

Die ökonomische Beurteilung der städtischen Umweltbelastung durch Automobilabgase

— Methoden und Quantifizierungsversuche —

von Ernst-Albrecht Marburger

(= *Buchreihe des Instituts für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln, Nr. 30; herausgegeben von Rainer Willeke*);
Verlag A. Hellendoorn, Bentheim 1974, 339 S., DM 36,90.

AUS DEM INHALT:

- I. Technische und medizinische Grundtatbestände der Umweltbelastung durch Automobilabgase: Ursache und Einflußfaktoren der Abgase, die Schadstoffe, Quantität von Emission und Immission.
- II. Wirtschaftstheoretische Einordnung des Problems: Volkswirtschaftliche Zusatzkosten, realwirtschaftliche Folgen sozialer Zusatzkosten, idealtypische und politisch pragmatische Internalisierungsansätze, makroökonomische Betrachtungsweise (Input-Output-Analyse).
- III. Direkte Bewertungsmethoden für die Gesundheitsschäden, Wertminderungen bei Gebäuden und Grundstücken.
- IV. Indirekte Bewertungsmethoden: Das individuelle «willingness-to-pay-concept»; Die Methode zielbestimmter Prohibitivausgaben: Gesetzliche Zielfixierungen, Indikatorsystem zur Erfolgsmessung, konkrete Quantifizierungen und Bewertung von Konzentrationsgrenzwertüberschreitungen im Kölner Stadtgebiet (Kurz- und Langzeitgrenzwerte), Hochrechnungen der Vermeidungskosten auf das Bundesgebiet, Beeinflussung der Verkehrsmenge durch ein verkehrsaufkommensabhängiges Belastungssystem (modifiziertes-road-pricing), ein Markt für Verschmutzungsrechte.
- V. Gesamtwirtschaftliche Optimierungsfrage und erste konkrete Kosten-Nutzen-Kalküle für die Umweltbelastung durch Automobilabgase.
- VI. Synopse der technischen Möglichkeiten zur Schadstoffreduzierung am Fahrzeug, Literatursammlung zu Kostenschätzungen.

Entscheidungen über langfristige Projekte unter kurzfristigen Budgetrestriktionen — ein vereinfachtes Modell für die praktische Planung von Verkehrswegen

VON DR. ERHARD MOOSMAYER, BONN

I. Besonderheiten des Rentabilitätskalküls für öffentliche Vorhaben

Eine gesellschaftliche Ordnung, die die Steuerung der ökonomischen Prozesse grundsätzlich der privaten Verfügung über produktive Faktoren überantwortet, beteiligt den Staat jenseits seiner klassischen Bereiche der äußeren Verteidigung, der inneren Sicherheit und der Gesetzgebung insoweit an der materiellen Versorgung der Bevölkerung, als der Wettbewerb nur unbefriedigend oder überhaupt nicht funktioniert. Dies geschieht nicht nur, seitdem der Anstieg der Kapitalintensität und die Zunahme der Konzentration flexible Reaktionen auf Schwankungen der Nachfrage und der Beschäftigung vereiteln, sondern auch, weil ohne staatliche Eingriffe unterschiedliche Möglichkeiten des individuellen Einsatzes von produktiven Faktoren eine als ungerecht empfundene Einkommensverteilung und sich verknappende, aber nicht in privates Eigentum gelangende Güter eine wohlfahrtsbedrohende Verschwendung nach sich zögen¹⁾.

Da der Staat nach vorherrschender Auffassung Schwankungen der Nachfrage und der Beschäftigung überwiegend über eine antizyklische Gestaltung der Finanzierung und nicht über eine solche der Ausgaben glätten sollte, stehen für eine Beurteilung von öffentlichen Verkehrsprojekten weniger konjunkturelle als vielmehr distributorische und allokativer Aspekte im Vordergrund. Danach empfehlen sich staatliche Aktivitäten im Verkehrswesen in dem Maße, in dem

- allenfalls geringfügige Preiselastizitäten der Nachfrage nach existenznotwendigen Leistungen zu mißbräuchlicher Ausnutzung starker Angebotspositionen verführen,
- Anlagen unabhängig von einer Bereitschaft zur Entrichtung von Entgelten Vorteile bescheren,
- Einrichtungen sich zur Mehrung des Wohlstands eignen, jedoch freiwillig nur ungenügend beansprucht würden²⁾.

Veranschaulichend mögen als Beispiele für

- die Vermeidung von den marginalen Faktorenvergütungssatz übertreffenden Grenzproduktwerten eine ausreichende Versorgung von Personen, die ein eigenes Kraft-

¹⁾ *Smith, A.*, An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations, Vol. II, Chapter »Of Systems of Political Economy«, London 1776; *Preiser, E.*, Property and Power in the Theory of Distribution, in: International Economic Papers No. 2, London-New York 1952; *Hardin, G.*, The Tragedy of the Commons, in: American Association for the Advancement of Science (Hrsg.), Science Vol. 162, Washington 1968, S. 1243.

²⁾ Vgl. hierzu *Hanusch, H.*, Zur wohlfahrtsökonomischen Theorie der finanzwirtschaftlichen Entscheidung, in: *Recktenwald, H. C.* (Hrsg.), Nutzen-Kosten-Analyse und Programmbudget, Tübingen 1970, S. 41–81.

- fahrzeug nicht benutzen können, dürfen oder wollen, mit öffentlichen Beförderungsleistungen,
- das Phänomen der Nutzeninterdependenz mit oder ohne Anwendbarkeit des Ausschlußprinzips der Hochwasserschutz durch die Kanalisierung von natürlichen Schiffahrtswegen,
 - die meritorischen Güter die Verpflichtung zur Anschaffung und Verwendung von Sicherheitsgurten in Personenkraftwagen dienen.

II. Definitionen

Die staatlichen Aktivitäten im Verkehrswesen spielen sich also vornehmlich in Bereichen ab, in denen der Wettbewerb nicht befriedigend oder überhaupt nicht funktioniert. Die Abwesenheit von auf einem funktionsfähigen Wettbewerb fußenden Preisen zwingt dazu, im Gegensatz zu privatwirtschaftlichen Investitionsrechnungen eine indirekte Bewertung der Projektfolgen zu »Schattenpreisen« zu veranstalten.

Als *Kosten* gelten diejenigen Erlöse, die sich durch den Einsatz der Investitionsausgaben (zuzüglich der fixen Periodenaufwendungen) für die Verwirklichung eines gleich teuren, aber maximal ergiebigen anderen Projektes hätten erzielen lassen (»Opportunitätskosten«). Die *Nutzen* bezeichnen die periodische Differenz zwischen den leistungsabhängigen Kosten bei der Verwirklichung des nächstbesten und denen bei der Verwirklichung des erwogenen Projekts (Vorteile gegenüber den »Alternativkosten«)³.

Das *Kriterium* bestimmt den Ort des erwogenen Projekts in der Dringlichkeitsreihe aller in Betracht kommenden⁴.

- Im Kapitalwert spiegelt sich der Vergleich zwischen den aktualisierten Nutzen und den aktualisierten Kosten.
- Die Annuität stellt den nicht aktualisierten Nutzen dem periodischen Kapitaldienst für die Amortisation und die Verzinsung der aktualisierten Investitionsausgaben gegenüber.
- Mit dem internen Zinsfuß, dessen Bedeutung aus seiner Messung am herrschenden Kapitalmarktzinssatz erhellt, bringt die Aktualisierung die Höhe der Nutzen und die der Kosten zur Übereinstimmung.
- Die Kapitalrentabilität drückt das Verhältnis der Nutzen zu den Kosten (also zwischen dem Überschuß der leistungsbedingten Minder- über die leistungsbedingten Mehrkosten und den um die fixen Zusatzaufwendungen ergänzten Investitionsausgaben) aus⁵.

³ Vgl. hierzu *Eggeling, G.*, Die Nutzen-Kosten-Analyse - Theoretische Grundlagen und praktische Anwendbarkeit - dargestellt an einem Straßenbauprojekt, Göttingen 1969, S. 31/32 u. ff., sowie *Tietzel, M.*, Die Effizienz staatlicher Investitionsentscheidungen im Verkehrssektor - Eine Analyse methodischer und praktischer Probleme staatlicher Allokationsentscheidungen im Verkehrssektor, Frankfurt a.M. 1972, S. 94-156.

⁴ Zur klassischen Investitionsrechnung vgl. *Schneider, E.*, Wirtschaftlichkeitsrechnung - Theorie der Investition -, Tübingen-Zürich 1968, S. 22-59; *Hax, H.*, Investitionstheorie, Würzburg-Wien 1972 (2. Aufl.), S. 7-18.

⁵ Für die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von einzelnen Projekten und deren Einordnung in eine Dringlichkeitsreihe müssen die Kriterien des Kapitalwerts und der Annuitätendeckung als gleich tauglich gelten. Dieselben Zwecke vermag das Kriterium des internen Zinsfußes indessen nur dann zu erfüllen, wenn nicht ein von ihm abweichender Kalkulationszinssatz gegenteilige Resultate liefert, etwa weil er die internen Zinsfüße in einem Ausmaß unterschreitet, das ursprünglich begünstigten Alternativen mit relativ langen Bau- und kurzen Betriebszeiten niedrigere Rangplätze zuweist; die Möglichkeit derartiger Antinomien erklärt sich daraus, daß der interne Zinsfuß nicht wie der kalkulatorische Zinssatz eine

Steht *K* für den Kapitalwert, *A* für die Annuität, *Y* für den (dezimal ausgedrückten) internen Zinsfuß, *R* für die Kapitalrentabilität, *X* für den externen Zinssatz, *f* für die Aktualisierungsrate, *a* für die Summe von investiven Ausgaben und leistungsunabhängigen Zusatzaufwendungen, *s* für die (gleichbleibend hohen) periodischen Nutzen (= Ersparnisse an leistungsabhängigen Kosten), *n* für die Lebensdauer und *g* für den Wiedergewinnungsfaktor $f \times (1 + f)^n / [(1 + f)^n - 1]$, so gilt ein Projekt als isoliert verwirklichungswürdig, wenn alternativ

$$K \text{ (gleich oder größer als null!)} = -a \times g \times 1/g + s \times 1/g \\ = -a + s/g \quad (1)$$

$$A \text{ (gleich oder kleiner als null!)} = a \times g - s \quad (2)$$

$$-a + s \times ((1 + Y)^n - 1) / Y \times (1 + Y)^n = 0 \\ \text{(mit } Y \text{ gleich oder größer als } X!) \quad (3)$$

$$K \text{ (gleich oder größer als 1!)} = (s \times 1/g) / a \quad (4)$$

III. Aktualisierung

1. Gründe

(1.1) Das produktive Vermögen einer Volkswirtschaft muß substantiell erhalten bleiben und in dem Maße wachsen, in dem sich ihre Bevölkerung bei annähernd gleicher Altersstruktur vermehrt und in dem es der technische Fortschritt gestattet, die Kapitalintensität

Bedingung, sondern ein Ergebnis des jeweiligen Berechnungsverfahrens bildet; um den potentiellen Antagonismus zu den anderen Kriterien auszuräumen, bedarf es deshalb einer Vereinheitlichung der Voraussetzungen; dies kann zum Beispiel durch die Annahme geschehen, daß es gelingt, zu einem dem niedrigsten internen Zinsfuß entsprechenden Kalkulationszinssatz sämtliche Überschüsse der leistungsbedingten Kostenersparnisse über die leistungsbedingten Mehrkosten anzulegen: An die Stelle des »Kapitalwerts« tritt dann der »Kapitalendwert«, an diejenige des »internen Zinsfußes« die »totale Rendite«: Aus dem Postulat (für periodisch gleich hohe Nutzenüberschüsse)

$$-a + s \times ((1 + X)^n - 1) / X \times 1 / (1 + Y)^n = 0$$

leitet sich ab

$$Y = (((((1 + X)^n - 1) / X) / a))^{1/n} - 1$$

zur Symbolik vgl. Abschnitte II. und III. 2; den Ausschlag gibt, daß nunmehr im Gegensatz zur traditionellen Systematik auch der interne Zinsfuß (als totale Rendite) vom Kalkulationszinssatz abhängt; für den Kapitalendwert gilt

$$K = -a + s \times ((1 + X)^n - 1) / X \times 1 / (1 + X)^n$$

da dann für die beiden neuen Kriterien die Grenzen, jenseits deren sich die Dringlichkeitsreihe infolge sinkender Kalkulationssätze verändert, übereinstimmen, werden Projekte, die verhältnismäßig hohe (niedrige) Kapitalendwerte verheißt, stets zugleich verhältnismäßig hohe (niedrige) Totalrenditen ab. Bei Existenz von Haushaltsrestriktionen erweist sich das Kriterium des Nutzen-Kosten-Verhältnisses als überlegen, weil dann die Verwendung ein und desselben Ausgabebetrag für Projekte mit niedrigem Kapitalwert, aber hoher Kapitalrentabilität einen größeren Nutzenüberschuß stiftet als eine solche für Projekte mit hohem Kapitalwert, aber niedriger Kapitalrentabilität. Vgl. zu diesem Themenkomplex *Boulding, K. E.*, Time and Investment, in: *Economica*, Vol. III (1936), S. 196 ff.; *Lorie, J. H.*, and *Leonhard, J., Savage, L. J.*, Three Problems in Rationing Capital, in: *The Journal of Business*, III, Vol. 28 (1955), S. 231-241; *Schwerna, W.*, Untersuchungen zur Theorie der Investition, Tübingen 1971, S. 7-24; *Friedlaender, A. F.*, Public Investment Criteria: A Survey Article, in: *Kansantaloudellinen Aikakaiskirja*, Bd. 60 (1964), S. 240-263.

der Arbeitsplätze zu erhöhen. Sparen die Einkommensbezieher weniger, als das produktive Vermögen wachsen muß, und/oder fragen die Unternehmen mehr Arbeitsleistungen nach als die erwerbsfähigen Personen anbieten, so erfährt das allgemeine Preisniveau — gelten sowohl die Vollbeschäftigung wie auch die Tarifautonomie als unantastbare Ziele — einen Auftrieb. Nicht immer erhalten jene, die weniger verbrauchen als sie erzeugen, für die Ausleihung von Teilen ihres Einkommens einen entsprechenden Gegenwert zurück.

Die Höhe des Zinses drückt also

- einen Anreiz für eine den Konsum übersteigende Produktion,
- einen Rückstand der freiwilligen Ersparnisse gegenüber den beabsichtigten Investitionen,
- der Zunahme der realen Arbeitsproduktivität davoneilende Anhebungen der nominalen Einkommen und
- Risikobefürchtungen aus⁶⁾.

Allerdings haftet öffentlichen Projekten im Zeitalter ansteigenden Bedarfs an staatlichen und kommunalen Diensten ein geringeres Risiko an als privaten. Außerdem pflegt die Gemeinschaft zukünftige Projektfolgen höher einzuschätzen als das einzelne Individuum. Deshalb mutet es gerechtfertigt an, die Erklärung der Verzinsung von öffentlichem Vermögen auf das reale Wachstum der Nachfrage und den nominalen Auftrieb des Preisniveaus zu beschränken.

(1.2) Ein Projekt, das Nutzen stiftet, erfordert einerseits Ausgaben zum Ersatz und/oder zur Erweiterung und/oder zur Errichtung von Anlagen sowie leistungsunabhängige Zusatzaufwendungen etwa für witterungsbedingte Instandhaltungsmaßnahmen und bewirkt andererseits, daß mit ihm die Erfüllung verfolgter Zwecke weniger Betriebsstoffe und Arbeitskräfte verzehrt als ohne es (Investitionen in Wege und Fahrzeuge vollbringen dies über Veränderungen der Verkehrserzeugung und -verflechtung sowie der Wahl von Verkehrsmitteln und Fahrtrouten). Bleiben die Attraktionszinsen für den Konsumverzicht konstant sowie die freiwilligen Ersparnisse und die beabsichtigten Investitionen im Gleichgewicht, so verteuern sich die Anlagen und die Betriebsstoffe in dem Umfang, in dem sich der nominale Einkommenssatz rascher erhöht als die reale Arbeitsproduktivität, während das nominale Einkommen der Arbeitskräfte bei unveränderter Verteilung der gesamten Wertschöpfung ebenso wie dasjenige der disponierenden Erwerbstätigen seinerseits mit der exponentiellen Zunahme des Produkts aus Produktivitätsfortschritt und Preisauftrieb steigt.

Die Veränderungen von Preisen und nominalen Einkommen haben zur Folge, daß investiven Ausgaben, fixen Aufwendungen und variablen Kosten je nachdem, in welchen Zeiten sie entstehen, eine unterschiedliche Bedeutung zukommt.

Eine künftige (frühere) Bindung von Potential- und ein künftiger (früherer) Verzehr von Repetierfaktoren wiegen

- um so schwerer (leichter), je teurer (billiger) sie werden (gewesen sind),
- um so leichter (schwerer), je höher (niedriger) das nominale Einkommen der Faktornachfrager sein wird (gewesen ist).

⁶⁾ Zu den Funktionen des Zinses vgl. Peter, H., Einführung in die Politische Ökonomie, Stuttgart—Köln 1950, S. 177—211; Kaldor, N., A Model of Economic Growth, in: Economic Journal, Vol. 67 (1957), S. 615; Robinson, J., Die Gesellschaft als Wirtschaftsgesellschaft, München 1971, S. 29—38.

Sowohl der Quotient zur Aktualisierung künftiger als auch derjenige zur Aktualisierung früherer Faktoreinsatzes weisen deshalb für Anlagen und Betriebsstoffe die (dezimale) Rate der Preissteigerung, für Arbeitskräfte darüber hinaus diejenige des Produktivitätsfortschritts als Faktor im Zähler wie im Nenner auf:

$$(1 + p)^t / ([1 + p] \times [1 + f])^t$$

bzw.

$$([1 + p] \times [1 + f])^t / (1 + p)^t$$

für Anlagen und Betriebsstoffe sowie

$$([1 + p] \times [1 + f])^t / ([1 + p] \times [1 + f])^t$$

für Arbeitskräfte

(mit p als Rate des Preisanstiegs, f als Rate des Produktivitätsfortschritts und t als Zeitexponenten).

Daher verbleibt für Anlagen und Betriebsstoffe im Quotienten zur Diskontierung im Nenner und zur Aufzinsung im Zähler nur die Rate des Produktivitätsfortschritts, während sich für Arbeitskräfte eine Aktualisierung schlechthin erübrigt.

Als praktikabler dürfte es sich jedoch erweisen, sich von der generellen Maxime leiten zu lassen, daß Kosten-Nutzen-Analysen sich von vornherein konstanter Preise und für die Aktualisierung eines nur die Wachstumsprognose widerspiegelnden Zinsfußes bedienen sollten; die Einbeziehung von Veränderungen der Personalkosten in die Aktualisierung verlangt dann mit der Wachstumsrate eine Aufzinsung vor der Diskontierung und eine Diskontierung vor der Aufzinsung.

(1.3) Der Kapitalwert ein und derselben Zeitreihe von Nutzen und Kosten schwankt mit dem Kalkulationszeitpunkt: Dessen Vor(Rück)verlagerung erhöht (senkt) zwar sowohl den Gegenwartswert der Nutzen als auch denjenigen der Kosten, aber nicht um denselben Betrag. Deshalb setzt eine vergleichende Beurteilung von alternativen Projekten die Wahl eines einheitlichen Kalkulationszeitpunkts voraus. Lediglich das Rentabilitätskriterium macht ihn entbehrlich.

2. Fälle

Hat die Wahl eines einheitlichen Kalkulationszeitpunkts stattgefunden, so lassen sich die zu würdigenden Projekte danach voneinander unterscheiden, ob ihre Vollendung zu diesem Kalkulationszeitpunkt, vor oder nach ihm erfolgt. Zur Berücksichtigung dessen kommen unter der Annahme, daß der Beginn der leistungsabhängigen Minder- und Mehrkosten mit der Beendigung des jeweiligen Projektbaus zusammenfällt, die folgenden Faktoren in Betracht:

- S zur Bildung eines periodischen Durchschnittszuschlags aus der Prognose der Globalnachfrage nach Beförderungsleistungen,
- E zur Bildung der Summe von Beträgen, die vor dem Kalkulationszeitpunkt entstehen (»Endwertfaktor der nachschüssigen Rente«),
- B zur Bildung der Summe von Beträgen, die nach dem Kalkulationszeitpunkt entstehen (»Barwertfaktor der nachschüssigen Rente«),
- H zur zeitlichen Hochrechnung einer vor dem Kalkulationszeitpunkt gebildeten Summe,
- Z der zeitlichen Zurückrechnung einer nach dem Kalkulationszeitpunkt gebildeten Summe.

Bezeichnet ferner über die in Abschnitt II. benannten Symbole hinaus y einen zunächst unbestimmten Zeitexponenten, l die Länge der Bauzeit, w das periodische Durchschnittswachstum der Globalnachfrage nach Beförderungsleistungen, L_1 die Beförderungsleistungen zu Beginn des Betriebs, L_2 die Beförderungsleistungen am Ende der (ökonomischen) Lebensdauer, A die periodisierte Summe von investiven Ausgaben und fixen Aufwendungen, K_0 die variablen Kosten (pro Periode) ohne das Projekt, K_m die variablen Kosten mit dem Projekt, r_1 den zeitlichen Rückstand des Betriebs- bzw. Baubeginns gegenüber dem Kalkulationszeitpunkt, r_2 den zeitlichen Rückstand des Kalkulationszeitpunkts gegenüber dem Betriebsbeginn sowie V_1 das Verhältnis der Nutzen zu den Kosten bei Vollendung des Projektbaus zum Kalkulationszeitpunkt, V_2 dasjenige bei Vollendung des Projektbaus davor und V_3 dasjenige bei Vollendung des Projektbaus danach, so gilt⁷⁾:

$$w = e^{(\ln L_2 - \ln L_1)/n} - 1 = \sqrt[n]{L_2/L_1} - 1 \quad (5)$$

$$S = 1 + ((1+w)^1 + (1+w)^2 + \dots + (1+w)^n - n) / n$$

$$= 1 + (((1+w)^{n+1} - 1) / w) - 1 - n) / n \quad (6)$$

$$E = (1+f)^0 + (1+f)^1 + (1+f)^2 + \dots + (1+f)^{y-1}$$

$$= ((1+f)^y - 1) / f \quad (7)$$

$$B = (1+f)^{-1} + (1+f)^{-2} + \dots + (1+f)^{-y}$$

$$= ((1+f)^y - 1) / f \times (1+f)^y \quad (8)$$

7) Dieses Modell stellt einen Versuch dar, aus der Fülle der Ansätze, die die Theorie anbietet, ein für die Praxis der wissenschaftlichen Vorbereitung von politischen Entscheidungen brauchbares Instrument zu schmieden. Der um ein vertieftes Verständnis bemühte Leser sei jedoch auf die wichtigsten Vorschläge aufmerksam gemacht, die die Theorie der Kosten-Nutzen-Analyse unterbreitet:

- Das »Sozialprodukts-Kriterium« erklärt eine staatliche Investition für vorteilhaft, als sie unmittelbar und mittelbar mehr Leistungen hervorbringt als im privaten Sektor zurückdrängt; vgl. *Krutilla, J. V., and Eckstein, O., Multiple-Purpose River Development, Baltimore 1958.*
- Das »Wohlfahrts-Kriterium« betont den meist intermedialen Charakter öffentlicher Projekte und hält eine fiskalische Belastung für reallokative Zwecke nur insoweit für gerechtfertigt, als die durch sie ermöglichten Investitionen des Staates letztlich das Niveau der vom privaten Verbrauch gestifteten Nutzen hebt; vgl. *Feldstein, M. S., Net social benefit calculation and the public investment decision, in: Oxford Economic Papers, New Series No. 16 (1964), S. 114–131.*
- Das »Effizienz-Kriterium« beschränkt sich auf die Beurteilung einzelner Projekte, setzt unvollständigen Wettbewerb voraus und mißt den Erfolg an marginalen Kostenersparnissen zuzüglich der Konsumentenrenten aus zusätzlich nachgefragten Leistungen; vgl. *Marglin, St. A., Objectives of Water Resource Development: A General Statement, in: Maass, A., et al., Design of Water Resource Systems, 3. Aufl., London–Melbourne–Toronto 1967, S. 17 ff.*
- Das »Vermögenswert-Kriterium« unterstellt die Reinvestierbarkeit aller periodischen Nutzenüberschüsse und räumt denjenigen Projekten den Vorrang ein, die den Vermögenswert maximieren; vgl. *McKean, R. N., Efficiency in government through systems analysis, with emphasis on water resource development, New York 1958.*

$$H = 1 + ((1+f) - 1) + ((1+f)^2 - (1+f))$$

$$+ ((1+f)^3 - (1+f)^2) + \dots + ((1+f)^y - (1+f)^{y-1})$$

$$= (1+f)^y \quad (9)$$

$$Z = 1 - ((1 - (1+f)^{-1}) - ((1+f)^{-1} - (1+f)^{-2}))$$

$$- ((1+f)^{-2} - (1+f)^{-3}) + \dots - ((1+f)^{-(y-1)} - (1+f)^{-y}) = 1 / (1+f)^y \quad (10)$$

$$V_1 = ((K_0 - K_m) \times S \times B_{(\text{mit } y=n)}) / ((A \times E_{(\text{mit } y=1)})) \quad (11)$$

$$V_2 = (((K_0 - K_m) \times S \times ((E_{(\text{mit } y=r_1)} + B_{(\text{mit } y=n-r_1)})))$$

$$/ ((A \times E_{(\text{mit } y=1)} \times H_{(\text{mit } y=r_1)}))) \quad (12)$$

$$V_3 = ((K_0 - K_m) \times S \times B_{(\text{mit } y=n)} \times Z_{(\text{mit } y=r_2)}))$$

$$/ (((A \times ((E_{(\text{mit } y=r_1)} + B_{(\text{mit } y=r_2)})))) \quad (13)$$

Es versteht sich, daß sich der Vergleich der Verhältnisse im Withfall mit denen im Withoutfall nicht auf dasjenige Verkehrsmittel beschränken darf, zu dessen Bereich das jeweils erwogene Projekt gehört, sondern sich auf das gesamte ökonomische System erstrecken muß, auf das es einwirkt. Dieser Zusammenhang läßt sich vereinfacht abbilden, indem das Suffix e das erwogene Projekt, das Suffix b das bestehende und beeinflussbare Wirtschaftssystem, das Suffix m die Remanenz sowie E Erlöse bedeutet:

$$s = dE_e - dK_e + dK_b - dE_b \quad (14)$$

$$K_{mb} = dE_b - dK_b \quad (15)$$

Weichen dE_e und dE_b voneinander ab, so erscheint es als sinnvoll, die Gleichung (15) in die Gleichung (14) einzusetzen:

$$s = dE_e - dK_e - dK_{mb} \quad (16a)$$

Stimmen dagegen dE_e und dE_b miteinander überein, so ergibt sich einfach

$$s = dK_b - dK_e \quad (16b).$$

Für die praktische Vorbereitung von politischen Entscheidungen über Verkehrsprojekte empfiehlt es sich, zwischen den leistungsabhängigen Kostenänderungen innerhalb des Be-

förderungswesens und denen außerhalb seiner zu unterscheiden. Dabei zählen zu den Kostenänderungen außerhalb des Beförderungswesens auch solche, die normative Vorstellungen der Entscheidungsträger über die Förderungswürdigkeit bzw. -bedürftigkeit von bestimmten Personengruppen, Wirtschaftszweigen und Raumgebieten widerspiegeln. Da sich auch die nichtnormativen Kostenänderungen außerhalb des Beförderungswesens als additive Teile der internen ausdrücken lassen, erhält, wenn $g_1, g_2 \dots g_z$ entsprechende Gewichtungen und Gewichte bezeichnen, der gesamte Nutzen von Verkehrsprojekten die Form

$$s = (K_o - K_m)_{\text{intern}} \times (1 + g_1 + g_2 \dots + g_z) \quad (17).$$

3. Fiktive Beispiele

Allgemein mögen die Annahmen gelten, daß das reale Sozialprodukt bei einer unveränderten Zahl der Erwerbstätigen um jährlich 3,5 v.H. und die Globalnachfrage nach Beförderungsleistungen um jährlich 2,5 v.H. wächst. Bei den ex- oder implizit mitgeteilten Sätzen zur Schätzung von Veränderungen der Personalkosten handle es sich durchweg um solche, die die Diskontierung vor der generellen Aufzinsung bzw. die Aufzinsung vor der generellen Diskontierung (vgl. Abschnitt III. 1.2) bereits antizipieren: Beträgt der faktische Personalkostensatz K_u , so der für eine generelle Diskontierung zugrunde zu legende $K_u \times y \times B^{-1}$ und der für eine generelle Aufzinsung zugrunde zu legende $K_u \times y \times E^{-1}$.

(3.1) Erwogen wird, die Fahrwinne eines Kanals auf einer Länge von 85 Kilometern zu vertiefen und seine Schleusenkammern zu vergrößern. Die Baumaßnahmen dauern fünf Jahre lang und enden zum Kalkulationszeitpunkt. Die investiven Ausgaben und fixen Aufwendungen betragen zusammen 77 Millionen Deutsche Mark. Auf der genannten Strecke werden jährlich siebeneinhalb Millionen Tonnen von Schiffen mit einer Lade-fähigkeit von je 850 Tonnen und einem Anschaffungswert von 1,8 Millionen Deutscher Mark befördert; jeder Kilometer Fahrleistung kostet 0,15 Deutsche Mark. Der Kanal ist an 280 Tagen im Jahr für die Schifffahrt geöffnet und durchschnittlich zwölf Stunden pro Tag befahrbar. Jedes Schiff hat ohne die Maßnahme einen Auslastungsgrad von 70 v.H. und eine Geschwindigkeit von achtzehn Stundenkilometern, mit ihr einen Auslastungsgrad von 90 v.H. und eine Geschwindigkeit von zwanzig Stundenkilometern. Ohne die Maßnahme werden also pro Jahr $85 \times 7,5 \text{ Mio. tkm}/0,7 \times 850 \times 18 \times 280 \times 12 \times 10^{-6} = 18$ Schiffe mit einer Gesamtfahrleistung von 1 071 429 km benötigt, mit ihr jedoch nur $85 \times 7,5 \text{ Mio. tkm}/0,9 \times 850 \times 20 \times 280 \times (0,7/0,9) \times 9 \times 12 \times 10^{-6} = 16$ Schiffe mit einer Gesamtfahrleistung von 836 267 km. Indessen beschert die Maßnahme nicht nur der Schifffahrt und deren Kunden Vorteile, sondern sie unterstützt auch die Raumordnungspolitik, indem sie die Verödung von 102 Arbeitsplätzen in wirtschaftlich benachteiligten Gebieten verhindert. Dort mißt der Staat dem Bruttosozialprodukt je Arbeitsplatz ein Drittel mehr bei als im Durchschnitt des gesamten Raums. Trägt jeder Arbeitsplatz zum Bruttosozialprodukt im Durchschnitt des gesamten Raums 35.000 DM jährlich bei, so gebührt selbst im konjunkturellen Gleichgewicht⁸⁾ jedem in wirtschaftlich benachteiligten Gebieten erhaltenen oder geschaffenen Arbeitsplatz ein periodischer Wert von rund 11.670 DM.

⁸⁾ Zur Berücksichtigung verteilungspolitischer Absichten bei der Anwendung effizienzorientierter Kriterien durch die Einfügung von Lagrange-Multiplikatoren in die Zielfunktion unter der Annahme eines langfristigen Konjunkturgleichgewichts vgl. *Marglin, St. A., Public Investment Criteria - Benefit-Cost Analysis for Planned Economic Growth*, London 1967.

Das Verhältnis der Nutzen zu den Kosten läßt sich also für das erwogene Projekt bei einer Lebensdauer von vierzig Jahren auf

$$\frac{[(18 - 16) \times 1.800.000 \text{ DM} + [(1.071.429 - 836.267) \times 0,15 \text{ DM} + 102 \times 11.670 \text{ DM}]] \times [(1 + 29,1/40) \times 21,4]}{(77.000.000 \text{ DM}/5) \times 4,5} = 2,57$$

schätzen.

(3.2) Erwogen wird der Bau eines achtzig Kilometer langen Autobahnabschnitts, der eine Bundesstraße mit einer durchschnittlichen Tagesverkehrsbelastung von fünfzehntausend Fahrzeugen und einer Berührung von bebautem Gelände in einer Länge von insgesamt dreißig Kilometern entlastet. Die Inbetriebnahme kann zwei Jahre vor dem Kalkulationszeitpunkt erfolgen. Das Projekt kostet vierhundert Millionen Deutsche Mark, beansprucht eine Bauzeit von fünf Jahren und weist eine Lebensdauer von fünfundvierzig Jahren auf.

Ist die Fahrbahn des Autobahnabschnitts doppelt so breit wie diejenige der Bundesstraße, so erreicht die Verkehrsdichte auf beiden Wegen denselben Wert, wenn zwei Drittel der ursprünglich die Bundesstraße benutzenden Fahrzeuge auf den Autobahnabschnitt abwandern. Vollzieht sich der Routensplitt aber mit dem Ziel eines überall gleichen Zeitaufwands zwischen je einer Quelle und einer Senke, und verbindet sich mit der Abwanderung auf den Autobahnabschnitt ein Umweg von zehn Prozent, so verringert sich die Abwanderung auf $0,9 \times 2/3$, d. h. auf drei Fünftel oder neuntausend Fahrzeuge.

Die Fahrzeuge auf der Bundesstraße erzielen eine Fahrgeschwindigkeit von durchschnittlich fünfundsiebzig Stundenkilometern. Bei einer Entfernung zwischen Quellen und Senken von durchschnittlich siebenzig Kilometern bedeutet dies einen Zeitaufwand von 56 Minuten mal 15.000 Fahrzeuge = 14.000 Stunden täglich.

Steigt nun auf der Bundesstraße infolge der Entlastung die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit auf einhundertzwanzig Stundenkilometer an, während sie sich auf dem Autobahnabschnitt dann auf einhundertzweiunddreißig Stundenkilometer beläuft, so sinkt der tägliche Zeitaufwand auf 35 Minuten \times 15 000 Fahrzeuge = 8 750 Stunden, also um 5 250 Stunden.

Befinden sich allerdings im Fahrzeugstrom zwölf Prozent einer Geschwindigkeitsbegrenzung unterworfenen Nutzkraftfahrzeuge, so ermäßigt sich die Zeitverkürzung auf 4620 Stunden täglich. Ihr entspricht bei einem gewichteten Mittelwert aus den Zahlungsbereitschaften für die raschere Erfüllung der verschiedenen Fahrtzwecke von 7 DM pro Stunde und bei einer durchschnittlichen Besetzung der Personenkraftwagen mit 1,4 Personen eine jährliche Zeitersparnis von 4620 Stunden \times 1,4 Personen \times 7 DM \times 365 Tagen = 16,53 Mio. DM.

Vermindern gleichwirksame Vorrichtungen an einem Viertel der Nutzkraftfahrzeuge die Schäden aus Lärm und Luftverschmutzung in demselben Umfang wie an der Hälfte der Personenkraftwagen, so beträgt der umweltschutzrelevante Äquivalenzkoeffizient $0,50 \times 0,88 / 0,25 \times 0,12 = 14,67$. Verursacht zugleich jeder Fahrzeugkilometer eines im bebauten Gebieten verkehrenden Personenkraftwagens 0,15 DM an Umweltschäden, so entlastet die erwogene Maßnahme die Umwelt jährlich um $(0,15 \text{ DM} \times 0,88 + 0,15 \text{ DM} \times 0,12 \times 14,67) \times 9000 \text{ Fahrzeuge} \times 30 \text{ Kilometer} \times 365 \text{ Tage} = 39,03 \text{ Mio. DM}$.

Ereignen sich pro Jahr auf der unentlasteten Bundesstraße 65, auf der entlasteten 26 und

auf dem Autobahnabschnitt 4 Unfälle, und beläuft sich der Schaden pro Unfall im gewogenen Durchschnitt auf rund 48.000 DM, so erführe die Volkswirtschaft aus der Erhöhung der Sicherheit eine Mindereinbuße an Bruttoproduktionsausfällen von $(65 - [26 + 4]) \text{ Unfälle} \times 48.000 \text{ DM} = 1,68 \text{ Mio. DM}$ (jährlich).

Im Bereich des Fahrzeugbetriebs dürften deshalb kaum ins Gewicht fallende Kostenersparnisse eintreten, weil sich die Einflüsse der Beschleunigung und die der Entfernungsverlängerung in etwa die Waage halten.

Wohl aber könnte sich der Autobahnabschnitt dazu eignen, in wirtschaftlich benachteiligten Gebieten 860 Arbeitsplätze zu erhalten bzw. zu schaffen. Ihnen kommt (vgl. Abschnitt III. 3.1) ein jährlicher Wert von $860 \text{ Arbeitsplätze} \times 11.670 \text{ DM}$ zu, also insgesamt von 10,04 Mio. DM.

Unter diesen Umständen ergibt sich ein Verhältnis der Nutzen zu den Kosten von $(16,53 \text{ Mio. DM} + 39,03 \text{ Mio. DM} + 1,68 \text{ Mio. DM} + 10,04 \text{ Mio. DM}) \times (1,9 \times [2,0 + 22,5]) / (400 \text{ Mio. DM} / 5) \times (5,4 \times 1,1) = 6,59$.

(3.3) Erwogen wird, ein Eisenbahnnetz durch eine neue, dreihundertzwanzig Kilometer lange Strecke zu ergänzen, auf der die Personenfernverkehrszüge eine Reisegeschwindigkeit von hundertvierzig Stundenkilometern erreichen und die nicht nur in dem Korridor, in den ihre Einbettung stattfände, den Zeitaufwand zwischen Quellen und Senken um fünfzehn Prozent verringern, sondern auch in wirtschaftlich benachteiligten Gebieten den regionalen Personenverkehr auf der Schiene entlasten und dadurch sowie durch eine verbesserte Anbindung von zentralen Orten dort pro Kilometer der gesamten Ergänzungsstrecke fünf Arbeitsplätze erhalten bzw. schaffen würde.

Die investiven Ausgaben zuzüglich den fixen Aufwendungen belaufen sich auf 960 Millionen Deutsche Mark und verteilen sich auf eine vier Jahre nach dem Kalkulationszeitpunkt endende Bauzeit von acht Jahren. Die Ergänzungsstrecke nimmt jährlich fünfzehn Millionen Beförderungsfälle auf, die zu vierzig Prozent von in etwa parallelen Straßen mit einer durchschnittlichen Tagesbelastung von 55.000, durchschnittlich hundertfünfzehn Stundenkilometer schnellen Fahrzeugen und im übrigen von bereits vorhandenen Eisenbahnstrecken stammen. Von den erwähnten Kraftfahrzeugen benutzen die in etwa schienenparallelen Straßen pro Tag je fünf Prozent zwischen einem und vierzig bzw. dreihundertneunzehn und zweihundertachtzig, je fünfzehn Prozent zwischen einundvierzig und siebzig bzw. zweihundertneunundsiebzig und zweihundertfünfzig sowie je dreißig Prozent zwischen einundsiebzig bzw. zweihundertneunundvierzig und hundertsechzig Kilometer weit. Für den Personenfernverkehr auf der Schiene gelte dieselbe Häufigkeitsverteilung. Auf den bereits vorhandenen Eisenbahnstrecken kostet jeder Personenkilometer 0,12 DM, auf der ergänzenden schätzungsweise 0,07 DM.

Als begleitende Maßnahme findet die Beseitigung von achtzehn höhengleichen Bahnübergängen von Straßen statt, die eine durchschnittliche Tagesbelastung von 7.500 Fahrzeugen und pro Tag vierzehn Schrankenschließungen von je vier Minuten Durchschnittsdauer aufweisen; jeder Übergang beschäftigt bis zur Projektvollendung drei Schrankenwärter mit einem Jahreseinkommen von je rund 25.000 DM.

Das Hauptprojekt hat eine Lebensdauer von fünfunddreißig Jahren, das begleitende (Unterführungen) eine solche von neunzig.

Die geschilderten Gegebenheiten berechtigen zu folgenden Erwartungen:

$$6 \text{ Mio Personen} \times (0,05 \times 0,03 + 0,05 \times 0,47 + 0,15 \times 0,09 + 0,15 \times 0,41 + 0,30 \times 0,18 + 0,30 \times 0,32) \text{ Stunden} \times 7 \text{ DM} = 10,50 \text{ Mio DM (Verlagerungseffekt)}$$

$$(55.000 \text{ Kraftfahrzeuge} \times 365 \text{ Tage} - 6 \text{ Mio Personen} / 1,4) \times (0,05 \times 0,03 + 0,05 \times 0,44 + 0,15 \times 0,08 + 0,15 \times 0,38 + 0,30 \times 0,17 + 0,30 \times 0,30) \times 1,4 \text{ Stunden} \times 7 \text{ DM} = 36,61 \text{ Mio DM (Entlastungseffekt)}$$

$$9 \text{ Mio Personen} \times (0,05 \times 0,03 + 0,05 \times 0,38 + 0,15 \times 0,07 + 0,15 \times 0,33 + 0,30 \times 0,14 + 0,30 \times 0,26) \text{ Stunden} \times 7 \text{ DM} = 12,63 \text{ Mio DM (Beschleunigungseffekt)}$$

$$9 \text{ Mio Personen} \times (0,05 \times 320 \text{ km} + 0,15 \times 320 \text{ km} + 0,30 \times 320 \text{ km}) \times 0,05 \text{ DM} = 144,00 \text{ Mio DM (Rationalisierungseffekt)}$$

$$(7.500 \text{ Kraftfahrzeuge} / 1.440 \text{ Minuten}) \times 4 \text{ Minuten} \times 16 \text{ Schließungen} \times 365 \text{ Tage} \times 7 \text{ DM} / 60 \text{ Minuten} + 3 \text{ Schrankenwärter} \times 25.000 \text{ DM} = 0,09 \text{ Mio DM (Begleiteffekt)}$$

$$320 \text{ Kilometer} \times 5 \text{ Arbeitsplätze} \times 11.670 \text{ DM} = 18,67 \text{ Mio DM (Raumordnungseffekt)}$$

Danach stellt sich ein Verhältnis der Nutzen zu den Kosten von

$$(222,41 \text{ Mio DM} \times S_{35} \times B_{35} \times Z_4 + 0,09 \text{ Mio DM} \times S_{95} \times B_{95} \times Z_4) / (960/8) \text{ Mio DM} \times (E_4 + B_4) = 6,60$$

ein.

IV. Ausblick

Das beschriebene und veranschaulichte Verfahren zur Beurteilung und zur Einfügung von öffentlichen Projekten in eine Dringlichkeitsreihe lehnt sich noch eng an die klassische Investitionsrechnung an. Seine nicht zu unterschätzenden Vorzüge bestehen in einem einheitlichen Maßstab für verschiedene Verkehrsmittel und in der Erfassung der sich während der jeweiligen Lebensdauer ereignenden Wirkungen. Gleichwohl bedarf es durchgreifender Verbesserungen, die vor allem auf eine Dynamisierung der Modelle zielen müssen. Nur mit deren Hilfe kann es nämlich gelingen, die gegenseitige Beeinflussung von gleich- und ungleichzeitig zu verwirklichenden Projekten («horizontale und vertikale Interdependenzen»), die voneinander abweichenden Qualitäten von unterschiedlichen Investitionszeitpunkten, die Änderung der fiskalischen Belastbarkeit von begünstigten oder benachteiligten Gruppen («Liquiditätseffekt»), die Unsicherheit der erwarteten Wirkungen (Konfidenzintervall in Abhängigkeit von der Häufigkeitsverteilung, der Standardabweichung und dem Umfang der analytischen Stichprobe sowie von der Zahl der endogenen und exogenen Variablen)⁹⁾, die Ungewißheit über künftige Umweltsituationen und die Vielschichtigkeit von Entscheidungsregeln einzufangen¹⁰⁾. Immerhin gewinnt der Horizont einer wahrhaft integrierten Verkehrswegeplanung durch bisher gesammelte Erfahrungen der Praxis bereits genügend scharfe Konturen.

⁹⁾ Vgl. z. B. Gaensslen, H., Schubö, W., Einfache und komplexe statistische Analyse, München-Basel 1973, S. 38-60.

¹⁰⁾ Zur Dynamisierung der Investitionsplanung vgl. Swoboda, P., Investition und Finanzierung, Göttingen 1971, S. 49-51 und 125-142; Jacob, H., Investitionsplanung mit Hilfe der Optimierungsrechnung, in: Schriften zur Unternehmensführung, Band 4, Wiesbaden 1968, S. 94-115; Marglin, S. A., Approaches to Dynamic Investment Planning, Amsterdam 1963; Gäßgen, G., Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, 2. Aufl., Tübingen 1968.

Summary

In case of decisions over investments as to the ways of means of communication the author recommends to resort to homogeneous methods and measures. He thinks it therefore necessary to judge projects taken in consideration from one sole moment on. That assumes however to actualize positive and negative effects. For installations and fuel is in the author's opinion for that purpose at constant prices a rate of interest suitable which represents only the real increase of economy. The author gives reasons for the fact that it may be renounced to discount the incomes of economized or additional employees. He works out a simple model of the cost-profit-analysis for 3 fundamental cases: It may happen that the realization of projects comes to an end either at the chosen moment of calculation or before or after it. By way of a fictive example the author demonstrates everyone of these cases. In spite of the advantages of classic investment account the author postulates a dynamical planning which shall succeed to determine not only optimal investment-moments, but also horizontal and vertical interdependences between projects, the modification to fiscal charge capacity as to the concerned groups, the dubiousness of the effects and the uncertainty about future environments.

Résumé

L'auteur recommande l'application de méthodes et mesures uniformes, s'il s'agit de prendre des décisions d'investissements sur le domaine des routes de différents moyens de transport. De ce chef il juge nécessaire de considérer des projets envisagés à partir d'un seul moment. Cela suppose

toutefois d'actualiser les effets positifs et négatifs. C'est l'opinion de l'auteur que pour les installations et carburants un taux d'intérêt calculé sur la base de prix constants y sera convenable qui n'exprime que la croissance réelle de l'économie. L'auteur explique les raisons pour lesquelles on pourra renoncer à discompter les revenus de personnel supplémentaire ou économisé. Il développe un modèle simple de l'analyse profit-frais applicable à 3 cas fondamentaux: la réalisation de projets pourra prendre fin soit au moment choisi de calcul, soit avant ou après celui-là. A l'aide d'un exemple fictif l'auteur donne une idée claire de chacune de ces trois espèces. Malgré les avantages du calcul classique d'investissements l'auteur recommande une planification dynamisée qui devrait réussir à déterminer non seulement des moments optimaux d'investissement, mais aussi de considérer et les interdépendances horizontales et verticales entre les projets et la modification de la capacité fiscale de charge des groupes intéressés ainsi que l'instabilité des effets et l'incertitude des conditions futures de l'environnement.