

mittel unterschiedlichen Grade der Wegekostendeckung zu approximieren, eine gewisse Müdigkeit, ja Aversion ausgebreitet. Als um so dringlicher erscheint es zu betonen, daß hier lediglich für Folgerungen aus Stichproben auf die Grundgesamtheit jene Toleranzmarge existiert, die der Wissenschaftler in Kauf zu nehmen sich bereit findet, um das erwünschte Konfidenzintervall zu gewährleisten⁶⁴⁾. Im übrigen aber gibt es, sobald eine Einigung über das zu realisierende Ziel gelingt, über die Komponenten der Wegekosten nur eine richtige Auffassung und viele falsche.

⁶⁴⁾ Allen, R. G. D., Statistik für Volkswirte, Tübingen 1957, S. 168 ff.; Sachs, L., Angewandte Statistik, 4. Aufl., Berlin-Heidelberg-New York 1974, S. 195–197.

Summary

The author's intention is to make front against political resignation which was produced by critics on all conceptions to stating and splitting up fixed and variable road-costs. He deals the opinion that every costs-account ought to be directed to targets and that the decision for a main-target demands the application of certain methods as well as it forbids others. According to his opinion it is possible to clarify scientifically why, compared with alternatives, a judgement as to value may pass for preferable. In face of optimal using of capacities, compensation of demand and offer as well as selection by simulation of economic competition he gives preference to self-economy, thence to the covering of the totality of costs. Thereof he deduces as a criterion for charging the different kinds of vehicles with regard to fixed road costs the principle of strain and with regard to the variable ones that of causing. Further on he proposes to include in road-costs damages resulting from traffic congestion, accidents, noise, dirt and vibrations. On the other hand he shows how it succeeds to separate costs of traffic- strange road-fonctions. The article deals also with the especially discussed problems which are evaluation of installations, taking in consideration of interests, compatibility of the knowledges won by AASHO-Road-Test with a linear relation between road-costs and not weighed drive effects as well dividing receipts obtained on the rail up to the running and the road of the railways.

Résumé

L'intention de l'auteur est d'agir contre la résignation politique provoquée par la critique se référant à toutes les conceptions visant à rechercher et trier les coûts routiers fixes et variables. Il est partisan de l'opinion que tout compte de frais devrait être orienté au but et que la décision en faveur d'un but principal demanderait l'application de méthodes déterminées tandis qu'elle défend celle d'autres. D'après son avis on peut éclaircir scientifiquement pour quelles raisons un jugement de valeur en comparaison avec des alternatives pourra passer pour préférable. En face de l'exploitation optimale de capacités, de l'égalisation d'offre et demande ainsi que de la sélection effectuée par une simulation de la concurrence économique il donne la préférence à une économie capable de couvrir la totalité des frais. Comme critérium de la question en quelle mesure les différents types de véhicules pourraient être chargés il en déduit, par rapport aux coûts routiers fixes, le principe de l'usage et, par rapport aux coûts variables, celui de la cause. En plus il propose de comprendre dans les coûts routiers les dommages résultant d'embouteillages, accidents, bruits, boue et vibrations. D'autre part il suggère comment on pourra réussir à discerner les frais causés par des fonctions routières qui sont étrangères au trafic. L'article s'occupe en outre des problèmes largement discutés auxquels appartiennent l'évaluation des installations, la mise en regard des intérêts, la comptabilité des connaissances gagnées par le AASHO-Road-Test avec la relation linéaire entre les frais routiers et les rendements routiers non pesés ainsi que la répartition des recettes obtenues au trafic de la voie ferrée sur l'entreprise et la route des chemins de fer.

Die wirtschaftliche Beurteilung von Betriebssystemen im Verkehrswesen und die Absicherung ihrer Aussage aus betriebsinterner Sicht

VON DR.-ING. RUDOLF GÖBERTSHAHN, DARMSTADT

I. Problemanalyse

Der technische Fortschritt verleitet manchen Betriebstechniker sehr oft zu Investitionen, die sich besonders im Verkehrswesen infolge der systembedingten langlebigen Anlagen früher oder später als Fehlinvestitionen herausstellen. Den gleichen Effekt kann aber auch eine Investitionsentscheidung bewirken, die sich auf eine Investitionsrechnung stützt, bei der die zukünftige Entwicklung der das Investitionsobjekt beeinflussenden Fakten wie beispielsweise Lohn- und Preissteigerungen wegen der Schwierigkeit ihrer Abschätzung außer acht gelassen werden. Das kann dazu führen, daß im Kalkulationszeitpunkt Betriebssysteme gewählt werden, die in einigen Jahren als unwirtschaftlich bezeichnet werden müssen. Man kann sogar mit solchen Fehlentscheidungen den rationalen technischen Fortschritt hemmen. Tatsache ist also, daß Investitionsrechnungen, die sich bei Verkehrsanlagen auf einen längeren Betrachtungszeitraum beziehen müssen, mit Unsicherheiten behaftet sind, die den Aussagewert einer Investitionsrechnung fragwürdig erscheinen lassen. Zugegeben, daß es paradox ist, mit einer auf finanzmathematischen Formeln exakt aufgebauten Rechenmethode ein Ergebnis zu berechnen, das letztlich auf unsicheren Prognosen und Schätzungen beruht, so wäre doch ein Unternehmen schlecht beraten, wollte es bei Investitionsvorhaben auf eine Wirtschaftlichkeitsberechnung verzichten. Es soll deshalb im folgenden einmal die Investitionsrechnung für einen Vergleich von Betriebssystemen im Verkehrswesen von der Theorie zu einem praktikablen Verfahren entwickelt werden. Ferner sollen Verfahren aufgezeigt werden, mit deren Hilfe die Empfindlichkeit der Rechnung bei unsicheren Ansatzwerten abgetastet und damit das Risiko der Investition dargelegt wird. Die Ermittlung von kritischen Werten mit Hilfe von Break-even-Analysen, der Ansatz von Eckwerten und die Risikoanalysen liefern Entscheidungshilfen für die wirtschaftliche Beurteilung von Betriebssystemen, auf die nicht verzichtet werden sollte.

Aus der Vielzahl der im Verkehrswesen vorhandenen Anwendungsbereiche seien beispielhaft nur folgende genannt:

Im Fernverkehr bei der Wahl eines optimalen Betriebssystems für eine Hochleistungsschnellbahn die Verkehrstechniken

- Rad-Schiene-System,
- Luftkissentechnik,
- Magnetschwebetechnik;

im Personennahverkehr die zahlreichen Projektvorschläge je für Kleinkabinen-, Großkabinen- und kontinuierlich fördernde Systeme;

im Schienengüterverkehr die Nachordnungsverfahren in Rangierbahnhöfen

- Konventionelle Nachordnung mit Nebenablaufberg,
- Simultanverfahren,
- Mehrgruppenzugbildung im ersten Verteilgang.

II. Systemvergleich bei vorgegebenen Eingangsparametern

Bei einer technischen Planung muß man sich darüber Klarheit verschaffen, ob die zur Ausführung vorgeschlagene Lösung das Optimum nicht nur bezüglich der technischen Ausführung, sondern auch bezüglich der Wirtschaftlichkeit darstellt. Sehr oft beschränkt man diese Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen auf rein technische, vielleicht noch auf bauwirtschaftliche Gebiete. Die Anlage ist aber letztlich ein Betriebsmittel, das im Produktionsprozeß eine Funktion zu erfüllen hat. Wie sie erfüllt wird, nämlich ob die Anlage einen zweckmäßigen und zugleich billigen Betrieb ermöglicht, muß sich aus einer betriebswirtschaftlichen Untersuchung ergeben, die sich auf Baukosten, technische Daten und Betriebsführungskosten aufbaut.

Können dafür von den einzelnen Fachdiensten sichere Ansatzwerte angegeben werden, ist mit diesen Eingangsparametern anhand der im folgenden entwickelten Rechenformeln der wirtschaftliche Vergleich der möglichen Betriebssysteme durchzuführen.

In diese Untersuchung müssen alle Betriebssysteme einbezogen werden, die nach technischen Gesichtspunkten eine vorgegebene Zielvorstellung erfüllen. Ein solcher Systemvergleich basiert nicht auf einem Ausschlußkriterium, das alle nicht kostendeckenden Produktionssysteme ausschließt. Er beruht vielmehr auf dem Auswahlkriterium, das bei mehreren technisch möglichen und zweckmäßigen Varianten derselben Zielsetzung feststellt, welche Lösungsmöglichkeit aus ökonomischer Sicht die vorteilhafteste ist.

Der Systemvergleich aus ökonomischer Sicht kann nicht auf einer periodenbezogenen Kostenrechnung aufgebaut werden. Es handelt sich um eine Kalkulation für einen zukünftigen Wirtschaftsprozeß, der während des Investitionszeitraumes der einzelnen Betriebssysteme abläuft. Deshalb ist der Systemvergleich nach der Theorie der Investitionsrechnung durchzuführen. Hierbei geht man aus von den durch den Investitionsprozeß bewirkten Zahlungsvorgängen, die zu bestimmten Terminen als Einnahmen und Ausgaben zu erwarten sind. Das Grundprinzip der Investitionsrechnung fordert bei einem Vergleich mehrerer Systeme, die Einnahmen und Ausgaben auf denselben Zeitpunkt finanzmathematisch umzuwerten, also zu Kapitalwerten zu diskontieren. Das Betriebssystem mit dem größten Kapitalwert ist das wirtschaftlichste, bei gleichem Kapitalwert entsteht Entscheidungsindifferenz.

Das theoretische Grundprinzip der Investitionsrechnung wird im folgenden so modifiziert, daß es für den Vergleich einzelner Betriebssysteme mit ausreichender Genauigkeit anwendbar ist.

1. Entwicklung der anzuwendenden Rechenformel

Grundsätzlich entstehen durch die Investition einer Betriebsanlage Zahlungsströme während der Planung, der Bauzeit, der Nutzungszeit und schließlich zum Zeitpunkt des Ausscheidens der Anlage. Diese Zahlungsströme werden zweckmäßigerweise als am Ende eines jeden Jahres zahlbar angenommen, so daß vereinfachend Zahlungsreihen in die Rechnung eingehen können. Als Zeitpunkt, auf den nach dem Grundprinzip der Investitionsrechnung alle Zahlungen bezogen werden, wählt man für den vorliegenden

Systemvergleich den Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Investitionsobjektes (Bild 1), weil hier eine Zäsur im gesamten Investitionsprozeß eintritt. Die Phase der Planungs- und Bauzeit mit ihren hohen Ausgaben ist abgeschlossen, und die Phase der Benutzung mit Einnahmen und Betriebsausgaben beginnt.

Diese Wahl des Bezugszeitpunktes erfordert zur Bildung des Kapitalwertes, die vor ihm liegenden Vergangenheitswerte aufzuzinsen (akkumulieren) und die Zukunftswerte abzuzinsen (diskontieren). Diese Umwertung von Zahlungen erfolgt nach den Regeln der Finanzmathematik¹⁾ mit Hilfe des im Kalkulationszeitpunkt gültigen Kalkulationszinsfußes

$$p [\%] = \frac{p}{100} = i .$$

In Bild 1 ist schematisch der Terminplan aller während des Investitionszeitraumes fälligen Zahlungen nach Zeit und Betrag dargestellt. Durch Aufsummieren der Einzelkapitalwerte erhält man den für den Gesamtinvestitionszeitraum gültigen Kapitalwert, wobei der realisierbare Restwert R eine Einnahme darstellt.

$$C_0 = \underbrace{\sum_{t=1}^{n+r} E_t \cdot (1+i)^{-t}}_{E_0 + R_0} - \underbrace{\sum_{t=-z+1}^0 A_t \cdot (1+i)^{-t}}_{I_0} - \underbrace{\sum_{t=1}^n A_t \cdot (1+i)^{-t}}_{A_0}$$

$$C_0 = \sum_{t=-z+1}^{n+r} (E_t - A_t) \cdot (1+i)^{-t} \quad (1)$$

Mit Gleichung (1) könnte man theoretisch für jedes Betriebssystem den Kapitalwert exakt ermitteln und den Systemvergleich aus ökonomischer Sicht durchführen. Um die Investitionsrechnung jedoch für die Praxis anwendbar zu machen, den Rechenaufwand auf ein vertretbares Maß zu beschränken und um in einer solchen Vorkalkulation keine Genauigkeit vorzutauschen, werden folgende vereinfachende Voraussetzungen unterstellt:

- Bei der Vergleichsrechnung der Betriebssysteme werden die Einnahmen mit Ausnahme des realisierbaren Restwertes eliminiert, da die vom Markt oder von politischen Entscheidungen abhängigen Verkehrserträge — wenn man sie überhaupt ermitteln kann — bei den Betriebssystemen mit gleicher Zielvorstellung in der Regel auch gleich hoch sein werden.
- Darüber hinaus sind, wenn das Betriebssystem nur einen Bestandteil eines Verkehrssystems bildet, wie z. B. das Nachordnungsverfahren bei Rangierbahnhöfen im Schienengüterverkehr, anteilige Verkehrserträge nur schwer abzuschätzen.
- Die Wirkung eines Betriebssystemes auf die Attraktivität des Verkehrs beispielsweise durch kürzere Transportzeiten, die die Möglichkeit einer Tarifierhöhung und damit einer Einnahmesteigerung bieten, sollen zunächst einmal nicht berücksichtigt werden. Es wird später ein Weg aufgezeigt, wie man solche vorläufig nicht quantifizierbaren Komponenten und ihren Einfluß auf die Investitionsentscheidung abgrenzen kann.

¹⁾ Kosiol, E., Finanzmathematik, 9. Auflage, Wiesbaden 1959.

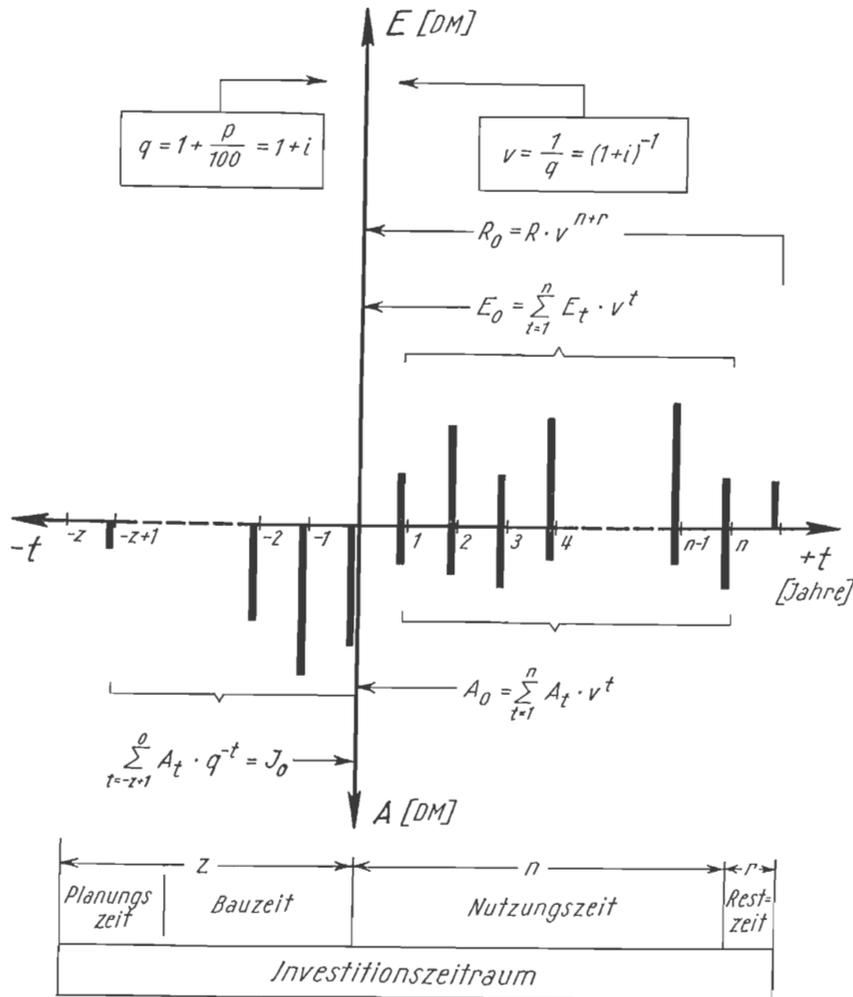


Bild 1: Schematische Darstellung der Kapitalwertbildung anhand eines Terminplans

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| A Ausgaben | R realisierbarer Restwert |
| A _t Ausgabe im Zeitpunkt t | q Aufzinsungsfaktor |
| E Einnahmen | v Abzinsungsfaktor |
| i kalkulatorischer Zinssatz | |

- Die Restzeit r wird gleich Null gesetzt, da sie auf lange Sicht nicht abschätzbar ist. Im Zeitpunkt der Außerbetriebsetzung wird die Anlage mit ihrem Restwert veräußert.
- Wenn im Terminplan die Planungsausgaben nicht genau ermittelt werden können, so genügt es, sie mit einem prozentualen Zuschlag zu den Bauausgaben zu berücksichtigen.
- Die jährlichen Betriebsausgaben A des Investitionsobjektes während der Nutzungszeit werden gleich hoch angesetzt. Es wird mit von der Nutzungszeit abhängigen, durchschnittlichen, jährlichen Unterhaltungssätzen gerechnet, und die im Kalkulationszeitpunkt gültigen Personal- und Sachausgaben werden während der Nutzungszeit konstant beibehalten. Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung gibt in erster Linie dem Planer eine Entscheidungshilfe, ob das von ihm gewählte Betriebssystem zum Kalkulationszeitpunkt wirtschaftlicher ist als die Vergleichssysteme. Die Wirkung künftiger Lohn- und Preissteigerungen werden dann im Kapitel II. 2 in die Rechnung einbezogen.

In Bild 2 ist schematisch der Terminplan aller während des Investitionszeitraumes fälligen Zahlungen unter Berücksichtigung der o. a. vereinfachenden Voraussetzungen nach Zeit und Betrag dargestellt.

Durch Aufsummieren der Einzelkapitalwerte erhält man als modifizierten Kapitalwert

$$C_0 = \underbrace{R_n \cdot (1+i)^{-n}}_{R_0} - \underbrace{\left[\sum_{t=-z+1}^0 A_t \cdot (1+i)^{-t} \right] \cdot [1+y]}_{I_0} - \underbrace{A \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i}}_{A_0} \quad (2)$$

Da in Gleichung (2) die während der Nutzungszeit anfallenden Einnahmen aus der Vergleichsrechnung eliminiert sind, ergeben sich negative Werte für C₀. Um das Rechnen mit negativen Kapitalwerten C₀ zu vermeiden, wird das Auswahlkriterium insofern geändert, daß nunmehr das Betriebssystem mit dem kleinsten Kapitalwert das wirtschaftlichste ist. Gleichung (2) geht dann über in

$$C_0 = I_0 - R_0 + A_0 \quad (3)$$

Um dem periodischen Kostendenken in der Praxis zu entsprechen, wird der Kapitalwert C₀ in äquivalente – also gleichwertige – Reihen transformiert, deren einzelne Glieder während der Nutzungszeit als Durchschnittswerte gleich groß sind. Die Umwandlung erfolgt mit dem Annuitätenfaktor, der dem reziproken Barwertfaktor entspricht:

$$\frac{1}{a_n} = \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1}$$

Multipliziert man Gleichung (3) mit dem Annuitätenfaktor, so erhält man die Annuität als durchschnittliche Jahreskosten

$$K = C_0 \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} = I_0 \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} - R_n \cdot \frac{i}{(1+i)^n - 1} + A \cdot \quad (4)$$

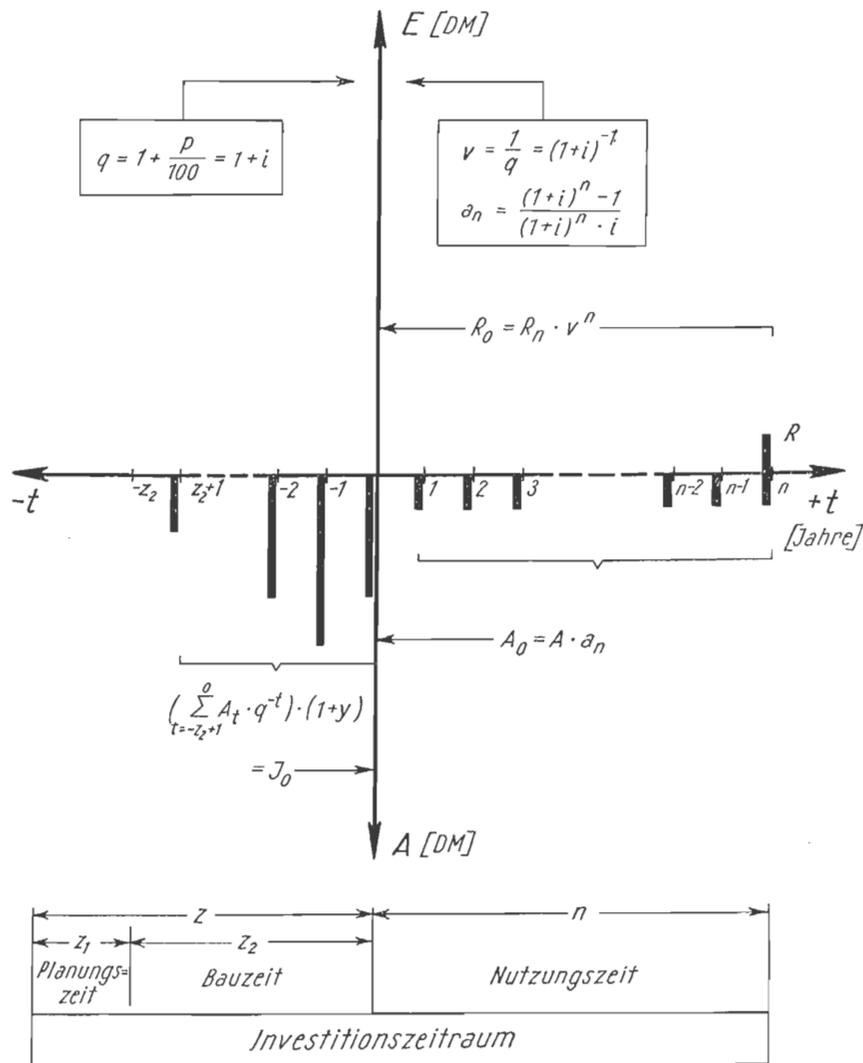


Bild 2: Schematische Darstellung der Kapitalwertbildung unter vereinfachenden Voraussetzungen anhand eines Terminplans

- A_t Ausgabe im Zeitpunkt t
- A durchschnittliche jährliche Ausgabe während der Nutzungszeit
- R_n Restwert am Ende der Nutzungszeit
- q Aufzinsungsfaktor
- y prozentualer Zuschlag für Planungsausgaben [%]
- v Abzinsungsfaktor
- a_n Barwertfaktor

Gleichung (4) lässt sich folgendermaßen umwandeln:

$$\begin{aligned}
 K &= (I_0 - R_n) \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} - R_n \cdot \frac{i}{(1+i)^n - 1} + R_n \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} + A \\
 &= (I_0 - R_n) \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} + R_n \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i - i}{(1+i)^n - 1} + A \\
 &= (I_0 - R_n) \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} + R_n \cdot i + A \quad (4a)
 \end{aligned}$$

Setzt man die laufenden Betriebsausgaben A eines Jahres gleich den jährlichen Betriebskosten K_B und trennt die Betriebskosten nach den Kosten der Unterhaltung K_U und den Kosten der Betriebsführung K_{BF} , so erhält man als endgültige Kostenformel

$$K = \underbrace{(I_0 - R_n) \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1}}_{\text{Zinsen und Abschreibung des Investitionskapitals}} + \underbrace{R_n \cdot i}_{\text{Zinsen des Restwertes}} + \underbrace{K_U + K_{BF}}_{\text{Betriebskosten}} \quad (5)$$

Besteht I_0 aus k Anlageteilen mit verschiedenen Nutzungszeiten, Restwerten und Unterhaltungskosten, so ergeben sich die durchschnittlichen Jahreskosten der Gesamtanlage

$$K = \sum_{j=1}^k \left\{ \underbrace{\left[(I_{0j} - R_{nj}) \cdot \frac{(1+i)^{n_j} \cdot i}{(1+i)^{n_j} - 1} + R_{nj} \cdot i \right]}_{K_K = \text{Kapitalkosten}} + \sum_{j=1}^k \underbrace{K_{Uj} + K_{BFj}}_{K_B = \text{Betriebskosten}} \quad (6)$$

Die in die Kostenformel (6) einzusetzenden Ansatzwerte erhält man wie folgt:

- I_0 in DM nach den veranschlagten Bauausgaben der zu vergleichenden Betriebssysteme, wobei die Investitionsausgaben nach dem Bauzeitenplan und evtl. auf den Zeitpunkt der tatsächlichen Bauausführung preisberichtigt anzusetzen sind.
- R_n in DM als Erfahrungswert in Form eines Prozentsatzes von I_0 .
- n in Jahren als voraussichtliche Nutzungszeit.
- $i = \frac{p}{100}$ als Kalkulationszinsfuß im Kalkulationszeitpunkt.
- Bei den Betriebskosten (K_U und K_{BF}) sind nur die von dem Betriebssystem unmittelbar verursachten Kosten (Marginalkosten = Grenzkosten) in der Vergleichsrechnung anzusetzen, und zwar bei den Betriebsführungskosten nach dem Kostenstand zur Zeit der Inbetriebnahme. Damit erfasst man »die sich ändernden Kosten«, die beim Übergang von einem Betriebssystem auf ein anderes entstehen.
- K_U in DM/Jahr als Erfahrungswert in Form eines Prozentsatzes von I_0 .

2. Lohn- und Preisschwankungen

Bei dem Aufbau der Kostenformel (6) wurde unterstellt, daß die Betriebskosten während der Nutzungszeit nach dem Kostenstand der Inbetriebnahme des Investitionsobjektes konstant bleiben. Während der Nutzungszeit langlebiger Verkehrsinvestitionen ist jedoch meist mit steigenden Personal- und Sachkosten bei der Unterhaltung und Betriebsführung zu rechnen. In einem solchen Falle muß man, um Fehlinvestitionen zu vermeiden, entweder mit den prognostizierten Steigerungsraten die Rechnung nach der rechenaufwendigen Kapitalwertmethode erneut durchführen oder, ausgehend von den Annuitäten der Unterhaltung und Betriebsführung, eine Hochrechnung durchführen, die weniger rechenaufwendig ist und zum gleichen Ergebnis führt.

Man trennt die jährlichen Kosten der Unterhaltung und Betriebsführung jeweils nach ihren Anteilen an Personal- und Sachkosten. Dann werden die Annuitäten dieser Kostenbestandteile K' einzeln mit der voraussichtlichen, mittleren jährlichen Personal- bzw. Sachkostensteigerungsrate s_r hochgerechnet, auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme diskontiert und schließlich mit Hilfe des Annuitätenfaktors in äquivalente Reihen transformiert, deren einzelne Glieder während der Nutzungszeit als Durchschnittswerte gleich groß sind. Sollte der zugegebene seltene Fall sinkender Personal- oder Sachkosten zu erwarten sein, so ist s_r mit negativem Vorzeichen in der Rechnung zu berücksichtigen.

Als Nutzungszeit ist die mittlere Nutzungszeit n_m des Gesamtobjektes einzusetzen. Besteht das Investitionsobjekt aus k Einzelobjekten mit verschiedenen Nutzungszeiten, so kann man die fiktive, mittlere Nutzungszeit berechnen zu

$$n_m = \frac{\sum_{j=1}^k (I_{0j} - R_{nj})}{\sum_{j=1}^k \frac{I_{0j} - R_{nj}}{n_j}} \quad (7)$$

In Bild 3 ist schematisch der Terminplan für die nach Personal- und Sachkosten der Betriebsführung bzw. der Unterhaltung getrennten jährlichen Kostenbestandteile K' während der mittleren Nutzungszeit n_m unter Berücksichtigung der jeweiligen Kostensteigerung s_r dargestellt. Die Kostensteigerung soll im zweiten Jahr nach der Inbetriebnahme wirksam werden.

Unterstellt man, daß die Zahlung der jährlichen Personal- bzw. Sachausgaben am Ende des jeweiligen Betrachtungsjahres fällig wird, so ergibt sich bei einem kalkulatorischen Zinssatz i der auf den Beginn des Jahres der Inbetriebnahme diskontierte Kapitalwert.

$$K_0 = \left[K' + K' \cdot \frac{1 + s_r}{1 + i} + K' \cdot \frac{(1 + s_r)^2}{(1 + i)^2} + K' \cdot \frac{(1 + s_r)^3}{(1 + i)^3} + \dots + K' \cdot \frac{(1 + s_r)^{n_m - 1}}{(1 + i)^{n_m - 1}} \right] \cdot \frac{1}{1 + i} \quad (8)$$

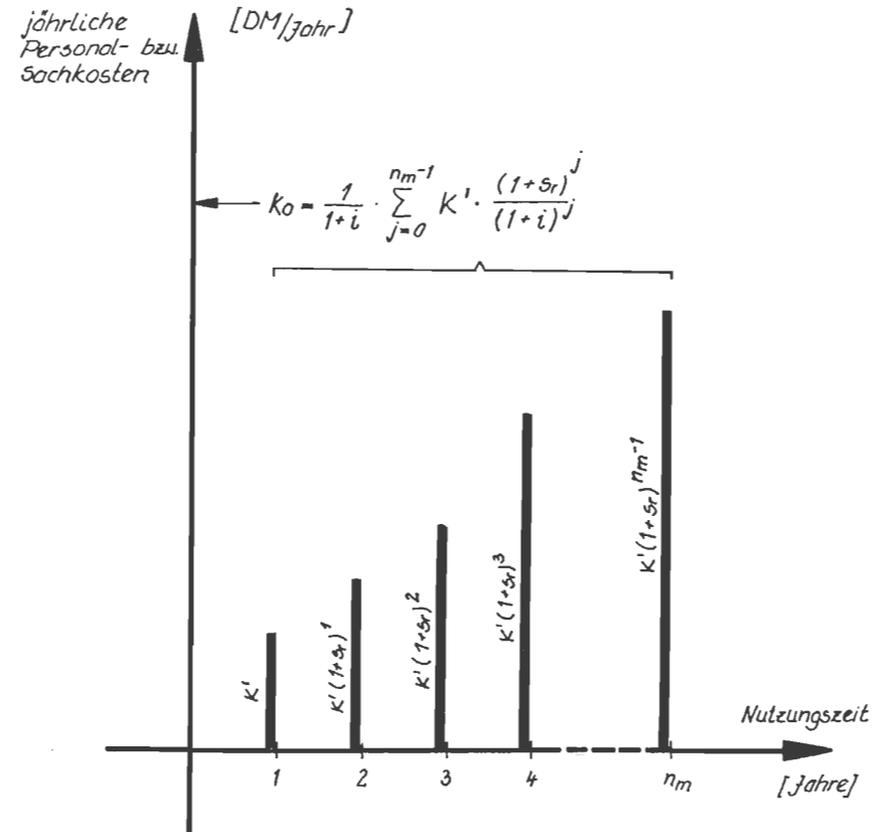


Bild 3: Schematische Darstellung der Kapitalwertbildung der jährlichen Personal- bzw. Sachkosten unter Berücksichtigung einer Kostensteigerungsrate

- K' Kosten im Jahr der Inbetriebnahme
- K_0 Kapitalwert
- i kalkulatorischer Zinssatz
- s_r Steigerungsrate

Der Ausdruck in der eckigen Klammer der Formel (8) ist eine endliche geometrische Reihe mit der Summe:

$$s_1 = K' \cdot \frac{\left(\frac{1 + s_r}{1 + i} \right)^{n_m} - 1}{\frac{1 + s_r}{1 + i} - 1} \quad \text{für } |s_r| > i \quad (9)$$

$$s_2 = K' \cdot \frac{1 - \left(\frac{1+s_r}{1+i}\right)^n}{1 - \frac{1+s_r}{1+i}} \quad \text{für } |s_r| < i \quad (10)$$

$$s_3 = K' \cdot n_m \quad \text{für } |s_r| = i \quad (11)$$

Damit erhält man als Kapitalwert K_0 für

$$\frac{|s_r| > i}{K_0 = s_1 \cdot \frac{1}{1+i} = K' \cdot \frac{\left(\frac{1+s_r}{1+i}\right)^n - 1}{s_r - i}} \quad (12)$$

$$\frac{|s_r| < i}{K_0 = s_2 \cdot \frac{1}{1+i} = K' \cdot \frac{1 - \left(\frac{1+s_r}{1+i}\right)^n}{i - s_r}} \quad (13)$$

$$\frac{|s_r| = i}{K_0 = s_3 \cdot \frac{1}{1+i} = n_m \cdot K' \cdot \frac{1}{1+i}} \quad (14)$$

Multipliziert man die Gleichungen (12) bis (14) mit dem Annuitätenfaktor $\frac{1}{a_{ni}}$, so erhält man unter Berücksichtigung der jeweiligen Steigerungsrate s_r die durchschnittlichen Jahreskosten

$$\bar{K}' = K_0 \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (15)$$

3. Kostenvergleich

Der hier behandelte Kostenvergleich geht davon aus, daß unter mehreren möglichen Betriebssystemen das aus ökonomischer Sicht vorteilhafteste gefunden werden soll. Änderung eines bestehenden zugunsten eines anderen Betriebssystems (Ersatzproblem) bleibt im Rahmen des vorliegenden Beitrags außer Betracht.

Am vorteilhaftesten ist diejenige Investition, deren durchschnittliche Jahreskosten am kleinsten sind. Sind die Prognosen für die Lohn- und Preisschwankungen abgesichert, können die nach Formel (15) hochgerechneten Werte in der Kostenformel (6) bei den Betriebskosten berücksichtigt werden. Können dagegen vom entsprechenden Fachdienst keine sicheren Ansatzwerte geliefert werden, erfolgt die ökonomische Beurteilung der Betriebssysteme erst einmal nach dem Kostenstand der Inbetriebnahme. Das Ergebnis kann dann mit den in Kapitel III angeführten Verfahren auf seine Empfindlichkeit gegenüber Lohn- und Preisschwankungen hin untersucht werden.

Nicht alle für das Verkehrsunternehmen relevanten Auswirkungen eines Betriebssystems sind monetär quantifizierbar. Diese imponderablen Faktoren können z. B. Betriebssicherheit, Reinlichkeit des Betriebsprozesses, soziale Rücksichten usw. beinhalten. Wenn nun statt des monetär günstigsten Betriebssystems mit den geringsten durchschnittlichen Jahreskosten K_{Min} ein Vergleichssystem mit den Kosten K_{Vergl} der Planung zugrunde gelegt wird, entstehen Mehrkosten ΔK .

$$\Delta K = K_{\text{Vergl}} - K_{\text{Min}} > 0. \quad (16)$$

Dem Vergleichssystem ist dann der Vorzug zu geben, wenn der Wert $K_{\text{Äqui}}$, der die Gleichung (16) zu Null werden läßt, ein Äquivalent zu nicht quantifizierbaren, aber positiv zu bewertenden Auswirkungen des Vergleichssystems darstellt, also

$$\Delta K = K_{\text{Vergl}} - K_{\text{Min}} - K_{\text{Äqui}} = 0$$

und damit

$$K_{\text{Äqui}} = K_{\text{Vergl}} - K_{\text{Min}} \quad (17)$$

Ähnliche Überlegungen gelten für Betriebssysteme, bei denen aufgrund der monetär bewertbaren Größen eine Indifferenz der Wirtschaftlichkeit auftritt.

III. Absicherung der Aussagen

Die Güte einer wirtschaftlichen Beurteilung von Betriebssystemen im Verkehrswesen hängt wesentlich von den der Investitionsrechnung zugrunde gelegten Eingangsdaten ab. Die Entscheidungsmodelle beruhen zum Teil auf Prognosen und Schätzungen. Der Planer muß also immer damit rechnen, daß der zukünftige Wert eines Parameters von dem zum Kalkulationszeitpunkt maßgebenden und in der Rechnung verwandten abweicht. Zwangsläufig stellt sich die Frage, wie empfindlich das Ergebnis der Investitionsrechnung gegenüber Veränderungen der Parameter ist. Die Methodik der dafür erforderlichen Zusatzrechnungen richtet sich danach, wie genau der entsprechende Fachdienst den Schwankungsbereich der Parameter eingrenzen kann.

1. Break-even-Analyse mit kritischen Werten

In der Praxis kommt es sehr oft vor, daß es dem Fachdienst nicht möglich ist, den Streubereich eines Parameters der Investitionsrechnung genau zu quantifizieren. Man ist aber bereit zu beurteilen, ob ein Ansatzwert des Parameters über oder unter einem vorgegebenen Wert liegen wird. Ein solcher vorgegebener und errechenbarer Wert ist der Kritische Wert (break-even-point), wo die Investitionsrechnung von einem positiven in ein negatives Ergebnis umschlägt.

Zur Absicherung der Aussagen der Investitionsrechnung beim Vergleich zweier Betriebssysteme können die durchschnittlichen Jahreskosten getrennt nach Kapitalkosten K_K und Betriebskosten K_B (vgl. Formel (6)) berechnet werden. Da bei Betriebssystemen mit gleicher Zielsetzung die Erträge, wenn überhaupt angebar, in der Regel gleich groß sind, können sie eliminiert werden. Damit ergibt sich das Auswahlkriterium für zwei zu vergleichende Betriebssysteme 1 und 2 formelmäßig zu

$$K_{B1} - K_{B2} \approx K_{K2} - K_{K1},$$

oder

$$\Delta K_B \approx \Delta K_K, \tag{18}$$

wobei ΔK_B und ΔK_K die Differenzen der durchschnittlichen, jährlichen Betriebs- und Kapitalkosten beider Systeme darstellen.

Meist wird der Fall auftreten, daß in einem Betriebssystem einem bekannten Mehr an Kapitalkosten, d. s. die Verzinsung und die Abschreibung des investierten Kapitals, Betriebsminderkosten gegenüberstehen. Der kritische Wert der Ungleichung (18) ist derjenige, der die Ungleichung zur Gleichheit bringt, also

$$\text{krit } \Delta K_B = \Delta K_K \tag{19}$$

Die Betriebskostenminderung ΔK_B muß so groß sein, daß sie den zusätzlichen Kapitaldienst ΔK_K deckt. Die aus Gleichung (19) berechnete Betriebskostenminderung stellt also den kritischen Wert für die Betriebskosten zweier Systeme dar, deren Kapitalkosten bekannt sind.

Umgekehrt stellt natürlich Gleichung (19) auch den kritischen Wert für die Kapitalkosten ΔK_K dar, wenn die Betriebskostendifferenz zweier Betriebssysteme bekannt ist. Die Fragestellung lautet dann, wie hoch die Investition bei einem kapitalintensiven Betriebssystem werden darf, ohne daß es im Vergleich zu einem beispielsweise personalintensiveren Betriebssystem unwirtschaftlich wird.

In der Regel werden Betriebssysteme im Verkehrswesen aus mehreren Anlageteilen mit unterschiedlichen Nutzungszeiten gebildet. Über die nach Gleichung (7) berechnete mittlere Nutzungszeit und mit Hilfe des Barwertfaktors

$$a_{n_m} = \frac{(1+i)^{n_m} - 1}{(1+i)^{n_m} \cdot i}$$

der dem reziproken Annuitätsfaktor entspricht, lassen sich die Kapitalkosten K_K auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme diskontieren. Das ergibt den Kapitalwert der Kapitalkosten eines Betriebssystems. Die Differenz dieser Kapitalwerte bei zwei Betriebssystemen wird als Nettokapitalwert C_N bezeichnet. Wendet man den Begriff des Nettokapitalwerts auf Gleichung (19) an, so läßt sie sich auch in der Form

$$\Delta K_B = C_N \cdot \frac{1}{a_{n_m}}$$

schreiben. Als n_m ist die mittlere Nutzungszeit anzusehen, zu der auch der Nettokapitalwert gehört.

Auflösen der Gleichung nach dem Annuitätsfaktor $\frac{1}{a_{n_m}}$ und dem Barwertfaktor a_{n_m} ergibt

$$\text{krit } \frac{1}{a_{n_m}} = \frac{\Delta K_B}{C_N} \tag{19 a}$$

und

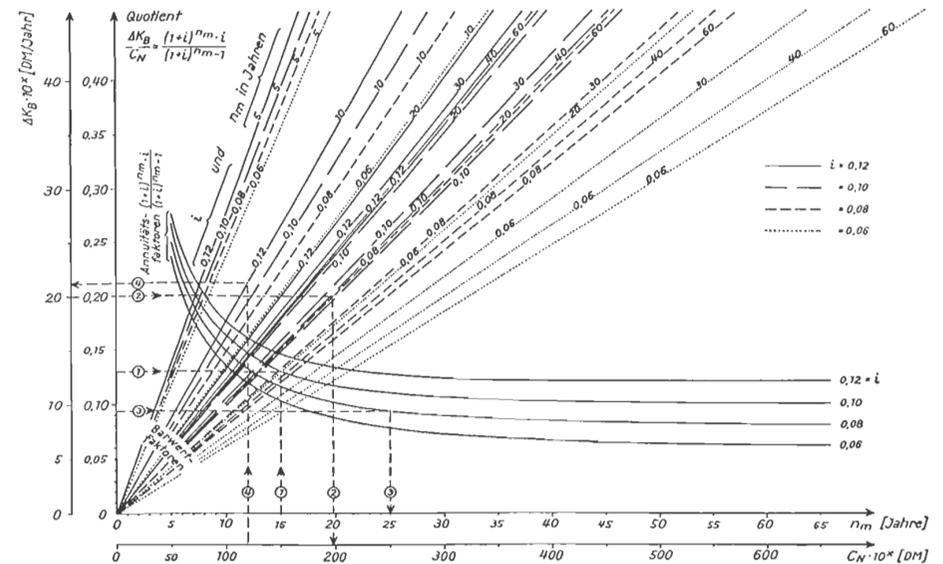
$$\text{krit } a_{n_m} = \frac{C_N}{\Delta K_B} \tag{19 b}$$

Die Gleichungen (19 a) und (19 b) besagen, daß der kritische Annuitäts- oder Barwertfaktor dem Quotienten $\frac{\Delta K_B}{C_N}$ oder seinem reziproken Wert gleich sein muß. Bei diesen

Faktoren können sowohl der kalkulatorische Zinssatz i als auch die mittlere Nutzungszeit n_m des Betriebssystems unsicher sein. Das Eliminieren des kritischen kalkulatorischen Zinssatzes i oder der kritischen mittleren Nutzungszeit ist rechentechnisch umständlich. Das läßt sich durch Anwendung von Zinstabellen vermeiden.

Die mit den angegebenen Formeln zu berechnenden kritischen Werte können auch in Form eines Nomogramms dargestellt werden. Das hat den Vorteil, daß alle kritischen Werte bei sich ändernden Randbedingungen in einer graphischen Darstellung zusammengefaßt werden. Aus dem Nomogramm auf Bild 4 könnten beim Vergleich zweier Betriebssysteme folgende kritische Werte abgelesen werden:

- krit i , wenn der Quotient $\frac{\Delta K_B}{C_N}$ und n_m gegeben sind (Ablesebeispiel 1);
- krit C_N , wenn ΔK_B , i und n_m gegeben sind (Ablesebeispiel 2);
- krit n_m , wenn der Quotient $\frac{\Delta K_B}{C_N}$ und i gegeben sind (Ablesebeispiel 3);
- krit ΔK_B , wenn C_N , i und n_m gegeben sind (Ablesebeispiel 4).



Bei mehreren unsicheren Parametern muß man einen Schritt weiter gehen. Man fragt nicht mehr, wie stark man einen Parameter ändern darf, ohne daß das Ergebnis der Investitionsrechnung umschlägt, sondern man ändert die Werte der Parameter gleichzeitig in einem fest vorgegebenen Verhältnis. Die Ausgangsdaten werden variiert, wobei die Auswirkungen auf die Lösung verfolgt werden. Der Grenzbereich wird nicht wie im Fall eines Parameters durch einen kritischen Punkt gebildet, sondern durch eine kritische Punktmenge, in der Regel eine Hyperbelfläche im n -dimensionalen Raum²⁾.

Möglichkeiten zu einer Analyse bei gleichzeitigen Variationen mehrerer Parameter bieten die Methoden der mathematischen Planungsrechnung³⁾.

2. Extrem- oder Eckwertberechnung

Zur Absicherung der Aussage einer Investitionsrechnung, die als Vorkalkulation erst einmal mit von den Fachdiensten angegebenen Ansatzwerten durchgeführt wird, kann u. U. eine Rechnung mit Extremwerten dienen. Hierbei ermittelt man bei unsicheren Ansatzwerten die Spannbreite, in der sich die Werte bewegen können. Die Frage lautet also: Welchen Wert hat der Ansatz mindestens (Minimalwert) und welchen kann er höchstens erreichen (Maximalwert). Bei der Rechnung mit solchen Eckwerten müssen die Extremwerte so in die Rechnung eingehen, daß eine »Verzerrung« der Rechnung stattfindet, d. h. es können jeweils nur alle das Ergebnis positiv beeinflussenden Eckwerte bzw. die das Ergebnis negativ beeinflussenden Eckwerte angesetzt werden. Führen solche Rechnungen mit Extremwerten zur gleichen Aussage wie die Rechnung mit den zuerst angenommenen (angegebenen) Werten, so kann das Ergebnis als sicher angesehen werden. Ergeben dagegen die optimistischen Eckwerte, daß ein Betriebssystem gegenüber dem Vergleichssystem wirtschaftlicher, die pessimistischen dagegen, daß es unwirtschaftlicher ist, wird die Entscheidung schwierig oder sogar unmöglich. Je mehr zweifelhafte Parameter in die Rechnung eingehen, um so unklarer wird das Bild.

3. Risikoanalyse bei gegebener Wahrscheinlichkeitsverteilung der Parameter der Investitionsrechnung

Kann der Fachdienst den Streubereich eines Parameters der Wirtschaftlichkeitsrechnung mit seiner Wahrscheinlichkeitsverteilung quantifizieren, kann auch das wirtschaftliche Ergebnis des Vergleichs von Betriebssystemen anhand einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beurteilt werden. Diese als Risikoanalyse bezeichnete Rechnung führt insbesondere dann, wenn es sich vom wirtschaftlichen Standpunkt um einen Grenzfall handelt, zu einem fester fixierten Ergebnis als bei der o. a. Absicherung mit Eck- oder kritischen Werten. Für den jeweiligen Fachdienst besteht die Schwierigkeit darin, den einzelnen Parametern der Wirtschaftlichkeitsrechnung bestimmte Wahrscheinlichkeiten zuzuordnen.

Die Risikoanalyse für den mit seiner Wahrscheinlichkeitsverteilung bekannten Parameter »Lebensdauer von Leitungsmasten« ergab, daß das Ergebnis eines Wirtschaftlichkeitsvergleichs im wesentlichen von der durchschnittlichen Lebensdauer, im schwächeren Maße aber auch von der Variationsbreite der Lebensdauerverteilung abhängt⁴⁾.

Solange die Anzahl der Parameter und deren mögliche Wahrscheinlichkeitsverteilung

²⁾ Hax, H., Investitionstheorie, 2. Auflage, Würzburg-Wien 1972.

³⁾ Müller-Meybach, H., Operations Research, 2. Auflage, München 1971; Dinkelbach, W., Sensitivitätsanalysen und parametrische Programmierung, Berlin-Heidelberg-New York 1969.

⁴⁾ Hegner, Th., Die Methode der Wirtschaftlichkeitsrechnung nach E. Schneider und ihre Anwendung auf Anlagegüter mit statistisch schwankender Lebensdauer, in: Zeitschrift für das Post- und Fernmeldewesen (1959), Nr. 19.

gering ist, bleibt auch der Rechenaufwand in erträglichen Grenzen. Bei steigender Parameterzahl ist jedoch ein Durchrechnen sämtlicher Kombinationen nicht mehr möglich. Auf das Durchrechnen sämtlicher Kombinationen kann verzichtet werden, wenn man die sogenannte Monte-Carlo-Methode für die Behandlung solcher Aufgaben anwendet⁵⁾. Dabei sollte zunächst mit Hilfe einer Analyse der kritischen Werte festgestellt werden, welche Parameter einen nicht vernachlässigbaren Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit der betrachteten Betriebssysteme haben. Diesen Parametern ordnet man dann die vom Fachdienst angegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu und ermittelt mit der Monte-Carlo-Methode die entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung der durchschnittlichen jährlichen Kosten, indem man durch Zufallsauswahl einen Wert je Parameter herausgreift und in die Wirtschaftlichkeitsrechnung einführt. Das Verfahren wird so oft wiederholt, bis das Ergebnis mit statistischer Sicherheit angegeben werden kann. Mit der Monte-Carlo-Methode können beliebige Wahrscheinlichkeitsverteilungen erfaßt werden.

IV. Schlußbetrachtung

In die wirtschaftliche Beurteilung von Investitionen im Verkehrswesen müssen alle Betriebssysteme, die nach technischen Gesichtspunkten eine vorgegebene Zielvorstellung erfüllen, einbezogen werden. Anhand der angegebenen praktikablen Rechenformeln für die Investitionsrechnung kann ein wirtschaftlicher Vergleich der Betriebssysteme durchgeführt werden.

Jede auf zukünftige und damit schwer abschätzbare Zahlungen aufbauende Investitionsrechnung ist mit Unsicherheiten behaftet. In dem Bestreben, den Produktionsfaktor »Mensch« durch den Produktionsfaktor »Kapital« zu ersetzen, weil eine einmal getätigte Investitionsausgabe in ihrer monetären Wirkung während der Nutzungszeit nicht steigt, dagegen Löhne und Gehälter auch in Zukunft steigen werden, sollte bei einer Entscheidungsunsicherheit das Ergebnis auf solche zukünftigen Einflüsse hin untersucht werden. Dieser und ähnliche Parameter einer Investitionsrechnung können auf ihre Wirksamkeit im wirtschaftlichen Entscheidungsprozeß abgetastet werden. Break-even-Analysen, Eckwertberechnungen und Risikoanalysen bieten ein breites Feld von Absicherungsmöglichkeiten, die nicht ungenutzt bleiben sollten. Die Tatsache, daß Ansatzwerte unsicher sind, sollte kein Grund sein, auf Investitionsrechnungen zu verzichten. Vielmehr sollte man bemüht sein, die Aussage solcher Rechnungen abzusichern.

Geldwertschwankungen dagegen spielen bei Investitionsentscheidungen nur dann eine Rolle, wenn es fraglich ist, ob bei einer Geldentwertung mit den Abschreibungsbeträgen der Anschaffungsausgaben eine neue gleichwertige Ersatzanlage erstellt werden kann. Um hier sicherzugehen, könnte man die jährlichen Abschreibungskosten mit einer Inflationsrate hochrechnen und damit den höheren Wiederbeschaffungswert der Anlage sichern. Das sind aber rein kostenrechnerische Überlegungen, die für die Tarifbildung maßgebend sind. Da die Einnahmen eliminiert sind, gehören die Probleme Geldwertschwankungen und Kaufkraftverlust der Währungseinheit in den Bereich der Tarifgestaltung. Man kann von einer technischen Planung — wie im vorliegenden Fall — nicht verlangen, daß sie neben einem Rationalisierungserfolg auch noch alle zukünftigen Preissteigerungen aufängt. Ein solches Verlangen würde manchen rationellen technischen Fortschritt hemmen.

⁵⁾ Vischer, D. und Bohm, V., Die Beurteilung von Projekten anhand der Nutzen-Kosten-Analyse, Schweizerische Bauzeitung 1971 (89), Heft 52.

Die Zielfunktionen für Verkehrsinvestitionen werden von der Politik vorgegeben. Das heißt aber nicht, daß die Planung und Untersuchung der Investitionsobjekte nach politischen Maximen durchzuführen ist. Die Aufgabe heißt vielmehr, den Entscheidungsraum des Politikers abzustecken und ihm den Preis zu nennen, den ein Abweichen vom ökonomischen Prinzip fordern würde.

Summary

In case of investments-decisions transport-undertakings have to clear up, if the system of enterprise proposed for application represents the optimum not only as to technical execution but also with regard to works-economic aspects. To politicians who are judging from political-economic points of view the price has to be given which demands the depart from the works-economic optimum. By means of the given practicable calculating forms the works-economic comparison can be carried out. By ascertainment of critical values with the aid of break-even-analyses, the application of reference values and risk-analyses the sensibility of calculation at uncertain issue-values can be sounded and with it the risk of investment represented.

Résumé

Avant de prendre des décisions d'investissements l'entreprise de transport devrait éclaircir, si le système de service, dont l'application est proposée, représente l'optimum non seulement par rapport à l'exécution technique, mais aussi au point de vue de l'économie d'entreprise. Au politicien jugeant d'après les points de vue de l'économie politique il faut nommer le prix exigé en cas de l'éloignement de l'optimum ayant trait à l'économie d'entreprise. A l'aide des formules de calcul indiquées et partables on peut effectuer la comparaison économique de l'entreprise. En déterminant, à l'aide d'analyses break-even, de l'emploi de valeurs de référence et des analyses risque, il est possible de sonder la sensibilité de la calculation en cas de valeurs de compte incertaines et, par ce moyen, d'exposer le risque de l'investissement.

Struktur der qualitativen Anforderungen an den öffentlichen Personennahverkehr

VON DIPL.-VOLKSW. KARL-HANS WEIMER, BONN

I. Notwendigkeit der Attraktivitätssteigerung im öffentlichen Personennahverkehr

Die Nachfrage nach Personenverkehrsleistungen hat sich in den letzten 20 Jahren mit einer enormen Geschwindigkeit vergrößert. Da sich dieser Entwicklungsprozeß nahezu ungesteuert und ohne die erforderlichen ordnungspolitischen Eingriffe vollzogen hat, konnte es zu den inzwischen erreichten chaotischen Verkehrsverhältnissen der Gemeinden kommen. Bisher wurden nur in unzureichendem Umfang Maßnahmen verwirklicht, die einen relevanten Beitrag zur dringend notwendigen Verbesserung der Verkehrssituation zu leisten vermögen. Zwar hat man erkannt, daß es nur dann zu einer sinnvollen und verkehrlich erforderlichen Aufgabenteilung zwischen öffentlichem Personennahverkehr (ÖPNV) und Individualverkehr kommen kann, wenn man die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs in erheblichem Ausmaß zu steigern vermag. Diese Erkenntnis wurde bisher aber nicht in problemadäquatem Umfang in die Praxis umgesetzt.

Das Spektrum der potentiellen Maßnahmen zur Verbesserung des ÖPNV ist umfangreich. Es erstreckt sich auf alle Ebenen der Verkehrswertigkeit. Jede dieser Qualitätsdimensionen ist durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflussbar. Auf diese Bestimmungsgrößen der Attraktivität des Verkehrsangebots des ÖPNV ist u. a. die deutsche Sachverständigenkommission in ihrem vor zehn Jahren veröffentlichten, heute aber immer noch aktuellen »Bericht über eine Untersuchung von Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse der Gemeinden« ausführlich eingegangen. Daß aber die verschiedenen Qualitätsdimensionen unterschiedliche Einflußintensitäten auf das Verkehrsangebot besitzen und deshalb auch nicht alle in gleichem Ausmaß sinnvolle Ansatzpunkte für qualitätsbezogene Maßnahmen sind, zeigen die Ergebnisse einer Fragebogenaktion, die zu Beginn des Jahres 1974 bei den Mitgliedsbetrieben des VÖV durchgeführt wurde und auf die im folgenden näher eingegangen werden soll.

II. Ziele der demoskopischen Marktanalyse

Die durchgeführte Befragung war auf eine Ermittlung der Einflußintensitäten verschiedener in Abbildung 1 genannter Qualitätsebenen auf ein für die Kunden des ÖPNV wünschenswertes Verkehrsangebot ausgerichtet. Adressat der Befragung war das Management der 172 Verkehrsbetriebe, die im Jahre 1972 Mitglied des VÖV waren. Dieser Personenkreis, der u. a. deshalb ein sinnvoller Partner für das gesetzte Untersuchungsziel ist, weil er einmal seine Funktionen nicht zuletzt auch als Treuhänder der ÖPNV-Kunden ausübt und weil er zum anderen im erforderlichen Umfang über Expertenwissen verfügt, wurde gebeten, über eine Punktbewertung den Grad der Bedeutung einzelner Qualitätskomponenten für ein attraktives Verkehrsangebot festzulegen. Bei der Bewertung konnte zwischen folgenden sieben verschiedenen Intensitätsgraden gewählt werden: