

## Optimalgeschwindigkeiten für Personenkraftwagen unter Berücksichtigung von Neuverkehr

VON PETER CERWENKA UND MICHAEL KLAMER, WIEN

### 1. Veranlassung und Anliegen

Schon in einem früheren in dieser Zeitschrift erschienen Beitrag<sup>1</sup> haben sich die Autoren mit "Optimalgeschwindigkeiten" für Personenkraftwagen (Pkw) auseinandergesetzt. Als Optimalgeschwindigkeit war dort jene Geschwindigkeit definiert worden, bei welcher die Summe der je Pkw-Kilometer entstehenden geschwindigkeitsabhängigen Kostenbestandteile [DM/Pkw-km]

- Fahrzeitkosten,
- Unfallkosten,
- Kraftstoffkosten und
- Schadstoffkosten

ein Minimum ergibt. Die (annähernd) geschwindigkeitsunabhängigen Kostenbestandteile [DM/Pkw-km]

- Pkw-Betriebskostengrundwerte,
- Infrastrukturkosten und
- Lärmkosten

konnten dabei naturgemäß außer Betracht bleiben.

Nach Veröffentlichung des zitierten Beitrages sahen sich die Autoren erwartungsgemäß mit extrem polarisiert geführten Diskussionen konfrontiert:

---

*Anschrift der Verfasser:*  
 Prof. Dr. Peter Cerwenka und  
 Dr. Michael Klamer  
 Institut für Verkehrssystemplanung  
 Technische Universität Wien  
 Gußhausstraße 30/269  
 A-1040 Wien

<sup>1</sup> Cerwenka, P.; Klamer, M.: Tempolimits für Personenkraftwagen aus ökonomischer Sicht; in: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 66(1995), Nr.2, S.87-112.

- Diejenigen, denen die Resultate für die Optimalgeschwindigkeiten zu hoch waren, argumentierten damit, daß durch die ihrer Meinung nach zu hohen Geschwindigkeiten zusätzlicher Neuverkehr erzeugt wird, dessen zusätzliche negative externe Effekte unberücksichtigt blieben.
- Diejenigen, denen die Resultate als zu niedrig erschienen, argumentierten genau gegensätzlich, nämlich damit, daß durch die ihrer Meinung nach zu niedrigen Geschwindigkeiten die positiven Effekte eines durch Neuverkehr zusätzlich ermöglichten Erreichbarkeitsnutzens unterschlagen würden.

Anliegen des vorliegenden Beitrages ist es, diese beiden Gruppen von Gegenargumenten auszuräumen.

### 2. Ein neues Optimalitätskriterium

Um diesen Argumenten zu begegnen, bedarf es einer Revision des Optimalitätskriteriums: Nicht mehr ein "statisches" Kostenminimum je Fahrleistungseinheit, sondern ein "dynamisches" Nettonutzenmaximum je Fahrleistungseinheit unter Berücksichtigung von Neuverkehr gilt unter diesem Blickwinkel als relevant. Der Grundstein zur Ermöglichung dieser Betrachtungsweise wurde ebenfalls in dieser Zeitschrift gelegt.<sup>2</sup>

Voraussetzung zur konkreten Berechnung von Optimalgeschwindigkeiten mit Hilfe dieses neuen Konzeptes ist eine Zweiteilung der Kostenkomponenten<sup>3</sup>:

"Kosten werden hinsichtlich ihres Einflusses auf die Entscheidung über das Ausmaß der Verkehrsteilnahme in disjunkte Teilmengen segmentiert, nämlich

- \* in jene Kosten, die von den Verkehrsteilnehmern wahrgenommen werden und die daher ihre Entscheidungskalküle zur Verkehrsteilnahme durch Gegenüberstellung mit ihren subjektiven Nutzenerwartungen prägen (*interne Kosten*), und
- \* in jene Kosten, die den Verkehrsteilnehmern nicht in Rechnung gestellt werden, die von ihnen daher nicht wahrgenommen werden und ihre Entscheidungskalküle zur Verkehrsteilnahme nicht beeinflussen können (*externe Kosten*)."

Folge dieser Voraussetzung ist, daß nun auch die nach dem statischen Kostenminimumkonzept geschwindigkeitsunabhängigen Kostenkomponenten (sowohl bei den internen als

---

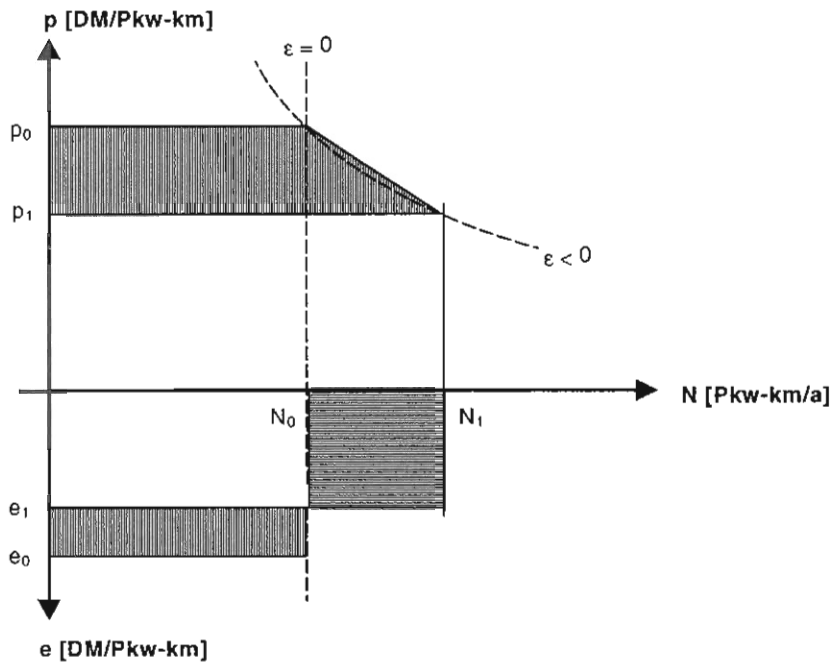
<sup>2</sup> Cerwenka, P.: Die Berücksichtigung von Neuverkehr bei der Bewertung von Verkehrsweginvestitionen; in: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 68(1997), Nr.4, S.221-248.

<sup>3</sup> Cerwenka, a.a.O., S.226-227.

auch bei den externen Kosten) in die Berechnung einbezogen werden müssen, da sie über elastische Reaktionen der Verkehrsteilnehmer auf geänderte Preise  $p^4$  das Resultat beeinflussen.

Das neue Optimalitätskriterium läßt sich am besten anhand von Abbildung 1 veranschaulichen, die leicht modifiziert der genannten Publikation<sup>5</sup> entnommen ist.

**Abbildung 1:** Zusammenwirken von internen und externen Kosten



Die in Abbildung 1 enthaltenen Symbole bedeuten:

- $p_0$  ... (wahrgenommener) Preis (interner Kostensatz) [DM/Pkw-km] für einen Ausgangszustand
- $p_1$  ... (wahrgenommener) Preis (interner Kostensatz) [DM/Pkw-km] für einen veränderten Zustand

<sup>4</sup> Als "Preis p" wird hier der interne Kostensatz mit der Dimension [DM/Pkw-km] verstanden.

<sup>5</sup> Cerwenka, a.a.O., S.231.

- $e_0$  ... externer Kostensatz [DM/Pkw-km] für einen Ausgangszustand
- $e_1$  ... externer Kostensatz [DM/Pkw-km] für einen veränderten Zustand
- $N_0$  ... Nachfragemenge [Pkw-km/Zeiteinheit] für einen Ausgangszustand
- $N_1$  ... Nachfragemenge [Pkw-km/Zeiteinheit] für einen veränderten Zustand
- $\epsilon$  ... Preiselastizität der Nachfrage ( $\epsilon < 0$ )

Das neue Optimalitätskriterium besteht nun darin, die Differenz der in Abbildung 1 vertikal und horizontal schraffierten Flächen (das ist der Nettonutzen NN des gegenüber dem Ausgangszustand veränderten Zustandes) zu maximieren. Mit der definitorischen Gleichung für eine über die Nachfragekurve konstante Elastizität  $\epsilon$

$$N_1 = N_0 \cdot (p_1 / p_0)^\epsilon \quad (1)$$

ergibt sich dieser auf  $N_0$  normierte Nettonutzen  $nn$  zu:

$$nn = NN / N_0 = \frac{1}{2} \cdot (p_0 - p_1) \cdot [1 + (p_1 / p_0)^\epsilon] + e_0 - e_1 \cdot (p_1 / p_0)^\epsilon \quad [DM/Pkw-km] \quad (2)$$

### 3. Spezifikationen zur konkreten Berechnung

Um die konkrete Anwendbarkeit zu demonstrieren, werden folgende Spezifikationen eingebracht:

- Als Ausgangszustand (Index 0) gelten die in Cerwenka et al. ermittelten kostenminimalen Geschwindigkeiten für den dort so genannten "Standard-Fall".<sup>6</sup>
- Als veränderter Zustand (Index 1) gelten die hier gesuchten nettonutzenmaximalen Geschwindigkeiten  $V$ .
- Die Preiselastizität wird hier mit  $\epsilon = -1$  angesetzt, da in den wahrgenommenen Preisen die reisezeitbedingten Komponenten erfahrungsgemäß stark dominieren und eine Reisezeitelastizität von  $-1$  (bei Vernachlässigung konkurrierender Verkehrsmittel) dem "Gesetz der konstanten Reisezeiten" entspricht, das von vielen als gültig angesehen wird. Damit stellt sich Formel (2) wie folgt dar:

<sup>6</sup> Cerwenka et al., a.a.O., S.103-107.

$$nn = \frac{1}{2} \cdot \frac{p_0^2}{p_1(V)} - \frac{1}{2} \cdot p_1(V) + e_0 - p_0 \cdot \frac{e_1(V)}{p_1(V)} \quad [\text{DM/Pkw-km}] \quad (3)$$

Der fahrleistungsspezifische Nettonutzen  $nn$  ist bei gegebenen Werten für  $p_0$  und  $e_0$  unter Variation von  $V$  zu maximieren. Diese Aufgabenstellung ist mathematisch nicht mehr elementar lösbar, sondern – ausgehend von der bekannten Geschwindigkeit  $V_0$  – nur noch iterativ.

- Folgende Aufteilung in interne und externe Kostenkomponenten wird als relevant erachtet, wobei durch nachgestelltes "(V)" die hier berücksichtigte Geschwindigkeitsabhängigkeit zum Ausdruck gebracht wird:

- \* intern: Fahrzeitkosten (V), Kraftstoffkosten (V), Pkw-Betriebskostengrundwerte
- \* extern: Unfallkosten (V), Schadstoffkosten (V), Infrastrukturkosten, Lärmkosten

- Die Geschwindigkeitsabhängigkeiten werden in vollständiger Übereinstimmung mit Cerwenka et al.<sup>7</sup> durch folgende Funktionen zum Ausdruck gebracht:

$$p_0 = C_0 + C_1 \cdot V_0^2 + C_2/V_0 \quad [\text{DM/Pkw-km}]$$

$$p_1(V) = C_0 + C_1 \cdot V^2 + C_2/V \quad [\text{DM/Pkw-km}]$$

$$e_0 = D_0 + D_1 \cdot V_0^2 + D_2/V_0 \quad [\text{DM/Pkw-km}]$$

$$e_1(V) = D_0 + D_1 \cdot V^2 + D_2/V \quad [\text{DM/Pkw-km}]$$

Die Werte für  $C_1$ ,  $D_1$ ,  $C_2$  und  $D_2$  können eindeutig durch Zuordnung der den Gliedern mit  $V^2$  bzw. mit  $1/V$  zugehörigen Koeffizienten aus Cerwenka et al.<sup>8</sup> gebildet werden, was hier nicht wiederholt wird. Die Werte für  $C_0$  und  $D_0$  müssen jedoch ergänzt werden, da die alten Werte  $C_{0\text{alt}}$  und  $D_{0\text{alt}}$  lediglich die konstanten Glieder aus den regressiv ermittelten Zusammenhängen zwischen Kraftstoffverbrauch und Geschwindigkeit bzw. zwischen Schadstoffemissionen und Geschwindigkeit, nicht jedoch die eigentlichen geschwindigkeitsunabhängigen ("fixen") Kostenbestandteile ( $F_{\text{intern}}$  und  $F_{\text{extern}}$ ) enthielten:

$$C_0 = C_{0\text{alt}} + F_{\text{intern}} \quad [\text{DM/Pkw-km}]$$

$$D_0 = D_{0\text{alt}} + F_{\text{extern}} \quad [\text{DM/Pkw-km}]$$

$C_{0\text{alt}}$  und  $D_{0\text{alt}}$  können ebenfalls durch entsprechende Zuordnungen der früheren Untersuchung entnommen werden.

- Die konkrete Durchrechnung erfolgt wie bei Cerwenka et al.<sup>9</sup> für Otto- und Diesel-Pkw und für die drei verursachungs- bzw. betroffenenheitsrelevanten Straßenkategorien

- \* Innerortsstraßen (ohne Autobahnen),
- \* Außerortsstraßen (ohne Autobahnen) und
- \* Autobahnen.

#### 4. Ermittlung der fixen Kostenbestandteile ( $F_{\text{intern}}$ und $F_{\text{extern}}$ )

Um Vergleichbarkeit mit der früheren Untersuchung zu gewährleisten, wird nachfolgend alles Monetäre auf Preisbasis 1990 wiedergegeben.

Die *internen fixen Kostensätze* des Pkw-Verkehrs (Pkw-Betriebskostengrundwerte) werden für Otto- und Diesel-Pkw einheitlich mit

$$F_{\text{intern}} = 0,165 \text{ DM/Pkw-km (Preisstand 1990)}$$

angesetzt.<sup>10</sup>

Die *externen fixen Kostensätze* des Pkw-Verkehrs gliedern sich – wie schon erwähnt – in die Infrastruktur- und Lärmkostensätze.

Für die Infrastrukturkostensätze wurde eine reale Verzinsung des Investitionskapitals von 3%/a zugrundegelegt.

Lärmkostensätze wurden nur innerorts in Rechnung gestellt. Dabei wird von einem maßgebenden (vom Pkw-Verkehr verursachten) Immissionsschallpegel von 52 dB(A) nachts, einem kostenrelevanten Immissionsgrenzwert von 40 dB(A) nachts und von 800 betroffenen

<sup>9</sup> Cerwenka et al., a.a.O.

<sup>10</sup> Gemittelt nach: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen EWS, Entwurf, Ausgabe 1997, Köln, 1997, S.13 und Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (RAS-W), Ausgabe 1986, Köln, 1986, S.17.

<sup>7</sup> Cerwenka et al., a.a.O.

<sup>8</sup> Cerwenka et al., a.a.O.

Einwohnern pro Straßenkilometer innerorts sowie von einem Kostensatz von 75 DM je Lärm-Einwohner-Gleichwert und Jahr<sup>11</sup> (Preisstand 1990) ausgegangen.<sup>12</sup>

Die weiteren zugrundegelegten Annahmen und die Resultate für  $F_{\text{extern}}$  sind Tabelle 1 zu entnehmen.

**Tabelle 1:** Externe geschwindigkeitsunabhängige (fixe) Kostensätze des Pkw-Verkehrs  $F_{\text{extern}}$  (Preisstand 1990) (für Otto- und Diesel-Pkw identisch gültig)

		Innerortsstraßen (ohne Autobahnen)	Außerortsstraßen (ohne Autobahnen)	Autobahnen
Investitionsausgaben	[Mio DM/km]	2,5	2,5	10
Ø Nutzungsdauer	[a]	40	40	50
Annuität (Abschreibungen und Zinsen) bei 3%/a Realzinssatz	[DM/(km · a)]	108155	108155	388660
Unterhaltskosten	[DM/(km · a)]	10000	20000	40000
Infrastrukturkosten zusammen	[DM/(km · a)]	118155	128155	428660
Dem Pkw-Verkehr zurechenbare Infrastrukturkosten (abgezogen 15% der Kosten für andere Verkehrsarten)	[DM/(km · a)]	100431	108932	364361
Dem Pkw-Verkehr zugerechnete Lärmkosten	[DM/(km · a)]	137844	-	-
Externe fixe Gesamtkosten des Pkw-Verkehrs pro Streckenkilometer und Jahr	[DM/(km · a)]	238275	108932	364361
Tage/Jahr	[d/a]	365	365	365
Pkw-Aufkommen pro Tag	[Pkw/d]	4000	4000	40000
Externe fixe Kostensätze des Pkw-Verkehrs ( $F_{\text{extern}}$ )	[DM/Pkw-km]	0,163	0,075	0,025

## 5. Resultate

Die Resultate, d. h. die Ergebnisse des hier neu vorgestellten Optimierungsprozesses, ausgehend von den alten kostenminimalen Geschwindigkeiten  $V_0$ , sind für die sechs angekündigten Fälle in Tabelle 2 wiedergegeben, wobei dort auch noch zum Vergleich vorab die früheren Optimalgeschwindigkeiten  $V_0$  und die zugehörigen Kostensätze angeführt sind.

<sup>11</sup> Gemittelt nach: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS), Entwurf, Ausgabe 1997, Köln, 1997, S.14 und Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (RAS-W), Ausgabe 1986, Köln, 1986, S.10.

<sup>12</sup> Lärmkostenberechnung nach: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS), Entwurf, Ausgabe 1997, Köln, 1997, S.38-40.

**Tabelle 2:** Optimalgeschwindigkeiten nach kostenminimalem Konzept (= ohne Berücksichtigung von Neuverkehr) und nach nettonutzenmaximalem Konzept (= mit Berücksichtigung von Neuverkehr bei  $\epsilon = -1$ )

Nr.		Innerortsstraßen (ohne Autobahnen)		Außerortsstraßen (ohne Autobahnen)		Autobahnen	
		Otto-Pkw	Diesel-Pkw	Otto-Pkw	Diesel-Pkw	Otto-Pkw	Diesel-Pkw
<b>Ohne Bewertung des Neuverkehrs (Kostenminimum)</b>							
(1)	Optimalgeschwindigkeiten ( $V_0$ ) [km/h]	46,0	45,2	75,1	75,4	105,3	111,5
(2)	Minimale geschwindigkeitsabhängige Kostensätze pro Pkw-km [DM/Pkw-km]	0,5609	0,5220	0,3494	0,3205	0,2580	0,2245
(3)	Geschwindigkeitsunabhängige Kostensätze ( $F_{\text{inter}} + F_{\text{extern}}$ ) [DM/Pkw-km]	0,3280	0,3280	0,2400	0,2400	0,1900	0,1900
(4)=(2)+(3)	Minimale Kostensätze [DM/Pkw-km]	0,8889	0,8500	0,5894	0,5605	0,4480	0,4145
<b>Mit Bewertung des Neuverkehrs (Nettonutzenmaximum)</b>							
(5)	Optimalgeschwindigkeiten ( $V_1$ ) [km/h]	37,9	37,2	67,4	66,9	102,7	107,8
(6)	Minimale geschwindigkeitsabhängige Kostensätze [DM/Pkw-km]	0,5796	0,5400	0,3530	0,3247	0,2581	0,2248
(7)	Geschwindigkeitsunabhängige Kostensätze ( $F_{\text{inter}} + F_{\text{extern}}$ ) [DM/Pkw-km]	0,3280	0,3280	0,2400	0,2400	0,1900	0,1900
(8)=(6)+(7)	Minimale Kostensätze [DM/Pkw-km]	0,9076	0,8680	0,5930	0,5647	0,4481	0,4148
	Maximaler fahrlistungsspezifischer Nettonutzen gegenüber $V_0$ [DM/Pkw-km]	0,0185	0,0184	0,0034	0,0039	0,0001	0,0002
(9)=(5)-(1)	Differenzen der Optimalgeschwindigkeiten ( $V_1 - V_0$ ) [km/h]	-8,1	-8,0	-7,7	-8,5	-2,6	-3,7

Die Ergebnisse werden hier nicht weiter kommentiert, sondern es wird lediglich darauf hingewiesen, daß nach dem Nettonutzenmaximierungskonzept die Optimalgeschwindigkeiten gegenüber dem Kostenminimierungskonzept sinken, und zwar im Bereiche der Autobahnen marginal, im Bereiche der übrigen Straßen aber doch mit ca. 8 km/h fühlbar.

## Abstract

In a former contribution of the authors to this journal optimum speeds of private car traffic according to the cost minimum principle had been derived and presented. In doing so it was a question of a "static" principle neglecting the amount of mileage changing with prices. In the present contribution the static principle of cost minimum is replaced by the "dynamic" principle of net benefit maximum, which allows elastic reactions of car users to changing prices. Finally, the new results are compiled and opposed to the old values.