Dozent GEORGE LELESCU

Über einige Rentabilitätsprobleme des Personeneisenbahnverkehrs

In der Arbeit werden mit den zugehörigen Ableitungen die Rentabilitätsbedingungen des Personenverkehrs nach Maßgabe der Entfernung und des Auslastungsgrads der Wagen und Züge festgelegt. Bei der Rentabilitätsbestimmung werden verschiedene Hypothesen berücksichtigt. Weiterhin werden die Anwendungsbedingungen der Tarifvorteile bei Sonderzügen studiert und bestimmt.

Vorliegende Ausführungen beziehen sich auf einige Aspekte der Rentabilität des Personenverkehrs unter Berücksichtigung der Entfernung und des Auslastungsgrads der Transportmittelkapazität.

Bekanntlich machen es die Betriebskosten und der entsprechende Reingewinn notwendig, Transportgebühre festzulegen. Diese zu entrichtende Gebühr muß ein durchschnittliches Einheitseinkommen sichern, daß die Selbstkosten des Transports und die entsprechende festgelegte Reingewinnquote deckt.

Die in der Fahrpreisliste für Personen festgelegten Transporttarife bilden in Geldform den Gegenwert der Transportleistung durch die Eisenbahnen, die dem Reisenden zugute kommt.

Die Rolle des Fahrpreises bei der Festlegung der Transportbedingungen und der Tarife besteht darin, die Betriebskosten zu decken und einen ständigen Reingewin zu sichern, d.h. die Mittel, die notwendig sind um die Transporte vorzunehmen und die einfache Reproduktion zu gewährleisten.

Gleichzeitig kann der Tarif auch einige spezielle Transport- und Gebührbedingungen berücksichtigen, wenn es darum geht, einen größtmöglichen Auslastungsgrad der Transportkapazität und die ständige Benützung dieser Kapazität zu sichern. In diesem Fall wird es möglich, vorteilhafte Reisebedingungen durch entsprechende Fahrpreise zu gewähren. Diese Minimalpreise müssen dennoch zumindest die Selbstkosten und die Reingewinnquote d.h. die Verkehrsrentabilität decken.

Um die allgemeine Rentabilitätsbedingung des Personenverkehrs unter Berücksichtigung der Entfernung und des Auslastungsgrads der Wagen und

Züge festlegen zu können, wollen wir von nachstehenden Gleichungen ausgehen:

$$S_c = S_{vc}\left[1 + \sqrt{\frac{2(25\,d + 8)}{d}}\right] \tag{1}$$

$$W = S_{vc}\left[d + \sqrt{2\,(25\,d + 8)}\right] \tag{2}$$

dabei bedeutet:

S_c = Selbstkosteneinheit in $\left[\frac{\text{Lei (Geldeinheit)}}{\text{Reisender} \cdot \text{km}}\right]$;

S_{vc} = der zu den variablen Ausgaben gehörende Selbstkostenteil in $\left[\frac{\text{Lei}}{\text{Reisender} \cdot \text{km}}\right]$;

d = effektive Transportentfernung in km;

W = spezifische Kosten je beförderten Reisenden in [Lei/Reisenden].

Nachstehend wird die Ableitung für die Gleichungen (1) und (2) wiedergegeben:

Für die Errechnung der Selbstkosten im Verhältnis zur Entfernung müssen die Kosten gemäß ihres Abhängigkeitsgrads zur Transportentfernung gruppiert werden.

Von diesem Gesichtspunkt aus gibt es nachstehende Kostenkategorien:

a) Die anfänglichen und endgültigen *Tarnsportvorbereitunskosten*, die von der Transportentfernung unabhängig sind, wie Kosten für die Handelstätigkeit auf den Bahnhöfen, Rangierkosten, Kosten für die Bahnhofsbeleuchtung.

b) *Die Kosten, die mit dem Transportumfang (Personenkilometer) direkt proportional sind* und je nach der Entfernung variieren, wie die Zugbegleitung, die Signalbeleuchtung, die Entlohung des Zug- und Lokomotivenpersonals, Brennstoff, Schmierung, Vorbereitung und Wartung der Lokomotiven, Reparatur der Lokomotiven und Waggons, Instandhaltung und laufende Reparatur des Bahnkörpers und der Schutzarbeiten.

c) *Kosten, die* im Verhältnis zum Transportumfang nach durchschnittlich Bahnnetzberechnungen *konstant sind*, die aber im Verhältnis zur Entfernung langsamer variieren als die Kosten unter Punkt b). Der Anteil der konstanten Kosten verändert sich, wenn die effektive Transportentfernung von der durchschnittlichen Transportentfernung abweicht. Zu diesen Kosten zählen die Fahrdienstleitung, die Zugbeeinflußung und Streckenblockung, der Streckenschutz und die Streckenrevision. In den festzulegenden Gleichungen werden diese Überlegungen berücksichtigt.

Nachstehende Bezeichnungen werden eingeführt:

S_{fc} = zu den konstanten Ausgaben gehöriger Selbstkostenteil in $\left[\frac{\text{Lei}}{\text{Reisender km}}\right]$;

d_0 = druchschnittliche von einem Reisenden zurückgelegte Entfernung in [km];

d = effektive von einem Reisenden zurückgelegte Entfernung;
C = Gesamtkosten im Personenverkehr in [Lei];
C_v = variable Kosten im Personenverkehr in [Lei];
C_f = konstante Kosten im Personenverkehr in [Lei];
C_k = entsprechendes Volumen an Personenkilometern.

Aus Buchhaltungs- und statistischen Angaben und aus den Berechnungen über die Aufschlüsselung der Kosten des Personen- und Güterverkehrs ist ersichtlich, daß unter durchschnittlichen Bedingungen der Anteil der variablen Kosten (Punkt b) im Vergleich zu den Gesamtkosten ungefähr 0,5 beträgt, d.h.:

$$\frac{C_v}{C} = 0{,}5$$

oder:

$$\frac{\frac{C_V}{C_k}}{\frac{C}{C_k}} = 0{,}5; \qquad \frac{C_V}{C_k} = S_{vc}; \qquad \frac{C}{C_k} = S_c$$

also:

$$\frac{S_{vc}}{S_c} = 0{,}5; \qquad S_c = 2\,S_{vc}$$

Die letzte für durchschnittliche Bedingungen geltende Gleichung ist auch auf durchschnittliche Transportentfernungen (d_0) anwendbar.

Die gesamten Selbstkosten S_c sind:

$$S_c = S_{vc} + S_{fc}$$

daraus folgt:

$$S_{fc} = S_c - S_{vc} = 2S_{vc} - S_{vc} = S_{vc}$$

Das heißt daß der zu den konstanten Kosten gehorige Selbstkostenteil ist bei mittleren Transportentfernungen dem Selbstkostenteil gleich, der zu den variablen Ausgaben gehört.

Bei mittleren Transportentfernungen steht für die spezifischen Kosten je beförderten Reisenden bezüglich der konstanten Kosten folgende Beziehung:

$$d_0 \cdot S_{fc} = d_o \cdot S_{vc}$$

Für eine gewisse Transportentfernung müßte der den konstanten Kosten zugehörige Selbstkostenteil, wenn es keine Restriktionen gäbe, wie folgt lauten:

$$\frac{d_o \cdot S_{fc}}{d} \qquad \left[\frac{\text{Lei}}{\text{Personen} \cdot \text{km}}\right]$$

Da die mittlere Entfernung von dem Ausdruck gegeben ist:

$$d_o S_{fc} = d_o S_{vc}$$

ergibt sich:

$$\frac{d_o S_{fc}}{d} = \frac{d_o \cdot S_{vc}}{d}$$

Diese Beziehung wäre für den Fall gültig, wenn die spezifischen Kosten den konstanten zugehörigen Kosten je beförderte Person für jede Entfernung dem Ausdruck entspräche:

$$w_o = d_o \cdot S_{fc}$$

Da es aber nicht logisch ist, bei kleinen Entfernungen die gleichen Kosten auszuschreiben wie bei großen, nimmt man an daß einige konstante Kosten, die von der Entfernung abhängig sind und den durchschnittlichen Anteil der konstanten Kosten verändern, von folgenden Ausdruck gegeben sind, der das Verhältnis $\frac{d_o}{d}$ ersetzt:

$$\frac{d_o}{d} \cdot f(d)$$

wobei $f(d)$ eine Funktion der Entfernung ist, die bestimmt werden muß und die das Verhältnis $\frac{d_o}{d}$ korrigiert, so daß der den konstanten Kosten zugehörige Selbstkostenteil für eine bestimmte Entfernung (d) nicht mehr von dem Ausdruck:

$$\frac{d_o \, S_{vc}}{d}, \text{ sondern von dem Ausdruck:}$$

$$\frac{d_o}{d} \cdot S_{vc} \cdot f(d) \qquad \text{gegeben ist.}$$

Für die Korrektionsfunktion $f(d)$ wurde eine parabolische Variation angenommen, da sie nicht linear und langsamer als die Variation einer Geraden, harmonisch verläuft.

Nach der Bestimmungsart der Korrektionsfunktion $f(d)$ ergibt sich, daß der Anteil der konstanten Kosten im Falle einer geringeren Entfernung als der durchschnittlichen wächst, und sich verringert wenn diese Entfernung größer ist als der Beziehungswert. Dies entspricht Vollauff den realen Bedingungen und beseitigt die angezeigten Nachteile.

Die Korrektionsfunktion besitzt die Form:

$$f(d) = \sqrt{p(d + a)}$$

Die Parameter p und a werden aus folgenden Anfangsbedingungen bestimmt:

Für $d = d_o$ müssen die Einheitsselbstkosten in $\left[\frac{\text{Lei}}{\text{Personen km}}\right]$ den Selbstkosten gleich sein, die der durchschnittlichen Entfernung (d_o) entsprechen.

Für $d = o$ müssen die spezifischen Kosten je beförderten Reisenden mit den spezifischen Kosten übereinstimmen, die den Vorbereitungskosten entsprechen.

Aus den durchschnittlichen Ergebnissen können die Vorbereitungskosten mit rund 0,24 Lei/Person angenommen werden. Der Ausdruck der Selbstkosten $S_c = S_{vc} + S_{fc}$ erhält nach der Korrektur die Form:

$$S_c = S_{vc} + f(d) \frac{d_o}{d} S_{vc} = S_{vc}\left[1 + \frac{d_o}{d} f(d)\right]$$

oder mit

$$f(d) = \sqrt{p(d + a)}$$

$$S_c = S_{cv}\left[1 + \frac{d_o}{d}\sqrt{p(d + a)}\right] \tag{4}$$

Die spezifischen Kosten je beförderte Person sind:

$$w = S_c d \text{ oder}$$

$$w = S_{vc}\left[d + d_o\sqrt{p(d + a)}\right] \tag{5}$$

Für die Bestimmung der Parameter p und a wird in der Gleichung (4) $d = d_o$ und in der Gleichung (5) $d = o$ angenommen.

Für $d = d_o$ müssen die Selbstkosten mit den druchschnittlichen Kosten gleich sein, für die der Ausdruck gilt:

$$S_c = 2S_{vc}$$

Daraus folgt, daß für $d = d_o$ der Ausdruck (4) die Form erhält:

$$2S_{vc} = S_{vc}\left[1 + \sqrt{p(d_o + a)}\right]$$

oder

$$1 + \sqrt{p(d_o + a)} = 2$$

$$\sqrt{p(d_o + a)} = 1$$

$$p(d_o + a) = 1$$

Im Ausdruck (5) müssen für $d = 0$ die spezifischen Kosten je Reisenden den Vorbeitungskosten gleich sein, für die der Wert von 0,24 angenommen wurde.

$$S_{vc} = d_o\sqrt{pa} = 0{,}24 \tag{7}$$

Das Produkt $S_{vc} \cdot d_o$ stellt die spezifischen Kosten je beförderten Reisenden dar, die zu den variablen Kosten gehören. Unter durchschnittlichen Bedingungen belaufen sie sich auf 3 Lei/Person.

Zieht man in Betracht, daß die durchschnittliche Transportentfernung bei ungefähr 50 km liegt, setzen wir in den Gleichungen (6) und (7) ein $d_o = 50$.

$$p(a + 50) = 1$$

$$3\sqrt{pa} = 10^{-2} \cdot 24$$

oder:

$$\left.\begin{aligned} pa + 50p &= 1 \\ pa &= 10^{-4} \cdot 64 \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

Wenn wir das System (8) lösen, erhalten wir:

$$50\ p = 1 - 10^{-4} \cdot 64$$

$$p = \frac{1}{50} - 10^{-6} \cdot 128$$

$$p = 0{,}02 - 0{,}000128 = 0{,}019872$$

wenn der Bruch 0,000128 nicht in Betracht gezogen wird, erhalten wir

$$p = 0{,}02 = 10^{-2} \cdot 2$$

Die zweite Gleichung des System (8) ergibt:

$$10^{-2} \cdot 2a = 10^{-4} \cdot 64$$

$$a = 10^{-2} \cdot 32$$

Die Korrektionsfunktion $f(d)$ erhält die Form:

$$f(d) = \sqrt{10^{-2} \cdot 2(d + 10^{-2} \cdot 32)}$$

Dies läßt sich auch wie folgt schreiben:

$$f(d) = 10^{-1} \sqrt{2\left(d + \frac{32}{100}\right)} = 10^{-1} \sqrt{2\left(d + \frac{8}{25}\right)} =$$

$$= \frac{10^{-1}}{5} \sqrt{2(25d + 8)} = \frac{1}{50} \sqrt{2(25d + 8)}$$

Die Gleichungen (4) und (5) erhalten für $d_o = 50$ die Form:

$$S_c = S_{vc}\left[1 + \frac{\sqrt{2(25d + 8)}}{d}\right] \tag{9}$$

$$w = S_{vc}\,[\,d + \sqrt{2(25d + 8)}[\tag{10}$$

Es verdient Erwähnung, daß die Berechnung der den variablen Kosten zugehörigen Selbstkostenteil (S_{vc}) in Abhängigkeit des Auslastungsgrads des rollenden Materials vorgenommen wird. Dabei wird das Streckenprofil nicht beachtet. Dies ist bei den Tarifproblemen nicht der Fall, die den Gegenstand des vorliegenden Studiums bilden. Bei anderen Studien muß man das Streckenprofil in Rechnung nehmen. In dem Falle wird S_{vc} als gewogener Durchschnittswert der Selbstkosten berechnet, der den verschiedenen Streckenprofilen entspricht. [1].

Auf die gleiche Weise werden die Gleichungen der Selbstkosten in Funktion der Entfernung für den Güterverkehr bestimmt [1].

Unter der hypothetischen Annahme, daß in einer gegebenen Situation der Auslastungsgrad der Transportmittel nicht beachtet wird und nur die effektive Entfernung gilt, so steht für den den variablen Kosten zugehörigen Selbstkostenteil (S_{vc}) der Druchschnittswert des gesamten Verkehrsnetzes, der dem durchschnittlichen Auslastungsgrad entspricht.

In den zu untersuchenden Fällen muß dieser Parameter in Funktion der Elemente ausgedrückt werden, die die Auslastung der Wagen und Zuggarnituren widerspiegeln.

Zu diesem Zweck wird ein Ausdruck benützt, durch den der zu den variablen Kosten gehörige Selbstkostenteil bestimmt werden kann in Funktion der Personenfrequenz je Zug und Achse.

$$S_{vc} = \frac{K_1}{W} + \frac{K_2}{\sigma} \tag{11}$$

wobei

W = Personenfrequenz je Zug;

σ = Personenfrequenz je Achse;

K_1 = komplexe spezifische Kosten je Zugkilometer. Darin sind inbegriffen: die Kosten für die Entlohnung des Zugs-, Rangier- und Lokpersonals; die Fahrzeichenbeleuchtung; die Vorbereitung, Zurüstung und Speisung der Lokomotiven; der Brennstoff; das Waschen, die periodische Wartung und Reparatur der Lokomotiven in Lokschuppen und in Lokomotivfabriken; der Schutz, die Revision, Instandhaltung und Reparatur des Gleiskörpers und der Gleisschutzarbeiten;

K_2 = komplexe spezifische Kosten je Achse-kilometer zu denen die Waggonrevisionen und die Waggonreparatur in Werkstätten und Fabriken gehören.

Aus K_1 und K_2 ist ersichtlich, daß es sich um *direkte Kosten* handelt, die den jeweiligen Zuggarnituren entsprechen.

Um den Anteil der Achsen je Klassewagen hervorzuheben, schreiben wir für den Parameter W den Ausdruck:

$$W = N\sigma \tag{12}$$

wobei:

N = Achszahl je Zug

Ferner notieren wir:

N_1 = Achszahl der I.-Klassewagen je Zug;

N_2 = Achszahl der II.-Klassewagen je Zug;

$$\frac{N_2}{K} = k$$

daraus folgt:

$$N_2 = kN;\ N_1 + N_2 = N \text{ also } N_1 = N - N_2 = (1 - k) \cdot N \tag{13}$$

Unter der Hypothese einer kompletten Auslastung der Achsen bei einem Durchschnittswert der Rumänischen Eisenbahnen von 18 Plätzen/Achse bei

II.-Klassewagen und 10,5 Plätzen/Achse bei I.-Klassewagen erreicht die Zahl der Reisenden unter voller Besetzung der Plätze folgende Werte:

In der II.-Klasse: $W_2 = 18\ kN$

In der I.-Klasse: $W_1 = 10{,}5\ (1 - k)N$

insgesamt: $W_m = W_2 + W_1 = [18\ k + 10{,}5\ (1 - k)]\ N = (10{,}5 + 7{,}5\ k)N$

oder:

$$W_m = 1{,}5\ (5k + 7)\ N \tag{14}$$

Bezeichnen wir mit σ_m die druchschnittliche Platzzahl je Achse unter der Klassenverteilung im Verhältnis:

$$\frac{N_2}{N} = k \text{ und } \frac{N_1}{N} = 1 - k$$

erhalten wir:

$$W_m = \sigma_m N \tag{15}$$

Vergleichen wir die Ausdrücke (14) und (15) dann erfahren wir daß

$$\sigma_m = 1{,}5\ (5\ k + 7) \tag{16}$$

Bezeichnet man mit α den Besetzungskoeffizienten der Plätze, im Falle der nicht vollen Besetzung ergibt sich:

$$\sigma = \alpha\sigma_m \qquad (\alpha \leqslant 1)$$

oder

$$\sigma = 1{,}5\ (5\ k + 7)\ \alpha$$

Setzen wir in die Gleichung (11) ein

$$\sigma = 1{,}5\ (5k + 7)\ \alpha;\ W = N\sigma = 1{,}5\ (5k + 7)\alpha\ N$$

erhalten wir:

$$S_{vc} = \frac{K_1}{1{,}5(5\ k + 7)\ \alpha N} + \frac{K_2}{1{,}5\ (5\ k + 7)\ \alpha} \tag{17}$$

oder

$$S_{vc} = \frac{K_1 + K_2\ N}{1{,}5(5\ k + 7)\ \alpha N} \tag{18}$$

Erzetzt man S_{vc} in den Ausdrücken (1) und (2) mit dem Ausdruck aus (18) ergibt sich für die Einheitsselbstkosten:

$$S_c = \frac{K_1 + K_2 \cdot N}{1{,}5(5k + 7)\ \alpha N}\ \left[1 + \frac{\sqrt{2(25\,d + 8)}}{d}\right] \tag{19}$$

die spezifischen Kosten je Reisenden:

$$w = \frac{K_1 + K_2\ N}{1{,}5(5k + 7)\ \alpha\ N}\ [d + \sqrt{2(25\ d + 8)}] \tag{20}$$

Die Ausdrücke (19) und (20) werden vereinfacht wenn man für bestimmte Parameter konstante Durchschnittswerte einsetzt und als variable Parameter vorerst nur den Besetzungsgrad der Plätze (α), die Achszahl je Zug (N) und die Entfernung (d) beibehält.

Aus der Struktur der Zuggarnituren unserer Eisenbahnen ergibt sich das ungefähr 70 Prozent der Achszahl eines Zuges zu II.-Klassewagen gehören, d.h.:

$$k = \frac{N_2}{N} \approx 0{,}7$$

Aus der Berechnung der Selbstkosten, die auf Grund von feststehenden Ergebnissen vorgenommen wurden, können für die spezifischen Kosten K_1 und K_2 folgende ungefähre Werte angenommen werden:

$K_1 \approx 12$ Lei/Zugkilometer; $K_2 \approx 0{,}15$/Achsekilometer.

Die Ausdrücke (19) und (20) ergeben nach der Berechnung:

$$S_c = \frac{12 + 0{,}15N}{15{,}75\,\alpha\,N}\left[1 + \frac{\sqrt{2(25\,d + 8)}}{d}\right] \tag{21}$$

$$w = \frac{12 + 0{,}15\,N}{15{,}75\,\alpha\,N}\left[d + \sqrt{2(25\,d + 8)}\right] \tag{22}$$

DIF RENTABILITÄTSBEDINGUNGEN JE NACH DEM BESETZUNGSGRAD DER PLÄTZE, BESTIMMT AUS DEM VERGLEICH DER KOSTEN UND DEM EINKOMMEN JE REISENDEN

Um den Rentabilitätsgrad im Verhältnis zur Besetzung der Platzzahl festzulegen, wird für das gesamte Verkehrsnetz eine durchschnittliche Zugzusammensetzung angenommen, die laut statistischen Angaben ungefähr 25 Achsen/Zug ausmacht. Setzt man diese Werte in die Ausdrücke (21) und (22) für N ein, so erhält man:

$$\frac{12 + 0{,}15 \cdot 25}{15{,}75 \cdot 25\,\alpha} = \frac{1200 + 15.25}{25 \cdot 1575\,\alpha} = \frac{25(48 + 15)}{25 \cdot 1575\,\alpha} = \frac{63}{1575\,\alpha} = \frac{1}{25\,\alpha}$$

daraus folgt:

$$S_c = \frac{1}{25\,\alpha}\left[1 + \frac{\sqrt{2(25\,d + 8)}}{d}\right] \tag{23}$$

$$w = \frac{1}{25\alpha}\left[d + \sqrt{2(25d + 8)}\right] \tag{24}$$

Abbildung 1 zeigt das Schaubild für S_c und w als Funktion der Distanz, bei einer durchschnittlichen Frequenz des Eisenbahnnetzes $\alpha = 0{,}65$ und für die Daten aus Tabelle 1.

Um das Einkommen je Reisenden festzulegen, wird von dem Personenfahrpreis ausgegangen, wobei als durchschnittliche Klassenbelegung die genannten Prozentsätze angenommen werden, und zwar für die II.-Klasse 70 Prozent der Achsen und für die I.-Klasse 30 Prozent.

Bezeichnet man mit t_2 und t_1 die betreffenden Fahrpreise für eine bestimmte Entfernung erhält man für den *durchschnittlichen Fahrpreis* den Ausdruck

$$t_m = \frac{0{,}7\,t_2 + 0{,}3\,t_1}{0{,}7 + 0{,}3} = 0{,}7\ t_2 + 0{,}3\ t_1$$

Tabelle 1

DIE WERTE FÜR S_c UND w IN FUNKTION DER ENTFERNUNG BEI EINER DURCHSCHNITTLICHEN ZUGBELEGUNG VON = 0,65

d	50	100	120	140	160	180	200	250	300	350
Sc	0,123	0,105	0,101	0,098	0,095	0,094	0,092	0,089	0,087	0,085
w	6,15	10,50	12,15	13,75	15,35	16,95	18,45	22,25	26,00	29,65
d	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1300	
Sc	0,083	0,081	0,079	0,078	0,077	0,076	0,075	0,074	0,073	
w	33,30	40,50	47,50	54,60	61,50	68,40	75,20	82,10	95,00	

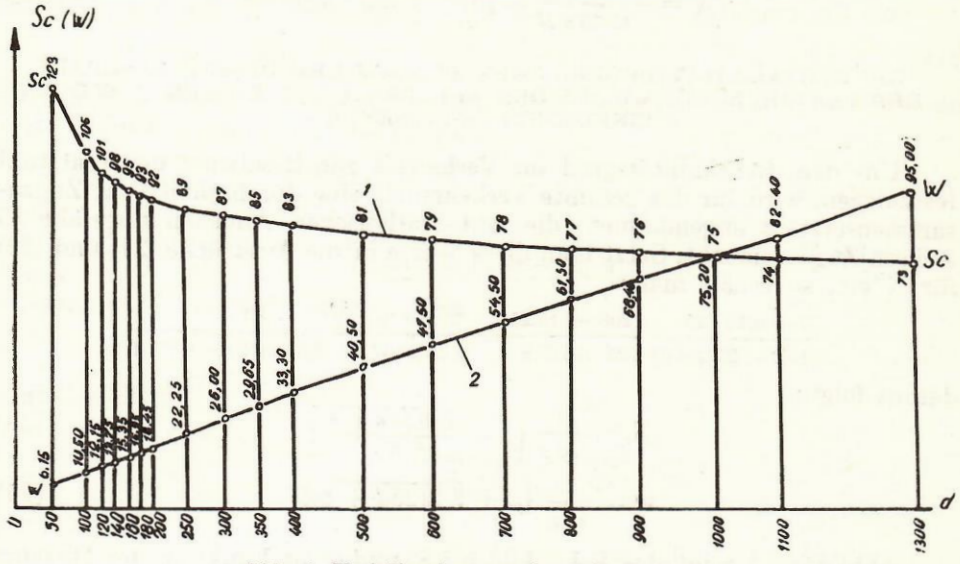


Abb. 1. Variationskurwen der Selbstkosten:

1. Variation der Selbstkosten (Lei/1000 Personenkm.) unter Berücksichtigung der Entfernung $\alpha = 0.65$; — 2. Variation der spezifischen Kosten Lei/beförderten Reisenden) die den Selbstkosten je Personenkm. entspricht.

Im Einklang mit der Fahrpreisliste für Personenwagen der Rumänischen Eisenbahnen besteht zwischen den Fahrpreisen für die I.-Klasse und jenen für die II.-Klasse die Beziehung:

$$t_1 = 1{,}5\ t_2$$

daraus folgt:

$$t_m = 0{,}7\ t_2 + 0{,}3 \cdot 1{,}5\ t_2 = (0{,}70 + 0{,}45)\ t_2 = 1{,}15\ t_2 \qquad (25)$$

In Zukunft wird an Stelle von t_2 die Bezeichnung t gesetzt, d.h. der mittlere Tarif für eine bestimmte Entfernung beträgt 1,15 t.

Bezeichnet man mit v das Einkommen je Personenkilometer auf eine bestimmte Entfernung und mit ρ $(0 < \rho < 1)$ einen Koeffizient für die durchschnittliche Tarifermäßigung, der den unentgeltlichen Fahrten und den Fahrpreisermäßigungen entspricht, die bei Abonnements von Arbeitern und Schülern und bei üblichen Dauerkarten gewährt werden, erhält man den Ausdruck:

$$v = 1{,}15\ \rho \frac{t}{d} \tag{26}$$

Aus statistischen Daten geht hervor, daß bei einer durchschnittlichen Transportentfernung je Reisender von rund 50 km nachstehender Reingewinn (Durchschnittwert) verzeichnet wird:

$$v_m = 0{,}135 \text{ Lei/Personenkilometer}$$

Der durchschnittliche Einheitstarif je Personenkilometer auf eine Entfernung von 50 km beträgt gemäß der Gleichung (25) und der geltenden Fahrpreise $\theta_m = \frac{1{,}15 \cdot 11}{50} = 0{,}253$ Lei/Personenkilometer; $\left(\theta_m = \frac{t_m}{d}\right)$.

Das Verhältnis zwischen dem durchschnittlichen Einheitseinkommen und dem durchschnittlichen Einheitsfahrpreis je Personenkilometer ist von dem Ausdruck gegeben:

$$\rho = \frac{0{,}135}{0{,}253} = 0{,}53$$

Mit einem bestimmten Approximationsgrad kann man annehmen daß dieses Verhältnis für jede Entfernung gilt. Infolgedessen kann man den Einheitsgewinn je Personenkilometer bzw. den Gewinn je beförderte Person auf eine bestimmte Entfernung erhalten in dem man die jeweilige Fahrpreisliste mit dem Verhältnis ρ multipliziert.

$$1{,}15\ \rho = 1{,}15 \cdot 0{,}53 \approx 0{,}6$$

$$v = 0{,}6 \frac{t}{d} \left[\frac{\text{Lei}}{\text{Personenkilometer}}\right] \tag{27}$$

Für den Gewinn je beförderte Person, den man mit V bezeichnet, erhält man:

$$V = vd = 0{,}6\ \text{t} \tag{28}$$

Damit die Selbstkosten und eine bestimmte Reingewinnquote vom Einkommen gedeckt werden, muß folgende Beziehung bestehen:

$$(1 + a)\ w \leqslant V$$

oder

$$\frac{(1 + a)[d + \sqrt{2(25d + 8)}]}{25\ \alpha} \leqslant 0{,}6\ t$$

Dabei bedeutet a den relativen Zuwachs der spezifischen Kosten je beförderte Person, der dem festgelegten Reingewinn entspricht.

Für die letzte Ungleichung gilt auch der Ausdruck:

$$\frac{(1+a)\left[d+\sqrt{2(25d+8)}\right]}{15\,\alpha} \leqslant t \tag{29}$$

Unter Annahme eines Grenzfalls kann die Ungleichung (29) zu einer Gleichung werden, durch die sich die minimale Platzbelegung bestimmen läßt, um durch festgelegte Fahrpreise die Selbstkosten und eine Reingewinnquote zu decken.

$$\alpha = \frac{(1+a)\left[d+\sqrt{2\,(25\,d+8)}\right]}{15\,t} \tag{30}$$

Das Problem läßt sich auch umgekehrt stellen: welches ist die Tarifermässigung (im Vergleich zum vollen Tarif), die einer Reisegruppe für eine bestimmte Platzbelegung zugestanden werden kann, um die Selbstkosten und die Reingewinnquote zu decken. Selbstverständlich muß dafür die Platzbelegung größer sein als im Falle der Anwendung des vollen Tarifs.

In dem Fall einer bestimmten gegebenen Platszbelegung (α_0), die größer ist als die Platzbelegung bei der Anwendung des vollen Tarifs, wird eine relative Preisermäßigung β zugestanden, für die der Ausdruck gilt:

$$1{,}5\,(1-\beta)\,t = \frac{(1+a)\left[d+\sqrt{2\,(25\,d+8)}\right]}{25\,\alpha_0}$$

oder

$$\beta = 1 - \frac{(1+a)\left[d+\sqrt{2\,(25\,d+8)}\right]}{28{,}75\,\alpha_0\,t} \tag{31}$$

Interessant wäre das Studium der Variation des Belegungsindexes (α), bzw. der relativen Herabsetzung der Fahrpreise (β) in Funktion der Entfernung. Dafür aber ist es notwendig, den Tarif t ebenfalls durch eine kontinuierliche Funktion der Entfernung auszudrücken.

Der Personentarif der Rumänischen Eisenbahnen ist ein Stufentarif mit gleichen Fahrpreisen für Entfernungen von 5, 10, 20, 50, 100 und sogar 200 km. Die Zonen sind um so größer, je größer die Transportentfernung ist.

Aus diesem Grunde erhöht sich der Tarif mit der Entfernung. Die Tariferhöhung ist weder direkt proportional noch folgt sie irgendeiner parabolischen Gesetzmäßigkeit.

Wir haben dennoch eine graphische Punktdarstellung (Abb. 2) des Koeffizienten vorgenommen, unter Annahme der gleichen Entfernungen wie in Tabelle I und der diesen Entfernungen entsprechenden Fahrpreise. Die Berechnung ist in Tabelle II für den Grenzwert von α enthalten, der nur der Deckung der Selbstkosten ($a = 0$) entspricht. Für den Fall, daß auch die Deckung einer Reingewinnquote angenommen wird ($a \neq 0$), werden die Werte der Tabelle II mit (1 + a) multipliziert. In Tabelle II sind auch die

Berechnungswerte für den Fall eines 10 prozentigen Reingewinns enthalten d.h. $1 + a = 1{,}1$.

Für die Berechnung des Indexes α wird der Ausdruck (30) für den Grenzwert $a = 0$ und als Beispiel auch für $a = 0{,}1$ benützt.

Um eine Erklärung für die graphische Darstellung des Belegungskoeffizienten α zu geben wurde in Abb. 2 auch das Einkommen je Reisenden eingezeichnet, das allein für die Deckung der Selbstkosten unter der Bedingung eines bestimmten Belegungsgrades der Plätze notwendig ist. Dafür steht die Gleichung (24) der spezifischen Kosten je Reisenden.

$$V = \frac{1}{25\,\alpha}\,[d + \sqrt{2\,(25\,d + 8)}]\;; \quad (V = w)$$

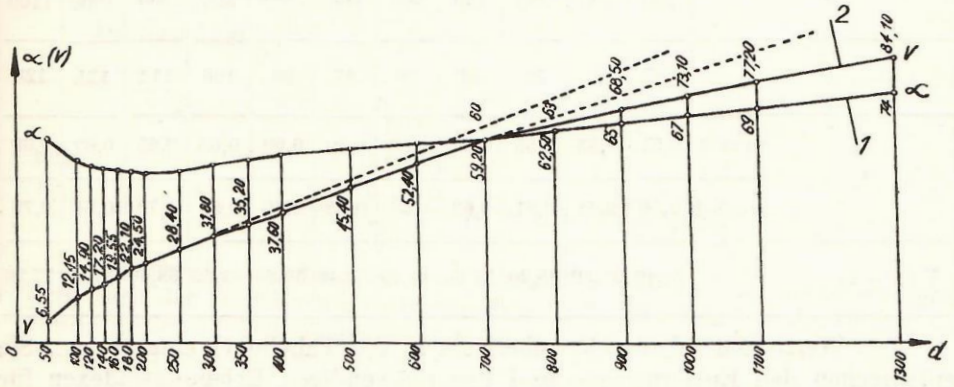


Abb. 2. Die Variation des Belegungskoeffizienten entsprechend der Entfernung und dem Tarif (1) und die entsprechende Variation des Reingewinns pro beförderten Reisenden (2),

Aus der Untersuchung der graphischen Darstellungen der Elemente α und V der Tabelle II ist folgendes ersichtlich:

In dem Zwischenraum 50 bis 200 km kann das notwendige Einkommen für die Deckung der Selbstkosten (ohne Reingewinn) mit der Entfernung proportional angenommen werden. Die Zunahmen sind den Differenzen der gleichen Entfernungen annähernd gleich. In dem Zwischenraum von 200 bis 700 km ist der Zuwachs des notwendigen Einkommens je Reisenden mit der Entfernung proportional. Die Zunahmen sind indessen im Verhältnis zur Entfernungsdifferenz kleiner als im Zwischenraum von 50 bis 200 km. Zwischen 700 bis 1300 km ist das Verhältnis zwischen dem Anwachsen des notwendigen Einkommens und der Entfernung kleiner.

Die Kurve des Belegungsindexes fällt im Zwischenraum von 50 bis 200 km ab. In diesem Zwischenraum steigt das Einheitseinkommen rasch mit der Entfernung. Angefangen von 200 km, wo das notwendige Einkommen langsamer zunimmt, muß auch der Belegungsindex der Plätze erhöht werden, um die langsamere Zunahme des Einkommens je beförderte Person zu kompensieren.

Tabelle II

Entfernung (d)		50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200
Personenfahrpreis (t)		11	13	15	17	19	21	25	29	33	37	41
Belegungskoeffizient der Plätze (α)	$a = 0$	0,61	0,59	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49
	$a = 0{,}1$	0,67	0,65	0,63	0,62	0,61	0,60	0,58	0,57	0,56	0,55	0,54
Einkommen je Reisender (V) für $a = 0$		6,55	7,80	9,10	10,20	11,45	12,45	14,90	17,20	19,55	22,10	24,5
d		250	300	350	400	500	600	700	800	900	1000	1100
t		47	53	58	64	76	87	99	106	114	121	128
α	$a = 0$	0,51	0,53	0,55	0,56	0,58	0,59	0,60	0,63	0,65	0,67	0,69
	$a = 0{,}1$	0,56	0,58	0,61	0,62	0,64	0,65	0,66	0,69	0,72	0,74	0,76
V (a = 0)		28,40	31,80	35,20	37,60	45,40	52,40	59,20	62,50	68,40	73,10	77,20

Die Werte für V wurden ebenfalls in die Tabelle II eingetragen. Sie entsprechen den Entfernungen und den notwendigen Belegungsindexen für den Fall $a = 0$ (ohne Reingewinn)

ANWENDUNGSBEDINGUNGEN DER TARIFERMÄSSIGUNGEN BEI SONDERZÜGEN

Im Falle von Ausflugssonderzügen mit voller Platzbelegung ($\alpha = 1$) deren durchschnittliche Zugzusammensetzung dem Durchschnittswert des Verkehrsnetzes entspricht ($N = 25$), kann aus der Gleichung (23) die mögliche maximale Preisermäßigung bestimmt werden, bei gleichzeitiger Deckung der Selbstkosten und einer Reingewinnquote (a).

Zu diesem Zweck wird in die Gleichung (31) $\alpha = 1$ gesetzt. Daraus folgt:

$$\beta = 1 - \frac{(1 + a)\left[d + \sqrt{2\,(25\,d + 8)}\right]}{25\,t} \qquad (32)$$

Wenn der Verkehr von Sonderzügen als zusätzlich erachtet wird, wobei, die Deckung der Selbstkosten auf die variablen Kosten beschränkt wird, so gilt die volle Deckung der Selbstkosten (variable Kosten plus konstante Kosten) als eine annehmbare Rentabilitätssicherung, ohne noch die Reingewinnquote gesondert festzulegen. In diesem Falle nimmt man $a = 0$.

Im folgenden befassen wir uns nicht mit der Festlegung der Tarifermäßigung unter den gegebenen Voraussetzungen. Es interessiert die Festlegung der minimalen Personenzahl je Zug im Verhältnis zur Entfernung und einer

bestimmten gegebenen Fahrpreisermäßigung. Berücksichtigt wird dabei die volle Deckung der Selbstkosten, die, wie gezeigt wurde, im Falle der Sonderzüge eine annehmbare Rentabilität sichert.

Zu diesem Zweck benützen wir die Gleichung (20) für die Berechnung der spezifischen Kosten je beförderte Person in Funktion der Entfernung, der Achszahl je Zug und des Belegungsgrads der Plätze.

$$w = \frac{12 + 0{,}15\,N}{1{,}5\,(5\,k + 7)\,\alpha\,N}\,[d + \sqrt{2\,(25\,d + 8)}]$$

Für $\alpha = 1$ und für $k = 1$.

Diese Werte werden eingesetzt in Anbetracht der Tatsache, daß das Verhältnis k der Achszahl der II.-Klassewagen zur ganzen Zuggarnitur gleich 1 ist, weil die Sonderzüge praktisch nur aus II.-Klassewagen zusammengesetzt werden.

Daraus folgt:

$$w = \frac{12 + 0{,}15\,N}{18\,N}\,[d + \sqrt{2\,(25\,d + 8)}]$$

oder

$$w = \frac{N + 80}{120\,N}\,[d + \sqrt{2\,(25\,d + 8)}]$$

Um eine Rentabilität zu sichern, muß w kleiner oder höchstens gleich dem Tarif der II.-Klasse für die jeweilige Entferung sein, für die eine relative Preisermäßigung β in Aussicht genommen wird. Das heißt also:

$$\frac{N + 80}{120\,N}\,[d + \sqrt{2\,(25\,d + 8)}] \leqslant (1 - \beta)\,t$$

Löst man diese Ungleichung im Verhältnis zu N ($N > 0$), so ergibt sich

$$N \geqslant \frac{80\,[d + \sqrt{2\,(25\,d + 8)}]}{120\,(1 - \beta)\,t - [d + 2\,\sqrt{(25 - d + 8)}]} \qquad (33)$$

Aus der Berechnungsformel für die Zahl der Reisenden je Zug (W) folgt:

$W = 1{,}5\ (5\ k + 7)\ \alpha\ N$; setzt man für $\alpha = 1$ und $k = 1$, so erhält man: $W = 18\ N$; $N = \frac{W}{18}$.

Die Ungleichung (33) erhält die Form:

$$W \geqslant \frac{1440\,[d + \sqrt{2\,(25\,d + 8)}]}{120\,(1 - \beta)\,t - [d + \sqrt{2\,(25\,d + 8)}]}\,. \qquad (34)$$

Die Ungleichung (34) bringt die Bedingung zum Ausdruck, die die Personenzahl je Zug erfüllen muß, damit bei einer gegebenen Tarifermäßigung eine Rentabilität gesichert wird, d.h. die Selbstkosten voll gedeckt werden. Das ergibt bei Sonderzügen einen annehmbaren Reingewinn.

Für den Grenzwert wird die Ungleichung (26) zu einer Gleichung. Tabelle III enthält die errechneten Werte für W für verschiedene Entfernungen. Die

angenommene Preisermäßigung erreicht 60 Prozent ($\beta = 0{,}6$). Als Berechnungsgrundlage wurde der Grenzwert angenommen.

$$W = \frac{1440\,[d + \sqrt{2(25\,d + 8)}]}{48\,t - [d + \sqrt{2(25\,d + 8)}]} \tag{35}$$

Tabelle III

d [km]	50	100	120	140	160	180	200	250	300	350	400
$t\left[\frac{\text{Lei}}{\text{Reisender}}\right]$	11	21	25	29	33	37	41	47	53	58	64
$W\left[\frac{\text{Reisender}}{\text{Zug}}\right]$	336	293	284	276	268	264	259	275	287	301	308
d [km]	500	600	700	800	900	1000	1100	1300			
$t\left[\frac{\text{Lei}}{\text{Reisender}}\right]$	76	87	99	106	114	121	128	140			
$W\left[\frac{\text{Reisender}}{\text{Zug}}\right]$	317	328	331	352	367	384	400	437			

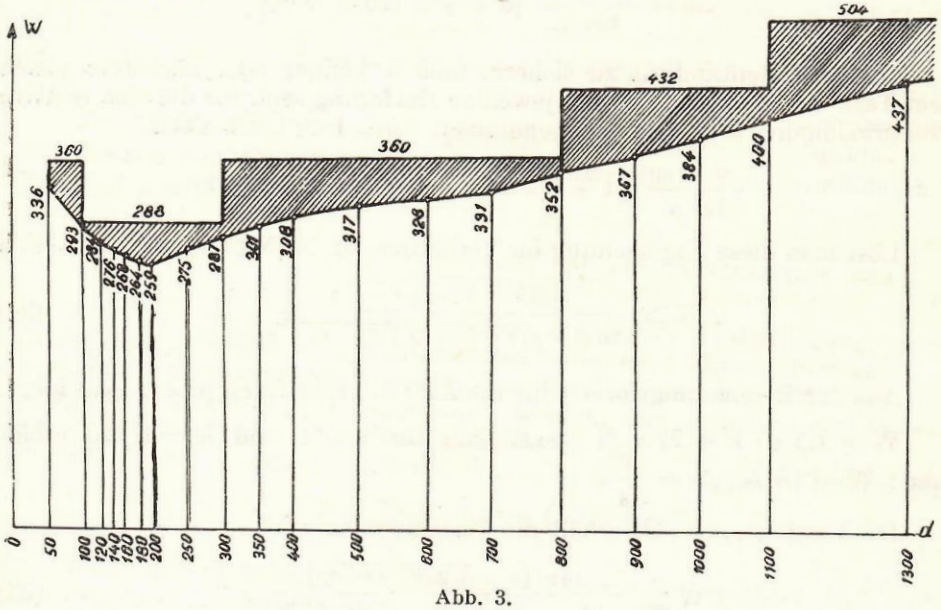


Abb. 3.

Abbildung 3 enthält der Tabelle III entsprechende graphische Darstellung der minimalen Personenzahl je Zug in Funktion der Entfernung. Diese Mindestzahl ist notwendig um eine Rentabilität durch volle Deckung der Selbstkosten zu sichern.

Selbstverständlich können die errechneten notwendigen Personenzahlen im allgemeinen nicht einer ganzen Waggonzahl entsprechen. Aus diesem

Grunde müssen Rentabilitätszonen festgelegt werden. Dabei ist zu beobachten in welcher Zone die entsprechende Fahrgastzahl je Zug vorzufinden ist, die einer ganzen Waggonzahl entspricht.

Aus Tabelle III ist ersichtlich das die kleinste Fahrgastzahl je Zug bei einer Entfernung von 200 km 259 beträgt.

$$3 \text{ Waggon} \cdot 72 \left[\frac{\text{Fahrgäste}}{\text{Waggon}}\right] = 216 \left[\frac{\text{Fahrgäste}}{\text{Waggon}}\right]$$

Die minimale Wagenzahl zu vier Achsen beträgt 4 Waggon je Zug.
In diesem Fall entsprechen:

Bei 4 Waggon je Zug 288 Fahrgäste
Bei 5 Waggon je Zug 360 Fahrgäste
Bei 6 Waggon je Zug 432 Fahrgäste
Bei 7 Waggon je Zug 504 Fahrgäste

Prüft man die Rentabilitätsbedingungen in Tabelle III, bzw. Abb. 3, so stellt man fest, daß die obigen Platzbelegungen für nachstehende Zonen Geltung haben.

Bei Entfernungen zwischen *101 und 300 km* sind die notwendigen Mindestwerte für W (Fahrgäste je Zug) kleiner als 288. Daraus folgt, daß die Rentabilitätsbedingung erfüllt wird, wenn in diesem ganzen Zwischenraum für W = 288 Fahrgäste/Zug, bzw. 4 Waggon angenommen werden.

Für Entfernungen zwischen *50 und 100 km* und zwischen *301 und 800 km* ist die notwendige Mindestzahl der Fahrgäste je Zug kleiner als 360. Demnach wird die Rentabilitätsbedingung mit W = 360 Fahrgäste, bzw. 5 Waggon je Zug in den Entfernungszonen von 50 bis 100 km und von 301 bis 800 km erfüllt.

Zwischen *801 und 1100 km* ist die notwendige Mindestzahl der Fahrgäste je Zug kleiner als 432 und entspricht einer Zuggarnitur von 6 Waggon. In dieser Zone wird die Rentabilität gesichert mit W = 432 Fahrgäste, bzw. 6 Waggon.

Zwischen *1101 und 1850 km* ist die notwendige Mindestzahl der Fahrgäste je Zug kleiner als 504 und entspricht einer Garnitur von 7 Waggon. W = 504 sichert demnach die Rentabilitätsbedingung für Entfernungen von 1101 bis 1850 km.

In Abb. 3 wurden die Rentabilitätszonen gemäß den obigen Entfernungen hervorgehoben. Daraus ist ersichtlich, daß die Rentabilität mit der Mindestzahl der Fahrgäste zwischen 100 und 300 km gesichert wird.

Es muss hervorgehoben werden das die Anwendung der Rentabilitätsbedingungen bei Sonderzügen nur der Erläuterung der Teorie dient.

BETRACHTUNGEN ZUR WARIATION DER SELBSTKOSTEN UND DER SPEZIFISCHEN KOSTEN JE FAHRGAST IN FUNKTION DER ENTFERNUNG

Als erstes Beispiel sei die Gleichung genannt:

$$S_c = S_{vc} \left[1 + \frac{\sqrt{2(25\,d + 8)}}{d}\right]$$

bezeichnet man:

$$y = S_c;\ x = d;\ u = S_{vc} \qquad (u > 0)$$

Nimmt man S_{vc} als konstanten Parameter an, y als Funktion und x als Variable so ergibt die Gleichung:

$$y = u\left[1 + \frac{2(25\,x + 8)}{x}\right]$$

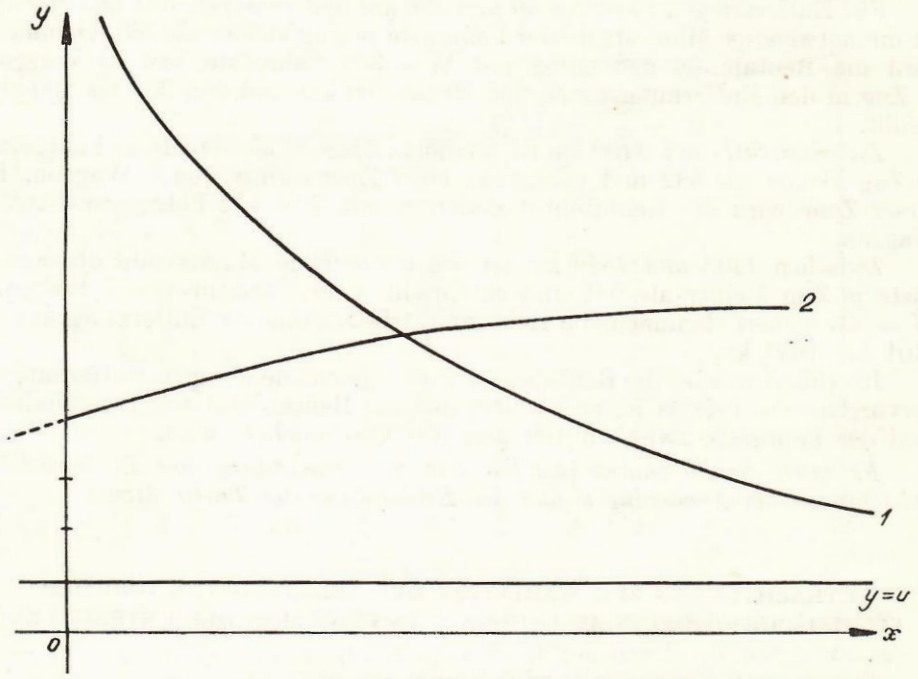
Da x die Transportentfernung darstellt ist der praktische Definitionsbereich der Funktion y von der Menge der positiven Zahlen gegeben.

Leitet man die Funktion ab im Verhältnis zu x so folgt:

$$y' = -\frac{(25\,x + 16)\,u}{x^2\sqrt{2(25\,x + 8)}}$$

Die Ableitung Funktion wird für keinen Wert des praktischen Definitionsbereichs und auch nicht des theoretischen Bereichs annuliert.

Weil für $\sqrt{2(25\,x + 8)}$ sich ein positiver Wert ergibt folgt, daß für x die Ableitung der Funktion y' immer negativ ist, das also die Funktion y abnimmt. Diese Tatsache geht aus der graphischen Darstellung in Abbildung 4 hervor.



1. Graphische Darstellung der Funktion $y = u\left[1 + \frac{\sqrt{2(25 + 8)}}{x}\right]$ für $x \geqslant 0$,

2. Graphische Darstellung der Funktion $y = u\left[x + \sqrt{2(25\,x + 8)}\right]$ für $x \geqslant 0$

Abb. 4.

Nimmt man den Ausdruck für die spezifischen Kosten:

$$w = S_{vc}\ [d + \sqrt{2(25d + 8)}$$

und bezeichnet

$$y = w;\ x = d;\ S_{vc} = u$$

so erhält man

$$y = u\ [x + \sqrt{2(25x + 8)}]$$

Die Gleichung kann geschrieben werden:

$$y - ux = u\sqrt{2(25x + 8)}$$

Erheben wir beide Glieder der Gleichung zum Quadrat:

$$(y - ux)^2 = 2u^2\ (25\ x + 8)$$

so folgt

$$(y - ux)^2 - 2\ u^2\ (25\ x + 8) = 0$$

Die Gleichung stellt eine Parabel dar, die folgende Achse hat:

$$y = u\left(x - \frac{25\ u^2}{1 + u^2}\right)$$

Die Tangente am Scheitel der Parabel ist von folgendem Ausdruck gegeben:

$$50(1 + u^2)\ (x + uy) + 641\ u^4 + 32\ u^2 + 16 = 0$$

Auch in diesem Falle wird nur die graphische Darstellung im Bereich $x \geqslant 0$ angenommen.

ABOUT CERTAIN PROFITABILILITY PROBLEMS IN RAILWAY PASSENGER TRAFFIC

The author analyses certain aspects of the profitability of passenger transports carried in certain conditions, connected with transport distance and the degree of utilization of transport means capacity. He shows, with the necessary demonstration, the conditions of passenger transport profitability limits, as well as the areas of profitability in various hypotheses. These conditions result from the comparison between costs and average income, depending on the degree of place utilization, examining the variation of specific income per passenger, depending on the same elements, the variation of place utilization coefficient depending on distance and the respective tariff.

The paper also analyses and determines the conditions of tariff advantage application in the case of special trains.

SUR CERTAINS PROBLÈMES DE RENTABILITÉ DANS LE TRAFFIC FERROVIAIRE DE PASSAGERS

L'auteur analyse certains aspects de la rentabilité des transports de passagers effectués dans certaines conditions, liées à la distance de transport et au degré d'utilisation de la capacité des moyens de transport. Il établit, avec les démonstration de rigueur, les condition de rentabilité des transports de passagers en fonction de la distance et du degré d'utilisation des wagons et des trains, en determinant aussi les limites de rentabilité, ainsi que les zones de rentabilité dans les différentes hypothèses. Ces conditions s'ensuivent de la comparaison des coûts et du revenu moyen en fonction du degré d'utilisation des places, en tenant compte de la variation du prix de revient et du coût spécifique par passager transporté, la variation du coefficient d'utilisation des places en fonction de la distance et du traffic respectif.

De même, l'étude examine et définit les conditions d'application des avantages tariffaires dans le cas des trains spéciaux.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ И ОТ ДАЛЬНОСТИ

Автор рассматривает отдельные аспекты рентабельности пассажирских перевозок, производимых в определенных условиях, в связи с дальностью перевозок и степенью использования мощности транспортных средств. В статье определяются на основе соответствующих примеров условия рентабельности пассажирских перевозок в зависимости от дальности и степени использования вагонов и поездов, а также пределы и зоны рентабельности при различных предположениях. Эти условия вытекают из сопоставления себестоимости со средним доходом в зависимости от степени использования мест, причем рассматриваются изменения себестоимости и удельных расходов на перевозку 1 пассажира, изменение удельных доходов на 1 пассажира в зависимости от тех же элементов, изменения коэффициента использования мест в зависимости от дальности и соответствующих тарифов.

Рассматриваются и определяются также условия применения льготных тарифов для специальных поездов.