

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109/110 (1937)
Heft: 24

Artikel: Zur Wirtschaftlichkeit der Nahverkehrsmittel Strassenbahn, Autobus und Trolleybus
Autor: Anderegg, Ernst
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-49065>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

INHALT: Zur Wirtschaftlichkeit der Nahverkehrsmittel Strassenbahn, Autobus und Trolleybus. — Das Petoskop, ein künstliches Auge. — Wettbewerb für die Erweiterung des Kantospitals St. Gallen. — Kanalisation und Reinigungsanlagen der Stadt St. Gallen. — Mitteilungen: Neue Friedhofordnung in Deutschland. Elektrische Triebwagen der Pilatusbahn. Der V. Internat. Kongress für Neues Bauen. Die Kleeblatt-Kreuzung.

zung. Der V. Kongress für angewandte Mechanik. XIV. Internat. Architekten-Kongress, Paris 19. bis 25. Juli. — Nekrologe: Albert Beutter. Dr. Ing. Herm. Bertschinger. Ernst Grob. — Wettbewerbe: Gemeindehaus in Meggen. Reformierte Kirche mit Pfarrhaus in Kriens. Bebauungsplan Uster. Kasino Zürihorn, Zürich. — Mitteilungen der Vereine. — Schweiz. Verband für die Materialprüfungen der Technik. — Vortrags-Kalender.

Band 109

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich.
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 24

Zur Wirtschaftlichkeit der Nahverkehrsmittel Strassenbahn, Autobus und Trolleybus

Von Dipl.-Ing. ERNST ANDEREGG, Zürich-Oerlikon.

Neue Strassenbahnen werden heute kaum mehr gebaut, bestehende und Autobusbetriebe sind vielerorts unwirtschaftlich und erhöhen die Wagenfolgezeit. Andererseits ertönt laut der Ruf nach Vermehrung der Verkehrsgelegenheiten und nach Beschleunigung des Verkehrs. Der Trolleybus, in jeder Hinsicht ein Mittelglied zwischen Strassenbahn und Autobus, hat sich in den letzten Jahren im Ausland ein grosses Feld erobert, und seine Wirtschaftlichkeit gegenüber Strassenbahn und Autobus ist unter bestimmten Voraussetzungen erwiesen. Bei Betrieben, die vor der Erneuerung ihrer Betriebsmittel (Geleise, Fahrleitung, Rollmaterial) stehen, ist daher die Einbeziehung dieses dritten Verkehrsmittels in die Wirtschaftlichkeitsrechnung angezeigt, umso mehr, als noch andere Gründe zu seinen Gunsten sprechen; auf zwei der wichtigsten sei auch hier hingewiesen: die Verdichtung des Automobilverkehrs stempelt die Strassenbahn im Stadttinnern zu einem Verkehrshindernis. Die zulässige Grenze für ihre minimale Wagenfolgezeit ist heute erreicht. Diese ist beim Trolleybus viel weniger beschränkt. Seine Haltestellen befinden sich am Strassenrand, und er bewegt sich auf der Fahrbahn wie ein gewöhnlicher Autobus. Gegenüber dem Autobus besitzt der Trolleybus aber den Vorteil des Betriebs mit einheimischer Energie. Dieser Vorteil wird vielleicht einmal aus den selben Gründen wie in den Nachkriegsjahren die Elektrifizierung der Dampfbahnen zur Umstellung von Autobusbetrieben mit grösserem Verkehr auf elektrischen Betrieb führen. Der Trolleybus ist daher aller Beachtung auch von Seiten der Elektrizitätswerke wert.

1. Analytische Darstellung des Kostenverlaufs. — Kosten-schema.

Für die nachfolgenden qualitativen Betrachtungen über den Kostenaufbau der Verkehrsmittel Strassenbahn, Autobus und Trolleybus wurde wegen ihrer Anschaulichkeit die analytische Darstellung herangezogen. Sie erfasst das Grundsätzliche des Kostenverlaufs und eignet sich, wie Vergleiche mit ausgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen, bei wohlüberlegter Wahl der Koeffizienten auch für Ueberschlagsrechnungen, sofern sich diese nur über einen beschränkten Bereich der mittleren Wagenfolgezeit erstrecken. Eine genaue Untersuchung für einen bestimmten Betrieb folgt im wesentlichen dem selben Rechnungsgang, gestaltet sich aber, da eine grosse Zahl von Kostenanteilen berechnet und summiert werden muss, sehr mühsam, weitläufig und unübersichtlich.

Der Betrieb befahre eine Schleife von L km Länge; Hin- und Rückfahrt auf dem selben Geleise und der selben Fahrleitung erfordert sinngemässes Ansetzen der Koeffizienten. Weiter bedeute im Folgenden: V die Reisegeschwindigkeit [km/h] einschliesslich Halte, z die Anzahl der Wagen, t die minimale Wagenfolgezeit und T die totale Betriebszeit [h] im Jahr.

Der tägliche und damit auch der jährliche Betrieb teile sich in Perioden mit verschiedenen in Betrieb befindlichen Wagenzahlen, d. h. Wagenfolgezeiten: $\alpha_i z$ Wagen während $\beta_i T$ h, wobei $\sum \beta_i = 1$. Diese Anpassung des Betriebs an den Verkehr wird zur Erzielung von Betriebsersparnissen mehr und mehr durchgeführt, meist in Form der Vergrösserung der Wagenfolgezeit in verkehrsschwachen Zeiten. Die Zahl W der im Jahr gefahrenen Wagenkilometer (Wkm) ergibt sich zu

$$W = \sum \alpha_i z \beta_i T V = \gamma z T V \quad (1)$$

worin $\gamma = \sum \alpha_i \beta_i$ den «Ausnutzungsfaktor» des Rollmaterials darstellt; wenn ständig alle Wagen in Betrieb wären, würde $W = z T V$. Ein Beispiel zeige, dass der Ausnutzungsfaktor bei Betriebsverhältnissen, wie sie heute vielfach bestehen, beträchtlich unter dem Wert 1 bleibt:

Tägliche Betriebszeit: 5 bis 24 h gleich 19 Std.
 7 bis 8, 12 bis 14, 18 bis 20 h $\alpha = 0,96^*)$ $\beta = 0,26$
 8 bis 12, 14 bis 18 h $\alpha = 0,48$ $\beta = 0,42$
 5 bis 7, 20 bis 24 h $\alpha = 0,24$ $\beta = 0,32$ } $\gamma = 0,53$

*) 4% Reservewagen.

Die minimale Wagenfolgezeit ist

$$t = L/\gamma z V \quad (2)$$

$t_m = L/\gamma z V = t/\gamma = LT/W \quad \dots \quad (3)$
 werde als *mittlere* Wagenfolgezeit bezeichnet.

Anlage- und Betriebskosten bestehen allgemein aus einem vom Betriebsumfang unabhängigen und einem mit ihm wachsenden Anteil. Der Betriebsumfang ist gekennzeichnet einerseits durch die Wagenzahl z , andererseits durch die jährlich gefahrenen Wagenkilometer W . Im nachfolgenden Kostenschema sind die einzelnen Kostenanteile nach ihrer Abhängigkeit von z und W geordnet.

Kostenschema

	Kostenanteile			
	Fest	Veränderlich		
	Unabhängig von z u. W	(Prop. z) Bezogen auf 1 Wagen	(Prop. W) Bezogen auf 1 Wkm	
I. <i>Anlagekosten</i>				
a) Geleise	$p_a L$			
b) Fahrleitung	$p_b L$			
c) Rollmaterial		p_c		
d) Uebrige feste Anlagen *)	A_d	$A_d z$		
Σ <i>Anlagekosten</i>	A	A_z		
II. <i>Jährliche Be- triebskosten</i>				aus- geschrieben
1. <i>Abschreibung</i>				
a) Geleise	$p_a L \zeta_a$		p_a/N_a	$p_a L \frac{W/L}{N_a} \frac{1}{W}$
b) Fahrleitung	$p_b L \zeta_b$		p_b/N_b	
c) Rollmaterial		$p_c \zeta_c$	p_c/N_c	$p_c z \frac{W/z}{N_c} \frac{1}{W}$
d) Uebr. feste Anlagen	$A_d \zeta_d$	$A_d z \zeta_d$		
2. <i>Unterhalt</i>				
a) Geleise	$p_a L \xi_a$		p_a/v_a	$p_a L \frac{W/L}{v_a} \frac{1}{W}$
b) Fahrleitung	$p_b L \xi_b$		p_b/v_b	
c) Rollmaterial		$p_c \xi_c$	p_c/v_c	$p_c z \frac{W/z}{v_c} \frac{1}{W}$
d) Uebr. feste Anlagen	$A_d \xi_d$	$A_d z \xi_d$		
3. <i>Energie, Brennstoff</i>			ϵ	
4. <i>Entlöhnung d. Fahrpersonals</i>		$\gamma \lambda T$		$\lambda \gamma z T \frac{1}{W}$
5. <i>Verschied.**)</i>	D	D_z		
Σ <i>Betriebskosten</i>	B	$B_z + \gamma \lambda T$	B_w	

p_a = Anlagekosten/km Geleise

p_b = Anlagekosten/km Fahrleitung

p_c = Anschaffungskosten für ein Fahrzeug

*) Unterwerke, Tankanlagen, Depots, Werkstätten, sonstige Dienstgebäude summarisch.

**) Verwaltungs- und Werkkosten, Versicherungen, Steuern, summarisch.

Für Strassenbahnbetrieb kommen alle Summanden in Betracht. Bei Trolleybusbetrieb wird $p_a = 0$, bei Autobusbetrieb ausserdem $p_b = 0$. In $A_d z$ sind die von der Wagenzahl z abhängigen Kostenanteile für Unterwerke, Tankanlagen, Depots, Werkstätten enthalten. Abschreibungs- und Unterhaltungskosten sind den jeweiligen Anlagekosten proportional angenommen. Die Koeffizienten ζ und ξ der Betriebskosten für Geleise, Fahrleitung und Rollmaterial berücksichtigen, dass die Anlagen abgeschrieben und unterhalten werden müssten, auch wenn der Betrieb eingestellt wäre. Die Anteile mit N und v berücksichtigen die Verkürzung der Abschreibungsdauer bzw. die Erhöhung der Unterhaltungskosten durch die Benützung der Anlagen. W/L stellt die Anzahl Wagendurchfahrten im Jahr, W/z die von einem Fahrzeug im Jahr gefahrenen km dar. Die Koeffizienten N entsprechen einer bis zur Erneuerung höchstzulässigen Zahl Wagendurchfahrten (Geleise, Fahrleitung), bzw. Fahrstrecke pro Wagen bei $\zeta = 0$ und Wegfall der Zinseszinsen. Die von W abhängigen Kostenanteile für Abschreibung und Unterhalt von Geleise und Fahrleitung fallen gegenüber den festen Anteilen umso mehr ins Gewicht, je dichter der Verkehr ist. Die Reduktion der Abschreibungsquoten durch die Zinseszinsen kann in den Koeffi-

zienten berücksichtigt werden. ε stellt die Energiekosten pro Wkm dar, mit Einschluss aller Verluste in Fahrleitung und Unterwerken. Die Kosten für die Entlohnung des Fahrpersonals sind proportional der gesamten Fahrzeit $\gamma z T$ im Jahr. λ ist der Stundenlohn für die Wagenbesatzung, mit Einschluss aller Zuschläge, wie für Präsenzzeiten, Bekleidung, Einlagen in die Pensionskasse.

2. Die Kostengleichungen. — Feste und veränderliche Kosten.

Die jährlichen Betriebskosten in Abhängigkeit von der mittleren Wagenfolgezeit t_m ergeben sich bei Verwendung der Abkürzungen B und mit der Gl. (3) zu

$$K_B = B + (L/t_m) \{ (1/V) (B_z/\gamma + \lambda T) + T B_w \} \quad (4)$$

und die Betriebskosten pro Wkm zu

$$k_B = (t_m/LT) B + (1/V) (B_z/\gamma T + \lambda) + B_w \quad (5)$$

Die jährlichen Betriebskosten K_B setzen sich zusammen aus von t_m unabhängigen, den sogen. festen Kosten B und von t_m abhängigen, den sogen. veränderlichen Kosten, die durch B_z , λ , B_w gekennzeichnet sind. K_B in Abhängigkeit von t_m bei gleichbleibendem V und γ aufgetragen, ergibt eine mit zunehmendem t_m abfallende Hyperbel, deren horizontale Asymptote durch die festen Kosten bestimmt ist. Die kilometrischen Betriebskosten k_B werden durch eine mit t_m ansteigende Gerade mit durch die veränderlichen Kosten bei $t_m = 0$ bestimmter Ordinate dargestellt (Abb. 1 u. 2).

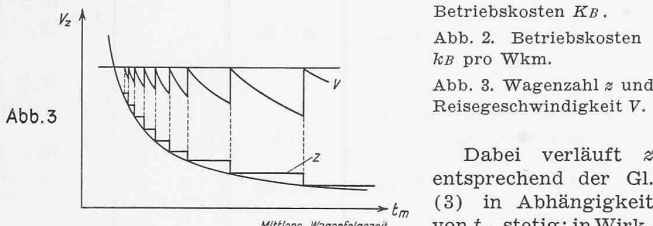
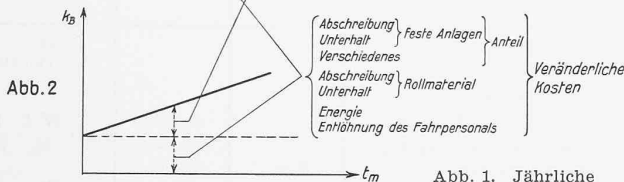
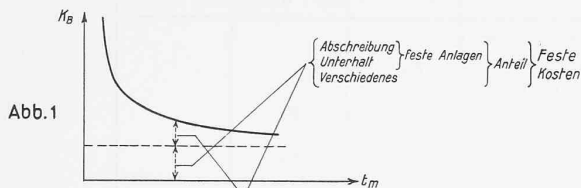


Abb. 1. Jährliche Betriebskosten K_B .

Abb. 2. Betriebskosten k_B pro Wkm.

Abb. 3. Wagenzahl z und Reisegeschwindigkeit V .

Dabei verläuft z entsprechend der Gl. (3) in Abhängigkeit von t_m stetig; in Wirklichkeit kann z nur ganzzahlig sein und wird daher durch eine treppentartige Linie dargestellt (Abb. 3). Damit Gl. (3) erfüllt ist, muss V den in Abb. 3 dargestellten Verlauf nehmen und erreicht seinen vollen Wert nur bei bestimmten t_m , bei denen z sich sprunghaft um 1 ändert. Auch der Ausnützungsfaktor γ ist von z abhängig, er vermindert sich durch die Einstellung von Reservewagen.

Diese Unstetigkeiten treten umso mehr in Erscheinung, je kleiner z , d. h. je grösser t_m ist, haben einen unstetigen Verlauf der Kostenlinien zur Folge und müssen bei genauen Kostenberechnungen zusammen mit von anderen Ursachen (z. B. Übergang von eingleisiger zu zweigleisiger Anlage, Mengenrabatte) herrührenden selbstverständlich berücksichtigt werden. Die stetig verlaufenden Kostenlinien basieren also auf Höchstwerten von V und γ (minimale Endhalte und keine Reservewagen) und stellen die anzustrebenden Mindestkosten in Abhängigkeit von t_m dar.

Ein wirtschaftlich arbeitender Betrieb soll wenigstens die Verzinsung, event. Tilgung des Anlagekapitals ermöglichen, darüber hinaus aber noch einen Reingewinn abwerfen. Die Anlagekosten in Abhängigkeit von t_m ergeben sich zu:

$$K_A = A + LA z/t_m V \gamma \quad (6)$$

und je Wkm zu

$$k_A = t_m A/LT + A z/V \gamma T \quad (7)$$

Zu den Betriebskosten addieren wir daher einen angemessenen Bruchteil Π des Anlagekapitals, den zu erzielenden Betriebsüberschuss, und erhalten so für die durch die Einnahmen zu deckenden Gesamtkosten je Wkm

$k = (t_m/LT) (\Pi A + B) + (1/V) \{ (\Pi A z + B_z)/\gamma T + \lambda \} + B_w$ (8) wieder eine Gerade. Diese bildet die Grundlage für die Tarifgestaltung und ist in Abb. 4 für die drei Verkehrsmittel Strassenbahn, Trolleybus, Autobus dargestellt. Die Kostenlinien bilden zugleich ein zahlenmässiges Beispiel für eine Neuanlage mit den

in nachfolgender Tabelle zusammengestellten Anlagekosten, Koeffizienten und übrigen Daten.

	Strassenbahn				Trolleybus				Autobus			
Index	a	b	c	d	b	c	d		c	d		
A_d				70				60		10	$\times 10^3$	Fr.
A_{dz}				25				20		12	$\times 10^3$	Fr.
$p_{a,b,c}$	90	14	80		18	60			50			
D	15				15				15			
D_z	4				4,2				5			
$\xi_{a,b,c,d}$	2	2,5	2	2	2,5	5	2		5	2	$\times 10^{-2}$	
$N_{a,b,c}$	15	20	5		15	2,5			1		$\times 10^6$	
$\xi_{a,b,c,d}$	1	2	0	2	2,5	0	2		0	2	$\times 10^{-2}$	
$\eta_{a,b,c}$	10	6	2		5	0,4			0,2		$\times 10^6$	
ε	0,1				0,12				0,075		Fr./Wkm	
V	16				18				16		km/h	

$L = 10$ km (zweigleisige Anlage von 5 km Länge)

$T = 365 \times 19 = 6935$ Std.

$\gamma = 0,5$

$\lambda = 5,0$ Fr./Std. (Zweimannbetrieb)

$\Pi = 0,04$

a) Mittlere Wagenfolgezeit, Fahrgastzahl, Fahrtaxe. — Taximum.

Da sich die kilometrischen Kosten k mit abnehmendem t_m senken, ist ganz allgemein ein niedriges t_m anzustreben. Eine kleine Wagenfolgezeit bildet ausserdem einen Hauptanreiz für die Benützung des Verkehrsmittels überhaupt, ist geeignet, die mittlere Reise- länge pro Fahrgast zu verkleinern und vermag dem Verkehrsmittel erhöhte Einnahmen zuzuführen, da die auf den Personenkilometer bezogene Taxe bei kleineren Reiselängen höher ist als bei grossen.

Aus den Gesamtkosten k pro Wkm und der mittleren Fahrgastzahl p ergibt sich die mittlere Fahrtaxe τ pro Personen-km zu

$$\tau = k/p \quad (9)$$

p ist in Abhängigkeit von t_m zu schätzen, wobei die Verkehrsstatistik bestehender Betriebe wertvolle Anhaltspunkte liefert. p kann bei kleinen t_m diesem proportional gesetzt werden und nimmt bei grossen t_m nur noch schwach zu, sodass die mittlere Fahrtaxe τ pro Personenkilometer ein Minimum bei einem t_m besitzt, das die untere Grenze für die mittleren Wagenfolgezeiten bildet (Abb. 5). Eine erfreuliche Abhängigkeit der Grösse p von τ besteht noch darin, dass eine durch Verkehrszunahme möglich gewordene Ermässigung von τ wieder eine Erhöhung von p zur Folge hat.

b) Reisegeschwindigkeit, minimale und maximale Wagenfolgezeit.

Hohe Reisegeschwindigkeit V und hoher Ausnützungsfaktor γ bedeuten niedrige Gesamt- und niedrige Kosten pro Wkm. Eine Erhöhung von V ist dabei wirksamer als eine solche von γ , da durch sie auch die Entlohnungskosten gesenkt werden. γ kann bei gegebenem t_m nur soweit erhöht werden, als $t = \gamma t_m$, die Wagenfolgezeit bei Stossverkehr, zu dessen Bewältigung noch hinreicht.

Die maximale Wagenzahl bei Stossverkehr ergibt sich aus $z = L/tV$. Das Fassungsvermögen der Wagen spielt bei ihrer Festsetzung eine entscheidende Rolle. Eine gegebene Anzahl Fahrgäste kann bei Vergrösserung des Fassungsvermögens mit einer

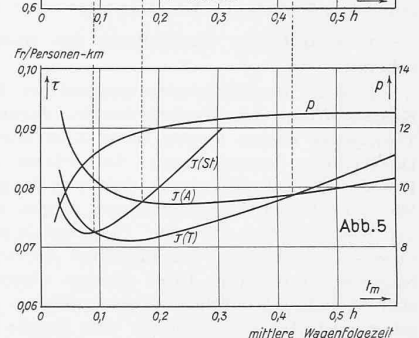
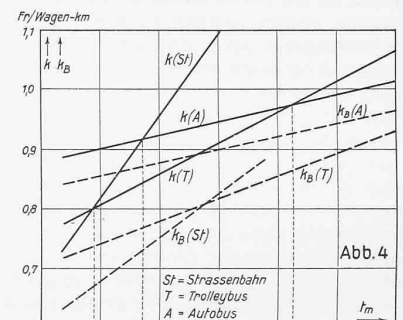


Abb. 4. Betriebskosten k_B und Gesamtkosten k pro Wkm.

Abb. 5. Mittlere Fahrgastzahl p und Fahrtaxe τ pro Personen-km.

grösseren Wagenfolgezeit t befördert werden, dadurch steigt γ , vermindert sich z und sinken die Kosten pro Wkm. Eine bescheidene Vergrösserung von t vermag auf die Einnahmen noch keinen schädlichen Einfluss auszuüben. Die Strassenbahn erhöht das Fassungsvermögen der Wagen in der Stosszeit durch Anhänger. Dieser Weg ist bei Trolleybus- und Autobusbetrieb weniger gut gangbar. Hier werden mit Vorteil zwei Wagentypen mit verschiedenem Fassungsvermögen eingestellt, wobei in der Stosszeit beide verkehren und in Zeiten schwachen Verkehrs je nach Bedürfnis der grosse oder kleine eingesetzt wird. Diese Betriebsweise führt allerdings infolge der in der Stosszeit anfallenden Entlohnungskosten zu einer Benachteiligung gegenüber der Strassenbahn. Die Wagenzahl z kann ferner durch Erhöhung der Reisegeschwindigkeit reduziert werden.

Die maximale Wagenfolgezeit darf nicht zu hoch sein, sonst geht ein Teil der Fahrgäste zu Fuss. Für ihren zulässigen Höchstwert gibt die Zeit, die ein Fussgänger braucht, um die mittlere Reiselänge zurückzulegen, einen Anhaltspunkt.

3. Der Verlauf der Kostenlinien.

Die durch die Gleichungen $k = f(t_m, \gamma)$; $t = \gamma t_m$; $z = L/tV$ verknüpften Grössen t_m , t , γ , z sind also mit der weiteren Bedingung, dass die mittlere Taxe τ ein Minimum werde, festgelegt, und die nicht leichte Aufgabe des Betriebsmannes besteht nun noch darin, die einzelnen während eines Tages aufeinanderfolgenden Betriebsperioden mit verschiedenen Wagenfolgezeiten so anzusetzen, dass der Ausnutzungsfaktor γ eingehalten wird, und sich der Verkehr zur Zufriedenheit der Fahrgäste, insbesondere hinsichtlich Besetzung der Wagen in der Stosszeit und der Wartezeit an den Haltestellen in verkehrsschwachen Zeiten, abwickelt.

a) Einfluss der festen Kosten auf die Lage des Taximums. — Verlauf der Kostenlinien für Strassenbahn und Autobus.

Die den Neigungsunterschied der drei Kostengeraden k (Abbildung 4) beeinflussenden Anteile sind nach Kostenschema den Anlagekosten der festen Anlagen proportional. Die Kostenlinie für den Autobus, der ein Minimum an festen Anlagen besitzt, wird daher nur schwach mit t_m ansteigen. Die Kosten für Fahrleitung und Unterwerke vergrössern die Neigung der Kostenlinie für den Trolleybus. Bei der Strassenbahn treten noch die stark ins Gewicht fallenden Aufwendungen für die Geleiseanlage hinzu¹⁾, und haben eine beträchtlich grössere Neigung ihrer Kostengeraden zur Folge. Das Taximum stellt sich daher bei der Strassenbahn bei einem kleineren t_m als beim Autobus, und beim Trolleybus bei einem mittleren Wert ein, sodass allein schon die festen Kosten die Strassenbahn für kleine, den Trolleybus für mittlere und den Autobus für grosse Wagenfolgezeiten prädestinieren (Abb. 5). Dass zur Erzielung eines bestimmten Betriebsüberschusses bei kleinen Wagenfolgezeiten der Autobus eine höhere mittlere Taxe erheben muss, während bei grossen t_m die Strassenbahn nicht mehr wirtschaftlich arbeiten kann, ist hinlänglich bekannt. Die Kostenlinien k für Strassenbahn und Autobus schneiden sich also im ersten Quadranten (Abb. 4), und die veränderlichen Kosten sind bei der Strassenbahn kleiner als beim Autobus, trotzdem die erste noch Kostenanteile für beim Autobus wegfallende feste Anlagen (Unterwerke, Geleise, Fahrleitung) aufbringen muss.

b) Abschreibung und Unterhalt des Rollmaterials, Energieverbrauch, Vorteile des Compoundmotors bei elektrischem Betrieb.

Die Energiekosten für den Benzinautobus betragen erwiesenermassen ein Mehrfaches von denen des Dieselaubus. Wir beschränken uns daher für den Vergleich auf diesen. Der Rohölverbrauch eines Dieselaubusses im Stadtbetrieb beträgt rd. 0,4 l/km. Ein Strassenbahnwagen im gleichen Betrieb verbraucht rd. 1,25 kWh ab Unterwerk. Bei einem Energiepreis von 8 Rp. pro kWh ergibt sich damit ein Paritätspreis für das Rohöl von 25 Rp./l, mehr als der heutige Preis. Der Grund für die hohen veränderlichen Kosten des Autobusbetriebes muss daher in den Aufwendungen für das Rollmaterial (Abschreibung, Unterhalt, Steuern) liegen, da die Lohnkosten unter gleichen Betriebsbedingungen (Zwei- bzw. Einmannbetrieb) sich nicht wesentlich unterscheiden. Tatsächlich kann die Abschreibungsdauer für den Strassenbahnwagen je nach den jährlich gefahrenen Wkm auf 20 bis 30 Jahre veranschlagt werden, während der Dieselaubus schon nach 5 bis 10 Jahren abgeschrieben sein muss. An dem Verhältnis der Abschreibungsquoten kann auch der Umstand, dass die Anschaffungskosten für den Strassenbahnwagen höher sind, nichts ändern. Je kürzer die Lebensdauer eines Fahrzeuges ist, desto höher stellen sich auch die Unterhaltungskosten.

¹⁾ Trolleybus und Autobus haben allerdings auch Aufwendungen für die Fahrbahn, diese gehen aber in Form von Fahrzeugsteuern bei jenen, von Fahrzeug- und Brennstoffsteuern bei diesen, gänzlich in die veränderlichen Kosten ein.

Beim Trolleybus kann man heute mit einer Abschreibungsdauer von 25 Jahren für den elektrischen Teil (gleich wie bei der Strassenbahn) und 10 bis 15 Jahren für den mechanischen Teil rechnen. Eine Annäherung dieser Abschreibungsdauer an jene des elektrischen Teils ist durchaus möglich; der Trolleybus besitzt, als bei dem heutigen Zustand der Strassen ausserordentlich ruhig fahrendes Fahrzeug, alle Voraussetzungen dazu. Höhere veränderliche Kosten des Trolleybus gegenüber der Strassenbahn müssen damit im wesentlichen den höheren Unterhaltungskosten (Bereifung) und Energiekosten zugeschrieben werden.

Der Trolleybus besitzt in der Horizontalen einen etwa viermal höheren Fahrwiderstand als der Strassenbahnwagen. Trotz seinem niedrigeren Gewicht beträgt daher bei ihm die Energie für die Ueberwindung dieses Fahrwiderstandes ein Mehrfaches derjenigen beim Strassenbahnwagen. Im gesamten Energieverbrauch ist aber noch die Beschleunigungs- und Hubarbeit enthalten, die bei der Strassenbahn infolge des höheren Gewichtes höher ausfällt. Setzt man den gesamten Energieverbrauch pro Jahr in Beziehung zu den geleisteten tkm, so erhält man für den Betrieb charakteristische Fahrwiderstände in kg/t, die sich bei Strassenbahn- und Trolleybusbetrieb umso weniger unterscheiden, je schneller der Betrieb und je steigungsreicher die Strecke ist. Dies zeigt folgende überschlägliche Berechnung, die der Einfachheit halber für zwei Fahrzeuge aufgestellt ist, die sich im Fahrwiderstand w_r auf der Ebene und im Gewicht Q unterscheiden, im übrigen aber gleich sind. Das Verhältnis a der Energiekosten beträgt, wenn \bar{w} die mittleren Fahrwiderstände bedeuten

$$a = \frac{\bar{w}_1}{\bar{w}_2} \cdot \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{w_{r1} + w}{w_{r2} + w} \cdot \frac{Q_1}{Q_2} = \left(1 + \frac{w_{r1} - w_{r2}}{\bar{w}_2}\right) \cdot \frac{Q_1}{Q_2}$$

wobei w dem Energieverbrauch für Beschleunigung und Hubarbeit entspricht. Für $w_{r1} = 20$ kg/t (Trolleybus), $w_{r2} = 5$ kg/t (Strassenbahn), bezogen auf den Stromabnehmer, und ein Gewichtsverhältnis $Q_1/Q_2 = 0,7$ ergibt sich $a = (1 + 15/\bar{w}_2) \cdot 0,7$. Für die steigungsreichen Strecken schweizerischer Strassen kann bei der Strassenbahn mit einem \bar{w}_2 von 25 bis 30 kg/t entsprechend 70 bis 80 Wh/tkm am Stromabnehmer gerechnet werden, sodass $a \sim 1,1$, und sich der Energieverbrauch eines Trolleybus am Stromabnehmer im allgemeinen nur unbedeutend höher stellt als der eines Strassenbahnwagens.

Das Verhältnis a erhöht sich, wenn man den Energieverbrauch am Unterwerk in Betracht zieht, da die Verluste zwischen Unterwerk und Fahrzeug bei Trolleybusbetrieb unter der Voraussetzung gleichen Fahrdraktquerschnittes höher ausfallen als bei der Strassenbahn, weil die Schienenrückleitung durch einen Fahrdrakt ersetzt ist. Eine Vergrösserung des Fahrdraktquerschnittes ist nicht erwünscht und steigert die mit der Fahrleitung zusammenhängenden Kosten. Setzt man die aufgenommene Leistung beim Trolleybus gleich N_t , die Fahrspannung gleich E_t , die entsprechenden Grössen bei der Strassenbahn gleich N_s und E_s , so ergibt sich für ungeänderten Fahrdraktquerschnitt und gleiche Verluste zwischen Unterwerk und Fahrzeug bei Vernachlässigung der Energieverluste in der Schienenrückleitung $(N_s/E_s)^2 = 2(N_t/E_t)^2$ und für ein Leistungsverhältnis $N_t/N_s = 1,1$ entsprechend dem höheren Energieverbrauch des Trolleybus $E_t/E_s = \sqrt{2} \cdot 1,1 = 1,55$. Die Fahrspannung müsste also bei gleichen Verlusten um rd. 50 % erhöht werden, also z. B. von 600 auf 900 Volt. Einer solchen Erhöhung stehen heute auch bei Trolleybusbetrieb keine Bedenken entgegen. Der prozentuale Spannungsabfall ändert sich dabei nicht. Ist eine Erhöhung der Fahrspannung nicht möglich, so bleibt noch der Ausweg der Verdichtung des Speisungsnetzes. Diese Massnahme hat aber eine Erhöhung der Anlage- und Betriebskosten für den Trolleybusbetrieb zur Folge.

Die Normalausrüstung eines Strassenbahnwagens mit handbetätigtem Controller, zwei Triebmotoren und Serie-Parallelschaltung, durch die die Widerstandsverluste auf ein Minimum gesenkt sind, eignet sich nicht besonders für den Einbau in einen Trolleybus. Im Streben nach Vereinfachung der elektrischen Ausrüstung beschränkt man sich auf einen einzigen Triebmotor. Ausserdem ist beim Trolleybus die Handsteuerung durch eine Fusssteuerung ersetzt, die, um den Führer nicht zu ermüden, mittelbar ausgeführt sein sollte. Ein Mittel, die Widerstandsverluste klein zu halten, ist die Einführung des Compoundmotors beim Trolleybusbetrieb. Wird die Geschwindigkeit des mit einem Compoundmotor ausgerüsteten Fahrzeuges bei Anfahrstrom und vollem Feld auf rd. 70 % der Geschwindigkeit des Fahrzeuges mit zwei serie-parallel geschalteten Seriomotoren beim selben Anfahrstrom festgelegt, so werden die Widerstandsverluste gleich, wie sich aus der Gleichheit der verschiedenen schraffierten Flächen der Abb. 6, die die bekannte Darstellung der Widerstandsverluste enthält, ergibt (Seite 286).

Der Compoundmotor ist in England und Belgien in mehreren Trolleybusbetrieben eingeführt und hat sich bewährt. Er ermöglicht durch Nutzbremmung eine, besonders in steigungsreichen Betrieben nicht zu verachtende Energieersparnis. Die Nutzbremmung trägt auch zur Verminderung des Spannungsabfalles in der Fahrleitung bei. Der Umstand, dass die Nutzbremse im Gegensatz zur Widerstandsbremse fahrspannungsabhängig ist, fällt beim Trolleybus nicht ins Gewicht wie bei der Strassenbahn, da bei ihm eine elektrische Bremse sowieso nicht als Notbremse in Frage kommt, da sie keine Vierradbremse ist. Der Hauptvorteil des Compoundmotors liegt darin, dass sich seine Betriebsweise mit niedriger wirtschaftlicher Geschwindigkeit und feinstufiger Regulierung bis zur Höchstgeschwindigkeit ganz jener des Automobils anlehnt, ja infolge Wegfalls des Stufengetriebes noch vollkommener ist und dem Bewegungsrhythmus auf der Strasse entspricht. Vorgängig der Einführung des Compoundmotors ist aber eine eingehende Untersuchung über die Spannungsverhältnisse und die Energieaufnahmefähigkeit des zu befahrenden Netzes geboten, sollen Ueberraschungen vermieden werden.

c) Einfluss der Reisegeschwindigkeit. — Dieselmotor und Elektromotor.

In der Gleichung für die Kosten k erscheint die Reisegeschwindigkeit im Ausdruck $(1/V) \{ (IIA_z + B_z)/\gamma T + \lambda \}$. Alle von der Wagenzahl z abhängigen Kosten, insbesondere die Kosten für Abschreibung und Unterhalt des Rollmaterials, dann die Entlohnungskosten, sind also umgekehrt proportional der Reisegeschwindigkeit.

Eine Erhöhung der Reisegeschwindigkeit kann erreicht werden durch Verkürzung der Haltezeiten, durch Steigerung der Fahrzeugleistung, was für kein Verkehrsmittel Vorteile gegenüber dem andern bringt, dann durch Erhöhung der Anfahrbeschleunigung und Bremsverzögerung.

Das Fahrtdiagramm des Strassenbahnwagens ist heute so ausgenutzt, dass ohne Leistungssteigerung keine wesentliche Erhöhung der Reisegeschwindigkeit mehr möglich ist. Das selbe ist vom Fahrtdiagramm des Trolleybus zu sagen. Dieser befindet sich immerhin gegenüber der Strassenbahn im Vorteil, da seine Anfahrbeschleunigung und Bremsverzögerung beträchtlich höher angesetzt werden kann als die der Strassenbahn, bei der in der Ausnutzung der Adhäsion auf den Anhängerbetrieb Rücksicht genommen werden muss. Als an die Schiene gebundenes Verkehrsmittel darf die Strassenbahn überdies mit Rücksicht auf den Bremsweg eine bestimmte Höchstgeschwindigkeit nicht überschreiten.

Bei gleicher Fahrzeugleistung fällt aber der Autobus gegenüber dem Trolleybus in der Reisegeschwindigkeit beträchtlich ab. Der Grund dafür liegt in der Charakteristik der Antriebsmaschinen.

Der Dieselmotor als nur wenig überlastbare Maschine ergibt bei Annahme einer stetig veränderlichen Uebersetzung und vernachlässigten Uebertragungsverlusten eine mechanische Triebfahrzeugcharakteristik von der Form $ZV = Z_0 V_0$, worin Z die Zugkraft am Radumfang, V die Geschwindigkeit und der Index o die Nenndaten bezeichnet. Das Wechselgetriebe gestattet die der Ueberlastungsfähigkeit entsprechende Grenzkurve nur punktweise zu erreichen, nämlich nur dann, wenn der Dieselmotor mit Höchstdrehzahl umläuft. Bei niedrigeren Drehzahlen bleibt die Leistung unter derjenigen der Grenzkurve und die wirkliche mechanische Charakteristik verläuft treppenartig (Abb. 7).

Der Elektromotor mit Seriecharakteristik ergibt bei Annahme einer geradlinigen Magnetisierungskurve und ebenfalls vernachlässigten Verlusten eine mechanische Triebfahrzeugcharakteristik von der Form $ZV^2 = Z_0 V_0^2$, also mit zunehmender Zugkraft zunehmende Leistung. Die V - Z -Linie eines gesättigten Seriemo-tors und insbesondere die eines Compoundmotors verläuft noch flacher.

Der Elektromotor gestattet also bei gleicher Nennleistung die Einhaltung einer bestimmten Anfahrzugkraft und damit Beschleunigung bis zu einer beträchtlich höheren Geschwindigkeit als der Dieselmotor. Die dadurch beim Autobus gegenüber dem Trolleybus wesentlich längere Anfahrzeit erhöht sich noch um die für den Gangwechsel nötige Zeit, in der die Zugkraft auf Null fällt. Dieser Zeitverlust wirkt sich umso nachteiliger aus, je kleiner die Fahrzeit zwischen zwei Haltestellen ist, d. h. je kleiner der Haltestellenabstand und je höher die Reisegeschwindigkeit ist. Weiter ergibt der Trolleybus in der Steigung höhere Beharrungsgeschwindigkeiten, ist also auf steigungsreichen Strecken besonders im Vorteil.

Aus Betriebsergebnissen und Auswertung von Fahrtdiagrammen ergibt sich für den Trolleybus bei gleicher Nennleistung eine gegenüber dem Autobus um 10 bis 20 % höhere Reisegeschwindigkeit, wobei der höhere Wert für steigungsreiche Strecken gilt.

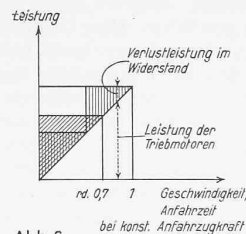


Abb. 6. Anfahrverluste bei elektrischem Antrieb.

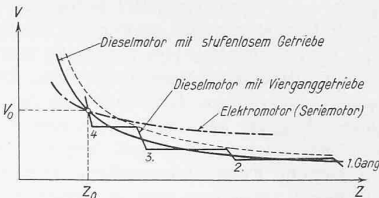


Abb. 7.

Abb. 6. Anfahrverluste bei elektrischem Antrieb.

Abb. 7. Geschwindigkeits-Zugkraftverlauf bei Dieselmotor- und Elektromotorantrieb.

Das in λ enthaltene Lohnproblem sei als nicht technisches Problem hier nicht näher gestreift. Wenn man aber bedenkt, dass der Posten λ/V unter heutigen Verhältnissen ungefähr 30 bis 40 % der Betriebskosten ausmacht, so wird der Vorteil, den die höhere Reisegeschwindigkeit dem Trolleybus dem Autobus gegenüber verschafft, offensichtlich.

Die durch die Erhöhung der Reisegeschwindigkeit erzielte Verminderung des Kostenanteils $(IIA_z + B_z)/V\gamma T$ äussert sich in einer Reduktion der für einen bestimmten Betriebsumfang notwendigen Wagenzahl z bei Trolleybusbetrieb. Dass eine hohe Reisegeschwindigkeit ausserordentlich verkehrswerbend wirkt, braucht wohl nicht besonders betont zu werden.

d) Verlauf der Kostenlinie für den Trolleybus. — Wirtschaftlichkeitsgrenzen der drei Nahverkehrsmittel.

Man wird nach den vorstehenden Ausführungen im allgemeinen einen Verlauf der Kostenlinie für den Trolleybusbetrieb erwarten dürfen, wie er in Abb. 4 dargestellt ist, wobei die Neigung der Linie sich der des Autobus nähert, da bei beiden die die festen Kosten stark beeinflussende Geleiseanlage wegfällt, während die durch die veränderlichen Kosten bestimmte Ordinate bei $t_m = 0$ infolge Ähnlichkeit der Abschreibungsfristen sich jener des Strassenbahnbetriebs nähert.

Der Strassenbahnbetrieb arbeitet also bei kleinen t_m mit den niedrigsten Kosten. Darauf folgt ein Bereich mittlerer Wagenfolgezeiten, in dem der Trolleybus die niedrigsten Kosten ergibt; bei noch höheren t_m arbeitet der Autobus am wirtschaftlichsten. Dieser grundsätzliche Verlauf der Kostenlinien ist für bestimmte Betriebe durch genaue Berechnungen festgestellt worden. Die Lage der Wirtschaftlichkeitsgrenzen hängt stark vom Zinsfuss II

Das Petoskop ein künstliches Auge

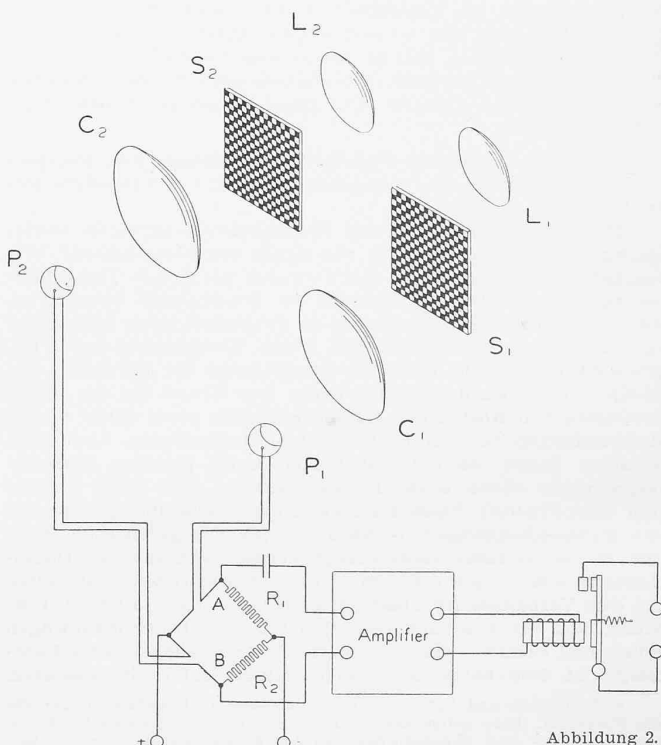


Abbildung 2.

ab. Eine Senkung des Zinsfusses setzt sie hinauf, was sich für die Strassenbahn günstig, für den Autobus ungünstig auswirkt. Unter heutigen Verhältnissen liegen nach der übereinstimmenden Ansicht vieler Fachleute die Wirtschaftlichkeitsgrenzen für Strassenbahn-Trolleybus in der Gegend von $t_m = 6$ min, für Trolleybus-Autobus in der Gegend von $t_m = 30$ min.

4. Schlussbetrachtungen.

Der Trolleybus umfasst demnach einen t_m -Bereich, in dem bestehende Autobus- und Strassenbahnbetriebe arbeiten, oder in den eine Strassenbahn, die zu Betriebseinschränkungen schreiten muss, gelangen kann.

Die Strassenbahn hat in 50-jähriger Entwicklung ihre Betriebskosten auf einen Stand bringen können, der vom technischen Standpunkt aus keine wesentliche Senkung mehr erlaubt. Der Trolleybus als Verkehrsmittel jüngeren Datums ist noch grosser Entwicklung fähig, die besonders in der Schweiz, wo erst eine einzige Linie besteht, zu fühlbarer Senkung seiner Betriebskosten führen wird. Der Uebergang eines Strassenbahnbetriebes im Zeitpunkt der notwendigen Erneuerung seiner Betriebsmittel auf Trolleybusbetrieb wird noch dadurch erleichtert, dass gewisse Einrichtungen, wie Gebäude, Unterwerksausrüstung, Fahrleitungsmasten wenigstens zum Teil weiter verwendet werden können und damit auf die Anlagekosten des Trolleybus verbilligt wirken. Die Wirtschaftlichkeitsgrenze für die Wagenfolgezeit wird sich mit der Zeit nach unten verschieben. Die Frage des Ersatzes eines Autobusbetriebes durch den Trolleybus wird vom Energiepreis entscheidend beeinflusst. Hier wird die Wirtschaftlichkeitsgrenze für die Wagenfolgezeit eine Entwicklung nach oben nehmen, da seitens der Elektrizitätswerke mit grösstem Entgegenkommen hinsichtlich Preisberechnung der elektrischen Energie zu rechnen ist, während sich der Rohölpreis mit der in den letzten Jahren zu beobachtenden Verdrängung des Benzinmotors durch den Dieselmotor zweifellos in aufsteigender Linie bewegen wird.

Ergibt die Wirtschaftlichkeitsrechnung für einen vor der Erneuerung der Betriebsmittel stehenden Strassenbahn- oder Autobusbetrieb, oder für eine in Aussicht genommene Neuanlage, dass der Trolleybus im vorgesehenen t_m -Bereich wirtschaftlicher, oder nur um wenig teurer arbeitet, so sollte der Trolleybusbetrieb gewählt werden.

Das Petoskop, ein künstliches Auge

Die bekannten, hier schon öfters¹⁾ geschilderten Anwendungen der Photozelle beruhen sämtlich darauf, dass der Unterbruch oder die Abschwächung (Verstärkung) eines auf die Zelle fallenden Lichtstrahls, eine elektrische Stromänderung veranlassend, ein Relais oder dergl. in Funktion setzt. Neu in der Prüftechnik ist die nach Abb. 1²⁾ verwirklichte Idee, diese Wirkung durch eine periodische Variation der auf die Zelle fallenden Lichtleistung hervorzurufen. Der Zweck ist hier, auf dem eben fabrizierten, mit bestimmter Geschwindigkeit an der Photozelle vorbeilaufenden Papierband allfällige Flecken zu entdecken. Ein das Band überquerender Raster ist von einer Lampe beleuchtet. Bei überall gleichmässiger Helligkeit des unter dem Raster durchfliessenden Papiers wirft die beleuchtete Fläche über den Spiegel und die

¹⁾ Vergl. «SBZ» Bd. 107, S. 24 (Allgemeines), Bd. 104, S. 76 (Lichtelektr. Mikrometer), Bd. 105, S. 118 (photoelektr. Trübungsmessgerät), Bd. 109, S. 209 (Photozellen im Kraftwerkbetrieb). Dem Petoskop näher verwandt ist das in Bd. 104, Seite 162* beschriebene photoelektrische Grammophon. Ueber die Verwendung der Photozelle beim Fernsehen Bd. 104, S. 41*.

²⁾ Wie auch Abb. 2 reproduziert aus «Journal Franklin Institutes», September 1936.

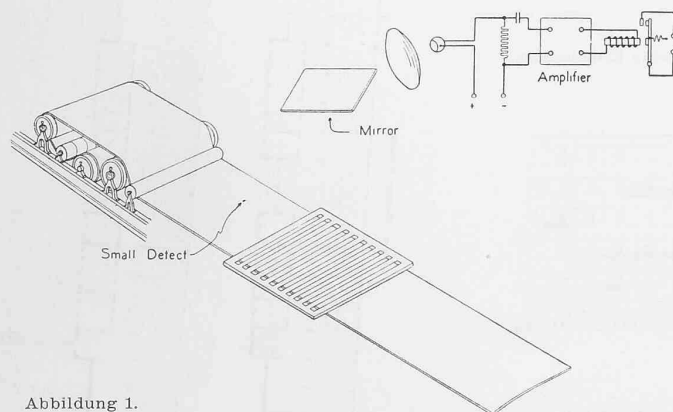


Abbildung 1.

Sammellinse eine konstante Lichtleistung auf die Photozelle. Ein abwechselnd zwischen den Rasterstreifen zum Vorschein kommender und wieder dahinter verschwindender dunkler Fleck auf dem Papier schwächt diese Lichtleistung periodisch ab mit einer der Papiergeschwindigkeit proportionalen Frequenz. Wegen der kapazitiven Kupplung zwischen Photozelle und Verstärker reagiert das Relais nur auf einen Wechsel in der Beleuchtung der Photozelle, und zwar, bei Abstimmung der Kapazität auf die Papiergeschwindigkeit, mit selektiver Empfindlichkeit gerade auf einen Wechsel von der vorgesehenen Frequenz, nicht auch auf eine langsame Aenderung in der Beleuchtungsstärke der die Rasterfläche erhellenden Lampe, die immerhin mit Gleichstrom zu betreiben ist.

Diese Grundidee der photoelektrischen Entdeckung bewegter Objekte mit einer mit steigender Geschwindigkeit steigenden «Sehschärfe» stammt von A. S. Fitzgerald und ist von ihm zu grösserer Vollkommenheit in dem «petoscope» getauften Apparat ausgebaut worden, dessen Prinzip die Abb. 2 wiedergibt. Um ein in beliebiger Richtung vorstossendes Flugzeug zu entdecken, genügt eine Anordnung ähnlich der eben beschriebenen offenbar nicht. Plötzliche Helligkeitsänderungen infolge wechselnder Bewölkung würden das Relais ständig zu falschen Alarmen anregen. Das Petoskop ist deshalb mit zwei gleichen Photozellen ausgestattet, deren Reaktionen auf Schwankungen der Tageshelligkeit einander neutralisieren: Dank der in Abb. 2 angegebenen Brückenschaltung tritt an den Eingangsklemmen des Verstärkers trotz beliebigen Helligkeitsschwankungen keine Spannung auf, solange diese Variationen die beiden Zellen gleichzeitig beeinflussen. Damit der Apparat ein Flugzeug wirklich *sehe*, ist daher nötig, dass es Aenderungen in der Beleuchtungsstärke der beiden Zellen verursacht, die zu *verschiedenen* Augenblicken erfolgen während der Zeit, wo dieser kleine dunkle Fleck sich im Gesichtsfeld der beiden Objektivlinsen L_1, L_2 bewegt. Zu diesem Behuf ist jedes «Auge» mit einer «Netzhaut» (S_1, S_2) versehen, d. h. wiederum mit einem Raster, der aber jetzt — wegen der willkürlichen Flugrichtung — nicht nur horizontal, sondern auch vertikal gestreift ist. Jeder Raster steht in der Brennpunktebene seines Objektivs und lässt das Licht eines schachbrettförmigen Himmels-Ausschnitts auf seine Photozelle fallen. Durchquert das Flugzeug gerade ein Feld des durch den Raster hindurch sichtbaren Teils des Himmels, so schwächt es solange dessen Lichtwirkung etwas ab; fliegt es in den vom Raster verdeckten Himmelsbereich, so ist diese Störung wieder beseitigt. Der Witz des «Sehens mit zwei Augen» besteht nun hier darin, die beiden Photozellen nicht mit gleichen, sondern mit *komplementären* Rastern auszustatten: Einem lichtdurchlässigen (weissen) Quadrat des einen Rasters entspricht auf dem andern ein geometrisch gleich gelegenes, aber undurchlässiges (schwarzes) Quadrat, und einem schwarzen Quadrat ein weisses. Das Gesichtsfeld der beiden Augen ist so in zwei komplementäre Bereiche aufgeteilt. Ein Flugzeug trübt die beiden Bereiche niemals gleichzeitig, sondern abwechselnd bald den einen, bald den andern. Während bei gleichen Rastern die photoelektrischen Anregungen der beiden Zellen durch das Flugzeug sich in ihrer Wirkung auf die Messbrücke in jedem Augenblick genau kompensieren würden, lösen sich bei komplementären Rastern entgegengesetzte Wirkungen in einer Folge ab, deren Tempo von der Geschwindigkeit (und Richtung) des Flugzeugs und der Feinheit der Rasterteilung abhängt. Zwischen den Klemmen A B der Messbrücke tritt also eine an den Verstärker kapazitiv weitergeleitete Wechselspannung auf. *Keine* Wirkung auf das Relais hat: 1. eine Schwankung des Beleuchtungsniveaus, dank der erwähnten gegenseitigen Kompensation der von den beiden Zellen bewirkten Spannungsänderungen; 2. ein *ruhender* Fleck am Himmel (Fesselballon), wegen der kapazitiven Kupplung; 3. ein zwar bewegter, aber eine grössere Felderzahl des Rasters besetzender Körper (Zepelin, Wolke), dessen Bewegung die insgesamt auf jede Zelle gelangende Lichtleistung nicht merklich beeinflusst; 4. ein sehr kleiner bewegter Fleck am Himmel (Vogel), wegen der beschränkten Empfindlichkeit der Photozellen.

Mit einem nach diesem Prinzip gebauten, feldmässig und mit handelsüblichen Linsen ausgerüsteten Apparat hat Fitzgerald u. a. folgende Versuche ausgeführt: 1. An einem Septembertag (etwa 16 h) fuhr bei mässig heller Witterung vor dem Petoskop ein schwarzes, vom Hintergrund wenig abstechendes Automobil in gesteigerten Entfernungen vorbei. Solange es sich in dem Gesichtswinkel des Objektivs (rd. 25°) befand, ertönte das von dem Relais in Gang gesetzte Horn. Die Grenzdistanz für zuverlässiges Funktionieren betrug etwa 170 m. Ein in dieser Entfernung gegebenes Zeichen mit einer weissen Flagge beantwortete das Petoskop vermittelt eines an das Relais angeschlossenen Motörchens durch Schwenken einer Flagge. 2. Ein