OPTIMIERUNG DES FAHRZEUGBEDARFS FÜR DEN STÄDTISCHEN MASSENVERKEHR

Von

G. Gyulai

Lehrstuhl für Verkehrsbetrieb Technische Universität Budapest

(Eingegangen in September 1973)

Vorgelegt von Prof. Dr. I. Turányi

In den vorigen Jahrgängen der Periodica Polytechnica wurde vom Verfasser eine Übersicht der Rolle der Operationsforschung in der Reihenfolge der Planungsschritte des städtischen Massenverkehrs gegeben [1]. Die Reihenfolge des Planungsprozesses beginnt nach der Systematisierung der Verkehrsbetriebslehre mit der Verkehrsvorhersage und dauert bis zur Fahrplanbildung für die Linien. Es mußte der stochastische Gedankengang der Operationsforschung angewandt werden, da — einerseits — der Zweck ist, eine optimale Entscheidung in bezug auf die Alternativen jedes einzelnen Schrittes zu treffen, und — anderseits — durch den Massenverkehr die Kriterien eines massenhaften Zufallsereignisses erfüllt werden. Bei der Planung der Fahrgastströme und auf deren Grundlage der Planung von Linien wurden auf das Verkehrsnetz — als isomorphen Graphen — die Methoden der auf den Begriffen und Gesetzmäßigkeiten der Theorie der Graphen beruhenden Netzwerktechnik angewandt. Nachfolgend werden die entworfenen Linien mit Fahrzeugen und Personal versehen, und erst in Kenntnis des Fassungsvermögens der Fahrzeuge kann die Fahrplanbildung in Angriff genommen werden.

I.

Im vorliegenden Beitrag soll über die Einzelheiten der *Versorgung mit Fahrzeugen* ein Überblick gegeben werden, umso mehr, da sich hier wieder Gelegenheit zur Anwendung des Gedankenganges der Operationsforschung und ihrer wichtigsten Modelle sowie zu deren rechentechnischer Algorithmisierung bietet. Die Berechnung um die Komponenten des Fahrzeugbedarfs zu optimieren, ist nämlich ein *komplexes* Problem und es scheint erwünscht, eine Übersicht der angewandten Modelle zu geben. Diese wird besonders dann vollständig sein, wenn auch der Abschnitt über Korrelationsrechnung der mathematischen Statistik zu dem Themenkreis der Operationsforschung gezählt wird, da ja diese auch die Abstraktion bezweckt — sehr oft — im Interesse der optimalen Entscheidung. Es wird zweckmäßig und zulässig sein, aus den Komponenten der Fahrzeugversorgung nach den Methoden der dynamischen Programmierung schon auf dieser Ebene ein zwischenliegendes *Teiloptimum* zu bestimmen, damit durch die Vereinigung aller Planungsphasen in ein einziges gemeinsames Optimum die Berechnung nicht allzu kompliziert wird [2].

1. Der Problemenkreis der Fahrzeugversorgung besteht nicht allein aus der Berechnung der erforderlichen Stückzahl und des notwendigen Personalstands; es muß zuerst über den einzusetzenden Verkehrszweig eine Entscheidung getroffen und in dessen Kenntnis das optimale Fassungsvermögen der Wagen (Wagenzüge) ermittelt werden. Wird die in der Zeiteinheit anfallende Fahrgastzahl mit dem Fassungsvermögen dividiert, erhält man über die Zahl der Fahrzeuge Aufschluß, die im Verkehr eingesetzt werden müssen; diese Zahl wird dann mit der aus Verkehrs- und technischen Gründen erforderlichen Reserve ergänzt.

Die Wahl des Verkehrszweiges bedarf deshalb der Überlegung, *da es kein einziges*, unter allen Bedingungen optimales Verkehrsmittel *gibt*, sondern der Einsatz von dem Verhältnis der ständigen (Anlage-) Kosten zu den veränderlichen Kosten abhängig ist. Es ist leicht einzusehen, daß *bei großem Fahrgastverkehr* beide Rücksichten für *schienengebundene* Fahrzeuge sprechen, wobei die Wahl auch durch den Umweltschutz, die Fahrerausbildung, durch die Anordnung in der Straßenmitte — von anderen Verkehrszweigen getrennt — in diesem Sinne beeinflußt wird. Die Einsatzgrenzen für verschiedene Verkehrszweige werden vor allem mit Hilfe von Wirtschaftlichkeitsberechnungen bestimmt. Es ist jedoch dabei darauf zu achten, daß man nicht mit gelegentlich gültigen, ortsgebundenen Daten und Verhältnissen rechne, sondern die Kosten prinzipiell begründet berücksichtigt, wobei *sämtliche* anfallenden Kosten zu beachten sind, wie z. B. beim Omnibus die Straßenbau- und -erhaltungskosten. Nur so erhält man von Kostenänderungen unabhängige, *allgemeingültige* Einsatzgrenzwerte. Abb. 1 zeigt die wirtschaftlichen Einsatzgrenzen für verschiedene Verkehrszweige, während die Kennwerte für die Kennzeichnung der Leistungsfähigkeitsgrenzen in Tabelle 1 zusammengestellt sind.

Nach den Ergebnissen der im Wissenschaftlichen Verein für Verkehrswesen 1969 veranstalteten Konferenz ist der Bau einer Straßenbahn bei 4000 bis 16 000 Fahrgästen in einer Richtung wirtschaftlich, bei Fahrgastzahlen zwischen 4000 und 6000 ist jedoch nur die Beibehaltung der vorhandenen, zweigleisigen Straßenbahn begründet. Die obere Grenze des Omnibuseinsatzes liegt bei 6000 bis 8000 Fahrgästen pro Stunde [3].

a) Für die Wahl unter den Verkehrszweigen auf der Grundlage der optimalen Wirksamkeit empfiehlt es sich, das wirtschaftsstrategische oder Wettbewerbsmodell der Operationsforschung heranzuziehen. Bei dem auf die *Spieltheorie* gegründeten Modell ist der eine Partner die die Entscheidung treffende Person, der andere kann im Falle von optimalen Betriebsleitungs-

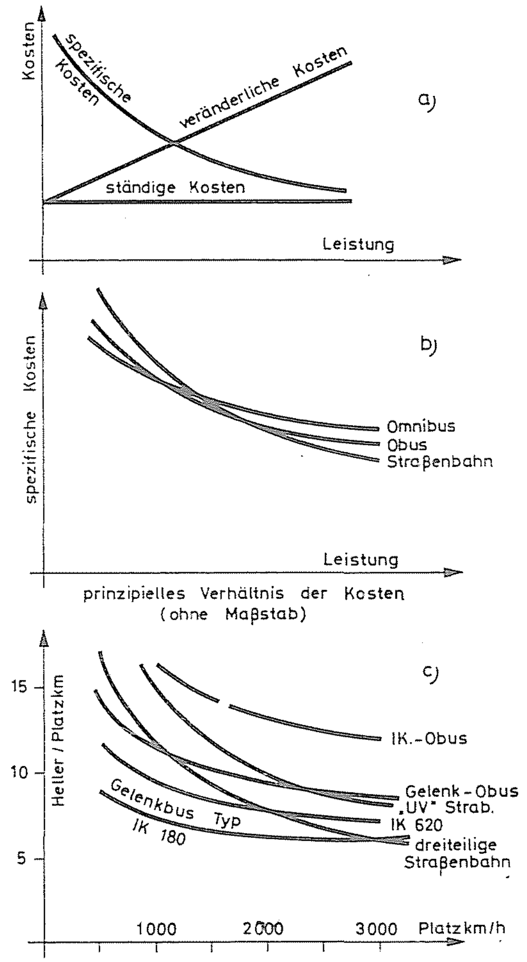

Abb. 1. Einsatzgrenzen der Verkehrszweige in Budapest

Tabelle 1

Leistungsfähigkeitsangaben

	Schnell-bahn	Straßen-bahn	Obus	Omnibus
Fassungsvermögen	1 000	300	150	150
Straßenflächenbedarf (in m²)	—	0,9	1,2	1,2
Leistungsvermögen/h	40 000	18 000	8000	8000
dynamische Fahrgastzahl (in 1000 Platzkm/h)	1 400	320	100	120
Geschwindigkeit (in km/h)	80	55	40	60
Höchststeigung (in %)	4	6	19	14
min. Wendehalbmesser (in m)	80	25	14	12

entscheidungen von der Mitgliedschaft einer Konferenz, der Natur — deren Vorgänge im voraus nicht bekannt sind — oder anderen Einflußfaktoren der Entscheidung dargestellt sein. Eine eindeutige Entscheidung ergibt sich, wenn die Entscheidungsmatrix einen »Sattelpunkt« hat — das ist die Größe »v« im Spiel —; ist kein Sattelpunkt vorhanden, spricht man von einer »Mischstrategie«, wobei als Ergebnis lediglich die Wahrscheinlichkeit der Anwendung der einzelnen Alternativen erhalten wird. Schon bei den angeführten früheren Untersuchungen erwies es sich als richtig, die Zahlenbeispiele aus dem Bereich des Stadtverkehrs zu nehmen, ja sogar in deren Rahmen an eine einzige Planungsaufgabe, die Wohnsiedlung Újpalota anknüpfend eine *Fallstudie* zu unternehmen. Daher schließen sich auch die Beispiele bei der vorliegenden Berechnung an letztere an.

Es sei das zu entscheidende Verkehrsproblem: auf einer gegebenen Wegstrecke den Massenverkehr unter Anwendung des wirtschaftlichsten Verkehrszweiges vorzusehen. Es seien die Zeilen »A« der Wirksamkeits- (im vorliegenden Falle *Rentabilitäts-*) *Matrix* die Verkehrszweige, deren wirksamer Einsatz von den verschiedenen wichtigsten Einflußfaktoren abhängt, die die Spalten »B« der Matrix darstellen. Es sei der Verkehrsbedarf vor Beginn der Bauarbeiten 1000 Fahrgastkm/h; in diesem Sinne werden die Matrixelemente mit Gewinn- (+) oder Verlustwerten (—), dazu mit Kosten und Einnahmen ausgefüllt. Welcher Verkehrszweig würde sich dann ergeben, wenn die Linie mit dem Verkehr einer neuen Wohnsiedlung belastet würde, durch den die gegenwärtige Spitzenstunden-Fahrgastzahl auf das Dreifache erhöht wird (Fall B_2)? Wie würde die Wahl dadurch beeinflußt, wenn z.B. die Kosten für letztere Variante nach Fall 3 mit einer 50prozentigen Strompreiserhöhung belastet würden, schließlich wenn die nutzbare Leistung und die Einnahme nach Fall 4 durch die Tariferhöhung geändert würden. Würde die Tariferhöhung auf die Fahrgastansprüche vermindernd wirken und der Verkehrsbetrieb dieser Verminderung durch eine herabgesetzte Leistung folgen, dann würde sich die Wirkung auch auf der Kostenseite bemerkbar machen. Die Wirksamkeitsmatrix zeigt aufgrund von praktischen Daten die

Tabelle 2

Kosten und Einnahmen je Stunde

	B_1 1000 Fahrgastkm/h		B_2 3000		B_3 + 50% Strompr.		B_4 2000 Fahrgastkm/h	
	Kosten	Einn.	Kosten	Einn.	Kosten	Einn.	Kosten	Einn.
Straßenbahn, alt, mit 3 Wagen	117	70	216	210	234	210	186	140
Gelenk-Obus	114	70	258	210	279	210	201	140
Omnibus Typ Ikarus 620	92	100	217	300	217	300	154	200

Kosten und Einnahmen für die Abfahrten innerhalb einer Stunde, darunter steht die aus diesen berechnete Rentabilität (das — Zeichen bedeutet Verlust).

Tabelle 3

Rentabilitätsmatrix

	Fall B_1	B_2	B_3	B_4	$\min_j$
A_1 Straßenbahn	−47	− 6	−24	−46	−47
A_2 Obus	−44	−48	−69	−61	−69
A_3 Omnibus	+ 8	+83	+83	+46	+ 8
$\max_i$	+ 8	+83	+83	+46	v = + 8

Da die Verbindung zwischen der Wohnsiedlung Újpalota und der inneren Stadt durch eine Straßenbahn bereits eine beschlossene Sache war, wurde von uns der Querverkehr der Wohnsiedlung untersucht, da hier viele Arbeitsfahrten vor allem in Richtung der Betriebe von Újpest und Mátyásföld und im allgemeinen nach dem XVI. Bezirk abgewickelt werden. Aus der Untersuchung ergab sich beim Matrixelement a_{31} der Sattelpunkt $v = 8$, was die Entscheidung für den Omnibus bedeutet. *In diesem Sinne wurde auch die Omnibuslinie 96 verlängert.* Als Fortsetzung der Berechnung wurde dann auch die Wahrscheinlichkeit der Fälle ($p_1 = 25\%$, $p_2 = 50\%$, $p_3 = 5\%$ und $p_4 = 20\%$) angenommen, und es ergab sich wieder der Omnibus.

b) Es wurde gleichzeitig auch ein Rechenprogramm in der Maschinensprache ALGOL für die rechentechnische Lösung der Rentabilitätsmatrix im allgemeinen Fall einer Mischstrategie ausgearbeitet, wo das Gleichungssystem nach der Gaußschen Methode der gleichen Koeffizienten aufgelöst wurde. Es seien hier statt des *Blockdiagramms* die einzelnen Schritte der Lösung kurz angeführt:

— Die Matrix mit $n \times m$ führt zu einer reinen Strategie, wenn ein Sattelpunkt vorhanden ist,
— es ist auch zu untersuchen, wenn die Wahrscheinlichkeiten der Alternativen abweichend sind,
— wenn es keinen Sattelpunkt gibt, dann soll auf Mischstrategie übergegangen werden,
— angenommen, daß nach Elimination der Dominanzen:
— eine quadratische Matrix verbleibt; dann ist
— das Gleichungssystem zu lösen, die Wahrscheinlichkeit zu berechnen.

2. Erst nachdem — in Kenntnis der zur Verfügung stehenden Typen — die Entscheidung über den Verkehrszweig getroffen ist, läßt sich das *Fassungs-*

vermögen der Wagenzüge (beim Omnibus der Wagen) *optimieren*, u.zw. davon ausgehend, daß bei Wagen mit großem Fassungsvermögen der Lohn des Fahrpersonals je Fahrgastplatz und der spezifische Betriebsstoffverbrauch geringer sind, jedoch infolge des weniger dichten Verkehrs der Zeitgleichwert der Wartezeiten der Fahrgäste höher sein wird. Die Summe dieser Größen ist in der Weise zu minimalisieren, daß als notwendige Bedingung die erste Ableitung gleich 0 gemacht wird (die zweite Ableitung soll positiv sein). Nach dem erhaltenen optimalen Fassungsvermögen wird die notwendige Folgezeit ermittelt.

$$\text{Abfahrten je Stunde} = \frac{\text{Fahrgastzahl/h}}{\text{Fassungsvermögen/Wagenzug}} \text{ und die}$$

$$\text{Verkehrsdichte} = \frac{60}{\text{Abfahrten}} \text{ Min}$$

Daraus ergibt sich schließlich der

$$\text{Fahrzeugbedarf} = \frac{\text{Umlaufzeit (in Min)}}{\text{Dichte}}.$$

3. Zu der so erhaltenen *Wagenzahl* für den Verkehr ist zuerst die für den Betriebsdienst erforderliche Reserve hinzuzugeben. *Ein Ersatzwagen* wird dann eingesetzt, wenn die Endhaltestelle von der Strecke die Mitteilung erhält, daß voraussichtlich eine volle Fahrt ausbleiben wird. Früher wurde nachgewiesen [1], daß die Umlaufzeit (Hin- und Rückfahrt) nach einer *Normalverteilung* verläuft, schwankt, da sich auch ihre Komponenten und die Geschwindigkeit so verhalten (Abb. 2). Aus der Normalverteilung folgt, daß

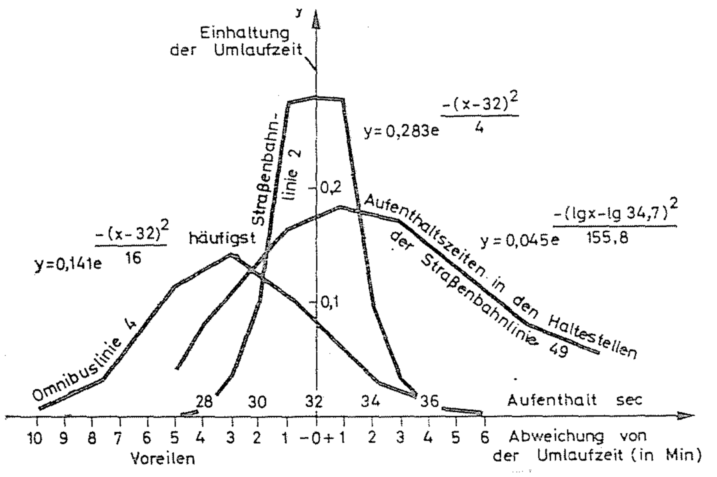

Abb. 2. Verteilung der Umlaufzeiten und Aufenthalte

unter Anwendung der Fehlertheorie die Formel *der Verspätung* wie folgt lautet: $\Delta = t \cdot \sigma$. In der Formel ist t der der gewünschten Wahrscheinlichkeit entsprechende Zuverlässigkeitsindex. Beträgt z. B. die gemessene Streuung 5 Min und die vorgeschriebene Wagenfolgezeit 3 Min, dann ist $t = 3/5 = 0{,}6$; dazu gehört aus der kumulativen Verteilungsfunktion die einseitige Wahrscheinlichkeit (nur die Verspätung) 27,4%. Um zu entscheiden, ob es bei dieser Wahrscheinlichkeit des Ausbleibens einer Fahrt zulässig sei, einen Ersatzwagen zu fordern, müssen die Amortisation des Ersatzwagens und die Lohnkosten dem Zeitgleichwert der sich bis ans Ende der Spitzenzeit anhäufenden Fahrgastwartezeiten gegenübergestellt werden. Die *Rechenprogramme* in der Maschinensprache ALGOL für Umlaufzeit und optimale Reserve stehen gleichfalls zur Verfügung [2].

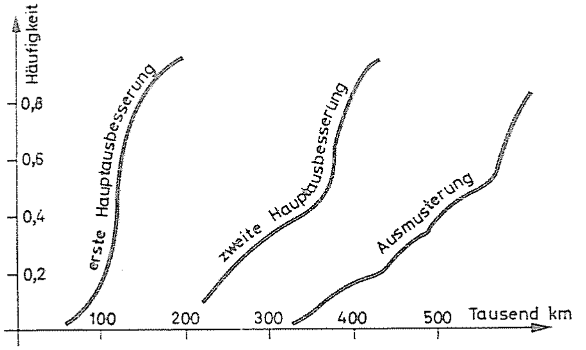

Abb. 3. Verteilung der Laufleistungen

4. Die für den Verkehr erforderliche Wagenzahl ist mit dem Wagenbedarf der *technischen Dienste* zu ergänzen. Das betrifft den regelmäßigen Ersatz für die zwecks verschiedener Reparaturen und Überholungen in die Hauptwerkstatt sukzessive einberufenen Wagen sowie den Ersatz für auf der Strecke schadhaft gewordene und in die Wagenhalle zurückkehrende Wagen.

a) Die gleichzeitig angeschafften Wagen werden offenbar nicht alle zu gleicher Zeit einer *Hauptreparatur* unterzogen, weil weder der Tageslauf derselben noch die Kilometerzahl, nach der an den Wagen die Hauptreparatur ausgeführt wird, gleich sind. Die Werte beider Parameter ändern sich je Wagen, wobei sie nach den Untersuchungsergebnissen der *Normalverteilung* folgen (Abb. 3). Unter gemeinsamer Berücksichtigung dieser beiden Verteilungen läßt sich mit Hilfe einer *Simulationsmethode* — z. B. der Monte Carlo-Simulation — vorhersagen, auf wie viele Hauptreparaturen z. B. in einem Vierteljahr zu rechnen ist. Die Voraussetzung ist, daß es sich um stochastische Erscheinungen handelt; dann kann die Wirklichkeit simuliert werden, indem man den der Zahlentafel entnommenen zufallsbestimmten Zahlen zuerst die

Häufigkeit der Tagesläufe zuschreibt und diese in Laufgruppen einordnet. Verfährt man in der gleichen Weise mit den geleisteten Kilometerzahlen zwischen zwei Hauptreparaturen, kann die zusammengesetzte Wirkung abgeschätzt werden. Daraus erhält man, nach welchem Gesamtlauf Wagen mit welchem Tageslauf in Hauptreperatur kommen, und in Kenntnis der Reparaturdurchlaufzeit läßt sich ermitteln, wie viele Wagen in einem beliebigen Zeitpunkt in Reparatur sein werden [4].

b) Die im Verkehr erforderliche Zahl der Fahrzeuge muß auch aus dem Grund erhöht werden, da auch die *auf der Strecke schadhaft gewordenen* und nach der Werkstatt abgeschleppten Wagen ersetzt werden müssen. Es wurde — bei einem Korrelationskoeffizienten $r = 91$ — zwischen der Zahl Y der Schadensfälle und der geleisteten mittleren Kilometerzahlen der Wagen x (x in 1000 km) eine *lineare regressive* Beziehung gefunden:

$$Y = 0 + 4{,}18x .$$

Auch das *Rechenprogramm* für die lineare regressive Berechnung der auf der Strecke schadhaft gewordenen Wagen wurde ausgearbeitet, wobei auch die Streuungen ermittelt wurden.

5. Nachdem in dieser Weise für eine gewisse und für alle Linien der gesamte erforderliche Fahrzeugbestand zusammengestellt ist, bleibt noch die Frage offen, wann die Wagen *ausgemustert* und durch Neuanschaffungen ersetzt werden müssen? Es lohnt sich nicht, die Ausmusterung allzu sehr aufzuschieben, da dadurch die Erhaltungs- und Reparaturkosten stark ansteigen. Es stellt sich jedoch auch die Frage der *wirtschaftlichen Lieferungsgröße*, d.h. ob es sich lohnt, jeden Wagen genau im theoretisch ermittelten Zeitpunkt auszumustern, da ja die Anschaffung eines größeren Postens oder ein gruppenweiser Ersatzteilaustausch kostengünstiger sein können. Statt einer umständlichen Differenzierung der Kosten läßt sich das *Ersatzmodell* der Operationsforschung anwenden, nach dem die Anlage dann verkauft, das Fahrzeug dann ausgemustert werden muß, wenn der Jahresdurchschnitt der von Anfang an kumulierten Gesamtkosten im nächsten Jahr anzusteigen beginnen wird [5]. Auch für diese Berechnung ist das iterative *Rechenprogramm* fertiggestellt.

II.

Es wäre richtig, alle im Laufe der Fahrplanbildung erhaltenen Teiloptima zu einem komplexen Optimum zu synthetisieren, damit ein in einem Schritt optimierter Parameter an einer anderen Stelle keinen größeren Schaden verursacht. Alles zu einem einzigen Optimum zusammenzufassen ist jedoch selbst im Besitz einer Rechenanlage unmöglich, daher wird das nur bis zur Grenze der Wirksamkeit betrieben. Es empfiehlt sich also nur für die Ausrüstung mit Fahrzeugen ein Zwischenoptimum zu bestimmen, und dieses dann als »Paket« in das gesamte Optimierungsverfahren einzufügen.

a) Es sind im gesamten Fahrplanbildungsprozeß Schritte vorhanden — wie gerade die Ausrüstung mit Fahrzeugen —, wo mehrere Teiloptima berechnet werden mußten, und es gibt auch mitbewegliche Parameter. Die betriebstechnische, technologische Reihenfolge der Teiloptima wird bei der Anwendung der *dynamischen Programmierung* gestört und die Parameter müssen von einem neuen Gesichtspunkt, der *gegenseitigen Abhängigkeit* aus in eine Reihe geordnet werden. *b)* In dieser Beziehungsreihenfolge sind zahlreiche Abzweigungen, sogar Iterationen vorhanden. *c)* Es sind die wirksamsten Lenkungen auszusuchen, von denen die meisten Abhängigkeitsbeziehungen ausgehen; es ließ sich feststellen, daß die längste Operation gerade von der Entscheidung über den *Verkehrszweig* ausgeht und zugleich die endgültige Reihenfolge des Entwurfsprozesses angibt. *d)* Es gibt auch eine isolierte Operation und schließlich sind die Parameter, die nicht beeinflußt werden können, zu trennen.

In der dynamischen Programmierung des ganzen Planungsprozesses werden die »Lenkungen U« in der Reihenfolge stehen:

START Verkehrszweig ABZWEIGUNG: nach der optimalen Wegstrecke
U_1
optimaler Ersatz
U_2
zurück: Verkehrszweig (Iteration)
U_3
optimales Fassungsvermögen ABZW.: nach der opt. Weg
U_4
Umlaufzeit ABZW.: Wagen in Reparatur
U_5
optimale Reserve ABZW.: Zuordnungen
U_6
Entscheidung über Umsteigen (Linienlänge)
U_7 Gleiszahl in der Endhaltestelle.

Die dynamische Programmierung wird also in der Reihenfolge bzw. nach folgendem Schema durchgeführt:

$$W_{\mathrm{opt}} = W/U_1 \; \ldots \; U_7 \; (x_1 \; \ldots \; x_7)/ \rightarrow \mathrm{opt.}$$

III.

Die Optimierung der *Zuordnung von Personal* zu den Wagen stellt ein zweistufiges Problem dar; zuerst ist den Wohnort-Schwerpunkten entsprechend die Wagenhalle (Garage) zu suchen, wo das Personal in Stand genommen werden soll, damit die Summe der Dienstfahrzeiten minimal sei, dann ist zu bestimmen, von welchem Wagenschuppen welche Endhaltestellen versorgt werden sollen. Betrachtet man jedoch das Kostenverhältnis pro Stunde, stellt es sich heraus, daß die Frage des Personals in wirtschaftlicher Hinsicht in der Entscheidung des Problems eine geringe Rolle spielt und es genügt, die Zuordnung von Fahrzeugen zu optimieren und das Personal den Wagen zuzuordnen. Die Zuordnung von Fahrzeugen muß nun selbstverständlich für jeden Wagentyp getrennt durchgeführt werden; das ist *eine lineare Programmierungsaufgabe* nach dem Modell des *Transportproblems*. Die *Zielfunktion* ist das Minimum der Dienstwege, die Bedingungen sind Einhaltung der Werte von Quelle und Bedarf sowie positive Werte derselben und der Entfernungen.

Nach den vorigen Ausführungen wurden für die bereits entworfenen Linien die Allokation der aus sämtlichen Gründen erforderlichen Fahrzeugzahlen und die Folgezeiten (Verkehrsdichten) berechnet, nun kann die Fahrplanbildung für die betreffende Linie und die Organisation der Diensteinteilung des Personals begonnen werden. Die beschriebene Vorberechnung hat den Vorteil, daß die für die Fahrplanbildung erforderlichen Parameter nicht schätzungsweise angesetzt werden, was bei starkem Verkehr unzulässig ist.

Zusammenfassung

Bei den Planungsschritten in technologischer Reihenfolge des Massenverkehrs für Städte sollen der Gedankengang und die Modelle der Operationsforschung angewandt werden, damit die Wahl der für die Fahrplanbildung erforderlichen Parameterwerte durch Berechnungen meistens wirtschaftlicher Natur vorbereitet wird. In einem vorigen Heft der Periodica Polytechnica wurde die Anwendung der Netzwerktechnik in der Linienführung eingehend erörtert. Im vorliegenden Beitrag werden die ausführlichen Modelle für die Ausrüstung der Linien mit Fahrzeugen und Personal beschrieben, u.zw. die optimale Wahl des Verkehrszweigs sowie die Verkehrs- und technischen Komponenten der Berechnung des Fahrzeugbedarfs; schließlich wird auf die ausgearbeiteten Rechenprogramme für die Modelle hingewiesen und das Synthetisieren der hier angewandten Optima zu zwischenliegenden Teiloptima des gesamten Planungsprozesses behandelt.

Literatur

1. Gyulai, G.: Periodica Polytechnica M **12**, 395 (1968) und
   Gyulai, G.: Periodica Polytechnica ME **14**, 251 (1970).
2. Gyulai, G.: Közlekedéstudományi Szemle, **22**, 428 (1972).
3. Mészáros, K.: Városi közlekedéspolitika alapelvei. (Grundprinzipien der städtischen Verkehrspolitik). Konferenz des Wissenschaftlichen Vereins für Verkehrswesen 1969.
4. Csiki, K. (Redakteur): Gépjárműközlekedési üzemgazdaságtan. (Betriebswirtschaftslehre des Kraftwagenverkehrs) Műszaki Kiadó, Budapest, 1966.
5. Kaufmann, A.: Optimális programozás (Optimale Programmierung). Műszaki Kiadó, Budapest, 1964.

Dr. Géza Gyulai, 1117 Budapest, Schönherz Z. u. 25. Ungarn