

## Die Modellierung innerstädtischer Staus und die Wirkungsweise ausgewählter wirtschaftspolitischer Maßnahmen – eine spieltheoretische Analyse

VON TORSTEN MARNER, MÜNSTER

### 1. Problemstellung und Gang der Untersuchung

Staus gelten gemeinhin als eines der zentralen Probleme innerstädtischen Verkehrs. Durch eine ineffiziente Nutzung des knappen Gutes Straßenraum kommt es zu einer systematischen Übersteigerung der Kapazität des Straßenraumes durch die Verkehrsmenge, so dass es zu Überlastungserscheinungen mit den bekannten Folgen wie Zeitverlusten für die Verkehrsteilnehmer und Umweltbeeinträchtigungen kommt und dadurch bedeutende Wohlfahrtsverluste für die Gesamtwirtschaft erzeugt werden. Kapitel 2 geht diesbezüglich auf die Relevanz innerstädtischer Staus ein. Staus sind als Folge des Verhaltens von Verkehrsteilnehmern modellierbar, die bei beschränkter innerstädtischer Straßenraumkapazität vor der Entscheidung stehen, etwa von einem Punkt A außerhalb der Innenstadt zu einem innerstädtischen Punkt B zu gelangen. Mögliche Alternativen seien dabei zum einen die Nutzung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) und zum anderen als relevantestes Beispiel alternativer Nutzung der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV).

Unter der neoklassischen Annahme individuell rationalen Verhaltens der Verkehrsteilnehmer ist innerstädtischer Verkehr als stabiler gleichgewichtiger Stauzustand darstellbar. Problematisch ist dies, da die Akteure aus individueller Sicht trotz drohenden Staus keinen Anreiz zu einer Verhaltensänderung haben. Dies begründet dann eine unerwünschte Dilemmasituation, wenn kooperatives Verhalten der Verkehrsteilnehmer – wie der Verzicht auf die Nutzung des Autos – zu einem besseren Ergebnis führen würde als individuell rationales Verhalten. Kapitel 3 modelliert diese innerstädtische Problematik mithilfe eines einfachen spieltheoretischen Ansatzes, bei dem gezeigt wird, warum unter den betrachteten Rahmenbedingungen Stau in Innenstädten entsteht und zudem als gleichgewichtiger Zustand zu verstehen ist, bevor Kapitel 4 aufzeigt, dass dieses Gleichgewicht die Existenz eines n-Personen-Gefangenendilemmas impliziert.

Eine Dilemmasituation dient als Rechtfertigung eines externen Eingriffs, wenn dieser – bei vertretbaren Kosten der Realisierung – die Auszahlungsstrukturen der Akteure so verän-

---

*Anschrift des Verfassers:*  
Diplom-Volksw. Torsten Marner  
Universität Münster  
Institut für Verkehrswissenschaft  
Am Stadtgraben 9  
48143 Münster  
e-mail: 10toma@wiwi.uni-muenster.de

dern kann, dass es nach dem Eingriff für die Verkehrsteilnehmer individuell rational wäre, sich eher kooperativ zu verhalten und auf dem Weg in die Innenstadt auf das Auto zu verzichten, um Verkehrsmenge und Staukosten zu mindern. Kapitel 5 zeigt daher exemplarisch die Wirkungsweise dreier aktuell diskutierter Maßnahmen auf das Nutzerverhalten als Beispiele möglicher externer Eingriffe: Kapazitätserweiterungen, eine Einführung von Straßenbenutzungsgebühren und eine Erhöhung der Attraktivität des ÖPNV in Form von etwa der Steigerung der Kapazität oder der Einführung von Busspuren systemen. Kapitel 6 schließt mit einem Fazit.

## 2. Relevanz innerstädtischer Staus

Staus entstehen, wenn als Folge eines Übersteigens der Kapazität des Straßenraums durch das Verkehrsaufkommen der tatsächliche Verkehrsfluss auf einer Strecke niedriger ist als die mögliche Geschwindigkeit. Dies führt zu längeren Reisezeiten der Verkehrsteilnehmer und somit zu Zeitverlusten für die betroffenen Akteure, welche diese im Stau verlorene Zeit nicht einer produktiveren Verwendung zukommen lassen können. Folglich entstehen Opportunitätskosten der Zeit, die als zentraler Bestandteil von Staukosten zu verstehen sind und bedeutende Wohlfahrtsverluste erzeugen. Staukosten lassen sich differenzieren in zusätzliche, staubedingte Zeitkosten, die durch zusätzliche Reisezeiten entstehen, zusätzliche Treibstoffkosten und zusätzliche Betriebskosten. Die höchste Relevanz entfällt hierbei auf die Zeitkosten, denen etwa 90% der Staukosten zuzurechnen sind, und auf die sich die weiteren Ausführungen konzentrieren.<sup>1</sup>

Um die Opportunitätskosten der Zeit zu ermitteln, bedarf es einer monetarisierten Bewertung der aufgrund der verlorenen Zeit entstehenden Produktivitätsverluste. Die Zeitverluste werden auf Basis so genannter speed-flow-Modelle berechnet, während die Produktivitätsverluste aus den durchschnittlichen Arbeitsstundenwerten abgeleitet werden.<sup>2</sup> Die Transformation in Staukosten erfolgt in der wissenschaftlichen Literatur durch Anwendung verschiedener Methoden, die stark unterschiedliche Schätzungen implizieren. Während etwa INFRAS/IWW (2004) in Abhängigkeit der Bewertungsmethode von jährlichen Staukosten in Deutschland in Höhe von 16,35 Mrd. € (bei Berücksichtigung der staubedingten Wohlfahrtsverluste durch eine ineffiziente Nutzung der Straßen im Vergleich zu einer optimalen Verkehrssituation), 65,38 Mrd. € (bei Berücksichtigung der Zeitverluste) oder gar 193,46 Mrd. € (bei Berücksichtigung der Gebührensumme, die erhoben werden müsste, um eine vollständige Internalisierung der Staukosten zu erreichen) ausgeht,<sup>3</sup> belaufen sich alternati-

---

<sup>1</sup> Vgl. Link et al. (1999), S. 9 ff.

<sup>2</sup> Hier wird in der Literatur gerne der Begriff des „value of time“ benutzt. Dieser ist der als in monetären Einheiten ausgedrückte Wert der Fahrzeit zu verstehen, der sich an angenommenen durchschnittlichen Arbeitsproduktivitäten und am durch Verkehrsdichte und Geschwindigkeit determinierten Verkehrsfluss orientiert. Vgl. dazu beginnend mit Beesley (1965), Oort (1969), Vickrey (1969) oder aus der Fülle moderner Literatur Brownstone/Small (2005) und Calfee/Winston (1998).

<sup>3</sup> Vgl. INFRAS/IWW (2004), S. 119 ff., 153.

ve Schätzungen etwa im Rahmen des UNITE-Projekts auf Staukosten in Deutschland (für das Jahr 1998) in Höhe von lediglich 17,4 Mrd. €<sup>4</sup> oder im Rahmen der „BMW-Studie“ auf ca. 100 Mrd. €.<sup>5</sup> Die Schätzungen aus letzterer Studie sind allerdings aufgrund des recht hoch gewählten „values of time“ der Akteure umstritten. Trotz der unterschiedlichen Schätzhöhen ist allen Schätzungen eine signifikante ökonomische Bedeutung der Staukosten gemein.<sup>6</sup>

Die Relevanz gerade der innerstädtischen Staus, der nicht zuletzt auf einen höheren Grad der Betroffenheit zurückzuführen ist, zeigt sich nicht nur am bedeutenden Anteil innerstädtischer Staukosten. Basierend auf INFRAS/IWW (2004) beträgt dieser Anteil in Abhängigkeit der gewählten Methodik zwischen 26% und 32% der gesamten Staukosten.<sup>7</sup> Darüber hinaus offenbart ein Vergleich von Schätzungen externer Staugrenzkosten (MCC)<sup>8</sup> von innerstädtischem und überörtlichem Verkehr die hohe Bedeutung innerstädtischer Staus. Sansom et al. (2001) zeigen in einer Untersuchung externer Grenzkosten des britischen Verkehrs signifikant höhere MCC im innerstädtischen Bereich auf. So betragen diese – allerdings zeitlich noch vor der mit Einführung der London City Congestion Charge eintretenden signifikanten Verkehrsberuhigung<sup>9</sup> – etwa im hoch staubelasteten Central London während der Hauptverkehrszeit ca. 86 pence pro Fahrzeugkilometer (p./Fzkm.) und außerhalb der Hauptverkehrszeit ca. 47 p./Fzkm. Außerhalb des inneren Londoner Zentrums sinken diese Kosten auf ca. 23 p./Fzkm. (im peak) bzw. ca. 12 p./Fzkm. (im off-peak), während die außerörtlichen externen Staugrenzkosten auf den Hauptstraßen bei ca. 9 p./Fzkm und auf sonstigen überörtlichen Straßen auf lediglich ca. 2 p./Fzkm. geschätzt werden.<sup>10</sup> Diese Studie bestätigt tendenziell die Ergebnisse von Newbery (1990), der die MCC auf britischen Autobahnen auf 0,39 p./Fzkm, auf außerörtlichen Hauptverbindungen auf 0,29 p./Fzkm. und auf anderen außerörtlichen Verbindungen auf 0,07 p./Fzkm. schätzt, während die innerstädtischen MCC deutlich höher liegen. So werden für Central London MCC in Höhe von 55,12 p./Fzkm. (peak) bzw. 44,30 p./Fzkm geschätzt, während selbst in britischen Kleinstädten die MCC noch 10,45 p./Fzkm. (peak) bzw. 6,37 p./Fzkm. betragen.<sup>11</sup> Auch die europaweite Studie von INFRAS/IWW (2004) bestätigt die Relevanz gerade innerstädtischer Staukosten. Bezogen auf den Pkw-Verkehr werden hier für den Stauffall

<sup>4</sup> Vgl. Link (2002).

<sup>5</sup> Vgl. Frank/Sumpf (1997).

<sup>6</sup> Einen Überblick zu internationalen Staukostenschätzungen bieten Krause (2003), S. 46 ff. oder auch Kossak (2004), S. 536 ff.

<sup>7</sup> Eigene Berechnungen nach INFRAS/IWW (2004), S. 153.

<sup>8</sup> Zu der gerade an dieser Stelle relevanten Diskussion über den Grad der Externalität von Staukosten vgl. INFRAS/IWW (2004), S. 119 ff.

<sup>9</sup> Vgl. zur London City Congestion Charge etwa Transport for London (2004, 2006), Santos, G./Bhakar, J. (2006), Prud'homme, R./Bocajero, J.P. (2005) sowie aus der deutschen Literatur Marner (2004), S. 87 ff. und Eichinger/Knorr (2004), S. 366 ff.

<sup>10</sup> Vgl. Sansom et al. (2001), S. 25 ff.

<sup>11</sup> Vgl. Newbery (1990).

innerstädtische MCC in Höhe von 3096 €/Fzkm. gegenüber lediglich 1951 €/Fzkm. auf Landstraßen ermittelt.<sup>12</sup>

### 3. Modellierung innerstädtischen Verkehrs

Diese – in ihrer Höhe wohlfahrtstheoretisch unerwünschten – innerstädtischen Staus sind als logische Folge individuell rationalen Verhaltens der Verkehrsteilnehmer zu verstehen. Ein derartiges Verhalten der Akteure bedeutet, dass diese, wenn sie zwischen verschiedenen Alternativen wählen können, stets die Alternative wählen, von der sie sich den höchsten Nutzen versprechen.<sup>13</sup>

Folgendes spieltheoretisches Modell zeigt auf, dass bei – wie gerade in großen Innenstädten üblichen – begrenzten Straßenkapazitäten unter bestimmten Voraussetzungen ein stabiles Gleichgewicht besteht, in dem die tatsächlich realisierte Verkehrsmenge die Kapazität der Straße übersteigt, in dem also ein Stauzustand besteht.<sup>14</sup> Um dies zu zeigen, wird – mit Hilfe von Abbildung 1 – die Entscheidung von Verkehrsteilnehmern analysiert, die zu einem bestimmten Zeitpunkt ausgehend von einem außerhalb der Innenstadt liegenden Startpunkt A auf einer bestimmten Strecke einen Ort B in der Innenstadt erreichen wollen. Vereinfachend sei angenommen, dass sie von A nach B entweder durch Nutzung des MIV oder alternativ durch Nutzung des ÖPNV (in Form öffentlicher Busse oder öffentlichen schienengebundenen Verkehrs wie Straßenbahnen oder U-Bahnen) gelangen können.<sup>15</sup>

Abbildung 1 zeigt den Nutzen eines bestimmten Verkehrsteilnehmers auf seinem Weg in die Innenstadt in seiner Rolle als entweder ÖPNV-Nutzer oder als Autofahrer bei gegebenen Verkehrsverteilungen.<sup>16</sup> Auf der Ordinate ist der Nutzen in der jeweiligen Rolle des Akteurs abgetragen. Auf der Abszisse ist der Anteil  $\alpha$  der zum betrachteten Zeitpunkt die definierte Route AB wählenden Verkehrsteilnehmer dargestellt, der den MIV nutzt, um die Innenstadt zu erreichen. Die Kurven sind somit als graphische Darstellung der Nutzen des jeweiligen Akteurs zu verstehen, die abhängig von a) der aus dem Anteil der Autonutzer  $\alpha$

---

<sup>12</sup> Vgl. INFRAS/IWW (2004), S. Für weitere Untersuchungen bezüglich externer Staugrenzkosten vgl. einen Überblick bei Schrage (2005), S. 31 ff. oder etwa Mayeres et al. (1996).

<sup>13</sup> Dies entspricht im Grunde der Definition eingeschränkt rationalen Verhaltens, welches den kognitiven Schranken menschlichen Verhaltens Rechnung trägt. Vgl. zu eingeschränkt rationalem Verhalten Simon (1957) oder aus der moderneren Literatur Selten (2001).

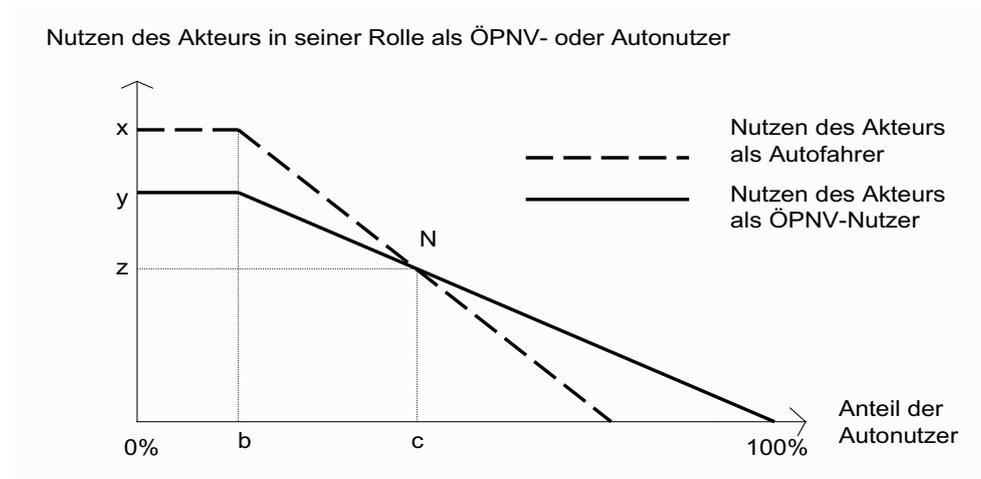
<sup>14</sup> Vgl. zur Spieltheorie binärer Entscheidungen im Straßenverkehr McCain (2003) oder detailliert zu dieser konkreten Problematik Marner (2004), S. 65 ff. Vgl. zur Anwendbarkeit der nicht-kooperativen Spieltheorie für den Transportsektor Hollander/Prashker (2006), die zudem einen Überblick über relevante spieltheoretische verkehrswissenschaftliche Untersuchungen bieten.

<sup>15</sup> Weitere denkbare Alternativen wie die Nutzung des Fahrrads oder der Fußverkehr seien ausgeschlossen, da sie a) als nicht relevant erscheinen und b) die Kernaussagen des Modells nicht beeinträchtigen würden.

<sup>16</sup> Das Modell setzt eine gegebene Verkehrsverteilung einer hinreichend großen Anzahl an Fahrzeugen voraus, da ansonsten – insbesondere wenn nur ein Fahrzeug auf der Strecke ist – ein hoher Anteil der Autonutzer einen Zustand unterhalb der Kapazitätsgrenze generieren würde. Diese Annahme ist allerdings unkritisch, da bei ihrer Verletzung ohnehin keine ökonomische Problematik bestehen würde.

abhängigen Verkehrsdichte und b) der eigenen Wahl des Verkehrsträgers (ÖPNV, MIV) sind. Die durchgezogene Kurve dokumentiert den Nutzen des ÖPNV-Akteurs. So wäre sein Nutzen  $y$ , wenn der Anteil an Autonutzern  $\alpha = b$  (oder z.B. auch 0) ist. Die gestrichelte Kurve zeigt hingegen den Nutzen des Verkehrsteilnehmers in seiner Rolle als Autonutzer. Würde er bei  $\alpha$  in Höhe von  $b$  (oder z.B. auch 0) das Auto nutzen, wäre sein Nutzen  $x$ .

**Abbildung 1: Gleichgewicht im Stau**



Quelle: Eigene Darstellung

Es besteht eine annähernd perfekte Korrelation zwischen  $\alpha$  und der Verkehrsdichte.<sup>17</sup> Je niedriger der Anteil der Autonutzer auf der Strecke ist, desto mehr Akteure nutzen den ÖPNV. Dies hat zur Folge, dass weniger Fahrzeuge benötigt werden, um die (fixe Anzahl der) Verkehrsteilnehmer zu transportieren. Dann wird aufgrund der höheren Kapazitäten von Bussen oder Bahnen eine bestimmte Anzahl an Autos durch einen Bus oder eine Bahn substituiert. So werden etwa durch einen Gelenkbus genauso viele Passagiere befördert wie durch 74 Pkw.<sup>18</sup> Zwar beträgt die so genannte „passenger car unit“ (PCU) eines Busses je nach Länge 2,5-3,<sup>19</sup> was bedeutet, dass ein Bus etwa den 2,5-3 fachen Straßenraum eines Pkw benötigt, doch würde der Gesamteffekt einer Substitution von Autos durch einen Bus eine 25-30 fache Straßenraumentlastung bewirken. Unabhängig von der genauen Größenordnung sinkt somit folglich die Verkehrsdichte deutlich, so dass  $\alpha$  auf der Abszisse durchaus als Verkehrsdichte interpretiert werden kann. Diesem Gedanken folgend, sei (im modellierten binären Entscheidungsproblem) die Strategie jedes Akteurs, den ÖPNV zu nutzen, um auf der betrachteten Strecke in die Innenstadt zu gelangen, im Folgenden auch als

<sup>17</sup> Vgl. Bauriedl/Winkler (2004), S. 29.

<sup>18</sup> Vgl. Verkehrsbetriebe STI (2006), S. 2.

<sup>19</sup> Vgl. zu den PCU factors Transport Research Laboratory (1996), S. 18.

kooperative Strategie K definiert, während die Wahl des MIV im Folgenden auch als defektierende, weil staufördernde Strategie D bezeichnet werden mag.

Punkt  $b$  ist in Abbildung 1 als Kapazitätsgrenze der betrachteten Straße zu verstehen. Bis zu einem  $\alpha \leq b$  reicht die Kapazität der Straße aus, um die Verkehrsmenge ohne Reisezeitverluste zu bewältigen. Falls  $\alpha > b$  ist, übersteigt die Nachfrage nach Nutzung des Straßenraums die Kapazitätsgrenze, so dass Stauungen auftreten. Den Akteuren entstehen ab  $\alpha > b$  somit Opportunitätskosten der Zeit. Die Graphen der Nutzenfunktionen für MIV und ÖPNV verlaufen bis  $\alpha \leq b$  parallel. Gleichwohl ist der Nutzen des MIV-Akteurs in diesem Bereich höher als der des ÖPNV-Nutzers. Grundlage dieser Annahme sind zwei Gruppen von Argumenten: a) kognitiv-rationale Argumente, die dem Abwägen wahrgenommener Kosten und Nutzen Rechnung tragen und b) emotionale Argumente, die Aspekte wie etwa Ansehen und Gefühl der Akteure Rechnung tragen.<sup>20</sup> Zu den kognitiv-rationalen Gründen eines höheren Nutzens des MIV im Nicht-Stau-Fall zählen höhere Flexibilität, Unabhängigkeit, Zuverlässigkeit, Erreichbarkeit, Geschwindigkeit, Komfort und Überlegenheit des Autos durch einfachere Möglichkeit der Nutzung als Transportmittel.<sup>21</sup> Zu den emotionalen Aspekten zählen Sensationslust, Machtgefühl, Überlegenheitsgefühl, Spaß am Autofahren, Freiheitsgefühl, Wahrung der Privatsphäre etc.,<sup>22</sup> die dem Auto tendenziell einen höheren Nutzen zuordnen.

Ab  $\alpha > b$  endet die Parallelität des Verlaufs der Graphen der Nutzenfunktionen. Ab diesem Punkt erzeugt der eintretende Stauzustand unterschiedliche Nutzenreaktionen. Zwar sinkt bei Stau sowohl der Nutzen des MIV- als auch des ÖPNV-Nutzers, doch fällt die Nutzenminderung im MIV-Bereich aus folgenden Gründen stärker aus als im ÖPNV-Fall: Erstens hat der Autofahrer keine Chance, dem Stau auf der Strecke so zu entkommen, wie es vielerorts den Bussen vorbehalten ist, indem diese den drohenden Zeitverlusten durch die Nutzung von staufreien Busspuren auszuweichen in der Lage sind. Zweitens besteht für den schienengebundenen Verkehr als einem Teil des ÖPNV-Verkehrs keine Stauproblematik durch ein wachsendes  $\alpha$ , was – selbst wenn der schienengebundene Anteil auch noch so klein wäre – doch tendenziell eine Abschwächung der Nutzenminderung bewirken würde. Drittens ist zu vermuten, dass im Staufall die stressbedingte Nutzenminderung höher ist, wenn der Verkehrsteilnehmer (wie im MIV) selber am Steuer sitzt. Diese Gründe determinieren einen bei steigendem  $\alpha$  steiler fallenden Verlauf des Graphen der Nutzenfunktion im MIV-Fall als im ÖPNV-Fall.<sup>23</sup>

Der unterschiedlich steile Verlauf der beiden Kurven begründet die Existenz eines Schnittpunktes N. Die Lage von N ist abhängig von der Kapazitätsgrenze  $b$  und der durch die

<sup>20</sup> Vgl. Steg et al. (2001), S. 151 ff.

<sup>21</sup> Vgl. etwa Hensher/Stopher (1979), Recker/Golob (1976), Steg (2003), S. 187 ff. oder Jakubowski et al. (1998), S. 8 ff.

<sup>22</sup> Vgl. etwa Lawton et al. (1997) oder Näätänen/Summala (1976).

<sup>23</sup> Vgl. Marner (2004), S. 67.

Präferenzen der Nutzer determinierten Verläufe der Nutzenkurven. Unter der Annahme individuell rationalen Verhaltens der Akteure entpuppt sich der Schnittpunkt N mit seinem  $\alpha = c$  als stabiles Nash-Gleichgewicht (in reinen Strategien).<sup>24</sup> Ein derartiges Nash-Gleichgewicht existiert genau dann, wenn kein Akteur einen Anreiz zu einer Strategieänderung hat, gegeben die anderen Akteure weichen ebenfalls nicht von ihrer (bestmöglichen) Strategie ab.<sup>25</sup> Wenn also N ein derart stabiles Gleichgewicht ist, hat ohne externen Eingriff in das System kein Verkehrsteilnehmer einen Anreiz, seine Strategie zu ändern, um ein anderes Verkehrsmittel zu nutzen, und somit ist der Anteil der MIV-Nutzer  $\alpha = c$ , der Anteil der ÖPNV-Nutzer  $\beta = 1 - c$  und der resultierende Nutzen eines jeden Akteurs z.

Unter den genannten – und durchaus realistischen – Voraussetzungen konvergiert die Verteilung ( $\alpha, \beta$ ) der Verkehrsteilnehmer auf der betrachteten Strecke AB, unabhängig von der Höhe des aktuell betrachteten  $\alpha$ , zum Gleichgewicht ( $c, 1 - c$ ). Dies ist wie folgt erklärbar: Angenommen das tatsächliche  $\alpha$  sei  $c$ , so dass der Schnittpunkt N realisiert sei. Hat ein Akteur an diesem Punkt einen Anreiz, seine gewählte Strategie zu ändern? Wenn beispielsweise ein Autofahrer den Wunsch verspürt, seine Strategie zu ändern, also das Auto gegen die Nutzung des ÖPNV zu substituieren, impliziert dies eine marginale Minderung  $\varepsilon$  (nämlich um genau den Anteil eines Autofahrers an den gesamten Verkehrsteilnehmern auf der betrachteten Strecke) von  $\alpha$ , so dass  $\alpha_{\text{neu}} = c - \varepsilon$  ist.<sup>26</sup> Somit gilt für den (nach dem „Umsteigen“) neuen ÖPNV-Nutzer an der Stelle  $\alpha_{\text{neu}} = c - \varepsilon$  nunmehr der durchgezogene Graph der Nutzenfunktion, der bei  $\alpha_{\text{neu}} = c - \varepsilon$  allerdings unterhalb des gestrichelten Graphen liegt, so dass bei  $\alpha_{\text{neu}} = c - \varepsilon$  der Nutzen eines jeden Akteurs höher wäre, wenn er den MIV nutzen würde. Folglich hätte er an dieser Stelle wieder einen Anreiz, zurück auf den MIV „umzusteigen“ und somit von  $\alpha_{\text{neu}} = c - \varepsilon$  zu  $\alpha = c$ , dem Ausgangspunkt N also, zurückzukehren. Folglich besteht für einen Autofahrer am Punkt  $\alpha = c$  kein Anreiz zu einer Strategieänderung.

Analog hat auch ein ÖPNV-Nutzer keinen Anreiz, am Gleichgewichtspunkt N seine Strategie zu ändern. Würde er das Verkehrsmittel wechseln, bedeutete dies eine Verschiebung von  $\alpha = c$  hin zu  $\alpha_{\text{neu}} = c + \varepsilon$ . Hier wäre allerdings der Nutzen für den ÖPNV-Fall höher als für den Fall der MIV-Nutzung, so dass bei  $\alpha = c$  auch für den ÖPNV-Akteur keinerlei Anreiz für eine Strategieänderung besteht. Gegeben die beste Strategie der anderen Akteure besteht kein Anreiz, von N abzuweichen, so dass die Verteilung ( $c, 1 - c$ ) zweifelsohne ein Nash-Gleichgewicht (in reinen Strategien) darstellt. ( $c, 1 - c$ ) ist nicht nur ein stabiles Nash-Gleichgewicht, sondern zudem das einzige Gleichgewicht in diesem Spiel, denn alle ande-

<sup>24</sup> Vgl. zu Gleichgewichten in n-Personenspielen bei sich schneidenden Graphen der Nutzenfunktionen Schelling (1978), S. 226 ff.

<sup>25</sup> Vgl. Rasmusen (1994), S. 23. Vgl. Binmore (1992), S. 47, nach dem ein Nash-Gleichgewicht dann vorliegt, wenn die Akteure bei der Wahl ihrer Strategie wechselseitig die beste Antwort auf die Strategie der anderen Akteure spielen.

<sup>26</sup>  $\varepsilon$  sei als jede beliebige, noch so kleine Zahl und damit in diesem Zusammenhang als marginale Veränderung definiert. Somit sei durch  $c - \varepsilon$  der Anteil gemeint, an dem die Zahl der Autonutzer, die zum Anteil der Autonutzer  $c$  geführt hat, gegenüber  $c$  um nur einen Autonutzer verringert sei.

ren denkbaren Verteilungen konvergieren zu  $(c, 1 - c)$  hin. So erzeugen alle Verteilungen etwa links von  $\alpha = c$ , z.B.  $\alpha_{\text{neu}} = c - 2\varepsilon$ ,  $\alpha_{\text{neu}} = c - 3\varepsilon$  u.s.w. erst recht Anreize für die Verkehrsteilnehmer, sich durch Umsteigen auf den MIV in Richtung  $\alpha = c$  zu bewegen. Genauso generieren alle Verteilungen rechts von  $\alpha = c$ , also etwa  $\alpha_{\text{neu}} = c + 2\varepsilon$ ,  $\alpha_{\text{neu}} = c + 3\varepsilon$  u.s.w. Anreize zum Umstieg von MIV auf ÖPNV bis hin zum Erreichen des Nash-Gleichgewichts  $(c, 1 - c)$ . Da dies ein eindeutiges Nash-Gleichgewicht ist, ist nicht nur gewährleistet, dass diese Verteilung Bestand hat, wenn sie einmal erreicht ist, sondern zudem, dass bei einem angenommenen entsprechenden Mindestvolumen an Fahrzeugen auf der definierten Strecke diese Verteilung auf MIV und ÖPNV auch stets erreicht wird. Aus der gleichgewichtigen Verteilung  $(c, 1 - c)$  folgt dann für alle Verkehrsteilnehmer sofort ein Nutzen in Höhe von  $z$ .

#### 4. Innerstädtische Staus als (n-Personen-) Gefangenendilemma

Aus der Stabilität des Nash-Gleichgewichts folgt, dass der resultierende Nutzen eines jeden Akteurs in Höhe von  $z$  unterhalb des Nutzens in Höhe von  $y$  liegt. Somit bewirkt das individuell rationale Verhalten der Verkehrsteilnehmer, welches – gemäß der unterschiedlichen Präferenzen der Akteure – zumindest einen Teil  $\alpha = c$  dazu bewegt, die defektierende Strategie MIV zu wählen, ein für alle Akteure insofern unerwünschtes Ergebnis, dass a) der Anteil der MIV-Nutzer  $\alpha = c$  oberhalb von  $b$  liegt und somit einen Stauzustand erzeugt, der den Akteuren längere Reisezeiten und somit höhere Reisekosten auferlegt und b) die aus dieser Verteilung  $(c, 1 - c)$  resultierende Auszahlung  $z$  unterhalb der durch kollektiv kooperatives Verhalten erzielbaren Auszahlung  $y$  liegt.  $y$  ist hier zu verstehen als die Auszahlung im Falle kooperativer Rationalität der Akteure. Der Fall unterschiedlicher Auszahlungen bei individuell und kollektiv rationalem Verhalten deutet auf die Existenz eines Gefangenendilemmas hin.<sup>27</sup> Ein Gefangenendilemma liegt – zunächst vereinfacht für den Fall zweier Akteure und zweier möglicher Strategien – formal dann vor, wenn bei der  $2 \times 2$ -Auszahlungsmatrix aus Abbildung 2 die Auszahlungen folgenden Bedingungen folgen:

- (1)  $2R > T + S > 2P$  sowie
- (2)  $T > R$  und  $P > S$ .<sup>28</sup>

Unter den Bedingungen  $T > R$  und  $P > S$  liefert die Strategie D für beide Akteure eine dominante Strategie, da die Auszahlung für jeden individuell rationalen Akteur unabhängig von der Entscheidung des anderen Akteurs höher ist, wenn er D wählt. Daraus folgt die Realisierung der Auszahlung  $(P, P)$ , die für jeden Akteur im Falle von  $2R > T + S > 2P$

<sup>27</sup> Vgl. dazu auch Berg et al. (2003), S. 177 ff., die davon ausgehen, dass in einem Gefangenendilemma einzelwirtschaftlich rationales Verhalten zu individuellen und kollektiven Schädigungen führt. Vgl. zum Gefangenendilemma auch Axelrod (2000).

<sup>28</sup> Die erste formale Formulierung des 2-Personen-Gefangenendilemmas erfolgte durch Tucker. Vgl. dazu Tucker (1983), S. 288 ff. Vgl. auch Hamburger (1973).

eine schlechtere Lösung darstellt als die Auszahlung (R, R), die Resultat einer kollektiv kooperativen Strategie gewesen wäre.<sup>29</sup>

**Abbildung 2: Allgemeines Gefangenendilemma (vereinfachte Darstellung für zwei Akteure mit jeweils zwei Strategien)**

Spieler 1	Spieler 2	kooperative Strategie (K)	Defektierende Strategie (D)
kooperative Strategie (K)		R, R	S, T
defektierende Strategie (D)		T, S	P, P

Quelle: Eigene Darstellung nach Rasmusen (1994), S. 30.

Verbalisiert ist die Erfüllung folgender beider Bedingungen als Indiz für die Existenz eines Gefangenendilemmas zu interpretieren:

- a) Jeder Akteur erhält – unabhängig von den Entscheidungen des anderen Akteurs – eine höhere Auszahlung, wenn er defektiert statt zu kooperieren, so dass „Defektieren“ eine dominante Strategie für ihn darstellt und
- b) beide Individuen haben im Falle kollektiver Kooperation eine höhere Auszahlung als im Falle kollektiver Defektion.<sup>30</sup>

Der – im Grunde einzige – Unterschied der vereinfachten 2x2-Betrachtung zum im innerstädtischen Stau relevanten n-Personenfall besteht darin, dass bei Betrachtung von mehr als zwei Akteuren zahlreiche „Zwischenlösungen“ relevant werden können. So werden bei Übertragung auf den n-Personenfall nicht mehr lediglich vier mögliche Strategien [(K, K), (K, D), (D, K), (D, D)] betrachtet, sondern aufgrund der n Akteure nahezu unzählbar viele, nämlich  $2^n$  Strategien. Die Auszahlungen der Akteure sind im n-Personenfall in hohem Maße von der Anzahl der Akteure abhängig, welche Strategie D oder eben K wählen.<sup>31</sup> Dies erfordert (lediglich) die Ausweitung der Definition eines Gefangenendilemmas wie folgt:<sup>32</sup>

<sup>29</sup> Vgl. Van Vugt et al. (1995), die den zu analysierenden Fall der Wahl von Verkehrsteilnehmern zwischen öffentlichem Verkehr und Auto als 2-Personen-Fall darstellen und als dominante Strategie die individuell rationale Wahl der Nutzung des Autos ermitteln. Auch in diesem Fall liegt gemäß Abbildung 2 ein Gefangenendilemma vor.

<sup>30</sup> Vgl. dazu konkret Dawes (1980), S. 169 ff. Vgl. Joshi et al. (2005), die in einer experimentellen Untersuchung eher ein Versicherungsspiel identifizieren, in dem verschiedene Risikoneigungen die Ergebnisse beeinflussen.

<sup>31</sup> Wenn bei zwei Akteuren beide D wählen, also die Wahl des MIV bevorzugen, entsteht – übertragen auf das innerstädtische Beispiel – Stau (Auszahlung (P, P)), wenn beide K wählen, also durch Wahl des ÖPNV kooperieren, haben beide freie Fahrt (Auszahlung (R, R)), während die Hybridfälle – einer wählt D, der andere K – in der Auszahlungsmatrix durch (T, S) bzw. (S, T) unmissverständlich definiert werden.

<sup>32</sup> Vgl. zu den folgenden Ausführungen zum n-Personen-Gefangenendilemma Schelling (1978), S. 211 ff.

- (1) Es interagieren  $n$  Akteure mit binärer Strategiewahl (Wahl der defektierenden Strategie D, also Nutzung des MIV oder Wahl der kollektiven Strategie K, also Nutzung des ÖPNV) und einheitlichen Auszahlungen.
- (2) Jeder Akteur hat eine – von der Strategie der anderen Akteure unabhängige bevorzugte Strategie D.<sup>33</sup>
- (3) Unabhängig von der eigenen Wahl ist der Nutzen eines jeden Akteurs je höher, desto mehr andere Akteure die kooperative Strategie K wählen.
- (4) Es existiert ein kritischer Parameter  $g > 1$ , so dass, wenn zumindest  $g$  Akteure die kooperative Strategie K (ÖPNV) und die anderen Akteure die defektierende Strategie D (MIV) wählen, die Akteure, die K wählen, besser gestellt sind, als wenn alle Akteure Strategie D wählen würden. Dies gilt nicht für den Fall, dass die Anzahl der Akteure mit Strategiewahl  $K < g$  ist.<sup>34</sup>

Diese Definition trifft genau auf den Fall innerstädtischen Staus mit seinen  $n$  Akteuren, den sich schneidenden Nutzenkurven der MIV- bzw. ÖPNV-Akteure und dem resultierenden Nash-Gleichgewicht zu. Es liegt ein  $n$ -Personen-Gefangenendilemma vor.<sup>35</sup>

## 5. Wirkungsweise ausgewählter wirtschaftspolitischer Maßnahmen

Die Stabilität des betrachteten Gleichgewichts impliziert, dass die Akteure aufgrund der fehlenden Anreize, die kooperative Strategie zu wählen, nicht in der Lage sind, sich aus dem Dilemma zu befreien. Ergo ist ein externer Eingriff in Form einer wirtschaftspolitischen Maßnahme vonnöten, um das Dilemma zu mindern bzw. zu zerbrechen. Eine Minderung des Dilemmas ist dann erreicht, wenn eine Annäherung des Gleichgewichts in Richtung Kapazitätsgrenze der Straße erfolgt, also im Grunde durch Reduzierung des Staus und somit der Staukosten. Dies hätte dadurch eine erwünschte wohlfahrtssteigernde Wirkung, sei es durch Reduzierung der Fahrzeuge auf der betrachteten Strecke oder etwa durch Ausbau der Kapazität. Grundsätzlich sind drei Gruppen von Maßnahmen denkbar, die ein Aufbrechen des Dilemmas ermöglichen könnten, indem sie die Auszahlungsstrukturen des Gefangenendilemmas zu modifizieren in der Lage sind.

<sup>33</sup> Die präferierte Strategie ist hier – wie zuvor im innerstädtischen Kontext detailliert erläutert – als die defektierende Strategie der Wahl des MIV zu verstehen, während die nicht-präferierte Strategie als die kooperative Strategie K – etwa übertragen auf die innerstädtische Stauproblematik die Wahl des ÖPNV – zu interpretieren ist.

<sup>34</sup> Die Bedeutung des kritischen Parameters  $g$  dokumentiert sich in seiner Rolle als Mindestgröße einer Koalition von Akteuren, die durch Abkehr von der Nutzung des MIV besser gestellt sind als im Falle kollektiver MIV-Wahl. Allerdings ist zu beachten, dass der Rest der Akteure, also diejenigen, die gleichwohl den MIV nutzen, noch besser gestellt sind, so dass unabhängig vom Anteil der Akteure, die den ÖPNV nutzen, jeder einzelne Verkehrsteilnehmer einen dominanten Anreiz hat, Auto zu fahren und es somit letztlich individuell rational ist, dass alle Akteure Auto fahren und somit den Weg in das Dilemma ebnen. Dies ist gerade relevant im Fall sich schneidender Nutzenkurven. Vgl. Schelling (1978).

<sup>35</sup> Vgl. Schelling (1978), S. 211 ff., vgl. Ziegler (2005), S. 106, der den morgendlichen Berufsverkehr als „typisches Nash-Gleichgewicht“ charakterisiert.

- a) ein Kapazitätsausbau der Straßeninfrastruktur
- b) eine Senkung der Anreize, den MIV zu nutzen
- c) eine Setzung von Anreizen, Alternativen zum MIV (wie den ÖPNV) zu nutzen.

Im Folgenden soll die Wirkungsweise dreier wirtschaftspolitischer Maßnahmen als relevante und zudem aktuell diskutierte Beispiele aus den oben angeführten drei Gruppen von Maßnahmen im Modellkontext erläutert werden, erstens ein Kapazitätsausbau durch etwa einen Aus- oder Neubau von Straßenraum, zweitens eine Einführung von Straßenbenutzungsgebühren<sup>36</sup> und drittens eine Steigerung der Attraktivität des ÖPNV durch Berücksichtigung von Busspuren und/oder dem Einsatz von schienengebundenem Verkehr oder beispielsweise eine substantielle Steigerung der Buskapazitäten.<sup>37</sup>

### 5.1 Kapazitätserweiterungen

Ein Kapazitätsausbau bewirkt grundsätzlich eine Angebotsausweitung des Straßenraums und somit tendenziell eine Minderung der Staugefahr durch das Verschieben der Kapazitätsgrenze  $b$  in Abbildung 1 nach rechts.<sup>38</sup> Zu beachten sind dabei allerdings folgende relevanten Aspekte:

- Es bestehen gerade innerörtlich erhebliche städtebauliche, politische und räumliche Restriktionen, die einen angebotswirksamen Kapazitätsausbau unmöglich bzw. prohibitiv teuer und somit nur schwer realisierbar werden lassen.
- Zu berücksichtigen sind – etwa im Rahmen von Nutzen-Kosten-Analysen – die erheblichen Investitionskosten von Kapazitätserweiterungen.
- Eine Erweiterung des angebotenen Straßenraums generiert induzierten Verkehr,<sup>39</sup> so dass – in Anlehnung an Downs (1962) und sein „fundamentales Staugesetz“ – ein Infrastrukturausbau zwingend zur Erhöhung des Verkehrsaufkommens führt. Nach Downs' Staugesetz führt die latente Nachfrage dazu, dass selbst ein in der Kapazität erhöhtes Straßennetz innerhalb kurzer Zeit erneut staubelastet ist.<sup>40</sup> Dies steht in Einklang mit den Implikationen des innerstädtischen Staumodells, wie Abbildung 3 zeigt.<sup>41</sup>

<sup>36</sup> Andere Möglichkeiten der Senkung der Anreize, das Auto zu nutzen, wären etwa eine Erhöhung der Mineralöl- oder Kfz-Steuer, Zufahrtsbeschränkungen zu/in den Innenstädten (autofreie Tage, autofreie Zonen, Nummernschildbeschränkungen etc.) oder eine Parkraumbewirtschaftung (Parkraumverknappung, Bepreisung von Parkraum etc.).

<sup>37</sup> Weitere Möglichkeiten der Steigerung von Anreizen, Alternativen zum MIV zu nutzen, wären etwa eine Förderung von Park & Ride oder Kiss & Ride, Car Sharing, eine Verbesserung des Fahrradwegesystems oder die Förderung von Job Tickets oder Studententickets etc.

<sup>38</sup> Vgl. Small et al. (1989), S. 9 f.

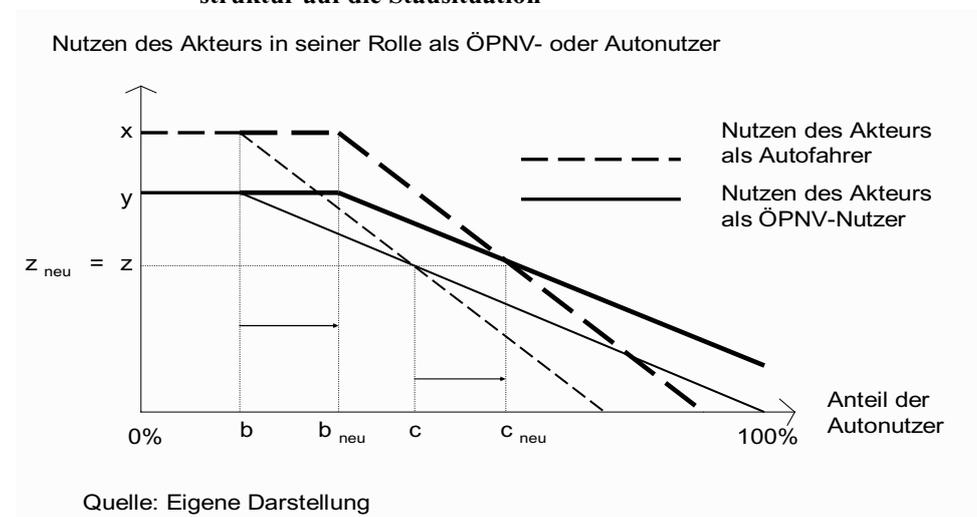
<sup>39</sup> Vgl. zur Wirkung des induzierten Verkehrs etwa DeCorla-Souza/Cohen (1998), die die Effekte induzierten Verkehrs bei der Ausweitung von Straßenkapazitäten bei unterschiedlichen Stauniveaus und Nachfrageelastizitäten schätzen oder Marte (2005), S. 491 ff.

<sup>40</sup> Vgl. Downs (1962), Heng (2000), S. 56 ff.

<sup>41</sup> Vgl. Marner (2004), S. 70 f.

- Das so genannte Braess-Paradoxon unterstützt diese Argumentation ebenso. Das Paradoxon zeigt, dass eine Verkehrssteuerung über einen Kapazitätsausbau die mittlere Reisezeit aller Akteure aufgrund ihres individuell rationalen, auf Minimierung der Reisezeit angelegten Verkehrsverhaltens durchaus erhöhen kann. Es wird anhand eines einfachen Modells die Ungültigkeit der allgemeinen Aussage gezeigt, dass zusätzlicher Straßenraum die Reisezeiten im Gesamtnetz verkürzt.<sup>42</sup>

**Abbildung 3: (Nicht-) Wirkungen eines Kapazitätsausbaus von Straßeninfrastruktur auf die Stausituation**



Der Kapazitätsausbau als Angebotsvergrößerung bewirkt eine Verschiebung der Kapazitätsgrenze von  $b$  auf  $b_{\text{neu}}$ . Ceteris paribus verschieben sich als Folge dessen die – nach wie vor wie in Abbildung 1 (hier in Abbildung 3 dünn gezeichnet) geneigten – Nutzenkurven parallel nach rechts, so dass jetzt in Abbildung 3 die fett gezeichneten Nutzenkurven Gültigkeit besitzen.<sup>43</sup> Es ergibt sich ein neues stabiles Nash-Gleichgewicht (in reinen Strategien) bei  $(c_{\text{neu}}, 1-c_{\text{neu}})$ , welches gleich weit von  $b_{\text{neu}}$  entfernt ist wie  $c$  von  $b$  entfernt war, so dass der Stauzustand unverändert bleibt. Aus dem neuen Gleichgewicht folgt  $z_{\text{neu}} = z$ , so dass der Kapazitätsausbau keinen Einfluss auf den Nutzen aller beteiligten Akteure hat. Der induzierte Verkehr, der durch  $(c_{\text{neu}}-c)$  darstellbar ist, folgt laut vorgestelltem Modell der Prognose Downs (1962)<sup>44</sup> und kompensiert den Kapazitätsausbau, der aus Stauge-

<sup>42</sup> Vgl. Braess (1968), S. 258-268, Ziegler (2005), S. 106 f.

<sup>43</sup> Verwirft man die Annahme „ceteris paribus“ und lässt kapazitätsbedingt veränderte Neigungen der Nutzenkurven zu, unterstellt man dadurch eine doch leicht Stau mindernde Wirkung, welche die Nutzenkurve der MIV-Nutzer in stärkerem Maße abflachen lassen würde als die der ÖPNV-Nutzer, was tendenziell sogar eine Nutzenminderung in Form eines höheren  $\alpha$  und einer niedrigeren Auszahlung zur Folge hätte. Dies würde einem überproportional starken induzierten Verkehr entsprechen.

<sup>44</sup> Vgl. Downs (1962).

sichtspunkten wirkungslos bleibt.<sup>45</sup>

## 5.2. Erhebung von Straßenbenutzungsgebühren

Die Erhebung von Straßenbenutzungsgebühren gilt in der ökonomischen Literatur als effizientes Instrument zur Minderung der staubedingten Wohlfahrtsverluste.<sup>46</sup> Wenngleich weitgehend Einigkeit darüber herrscht, dass First Best-Lösungen nicht praktikierbar sind, werden doch zahlreiche Second Best-Lösungen vorgeschlagen, die den First Bests aus Effizienz Gesichtspunkten zwar unterlegen sind,<sup>47</sup> die aber aufgrund ihrer Praktikabilität und ihrer zum Teil vergleichsweise geringen Systemkosten auch – selbst allen politökonomischen Hindernissen zum Trotz – durchführbar erscheinen. So zeigen vor allem in jüngster Zeit die erfolgreiche Implementierung der London City Congestion Charge mit einer erreichten Verkehrsmengenminderung in Höhe von 26%<sup>48</sup> und die zumindest aus Stauge-sichtspunkten offensichtlich erfolgreich abgeschlossene Testphase der Stockholm „Trängselskatten“, dass ein Road Pricing aus Lenkungssicht erfolgreich sein kann.<sup>49</sup> Auch sind die Erfahrungen des urbanen Vorreiters des Road Pricing Singapur mit seinem „Electronic Road Pricing ERP“ vorwiegend positiv zu bewerten.<sup>50</sup> So ist es nicht verwunderlich, dass bereits zahlreiche weitere Großstädte wie Paris, Brüssel, Oslo, Mailand oder Helsinki derzeit die Einführung oder Ausweitung eines urbanen Road Pricing planen oder – wie in Bologna – bereits eingeführt haben.<sup>51</sup> Geeignete Überblicke über die Theorie des urbanen Road Pricing, auf deren Details in diesem Rahmen nicht näher eingegangen wird, bieten etwa May/Nash (1996), Arnott (2001), Verhoef (2004) oder in sehr analytischer Form Yang/Huang (2005).

Die Wirkungsweise der Einführung von Straßenbenutzungsgebühren entspricht grundsätzlich dem Pigou'schen Grundgedanken der Internalisierung externer Effekte mittels einer optimalen Gebühr. Laut ökonomischer Theorie bedarf es beim Vorliegen externer Effekte –

<sup>45</sup> Zu bedenken ist allerdings, dass hier lediglich Staugesichtspunkte betrachtet werden. Investitionen in die Infrastruktur induzieren zweifelsohne davon absehende weitere positive Wohlfahrtseffekte. Vgl. dazu etwa Aschauer (1989), Baum/Behnke (1997), Baum/Kurte (1999), Hartwig/Armbrecht (2005), Gramlich (1994) oder Vickerman (2000).

<sup>46</sup> Vgl. Eisenkopf (2002).

<sup>47</sup> Vgl. Proost/van Dender (1999), S. 88, die aufzeigen, dass in geeigneter Weise eingesetzte Second Best-Lösungen dem First Best auf Effizienz-sicht nur knapp unterlegen sind.

<sup>48</sup> Vgl. Transport for London (2006), S. 3.

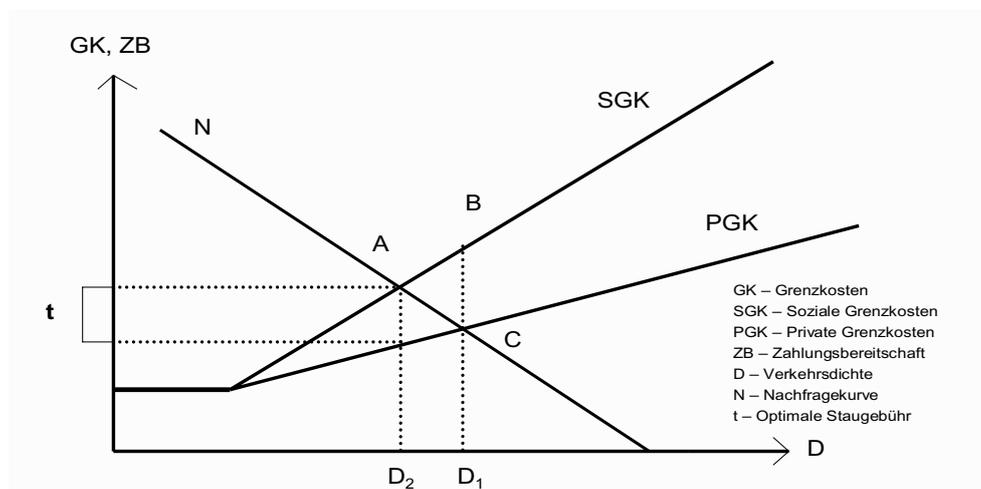
<sup>49</sup> Vgl. zu der Diskussion der Erfolge des Beispiels London City Congestion Charge Marner (2004), S. 87 ff., Eichinger/Knorr (2004) und Prud'homme/Bocajero (2005), S. 279 ff. Vgl. zum Beispiel Stockholm etwa Ar-melius/Hultkrantz (2005) oder Abboud/Clevstrom (2006).

<sup>50</sup> Vgl. zu den Erfahrungen in Singapur Olszewski/Xie (2005), S. 755 ff.

<sup>51</sup> Vgl. zu den verschiedenen Planungen und Forschungen die Ausführungen von de Palma/Lindsey/Niskanen (2006), de Palma/Lindsey/Proost (2006), Vold (2006), de Palma/Lindsey (2006), Proost/Sen (2006) oder be-züglich der im Mai 2006 implementierten City-Maut Bologna und der für Januar 2007 geplanten Einführung der City-Maut Mailand o.V. (2006a) und o.V. (2006b).

wie eben beim Auftreten von Staukosten<sup>52</sup> – der Internalisierung dieser Effekte, um drohende Wohlfahrtsverluste abzuwenden. Als – zumindest theoretisch überzeugendes – (allerdings lediglich statisches) Instrument dient die so genannte Pigou-Steuer, welche – bezogen auf das knappe Gut Straßenraum – die Nutzung dieses Gutes wie in Abbildung 4 verdeutlicht durch Implementierung einer optimalen Gebühr  $t$  in Höhe der Differenz aus sozialen und privaten Grenzkosten (also des externen Effekts) im sozialen Optimum bepreist und Anreize setzt, den Straßenraum effizient zu nutzen.<sup>53</sup>

**Abbildung 4: Internalisierung externer Effekte durch optimale Gebühr**



Quelle: Eigene Darstellung nach Walters (1968), S. 24.

Diese optimale Gebühr  $t$  als Mittel zur Internalisierung wohlfahrtsschädigender externer Effekte als First Best-Lösung ist jedoch leider kaum von praktischer Relevanz, da sie nur dann durch Verhinderung des Wohlfahrtsverlustes der Flächengröße ABC aus Abbildung 4 effizient ist, wenn a) der betrachtete „Markt für Straßenverkehr“ statisch wäre und b) die Verläufe der relevanten Kurven und damit auch die Größe des externen Effektes bekannt wären. Beides ist – wie in der Literatur oftmals angemerkt – leider unrealistisch.<sup>54</sup> Aufgrund der Nicht-Realisierbarkeit von First Best-Lösungen bedarf es daher – wie oben bereits angedeutet – geeigneter Second Best-Lösungen, die eine Minderung des staubedingten Wohlfahrtsverlustes bewirken können.<sup>55</sup> Das im Staumodell auftretende Gefangenendi-

<sup>52</sup> Vgl. zu dieser Diskussion Schrage (2005), S. 29 ff.

<sup>53</sup> Vgl. zu diesem Konzept neben Pigou (1920) bereits Dupuit (1844), Walters (1961) oder erstmals in einer angemessenen graphischen Darstellung Walters (1968). Vgl. dazu auch Baum (1971).

<sup>54</sup> Vgl. beispielsweise Lindsey/Verhoef (2000).

<sup>55</sup> Vgl. dazu u.a. Sumalee (2004), der etwa für Edinburgh mit Hilfe geeigneter Algorithmen optimale Cordons berechnet.

lemma könnte als Rechtfertigung eines Eingriffs dienen, welcher die Akteure extern aus dem Dilemma befreit, um so positive Wohlfahrtswirkungen zu erzeugen.

Im betrachteten Modellrahmen aus Abbildung 1 bewirkt eine Bepreisung des Straßenraums – unabhängig davon, ob durch eine optimale Gebühr  $t$  wie in Abbildung 4 oder durch alternative Second Best-Lösungen – Folgendes: Da die MIV-Akteure heterogen und mit unterschiedlichen Zahlungsbereitschaften ausgestattet sind, bedarf es hierzu einer differenzierten Betrachtung der Akteursgruppen.<sup>56</sup> Diejenigen, deren Zahlungsbereitschaft nach Einführung der Bepreisung höher ist als der Nutzungspreis, bleiben ihrer Strategie treu, fahren weiter MIV und sehen sich zwei Effekten gegenüber: Zunächst erleiden sie eine Nutzenminderung durch den erhöhten Nutzungspreis. Demgegenüber sind jedoch bei einer für den Bepreisungsfall zu erwartenden Stauminderung Nutzengewinne durch Zeitkostensparnisse zu berücksichtigen.

Ob der Nettoeffekt positiv oder negativ ist, ob also der Durchschnitt der betrachteten Akteursgruppe durch die Bepreisung besser oder schlechter gestellt ist, hängt vorwiegend von der Höhe der Gebühr und den jeweiligen Präferenzen der Akteure ab. Da das Ziel der Maßnahme die Stauminderung ist, muss gewährleistet sein, dass die Gebühr hoch genug ist, um den Durchschnitt dieser Akteursgruppe netto zu belasten, so dass der Anreiz der MIV-Nutzung durchschnittlich sinkt. Dies würde – wie Abbildung 5 zeigt – gegenüber der Darstellung der Ausgangssituation der Analyse aus Abbildung 1 eine Verschiebung der Nutzenkurve für den MIV-Nutzer nach unten implizieren.

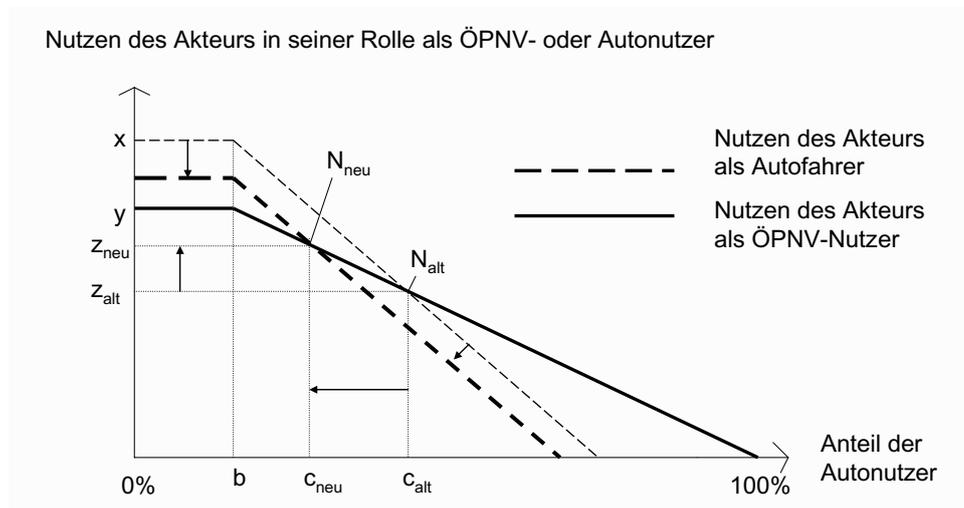
Diejenigen Akteure, deren Zahlungsbereitschaft allerdings nicht ausreicht, um den Nutzungspreis, der ja im Grunde die Summe aus individuellen herkömmlichen Kosten plus der Stauegebühr ist, zu decken, werden verdrängt. Verdrängung bewirkt dann entweder einen Strategiewechsel von  $D$  zu  $K$ , also ein Umsteigen auf „kooperativen“ ÖPNV oder eben das Unterlassen der Fahrt in die Innenstadt und somit das Ausscheiden aus dem Modell. Beides ist – bei ausschließlicher Betrachtung der Stauproblematik – zu begrüßen, da beides den Anteil  $\alpha$  mindert und den gleichgewichtigen Punkt aus Abbildung 1 nach links in Richtung eines staufreien Zustandes verschiebt. Eine wie bereits oben implizit geforderte hinreichend hohe Gebühr führt zu einer tendenziell starken „Verdrängung“ der MIV-Akteure hin zum ÖPNV, erzwingt also ein wohlfahrtssteigerndes kooperatives Verhalten. Dies ist im Grunde gleichbedeutend mit der in Abbildung 4 erkenntlichen Wirkungsweise der Pigou-Steuer, die den Autofahrer als Verursacher des externen Effekts „Stau“ zur Internalisierung dieses externen Effektes zwingt. Die Autofahrer, deren Zahlungsbereitschaft nicht ausreicht, um  $t$  zu zahlen, werden verdrängt, die Verkehrsdichte sinkt von  $D_1$  in Richtung  $D_2$  und der ex ante

<sup>56</sup> Vgl. Lehmann (1996), der bei einer politökonomischen Untersuchung einer Bepreisungsmaßnahme die beteiligten Verkehrsteilnehmer in fünf verschiedene Gruppen differenziert und analysiert, welche dieser Gruppen Netto-Gewinner und welche Netto-Verlierer einer derartigen Maßnahme sind.

bestehende Wohlfahrtsverlust ABC wird gemindert. Folglich ist das Erzwingen kooperativen Verhaltens nicht anderes als eine Möglichkeit zur Internalisierung externer Effekte.<sup>57</sup>

Abbildung 5 zeigt nun die Veränderung des Gleichgewichts aus dem Status quo der Abbildung 1 bei Einführung einer hinreichend hohen Gebühr, die dann netto zu einer durchschnittlichen Belastung der MIV-Akteure führt.

**Abbildung 5: Nutzen der MIV- bzw. ÖPNV-Akteure nach isolierter Implementierung einer hinreichend hohen Gebühr für die Nutzung des betrachteten Straßenraums**



Quelle: Eigene Darstellung.

Die fett gezeichnete, gestrichelte Linie entspricht dem Nutzen des Autofahrers nach Einführung der Bepreisung, während die dünne, gestrichelte Linie seinen Nutzen im Status quo illustriert. Es zeigt sich, dass die Erhebung von Nutzungsgebühren den Anteil der Autofahrer von  $c_{alt}$  nach  $c_{neu}$  verschiebt, woraus eine deutliche Stauminderung resultiert, die der Minimierung der Distanz  $c - b$  entspricht.  $c_{alt} - b$  ist deutlich größer als  $c_{neu} - b$ . Daraus folgt ein Wandern des Nash-Gleichgewichts von  $N_{alt}$  (im Status quo) hin zu  $N_{neu}$  (bei Bepreisung). Das Gefangenendilemma wird gemindert, da  $z_{neu}$  deutlich näher an  $y$  liegt als  $z_{alt}$ . Die Einführung von (hinreichend hohen) Straßenbenutzungsgebühren ist aus Stausicht somit grundsätzlich positiv zu bewerten. Von besonderer Wichtigkeit ist jedoch die Wahl der geeigneten Gebührenhöhe, die allerdings von verschiedensten Bedingungen abhängig ist. Neben politökonomischen Aspekten sind es vor allem auch die individuellen städti-

<sup>57</sup> Vgl. zu den Verteilungswirkungen einer Bepreisungsmaßnahme Teubel (2001), Lehmann (1996) oder Layard (1977).

schon Rahmenbedingungen, die beachtet sein müssen.<sup>58</sup> Allgemein gilt jedoch Folgendes: Eine hinreichende Gebührenhöhe bedeutet aus Modellsicht, dass sie gerade so hoch sein muss, um den MIV-Akteuren Anreize zu setzen, gerade eben ihre Strategie zu ändern. Abbildung 6 soll dies verdeutlichen.

**Abbildung 6: Vereinfachte Auszahlungsmatrix des MIV-Nutzers vor und nach Einführung von Straßenbenutzungsgebühren**

			mit $2R > T + S > 2P$ sowie
			$T > R$ und $P > S$
			Nash-Gleichgewicht: (MIV, MIV)
Ohne Bepreisung	ÖPNV	MIV	$t_{opt}$ als optimale Gebühr mit folgendem Effekt:  $T - t_{opt} < R$ und $P - t_{opt} < S$ (für den Teil der Akteure, deren Zahlungsbereitschaft nicht ausreicht, um die Preiserhöhung zu decken)  Nash-Gleichgewicht: (ÖPNV, ÖPNV)
ÖPNV	R, R	S, T	
MIV	T, S	P, P	
Mit Bepreisung	ÖPNV	MIV	
ÖPNV	R, R	S, $T - t_{opt}$	
MIV	$T - t_{opt}$ , S	$P - t_{opt}$ , $P - t_{opt}$	

Quelle: Eigene Darstellung.

Die obere Matrix zeigt die Nutzen der Akteure im Fall ohne Straßenbenutzungsgebühren. Im Falle der – wie bereits in Abbildung 2 dargestellten – ordinalen Rangordnung  $T > R$  und  $P > S$  sowie  $2R > T + S > 2P$  ergibt sich als Nash-Gleichgewicht die Strategienkombination (MIV, MIV) mit der Gesamtauszahlung in Höhe von  $2P$ , die geringer als die durch die kollektiv rationale Wahl von (ÖPNV, ÖPNV) erzielbaren  $2R$  ist. Folge ist ein stabiles Gefangenendilemma. Die untere Matrix zeigt die Auszahlungen der Akteure im Fall mit Straßenbenutzungsgebühren. Die Bepreisung in Höhe von  $t_{opt}$  bewirkt eine Verteuerung der Nutzung der betrachteten Strecke AB, was eine Minderung des MIV-Nutzens impliziert. Als Folge aus der Implementierung der Straßenbenutzungsgebühren gilt jetzt für einen Teil der Akteure, dass  $T - t_{opt}$  nunmehr kleiner ist als  $R$  und  $P - t_{opt}$  nunmehr kleiner ist als  $S$ . Dies gilt genau für den Teil der Fahrer, deren Zahlungsbereitschaft nicht ausreicht, um die Preiserhöhung durch die Implementierung der Preislösung zu decken. Für genau diese Fahrer gilt nun nicht nur eine veränderte Auszahlungsstruktur, die ja für alle Fahrer gilt, sondern darüber hinaus ist es für diese Akteure nach Einführung der Bepreisung ratio-

<sup>58</sup> Vgl. zu den politökonomischen Aspekten etwa Evans (1992), Gomez-Ibanez (1992), Lehmann (1996) oder Jones (1998), zu den Rahmenbedingungen Mamer (2004).

nal, ihre Entscheidung zu ändern und von MIV auf ÖPNV umzusteigen. Sie werden im Grunde von der Straße verdrängt, so dass der Anteil  $\alpha$  sinkt und – abhängig von sowohl der Höhe des  $t_{\text{opt}}$  als auch von der Struktur der Nachfrage nach Nutzung des Straßenraums – gegen  $b$  konvergiert. Für die MIV-Nutzer, also auch für diejenigen, für die gilt:  $R > T - t_{\text{opt}}$  und  $S > P - t_{\text{opt}}$ , bewirkt das  $t_{\text{opt}}$  natürlich durchschnittlich eine Nutzenminderung, so dass die Nutzenfunktion gemäß Abbildung 5 durch die Bepreisung nach unten verschoben wird. Zu beachten ist natürlich, dass der positive Wohlfahrtseffekt, der durch eine Implementierung von Straßenbenutzungsgebühren erreicht wird, nicht durch prohibitiv hohe System- bzw. Transaktionskosten aufgeessen wird, die den regulierenden und dilemmamindernden Eingriff zum Staatsversagen werden lassen würden.<sup>59</sup>

### 5.3 Setzung von Anreizen. Alternativen zum MIV zu nutzen

Neben der Minderung der Anreize, mit dem Auto in die Innenstadt zu fahren, dadurch – im Modellsinne zu defektieren und – die Staugefahr zu erhöhen, führt auch eine Anreizsetzung zur Nutzung von Alternativen des MIV dazu, das Gleichgewicht in Richtung eines staufreien Zustands zu verschieben. Modellgemäß wird hier repräsentativ lediglich eine Verbesserung des ÖPNV betrachtet. Diese kann grundsätzlich erreicht werden durch

- a) substanzielle Steigerungen der Buskapazitäten durch neue Routen, erhöhte Frequenzen und das Einsetzen größerer Busse,
- b) das Implementieren eines 24-Stunden-Services,
- c) die Verbesserung des Busspurensystems bzw. öffentlichen S- oder U-Bahnsystems sowie
- d) das Einfrieren der Busfahrpreise.

Die Maßnahmen a) und b) führen zu einer Parallelverschiebung der Nutzenkurve für den ÖPNV-Nutzer aus Abbildung 1, während die Maßnahme c) eine Abflachung der Neigung der Kurve bewirkt und Maßnahme d) im Modell eine neutrale Wirkung hat.

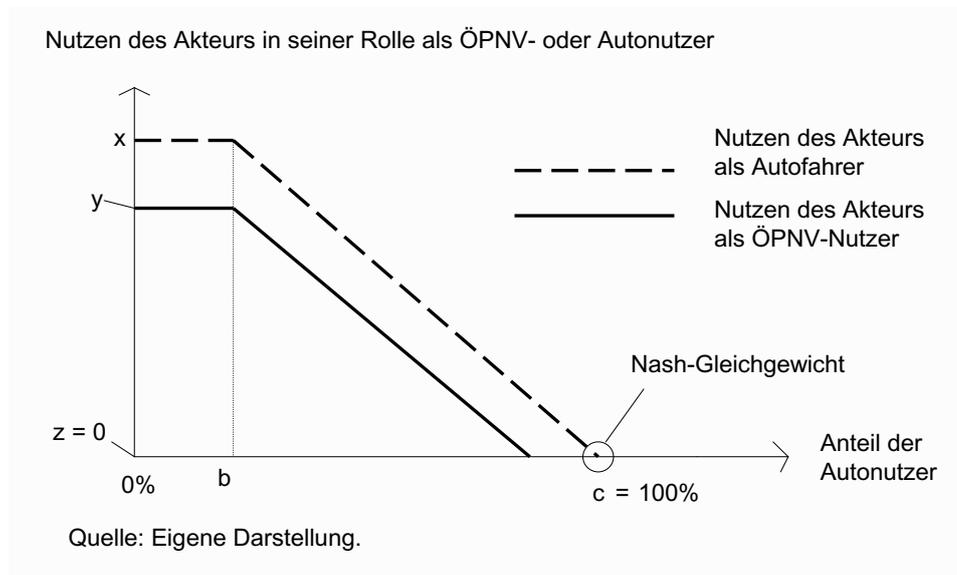
Die in Abbildung 1 dargestellte Ausgangssituation berücksichtigt bereits die Existenz eines Busspurensystems bzw. schienengeführten öffentlichen Verkehrs,<sup>60</sup> so dass schon dort eine flachere Neigung der Nutzenkurve im Fall der ÖPNV-Nutzung als im Fall der MIV-Nutzung resultiert. Anderenfalls würden beide Kurven parallel verlaufen, keinen Schnittpunkt innerhalb des Koordinatenkreuzes haben und somit ein Gleichgewicht provozieren,

<sup>59</sup> Vgl. zu dieser Problematik Prud'homme/Bocajero (2005), S. 279 ff., die die London City Congestion Charge trotz gelungener Verkehrslenkung als Mini-Concorde bezeichnen, da die prohibitiv hohen Systemkosten nicht durch die deutlich erhöhte durchschnittliche Reisezeit in London City zu rechtfertigen seien. Vgl. auch Baum et al. (2005), S. 47 ff., die im Rahmen einer möglichen Einführung einer Pkw-Maut in Deutschland nicht zu unrecht auf sehr hohe Systemkosten hinweisen.

<sup>60</sup> Es ist insofern realistisch, als Status quo Abbildung 1 mit der Berücksichtigung möglicher Busspuren bzw. schienengebundenen Verkehrs zu wählen, da von einer Durchschnittsbetrachtung auszugehen ist und zumindest nicht unwesentlich viele Städte über derartige Möglichkeiten verfügen.

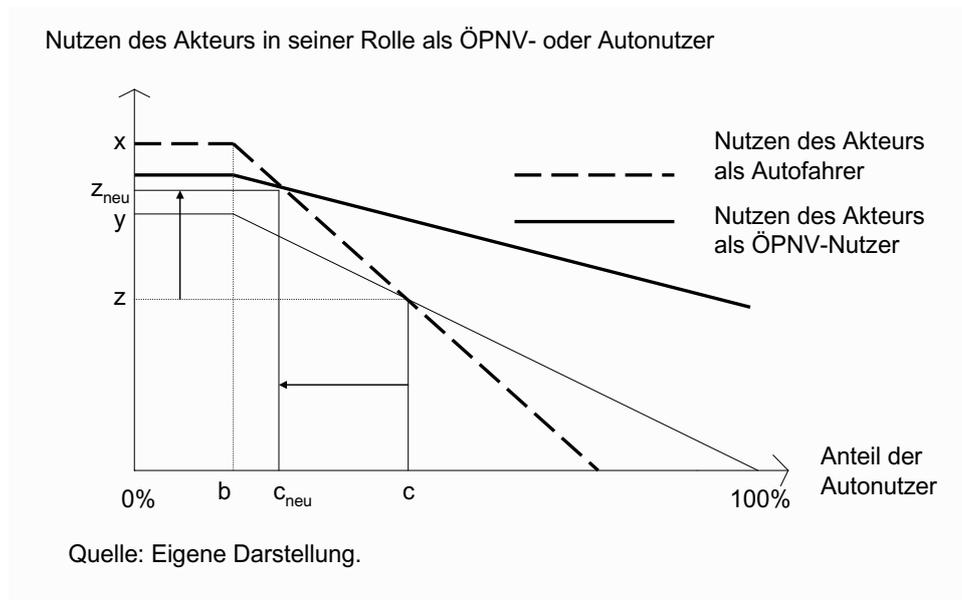
welches bei ( $\alpha = 100\%$ ,  $\beta = 0$ ) liegen würde, für alle Verkehrsteilnehmer die Autonutzung als dominante Strategie empfiehlt, extremen Stau verursacht und jedem Akteur eine minimale Auszahlung von 0 einbringt. Abbildung 7 zeigt diesen Fall.

**Abbildung 7: Gefangenendilemma und extremer Stau im Falle ohne Busspuren-system bzw. schienengeführtem Verkehr**



Eine – wie unter 5.3. vorgeschlagene – Verbesserung des Busspuren-systems aus Abbildung 1 impliziert nun eine noch flachere Neigung der Nutzenkurve des Bus-Nutzers als in Abbildung 1 und daraus resultierend ein Nash-Gleichgewicht an einem Punkt, der näher an der Kapazitätsgrenze b liegt als c. Somit würde dieses Gleichgewicht entstehen lassen, welches das Ausmaß des Gefangenendilemmas mindern würde. Abbildung 8 zeigt also die isolierte Wirkungsweise der Verbesserung des ÖPNV, also die Wirkung dieser Maßnahme c) gemeinsam mit den Wirkungen der Maßnahmen a) und b).

Aus a), b) und c) resultiert eine Erhöhung des Nutzens aller Verkehrsteilnehmer von z auf  $z_{\text{neu}}$ . Dieser neue Nutzen  $z_{\text{neu}}$  kann – je nach Intensität der Verbesserung des ÖPNV-Systems – sogar y übertreffen. Abbildung 8 symbolisiert eine starke Verbesserung des ÖPNV-Systems, die sicherlich nur dann realistisch ist, wenn, wie etwa im Beispiel der London City Congestion Charge, ein hoher Anteil von Einnahmen aus einer möglichen Implementierung von Straßenbenutzungsgebühren in den ÖPNV fließt. Falls nicht, würde  $z_{\text{neu}}$  zwar z übertreffen, jedoch nicht notwendigerweise y.

**Abbildung 8: Isolierte Wirkungsweise einer Verbesserung des ÖPNV**

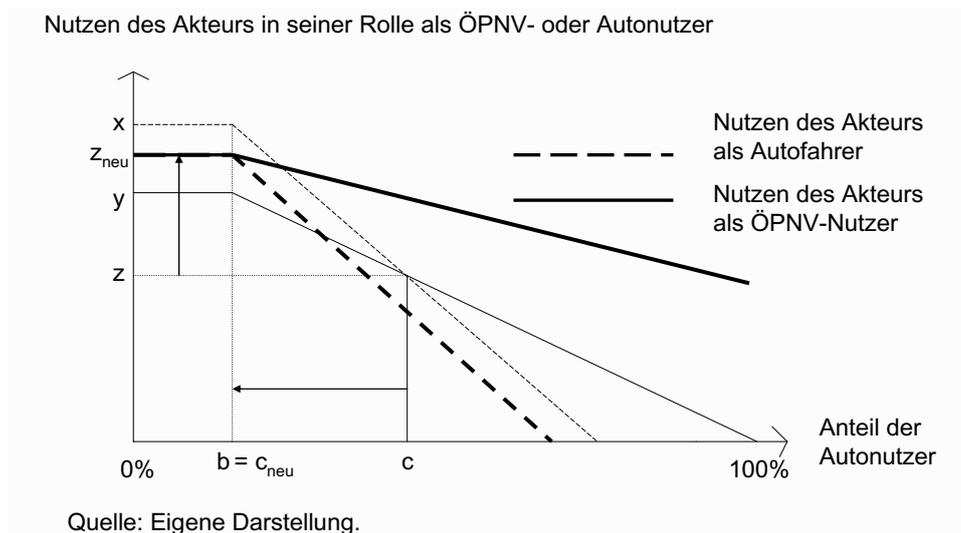
#### 5.4. Gesamtwirkung der diskutierten Maßnahmen

Die Gesamtwirkung dieser möglichen Maßnahmen wird durch Abbildung 9 illustriert. Ein Kapazitätsausbau wird aus den in Kapitel 5.1. erläuterten Gründen nicht berücksichtigt, so dass hier ein Paket aus Straßenbenutzungsgebühren und einer Verbesserung des ÖPNV als flankierender Maßnahme betrachtet wird.<sup>61</sup>

Die dünn gezeichneten Kurven zeigen den Ausgangszustand aus Abbildung 1, während die fett gezeichneten Kurven das Resultat der Einführung der Straßenbenutzungsgebühren (Verschiebung der gestrichelten Kurve nach unten) plus der Verbesserung des ÖPNV (Verschiebung der durchgezogenen Kurve nach oben und zusätzlich Abflachung der Neigung) sind. Das Gleichgewicht verschiebt sich von  $c$  zu  $c_{\text{neu}} = b$  und impliziert – allerdings wie hier bei gegebener starker Intensität der Eingriffe – somit einen staufreien Zustand, zumindest aber eine signifikante Verlagerung des Gleichgewichts in Richtung des staufreien Zustands. Der Nutzen aller Akteure erhöht sich von  $z$  auf  $z_{\text{neu}}$ , welches zwar kleiner als  $x$ , gleichwohl aber größer als  $y$  ist. Das Gefangenendilemma ist zerbrochen und der Stau ist zumindest gemindert, eventuell sogar beseitigt. Der Wohlfahrtsverlust ABC aus Abbildung 4 ist beseitigt oder zumindest minimiert worden.

<sup>61</sup> Vgl. dazu Armelius/Hultkrantz (2005), die mit Hilfe einer Simulation zeigen, dass es gerade in den Städten mit einer hohen Bedeutung öffentlichen Verkehrs wie etwa Stockholm oder London leichter ist, viele Nutzer für die Einführung von Straßenbenutzungsgebühren zu kompensieren, indem die Einnahmen aus der Bepreisung in den öffentlichen Verkehr fließen.

**Abbildung 9: Zerschneiden des Gefangenendilemmas**



## 6. Fazit

Innenstädte haben weltweit zunehmend mit Staus und den bekannten Folgen zu kämpfen. Bei individuell rationalem Verhalten der Verkehrsteilnehmer sind Staus oftmals unvermeidlich, da im innerstädtischen Verkehr das durchschnittliche Verkehrsverhalten ein user-equilibrium provoziert, welches gerade im Stau liegt. Dieser gleichgewichtige Zustand bewirkt, dass die Akteure in ein soziales Dilemma gezwungen werden, dem sie ohne externe Hilfe nicht entkommen können. Externe Hilfe in Form geeigneter wirtschaftspolitischer Maßnahmen kann ein derartiges soziales Dilemma mindern oder sogar zerstören. Daher wurden ausgehend von einem Status quo und einem tief im Stau liegenden Gleichgewicht aktuell diskutierte Maßnahmen und ihre Wirkungsweise auf den Stau untersucht. Es zeigte sich dabei, dass die Einführung von Straßenbenutzungsgebühren und die Verbesserung des ÖPNV massive Stauentlastungen bis hin zur Stauvermeidung (bei geeigneter Wahl der Gebührenhöhe) ermöglichen. Dem entgegen verfehlen Kapazitätsausweitungen aufgrund des erwarteten induzierten Verkehrs erhoffte Staulenkungswirkungen.

## Abstract

The article investigates users' inner city travel behaviour. Using a game theoretical framework it can be shown that individual rationality leads to a user-equilibrium that not only implies congested roads but also a prisoners' dilemma. Without external efforts, the users are unable to solve this dilemma. Hence, different economic measures as capacity extensions, road pricing or improvements of public transport are analysed within the given framework. It is shown that road pricing and improvement of public transport as accompanying measure are able to minimize or even break the prisoners' dilemma whereas capacity extension has no impact on congestion reduction because of induced traffic.

## Literatur

- Abboud, L., Clevstrom, J. (2006), Stockholm's traffic buster, in: *The Wall Street Journal*, Vol. XXIV, No. 147, 29.8.2006, S. 2.
- Armelius, H., Hultkrantz, L. (2005), The Politico-Economic Link Between Public Transport and Road Pricing: An Ex-Ante Study Of The Stockholm Road-Pricing Trial, in: Working Paper Series, Örebro University, Working Paper No. 8, 2005.
- Arnott, R. (2001), The Economic Theory of Urban Traffic Congestion: A Microscopic Research Agenda, Paperpräsentation beim Workshop on Environmental Economics and the Economics of Congestion: Coping with Externalities, Venice International University, San Servolo, July 18-19, 2001.
- Aschauer, D. (1989), Is Public Capital Expenditure Productive?, in: *Journal of Monetary Economics*, 23, S. 177-200.
- Axelrod, R. (2000), *Die Evolution der Kooperation*, Oldenbourg, München.
- Baum, H. (1971), *Grundlagen einer Preis-Abgabenpolitik für die städtische Verkehrsinfrastruktur*, Buchreihe des Instituts für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln, Band 28, Köln.
- Baum, H., Behnke, N.C. (1997), *Der volkswirtschaftliche Nutzen des Straßenverkehrs*, in: Schriftenreihe des Verbandes der Automobilindustrie, Köln.
- Baum, H., Geißler, T. und Schneider, J. (2005), *Pkw-Maut für Deutschland? – Eine kritische Analyse*, Studie für den Verband der Automobilindustrie (VDA) e.V., Frankfurt a.M..
- Baum, H., Kurte, J. (1999), *Wachstums- und Beschäftigungseffekte des Verkehrs*, Deutsches Verkehrsforum, Köln.
- Bauriedl, S., Winkler, M. (2004), Typisierung europäischer Regionen auf ihrem Weg zu nachhaltiger Entwicklung, in: *NEDS Working Papers*, No. 4, 08/04, Hamburg.
- Beesley, M.E. (1965), The Value of Time Spent in Travelling: Some New Evidence, in: *Economica*, 32, 16, May, S. 174-185.
- Berg, H., Cassel, D. und K.-H. Hartwig (2003), *Theorie der Wirtschaftspolitik*, in: *Vahlens Kompendium der Wirtschaftstheorie und Wirtschaftspolitik*, Band 2, 8. Auflage, München, S. 171-296.
- Binmore, K. (1992), *Fun and Games – A Text on Game Theory*, D.C. Heath and Company, Lexington, MA.
- Braess, D. (1968), Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung, in: *Unternehmensforschung*, 12, S. 258-268.

- Brownstone, D., Small, K.A. (2005), Valuing time and reliability: assessing the evidence from road pricing demonstration, in: *Transportation Research Part A*, 39, S. 279-293.
- Calfee, J., Winston, C. (1998), The value of automobile travel time: implications for congestion policy, in: *Journal of Public Economics*, 69, S. 83-102.
- Dawes, R.M. (1980), Social Dilemmas, in: *Annual Review of Psychology*, 31, S. 169-193.
- DeCorla-Souza, P., Cohen, H. (1998), Accounting for induced travel in evaluation of urban highway expansion, in: *Transportation Research Board, 77<sup>th</sup> Annual Meeting*, 1998.
- De Palma, A., Lindsey, R. (2006), Modelling and evaluation of road pricing in Paris, in: *Transport Policy*, 13, S. 115-126.
- De Palma, A., Lindsey, R. und E. Niskanen (2006), Policy insights from the urban road pricing case studies, in: *Transport Policy*, 13, S. 149-161.
- De Palma, A., Lindsey, R. und S. Proost (2006), Research challenges in modelling urban road pricing: An overview, in: *Transport Policy*, 13, S. 97-105.
- Downs, A. (1962), The Law of Peak-Hour Traffic Congestion, in: *Traffic Quarterly*, 16, S. 393-409.
- Dupuit, J. (1844), On the measurement of the utility of public works, in: *Annales des Ponts et Chaussées, Memoires et Documents 2<sup>nd</sup> Series*, 8, S. 332-375, übersetzt durch: Barback, R.H. (1952), in: *International Economic Papers*, 2, S. 83-110.
- Eichinger, A., Knorr, A. (2004), Congestion Charging – das Beispiel Londons. Ökonomische Grundlagen und Zwischenbilanz, in: *Internationales Verkehrswesen*, 9/2004, S. 366-371.
- Eisenkopf, A. (2002), Effiziente Straßenbenutzungsabgaben – Theoretische Grundlagen und konzeptionelle Vorschläge für ein Infrastrukturabgabensystem, in: Aberle, G. (Hg.), *Giessener Studien zur Transportwirtschaft und Kommunikation*, Band 17, Universität Gießen.
- Evans, A.W. (1992), Road congestion pricing: When is it a good policy?, in: *Journal of Transport Economics and Policy*, 26, S. 213-243.
- Frank, D., Sumpf, J. (1997), Abschätzung der volkswirtschaftlichen Verluste durch Stau im Verkehr, BMW-Studie, München.
- Gomez-Ibanez, J.A. (1992), The political economy of highway tolls and congestion pricing, in: *Transportation Quarterly*, 46, S. 343-360.
- Gramlich, E.M. (1994), Infrastructure Investment: A Review Essay, in: *Journal of Economic Literature*, 32, S. 1176-1196.
- Hamburger, H. (1973), N-person Prisoner's Dilemma, in: *Journal of Mathematical Sociology*, 3, S. 27-48.

- Hartwig, K.-H., Armbrrecht, H. (2005), Volkswirtschaftliche Effekte unterlassener Infrastrukturinvestitionen – Studie im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Zementindustrie, des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie und des Verbandes der Automobilindustrie, Berlin
- Heng, S. (2000), Ökonomische Betrachtungen zum Straßenverkehr. Die Modellierung der Verkehrsproblematik in der Bundesrepublik Deutschland, in: Schriftenreihe volkswirtschaftliche Forschungsergebnisse, Bd. 61, Kovac, Hamburg.
- Hensher, D.A., Stopher, P.R. (Hg.) (1979), Behavioural travel modelling, Croom Helm, London.
- Hollander, Y., Prashker, J.N. (2006), The applicability of non-cooperative game theory in transport analysis, in: Transportation, 33, S. 481-496.
- INFRAS, IWW (2004), External Costs of Transport. Update Study, Final Report, Zürich, Karlsruhe, Oktober 2004.
- Jakubowski, P., Knitschky, G., Lehmann, C. und H. Tegner (1998), Motive und Ursachen von Personenmobilität verstehen, Münster.
- Jones, P. (1998), Urban road pricing: public acceptability and barriers to implementation, in: Button, K.J. und E.T. Verhoef (Hg.), Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment, Issues of Efficiency and Social Feasibility, Cheltenham, Northampton.
- Joshi, M.S., Joshi, V. und R. Lamb (2005), The Prisoners' Dilemma and city-centre traffic, in: Oxford Economic Papers, 57, S. 70-89.
- Kossak, A. (2004), Straßenbenutzungsgebühren, in: Internationales Verkehrswesen, 56, 12/2004, S. 536-540.
- Krause, T. (2003), Dynamische Straßenbenutzungsgebühren zur Reduzierung von Staus, in: Hasenkamp, G. et al. (Hg.), Volkswirtschaftliche Analysen, Band 10, Frankfurt/Main u.a.O.
- Lawton, R., Parker, D., Manstead, A. und S. Stradling (1997), The role of affect in predicting social behaviors: The case of road traffic violations, in: Journal of Applied Social Psychology, 27, S. 1258-1276.
- Layard, R. (1977), The distributional effects of congestion taxes, in: Economica, 44, S. 299-304.
- Lehmann, C. (1996), Die politische Ökonomie des Road Pricing, in: Ewers, H.-J. (Hg.), Vorträge und Studien aus dem Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität Münster, Heft 30, Göttingen.

- Lindsey, C.R., Verhoef, E.T. (2000), Traffic Congestion and Congestion Pricing, in: Tinbergen Institute Discussion Paper, TI 2000. 101/3, Tinbergen Institute for economic research of the Erasmus Universiteit Rotterdam, Universiteit van Amsterdam and Vrije Universiteit Amsterdam.
- Link, H. (2002), The Pilot Accounts for Germany, UNITE Deliverable 5, Ann. 1.
- Link, H., Dodgson, J.S., Maibach, M. und M. Herry (1999), The Costs of Road Infrastructure and Congestion in Europe, in: Müller, W., Bihn, M. (Hg.), Contributions to Economics, Heidelberg, New York.
- Marner, T. (2004), Die Problematik innerstädtischer Staus: ein spieltheoretischer Ansatz, in: Armbrrecht, H. u.a., Politische Weichenstellungen für den Verkehr: Verkehrsplanung, Bepreisung, Deregulierung. Vorträge und Studien aus dem Institut für Verkehrswissenschaft and der Universität Münster, Heft 41, Göttingen 2004, S. 61-108.
- Marte, G. (2005), Die Bewertung des induzierten Verkehrs – ein Verfahrensvergleich, in: Internationales Verkehrswesen, 11/2005, S. 491-494.
- May, A.D., Nash, C.A. (1996), Urban Congestion: A European Perspective on Theory and Practice, in: Annual Review of Energy Environment, 21, 239-260.
- Mayeres, I., Ochelen, S. und S. Proost (1996), The Marginal External Costs of Urban Transport, in: Transportation Research D: Transport and Environment, 1, 2, December, S. 111-130.
- McCain, R. (2003), Game Theory: A Non-Technical Introduction to the Analysis of Strategy, South-Western Educational Publishing, Belmont, CA.
- Näätänen, R., Summala, H. (1976), Road user behaviour and traffic accidents, Elsevier, Amsterdam.
- Newbery, D. (1990), Pricing and congestion: economic principles relevant to pricing roads, in: Oxford Review of Economic Policy, Vol. 6, No. 2.
- Olszewski, P., Xie, L. (2005), Modelling the effects of road pricing on traffic in Singapore, in: Transportation Research Part A, 39, S. 755-772.
- Oort, C.J. (1969), The Evaluation of Travelling Time, Journal of Transport Economics and Policy, 3, September, S. 279-286.
- o.V. (2006a), Mailand steht City-Maut bevor, in: DVZ Nr. 99 vom 19.8.2006, S. 2.
- o.V. (2006b), Transporteure machen sich Luft, in: DVZ Nr. 113 vom 21.9.2006, Spezial: City-Maut Mailand, S. 7.
- Pigou, A.C. (1920), The Economics of Welfare, first edition, Macmillan, London.
- Proost, S., van Dender, K. (1999), TRENEN II Stran – Final Report for Publication, Leuven.

- Proost, S., Sen, A. (2006), Urban transport pricing reform with two levels of government: A case study of Brussels, in: *Transport Policy*, 13, S. 127-139.
- Prud'homme, R., Bocajero, J.P., The London congestion charge: a tentative economic appraisal, in: *Transport Policy*, 12, 3, 2005, S. 279-287.
- Rasmusen, E. (1994), *Games and Information. An Introduction to Game Theory*, 2nd ed., Blackwell, Malden, MA.
- Recker, W.W., Golob, T.F. (1976), An attitudinal modal choice model, in: *Transportation Research*, 10, S. 299-310.
- Sansom, T., Nash, C., Mackie, P., Shires, J. und P. Watkiss (2001), *Surface Transport Costs and Charges. Great Britain 1998, Final Report for the Department of the Environment, Transport and the Regions*, Institute for Transport Studies, University Of Leeds, Leeds, July 2001.
- Santos, G., Bhakar, J. (2006), The impact of the London congestion charging scheme on the generalised costs of car commuters to the city of London from a value of travel time savings perspective, in: *Transport Policy*, 13, 2006, S. 22-33.
- Schelling, T. (1978), *Micromotives and Macrobehavior*, Norton and Company, New York, London.
- Schrage, A. (2005), *Straßenmaut und Verkehrsstaus*, in: Sinn, H.-W., Fuest, C. (Hg.), *Beiträge zur Finanzwissenschaft*, 19, Tübingen.
- Selten, R. (2001), *What Is Bounded Rationality?*, in: Gigerenzer, G./Selten, R. (Hg.), *Bounded Rationality, The Adaptive Toolbox*, MIT Press, Cambridge u.a.O., S. 13-36.
- Simon, H.A. (1957), *Models of Man*, Wiley, New York.
- Small, K.A., Winston, C. und C.A. Evans (1989), *Road Work – A New Highway Pricing and Investment Policy*, Washington, D.C.
- Steg, L. (2003), *Factors Influencing the Acceptability and Effectiveness of Transport Pricing*, in: Schade, J., Schlag, B. (Hg.), *Acceptability of Transport Pricing Strategies*, Amsterdam u.a.O., S. 187-202.
- Steg, L., Vleg, C. und G. Slotegraaf (2001), *Instrumental-reasoned and symbolic-affected motives for using a motor car*, in: *Transportation Research F*, 4, 2001, S. 151-169.
- Sumalee, A. (2004), *Optimal road user charging cordon design: A heuristic optimization approach*. *Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19, S. 377-392.
- Teubel, U. (2001), *Road Pricing – Effizient aber unsozial?*, Frankfurt a.M.
- Transport for London (2004), *Greater London Authority Act 1999. Transport Act 2000. The Greater London (Central Zone) Congestion Charging Order. Instrument of Confirmation 2004*, London.

- Transport for London (2006), Central London Congestion charging, Impacts monitoring, Fourth Annual Report, Overview, June 2006, London.
- Transport Research Laboratory (1996), The Use of Traffic Signals in Developing Cities, in: Overseas Road Note, 13, Overseas Centre, Transport Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK.
- Tucker, A.W. (1983), The Mathematics of Tucker: A Sampler, A Two-Person Dilemma: The Prisoners Dilemma, in: The Two Year College Mathematics Journal, 14, 3, S. 228-232.
- Van Vugt, M., Meertens, R.M., Van Lange, P.A.M. (1995), Car versus public transportation? The role of social value orientations in a real-life social dilemma, in: Journal of Applied Social Psychology, 25, S. 258-278.
- Verkehrsbetriebe STI (2006), Mobilität im Berner Oberland, Zahlen und Fakten 2005, Thun.
- Vickerman, R.W. (2000), Economic Growth Effects of Transport Infrastructure, in: Jahrbuch für Regionalwissenschaft, 20, S. 99-115.
- Vickrey, W. (1969), Congestion Theory and Transport Investment, in: American Economic Review, 59, May 1969, No. 2, S. 251-260.
- Vold, A. (2006), Phased implementation of transport pricing for Greater Oslo, in: Transport Policy, 13, S. 140-148.
- Walters, A.A. (1961), The theory and measurement of private and social cost of highway congestion, in: Econometrica, 29, 4, October, S. 676-699.
- Walters, A.A. (1968), The Economics of Road User Charges, in: World Bank Staff Occasional Papers, Vol. 5, International Bank for Reconstruction and Development, John Hopkins Press, Baltimore, MD.
- Yang, H., Huang, H.-J. (2005), Mathematical and Economic Theory of Road Pricing, Elsevier, Amsterdam u.a.O.
- Ziegler, G.M. (2005), Was denkt der Mathematiker im Stau?, Notizen aus der MATHEON-Lounge, in: DMV-Mitteilungen, 13-2, S. 106-108.