

Das Grundproblem des öffentlichen Personen-Nahverkehrs in europäischen Großstädten und seine Lösungsmöglichkeiten

Von Prof. Dr.-Ing. Carl Pirath, Stuttgart.

I. Der Formenwandel im Großstadtverkehr

Von manchen Seiten wenden sich Ankläger und Kritiker gegen die Lage im großstädtischen Verkehr und wollen in ihr nur eine krisenhafte, hoffnungslose Verworrenheit sehen. Wer aber genauer die Dinge verfolgt, muß feststellen, daß es sich um einen Gesundungsprozeß handelt, aus dem sich allmählich ein neues Ordnungsprinzip herausbildet, dessen letztes Ziel es ist, eine neue Harmonie zwischen dem Formenwandel im Siedlungscharakter und im Verkehrscharakter der Großstädte zu schaffen. Die Mannigfaltigkeit der Verkehrserscheinungen vom Fußgänger bis zum Kraftwagen in den Großstädten verlangt eine Abklärung des Dualismus von verkehrswirtschaftlichen und verkehrspsychologischen Faktoren, die den Wert einer neuen Verkehrsform bestimmen, im praktischen Verkehrsgeschehen. Aus diesem Grunde ist eine Probe- und Versuchszeit unentbehrlich, um ein neues und gesundes Verhältnis in dem Nebeneinander der verschiedenen Verkehrsmittel aufbauen zu können. Die letzten Jahrzehnte waren erfüllt von diesem Abklärungsprozeß, der nunmehr zu einem gewissen Abschluß gelangt ist und einen entscheidenden Wert für die Neuordnung im Großstadtverkehr besitzt.

Die meisten europäischen Großstädte von Bedeutung sind einem typischen Formenwandel während der letzten Jahrzehnte unterworfen gewesen. Das Wachstum der Großstädte vollzieht sich immer mehr in Gestalt einer Zunahme der Arbeitsstätten im Stadtzentrum und einer Verlagerung der Wohnstätten in die Außenbezirke. Die zum Hochhaus ausgerichtete Aufstockung der Häuser in der City und die Ausbreitung aufgelockerter Wohnsiedlungen in der äußeren Stadtlandschaft sind sein äußeres Zeichen. Die Folge ist, daß der tägliche Rhythmus der Reisen zwischen Wohnung und Arbeitsstätte die Zeit der Berufstätigen in einem so hohen Maße beansprucht, daß die Gesundheit des sozialen Gefüges einer Großstadt primär von der Verbesserung der Raumüberwindung durch die Verkehrsmittel bestimmt wird. Dieser Formenwandel im Siedlungscharakter der Großstädte würde aber kaum Anlaß zu einem schwerwiegenden Verkehrsproblem gegeben haben, wenn nicht gleichzeitig ein Formenwandel im Verkehrscharakter eingetreten wäre, der allen Großstädten eigen ist, und der gekennzeichnet wird durch eine zunehmende Verflechtung und durch gegenseitige Störungen zwischen den öffentlichen Verkehrsmitteln: Straßenbahn, Omnibus und Obus und den individuellen Verkehrserscheinungen: Fußgänger, Radfahrer und Kraftfahrzeuge im Oberflächenverkehr der Straßen. Vor allem das Stadtzentrum der Großstädte, also die Schwerfläche des größten Verkehrsbedarfs, ist diesem Formenwandel in besonders starkem Maße ausgesetzt. Seine Schärfe und Größe wird deutlich durch die Tatsache, daß heute schon im europäischen Großstadtverkehr 66% der Reisenden durch die öffentlichen Verkehrsmittel und 34% durch die individuellen Verkehrsmittel: Radfahrer und

Kraftfahrzeuge, befördert werden, von den letzteren aber beispielsweise der Personenkraftwagen je beförderte Person 15 bis 18 mal mehr Straßenfläche beansprucht als die öffentlichen Verkehrsmittel. Diese gewaltige Steigerung in der Flächenbelegung der Straßen bei nur wenig vergrößerter Kapazität des Straßenraumes hat die Verkehrsnot in der City der Großstädte verursacht. Sie führt zu der Grundforderung, zur Verbesserung der Verkehrsbedingungen im öffentlichen Verkehr, der der Masse der Bevölkerung dient und deshalb einen gewissen Vorrang beanspruchen kann, eine neue Ordnung nach neuen Prinzipien zur Schaffung eines gesunden Gleichgewichts zwischen öffentlichem und individuellem Verkehr vor allem im Zentrum aufzubauen. Die vom Formenwandel des Siedlungscharakters der Großstädte ausgehende Forderung nach möglichst schneller und ungestörter Raumüberwindung zwischen Wohnung und Arbeitsstätten verbindet sich zu einem Einheits- und Grundproblem mit der vom Formenwandel des Verkehrscharakters ausgehenden Forderung nach Auflockerung der Verkehrsenge im Stadtzentrum. Letztere ist primär und ihre Erfüllung eine wichtige Voraussetzung zur praktischen Verwirklichung der ersten Forderung.

Zwei Wege sind dabei gangbar. Einmal die Auflockerung des Verkehrs in der Horizontalen, wobei bestimmte Straßen in erster Linie dem öffentlichen Verkehr und andere Straßen in erster Linie dem individuellen Verkehr offen stehen, oder in der Vertikalen, wobei eine unterirdische Verkehrsebene dem öffentlichen Schienenverkehr und eine oberirdische Verkehrsebene dem individuellen Verkehr zur Verfügung gestellt wird. Der Gedanke, die Schienenbahnen unterirdisch zu legen, ist technisch bedingt, da sie keine kostspieligen Lüftungsanlagen benötigen, die beim unterirdischen Omnibusverkehr unvermeidlich wären. Diese Lösung hat auch den großen Vorzug, daß die Schienenbahnen auf eigenem Bahnkörper den stärkeren Stoßverkehr in den Tagesstunden des Arbeitswechsels auf Grund ihrer größeren Transporteinheit wesentlich leichter bewältigen können als die Einzelfahrzeuge des Omnibusverkehrs.

Besonders in den in der Regel eng gebauten europäischen Großstädten ist dieses Grundproblem von aktueller Bedeutung, jedoch mit der Maßgabe, daß in zerstörten Städten die horizontale Auflockerung wegen der in ihnen gebotenen größeren Planungsfreiheit bis zu einem gewissen Grade zweckmäßig ist, während in unzerstörten Städten nur noch die vertikale Auflockerung auf lange Sicht eine endgültige Bereinigung der Verkehrsnot im Stadtzentrum der Großstädte zu bieten vermag, wenn nicht ganze wertvolle Straßenblocks abgebrochen werden sollen. Ohne die Dinge zu dramatisieren, muß auf Grund eigener systematischer Untersuchungen festgestellt werden, daß heute schon in Städten von 500 000 Einwohnern und mehr eine kritische Grenze im großstädtischen Verkehr im Bereich des Stadtzentrums erreicht worden ist, die eine prinzipielle Neugestaltung des Verkehrsgerüsts in einer der beiden Richtungen für die weitere Zukunft verlangt. Darüber hinaus besteht kaum ein Zweifel, daß die Dynamik des motorisierten Verkehrs die Verkehrsnot in den Großstädten noch weiter steigern wird, wenn keine grundsätzlichen Änderungen im Verkehrssystem vorgenommen werden. Ein Kampf um die Straßenfläche hat eingesetzt, der weder durch neue Signalsysteme noch durch kostspielige städtebaulich kaum tragbare Straßendurchbrüche endgültig entschieden werden kann, sondern ein neues Ordnungsprinzip verlangt.

Da aus verkehrspolitischen und wirtschaftlichen Gründen eine Sperrung des Stadtzentrums für den öffentlichen oder für den individuellen Verkehr

nicht in Frage kommen kann, so ist allein eine neue Harmonie zwischen den beiden Verkehrsarten für die Lebensmöglichkeiten der Großstädte in der Weise tragbar, daß die von ihnen benutzten Verkehrsflächen möglichst voneinander getrennt angelegt werden. Neue Ordnungen müssen sich auf dem schon stark erschütterten Boden des Verkehrs bilden.

Die Mittel und Wege, zu einem neuen Ordnungsprinzip zu gelangen, lassen sich theoretisch in dem bereits erwähnten Sinn einer horizontalen oder vertikalen Auflockerung des Verkehrs im Stadtzentrum finden. Ihre Verwirklichung scheint jedoch von zwei maßgeblichen Hindernissen bedroht, die technischer und wirtschaftlicher Art sind.

Das technische Hindernis liegt in der besonderen Schwierigkeit, im dicht bebauten Stadtgebiet der City einer Großstadt unterirdische Verkehrsanlagen in Gestalt von unterirdischen Straßenbahnen oder Untergrundbahnen zu bauen. Untergrundbahnsysteme von Millionenstädten sind bekannt und haben sich dank der großen Verkehrsleistungen, die sie im Vergleich zu den Oberflächenverkehrsmitteln zu bieten vermögen, bewährt. Bei den Großstädten von 0,5 bis 1,0 Millionen Einwohnern besteht aber nun die besondere Sorge, daß der Aufwand für die teuren Tunnelanlagen, die 12 bis 15 Millionen Mark je Streckenkilometer einschließlich Bahnhöfe kosten, in keinem Verhältnis zu dem Verkehrsumfang oder zu den Verkehrseinnahmen, die die erhöhten Ausgaben decken sollen, steht. Dieses im wirtschaftlichen Bereich liegende Hindernis würde vor allem für die vertikale Auflockerung sehr groß sein, wenn nicht durch das Herausnehmen der Schienenbahnen aus dem Straßenraum Ersparnisse erzielt werden, die den hohen Kapital- und Unterhaltungsdienst für die unterirdischen Strecken auszugleichen vermögen.

Um Klarheit darüber zu gewinnen, ob diese Hindernisse angesichts der Notwendigkeit einer Neuordnung des Verkehrssystems in Großstädten so entscheidend sind, daß die Lösung des Problems unmöglich erscheint, wurde eine grundlegende Untersuchung durchgeführt. Sie bezog sich auf die Ermittlung der Anlagekosten, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit oberirdischer und unterirdischer großstädtischer Verkehrsmittel auf Straße und Schiene. Ueber das Ergebnis, das von überraschend günstigem Wert für die Lösung des schwierigen Verkehrsproblems ist, soll im nachfolgenden berichtet werden mit der Maßgabe, daß bei dem großen Umfang der Untersuchungen nur die hervorstechenden Gesichtspunkte in Bezug auf die Methoden und die Erkenntnisse behandelt werden.

Methodisch wurde die allgemeine Untersuchung nach drei Richtungen gegliedert:

1. Anlagekosten ober- und unterirdischer Schienenbahnen sowie von Hochbahnen
2. Leistungsfähigkeit der oberirdischen und unterirdischen Verkehrsmittel;
3. Änderungen in den Selbstkosten des unterirdischen Verkehrs gegenüber dem oberirdischen Verkehr.

II. Die Anlagekosten von oberirdischen und unterirdischen Schienenbahnen sowie von Hochbahnen¹⁾

Zu den Schienenbahnen wurden gerechnet:

oberirdisch: die im Straßenkörper oder auf selbständigem Bahnkörper liegenden Straßenbahnen sowie die Hochbahnen,

¹⁾ Unter Auswertung einer Arbeit von Dr.-Ing. W. Lambert: „Die vertikale Auflockerung des Großstadtverkehrs — ein Raum- und Kostenproblem der schienengebundenen Verkehrsmittel“, die im Rahmen der Grundlagenforschung des Verkehrswissenschaftlichen Instituts an der Technischen Hochschule Stuttgart durchgeführt wurde. Dissertation, Technische Hochschule Stuttgart, 1954.

unterirdisch: die Straßenbahnen, U-Bahnen und die sogenannten S-Bahnen (Schnellbahnen mit dem Normalprofil der allgemeinen Eisenbahnen),

alle mit 1,435 m (Normalspurweite) mit Ausnahme der Straßenbahnen, bei denen auch die 1,0 m Spurweite in zahlreichen Städten noch vorhanden ist.

Technisch wurden die unterirdischen Schienenbahnen gegliedert nach **Unterpfasterbahnen** mit einem 1,5 m unter der Straßenoberfläche liegenden Tunnelkörper und nach **Tunnelbahnen**, deren Tunnelanlagen in größerer Tiefe mit mindestens 10 m Ueberdeckung nach der Methode des Tunnelbaues hergestellt werden.

Die technischen Grundlagen für die Ermittlung der Anlagekosten von Schienenbahnen für den öffentlichen Personennahverkehr im Bereich von Großstädten mußten zwei Bedingungen entsprechen,

einer betriebstechnischen und
einer kalkulatorischen.

Die **betriebstechnische** Bedingung besagt, daß alle Kosten für die Herstellung der festen oder ortsgebundenen Anlagen erfaßt werden müssen, also nicht allein die Kosten des eigentlichen Weges, sondern auch der Einrichtungen, die in Gestalt von Bahnhöfen und Werkstätten für die Durchführung des Betriebes einer Bahnart unentbehrlich sind. Die beweglichen oder nicht ortsgebundenen Anlagen in Gestalt der Fahrzeuge konnten nach ihren Beschaffungs- oder Anlagekosten zunächst außer Ansatz bleiben, da sie als nicht mit dem Boden verbundene Elemente nach Einsatz und Erschließung von den Eigenarten des Stadtraumes nicht berührt werden. Lediglich ihre generellen Abmessungen sind von Einfluß auf die Größe der Tunnelräume und des lichten Raumes, der über dem Geleise für die Bewegungsvorgänge freigehalten werden muß.

Die **zweite oder kalkulatorische** Bedingung soll ausreichende Grundlagen für die verschiedenen Möglichkeiten der Finanzierung der teuren unterirdischen Schienenbahnen bieten. Im Rahmen der gesamten Erschließung des Stadtkörpers durch Verkehrswege kommt eine volle oder partielle Deckung der Anlagekosten durch die öffentlichen Verkehrsunternehmungen der Großstadt in Frage. Es liegt der Gedanke nahe, daß — ähnlich wie bei den Stadtstraßen — die Anlagekosten auch der Schienenbahnen im Sinne einer partiellen Deckung in der Hauptsache von der Oeffentlichen Hand getragen werden, etwa in der Weise, daß die Anlagekosten für den Rohbau der Tunnelanlage den Verkehrsunternehmen abgenommen werden und diese lediglich für seine Erneuerung und Unterhaltung kostenmäßig verpflichtet werden. Ein gerechter Ausgleich zwischen den Herstellungskosten des Straßenraumes und des Verkehrsweges für die öffentlichen Schienenbahnen würde dann zustande kommen, der letzten Endes der Masse der Stadtbevölkerung zugute kommt. Die Kostenanalyse für die Anlagekosten mußte daher so aufgestellt werden, daß der kalkulatorischen Seite für die spätere Finanzierung der Anlagekosten das nötige Grundmaterial in Zahlen geboten wird. Im einzelnen mußte sich die Ermittlung der Anlagekosten auf eine neuzeitliche Gestaltung der Bahnanlage stützen, sowie auf ihr richtiges Zusammenspiel mit allen Vorgängen des Verkehrs auf der Straße vom Fußgänger bis zum Kraftwagen, so daß im Gegensatz zu früheren Untergrundbahnen die unterirdische Schienenbahn in stärkerem Maße als ein Glied des gesamten Verkehrssystems der Stadt erscheint, das möglichst harmonisch auf die Eigenarten der Vorgänge im Oberflächenverkehr der Straße abgestimmt ist.

Tabelle 1

Grundwerte für die Gestaltung von unterirdischen Schienenbahnen und von Hochbahnen

Grundwerte	Bahnarten			
	Straßenbahn		U ₂ Bahn	S ₂ Bahn
	oberirdisch	unterirdisch		
1. Krümmungshalbmesser in m ¹⁾ (Mindesthalbmesser)	25	100	150	200
2. Haltestellenabstand in m	500	500	650	800
3. Spurweite in m	1,0 u. 1,43	1,0 u. 1,43	1,43	1,43
4. Lichter Tunnelquerschnitt (zweigleisig) in m				
a) Lichte Weite		6,90	6,90	9,0
b) lichte Höhe über S O.		4,35	3,80	5,13
5. Bahnsteiglängen in m	60	70	120	160
6. Wagenbreite in m	2,20 u. 2,50	2,20 u. 2,50	2,65	3,15
7. Transporteinheiten				
a) Länge in m	28,5	28,5	110,4	122,65
b) Fassungsvermögen	200	200	1 000	1 300
8. Geschwindigkeit				
a) V max. km/h	60	60	80	90
b) V max. bei wirtschaftl. Fahrweise u. 500 m Haltestellenabstand km/h	36	37—47	50	50

¹⁾ In besonders gelagerten Einzelfällen können die Maße aus wirtschaftlichen Gründen unterschritten werden.

Tabelle 2

Anlagekapital von oberirdischen und unterirdischen Schienenbahnen in Großstädten

Bahnart	Anlagekapital (Preise 1953) je km 2-gleisige Strecke mit Bahnhöfen insgesamt Einschl. Grunderwerb		
	Mio DM	Mio DM	Spalte 3 mehr als Spalte 2 %
1	2	3	4
I. Oberirdische Straßenbahnen auf selbstständigem Bahnkörper in Straße	2,3	—	—
II. Unterpflasterbahn (Herstellung der Baugrube: Rammträgerbohlwand mit Fahr- bahnabdeckung)	ohne	im	
	Grundwasser		
1) Schnellstraßenbahn	10,8	13,1	21
2) U-Bahn	16,0	18,6	16
3. S-Bahn	20,9	25,7	23
III. Tunnelbahn (Bergmännische Bauweise)	Gebirgsstruktur		
	hart kein	mild, gebräch mittlerer	
	Wasserdrang		
2) U-Bahn	11,9	16,7	40
3) S-Bahn	14,7	20,7	40
IV. Flußunterföhrung (Sonderbauweisen)	Baugrube		
	Zwischen Fänge- dämmen mit Rammträgerbohl- wand oder Spundwänden	künstliche Fluß- sohle (Schutz- decke) auf Sengkästen abgesetzt	
2) U-Bahn	22,4	42,7	90
3) S-Bahn	28,7	49,0	70
V. Hochbahn auf Betonstützen	7,6	—	—

Zu diesen Grundbedingungen treten nun die Grundwerte, die als Elemente der Linienführung für die verschiedenen Verkehrsarten maßgebend sind und in Tabelle 1 niedergelegt wurden.

Für die nach diesen konstruktiven Elementen gestalteten zweigleisigen Schienenbahnen ergeben sich die in Tabelle 2 enthaltenen Durchschnittswerte für die Anlagekosten von 1 km Streckenlänge einschließlich Bahnhofsanlagen. Die Rohbaukosten für den Tunnel der freien Strecke und für die Bahnhöfe einschließlich Gebäudesicherungen und Unterfahrungen betragen bei den Bahnen II—V rund 63—75% der Gesamtanlagekosten. Die Bedeutung des Grundwassers bei den unterirdischen Schienenbahnen kommt in der Tabelle 2 klar zum Ausdruck. Allgemein ist zu erkennen, daß die gesamten Anlagekosten je Längeneinheit für die unterirdische Straßenbahn ohne Grundwasser 4—5 mal, für die U-Bahn 6—7 mal, beide als Unterpflasterbahnen, und für die Tunnelbahn 5—6 mal teurer sind als die oberirdische Straßenbahn auf selbständigem Bahnkörper in der Straße, während die Hochbahn nur 3—4 mal teurer ist. Die so ermittelten Anlagekosten bilden die Grundlage für die wichtige Feststellung des Kapitalsdienstes sowie für die Unterhaltung der ortsgebundenen Anlagen der Schienenbahnen, die beide für die Wirtschaftlichkeit der unterirdischen Betriebsweise von entscheidender Bedeutung sind²⁾.

III. Die Leistungsfähigkeit oberirdischer und unterirdischer Verkehrsmittel.

Die Ermittlung der Leistungsfähigkeit der oberirdischen Verkehrsmittel (Straßenbahn, Omnibus, Obus, Pkw) und ihr Vergleich mit den unterirdischen Verkehrsmitteln (unterirdische Straßenbahn, U-Bahn, S-Bahn) dient zwei Gesichtspunkten. Einmal soll sie Aufschluß geben über die Unterschiede in der Stundenleistung der verschiedenen Verkehrsmittel in Personen und zweitens soll sie einen Anhalt bieten, wie weit die Straße in ihrer Leistungsfähigkeit für den ihr verbleibenden Oberflächenverkehr durch Herausnahme und Unterbringung der Schienenbahn in einem unterirdischen Bahnkörper entlastet wird. Die Hochbahnen können in der Leistungsfähigkeit den unterirdischen Bahnarten gleichgesetzt werden.

Als Maßstab für die Leistungsfähigkeit wurden zwei Fälle unterschieden:

1. die Leistungsfähigkeit der Transporteinheiten,
2. die Netzleistung der Verkehrsmittel mit und ohne Störung durch den Querverkehr im Oberflächenverkehr der Straßen.

Für die Untersuchung des Wertes oder Unwertes einer unterirdischen Straßenbahn ist besonders die Netzleistung der oberirdischen und unterirdischen Straßenbahn bei Sicht- und Raumanstand wichtig, wie sie in Tab. 3 niedergelegt ist. Unter Netzleistung bei Sichtabstand ist die dichteste Zugfolge bei der Straßenbahn in einer Richtung verstanden, die bei einspurigen Haltestellen, 20 Sekunden Haltestellenaufenthalt und Beschleunigungen und Verzögerungen von höchstens 1 m/sec^2 beim Anfahren oder Bremsen erreicht werden kann. Gemäß Tab. 3 ist die Netzleistung der Straßenbahn ohne Störung durch Querverkehr bei Sichtabstand mit einer Zugfolge von 40—44 Sekunden ungefähr 50% größer als bei Raumabstandsfolge, da bei letzterer infolge der in Blockab-

²⁾ Die Verbreiterung einer Straße im Stadtzentrum um 2 Fahrbahnen oder 7 m durch Beseitigung einer langen Häuserfront würde je km mindestens 4—5 mal teurer sein, als 1 km zweigleisiger unterirdischer Schienenbahn von 7 m Breite.

stände eingeteilten und durch Signale abgeschlossenen Streckenabschnitte die Transporteinheiten in wesentlich größeren Abständen, und zwar mit mindestens 60 Sekunden Zeitabstand, voneinander folgen müssen als bei Sichtabstand. Ist die Leistungsfähigkeit einer unterirdischen Straßenbahn bei Sichtabstand nicht mehr dem Verkehrsbedarf gewachsen, so wird sie auf U-Bahn mit größeren Transporteinheiten und mit Raumabstand umgestellt werden müssen, eine Feststellung, die für die Planung einer unterirdischen Straßenbahn auf weite Sicht von entscheidender Bedeutung ist. Diese Umstellung ist verhältnismäßig leicht durchzuführen, da das Lichtraumprofil der unterirdischen Straßenbahn ohne Änderung auch für die U-Bahn maßgebend ist, nur die Bahnsteige der Haltestellen müssen verlängert werden, worauf bei der Planung von unterirdischen Straßenbahnen Rücksicht genommen werden kann.

Um beurteilen zu können, in welchem Umfange die vertikale Auflockerung die Straßen zu entlasten vermag, ist in Tab. 3 für die Spitzenstunde, in der die öffentlichen Verkehrsmittel zeitweise zu 100%, der PKW dagegen nur zu 40% der angebotenen Plätze ausgenutzt sind, die Leistungsfähigkeit einer Fahrspur aufgeführt. Die relativ geringe Leistung einer mit Pkw belegten Spur kommt in der Tabelle ebenso zum Ausdruck wie die Steigerung der Leistungsfähigkeit eines oberirdischen Straßenraumes durch einen unterirdischen Bahnraum, wenn berücksichtigt wird, daß die Leistungsfähigkeit der oberirdischen Verkehrsmittel um 40—50% absinkt, wenn sie durch Querverkehr gestört werden, während die unterirdischen Verkehrsmittel ohne Störung durch den Querverkehr arbeiten können.

Wie steht zu dieser Leistungsfähigkeit einer Straße der Verkehrsbedarf im öffentlichen Personenverkehr einer Stadt, wie beispielsweise Stuttgart, mit ihrer etwas über 0,5 Millionen liegenden Einwohnerzahl? Im Jahre 1953 wurden während der Spitzenstunde auf der Stuttgarter Straßenbahn im stärksten Verkehrsstrom 8 000 Personen in einer Richtung befördert, bei mittlerem Verkehrsstrom 3 600 Personen. Die Tabelle 3 läßt erkennen, daß bei Störungen des Oberflächenverkehrs durch Querverkehr eine Omnibuslinie kaum mehr in der Lage ist, den Verkehrsstrom von 8 000 Personen zu bedienen, während eine Straßenbahnlinie selbst bei Störungen durch Querverkehr dem gerecht zu werden vermag. Noch günstiger ist naturgemäß die unterirdische Schienenbahn, deren Leistungsfähigkeit durch keine Störungen herabgesetzt wird.

Die technische Leistungsfähigkeit der verschiedenen Verkehrsmittel in Abhängigkeit von den Spurweiten und den Transporteinheiten ist vorwiegend eine innerbetriebliche Angelegenheit der Verkehrsunternehmungen, deren Aufgabe es ist, mit dem geringsten Anspruch an die Straßenfläche den Verkehrsbedarf zu befriedigen. Die Allgemeinheit wird ein besonderes Interesse daran haben, mit dem geringsten Zeitaufwand die Fahrten zwischen Wohn- und Arbeitsstätte zurückzulegen. Das leitet über zu der Frage, welche Verkürzung der Reisezeit die vertikale Auflockerung dem Verkehrskunden zu bieten vermag. Zwei Fälle sind dabei zu unterscheiden:

1. der ungebrochene Verkehr, bei dem der Reisende ohne Wechsel des Verkehrsmittels oder ohne Umsteigen zum Stadtzentrum gelangen kann und umgekehrt,
2. der gebrochene Verkehr, bei dem der Reisende mindestens einmal von einem Verkehrsmittel zum anderen umsteigen muß, um das Stadtzentrum zu erreichen.

Für beide Fälle ist die Verkürzung der Reisezeit durch unterirdische Schienenbahnen gegenüber den oberirdischen öffentlichen Verkehrsmitteln in den Raum einer Stadt, ausgehend vom Stadtzentrum, in Abb. 1 übertragen. Der größte Zeit-

Verkehrsleistungen in der Spitzenstunde großstädtischen Verkehrsmittel ohne und mit

Verkehrsmittel	Zugfolge sec	Fahrzeugbreite m
1	2	3
I. Oberirdische Verkehrsmittel		
Oberirdische Nahverkehrsmittel		
1. Straßenbahn 30 bis 45 m lang	40—44	2,20 2,50
2. Obus und Omnibus 12 bis 20 m lang	37—38	2,50
Personenkraftwagen		
3. Pkw	3	—
II. Unterirdische Verkehrsmittel		
Straßenbahn (schienengleiche Kreuzungen)		
4. Sichtabstand 30—45 m lang	40—44	2,20 2,50
5. Raumabstand 30—45 m lang	60	2,20 2,50
Schnellbahn (schienenfreie Kreuzungen)		
6. U-Bahn 80—120 m lang	90	2,50 2,80
7. S-Bahn 100—150 m lang	90	3,10

gewinn liegt in der 1—2 km-Zone vom Stadtzentrum entfernt, da in ihr die stärksten Störungen im Oberflächenverkehr liegen. Von da klingen allmählich die Störungen ganz ab, und die auch dann noch zunehmende Reisezeitverkürzung auf unterirdischen Schienenbahnen gegenüber dem Oberflächenverkehr erklärt sich aus der größeren Geschwindigkeit und den größeren Haltestellenabständen der unterirdischen Schienenbahnen. Die Abb. 1 läßt weiterhin erkennen, daß im gebrochenen Verkehr eine unterirdische Straßenbahn erst bei 1,2 km Entfernung (Luftlinie) vom Stadtzentrum und eine U-Bahn erst bei 0,8 km Entfernung (Luftlinie) in der Lage ist, bei 3 Minuten Umsteigezeit die gleiche Reisezeit wie das Oberflächenverkehrsmittel ohne Umsteigen zu bieten und daß erst darüber hinaus die Ersparnis an Reisezeit durch die unterirdische Schienenbahn immer größer werden kann. Für die Planung von unterirdischen Verkehrsnetzen bedeutet das, daß ein unterirdisches Straßenbahnnetz, in das die an der Oberfläche bleibenden Netzteile einmünden können, also nicht umgestiegen zu werden braucht, verhältnismäßig klein sein kann, während ein unterirdisches U-Bahnnetz, zu dem von den Oberflächenverkehrsmitteln umgestiegen werden muß, zweckmäßig in längeren Linien zu planen und auszubauen ist.³⁾ Je nach der Flächengröße und dem Verkehrsbedarf der Stadt wird die unterirdische Straßenbahn oder die U-Bahn vorzuziehen sein.

Es waren eingehende Studien zur Ermittlung des Umfanges der Störungen bei oberirdischen Schienenbahnen im Vergleich zu den unterirdischen notwendig, wozu Dörfler³⁾ wertvolle Grundzahlen ermittelt hat. In systematischer Schau gehen die Störungen einmal von der technischen Anlage

³⁾ Dr.-Ing. W. Dörfler: „Störsummanden für Fahrzeiten, Stromverbrauch und Haltestellenaufenthalte der Straßenbahnen“, Dissertation, Technische Hochschule Aachen, 1953.

**der oberirdischen und unterirdischen
Querverkehr in einer Richtung und für eine Fahrspur**

Tabelle 3

Leistungsfähigkeit in Plätzen je Stunde		Anmerkungen
ohne Querverkehr	mit Querverkehr	
4	5	6
Leistungs-minderung 10% ¹⁾ 15 000—21 000 18 000—23 000 7 000—12 000 1 200 Fz/h mit 1,67 Pers/Fz 2 000	Leistungs-minderung 30% ²⁾ 12 000—16 000 14 000—18 000 6 000—9 000 Leistungs-minderung 50% ³⁾ 1 000	Eingleisige bzw. einspurige Einfachhaltestellen mittlere Höchstgeschwindig- keit = 36 km/h, Haltezeit = 20 Sek.
Leistungs-minderung 10% ⁴⁾ 15 000—21 000 18 000—23 000 10 000—15 000 12 000—18 000 Leistungs-minderung 0% 26 000—38 000 29 000—44 000 39 000—59 000		Eingleisige Einfachhalte- stellen mittlere Höchstgeschwindig- keit = 36 km/h, in starken Krümmungen geringer, Haltezeit = 20 Sek.

¹⁾ Infolge fahrplanbedingter Störungen

²⁾ Planmäßige Halte fallen etwa zur Hälfte mit Störungen infolge Querverkehr zusammen

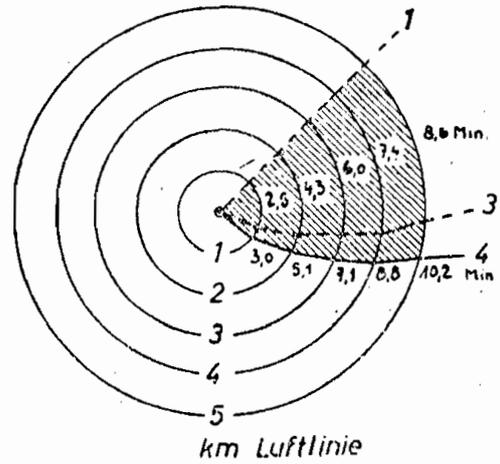
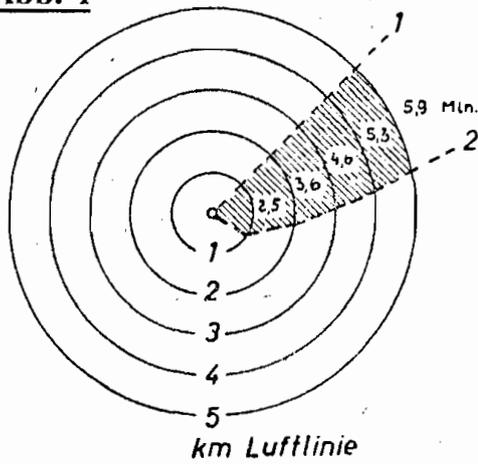
³⁾ Keine planmäßigen Halte

⁴⁾ Infolge fahrplanbedingter Störungen bzw. schienengleicher Kreuzungen

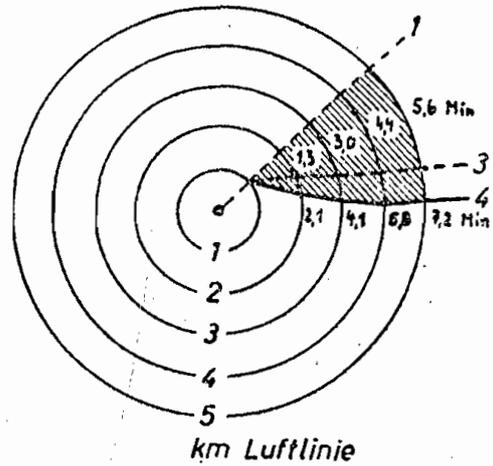
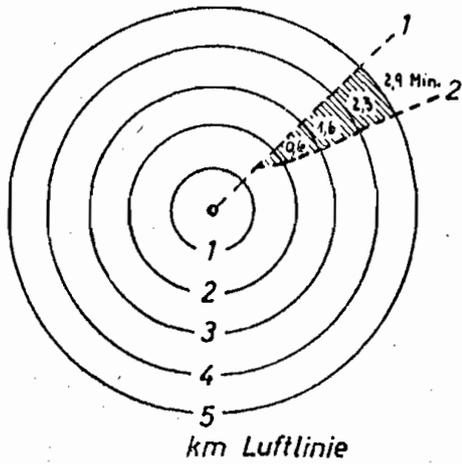
der Gleise, die den technischen Bedingungen der Straßenanlage unterworfen ist und daher zum Teil für eine Schienenbahn wesensfremd ist, und zweitens von den hemmenden Einflüssen aus, die die anderen Verkehrsmittel im Straßenraum ausüben und die im allgemeinen mit Querverkehr bezeichnet werden. Die zuerst genannten Störungen sind ständiger Art und entstehen bei Ueberfahren von Gleiskreuzungen, Befahren enger Gleisbögen, Befahren elektrischer Weichen mit anschließender Kurvenfahrt. Diese Störungen können bei unterirdischer Anlage der Schienenbahnen vermieden werden, da bei ihnen die Ueberhöhung der Kurven möglich ist und Gleiskreuzungen zwischen den Haltestellen kaum vorhanden sind. Der gesamte Zeitverlust infolge der ständigen Störungen kann daher für die unterirdische Führung der Schienenbahnen als Zeitgewinn angesehen werden.

Im Gegensatz zu den technischen oder ständigen Störungen sind die an zweiter Stelle genannten Störungen veränderlich. Sie entstehen durch Querverkehr (Kreuzung von Neben- und Hauptstraßen), Verkehrsregelung durch Posten und Lichtsignale, Behinderung durch Parallelverkehr und durch Geschwindigkeitsbeschränkungen. Alle diese Störungen, die, wie gesagt, unter dem Sammelnamen „Störungen durch Querverkehr“ erfaßt werden können, fallen bei unterirdischen Anlagen fort. Wird die Grundfahrzeit, bei der lediglich die wirtschaftliche Fahrweise, die in erster Linie durch die Motorerwärmung bestimmt wird, und die Neigungsverhältnisse der Strecke und die normalen Aufenthaltszeiten berück-

Abb. 1



Ungebrochener direkter Personenverkehr



Gebrochener Personenverkehr

Oberflächenverkehrsmittel Zubringer zu unterirdischer Schienenbahn bei 3 Min. Übergangszeit

Zone und Maß des Zeitvorsprungs unterirdischer Schienenbahnen gegenüber oberirdischen öffentlichen Verkehrsmitteln im ungebrochenen und gebrochenen Verkehr zwischen Stadtzentrum und Außenzonen

- | | |
|--|--|
| ----- 1 Oberflächen-Nahverkehrsmittel
(Spitzenstundenverkehr) | } mittlerer Haltestellenabstand
400 m |
| ----- 2 Unterirdische Straßenbahn | |
| ----- 3 Unterirdische Schnellstraßenbahn | } mittlerer Haltestellenabstand
500 m bis 1.5 km
und 800 m ab 1.5 km |
| ----- 4 Untergrundbahn | |



Zeitvorsprung in Minuten

sichtigt sind, zusammen mit den Störungszeiten der Fahrt gleich 100% gesetzt, so ergeben sich die in Tabelle 4 enthaltenen Prozentzahlen für die Störungszeiten bei oberirdischen Straßenbahnen im Vergleich zu unterirdischen Straßenbahnen im Verhältnis zur gesamten Fahrzeit der oberirdischen Straßenbahnen. Die Erhebungen wurden für eine größere Zahl von Großstädten von 500 000 bis 800 000 Einwohnern durchgeführt. Aus dem Anteil der ständigen und der veränderlichen Störungen an der gesamten Störungszeit ergeben sich wertvolle Anhaltspunkte über das Gewicht der Störungsarten bei den Straßenbahnen. Es zeigt sich, daß beim Normalverkehr die Störungszeit 21—26%, beim Spitzenverkehr 25—28% der gesamten Fahrzeit beträgt. Der verhältnismäßig geringe Unterschied zwischen dem Normalverkehr und dem Spitzenverkehr erklärt sich aus den großen Aufenthaltszeiten, die beim Spitzenverkehr sowohl oberirdisch wie unterirdisch wegen des Verkehrsandranges notwendig sind. Es kann für weitere Untersuchungen davon ausgegangen werden, daß eine Fahrzeiterparnis von 25% bei unterirdischen Straßenbahnen gegenüber der oberirdischen Straßenbahn erreicht wird. Würde eine ähnliche Untersuchung für die U-Bahn und die S-Bahn im Vergleich zur oberirdischen Straßenbahn aufgestellt, so würde wegen der größeren Haltestellenabstände und höheren Geschwindigkeiten die Fahrzeiterparnis noch größer sein, wie es in Abb. 1 klar zum Ausdruck kommt.

Die Ergebnisse der Tabelle 4 entsprechen der derzeitigen Lage der Verkehrsenge in den Großstädten. Sie werden sich mit der Zunahme des motorisierten Verkehrs und damit der Verkehrsballungen im Stadtzentrum für die oberirdische Führung von Schienenbahnen unter dem Einfluß der veränderlichen Störungen noch ungünstiger gestalten und können noch größeren Zeitgewinn bei vertikaler Auflockerung im Vergleich zum Oberflächenverkehr bringen.

Tabelle 4

Art und Ausmaß der Störungen bei 5-10 km Streckenlänge im oberirdischen Straßenbahnverkehr in Bezug auf die Fahrzeit

Orte	An dem Mehrbedarf an Fahrzeit infolge Störungen sind beteiligt im Normalverkehr die		Mehrbedarf an Fahrzeit infolge Störungen in % der gesamten Fahrzeit im Normalverkehr	An dem Mehrbedarf an Fahrzeit infolge Störungen sind beteiligt im Spitzenverkehr die		Mehrbedarf an Fahrzeit infolge Störungen in % der gesamten Fahrzeit im Spitzenverkehr
	ständigen Störungen mit %	veränderlichen Störungen mit %		ständigen Störungen mit %	veränderlichen Störungen mit %	
1	2	3	4	5	6	7
Großstädte im Durchschnitt	60	40	25	45	55	27

Anmerkung: Im Bereich der Innenstadt beträgt auf einer Streckenlänge von 1,5 km der Mehrbedarf an Fahrzeit infolge Störungen 35—45% der gesamten Fahrzeit auf dieser Strecke.

Der Leistungssteigerung des öffentlichen Verkehrs bei unterirdischer Anlage von Schienenbahnen steht eine entscheidende Entlastung des Stadtzentrums und damit eine Leistungssteigerung des individuellen Verkehrs in diesem Stadtbereich gegenüber. Das Maß der Entlastung läßt sich am deutlichsten aus einem Vergleich zwischen dem völligen Ersatz der Straßenbahnen durch öffentlichen Omnibusverkehr und dem partiellen Omnibusverkehr bei unterirdischer Führung der Schienenbahnen im Stadtzentrum ableiten. Es wird vielfach die Ansicht vertreten, daß der Ersatz der Straßenbahnen durch Omnibusse oder Obusse eine billigere und zweckmäßigere Auflockerung des Verkehrs bringen könne, als die Beibehaltung der Straßenbahn. Das mag für Städte bis zu 300 000 Einwohnern zutreffen. Für Städte von mehr als 500 000 Einwohnern ist diese Lösung nicht mehr tragbar, da in den eng gebauten Großstädten die große Zahl von Omnibussen neben dem individuellen Verkehr die Verkehrsnot im Vergleich zur heutigen Straßenbahn noch mehr verstärken würde.

In einer Großstadt von 0,5—0,7 Millionen Einwohnern würden beispielsweise bei vollem Ersatz der Straßenbahn durch Omnibusse in der Spitzenstunde des Verkehrs rund 1 200 Omnibusse das Stadtzentrum befahren. Das würde bedeuten, daß sie bei einer Verteilung auf zwei Straßen in Abständen von 6 Sekunden sich bewegen müssen und keine Zeit für Aus- und Einsteigen sowie Umsteigen ohne größeren Rückstau, bei dem im engen Straßennetz des Stadtkerns üblichen Einrichtungsbetrieb an den Haltestellen zur Verfügung stehen würde. Dieser Rückstau würde sich übertragen auf die Knotenpunkte und zu Zuständen führen, die zeitweise eine völlige Verstopfung des Stadtkernes mit all ihren Folgen für den gesamten Verkehr mit sich bringt. Das Beispiel der englischen Stadt Manchester, die verhältnismäßig breite Straßen besitzt und den öffentlichen Verkehr seit längerer Zeit auf Omnibusse umgestellt hat und jetzt mit den größten Schwierigkeiten in der Abwicklung des öffentlichen Verkehrs zu kämpfen hat, mag dazu eine praktische Vorstellung geben.

Um demgegenüber die Entlastung des Stadtkernes bei unterirdischer Führung der Straßenbahn festzustellen, empfiehlt es sich, die Belegung des Stadtzentrums durch Omnibusse, die an Stelle der aufgelassenen Straßenbahn den öffentlichen Verkehr bedienen, gleich 100 % zu setzen. Bei Uebernahme des öffentlichen Verkehrs durch unterirdische Schienenbahnen würde für eine gewisse Unterverteilung des Verkehrs zwischen den mehr oder weniger großen Netzmaschen des unterirdischen Schienennetzes von dieser Omnibuszahl nur 10—15 % bei der unterirdischen Straßenbahn, 45—50 % bei der U-Bahn und 65—70 % bei der S-Bahn das Stadtzentrum berühren. Die stärkste Entlastung des Stadtkernes würde daher die unterirdische Straßenbahn bringen, während die U-Bahn und S-Bahn wegen ihres weitmaschigeren Netzsystems ihr in erheblichem Abstand folgen. Der durch die unterirdische Führung der Straßenbahn freigewordene Straßenraum des Stadtkernes steht den individuellen Verkehrsmitteln fast voll zur Verfügung und kann, da die Homogenität des Straßenverkehrs durch die Herausnahme der Straßenbahn sich wesentlich verbessern konnte, nach Prinzipien gestaltet werden, die diesen Verkehrsmitteln konform sind. Vor allem kann sich der öffentliche Verkehr ohne Störungen von anderer Seite mit größerer Sicherheit, Schnelligkeit und Regelmäßigkeit für jede weitere Entwicklung der Zukunft abwickeln.

Doppeldeckomnibusse haben sich nach den Erfahrungen in amerikanischen und kontinentaleuropäischen Großstädten nicht bewährt, da sie längere Aufenthaltszeiten an den Haltestellen verursachen und daher vor allem in den Spitzenstunden

den Verkehrsfluß im Stadtzentrum stärker behindern als die einfachen Omnibusse, so daß die mit den Doppeldeckomnibussen beabsichtigte Steigerung der Leistungsfähigkeit zum erheblichen Teil wieder aufgehoben wird.

IV. Änderungen in den Selbstkosten des unterirdischen Verkehrs gegenüber dem oberirdischen Verkehr

Um einen größenordnungsmäßigen Anhalt über die Selbstkosten, oder allgemein gesprochen, die Betriebskosten der unterirdischen Schienenbahnen im Vergleich zu den oberirdischen zu erhalten, wurde von den Betriebskosten der oberirdischen Straßenbahn einer Stadt von 500 000 Einwohnern ausgegangen und zu diesem Zweck Stuttgart zugrunde gelegt.

Die Selbstkostenanalyse der Stuttgarter Straßenbahn für das Jahr 1952 ist in üblicher Weise in die verschiedenen Kostenarten wie Kapitaldienst, Unterhaltung, Betriebsstoff, Personal, Verwaltung und Allgemeines gegliedert und kann in dieser Form auf die Jahresverkehrsleistungen in Personen bezogen werden, so daß die Kosten je beförderte Person oder je Fahrt einer Person ermittelt und miteinander verglichen werden können. Es wird dabei von dem Gedanken ausgegangen, daß die Verkehrsleistungen in Personen je Jahr auf der oberirdischen Straßenbahn zum mindesten auch für den Verkehr der unterirdischen Bahn der gleichen Stadt maßgebend sind und auf sie die Selbstkosten der unterirdischen Schienenbahn umgelegt werden können, so daß das Mehr oder Weniger der Kosten erfaßt werden kann. Für das angezogene Beispiel Stuttgart betragen die Verkehrsleistungen im Jahre 1952 auf der Straßenbahn 165 Mio Personen.

Die Selbstkosten der unterirdischen Schienenbahn werden naturgemäß in besonderem Maße durch die Länge der unterirdischen teuren Strecken bestimmt, so daß diese Länge als Bezugsgröße in konkreter Form eingesetzt werden muß. Der Kapitaldienst für die unterirdischen ortsgebundenen Anlagen wurde nach einem kalkulatorischen Zinssatz von 5,5 % und 3,0 % und nach einem Abschreibungssatz von 2 % berechnet. Die verschiedenen Zinssätze wurden zugrunde gelegt, um die Bedeutung des Zinsdienstes stärker hervorzuheben und einem in normalen Zeiten üblichen niedrigen Zinssatz gerecht zu werden. Die Unterhaltungskosten für die ortsgebundenen Anlagen werden sich bei den unterirdischen Bahnen um die Unterhaltung für den Rohbau der Tunnelanlagen einschließlich Bahnhöfe erhöhen, während die Unterhaltungskosten für die übrigen Anlagen unterirdisch und oberirdisch vor allem für den Oberbau gleich sein werden. Auf Grund der Erfahrungen bei bestehenden U-Bahnen (Paris und Berlin) wurde ein Unterhaltungssatz von 0,33 % jährlich der Anlagekosten für den Rohbau zugrunde gelegt.

Dem einen Mehraufwand verursachenden Kapitaldienst und den Unterhaltungskosten für die Tunnelanlagen, für die der ungünstigste Fall einer Herstellung im Grundwasser der Kalkulation zugrunde gelegt wurde, ist der Minderaufwand gegenüberzustellen, der sich aus Ersparnissen im Bedarf an Kraft, Personal und Fahrzeugen und auf dem Gebiet der Versicherung ergibt. Die Ersparnisse im Kraftbedarf ergeben sich aus dem Fortfall der ständigen Störungen des oberirdischen Betriebes. Sie wurden nach den gleichen Prinzipien ermittelt wie unter Abschnitt III die Ersparnisse an Fahrzeit und in Tabelle 5 für Kraftstoff niedergelegt. Es zeigt sich, daß der Mehrbedarf an Kraft infolge der Störungen 42 % des gesamten Kraftbedarfs im Normal- und Spitzenverkehr des oberirdischen Betriebes ausmacht, der unterirdisch gespart werden kann.

Tabelle 5

Art und Ausmaß der Störungen bei 5-10 km Streckenlänge im oberirdischen Straßenbahnverkehr in Bezug auf den Kraftbedarf

Orte	An dem Mehrverbrauch an Kraft infolge Störungen sind beteiligt die		Mehrbedarf an Kraft infolge Störungen in % des gesamten Kraftbedarfs im Normal- u. Spitzenverkehr
	ständigen Störungen mit %	veränderlichen Störungen mit %	
1	2	3	4
Großstädte im Durchschnitt	83	17	42

Anmerkung: Im Bereich der Innenstadt beträgt auf einer Streckenlänge von 1,5 km der Mehrbedarf an Kraft infolge Störungen 50-60% des gesamten Kraftbedarfs dieser Strecke.

Eine besondere Rolle spielen die geringeren Fahrzeiten bei unterirdischem Streckennetz infolge Fortfall der oberirdischen Störungen für die Personal- und Fahrzeugkosten, da mit dem schnelleren Umlauf der Fahrzeuge auch die Zahl der Züge und Zugbegleitpersonale kleiner sein kann. Diese Untersuchung, die bei dem hohen Anteil der Personalkosten an den gesamten Selbstkosten (40%) von besonderer Bedeutung ist, wurde auf analytischem und graphischem Wege durchgeführt, um eine gegenseitige Kontrolle zu erhalten. Er ergab sich, daß unter Berücksichtigung des starren Fahrplans und der Wendezeiten der Züge eine Mindestersparnis an Personal von 25% gegenüber dem oberirdischen Betrieb entsteht. Dieser Prozentsatz ist aber auch für den Fahrzeugpark maßgebend und kann für die Ersparnis am Wagenpark zur Ermittlung seines Kapitaldienstes und seiner Unterhaltung dienen.

Die ermittelten Prozentsätze für Ersparnisse an Kraftstoff und an Aufwendungen für Personal und Fahrzeugpark bedürfen für ihre praktische Verwertung noch einer Modifizierung in Bezug auf die unterirdische Netzlänge. Ebenso wie die Mehraufwendungen für den Kapitaldienst und die Unterhaltung je Fahrt einer Person bei unterirdischen Bahnen von ihrer Netzlänge beeinflusst werden, insofern als mit der Zunahme der Netzlänge sich die Mehrkosten je Fahrt erhöhen, liegt eine ähnliche Abhängigkeit von der Netzlänge bei den Minderaufwendungen oder Ersparnissen, die je Fahrt bei unterirdischen Bahnen entstehen, vor. Die Ersparnisse ergeben sich, wie festgestellt wurde, durch den Fortfall von Störungen im oberirdischen Netz überall dort, wo dieses durch einen unterirdischen Netzteil ersetzt wird. In dem Maße, wie die Störungen, vom Stadtzentrum aus gerechnet, nach den Außenstrecken auf dem oberirdischen Netz abklingen, wird auch ihre Beseitigung durch unterirdische Netzteile regional bestimmt sein. Ein kleines unterirdisches Netz, das sich auf das Stadtzentrum von 2-3 km Durchmesser beschränkt, wird nur einen, allerdings den größten Teil der Störungen beseitigen können, und zwar denjenigen, der im Bereich dieser Stadtzone liegt, während ein weiter über die Grenze des Stadtzentrums hinausgehendes unterirdisches Netz

schließlich den kleinen Rest der Störungen beseitigen kann. Letzteres trifft bereits bei 2,5 km Luftlinie vom Stadtzentrum entfernt im wesentlichen zu. Für diesen Fall würden die ermittelten Ersparnisätze für Kraftstoff, Personal und Fahrzeugpark voll für den wirtschaftlichen Vergleich der Betriebskosten zwischen oberirdischen und unterirdischen Bahnsystemen eingesetzt werden können.

Auf Grund dieser Ueberlegungen kann von folgenden Beziehungen zwischen der unterirdischen Netzlänge und den durch sie beseitigten Störungen in Prozent der gesamten Störungen ausgegangen werden:

Länge des unterirdischen Netzes km	von den gesamten Störungen werden beseitigt (Störungssätze) %
2 (1 Strecke)	25
4 (2 Strecken in Kreuzlage)	50
5—6	66
9—10 und mehr	100

Werden die früher ermittelten Sätze von 40 % Ersparnis für Kraftstoff und 25 % Ersparnis an Personal und Fahrzeugaufwand mit den jeweiligen Störungssätzen und mit den Kosten je Fahrt einer Person des oberirdischen Schienensystems multipliziert, so ergeben sich die für die verschiedenen Netzlängen tatsächlich zu erwartenden Ersparnisse der genannten Kostenarten je Fahrt.

Diese Berechnung ist als Beispiel in Tabelle 6 für das Straßenbahnsystem von Stuttgart und für ein unterirdisches Straßenbahnnetz von 5,0 km Länge im einzelnen durchgeführt und in Abb. 2 für die verschiedenen Störungssätze 25, 50, 66 und 100 % in Verbindung mit den Mehraufwendungen je Fahrt für Kapitaldienst und Unterhaltung sowie in Abhängigkeit von den Netzlängen eingetragen. Das Ergebnis ist sehr aufschlußreich. Es zeigt sich, daß bei 5,5 % Zinsen die Ersparnisse bis zu einer unterirdischen Netzlänge von 6,7 km größer sind als die Mehraufwendungen und bei 3,0 % Zinsen sogar bis zu 9,8 km.

Planungen von unterirdischen Schnellstraßenbahnen für mehrere Großstädte haben ergeben, daß bereits mit einem Netz von 5—6 km unterirdischer Straßenbahnführung die Entlastung des Stadtzentrums vom öffentlichen Verkehr voll erreicht werden kann, so daß praktisch die Selbstkosten im Betrieb des gesamten Netzes der Straßenbahn mit ihrer partiellen unterirdischen Führung die gleichen sind wie im bisherigen, ganz an der Oberfläche liegenden Straßenbahnnetz. Mit anderen Worten: die Verkehrskunden brauchen keine höheren Fahrpreise zu zahlen, und die Verkehrsunternehmungen werden ihren bisherigen wirtschaftlichen Erfolg aufrecht erhalten können, sobald die Investitionsmittel für die unterirdischen Anlagen mit einer Garantie durch die Oeffentliche Hand gesichert sind. Sollte, was im Vergleich mit den von der Oeffentlichen Hand übernommenen Straßenkosten für den Kraftverkehr gerechtfertigt wäre, das Kapital für den Rohbau der unterirdischen Anlagen von der Oeffentlichen Hand zinslos zur Verfügung gestellt werden, so würde der wirtschaftliche Betrieb der Verkehrsunternehmungen sich noch weit günstiger gestalten als bei dem bisherigen Oberflächenverkehr der Straßenbahn.

Schlußfolgerungen

Die allgemeinen Untersuchungen haben ergeben, daß das Nebeneinander von öffentlichen und individuellen Verkehrsmitteln im Kerngebiet von Großstädten

mit mehr als 500 000 Einwohnern bereits zu erheblichen Behinderungen des öffentlichen Verkehrs geführt hat.

Diese Behinderungen haben die Fahrzeit der öffentlichen Verkehrsmittel um 20—30 % gegenüber den Verhältnissen vor der Motorisierung des Straßenverkehrs erhöht und kostenmäßig einen Mehraufwand an Betriebsstoffkosten von 40—42 % verursacht.

Unter diesen Umständen liegt eine Loslösung des öffentlichen Verkehrs aus der Verflechtung mit dem individuellen Verkehr und seinen Störungen in Gestalt der vertikalen Auflockerung um so mehr im Interesse der Verbesserung beider Verkehrsarten, als durch die weiter zunehmende Motorisierung die Behinderung des oberirdischen öffentlichen Verkehrs sich in Zukunft noch steigern wird.

Die vertikale Auflockerung in Form der unterirdischen Lage der Schienenbahnen ist in den Städten von mehr als 0,5 Mio Einwohnern in den meisten Fällen zweckmäßiger als ihr Ersatz durch Obus oder Omnibusverkehr, da dieser die Verkehrsenge im Stadtzentrum in Straßenhöhe noch wesentlich steigern würde. Die Steigerung der Leistungsfähigkeit und Bequemlichkeit, die ein unterirdisches Schnellstraßenbahnnetz im Vergleich zu einem oberirdischen Netz von Straßenbahnen oder Omnibussen mit all seinen derzeitigen und künftig noch zunehmenden Störungen durch den übrigen Straßenverkehr bietet, wird den öffentlichen Verkehr anziehender machen und daher indirekt zu einer Entlastung der Straßen im Verkehr mit Personenkraftwagen führen. Diese positive Wirkung der unterirdischen Lage des wichtigsten öffentlichen Verkehrsmittels kann angesichts der weiteren Entwicklungskurve des motorisierten Verkehrs für eine Großstadt nicht hoch genug eingeschätzt werden. Sie bietet ferner eine sehr wichtige Voraussetzung dafür, dem Fußgängerverkehr im Geschäfts- und Verwaltungsviertel der Stadt die unbedingt notwendigen Erleichterungen zu schaffen.

Der alte Grundsatz, daß unterirdische Bahnen erst ab Stadtgrößen von 1 Million Einwohnern angebracht sind, ist infolge des Formenwandels im Verkehrscharakter der Großstädte heute nicht mehr gültig und muß auf den neuen Maßstab umgestellt werden, nach dem unterirdische Schienenbahnen in Gestalt von unterirdischen Straßenbahnen und von U-Bahnen als ein volkswirtschaftlich und städtebaulich besonders wertvolles Mittel für eine endgültige Neuordnung des öffentlichen Personennahverkehrs in Großstädten mit mehr als 500 000 Einwohnern angesehen werden können.

Falls das Wachstum einer Großstadt in späteren Zeiten eine Umstellung der unterirdischen Straßenbahn auf U-Bahn notwendig macht, so ist dies ohne besondere technische Schwierigkeiten möglich, da von den ortsgebundenen Anlagen nur die Bahnsteige geändert oder verlängert werden müssen.

Die Untersuchungen haben im übrigen gezeigt, daß bei aller wertvollen Entwicklungsarbeit, die zur Lösung der Verkehrsprobleme in Großstädten vor allem in den Vereinigten Staaten von Amerika geleistet wird, für europäische Großstädte eigene Untersuchungen und eigene Maßstäbe erforderlich sind, da die Siedlungs- und Verkehrsbedingungen und daher auch die technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen in beiden Räumen in vieler Hinsicht grundverschieden sind.

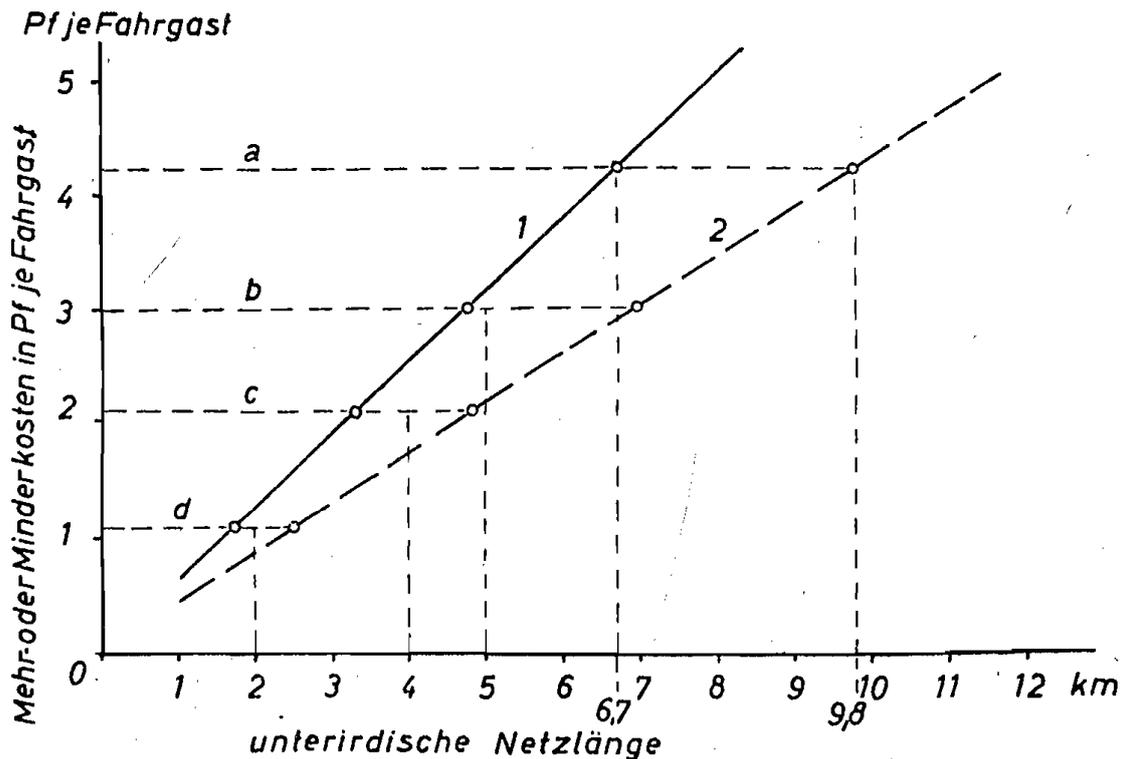
Tabelle 6

**Der Betriebskostenvergleich zwischen oberirdischen und unterirdischen Schienenbahnen
in Großstädten am Beispiel des Straßenbahnsystems von Stuttgart und 5 km unterirdischer Netzlänge**
(1952: 165 Millionen beförderte Personen oder Fahrgäste)

Kostenarten	Betriebskosten der oberirdischen Straßenbahn insgesamt und je Person im Jahr 1952		Erhöhung (+) oder Minderung (—) der Betriebskosten durch das unterirdische Netz von 5 km Länge in Pfg./Person für ortsggebundene Anlagen mit			
	in 1 000 DM	Pfg./Person	Zins. 5,5%, Abschreib. 2,0%		Zins. 3,0%, Abschreib. 2,0%	
			+	—	+	—
1	2	3	4	5	6	7
1. Verzinsung und Abschreibung des ortsggebundenen Anlagekapitals	1 385	0,82	3,05	—	2,05	—
2. Unterhaltung der ortsggebundenen Anlagen	4 471	2,71	0,11	—	0,11	—
3. Verzinsung und Abschreibung des nicht ortsggebundenen Anlagekapitals oder der Fahrzeuge	654	0,39	—	0,07	—	0,07
4. Unterhaltung der Fahrzeuge	6 784	4,11	—	0,75	—	0,75
5. Betriebsstoff	3 646	2,21	—	0,60	—	0,60
6. Fahrpersonal	14 066	8,51	—	1,54	—	1,54
7. Versicherung	296	0,18	—	0,07	—	0,07
8. Verwaltung und Allgemeines	4 322	2,62	—	—	—	—
	35 624	21,55	3,16	3,03	2,16	3,03

Abb. 2

Die wirtschaftliche Grenze zwischen der oberirdischen und unterirdischen Straßenbahn in Abhängigkeit von den Mehr- oder Minderkosten des unterirdischen gegenüber dem oberirdischen Verkehr bei gleichem Verkehrsumfang (165 Mio Fahrgäste im Jahr) am Beispiel von Stuttgart 1952 (Baukosten im Grundwasser)



1 = Mehrkostenlinie infolge 5,5% Zinsen, 2% Abschreibung und 0,33% Unterhaltungskosten der Bahnanlagen

2 = Mehrkostenlinie infolge 3% Zinsen, 2% Abschreibung und 0,33% Unterhaltungskosten der Bahnanlagen

a = Minderkostenlinie bei Beseitigung der Störungen um 100%

b = Minderkostenlinie bei Beseitigung der Störungen um 66% (5 km)

c = Minderkostenlinie bei Beseitigung der Störungen um 50% (4 km)

d = Minderkostenlinie bei Beseitigung der Störungen um 25% (2 km)

○ = wirtschaftliche Grenzen