzung der Verkehrsmittel ausgelöst werden. Mit Hilfe des erweiterten Pollak-Index soll im folgenden geprüft werden, ob sich durch diese Erweiterung des Ansatzes Änderungen bei den im vorigen Abschnitt untersuchten Wohlfahrtsmaßen ergeben.

<sup>35</sup> Wobei  $\omega$  den Grenznutzen des Einkommens,  $\mu$  den Grenznutzen der Zeit und den  $\eta$  Grenznutzen der Reisezeit darstellt. Im Appendix wird beispielhaft der Beweis erbracht, daß  $\eta$  der Grenznutzen der Reisezeit ist.

<sup>36</sup> Vgl. Bruzelius, 1978, S. 54 ff.

## 5. Ausblick

Die Wohlfahrtsverluste bei direkter monetärer Kompensation werden sich kurzfristig nicht ändern, da das Steueraufkommen ja an die Haushalte in Form des Öko-Bonus zurückgegeben wird und somit den Zeitaufwand der jeweiligen Aktivität unberücksichtigt läßt. Bei stark steigenden Kraftstoffpreisen kann allerdings der Zeitvorteil des MIV nicht mehr ausreichen, die Wohlfahrtsverluste, die sich aus den steigenden Kraftstoffpreisen ergeben, auszugleichen und so kann der ÖV an Akzeptanz gewinnen, da seine Preise unverändert bleiben.

Bei der indirekten Nutzenkompensation hingegen werden nicht nur die relativen Preise verändert sondern auch die relativen Reisezeiten, wenn das Steueraufkommen für Investitionen zur Verbesserung und Verbilligung des ÖV verwendet wird. Dies hat dann Einfluß auf die sich aus der indirekten Nutzenkompensation ergebenden Wohlfahrts-effekte.

Eine Aufteilung von Gleichung (40) auf die beiden Verkehrsarten zeigt dies:

$$(41) \quad \underbrace{\int_{q_1^0}^{q_1^k} \eta_1 x_1^* (p_1^k q_1 q_2^0 U^0) dq_1}_{B_1} + \underbrace{\int_{q_2^0}^{q_2^k} \eta_2 x_2^* (p_2^k q_1^k q_2 U^0) dq_2}_{B_2}$$

B1 = Zeitkomponente des MIV

B2 = Zeitkomponente des ÖV

Dieser Teil des Pollak-Index erfaßt die Wohlfahrtseffekte, die sich aus Veränderungen des Zeitbudgets ergeben. Der Teil B2 von Gleichung (41) erfaßt die Zeitersparnis, die sich durch die Erweiterungsinvestitionen im Bereich des ÖV ergeben. Teil B1 erfaßt die Wohlfahrtseffekte im Bereich des MIV. Da es dort zu keinen Veränderungen des Zeitaufwandes pro Aktivität kommt, ist dieser Ausdruck gleich Null. Ein anderes Ergebnis ergäbe sich bei einer kombinierten Strategie, die einerseits eine Verbilligung und Beschleunigung des ÖV vorsieht und andererseits eine Verteuerung und Verlangsamung des MIV. Die Wohlfahrtseffekte eines solchen Maßnahmenpaketes lassen sich dann mit Hilfe des erweiterten Pollak-Index erfassen.

Der erweiterte Pollak-Index erlaubt es also, die Präferenzen der Haushalte bei der Verkehrswahl umfassender zu beschreiben und Wohlfahrtsveränderungen nicht nur in Abhängigkeit vom Preis des Verkehrsmittels sondern auch von den Reisezeiten zu ermitteln. Die starke Präferenz des 4-Personen-Haushaltes für den MIV die in der Ausgangsnutzenfunktion  $U^0$  zum Ausdruck kommt, ist zum Teil auch vom Zeitvorteil bestimmt, den sich der Konsument von der Benutzung des MIV verspricht. Die Nutzenfunktion  $U^1$  und der daraus abgeleitete Pollak-Index  $PO^1$  zeigen dies deutlich.

Die Partialanalyse der Verkehrsmittelwahlentscheidung zwischen dem motorisierten Individualverkehr und dem öffentlichen Verkehr eines 4-Personen-Haushaltes hat gezeigt, daß unter den Modellbedingungen Wohlfahrtsneutralität des Haushaltes und maximale Lenkungswirksamkeit der Umweltsteuer schwer zu erreichen sind.

Es konnte gezeigt werden, daß mit der Beschränkung auf den Preis als Eigenschaft der Güter die Präferenzen der Konsumenten für Verkehrsgüter nicht hinreichend erfaßt werden können. Durch eine Erweiterung wurden nicht-monetäre Aspekte der Nachfrage — die Reisezeit — erfaßt.

Direkte monetäre Kompensationsmodelle (Slutsky bzw. Hicks) ergeben eine Minderung der Lenkungsfunktion der Umweltsteuer, da hier nur der Substitutionseffekt die Nachfrageveränderung bestimmt.

Bei der indirekten Nutzenkompensation als alternativem Konzept ergeben sich ebenfalls Wohlfahrtsverluste, aber die Lenkungswirkung der Steuer wird stärker wirksam, da der Einkommenseffekt nicht durch Kompensationszahlungen neutralisiert wird. Auch bei einer Erweiterung des Nachfragemodells um die Reisezeit können Wohlfahrtsverluste auftreten. Durch die Verwendung der eingenommenen Steuermittel für Attraktivitätssteigerungen im öffentlichen Verkehr und verkehrsberuhigende Investitionen beim MIV können die Nachteile des ÖV vermindert und so dessen Akzeptanz erhöht werden. Die Verkehrsleistungen des Haushaltes sind somit insgesamt mit einer geringeren Umweltbelastung verbunden. Bei der indirekten Nutzenkompensation werden nicht nur die relativen Preise sondern auch die relative Reisezeit verändert.

Der erweiterte Pollak-Index ist ein Wohlfahrtsmaß, das es erlaubt die individuellen Wohlfahrtseffekte der direkten monetären Kompensationsmodelle als auch die der steuerfinanzierten Umweltinvestitionen im Rahmen der indirekten Nutzenkompensation zu erfassen und so deren Wohlfahrtswirkung wiederzugeben. Die mit diesen Veränderungen verbundenen individuellen Wohlfahrtseffekte können — wie hier gezeigt wurde — mit Hilfe des erweiterten Pollak-Index bewertet werden.

Für eine ökologische Steuerreform bedeutet dies, daß, bevor über die Art und Höhe der Steuer und deren Verwendung entschieden wird, untersucht werden muß, welche Präferenzen die Nachfrage nach den umweltschädlichen Gütern bestimmen.

## Appendix

### Integrationsweg

Soll ein ermittelter Wohlfahrtswert eindeutig sein, darf er nicht vom Integrationsweg<sup>37</sup> abhängen. Die Integration über vektorwertige Funktionen kann sukzessiv durchge-

<sup>37</sup> Vgl. Ahlheim/Rose, 1989, S. 47 ff.

führt werden, „wobei der Wert der Variablen am Endpunkt eines Integrationsteilstücks ihrem Wert am Anfang des nächsten entspricht“<sup>38</sup>. Notwendig und hinreichend für die Pfadunabhängigkeit eines Integrals  $\int f(z)dz$  über eine stetige differenzierbare Vektorfunktion  $f:A \rightarrow R^L$  mit  $A \in R^L$  ist die Symmetrie der Kreuzableitungen über die Menge  $A$ <sup>39</sup>.

$$(49) \quad \frac{\delta f_i}{\delta z_j} = \frac{\delta f_j}{\delta z_i}, \forall i, j \in \{1, 2, \dots, L\}$$

Überprüfung der Symmetrie der Kreuzableitungen für die Hicks'schen Nachfragefunktionen des Verkehrsmodells:

$$(50) \quad \xi_1(p, U) = U \left( \frac{5}{4} p_1 \right)^{-\frac{1}{5}} \cdot (5p_2)^{\frac{1}{5}}$$

$$\xi_2(p, U) = U \left( \frac{5}{4} p_1 \right)^{\frac{4}{5}} \cdot (5p_2)^{-\frac{4}{5}}$$

$$a) \quad \frac{\delta \xi_1}{\delta p_2} = U \left( \frac{5}{4} p_1 \right)^{-\frac{1}{5}} \cdot (5p_2)^{-\frac{4}{5}}$$

$$b) \quad \frac{\delta \xi_2}{\delta p_1} = U \left( \frac{5}{4} p_1 \right)^{-\frac{1}{5}} \cdot (5p_2)^{-\frac{4}{5}}$$

Die Kreuzableitungen sind identisch, d.h. das Integral ist pfadunabhängig.

### Allgemeine Kennzeichen der Mengenindizes

Das Monotonie- und das Identitäts-Axiom können als allgemeine Kennzeichen aller Mengenindizes aufgeführt werden<sup>40</sup>:

**Monotonie-Axiom:**

$$(51) \quad x_j > x_k \Rightarrow Q(x_0, x_j) > Q(x_0, x_k)$$

$$x_0 > x_j \Rightarrow Q(x_0, x_k) > Q(x_j, x_k)$$

**Identitäts-Axiom:**

$$(52) \quad Q(x_0, x_0) = 1$$

Diese beiden Axiome betreffen ausschließlich die Darstellung von Mengenänderung mit Hilfe von Indizes und sind daher unabhängig von der Eignung der einzelnen Indizes zur Wohlfahrtsmessung. Sie dienen vielmehr als Konvention zur Normierung der formalen Maßeigenschaften eines Mengenindex. Das Identitäts-Axiom legt den Wert fest, den ein Mengenindex anzeigen muß, wenn keine

Veränderung des Konsumgüterbündels stattgefunden hat. Das Monotonie-Axiom gibt an, wie der Wert eines Mengenindex auf Änderungen seiner Argumente zu reagieren hat.

### $\eta$ als Grenznutzen der Reisezeit

Im folgenden wird gezeigt, daß  $\eta$  dem Grenznutzen der Reisezeit entspricht. Für diesen Beweis sind die Kuhn-Tucker-Bedingungen notwendig, auf deren ausführliche Herleitung hier aber verzichtet wird<sup>41</sup>.

1. Schritt:

Zu maximieren ist

$$(53) \quad U = U(x_1, x_2)$$

$x_1$ : Reiseaktivitäten, die mit dem MIV unternommen werden.  
 $x_2$ : Reisen mit dem ÖV

unter der Nebenbedingung

$$(54) \quad t = q_1 x_1 + q_2 x_2$$

$$t - q_1 x_1 - q_2 x_2 = 0$$

Wobei  $q_i$  der Zeit entspricht, die der Haushalt bzw. das Individuum mindestens für eine bestimmte Aktivität mit dem jeweiligen Verkehrsmittel aufwenden muß. Das gesamte Zeitbudget, das für Reisen mit dem ÖV bzw. dem MIV zur Verfügung steht, wird durch  $t$  dokumentiert.

Man bildet nun folgende Lagrange-Funktion:

$$(55) \quad V = U(x_1, x_2) + \lambda (t - q_1 x_1 - q_2 x_2)$$

und erhält die Bedingungen erster Ordnung:

$$(56) \quad \frac{\delta V}{\delta x_1} = \frac{\delta U}{\delta x_1} - \eta q_1 = 0$$

$$\frac{\delta V}{\delta x_2} = \frac{\delta U}{\delta x_2} - \eta q_2 = 0$$

$$(57) \quad \frac{\delta V}{\delta \eta} = t - q_1 x_1 - q_2 x_2 = 0$$

Diese bilden die Grundlage zur Bestimmung der Kuhn-Tucker-Bedingungen.

<sup>38</sup> Ahlheim/Rose, 1989, S. 47.

<sup>39</sup> Vgl. Ahlheim/Rose, 1989, S. 51.

<sup>40</sup> Vgl. Ahlheim/Rose, 1989, S. 140/141.

<sup>41</sup> Vgl. Varian, 1985, S. 327 ff., Chiang, 1984, S. 726 ff., Hendersson/Quandt, 1983, S. 406.

2. Schritt: Definition der Kuhn-Tucker-Bedingungen:

1. Bedingung

$$(58) \quad \left( \frac{\delta U}{\delta x_1} - \eta q_1 \right) \cdot x_1 = 0$$

$$\left( \frac{\delta U}{\delta x_2} - \eta q_2 \right) \cdot x_2 = 0$$

2. Bedingung

$$(59) \quad (t - q_1 x_1 - q_2 x_2) \eta = 0$$

3. Schritt: Man bildet das totale Differential:

a) der Nutzenfunktion  $U=U(x_1, x_2)$

$$(60) \quad dU = \sum_{i=1}^2 \frac{\delta U}{\delta x_i} \cdot dx_i$$

Aus Gleichung (56) folgt:

$$\frac{\delta U}{\delta x_i} = \eta q_i$$

Aufgrund der Nichtsättigungsbedingung gilt:

$$(61) \quad \frac{\delta U}{\delta x_i} > 0$$

Für die erste Kuhn-Tucker-Bedingung (58) bedeutet dies, daß  $x_i > 0$  ist und

$$(62) \quad \frac{\delta U}{\delta x_i} = q_i \Rightarrow \eta q_i > 0 \Rightarrow \eta > 0$$

daraus folgt, daß der Lagrangemultiplikator  $\eta > 0$  ist.

b) der Zeitallokationsrestriktion  $t - q_1 x_1 - q_2 x_2 = 0$

$$(63) \quad dt = \sum_{i=1}^2 q_i dx_i$$

4. Schritt: Beweis, daß  $\eta$  der Grenznutzen der Reisezeit ist.

Da (60)  $dU = \sum_{i=1}^2 \frac{\delta U}{\delta x_i} \cdot dx_i$  ist und

$$(56) \quad \frac{\delta U}{\delta x_i} = \eta q_i$$

kann Gleichung (56) in Gleichung (60) eingesetzt werden und es ergibt sich somit:

$$(64) \quad dU = \sum_{i=1}^2 \eta q_i dx_i$$

Gleichung (63) wird nun in Gleichung (64) eingesetzt, daraus folgt:

$$(65) \quad dU = \eta dt \quad \text{bzw.}$$

$$(66) \quad \frac{dU}{dt} = \eta.$$

Somit konnte gezeigt werden, daß

$$\frac{dU}{dt} = \eta$$

ist und dem Grenznutzen der Reisezeit entspricht.

### Literaturverzeichnis

*Ahlheim, Michael*: On the measurement of Economic welfare. In: Aktuelle Reihe 4/94 Technische Universität Cottbus, Cottbus 1994.

*Ahlheim, Michael, Manfred Rose*: Messung individueller Wohlfahrt, Berlin, Heidelberg, New York u.a. 1989.

*Allen, Roy G.D.*: Eine mathematische Theorie der individuellen Nachfragefunktionen, London 1934. In: Ott, Alfred Eugen: Preistheorie, Köln, Berlin 1968, S. 87 ff.

*Becker, Gary S.*: A theory of the allocation of time. In: The Economic Journal, 1965, Vol. 75, S.493-517.

*Bruzelius, Nils*: The value of travel time — theory and measurement, Stockholm 1978.

*Chiang, Alpha C.*: Fundamental methods of mathematical economics. Auckland 1984.

*Diamond, P., D. McFadden*: Some uses of the expenditure function in public finance, Journal of Public Economics 3, 1974, S. 3-21.

*DIW (1992)*: Investitionen und Steuern als Instrumente ökologischer Verkehrspolitik. Bearb.: Ulrich Voigt. Wochenbericht des DIW, Nr. 10, S. 109 ff.

*DIW (1994a)*: Ökosteuern — Sackgasse oder Königsweg? Wirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform. Ein Gutachten des DIW im Auftrag von Greenpeace. Bearb.: Stefan Bach, Michael Kohlhaas, Volker Meinhardt, Barbara Praetorius, Hans Wessels, Rudolf Zwiener.

- DW* (1994b): Verkehr in Zahlen 1994. Hrsg. Bundesminister für Verkehr, Bonn. Verantwortlich für den Inhalt: DIW.
- Henderson* J. M., R. E. *Quandt*: Mikroökonomische Theorie, München 1983.
- Kchhoff*, R, R *Stöveken*: Besseres Verkehrsangebot im ÖPNV oder/und Restriktionen für den PKW, in: Der Nahverkehr, 7. Jhrg., Heft 3/1990, S. 34-40.
- Kille*, Wilhelm: Preistheorie, Tübingen 1961.
- Lacaster*, Kelvin: Consumer Demand — A new approach, New York, London 1971.
- Ot* Alfred Eugen: Preistheorie, Köln, Berlin 1968.
- Pdak*, Robert A.: The Theory of the Cost-of-Living-Index, New York 1989.
- Schumann*, Jochen: Grundzüge der mikroökonomischen Theorie, Berlin, Heidelberg, New York u.a. 1988.
- Slutsky*, Eugen E.: Theorie des Verbraucherbudgets, 1915, in: Ott, Alfred Eugen: Preistheorie, Köln, Berlin 1968, S. 87 ff.
- Statistisches Bundesamt*: Einkommens- und Verbrauchsstichproben (EVS) 1988, Wiesbaden 1990.
- Stobbe*, Alfred: Mikroökonomik, Berlin, Heidelberg, New York u.a. 1991. Umweltbundesamt (UBA): Beschäftigungswirkungen des Umweltschutzes, Berlin 1993.
- Transport and Road Research Laboratory (TRRL)*: The demand for public transport, report of the international collaborative study of the factors affecting public transport patronage, Crowthorne, U.K. 1980.
- Varian*, Hal R.: Mikroökonomie, München, Wien 1985.
- Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)*: Das Fachwort im Verkehr, Düsseldorf 1992.

## Summary

### Individual Welfare effects of an ecological tax reform in the transport sector

*The partials analysis of the transport market guided by the Two-Good-Model has shown that welfare neutrality and tax-effectiveness of an ecological tax reform are hardly feasible. Reasons are that the household preferences for transport goods are not sufficient revealed in the traditional model of consumer demand. The introduction of travel time in the demand model allows to record the none-monetary preferences of transport demand better.*

*The direct monetary compensation models are confronted with the concept of the indirect utility compensation. Within the framework of an ecological tax reform this idea has the advantage of changing the relative transport market prices and the relative quality (e.g. travel time). This makes it possible to finance the investments for a sustainable modal-split change.*

*With the enlarged Pollak-Index a welfare measure is found to record the individual welfare effects of various compensating models in consideration of travel time in the context of an ecological tax reform.*