

# Metro systems in year 2000 : modernization, diversification and expansion

Les réseaux de métro en l'an 2000 :  
modernisation, diversification et expansion

Metrosysteme im Jahre 2000  
Modernisierung, Diversifizierung  
und Erweiterung

Dr. Vukan R. Vuchic, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, USA

Mr. Vukan R. Vuchic deals with the latest developments of metro networks and with their future state in the 21st century.

He recalls the basic characteristics of metro and the positive and stimulating role it can play in large cities. While its first networks were opened more than a century ago, metro still knows an important growth: for example, it is the best adapted means of transport in some large cities in developing countries. Furthermore, technical improvements and a diversification of existing systems allow an ideal adaptation to the particular conditions of each city.

At the end of the article, the author goes on with the debate begun in the issue 3/1986 of the Revue following the World Bank study.

M. Vukan R. Vuchic traite des derniers développements des réseaux de métro et de leur avenir à l'horizon du 21<sup>e</sup> siècle.

Il rappelle les principales caractéristiques du métro et le rôle positif et stimulant qu'il peut jouer dans les grandes villes. Alors que ses premiers réseaux furent ouverts il y a plus d'un siècle, le métro connaît aujourd'hui encore une forte croissance: ainsi, il s'impose comme moyen de transport privilégié dans de grandes villes des pays en voie de développement. En outre, des améliorations techniques et une diversification des systèmes existant permettent une adaptation idéale aux conditions particulières de chaque ville.

A la fin de l'article, l'auteur poursuit le débat engagé dans le numéro 3/1986 de la Revue suite à l'étude de la Banque Mondiale.

Herr Vukan R. Vuchic befasst sich mit den neuesten Entwicklungen der U-Bahn-Netze und ihrer Entwicklungsaussichten mit dem Horizont des 21. Jahrhunderts.

Er erinnert an die wichtigsten Merkmale der U-Bahn und der positiven und stimulierenden Rolle, die sie in den grossen Städten spielen kann. Während die ersten U-Bahn-Netze bereits vor mehr als einem Jahrhundert in Betrieb genommen wurden, zeigt die U-Bahn bis zum heutigen Tage ein starkes Wachstum: sie erweist sich in einigen grossen Städten der Entwicklungsländer als bevorzugtes Verkehrsmittel. Hinzu kommt, dass die technischen Verbesserungen und eine Diversifizierung der bestehenden Systeme eine ideale Anpassung an die besonderen Verhältnisse jeder Stadt ermöglichen.

Am Ende seines Aufsatzes setzt der Verfasser die Aussprache fort, die im Anschluss an die Untersuchung der Weltbank in der Ausgabe 3/86 der Revue begonnen worden war.

## 1. Role and Significance of Metro Systems

Transit systems popularly known as subways, undergrounds, elevat-

## 1. Le rôle et l'importance des réseaux de métro

De nombreuses langues utilisent un terme unique pour désigner les ré-

## 1. Die Rolle und Bedeutung von Metrosystemen

Die innerstädtischen Verkehrssysteme, die allgemein unter Bezeich-

ed lines and professionally known as *rapid transit* or *metropolitan railways* are gradually getting a name uniform for many languages: *METRO* has become the standard, popular and professional term not only in France, but also in the Soviet Union, United States (Washington, Baltimore), in Spanish-speaking countries (Mexico, Caracas) and many other cities and countries. The Federal Republic of Germany continues to use *U-Bahn* as its standard term, although some light rail systems are also given that designation (Köln, Frankfurt). In this article the terms «rapid transit» and «metro» will be used interchangeably.

With a growing consensus on the name, is there an adopted definition of this transit mode? Although precise definitions of it exist in the literature (see, for example, [1]), there is still frequent confusion, mostly caused by defining metros through operations in tunnels. Therefore the following definition is given:

*Rapid transit* or *metro* is a transit system consisting of high-capacity electrically powered guided vehicles operated in trains of 1 to 10 cars on fully-controlled (category A) rights-of-way and stations.

The vast majority of metro systems utilize rail technology and operate partly or fully in tunnels, but these are not the basic characteristics which a system must have to be defined as a metro. Several French-designed metro systems (Montreal, Mexico, Lyon) have rubber-tired vehicles with rails only for switching and tire-failure, while rapid transit in Sapporo has rubber-tire guidance without rails. Moreover, several automated guided transit (AGT) systems with unconventional technologies (e.g., Kobe New Transit, VAL in Lille, Vancouver ALRT) have in recent years been deployed for typical transit lines. Their infrastructure (rights-of-way, stations), rolling stock (electric trains with 400-500 space capacities) and operational characteristics (fixed schedules) are so similar to those of conventional rail rapid transit lines, that they functionally

seaux de transport public communément connus sous le nom de métros (subways, undergrounds, elevated lines), et dénommés, dans le milieu professionnel, «*chemins de fer métropolitains*» ou «*réseaux express régionaux*». *METRO* est devenu le terme standard, dans le langage courant comme dans le milieu professionnel, non seulement en France, mais également en Union Soviétique, aux États-Unis (Washington, Baltimore), dans les pays hispanophones (Mexico, Caracas) et dans beaucoup d'autres villes et pays. La Rép. Féd. d'Allemagne continue à utiliser «*U-Bahn*» comme terme de référence, bien que ce mot serve aussi à désigner certains réseaux de métro léger (Cologne, Francfort). Dans cet article, les termes «*réseau régional*» et «*métro*» seront utilisés pour désigner la même notion.

Alors que l'on arrive de plus en plus à établir un consensus quant au terme à utiliser, existe-t-il aussi une définition commune de ce mode de transport? Même si l'on en trouve des définitions précises dans la littérature (voir, par exemple, [1]), une certaine confusion règne encore souvent, surtout du fait que l'on définit les métros par la notion d'exploitation dans des tunnels. Par conséquent, la définition suivante est donnée:

Le *réseau régional* ou *métro* est un mode de transport consistant en l'exploitation de véhicules de grande capacité à propulsion électrique, par trains de 1 à 10 voitures, sur des voies et des stations entièrement contrôlées (catégorie A).

La grande majorité des réseaux de métros fonctionnent sur rails et opèrent, en partie ou totalement, dans des tunnels. Cependant, ce ne sont pas là les principales caractéristiques qu'un réseau doit posséder pour être défini comme un réseau de métro. Plusieurs réseaux de métro de conception française (Montréal, Mexico, Lyon) utilisent des véhicules sur pneumatiques et ne recourent aux rails que pour les changements d'aiguillage et lors de crevaisons, tandis que le métro de Sapporo utilise un système de guidage sur pneumatiques, sans rails. De plus, ces dernières années, plusieurs réseaux de transport à guidage automatique (automated guided transit — AGT), qui recourent à des techniques modernes, ont été développés pour des lignes de transport caractéristiques (par exemple, Kobe New Transit, le VAL à Lille, Vancouver ALRT). Leur infrastructure (voies sé-

nungen wie Untergrundbahn oder U-Bahn, Hochbahn oder im Englischen als «*rapid transit*» oder «*metropolitan railways*» bekannt sind, bekommen allmählich einen in vielen Sprachen brauchbaren Namen: *METRO* ist der genormte, populäre und professionelle Begriff nicht nur in Frankreich, sondern auch in der Sowjetunion, den Vereinigten Staaten (Washington, Baltimore), in spanischsprechenden Ländern (Mexico, Caracas) und in vielen anderen Städten und Ländern. Die Bundesrepublik Deutschland benutzt auch weiterhin die «*U-Bahn*» als Standardbegriff, obgleich einige Stadtbahnen ebenfalls diese Bezeichnung tragen (Köln, Frankfurt). In diesem Artikel werden die Begriffe «*Schnellverkehrsmittel*» und «*Metro*» unterschiedslos benutzt.

Gibt es aber angesichts des wachsenden Konsensus über die Bezeichnung auch eine allgemein anerkannte Definition dieses Verkehrsmittels? Obgleich präzise Begriffsbestimmungen in der Literatur vorkommen (siehe z.B. [1]), besteht häufig nach wie vor eine Begriffsverwirrung, die hauptsächlich daher rührt, dass Metros als Verkehrsmittel in Tunnels definiert werden. Es wird daher die folgende Definition angeboten:

Bei *Schnellbahnen* oder *Metros* handelt es sich um ein Verkehrsmittel, das aus elektrisch angetriebenen, spurgeführten Fahrzeugen hohen Fassungsvermögens besteht, die in Zügen von 1 bis 10 Fahrzeugen auf voll kontrollierten Trassen (Kategorie A) und Bahnhöfen betrieben werden.

Die grosse Mehrzahl der Metrosysteme ist schienengebunden und fährt ganz oder teilweise in Tunnels, aber dies sind nicht die grundlegenden Merkmale, die ein System aufweisen muss, um als Metro definiert zu werden. Verschiedene von Frankreich angelegte Metrosysteme (Montreal, Mexico, Lyon) besitzen gummi-bereifte Fahrzeuge, und Schienen kommen nur beim Rangieren und bei Reifenpannen zum Zuge, während die Stadtschnellbahn in Sapporo über eine gummi-bereifte Führung ohne Schienen verfügt. Darüberhinaus wurden in den letzten Jahren mehrere automatisierte spurgeführte Systeme mit unkonventionellen Techniken (z.B. Kobe New Transit, VAL in Lille, Vancouver ALRT) entwickelt und auf Stadtschnellbahnstrecken eingesetzt. Ihre Infrastruktur (Trassen, Bahnhöfe), ihre Fahrzeuge (elektrische Züge mit einem Fassungsvermögen von 400

represent medium-capacity metro systems.

Similarly, tunnel operations is not a necessary feature of the rapid transit mode: most metro systems have large portions of their networks on or above ground, rather than in tunnels. For example, much more than one half of the London, Chicago and San Francisco networks are outside the tunnels, while Cleveland and Miami have no tunnels at all.

Due to its basic characteristics — separated right-of-way, high-capacity cars coupled in trains with 500-2500 space capacities, electric traction, rail (or other guided) technology and signal control — rapid transit represents by far the highest performance transit mode: typically it has capacity, speed, reliability, comfort and other characteristics much greater than any other transit mode. Although metro is very capital-intensive, it is also durable and at large passenger volumes it requires lower operating costs per passenger-km than any other mode.

Because of its high quality service, durability and capital intensiveness, metro (as well as other modern light rail modes — light rail and regional rail transit) can have a major impact on physical form and character of its surrounding and usually of the whole city. No other transit mode influences land use and the entire urban environment as significantly as does metro. The high investment it requires and the strong positive impact it has on the city therefore make the decision to build a metro a very important one, with extensive discussions and preparations. The process of planning and construction of a metro itself gives usually a stimulus to extensive other public or private investments, such as reconstruction of streets or even entire central city areas, suburban centers, transportation terminals, etc. Examples of such developments stimulated by metro construction are found in the reorganization of traffic

parées, stations), leur matériel roulant (trains électriques ayant une capacité de 400 à 500 places) et leurs caractéristiques opérationnelles (horaires fixes) sont tellement semblables à ceux des lignes de métros conventionnelles qu'ils représentent fonctionnellement des systèmes de métro de capacité moyenne.

De même, l'exploitation dans des tunnels ne constitue pas un facteur nécessaire du métro: de vastes tronçons de la plupart des réseaux de métro sont situés en surface ou sur des voies surélevées plutôt que dans des tunnels. Par exemple, bien plus de la moitié des réseaux de Londres, Chicago et San Francisco fonctionnent en dehors des tunnels, tandis que les réseaux de Cleveland et Miami ne possèdent aucun tunnel.

Etant donné ses caractéristiques principales — voie séparée, voitures de grande capacité couplées en trains de 500 à 2500 places, traction électrique, rail ou autre technologie de guidage et signalisation de contrôle — le métro représente de loin le mode de transport le plus performant: ses caractéristiques de capacité, vitesse, fiabilité, confort et autres, surpassent de beaucoup celles de tout autre mode de transport. Malgré le coût élevé des investissements qu'il exige, le métro est également durable et, pour un grand volume de passagers, il nécessite de moindres coûts d'exploitation par km-passager que tout autre mode de transport.

Du fait de son service de haute qualité, de sa durabilité et du coût élevé des investissements qu'il requiert, le métro (ainsi que d'autres modes de chemin de fer modernes — le métro léger et le réseau express régional) peut avoir un impact majeur sur la forme et la nature de ses alentours et généralement, de la ville toute entière. Aucun autre mode de transport que le métro n'a une influence aussi significative sur l'urbanisme et l'environnement urbain tout entier. Par conséquent, l'investissement élevé qu'il requiert et l'important impact positif qu'il a sur la ville font de la décision de construire un métro une décision très importante qui nécessite une préparation approfondie et de longues discussions. D'habitude, le processus de planification et de construction d'un métro stimule lui-même fortement d'autres investissements importants, privés ou publics, tels que la reconstruction de rues, ou même de zones entières du centre de la ville, de cen-

bis 500 Fahrgästen) und betrieblichen Merkmale (feste Fahrpläne) sind denjenigen konventioneller Stadtbahnen so ähnlich, dass sie funktionell mit Metrosystemen mittlerer Kapazität gleichgesetzt werden können.

Auch die Führung durch Tunneln ist nicht ein notwendiges Merkmal eines Stadtschnellbahnsystems: bei den meisten Metros liegt ein grosser Teil ihres Netzes auf oder über der Erde und nicht in Tunneln. So ist z.B. mehr als die Hälfte der Metros in London, Chicago und San Francisco oberirdisch geführt, während in Cleveland und Miami überhaupt keine Tunneln vorhanden sind.

Angesichts ihrer grundlegenden Merkmale — getrennte Trasse, Fahrzeuge mit hohem Fassungsvermögen, die zu Zügen mit einem Fassungsvermögen von 500 bis 2 500 Fahrgästen zusammengekuppelt werden, elektrischer Antrieb, Schienen- (oder andere) Führung und Überwachung durch Signale — sind Stadtschnellbahnen das bei weitem leistungsfähigste Verkehrsmittel: üblicherweise liegen bei ihrer Kapazität, Zuverlässigkeit, Komfort und anderen Merkmalen sehr viel höher als bei allen anderen öffentlichen Nahverkehrsmitteln. Während eine Metro sehr kapitalaufwendig ist, ist sie auch langlebig und benötigt bei hohem Fahrgastaufkommen weniger Betriebskosten je Fahrgastkilometer als andere Verkehrsmittel.

Angesichts der hohen Qualität ihres Betriebs, ihrer Langlebigkeit und Kapitalaufwendigkeit können Metro- wie auch andere moderne Schienenverkehrssysteme wie Stadtbahnen und Regionalbahnen die Gestalt und den Charakter ihres Umfelds und meist sogar der ganzen Stadt tiefgreifend verändern. Kein anderes Nahverkehrssystem beeinflusst die Bodennutzung und die gesamte innerstädtische Umwelt so stark wie eine Metro. Die erforderlichen hohen Investitionen und die starken positiven Auswirkungen auf die Stadt lassen daher den Beschluss, eine Metro zu bauen, zu einer sehr wichtigen Entscheidung werden, die meist zu ausgedehnten Diskussionen und Vorbereitungen führt. Der Planungs- und Bauprozess einer Metro stellt meist an sich schon ein starkes Stimulans für umfangreiche weitere öffentliche und private Investitionen dar, wie den Bau von Strassen oder sogar ganzen Stadtzentren, Vorortzentren, Nahverkehrsbahnhöfe usw.

in the center of Munich, reconstruction of Market Street in San Francisco and Place Ville-Marie in Montreal, and construction of numerous office and residential buildings around metro stations in Washington and Hong Kong. An interesting analysis of the role of rapid transit in cities is given in [2].

As a high performance/high investment system, metro is always built for major transit lines in cities which require high capacity and high level-of-service for passengers. A metro network, when properly planned, provides the basic skeleton of transit services which is supplemented by bus and other lower-capacity lines. Many very large cities, such as Tokyo, New York, Moscow and London, could not exist without their extensive metro networks. A rapidly increasing number of large cities, with populations between 1 and 5 million, would be much less efficient and could not have the diversity of activities and human character if they did not have metros. Typical for this group are cities like Berlin, Munich, Osaka, Stockholm and Toronto. There are, however, now an increasing number of cities with multi-million populations which have not yet built metro systems. They suffer from intolerable congestion which is very damaging to their populations and prevents their efficient functioning (Bombay, Lagos, Cairo). Even if they have a highly auto-oriented urban form, with a character very different from the environment typical for human-oriented cities, their further growth is impeded by the capacity limits of their highway systems, regardless of how extensive they are, and they suffer from severe daily congestion (Los Angeles, Houston, Dallas).

These general observations about metros and their role in cities may appear clear and well-known. Yet, they are often overlooked. Many discussions about metros focus heavily on their costs, while their second major role, influencing not only the entire transportation system, but also

trés de banlieue, de terminus de lignes de transport public, etc. On trouve des exemples de tels développements stimulés par la construction de métros dans la réorganisation du trafic dans le centre de Munich, la reconstruction de la Market Street à San Francisco et de la Place Ville-Marie à Montréal, et la construction de nombreux immeubles de bureaux et d'immeubles résidentiels autour des stations de métro, à Washington et à Hong Kong. Une analyse intéressante du rôle du métro dans les villes est donnée en [2].

En tant que réseau à la fois de haute performance et d'investissements élevés, le métro est toujours construit pour des lignes de transport très denses, dans des villes qui nécessitent une grande capacité et un haut niveau de service pour les passagers. Un réseau de métro, lorsqu'il est convenablement organisé, fournit un squelette de base de services de transport, complété par des autobus ou d'autres lignes de moindre capacité. Beaucoup de très grandes villes, telles que Tokyo, New York, Moscou et Londres, ne pourraient se passer de leur vaste réseau de métro. Beaucoup de grandes villes qui se développent rapidement et ont entre 1 et 5 millions d'habitants, seraient beaucoup moins efficaces et ne pourraient pas bénéficier de la diversité d'activités et de nationalités dont elles jouissent si elles ne possédaient pas de métro. Berlin, Munich, Osaka, Stockholm et Toronto en sont de bons exemples. Cependant, actuellement, un nombre croissant de villes de plusieurs millions d'habitants n'ont toujours pas construit de réseaux de métro. Elles sont confrontées à des encombrements insupportables qui portent préjudice à leur population et les empêchent de fonctionner de façon efficace (Bombay, Lagos, Le Caire). Même si elles ont une forme urbaine très axée sur la voiture, d'une nature très différente de l'environnement typique des villes axées sur le piéton, leur croissance ultérieure est altérée par la capacité limite de leur réseau de grand-routes, peu importe leur importance, et elles endurent de sérieux encombrements journaliers (Los Angeles, Houston, Dallas).

Ces observations générales concernant les métros et leur rôle dans les villes peuvent sembler claires et évidentes. Cependant, elles sont souvent négligées. Nombreuses sont les discussions sur les métros qui se limitent aux coûts, tandis que l'on tend à négliger leur second rôle majeur,

Beispiele für derartige Entwicklungen, die vom Bau der Metro ausgelöst wurden, sind die Neuordnung des Verkehrs im Zentrum von München, der Umbau der Market Street in San Francisco und der Place Ville-Marie in Montreal sowie der Bau zahlreicher Büro- und Wohngebäude in der Nähe von Metrostationen in Washington und Hong Kong. Eine interessante Analyse der Rolle eines Schnellverkehrssystems in Städten ist in [2] enthalten.

Als Hochleistungssystem, das hohe Investitionen erfordert, wird die Metro stets für wichtige Nahverkehrsstrecken in Städten gebaut, die eine hohe Fahrgastkapazität und ein hohes Leistungsniveau benötigen. Ein richtig geplantes Metronetz ist das Gerippe aller Nahverkehrsverbindungen, die ausserdem noch aus Bussen und anderen Strecken mit niedrigerer Kapazität bestehen. Viele sehr grosse Städte wie Tokio, New York, Moskau und London könnten ohne ihre ausgedehnten Metronetze nicht existieren. Eine sich schnell vergrössernde Zahl von Grossstädten mit Einwohnerzahlen zwischen 1 und 5 Millionen wären ohne ihre Metros sehr viel weniger leistungsfähig und hätten nicht die Vielfalt von Aktivitäten und den menschlichen Charakter, den sie jetzt besitzen. Typisch für Städte dieser Art sind Berlin, Osaka, Stockholm und Toronto. Es gibt jetzt allerdings eine immer zahlreicher werdende Gruppe von Städten mit einer Mehrmillionenbevölkerung, die bisher keine Metrosysteme gebaut haben. Sie leiden unter kaum noch zu verkraftenden Verkehrsstaus, die für ihre Einwohner eine starke Belastung darstellen und ihre Leistungsfähigkeit erheblich einschränken (Bombay, Lagos, Kairo). Auch wenn sie eine stark auf das Automobil hin orientierte städtische Form haben, mit einem Charakter, der sich von Orten mit menschlichen Umweltgegebenheiten stark unterscheidet, wird ihr weiteres Wachstum durch die Kapazitätsgrenzen ihrer Strassensysteme beschränkt, so grosszügig diese auch sein mögen, und sie leiden Tag für Tag unter grossen Verkehrsstaus (Los Angeles, Houston, Dallas).

Diese allgemeinen Betrachtungen über Metros und ihre Rolle im Rahmen innerstädtischer Verkehrssysteme mögen eindeutig und bekannt sein. Dennoch werden sie häufig übersehen. Bei vielen Diskussionen über Metros spielen die Kosten die Hauptrolle, während ihre zweite

the long-run character of the city, tend to be overlooked. Or, discussed impacts are limited to short-term impacts on land values and developments in the immediate vicinity of metro stations.

The subject of this paper - prediction of metro systems development into the 21st century - will consider technical aspects of this transit mode as well as the factors which are likely to influence its further construction in various cities, depending on their physical, social, demographic, economic and other conditions.

## 2. Recent Trends in the Development of Metro Systems

The trend of metro systems openings in different cities around the world is shown in Fig. 1. This figure shows that there was intensive construction of metros immediately preceding World War I. Between the two World Wars there was a major expansion of metro systems in the cities which had started them earlier (New York, London, Paris), but only six new systems were opened. Thus, in 1950 there were only 17 cities in the world with metro systems.

With the rapid increase in automobile ownership during the 1950s, opinions were expressed that the need for metros would be greatly diminished. But, as Fig. 1 shows, the opposite happened: an unprecedented «wave» of metro construction developed and it is not showing any signs of slowing down. The number of cities in the world which have metros has grown from 17 in 1950 to 77 today. It is estimated that over 1000 km of new metro lines are presently under construction, and several times more in design and planning [3,4]. For an interesting analysis of this trend and its causes see also [5]. Major factors leading to this development have been the following ones.

— Increased use of private automobiles has made it necessary to

celui qui consiste à influencer non seulement le réseau de transport tout entier, mais également la nature de la ville à long terme. Ou bien, les impacts débattus se limitent aux impacts à court terme sur la valeur et le développement du sol dans les environs immédiats des stations de métro.

Le sujet de ce rapport — la prévision du développement de réseaux de métro au 21<sup>e</sup> siècle — couvrira les aspects techniques de ce mode de transport de même que les facteurs qui sont susceptibles d'influencer sa construction future dans différentes villes, en fonction de leurs conditions économiques, démographiques, sociales, physiques et autres.

## 2. Tendances actuelles dans le développement des réseaux de métro

La tendance à l'ouverture de réseaux de métro dans différentes villes du monde est représentée sur la Fig. 1. Ce schéma montre qu'il y a eu une période intense de construction de métros juste avant la première guerre mondiale. Durant l'entre-deux-guerres, il y eu une forte expansion des réseaux de métro dans les villes qui avaient commencé à les organiser auparavant (New York, Londres, Paris), mais 6 nouveaux réseaux seulement furent ouverts. Ainsi, en 1950, 17 villes seulement dans le monde possédaient un réseau de métro.

Avec la hausse rapide des ventes d'automobiles durant les années 1950, on pensa que le besoin de métros diminuerait grandement. Cependant, comme le montre la Fig. 1., c'est le contraire qui se produisit: une «vague» sans précédent de construction de métros s'est développée et elle ne montre aucun signe de ralentissement. Le nombre de villes du monde qui possèdent un réseau de métro est passé de 17 en 1950 à 77 aujourd'hui. On estime que plus de 1000 km de nouvelles lignes de métro sont actuellement en construction, et plusieurs milliers supplémentaires, en cours de conception et d'organisation [3,4]. Pour une analyse intéressante de cette tendance et de ses causes, voir [5]. Les facteurs principaux qui ont mené à ce développement ont été les suivants.

— L'utilisation accrue d'automobiles privées a rendu nécessaire la mise

Hauptaufgabe — die Beeinflussung nicht nur des gesamten Verkehrswezens, sondern auch des langfristigen Charakters einer Stadt — kaum beachtet wird. Oder die Diskussionen über die Auswirkungen beschränken sich auf die kurzfristigen Entwicklungen der Grundstückspreise und auf Entwicklungen in der unmittelbaren Nähe von Metrostationen.

Im Rahmen des Themas dieses Dokuments — Voraussagen für die Entwicklung von Metrosystemen bis in das 21. Jahrhundert — werde ich mich sowohl mit den technischen Aspekten dieses Verkehrsmittels als auch mit den Faktoren befassen, die seine weitere Einführung in den Städten wahrscheinlich beeinflussen werden, und zwar je nach ihren physischen, sozialen, demographischen, wirtschaftlichen und sonstigen Verhältnissen.

## 2. Neuere Tendenzen bei der Entwicklung von Metrosystemen

Der Trend der Inbetriebnahme von Metrosystemen in verschiedenen Städten der Welt ist in Bild 1 dargestellt. Es zeigt, dass unmittelbar vor dem ersten Weltkrieg intensiv Metros gebaut wurden. Zwischen den beiden Weltkriegen verbreiteten sich Metrosysteme besonders stark in denjenigen Städten, in denen mit ihrem Bau zuvor bereits begonnen worden war (New York, London, Paris), aber es wurden nur sechs neue Netze in Betrieb genommen. Im Jahre 1950 gab es daher in der Welt nur 17 Städte mit Metrosystemen.

Angeichts der starken Zunahme der Zahl der Kraftfahrzeuge in den fünfziger Jahren vertrat man die Auffassung, dass der Bedarf an Metros stark abnehmen werde. Bild 1 zeigt jedoch, dass das Gegenteil eintrat: es kam zu einer nie dagewesenen «Welle» von Metro-Neubauten, und es liegen bis zum heutigen Tage keine Anzeichen dafür vor, dass sie abgeebbt ist. Die Zahl der Städte mit Metros hat sich auf der ganzen Welt von 17 im Jahre 1950 auf heute 77 erhöht. Schätzungsweise 1000 km neue Metro Strecken sind zur Zeit im Bau, und noch mehr befinden sich im Konstruktions- und Planungsstadium (siehe [3] und [4]). Eine aufschlussreiche Analyse dieses Trends und seiner Ursachen ist auch aus [5] zu entnehmen. Zu den Faktoren dieser Entwicklung gehören insbesondere:

— Die gesteigerte Benutzung privater Kraftfahrzeuge hat es erforder-

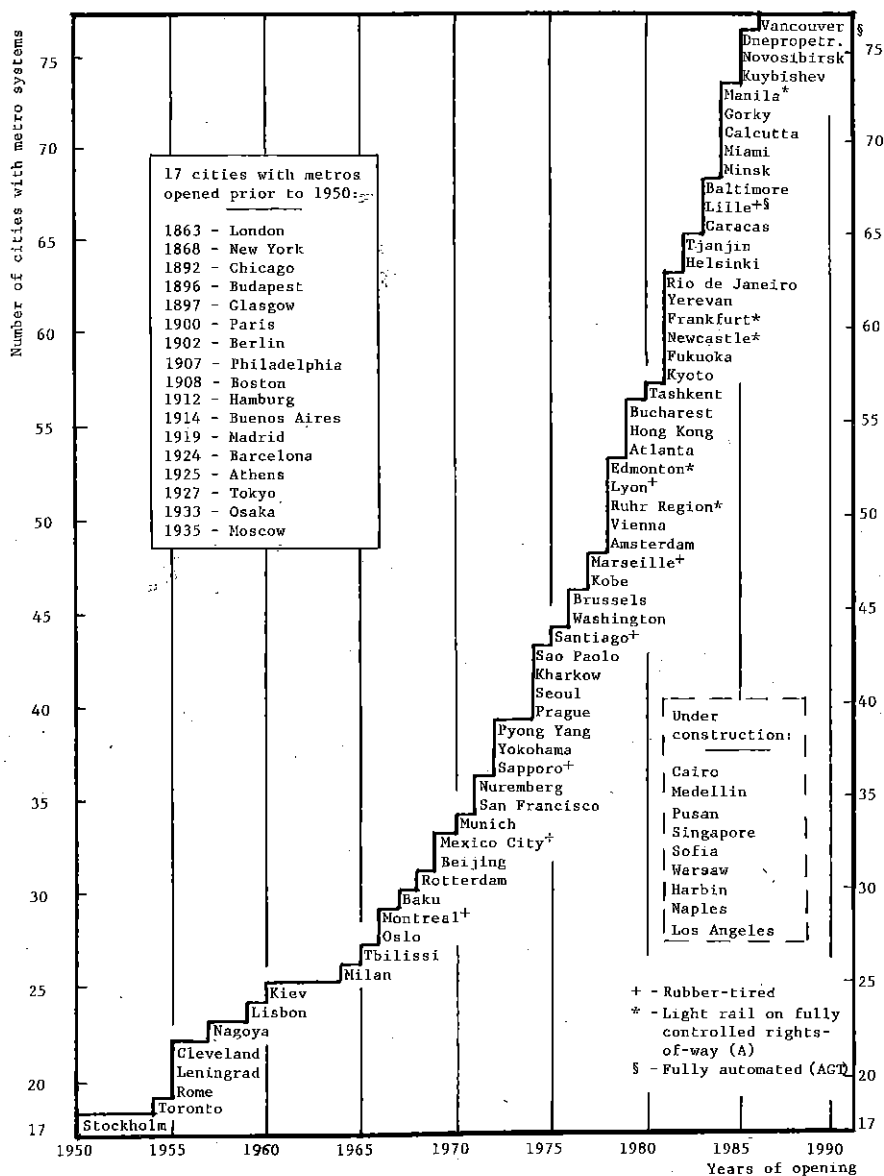


Fig. 1: Metro systems in the world: number and years of opening.

Fig. 1: Les réseaux de métro dans le monde: nombre et années de mise en service.

Bild 1: Metrosysteme der Welt: Anzahl und Jahr der Inbetriebnahme.

provide competitive, high-quality public transport services. Due to the increased street congestion the only way to provide such a service is through separation of transit from street traffic.

— Once a separate right-of-way is created, rail systems represent the logical choice for technical, operational and economic reasons.

— In addition, political leaders and transportation experts in many cities have realized that metro systems represent more than implementation of physical plans and economic calculations: a comprehensive, long-range view and vision of the future often lead to the decision to build a metro (and many other public projects) even if such project

en place de services de transport public concurrentiels et de haute qualité. Etant donné le nombre croissant d'encombrements dans les rues, le seul moyen pour fournir un tel service consiste à séparer le transport public du trafic routier.

— Une fois qu'une voie séparée est créée, les réseaux ferroviaires représentent le choix logique pour des raisons économiques, opérationnelles et techniques.

— De plus, dans de nombreuses villes, les hommes politiques et les spécialistes des transports se sont rendus compte que les réseaux de métro représentent plus que la simple exécution de plans physiques et de calculs économiques: une vision et une conception globales et à long terme de l'avenir mènent souvent à la décision de construire un métro (et

lich gemacht, wettbewerbsfähige, qualitativ hochwertige öffentliche Verkehrsmittel anzubieten. Angesichts der wachsenden Verkehrsstaus auf den Strassen besteht das einzige Mittel in der Trennung der öffentlichen Verkehrsmittel vom allgemeinen Strassenverkehr.

— Ist erst einmal eine gesonderte Trasse vorhanden, so stellen schienengebundene Systeme aus technischen, betrieblichen und wirtschaftlichen Gründen die logische Wahl dar.

— Hinzu kommt, dass die Politiker und Verkehrssachverständigen in vielen Städten erkannt haben, dass Metrosysteme mehr als nur die Durchführung konkreter Pläne und wirtschaftlicher Berechnungen sind: eine umfassende, langfristige Zukunftsvision führt häufig zu dem Beschluss, eine Metro (und manche andere öffentliche Vorhaben) zu bauen, selbst wenn

does not appear justifiable on the basis of direct quantifiable benefits and costs.

— Rapid population growth and spatial spreading of cities require transportation services with high capacity, speed and reliability which only metro systems can provide.

The pressures of congestion and need for high-quality transit have led to metro construction in Western cities; in Eastern Europe and, particularly, the Soviet Union, consistent policies of improving transit have led to similar developments; finally, the rapid growth of cities in the developing countries, intolerable congestion and the need to provide reasonable mobility for their largely low-income populations have necessitated increasing construction of metros, including some of the most successful ones (Mexico, Hong Kong, São Paulo, Seoul).

All population projections show dramatic further growth; accelerated urbanization is expected to result in cities like Tokyo, Mexico, São Paulo, Calcutta, Beijing and Seoul to reach and exceed populations of 20 million [5]; spatial spread of cities will continue, and automobile ownership will remain high in Western countries and drastically increase in all other regions. With these trends there is a clear physical necessity to continue and accelerate construction of metro systems in dozens of cities around the world. To satisfy that need under sharpening fiscal constraints, however, it is expected that the innovations in technology, operations and diversification of metro concepts which have taken place in recent years will continue and will result in significant further progress by the beginning of the next century.

### 3. Modernization of Technology and Operations

Although rapid transit systems rely on conventional, well-established

bien d'autres projets) même si un tel projet ne semble pas se justifier sur base de coûts et de profits quantifiables.

— La croissance démographique et l'expansion géographique rapides des villes exigent des services de transport de grande capacité, de grande vitesse et de haute fiabilité que seuls les réseaux de métro peuvent fournir.

Les pressions exercées par les encombrements et le besoin de services de transport public de haute qualité ont mené à la construction de métros dans les villes occidentales; en Europe de l'Est, et particulièrement en Union Soviétique, des politiques conséquentes visant à l'amélioration des transports publics ont mené à des développements similaires; enfin, la croissance rapide des villes des pays en voie de développement, l'insupportable encombrement qui y règne et le besoin de procurer une mobilité raisonnable à leur population en majorité pauvre, ont nécessité la construction croissante de réseaux de métro, y compris de certains de ceux qui ont le plus de succès aujourd'hui (Mexico, Hong Kong, São Paulo, Séoul).

Toutes les projections démographiques témoignent d'une croissance dramatique; il semble que dans des villes comme Tokyo, Mexico, São Paulo, Calcutta, Pékin et Séoul, l'urbanisation rapide entraînera un accroissement de population, qui atteindra et dépassera les 20 millions d'habitants [5]; l'expansion territoriale des villes continuera, et l'achat d'automobiles restera élevé dans les pays occidentaux et augmentera radicalement dans toutes les autres régions. Etant donné ces tendances, il est évident qu'il est physiquement nécessaire de continuer et d'accélérer la construction de réseaux de métro dans des dizaines de villes du monde. Afin de satisfaire ce besoin, dans les limites de contraintes fiscales sévères, il semble cependant que les innovations qui ont vu le jour ces dernières années dans la technologie, l'exploitation et la diversification des concepts de métro, continueront à se produire et permettront un progrès supplémentaire significatif dès le début du siècle prochain.

### 3. Modernisation de la technologie et de l'exploitation

Bien que les métros se basent sur une technologie de chemin de fer

dieses oder jenes Vorhaben auf der Grundlage unmittelbar quantifizierbarer Kosten-Nutzen-Berechnungen zunächst nicht zu rechtfertigen ist.

— Das rasche Bevölkerungswachstum und die räumliche Ausbreitung der Städte erfordern Verkehrssysteme hoher Kapazität, grosser Schnelligkeit und guter Zuverlässigkeit; dies kann nur von Metro-Systemen gewährleistet werden.

Die Auswirkungen der Verkehrsstaus und der Bedarf an qualitativ hochwertigen Verkehrsmitteln haben in den Städten des Westens zum Bau von Metros geführt; in Osteuropa und insbesondere in der Sowjetunion hat eine konsequente Politik der Verbesserung der Verkehrsverhältnisse zu ähnlichen Entwicklungen geführt; auch in den Entwicklungsländern mit ihrem raschen Städtewachstum, der untragbaren Übervölkerung und der Notwendigkeit der Gewährleistung einer angemessenen Mobilität für ihre Einwohner, die über niedrige Einkommen verfügen, hat man sich dieser Notwendigkeit nicht verschliessen können, und die dort gebauten Metros gehören zu den erfolgreichsten überhaupt (Mexico, Hong Kong, São Paulo, Seoul).

Alle Schätzungen über die Entwicklung der Bevölkerung gehen von einem weiteren raschen Anstieg aus; eine beschleunigte Verstädterung wird in Städten wie Tokio, Mexico, São Paulo, Kalkutta, Beijing und Seoul erwartet: in allen diesen Städten wird mit einer Einwohnerzahl von 20 Millionen Menschen und mehr gerechnet [5]; die flächenmässige Ausdehnung der Städte wird wachsen, und die Zahl der privaten Kraftfahrzeuge wird in den Ländern des Westens hoch bleiben, in allen anderen Regionen hingegen drastisch zunehmen. Angesichts dieser Trends besteht die offensichtliche praktische Notwendigkeit der Fortsetzung und Beschleunigung des Baus von Metrosystemen in Dutzenden von Städten überall in der Welt. Zur Deckung dieses Bedarfs unter wachsenden finanziellen Zwängen ist damit zu rechnen, dass die Innovationen bei Technologie, Betrieb und Diversifizierung der Metrokonzeptionen, die in den letzten Jahren festzustellen gewesen sind, sich fortsetzen und bis zum Beginn des kommenden Jahrhunderts zu weiteren nennenswerten Fortschritten führen werden.

### 3. Modernisierung der Technologie und des Betriebs

Obleich sich Stadtschnellbahnen der erprobten konventionellen Schie-

rail technology, numerous innovations in their rolling stock and infrastructure have changed the nature of this mode significantly since World War II. The most important technical and operational innovations are reviewed here.

— Conventional metro cars were typically 14-18 m long, 2.50-2.90 m wide. Today a number of metros have cars 20-23 m long and up to 3.25 m wide, while medium-capacity metros (Vancouver, Lille, Miami people mover) have vehicles as short as 12 m and as narrow as 2.06 m, dimensions considered adequate for their particular applications. Several Japanese automated guided transit (AGT) systems (e.g. in Kobe, Osaka) have even 8-m long cars, but these are permanently coupled in 4-6 car trains. Articulated cars 20 to 33 m long dominate light rail transit (LRT), but some metros use them also. Particularly successful in maximising capacity is the rolling stock with 4-8 semipermanently coupled cars with articulated bodies used in several Japanese cities and Hong Kong. Thus capacity of a single 8-10 car train can reach 2000-2500 spaces.

— Suspension of modern metro cars (rail and rubber-tired) provides such a high degree of riding comfort and quietness, that little further improvement is needed. Temperature control, air-conditioning, large windows, etc., have also become common features.

— Introduction of chopper control has brought train acceleration to virtual perfection. It has also decreased energy consumption through regenerative braking. Thus, one of the latest sets of rolling stock in Tokyo is estimated to have 38% lower energy consumption than the preceding generation of cars due to light-weight (aluminium) body construction, chopper control and regeneration. However, this progress has not been universal: in some cases complexity of cars has increased so much, that the latest models have become

conventionnelle bien établie, depuis la seconde guerre mondiale, de nombreuses innovations dans leur matériel roulant et leur infrastructure ont modifié substantiellement la nature de ce mode de transport. Les innovations techniques et opérationnelles les plus significatives sont examinées ci-dessous.

— Les voitures de métro conventionnelles mesuraient 14 à 18 m. de longueur et 2,50 à 2,90 m. de largeur. Aujourd'hui, plusieurs métros possèdent des voitures d'une longueur de 20 à 23 m. et d'une largeur de plus de 3,25 m., tandis que les voitures des métros de capacité moyenne (Vancouver, Lille, le convoyeur de personnes de Miami) ne mesurent que 12 m. de longueur et 2,06 m. de largeur, ces dimensions étant considérées comme appropriées à leurs applications particulières. Plusieurs réseaux de transport public japonais, à guidage automatique (AGT, par exemple, à Kobe, Osaka) utilisent même des voitures longues de 8 m., mais celles-ci sont couplées en permanence pour former des rames de 4 à 6 voitures. Les voitures articulées de 20 à 33 m. de longueur caractérisent le métro léger (light rail transit — LRT), mais certains métros les utilisent également. Le matériel roulant, constitué de 4 à 8 voitures articulées, couplées en semi-permanence, qui est utilisé dans plusieurs villes du Japon et à Hong Kong, parvient vraiment à maximiser la capacité. Ainsi, la capacité d'une seule rame de 8 à 10 voitures peut atteindre 2000 à 2500 places.

— La suspension des voitures de métro modernes (sur rail et sur pneumatiques) procure un tel degré de confort et de calme que peu d'amélioration additionnelle est requise. Le contrôle de la température, l'air conditionné, la taille des vitres, etc. sont également devenus des caractéristiques standards.

— L'introduction de hacheurs de courant a mené l'accélération des rames à sa perfection virtuelle. Elle a également diminué la consommation d'énergie au moyen du système de freins à récupération. De cette manière, on estime qu'une des séries les plus récentes de matériel roulant à Tokyo a une consommation d'énergie de 38% inférieure à celle de la génération précédente de voitures, grâce à la construction légère de sa carrosserie (aluminium), au hacheur de courant et à la récupération d'énergie. Cependant, ce progrès n'a pas été

nentechnik bedienen, haben zahlreiche Innovationen bei Fahrzeugen und Infrastruktur die Merkmale dieses Verkehrsmodus seit dem Zweiten Weltkrieg stark verändert. Die wichtigsten technischen und betrieblichen Innovationen werden nachstehend erörtert.

— Die konventionellen Metrowagen waren üblicherweise 14-18 m lang und 2,50 bis 2,90 m breit. Heute verfügt eine Anzahl von Metros über Wagen mit einer Länge von 20 bis 23 m und einer Breite von bis zu 3,25 m, während andererseits Metros mit mittlerer Kapazität (Vancouver, Lille, Miami people mover) Wagen mit einer Länge von manchmal nur 12 m und einer Breite von lediglich 2,06 m betreiben. Diese Abmessungen werden für den jeweiligen Anwendungszweck für ausreichend gehalten. Mehrere automatisch betriebene Bahnsysteme in Japan (z.B. in Kobe und Osaka) begnügen sich mit nur 8 m langen Wagen, jedoch sind diese permanent zu Zügen von 4-6 Wagen zusammengekuppelt. Die Stadtbahnen werden von Gelenkwagen mit einer Länge von 20 bis 33 m beherrscht, die auch bei einigen Metros eingesetzt werden. Besonders erfolgreich bei der Maximierung des Fassungsvermögens sind Züge von 4-8 halbpersistent zusammengekuppelten Gelenkwagen, wie sie in einigen japanischen Städten und in Hong Kong eingesetzt werden. So kann die Kapazität eines einzigen Zuges mit 8-10 Wagen bis auf 2 000 oder 2 500 Fahrgäste gesteigert werden.

— Die Federung der modernen Metrowagen (schienengebunden und gummibereit) bietet heute bereits ein solches Mass an Fahrkomfort und Geräuschlosigkeit, dass weitere Verbesserungen kaum erforderlich sind. Die Temperaturregelung, die Klimatisierung, die Ausstattung mit Aussichtsfenstern usw. sind ebenfalls zur Standardausrüstung geworden.

— Die Einführung der Gleichstromstellersteuerung hat die Beschleunigung der Züge beinahe perfektioniert. Sie hat darüber hinaus den Energieverbrauch durch Stromrückgewinnung beim Bremsen gesenkt. Bei einem der neuesten Fahrzeuge in Tokio wird geschätzt, dass der Energieverbrauch um 38 % niedriger liegt als bei der Vorgängergeneration von Fahrzeugen; dies wird auf die Leichtbauweise (Aluminium), die Gleichstromstellersteuerung und die Stromrückgewinnung zurückgeführt. Diese Fortschritte zeigen sich jedoch nicht

heavier in spite of application of solid state components.

— Couplers on modern rail cars are automatic with remote control by the driver; yet, coupling/uncoupling of trains is on some metro systems still a slow and sensitive operation. To avoid it, metro operators often operate longer trains than needed for considerable periods of day, involving extra operating costs.

— Welded rails, switches with elastic points and other modern components provide smooth and low-noise train running; but the most important development in infrastructure is aerial structures utilizing prestressed concrete which offer light, aesthetically pleasing rights-of-way above ground on single columns which «blend» well into many urban surroundings (Fig. 2). Although prejudices against elevated structures, based on old-fashioned noisy viaducts, still exist, modern aerials are increasingly used (Vancouver, Miami, London-Docklands), resulting in drastically lower costs and more pleasing ride for passengers than tunnels.

— Station designs have also been improved, not only internally, but also in providing convenient and fast

universel: dans certains cas, la complexité des voitures a tellement augmenté que les derniers modèles se sont alourdis malgré l'application de composants solides.

— Les coupleurs sur les voitures des métros modernes sont automatiques et télécommandés par le conducteur; cependant, l'accouplement et le désaccouplement des rames constituent toujours, sur certains réseaux de métro, une opération lente et délicate. Pour l'éviter, les exploitants de métros utilisent souvent des trains plus longs que nécessaire, pour des périodes importantes de la journée, ce qui entraîne des coûts d'exploitation supplémentaires.

— Les rails soudés, les aiguillages à points de bifurcation élastiques et les autres composantes modernes procurent une conduite douce et quasi silencieuse; mais le développement le plus important dans l'infrastructure consiste dans les structures aériennes utilisant du béton armé qui permet la construction de voies séparées légères et esthétiquement agréables, surélevées sur des colonnes uniques qui «se marient» bien avec les alentours urbains (Fig. 2). Bien qu'il y ait toujours des préjugés contre les structures surélevées, fondées sur les anciens viaducs bruyants, l'utilisation des structures aériennes modernes ne cesse de croître (Vancouver, Miami, Londres-Docklands), engendrant des coûts radicalement inférieurs et un parcours plus agréable pour les passagers que dans les tunnels.

— La conception des stations a également été améliorée, non seulement intérieurement, mais aussi par la

überall im gleichen Masse: in einigen Fällen hat die Komplexität der Fahrzeuge derart zugenommen, dass sie trotz des Einsatzes von Komponenten der Halbleitertechnik schwerer geworden sind.

— Moderne Eisenbahnwagen verfügen über automatische, vom Fahrer ferngesteuerte Kupplungen; dennoch ist das An- und Abkuppeln von Wagen bei manchen Metrosystemen nach wie vor ein zeitraubender und heikler Vorgang. Um dem zu entgegen, betreiben manche Metros längere Züge, als es den grössten Teil des Tages über eigentlich notwendig wäre, und verursachen damit zusätzliche Betriebskosten.

— Geschweisste Schienen, Federungenweichen und andere moderne Entwicklungen sorgen für einen geschmeidigen und geräuscharmen Lauf der Züge; aber die bedeutendste Entwicklung auf dem Gebiet der Anlagen sind oberirdische Strukturen aus Spannbeton, die eine leichte, ästhetisch ansprechende, oberirdische Verkehrsführung auf einzeln stehenden Pfeilern ermöglichen, die sich oft gut in das Stadtbild einfügt (Bild 2). Obgleich die Erinnerung an die alten, lauten Eisenbahnviadukte nach wie vor zu Vorbehalten gegen Hochbahnen führt, werden moderne Hochbahnen dennoch zunehmend gebaut (Vancouver, Miami, London in den Docklands); dies führt zu drastischen Kostensenkungen und zu einer angenehmeren Fahrt für die Fahrgäste als unter der Erde.

— Die Bahnhofsgestaltung ist ebenfalls verbessert worden, und zwar nicht nur innen, sondern auch



Fig. 2: Metro on aerial structure (San Francisco BART).

Fig. 2: Métro aérien (BART à San Francisco).  
Bild 2: Metro auf Hochbahngleis (BART, San Francisco).

transfer of passengers to/from street feeder lines, automobiles (park-and-ride) and other modes; this has greatly contributed to the integration of entire transit networks (Fig. 3).

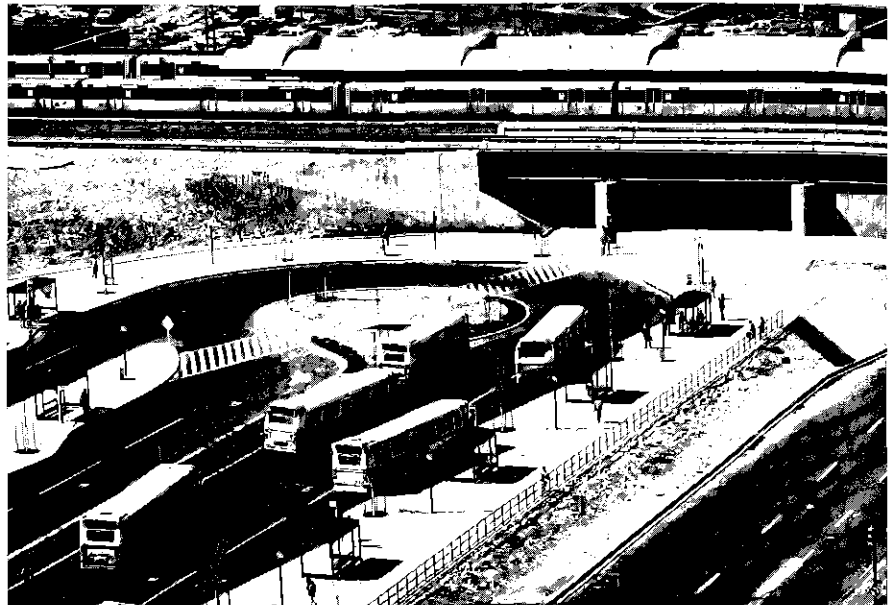
mise en place d'un transfert commode et rapide des passagers vers/depuis les lignes de rabattement dans les rues, les parkings d'automobiles (park-and-ride) et les autres modes de transport; cette amélioration a grandement contribué à l'intégration de réseaux de transport public entiers (Fig. 3).

mit dem Ziel, den Fahrgästen einen bequemen und schnellen Wechsel von den Zubringerdiensten auf der Strasse, dem eigenen Pkw («park-and-ride») und anderen Verkehrsmitteln zur Stadtschnellbahn zu ermöglichen; dies hat einen erheblichen Beitrag zur Integration ganzer Verkehrsnetze geleistet (Bild 3).

Fig. 3: Metro/bus transfer station integrates transit network (Washington).

Fig. 3: La station de correspondance métro/bus s'intègre au réseau de transport public (Washington).

Bild 3: Umsteigebahnhof für Metro und Bus zur Integration im öffentlichen Verkehr (Washington).



— Fully automated train operation (ATO)\*, i.e. trains without drivers, has been used on a number of AGT (automated guided transit) systems operating on short shuttle lines, but metro operators have traditionally had a negative attitude toward ATO (see the discussion of this paradox in [6]). Since 1980, however, several AGT systems with greater capacities than the initially proposed AGT's, have been built for typical urban transit lines: the New Transit in Kobe, VAL in Lille and Skytrain in Vancouver have all functional characteristics of small-scale rapid transit. Although there is still scepticism

— L'exploitation de rames entièrement automatiques (automated train operation — ATO)\*, c'est-à-dire de rames sans conducteur, a été mise en oeuvre sur plusieurs réseaux AGT (transports publics à guidage automatique) opérant sur de courtes lignes de navette, mais les exploitants de métro ont toujours eu une attitude négative vis-à-vis de cette forme d'exploitation (cfr la discussion de ce paradoxe en [6]). Cependant, depuis 1980, plusieurs réseaux AGT ayant des capacités supérieures à celles proposées initialement, ont été construits pour des lignes de transport urbain typiques: New Transit à Kobe, le VAL à Lille et

— Der vollautomatisierte Zugbetrieb (ATO \*), d.h. der Betrieb ohne Fahrer, ist bei einer Reihe automatischer Stadtschnellbahnen auf kurzen Pendelstrecken eingeführt worden, aber die Betreiber von Metrosystemen hatten traditionell Vorbehalte gegenüber ATO (siehe die Erörterung dieses Paradoxons in [6]). Seit 1980 sind jedoch mehrere automatische Stadtschnellbahnen mit grösseren Kapazitäten als die ursprünglich geplanten Stadtschnellbahnen gebaut worden: die New Transit in Kobe, VAL in Lille und Skytrain in Vancouver verfügen über funktionelle Merkmale von Stadtschnellbahnen kleineren

\* Strictly, ATO refers specifically to the equipment for automatic train driving, but the term will be used here more broadly, to mean fully automated operation of trains, i.e. without a driver.

\* Au sens strict, l'ATO se réfère spécifiquement à l'équipement utilisé pour la conduite automatique de rames, mais le terme sera utilisé ici dans un sens plus large, pour signifier l'exploitation entièrement automatique de rames, c'est-à-dire sans conducteur.

\* Streng genommen bezieht sich der Begriff ATO spezifisch auf Geräte für den automatischen Zugbetrieb, jedoch soll dieser Ausdruck hier in seiner allgemeineren Bedeutung verwandt werden, d.h. für auf den automatischen — also fahrerlosen — Betrieb von Zügen.

toward automation among some transit operators [7], their arguments against ATO have been greatly weakened by the outstanding successes which automated trains in Kobe, Lille and Vancouver have achieved. Fully automated operation of metro systems may have a considerable influence on its future development and it therefore deserves some discussion.

For lines with moderate passenger volumes (e.g. with design capacities of 5,000-15,000 spaces/hr) ATO may be in some cases *sine qua non*, since manual driving would impose either very high operating costs or low service frequencies, reducing attractiveness of their services. However, it is often believed that ATO is not very important for metro systems carrying large passenger volumes because their economics is less sensitive to labor costs. While this is true for peak hours, the benefits from ATO can in many cases be much greater than usually believed.

The first potential benefit from ATO is that it makes a drastic increase in service frequency feasible. Through elimination of crew costs, ATO makes it possible to replace, for example, an operation of 8-car trains at 12-min. intervals by operation of 2-car trains at 3-min. intervals without virtually any cost increase. Consequences of this can in many cases be very beneficial. Since even heavily used metro lines operate usually with longer intervals (8-15 min.) in off-peak, particularly evening hours, full automation would lead to very frequent service on all metro systems during all operating hours, making it considerably more attractive than at present.

The second potential benefit is the ability to introduce several types of «accelerated services» - operations where certain trains do not stop at all stations, offering faster and more comfortable travel. The most common accelerated services are shown

Skytrain à Vancouver ont toutes les caractéristiques fonctionnelles de métros à petite échelle. Bien que le scepticisme règne encore parmi les exploitants de transports publics quant à l'automatisation [7], leurs arguments contre l'ATO ont été considérablement affaiblis par les succès remarquables enregistrés par les métros automatisés à Kobe, Lille et Vancouver. L'exploitation entièrement automatisée des réseaux de métro peut avoir une influence considérable sur leur développement futur et mérite par conséquent qu'on en débattenne.

Pour les lignes dont le volume de passagers est modéré (par exemple, celles qui, de par leur conception, ont une capacité de 5 000 à 15 000 places/heure), l'ATO peut être dans certains cas une condition *sine qua non*, puisque la conduite manuelle imposerait soit des coûts d'exploitation très élevés, soit de faibles fréquences de service, ce qui réduirait l'attrait de leurs services. Cependant, on croit souvent que l'ATO ne concerne pas beaucoup les réseaux de métro qui transportent de grands volumes de passagers, parce que leur économie est moins sensible aux coûts de la main-d'oeuvre. Si cela est vrai pour les heures de pointe, les profits réalisés grâce à l'ATO peuvent souvent être bien supérieurs à ce que l'on croit généralement.

Le premier profit possible de l'ATO est qu'il rend possible l'augmentation radicale de la fréquence du service. Par la suppression des coûts du personnel, l'ATO permet de remplacer, par exemple, l'exploitation de trains de 8 voitures à 12 minutes d'intervalle, par l'exploitation de trains de 2 voitures à 3 minutes d'intervalle sans aucune augmentation virtuelle des coûts. Les conséquences de ceci peuvent souvent être très bénéfiques. Etant donné que même les lignes de métro les plus fréquentées fonctionnent généralement à des intervalles plus longs (8 à 15 minutes) aux heures creuses, particulièrement le soir, l'automatisation complète mènerait à un service très fréquent sur tous les réseaux de métro durant toutes les heures de service, ce qui rendrait ce service plus attrayant qu'il ne l'est à présent.

Le second profit possible est la capacité d'introduire plusieurs types de «services accélérés» — types d'exploitation où certaines rames ne s'arrêtent pas à toutes les stations, ce qui permet un voyage plus rapide et plus confortable. Les services accélérés

Masstabs. Obgleich einige Betreiber von Stadtschnellbahnen nach wie vor dem automatischen fahrerlosen Betrieb skeptisch gegenüberstehen [7], sind ihre Argumente gegen ATO durch den unbestreitbaren Erfolg der Systeme in Kobe, Vancouver und Lille stark geschwächt worden. Der vollautomatische Betrieb kann die künftige Entwicklung der Stadtschnellbahnen stark beeinflussen; er verdient daher eine nähere Betrachtung.

Bei Strecken mit mittlerem Fahrgastaufkommen (d.h. mit einer geplanten Kapazität von 5 000 bis 15 000 Fahrgastplätzen/Stunde) kann sich ATO in bestimmten Fällen als die *conditio sine qua non* erweisen, da der manuelle Zugbetrieb entweder zu sehr hohen Betriebskosten oder zu geringen Zugfrequenzen führt, was die Attraktivität des Systems verringert. Es besteht jedoch häufig die Auffassung, dass ATO für Metrosysteme mit einem hohen Fahrgastaufkommen keine grosse Bedeutung habe, weil deren Betriebskosten nicht im gleichen Umfang durch Lohnkosten bestimmt werden. Dies mag für die Hauptverkehrsstunden zutreffen, jedoch kann der Nutzen von ATO in vielen Fällen sehr viel grösser sein als generell vermutet wird.

Der erste potentielle Vorteil von ATO besteht darin, dass er eine nennenswerte Erhöhung der Zugfrequenzen ermöglicht. Durch die Beseitigung der Personalkosten ermöglicht ATO z.B. den Ersatz eines Betriebs mit Zügen von 8 Wagen alle 12 Minuten durch einen Betrieb mit Zügen von 2 Wagen alle 3 Minuten, und dies praktisch ohne jeden Kostenanstieg. Die Konsequenzen einer derartigen Betriebsumstellung können in vielen Fällen sehr lohnend sein. Da selbst stark frequentierte Metrolinien ausserhalb der Hauptverkehrsstunden mit zeitlichen Abständen von nur 8-15 Minuten verkehren — insbesondere in den Abendstunden — würde eine volle Automatisierung zu einer starken Erhöhung der Verkehrsfrequenz bei allen Metrosystemen zu allen Betriebsstunden führen, was eine beträchtliche Erhöhung ihrer Attraktivität gegenüber dem derzeitigen Zustand zur Folge hätte.

Der zweite potentielle Vorteil besteht in der Möglichkeit, bestimmte Formen des «beschleunigten Verkehrs» einzuführen — Züge, die nicht an allen Bahnhöfen halten und ein schnelleres und komfortableres Reisen ermöglichen. Die am weitesten

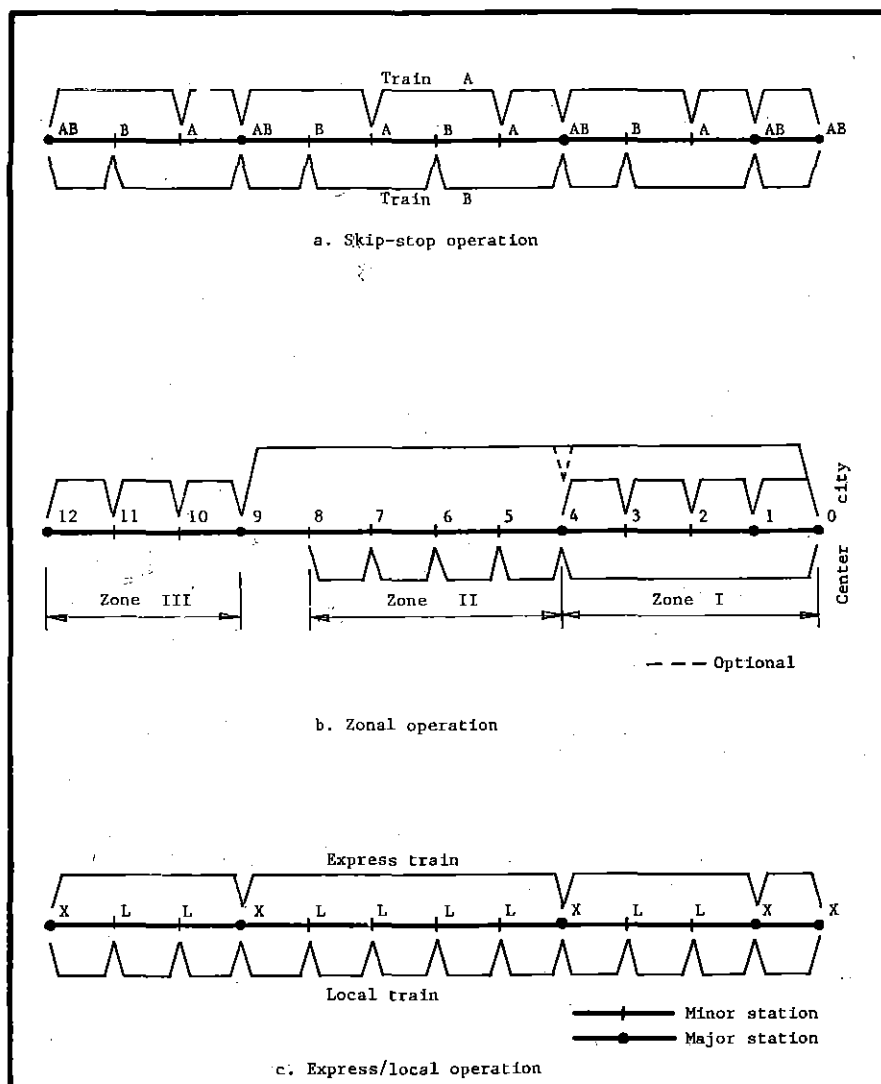


Fig. 4: Different types of accelerated transit services.

Fig. 4: Différents types de services de transports publics accélérés.

- a. service à arrêts alternés
- b. service zonal
- c. service express/local

Bild 4: Verschiedene Formen des beschleunigten Verkehrs.

- a. Wechselhaltestellenbetrieb
- b. Zonenbetrieb
- c. Express/Lokalbetrieb

in Fig. 4, and they will be briefly described here.

**Skip-stop** service, shown in Fig. 4a, has been successfully used on several metro systems (Chicago, Philadelphia) for many decades. Compared to standard all-stop operation, skip-stop has higher operating (and cycle) speed and therefore requires a smaller number of trains in service. Both, passengers and transit agency, benefit from its greater speed (saved time, reduced costs) and increased comfort due to less frequent stopping. Its most serious disadvantage, longer headways at A and B stops, is insignificant when service is frequent. Consequently, ATO would make skip-stop service attractive not only during peaks, as is presently the case, but throughout the day.

les plus répandus sont montrés dans la Fig. 4, et sont brièvement décrits ici.

*Le service à arrêts alternés*, Fig. 4a, a été employé avec succès sur plusieurs réseaux de métro (Chicago, Philadelphie) depuis de nombreuses décennies. Comparé au fonctionnement tous-arrêts standard, le système à arrêts alternés a une vitesse d'exploitation (et de cycle) supérieure et, par conséquent, il nécessite la mise en service d'un plus petit nombre de rames. Les passagers comme l'agence de transport public bénéficient de sa plus grande vitesse (temps épargné, coûts réduits) et de son confort accru grâce aux arrêts moins fréquents. Son inconvénient majeur, un intervalle plus long aux arrêts A et B, est insignifiant lorsque le service est fréquent. Par conséquent, l'ATO rendrait le service à arrêts alternés attrayant non seulement durant les heures de pointe, comme c'est le cas actuellement, mais tout au long de la journée.

verbreiteten Formen beschleunigten Verkehrs sind in Bild 4 dargestellt und sollen nachstehend kurz erläutert werden.

Der *Wechselhaltestellenbetrieb* (siehe Bild 4a) wird schon seit vielen Jahrzehnten mit Erfolg in verschiedenen Metrosystemen durchgeführt (Chicago, Philadelphia). Im Vergleich zu der Betriebsform, bei der an allen Haltestellen gehalten wird, ergeben sich hierbei höhere Betriebs- (und Umlauf-) geschwindigkeiten, was dazu führt, dass der Betrieb mit einer geringeren Anzahl von Zügen aufrechterhalten werden kann. Sowohl die Fahrgäste als auch das Verkehrsunternehmen ziehen Nutzen aus der erhöhten Geschwindigkeit (Zeitersparnis, Kostensenkung) und dem verbesserten Komfort infolge der Verringerung der Zahl der Haltestellen. Der erhebliche Nachteil — die längeren Wartezeiten an den «A»- und den «B»-Haltestellen — fällt nicht ins Gewicht, wenn die Zugfrequenz hoch ist. ATO würde daher den Wechselhaltestellenbetrieb nicht nur während der Hauptverkehrszeiten, wie dies zur Zeit der Fall ist, sondern den ganzen Tag über attraktiv machen.

**Zonal service** (Fig.4b) can be used only on lines with most trips going into or out of center city. But **express/local service**, shown in Fig.4c, can be effectively used on many long metro lines when service frequency is high. Similar to skip-stop, express/local operation results in improved service for passengers and lower operating costs, but it involves overtaking of trains. It is therefore mostly used on 4-track lines (New York, Chicago). There are, however, also successful express/local operations without overtaking on sections of 2-track lines (Cleveland, Philadelphia) and a variety of track layouts and operations on 2-track lines with some 4-track stations for overtaking of trains, shown in Fig. 5, on a number of regional rail lines in Japanese cities (Tokyo, Osaka, Kobe). These services require highly reliable operations; introduction of ATO, resulting in higher frequency and schedule adherence, would thus

*Le service zonal* (Fig. 4b) ne peut être utilisée que sur les lignes dont la plupart des déplacements s'effectuent vers ou depuis le centre-ville. Mais le *service express/local*, représenté à la Fig. 4c, peut être utilisé de façon efficace sur de nombreuses longues lignes de métro lorsque la fréquence du service est élevée. De même que le service à arrêts alternés, l'exploitation expresse/locale offre aux passagers un service amélioré à des coûts d'exploitation inférieurs, mais il suppose le dépassement des rames. C'est pourquoi on l'utilise le plus souvent sur des lignes à 4 voies (New York, Chicago). Cependant, il existe également des exploitations expresses/locales fructueuses qui ne supposent aucun dépassement et qui fonctionnent sur des sections de lignes à deux voies (Cleveland, Philadelphie), ainsi que plusieurs plans et exploitations de voies sur des lignes à deux voies qui incluent quelques stations à quatre voies pour le dépassement

Ein *Zonenverkehr* (Bild 4b) kann nur auf Strecken eingeführt werden, bei denen die meisten Fahrten in das Stadtzentrum hinein oder aus ihm hinausführen. Demgegenüber können die in Bild 4c gezeigten *Schnelldienste abwechselnd mit an allen Haltestellen haltenden Zügen* (Lokaldienste), mit Erfolg auch auf vielen langen Stadtschnellbahnstrecken eingesetzt werden, wenn die Zugfrequenz hoch ist. Ähnlich dem Wechselhaltestellenbetrieb führen auch die Schnell-/Lokaldienste zu einem verbesserten Leistungsangebot für die Fahrgäste und zu niedrigeren Betriebskosten, jedoch müssen sich bei ihnen Züge überholen. Dieses Verfahren wird daher in erster Linie auf viergleisigen Strecken (New York, Chicago) benutzt. Es gibt allerdings auch erfolgreiche Schnell-/Lokaldienste ohne Überholen auf Abschnitten von zweigleisigen Strecken (Cleveland, Philadelphia) und eine Reihe von Gleisanordnungen und Betriebsformen auf zweigleisigen Strecken

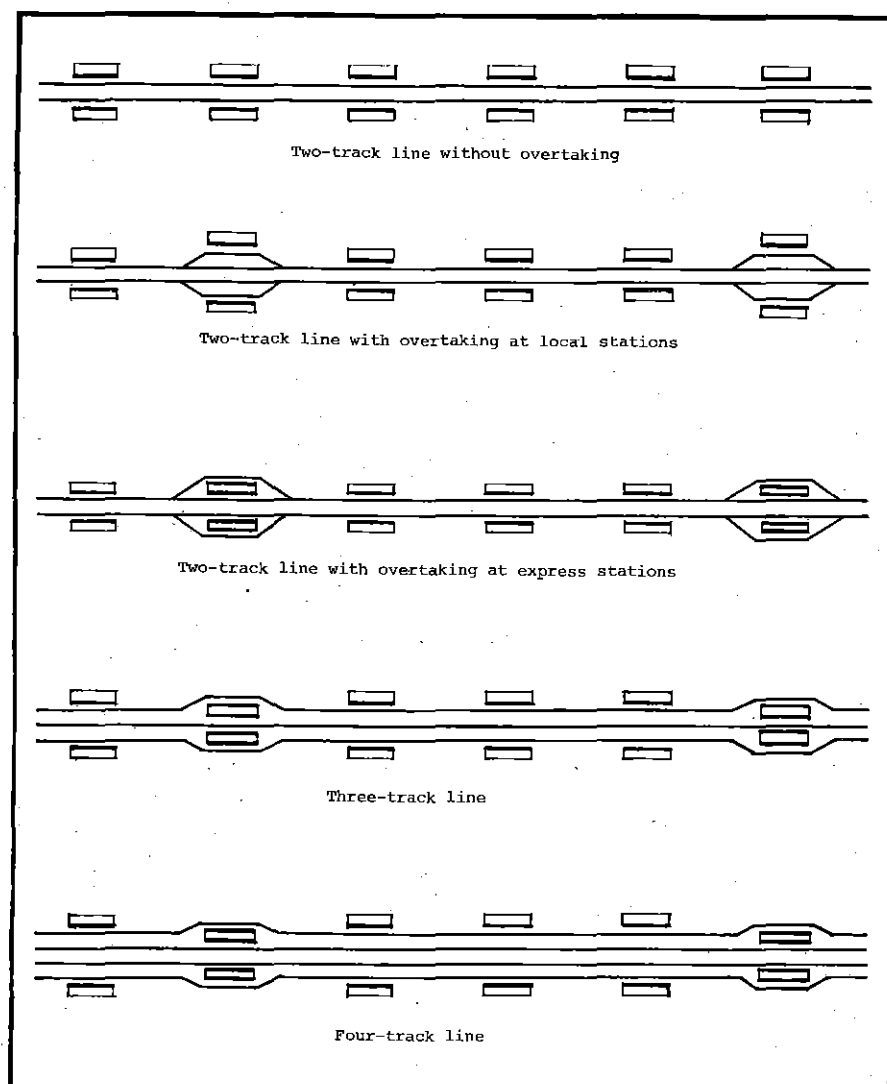


Fig. 5: Line and station layouts for different types of express/local operations.

Fig. 5: Dispositions des voies et des stations pour différents types de services locaux/expresse.

- Ligne à deux voies sans dépassement
- Ligne à deux voies avec dépassement aux stations desservies uniquement par les trains locaux
- Ligne à deux voies avec dépassement aux arrêts des trains express
- Ligne à trois voies
- Ligne à quatre voies

Bild 5: Gleis- und Bahnsteiganordnung für verschiedene Arten des Express/Lokalbetriebes.

- Zweigleisige Strecke ohne Überholen
- Zweigleisige Strecke mit Überholen an Haltepunkten der Lokalzüge
- Zweigleisige Strecken mit Überholen an den Haltepunkten der Expresszüge
- Dreigleisige Strecken
- Viergleisige Strecken

also improve conditions for wider use of express/local services.

Finally, the third major benefit from ATO is a great flexibility in «tailoring» service to demand: trains can be easily placed into or taken out of service, shortened or lengthened in depots to fit variations in passenger volumes. Reliable, automatic coupling of cars is a condition for utilization of this flexibility.

Introduction of ATO, as well as numerous other advanced technological innovations, is by no means applicable to all new metro systems. Many of them, particularly in developing countries, will continue to rely more on simple, reliable components which utilize more labor than full automation and require lower investments costs. But it is important that the new systems which are likely to benefit from advanced technology foresee its introduction and prepare design (stations, rolling stock, signal control) which will not prevent its later introduction.

One example of providing for future innovations in planning new metro lines is determination of station spacings. On long metro lines stations are often spaced at long distances to allow high operating speeds. With eventual introduction of the ATO, operation of frequent short trains will become economically viable, so that skip-stop service will be possible throughout the day. With skip-stop, the same operating speed is achieved with 50-80% more stations than with conventional, all-stop service. Thus, even long new lines can have rather short station spacings without any reduction in operating speed. The result can be a significantly greater attraction of passengers from the entire served corridor.

des rames, Fig. 5, sur plusieurs lignes ferroviaires régionales dans les villes japonaises (Tokyo, Osaka, Kobe). Ces services requièrent une exploitation hautement fiable; de cette façon, l'introduction de l'ATO, qui permet une plus grande conformité à la fréquence et à l'horaire, améliorerait les conditions pour une utilisation plus large des services express/locaux.

Enfin, le troisième profit majeur obtenu grâce à l'ATO est une grande flexibilité dans la «confection sur mesure» du service, à la demande: les rames peuvent être facilement mises en ou hors service, raccourcies ou rallongées dans les dépôts de façon à s'accorder aux variations des volumes de passagers. L'accouplement automatique fiable des voitures est une condition nécessaire pour l'utilisation de cette flexibilité.

L'introduction de l'ATO, ainsi que de nombreuses autres innovations technologiques de pointe, n'est en aucun cas applicable à tous les nouveaux réseaux de métro. Nombre d'entre eux, particulièrement dans les pays en voie de développement, continueront à utiliser des composants simples et fiables qui emploient plus de main-d'oeuvre que l'automatisation générale et requièrent des coûts d'investissements inférieurs. Mais il est important que les nouveaux réseaux susceptibles de bénéficier de la technologie de pointe prévoient son introduction et mettent au point une conception (stations, matériel roulant, signalisation de contrôle) qui n'empêchera pas son introduction ultérieure.

Un exemple de prévision d'innovations futures dans l'organisation de nouvelles lignes de métro est la détermination de l'espacement des stations. Sur les longues lignes de métro, les stations sont souvent situées à de longues distances les unes des autres de façon à permettre de hautes vitesses d'exploitation. Avec l'introduction finale de l'ATO, l'exploitation de petites rames fréquentes deviendra économiquement viable, de sorte que le service à arrêts alternés sera possible durant toute la journée. Grâce au service à arrêts alternés, la même vitesse d'exploitation est atteinte avec 50 à 80% de stations supplémentaires qu'avec le service conventionnel tous arrêts. Ainsi, même les nouvelles longues lignes peuvent avoir un espacement de stations assez court sans aucune réduction de leur vitesse d'exploitation. Le résultat peut être un attrait considérablement plus élevé des voyageurs de tout le couloir desservi.

ken mit einigen viergleisigen Bahnhöfen zum Überholen (siehe Bild 5) auf regionalen Eisenbahnlinien in japanischen Städten (Tokio, Osaka, Kobe). Hierfür ist eine überaus zuverlässige Betriebsabwicklung erforderlich; die Einführung des ATO mit seiner höheren Zugfrequenz und grösseren Fahrpläneinhaltung würde daher auch in diesen Fällen die Voraussetzungen für die breitere Nutzung von Schnell-/Lokaldiensten verbessern.

Der dritte grosse Vorteil des ATO liegt schliesslich darin, dass das Leistungsangebot mit grosser Flexibilität an den Bedarf angepasst werden kann: Züge können mit Leichtigkeit eingesetzt oder gestrichen und in den Betriebshöfen je nach dem zu erwartenden Fahrgastaufkommen verlängert oder verkürzt werden. Zuverlässige automatische Kupplungen sind allerdings eine Voraussetzung für diese Flexibilität.

Die Einführung von ATO und mancher anderer technologischer Innovationen gilt keineswegs für alle neuen Metrosysteme. Viele von ihnen, besonders in den Entwicklungsländern, verlassen sich nach wie vor eher auf einfache, robuste Bauteile, die personalaufwendiger sind als vollautomatisierte Systeme, dafür aber geringere Investitionskosten erfordern. Wichtig ist jedoch, dass diejenigen Systeme, die wahrscheinlich aus der neuen Technologie Nutzen ziehen können, deren Einführung vorsehen und die gesamte Gestaltung (Bahnhöfe, Fahrzeuge, Signaleinrichtungen) so auslegen, dass ihre spätere Einführung nicht verhindert wird.

Ein Beispiel für die Einplanung künftiger Innovationen bei neuen Metrolinien ist die Festlegung der Abstände zwischen den Haltestellen. An langen Metrolinien liegen die Haltestellen oft weit auseinander, um eine hohe Betriebsgeschwindigkeit zu ermöglichen. Bei der Einführung der ATO wird jedoch auch der Betrieb einer grösseren Zahl kürzerer Züge wirtschaftlich, so dass der Wechselhaltestellenbetrieb den ganzen Tag über möglich wird. Bei dieser Betriebsform wird mit 50 bis 80 % mehr Haltestellen die gleiche Betriebsgeschwindigkeit erreicht wie beim Halten an allen Haltestellen. Auf diese Weise kann selbst an langen Metrolinien ein ziemlich kurzer Abstand zwischen den Haltestellen vorgesehen werden, ohne dass dies zu einer Senkung der Betriebsgeschwindigkeit führt. Das Ergebnis kann in einer bedeutenden Steigerung der Attraktivität für alle Fahrgäste aus dem bedienten Korridor bestehen.

#### 4. Diversification of Metro Concepts

In addition to the diversification of their components and operating methods, the overall concept of rapid transit mode has experienced a number of significant developments. In addition to the original rather standard concept of rapid transit, there are today a number of variations, as the following examples illustrate.

— *Transitional systems between metro and LRT* have been built where the basic features of the metro are required, but its investment costs for physical elements cannot be provided. Examples of this are several lines in Frankfurt, Metro line 2 in Rotterdam, the Metro system in Newcastle and presently discussed joint LRT/metro operations in Amsterdam and Stockholm.

— *Regional metro systems* have been built where both urban and regional services had to be provided by the same network; such systems have all the physical characteristics of a large metro, but their extensive networks and long station spacings are more typical of regional rail systems. Examples: San Francisco BART, Washington, Philadelphia (Lindenwold).

— *Medium-capacity metros* have particularly proliferated in many forms in recent years. Again, facing the great need for the high quality of service which metro provides even where the required design capacity is only in the range between 10 000 and 25 000 spaces per hour, i.e. lower than typical for a metro system, smaller-scale systems represent a logical solution; but to provide that capacity with high reliability, speed, safety, etc., such systems must use guided technology, electric traction, separate rights-of-way, signal control and, often, ATO. Examples of these systems vary from those representing LRT on separate rights-of-way (Manila) to AGT systems on rubber tires (Kobe, Lille, Miami), on steel wheels - conventional (London-Docklands) and on steel wheels with major innovations in propulsion

#### 4. Diversification des concepts de métro

Outre la diversification de leurs composantes et de leurs méthodes d'exploitation, le concept général de métros a connu plusieurs développements importants. Au concept d'origine assez standard du métro se sont ajoutées aujourd'hui plusieurs variations, comme l'illustrent les exemples suivants.

— *Des réseaux intermédiaires entre le métro et le métro léger* ont été construits là où les caractéristiques de base du métro sont requises, mais où les coûts d'investissement qu'il nécessite pour des composantes physiques ne peuvent être fournis. On en trouve des exemples sur plusieurs lignes à Francfort, sur la ligne de métro 2 à Rotterdam, le réseau de métro à Newcastle et les exploitations de réseaux hybrides métro léger/métro actuellement en cours de débat, à Amsterdam et Stockholm.

— *Des réseaux de métro régionaux* ont été construits là où les services régionaux et urbains devaient être tous deux fournis par le même réseau; de tels réseaux ont toutes les caractéristiques physiques d'un métro lourd, mais leurs vastes réseaux et les longs espacements entre leurs stations sont plus typiques des réseaux de chemin de fer régionaux. Exemples: le réseau BART à San Francisco, Washington, Philadelphie (Lindenwold).

— *Durant ces dernières années, des métros de capacité moyenne* ont particulièrement proliféré sous de nombreuses formes. A nouveau, faisant face au besoin élevé d'un service de haute qualité que le métro procure même lorsque la capacité physique requise n'est que de 10 000 à 25 000 places par heure, c'est-à-dire inférieure à la capacité caractéristique d'un réseau de métro, les réseaux à plus petite échelle représentent une solution logique; mais, pour fournir cette capacité avec un haut degré de fiabilité, de vitesse, de sécurité, etc., de tels réseaux doivent recourir à la technologie du guidage, la traction électrique, les voies séparées, la signalisation de contrôle et souvent, l'ATO. Les exemples de ces types de réseaux varient depuis le métro léger sur des voies séparées (Manille) jusqu'aux réseaux AGT sur pneumatiques (Kobe, Lille,

#### 4. Diversifizierung der Metrokonzeptionen

Zusätzlich zu der Diversifizierung der Komponenten und Betriebsmethoden hat sich die Gesamtkonzeption der Stadtschnellbahnen in verschiedener Hinsicht weiterentwickelt. Ausser der ursprünglichen, fast überall gültigen Konzeption des Schnellverkehrs gibt es heute eine Anzahl von Variationen, wie die folgenden Beispiele zeigen.

— *Zwischenlösungen zwischen der Metro und der Stadtbahn* sind in den Fällen gebaut worden, bei denen die grundlegenden Merkmale der Metro gefordert waren, die Investitionskosten für den materiellen Aufwand jedoch nicht aufgebracht werden konnten. Beispiele dafür sind verschiedene Linien in Frankfurt, die Metrolinie 2 in Rotterdam, das Metrosystem in Newcastle und der zur Zeit im Gespräch befindliche Mischbetrieb zwischen Stadtbahn und Metro in Amsterdam und Stockholm.

— *Regionale Metrosysteme* wurden dort gebaut, wo innerstädtische und regionale Dienste von dem gleichen Netz angeboten werden mussten; derartige Systeme weisen alle Merkmale einer grossen Metro auf, jedoch sind ihre ausgedehnten Netze und grossen Haltestellenabstände eher für regionale Eisenbahnsysteme typisch. Beispiele sind BART San Francisco, Washington, Philadelphia (Lindenwold).

— *Metros mittlerer Kapazität* sind in den letzten Jahren in vielen Formen besonders häufig geworden. Angesichts der starken Nachfrage nach einem qualitativ hochwertigen Leistungsangebot, das eine Metro auch dann zu bieten hat, wenn die geforderte Konstruktionskapazität nur im Bereich zwischen 10 000 und 25 000 Fahrgastplätzen je Stunde liegt, also niedriger als bei echten Metrosystemen, stellen Systeme kleineren Massstabs eine logische Lösung dar; um aber diese Kapazität mit grosser Zuverlässigkeit, Geschwindigkeit, Sicherheit usw. zu gewährleisten, müssen diese Systeme die Spurführungstechnologie, den elektrischen Antrieb, die gesonderte Trasse, die Benutzung von Signalen und häufig ATO einsetzen. Beispiele für derartige Systeme gibt es in der Form von Stadtbahnen auf gesonderter Trasse (Ma-



Fig. 6: Rapid transit: high-capacity, reliable, economical and durable (Hong Kong).

Fig. 6: Métro: grande capacité, fiable, économique et durable (Hong Kong).

Bild 6: U-Bahn: leistungsfähig zuverlässig, wirtschaftlich und dauerhaft (Hong Kong).

(LIM), suspension, vehicle design and other elements (Vancouver, TAU system under development in Belgium).

Miami), aux réseaux AGT sur roues d'acier conventionnels (Londres-Docklands) et à ceux qui ont subi des innovations majeures dans leur propulsion (LIM), leur suspension, la conception de leurs véhicules et d'autres éléments (Vancouver, le système TAU en cours de développement en Belgique).

nila), von automatisch geführten, gummbereiften Systemen (Kobe, Lille, Miami), von konventionellen Systemen auf Stahlrädern (London, Docklands) und auf Stahlrädern mit grösseren Innovationen beim Antrieb (Induktionsmotor), bei der Federung, der Fahrzeuggestaltung und in anderen Elementen (Vancouver, das in Belgien in Entwicklung befindliche TAU-System).

This review clearly shows that the rapid transit mode has grown to become a diversified group of guided electrically-powered systems varying from the simple, rugged, durable and economical conventional rail metros, such as Hong Kong (Fig.6),

Cet examen montre clairement que le métro s'est développé pour former un groupe varié de réseaux à guidage électrique allant des simples métros sur rail conventionnels, frustes, durables et économiques, comme à Hong Kong (Fig.6), Tokyo et Toronto, aux

Dieser Überblick macht deutlich, dass sich die Stadtschnellbahnen zu einer diversifizierten Gruppe spurgeführter, elektrisch angetriebener Systeme entwickelt haben, die von der einfachen, robusten, langlebigen und wirtschaftlichen konventionellen

Fig. 7: Sophisticated Munich U-Bahn is heavily used in spite of strong automobile competition.

Fig. 7: Le métro de Munich, qui est très perfectionné, est beaucoup fréquenté malgré la forte concurrence de l'automobile.

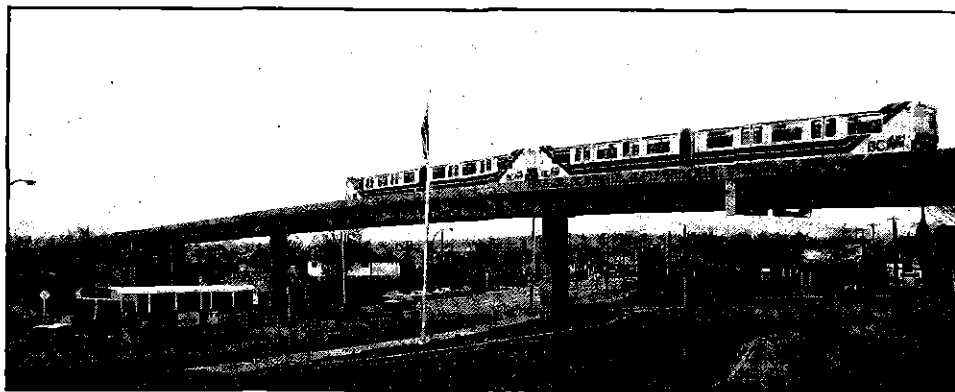
Bild 7: Die technisch verfeinerte Münchener U-Bahn wird trotz starkem Wettbewerb durch den Pkw sehr viel benutzt.



Fig. 8: Medium-capacity metro with ATO (Vancouver).

Fig. 8: Métro de capacité moyenne avec ATO (exploitation entièrement automatique) à Vancouver.

Bild 8: Metro mittlerer Kapazität mit ATO (vollautomatisierter Zugbetrieb) in Vancouver.



Tokyo and Toronto, to highly sophisticated systems designed to compete with private automobile, i.e. a more «luxurious» version, exemplified by Montreal, Munich (Fig.7) and Washington metros. Capacities vary from over 60,000 spaces/hr (New York, São Paulo) to 10-15,000 spaces/hr on some high-quality LRT and AGT systems, such as Edmonton, Kobe and Vancouver (Fig.8). As Ridley points out [5], «An underground railway in difficult ground may cost 30 times as much per kilometer as a light railway at grade, but the per capita gross national product of Hong Kong or Singapore is 30 times that of Bangladesh». It is therefore incorrect to present metro as a fixed system with rigid characteristics (usually implying that it is expensive and overdesigned).

réseaux très complexes conçus afin de concurrencer l'automobile privée, c'est-à-dire une version plus «luxueuse», illustrée par les métros de Montréal, Munich (Fig.7) et Washington. Leur capacité varie depuis plus de 60 000 places/heure (New York, São Paulo) jusqu'à 10 à 15 000 places/heure sur certains réseaux AGT et métro léger de haute qualité, tels qu'à Edmonton, Kobe et Vancouver (Fig.8). Comme le souligne Ridley [5], «Un chemin de fer souterrain dans un sol dur peut coûter 30 fois plus par kilomètre qu'un chemin de fer léger en surface, mais le produit national brut par habitant de Hong Kong ou Singapour est 30 fois plus élevé que celui du Bangladesh.» Par conséquent, il est incorrect de présenter le métro comme un système fixe ayant des caractéristiques rigides (impliquant souvent qu'il est cher et conçu avec excès).

schienengeführten Metro, wie in Hong Kong (Bild 6), Tokio und Toronto bis zu hochtechnisierten Systemen reicht, die mit dem privaten Pkw konkurrieren sollen. Beispiele für die letzteren sind die Metros in Montreal, München (Bild 7) und Washington. Die Kapazitäten liegen zwischen mehr als 60 000 Fahrgastplätzen/Stunde (New York, São Paulo) und 10 000 bis 15 000 Fahrgastplätzen Stunde bei einigen qualitativ hochwertigen Stadtbahnen und automatisch geführten Systemen wie Edmonton, Kobe und Vancouver (Bild 8). Ridley erklärt [5]: «Eine unterirdische U-Bahn in schwierigem Boden mag die dreissigfachen Kosten je Kilometer verschlingen als eine Stadtbahn zu ebener Erde, aber das Bruttosozialprodukt je Kopf der Bevölkerung ist in Hong Kong und Singapur auch dreissigmal höher als in Bangladesh.» Es ist daher nicht richtig, die Metro als ein festes System mit starren Merkmalen zu betrachten (meist mit der Unterstellung, sie sei kostenaufwendig und zu ehrgeizig geplant).

## 5. Metro Network Evolution and Expansion

Construction of metro systems can have a number of goals and objectives (for their review see section 5.7 in [1]). Their network forms and extensiveness depend greatly on those goals. With respect to their applications, metro networks have several roles in the city: first, metro usually serves as the basic «skeleton» or «backbone» of the entire transit network, which integrates street transit lines into a unified network and attracts auto drivers via park-and-ride facilities (Cleveland, Atlanta). Second, metro may serve high passenger volumes travelling within central city; for this, metro should have a rather dense network covering the central city area (Paris, Tokyo). And third, most metros carry

## 5. Evolution et expansion du réseau de métro

La construction de réseaux de métro peut avoir plusieurs buts et objectifs (pour leur examen, voir section 5.7 dans [1]). La forme et l'étendue de leurs réseaux dépendent grandement de ces buts. En fonction de leurs applications, les réseaux de métro jouent différents rôles dans la ville; tout d'abord, le métro sert généralement de «squelette» ou de «colonne vertébrale» de base pour tout le réseau de transport public, squelette qui intègre les lignes de transport public par route en un réseau unifié et attire les conducteurs d'automobiles au moyen d'installations «park-and-ride» (Cleveland, Atlanta). Deuxièmement, le métro peut transporter de grands volumes de passagers qui voyagent dans le centre de la ville; c'est pourquoi le

## 5. Entwicklung und Erweiterung von Metronetzen

Mit dem Bau von Metrosystemen kann eine Reihe von Zielen und Zwecken verbunden werden (ein Überblick ist in Ziffer 5.7 von [1] enthalten). Von diesen Zielen hängt die Form und die Ausdehnung ihres Netzes stark ab. Hinsichtlich ihrer Anwendungen haben Metronetze verschiedene Aufgaben in einer Stadt zu erfüllen: zunächst fungiert die Metro in der Regel als das Gerippe oder Rückgrat des gesamten öffentlichen Verkehrsnetzes, das die auf allgemeinen Strassen verkehrenden Nahverkehrsmittel zu einem einheitlichen Netz zusammenfasst und die Pkw-Fahrer durch ein «park-and-ride»-System (Cleveland, Atlanta) hinter dem Steuer hervorlockt. Zweitens kann die Metro in der Innenstadt ein hohes Fahrgastauf-

large numbers of passengers, mostly commuters, radially between suburban areas and central city.

The developments which took place in most cities in recent decades have increased the need for metro services in all these three roles. The flooding of cities by private automobiles has created such severe street congestion that the only reliable alternative can be obtained through construction of separate rights-of-way, i.e., LRT or metro systems; without them central cities are often paralysed. But to attract automobile users for a large variety of urban trips, transit must offer a high level of service within an integrated network: this calls for metro in the role of network integrator. Finally, the rapid spatial expansion of cities has created a need for extension of metro lines into suburbs. Several recently built metros extend much farther into suburbs than older metros. These extensions have generally been successful in spite of relatively light passenger volumes at their extremities, because the investment required for metro construction in low density suburbs is also much lower than in high density central areas. How have various cities coped with these increasing demands?

Many cities which were late in starting construction of their metros compensated the limited network lengths by their full coordination with bus and other street transit lines. An excellent example for this solution is Atlanta (Fig.9). Started during the 1970s, its network now has two lines with a total length of 44 km (the planned network will have 97 km), but these two lines carry 225,000 of the 600,000 daily trips on the entire bus/rail network; 71% of the trips involving transfer are to/from the Metro. The diversion of travel from buses to rail has made it possible to reduce the number of daily bus trips in the central city area from 900 to

métro devrait posséder un réseau assez dense qui couvre la zone du centre-ville (Paris, Tokyo). Et troisièmement, la plupart des métros transportent un grand nombre de passagers, des navetteurs pour la plupart, sur des axes qui relient la banlieue au centre de la ville.

Les développements qui se sont produits dans la plupart des villes ces dernières décennies ont augmenté le besoin de services de métro dans ces trois fonctions. L'invasion des villes par les voitures privées a créé de tels encombrements dans les rues que la seule solution fiable ne peut être obtenue que par la construction de voies séparées, c'est-à-dire de réseaux de métro léger ou de métro; sans eux, les centres-villes sont souvent paralysés. Mais, afin d'attirer les automobilistes pour une grande variété de déplacements urbains, les transports publics doivent offrir un haut degré de service au sein d'un réseau intégré: le métro doit jouer un rôle d'intégrateur du réseau. Enfin, l'expansion territoriale rapide des villes a créé un besoin d'étendre les lignes de métro à la banlieue. Plusieurs métros construits récemment s'étendent beaucoup plus loin dans les faubourgs que les réseaux plus anciens. En général, ces extensions ont été fructueuses malgré un volume de passagers assez faible à leur extrémités, étant donné que l'investissement requis pour la construction de métro dans les faubourgs à faible densité est également bien inférieur à celui des zones urbaines du centre à forte densité. Comment différentes villes ont-elles fait face à cette demande croissante?

Beaucoup de villes qui ont commencé plus tard la construction de leur métro ont compensé la longueur limitée de leurs réseaux par leur coordination complète avec les lignes d'autobus et d'autres modes de transports routiers. Un excellent exemple de cette solution est représenté par Atlanta (Fig.9). Commencé pendant les années 70, son réseau possède actuellement deux lignes d'une longueur totale de 44 km (le réseau projeté aura 97 km), mais ces deux lignes transportent 225 000 des 600 000 déplacements journaliers sur le réseau autobus/chemin de fer tout entier; 71 % des déplacements, impliquant une correspondance, se font

kommen bewältigen; zu diesem Zweck benötigt sie ein ziemlich dichtes Netz, das das gesamte Stadtzentrum erfasst (Paris, Tokio). Und drittens befördern die meisten Metros grosse Fahrgastzahlen — überwiegend Pendler — sternförmig zwischen den Vororten und dem Stadtzentrum.

Die Entwicklungen, die sich in den meisten Städten in den letzten Jahrzehnten abgespielt haben, erhöhen den Bedarf an Metros in allen drei Funktionen. Die Überflutung der Städte durch private Pkws hat zu einem derart starken Verkehrsaufkommen in den Strassen geführt, dass die einzig zuverlässige Alternative im Bau gesonderter Trassen für Stadtbahnen oder Metros besteht; ohne sie kann es in Stadtzentren zum völligen Zusammenbruch des Verkehrs kommen. Wenn die Pkw-Benutzer jedoch für eine Vielfalt von Fahrmöglichkeiten in der Stadt gewonnen werden sollen, dann müssen die öffentlichen Verkehrsmittel im Rahmen eines integrieren Verkehrsnetzes ein hohes Leistungsangebot zur Verfügung stellen: dies verleiht der Metro die Funktion des Verkehrsnetz-Integrators. Schliesslich ist auch festzustellen, dass die rasche flächenmässige Ausdehnung der Städte die Verlängerung der Metrolinien in die Vororte notwendig gemacht hat. Mehrere kürzlich gebaute Metros führen viel weiter in die Aussenbezirke als ältere Systeme. Diese Linienverlängerungen haben sich trotz des verhältnismässig geringen Fahrgastaufkommens in der Nähe der Endbahnhöfe im allgemeinen als erfolgreich erwiesen, weil die für den Bau von Metros in weniger dicht besiedelten Aussenbezirken erforderlichen Investitionen auch viel niedriger sind als in den hochverdichteten Stadtzentren. Wie haben sich verschiedene Städte dieser wachsenden Herausforderung gegenüber verhalten?

Viele Städte, die mit dem Bau ihrer Metros erst verhältnismässig spät begonnen, haben die beschränkte Ausdehnung des Netzes durch dessen volle Koordinierung mit Autobus- und anderen Strassenverkehrsmitteln kompensiert. Ein ausgezeichnetes Beispiel für diese Lösung ist Atlanta (Bild 9). Mit dem Bau des Netzes wurde in den siebziger Jahren begonnen; es verfügt jetzt über zwei Linien mit einer Gesamtlänge von 44 km (im Endausbaustadium soll das Netz 97 km lang sein), aber nicht weniger als 225 000 von den täglich 600 000 Fahrten auf dem gesamten öffentlichen Verkehrsnetz werden auf diesen zwei Bahnlinien abgewickelt; bei 71 %

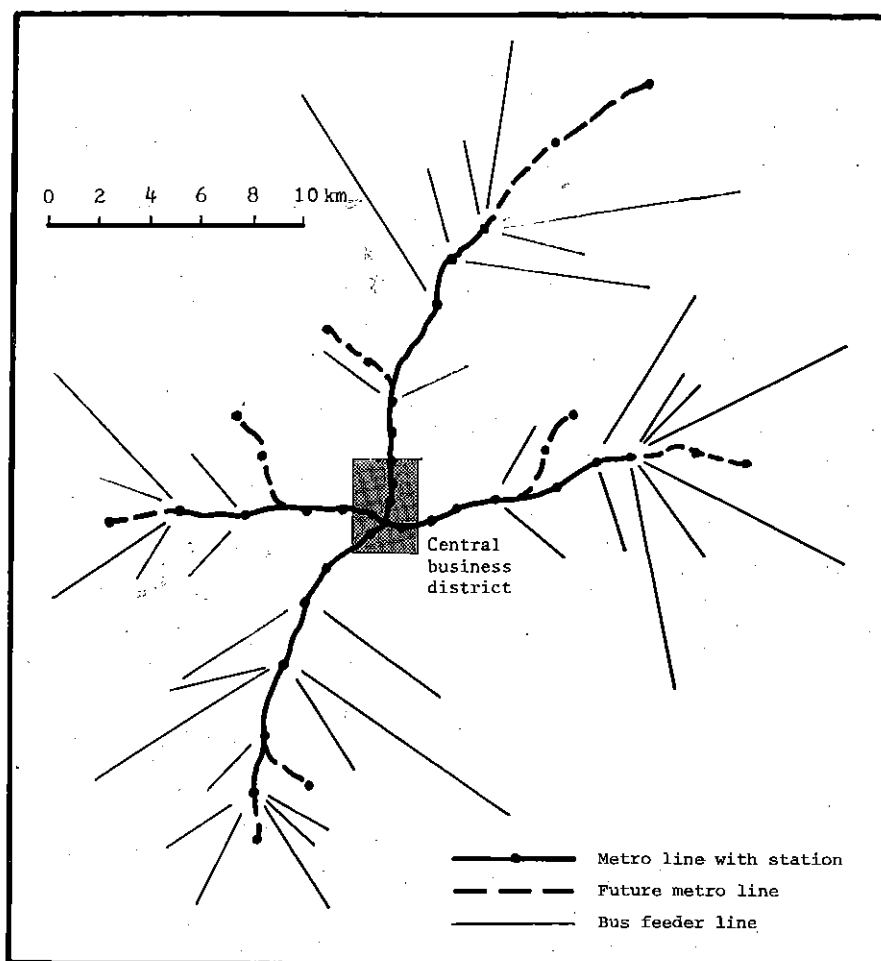


Fig. 9: Metro as the backbone of the entire transit network (Atlanta).

Fig. 9: Le métro: colonne vertébrale de tout le réseau de transports publics (Atlanta).

—●— Ligne de métro avec station  
 - - - Future ligne de métro  
 — Ligne d'autobus de rabattement

Bild 9: Metro als Rückgrat des gesamten öffentlichen Verkehrsnetzes (Atlanta).

—●— U-Bahnlinie mit Bahnhof  
 - - - Zukünftige U-Bahnlinie  
 — Autobus-Zubringerlinie

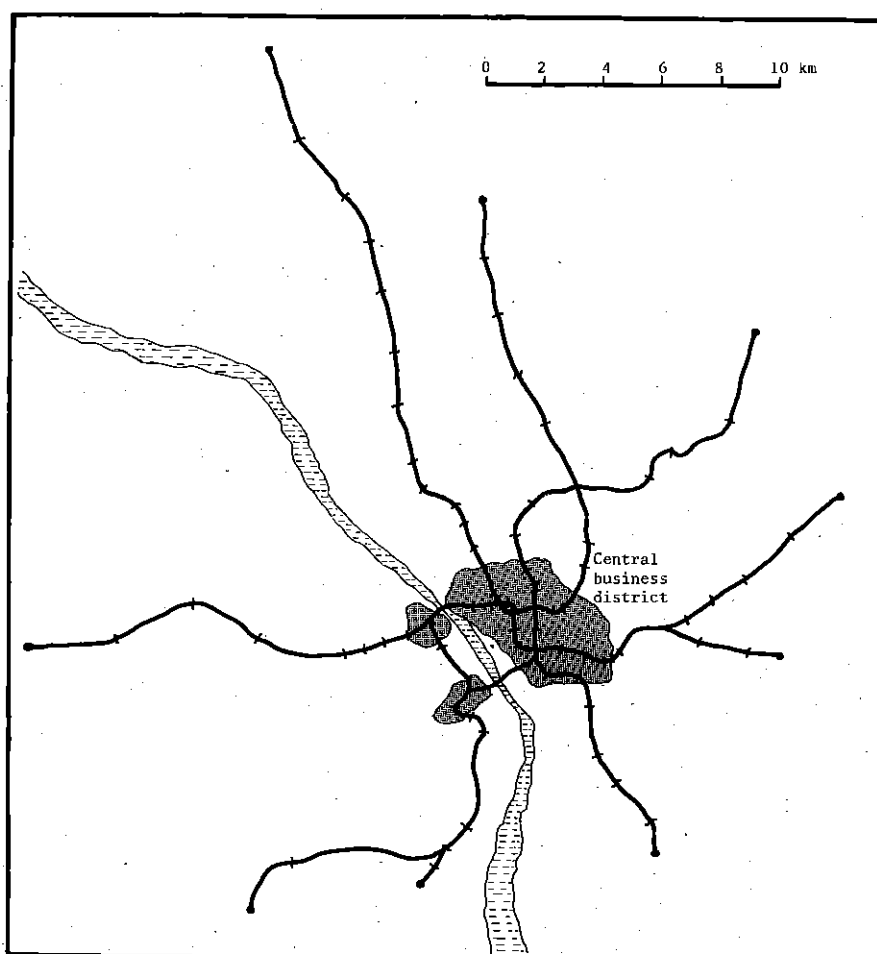


Fig. 10: Metro network for the city and region (Washington).

Fig. 10: Réseau de métro couvrant la ville et la région (Washington).

Bild 10: Metronetz für die Stadt und für die Region (Washington).

350, increasing reliability of transit travel and decreasing street congestion.

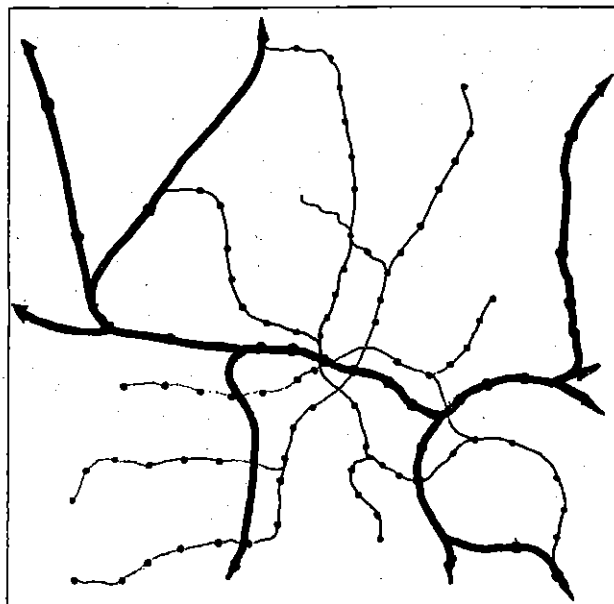
vers/à partir du métro. Le détournement des voyages en autobus au rail a permis de réduire le nombre de déplacements journaliers en autobus dans la zone du centre-ville de 900 à 350, ce qui a accru la fiabilité des déplacements par transports publics et diminué l'encombrement des rues.

In other cases cities which grew extensively without high-quality transit have built metro systems which combine the roles of urban metros and regional rail systems. An example of such a network, offering reasonably good coverage of the central city as well as providing radial lines to several suburbs is Washington, shown in Fig. 10.

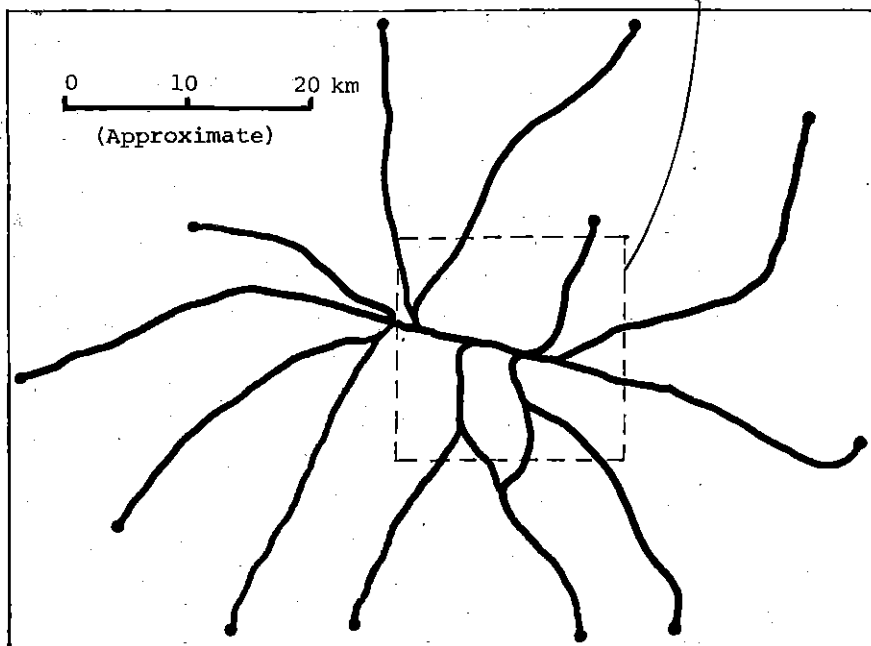
Dans d'autres cas, les villes qui se sont développées sans service de transports publics de haute qualité ont construit des réseaux de métro qui combinent les rôles de métros urbains et de réseaux de chemin de fer régionaux. Un exemple d'un de ces réseaux, qui offre une couverture relativement valable du centre-ville tout en fournissant des axes vers certains faubourgs, est Washington, représenté à la Fig. 10.

der Fahrten, bei denen umgestiegen wird, erfolgt das Umsteigen aus der oder in die Metro. Diese Verlagerung der Fahrten vom Bus auf die Schiene hat jetzt dazu geführt, dass die Zahl der täglichen Busfahrten in das Stadtzentrum von früher 900 auf 350 verringert werden konnte, was die Zuverlässigkeit des gesamten öffentlichen Verkehrswesens erhöht und die Verkehrsbelastung der Strassen gemindert hat.

In anderen Fällen haben Städte, die schnell gewachsen sind, ohne über ein leistungsfähiges öffentliches Verkehrsnetz zu verfügen, Metrosysteme gebaut, die die Funktion der innerstädtischen Metro mit derjenigen regionaler Eisenbahnsysteme verbinden. Ein Beispiel für ein derartiges Netz, das den Stadtkern in angemessener Weise bedient und gleichzeitig sternförmig in verschiedene Vororte führt, ist Washington (siehe Bild 10).



City with U-Bahn and S-Bahn



Region with S-Bahn

Fig. 11: Complementary urban (U-Bahn) and regional (S-Bahn) rail networks (München).

Fig. 11: Réseaux ferrés urbain (U-Bahn) et régional (S-Bahn) intégrés à Munich.

Bild 11: Sich ergänzendes städtisches und regionales Netz (U-Bahn und S-Bahn) in München.

Finally, cities which have consistently given priority to high-quality public transportation and invested in its planning and construction over several decades now have extensive networks of both, metro serving central city and regional rail connecting the entire region. An excellent example of this is Munich (Fig.11), where the U-Bahn is fully coordinated with the S-Bahn for regional travel, as well as with light rail and bus for local services.

Utilizing innovative concepts in station design, integrated fares, good public information and marketing, modern metro systems in many cities represent backbone networks fully coordinated with bus or LRT feeder lines, automobile access by park-and-ride, direct connections to buildings and major pedestrian areas in city or suburban centers, serving major employment centers, shopping areas and residential zones, railroad stations and, increasingly, also major airports. For example, in cities like Stockholm, Paris and Rotterdam metro systems are fully integrated with both transit for local travel and railways, buses and planes for intercity travel.

Metro networks will most probably continue to be built in a variety of ways, responding to the changing urban needs. They will be increasingly extended into suburban areas and integrated with other modes, including the automobile. Introduction of ATO on some systems, particularly new ones, will make it possible to have long lines with rather short station spacings and relatively high operating speeds due to accelerated operations.

## 6. Policy and Financing

Construction of metro systems requires long-range planning and adequate financing. Because of the

Enfin, les villes qui ont donné la priorité à l'élaboration d'un service de transport public de haute qualité et qui ont investi sur plusieurs décennies dans son organisation et sa construction, possèdent maintenant de vastes réseaux constitués à la fois de métros desservant le centre-ville et de chemins de fer régionaux couvrant la région toute entière. Un excellent exemple en est Munich (Fig.11), où le U-Bahn (métro) est entièrement coordonné au S-Bahn pour les déplacements régionaux, de même qu'au métro léger et aux autobus pour les services locaux.

Par l'utilisation de concepts novateurs dans la conception des stations, de tarifs uniques, d'une bonne information du public et d'un bon marketing, les réseaux de métro modernes constituent dans beaucoup de villes des réseaux squelettes entièrement coordonnés aux lignes de rabattement d'autobus ou au métro léger. Ils permettent également l'accès aux automobiles via les park-and-ride, ainsi qu'un accès direct aux bâtiments et aux principales zones piétonnières des centres urbains ou de banlieue, et desservent la plupart des centres de bureaux, des zones commerciales et des zones résidentielles, des gares de chemin de fer et, de plus en plus, les principaux aéroports. Par exemple, les réseaux de métro de villes comme Stockholm, Paris et Rotterdam sont entièrement intégrés et procurent à la fois un service de transport public pour les déplacements locaux, des lignes de chemin de fer et d'autobus, ainsi que des lignes aériennes pour les voyages intervilles.

Il est très probable que des réseaux de métro continueront à être construits de diverses manières, suivant le changement des besoins urbains. Ils s'étendront de plus en plus vers les zones de banlieue et seront intégrés à d'autres modes de transport, y compris l'automobile. L'introduction de l'ATO sur certains réseaux, particulièrement les nouveaux réseaux, permettra l'exploitation de longues lignes caractérisées par un espacement entre les stations assez court et des vitesses d'exploitation relativement élevées grâce aux services accélérés.

## 6. Politique et financement

La construction de réseaux de métro exige une planification à long terme et un financement approprié.

Schliesslich sei darauf hingewiesen, dass Städte, die einem guten öffentlichen Verkehrsnetz immer schon hohen Vorrang eingeräumt und über Jahrzehnte hinweg Investitionen in deren Planung und Bau vorgenommen haben, nun über ausgedehnte Netze beider Verkehrsmittel verfügen, wobei die Metro die Innenstadt bedient und ein regionales Eisenbahnnetz die gesamte Region anbindet. Ein ausgezeichnetes Beispiel hierfür ist München (Bild 11), wo die U-Bahn mit der den regionalen Verkehr wahrnehmenden S-Bahn sowie mit der Stadtbahn und den Buslinien voll koordiniert ist.

Dadurch, dass sie bei der Planung der Bahnhöfe innovative Lösungen gefunden haben, ein integriertes Fahrpreissystem verwenden und eine gute Öffentlichkeitsarbeit und Marketingpolitik betreiben, bilden die modernen Metrosysteme in vielen Städten den Kern des öffentlichen Verkehrs, bei voller Koordinierung mit Autobus- oder Stadtbahnzubringerdiensten, Zugänglichkeit für Pkws durch park-and-ride, unmittelbarem Zugang zu Gebäuden und grösseren Fussgängerzonen in innerstädtischen oder Vorortzentren, grösseren Arbeitgebern, Einkaufszentren, Wohngebieten, Bahnhöfen der Eisenbahn und in steigendem Masse auch zu Flughäfen. So sind die Metrosysteme in Städten wie Stockholm, Paris und Rotterdam sowohl mit den örtlichen Verkehrsmitteln als auch mit den Eisenbahnen, Bussen und Flugzeugen für den Überlandverkehr voll integriert.

Metronetze werden aller Wahrscheinlichkeit nach auch in Zukunft in verschiedener Weise gebaut werden, wobei die sich verändernden Bedürfnisse der Städte zu berücksichtigen sind. Sie werden zunehmend auch in die Vororte führen und mit anderen Verkehrsmitteln, einschliesslich dem Kraftfahrzeug, integriert werden. Die Einführung von ATO bei bestimmten — insbesondere neueren — Systemen wird es ermöglichen, auch längere Linien mit recht nahe beieinanderliegenden Haltestellen zu versehen, wobei die Reisegeschwindigkeit dank der beschleunigten Betriebsabwicklung ziemlich hoch sein kann.

## 6. Politik und Finanzierung

Der Bau von Metrosystemen erfordert langfristige Planungen und ausreichende finanzielle Mittel. Ange-

complexity and size of the project, most cities usually lag behind in metro construction: the need for metro systems existed in cities like Washington, Caracas, Hong Kong, Rome and many others long before their first lines were opened. Today there are dozens of cities which are choking in congestion and have no other possible solution for badly needed improvements in mobility than to build metro (or LRT) systems. In such situations, where new metro lines will be used by hundreds of thousands of passengers per day, metro represents not only the only mode physically capable of transporting such passenger volumes under decent conditions of speed, reliability, safety and comfort — but also the most economical one. Alternative modes, such as buses, jitneys and private cars, which may in a superficial analysis appear to be cheaper (because of lower short-term capital costs) offer far lower levels of service and involve far greater (although more dispersed) costs experienced by users (monetary, time losses, discomfort, accidents), as well as by the society (lower economic viability of cities, damage to urban environment and health, etc).

Thus, the need for a large number of new metro lines and networks is obvious; however, the extent and timing of future metro construction will depend considerably on their designs. If many cities adopt the planning philosophy that «Once a metro is built, it should be designed for all future needs», they will often plan systems with excessive capacity, elaborate facilities and complicated technology. The chances for construction of such systems, particularly in developing countries, will be much smaller than in the cities which plan more functional systems which require lower investment, operating and maintenance costs. The same amount of investment will result in the latter case in faster implementation and a more extensive network with a greater ridership.

Etant donné la complexité et la taille du projet, la majorité des villes sont généralement à la traîne dans la construction de métros: dans des villes telles que Washington, Caracas, Hong Kong, Rome et tant d'autres, le besoin de réseaux de métro existait bien avant que leurs premières lignes ne fonctionnent. Aujourd'hui, des dizaines de villes sont paralysées par les encombrements et n'ont aucune autre solution pour améliorer la mobilité dont elles ont tant besoin, que de construire des réseaux de métro (ou des réseaux de métro léger). Dans de telles situations, où les nouvelles lignes de métro seront utilisées par des centaines de milliers de passagers par jour, le métro ne représente pas seulement le seul mode de transport physiquement capable de transporter de tels volumes de passagers dans de bonnes conditions de vitesse, de fiabilité, de sécurité et de confort — mais également le mode de transport le plus économique. Les autres modes de transport public, tels que les autobus, les jitneys et les voitures privées, qui, à première vue, peuvent sembler meilleur marché (étant donné les coûts de capital à long terme moins élevés), offrent des niveaux de service de loin inférieurs et entraînent des coûts beaucoup plus élevés (bien que moins dispersés) pour les usagers (coûts monétaires, pertes de temps, inconfort, accidents), de même que pour la société (viabilité économique inférieure des villes, dommages causés à l'environnement urbain et à la santé, etc.)

Ainsi, le besoin d'un grand nombre de nouvelles lignes et de nouveaux réseaux de métro est évident; cependant, la dimension et l'échelonnement de la construction de nouveaux métros dépendra considérablement de leur conception. Si beaucoup de villes adoptent la philosophie de planification selon laquelle «Une fois qu'un métro est construit, il devrait être conçu pour répondre à tous les besoins futurs», elles organiseront souvent des réseaux d'une capacité exagérée, pourvus d'installations élaborées et d'une technologie complexe. La probabilité de construction de tels réseaux sera beaucoup moins grande, particulièrement dans les pays en voie de développement, que dans les villes qui planifient des réseaux plus fonctionnels requérant des coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien moins élevés. Dans le second cas, le même montant d'investissements permettra une réalisation plus rapide et l'élaboration d'un réseau plus étendu bénéficiant d'un taux de fréquentation plus élevé.

sichts der Vielschichtigkeit und Grösse derartiger Vorhaben bleiben die meisten Städte beim Bau von Metros hinter der Entwicklung zurück: der Bedarf an Metrosystemen war in Städten wie Washington, Caracas, Hong Kong, Rom und vielen anderen längst gegeben, ehe die ersten Strecken in Betrieb genommen wurden. Heute gibt es Dutzende von Städten, die in ihrem Verkehr ersticken und keine andere Lösung für die dringend benötigte Steigerung der Mobilität haben als den Bau von Metros (oder Stadtbahnen). In diesen Situationen, in denen neue Metrostrecken jeden Tag von hunderten Tausenden von Fahrgästen benutzt werden, ist die Metro nicht nur das einzige Verkehrsmittel, das in der Lage ist, dieses Fahrgastaufkommen unter zumutbaren Bedingungen — Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit und Komfort — zu bewältigen, sondern es ist auch das wirtschaftlichste. Andere Verkehrsmittel wie Busse, auch der private Pkw, die bei einer oberflächlichen Analyse billiger zu sein scheinen (weil der kurzfristige Kapitalaufwand niedriger ist), bieten ein weit geringeres Leistungsangebot und verursachen dem Benutzer viel höhere (wenn auch breiter gestreute) Kosten (finanzieller Aufwand, Zeitverluste, Mangel an Komfort, Unfallgefahr). Das gleiche gilt für die Allgemeinheit (niedrigere wirtschaftliche Lebensfähigkeit der Städte, Umweltbelastung, Gesundheitsgefährdung usw.).

Der Bedarf an zahlreichen neuen Metrostrecken und -netzen liegt daher auf der Hand; das Ausmass und der zeitliche Ablauf des künftigen Neubaus von Metros hängt jedoch in beträchtlichem Masse von ihrer Auslegung ab. Wenn viele Städte sich die Planungsphilosophie zu eigen machen, dass «wenn man schon eine Metro baut, sie für den gesamten künftigen Bedarf gebaut werden muss», dann wird es häufig zu Überkapazitäten, ausgefeilten Anlagen und einer komplizierten Technologie kommen. Die Aussichten, dass es zum Bau derartiger Systeme kommt, besonders in den Entwicklungsländern, sind viel geringer als in den Städten, in denen funktionellere Systeme geplant werden, die geringere Investitionen, Betriebs- und Wartungskosten erfordern. Im letzteren Falle wird der gleiche Investitionsaufwand zu einer schnelleren Durchführung und einem ausgedehnteren Netz mit einem grösseren Fahrgastaufkommen führen.

As a major public project and a symbol of a strong commitment to provision of *high-quality public transportation* available to the entire urban population, and to healthy cities not totally dominated by the automobile, rail transit has been a « lightning rod » for attacks by conservative economists and automobile/highway interests. Thus, for more than 20 years a number of academics in the United States have been writing articles in journals and newspapers criticizing transit, particularly rail projects. Based on a philosophical stand against cities and public projects, the contention of these academics has been that the enormous spending on highways, parking and automobiles (including luxurious ones) represents a desirable stimulus for the economy and leads into the future which « belongs to the automobile »; but all expenditures for public transport, particularly rail, for beautification of cities, etc., are a « waste of tax-payers' money ». As pointed out in a discussion of this controversy [8], real-world developments in North American cities have been directly contrary to these critics' claims: metro systems in San Francisco, Washington and Atlanta, LRT lines in Calgary, San Diego and other cities have had very strong positive impacts on cities; they enjoy full support of the population and several extensions of their networks are now being built.

With the increasing demand for rail transit in the cities of developing countries, another controversy has developed which requires a brief analysis. A criticism of publicly operated transit and all transit modes except buses has been pursued by some economists and recently intensified by the World Bank. In its publications, such as [9 and 10], the reader finds many sections which correctly describe the seriousness of the transportation problems in the rapidly growing cities of these countries. Few would disagree with the suggestions that the existing facilities should be more efficiently utilized and that there is no single solution nor single mode which can solve all the problems. Suggestions for suppressing automobile use in cities and favoring public transport,

En tant que projet public majeur et symbole d'un engagement sérieux à procurer un *service de transport public de haute qualité*, mis à la disposition de toute la population urbaine et à celle des villes saines qui ne sont pas entièrement dominées par l'automobile, le transport ferroviaire à courte distance a constitué un « paratonnerre » contre les attaques des économistes conservateurs et les intérêts de l'automobile et des voies rapides. Ainsi, aux Etats-Unis, depuis plus de 20 ans, de nombreux universitaires ont écrit, dans les revues et les journaux, des articles critiquant les transports publics, et plus particulièrement les projets ferroviaires. Fondée sur une position philosophique contre les projets publics et urbains, la contestation de ces universitaires était la suivante: les énormes dépenses engagées pour les autoroutes, les parkings et les automobiles (y compris les voitures de luxe), constituent un stimulant souhaitable pour l'économie et nous mènent vers un avenir qui « appartient à l'automobile »; tandis que toutes les dépenses occasionnées par les transports publics, particulièrement le chemin de fer, et par l'embellissement des villes, etc., sont un « gaspillage de l'argent du contribuable ». Comme cela est signalé dans une discussion concernant cette controverse [8], les développements réels qui se sont produits dans les villes d'Amérique du Nord contredisent les affirmations de ces critiques: les réseaux de métro de San Francisco, Washington et Atlanta, les lignes de métro léger à Calgary, San Diego et d'autres villes encore, ont eu un impact extrêmement positif sur ces villes; ils bénéficient du soutien total de la population et plusieurs extensions de ces réseaux sont actuellement en construction.

Avec la demande croissante de services de transports ferroviaires à courte distance dans les villes des pays en voie de développement, une autre controverse s'est développée qui requiert une brève analyse. Certains économistes ont critiqué les transports publics exploités par les pouvoirs publics, ainsi que tous les modes de transport public, à l'exception des autobus, et la Banque Mondiale a récemment intensifié cette critique. Dans ses publications, telles que [9 et 10], le lecteur trouve plusieurs sections qui décrivent correctement l'acuité des problèmes de transport dans les villes à croissance rapide de ces pays. Peu seront en désaccord avec les suggestions selon lesquelles les installations existantes devraient être utilisées de façon plus efficace et peu nieront le fait qu'il n'existe aucune

Als öffentliches Grossprojekt und Symbol des Bekenntnisses zum Angebot eines *hochwertigen öffentlichen Verkehrsnetzes* für die gesamte städtische Bevölkerung und zur Erhaltung gesunder Städte, die sich dem Kraftfahrzeug nicht völlig unterwerfen, sind die schienenengebundenen Verkehrsnetze ein Hauptangriffsziel für konservative Volkswirte und die Interessenvertreter der Kfz-Industrie und des Strassenbaus. So veröffentlicht seit mehr als 20 Jahren eine Reihe von Akademikern in den Vereinigten Staaten Aufsätze in Zeitungen und Zeitschriften, in denen der öffentliche Verkehr, insbesondere wenn er schienengebunden ist, kritisiert wird. Aufgrund einer philosophisch bedingten Einstellung gegen Städte und öffentliche Vorhaben läuft die Behauptung dieser Kreise darauf hinaus, dass die enormen Aufwendungen für Strassen, Parkplätze und Kraftfahrzeuge (einschliesslich Luxusautos) eine wünschenswerte Auftriebskraft für die Volkswirtschaft darstellen und eine Zukunft einleiten, « die dem Auto gehört »; alle Ausgaben für den öffentlichen Verkehr, insbesondere den Schienenverkehr, und für die Verschönerung der Städte usw. sind demgegenüber « Verschwendung von Steuergeldern ». Wie in einer Erörterung dieser Kontroverse [8] dargelegt wird, verlaufen die tatsächlichen Entwicklungen in den Städten Nordamerikas in genau entgegengesetzter Richtung: die Metrosysteme in San Francisco, Washington und Atlanta und die Stadtbahnen in Calgary, San Diego und anderwärts haben sich in sehr positiver Weise auf die Städte ausgewirkt; sie wurden von der Bevölkerung voll angenommen, und mehrere Erweiterungen dieser Netze sind zur Zeit im Bau.

Die steigende Nachfrage nach schienenengebundenen öffentlichen Verkehrsmitteln in den Städten der Entwicklungsländer hat zu einer weiteren Kontroverse geführt, die eine kurze Analyse erfordert. Der öffentliche Nahverkehr und alle öffentlichen Verkehrsmittel, ausser Busse, werden von einigen Volkswirten kritisiert; diese Kritik ist kürzlich von der Weltbank noch verschärft worden. In ihren Veröffentlichungen [9] und [10] findet der Leser viele richtige Hinweise auf die ernste Situation des öffentlichen Verkehrs in den rasch wachsenden Städten dieser Länder. Es wird kaum jemand der Auffassung widersprechen, dass die vorhandenen Anlagen wirksamer genutzt werden sollten und dass es keine Einzellösung und auch kein einzelnes Verkehrsmittel gibt, das alle diese Probleme lösen kann. Vor-

on which vast majorities of population depend, even sounds as a very progressive view. However, a professional reader then notices that the specific proposals for actions fall short or are contrary to these suggested policies. A few examples of these contradictions follow.

— If greatly underpriced use of automobiles in cities is to be corrected, the pricing schemes applied in Singapore and progressive parking charges should be introduced. World Bank underplays these measures by saying that they «have proved difficult to implement». The fuel or import taxes on automobiles which it suggests are so remote from drivers' daily decisions, that they have very little effect on urban congestion.

— All public transport is considered to be a purely commercial venture, with financial success as the dominant goal. Bus and rail systems are repeatedly referred to as «viable» or «not viable» based on their coverage of costs. The fact that many cities have a policy of low fares for high mobility of low-income population is characterized as wasteful. Policy of subsidizing public transport is now a widely accepted practice in developed countries, and it is necessitated primarily by the heavy direct and indirect subsidies which the automobile enjoys. There are certainly even stronger reasons for low- or moderate-fare policies in developing countries where urban mobility is essential for employment and survival of the majority of population.

— The successful upgraded bus operations and busways in São Paulo, Porto Alegre and several other cities are correctly pointed out. However, the emphasis on private buses (which are difficult to control) and claims that buses with some priorities and bus lanes can satisfy the needs of all, even the largest cities, is contrary to facts and ex-

solution unique ni aucun mode unique qui puisse résoudre tous les problèmes. Les suggestions visant à la suppression de l'utilisation de l'automobile dans les villes et à l'encouragement des transports publics, dont dépendent de larges couches de la population, semblent même très progressistes. Cependant, le lecteur professionnel remarquera alors que les propositions spécifiques d'actions échouent ou s'opposent aux politiques suggérées. Voici quelques exemples de ces contradictions.

— S'il faut corriger l'usage trop bon marché de l'automobile dans les villes, les plans de tarification appliqués à Singapour et des taxes de parking progressives devraient être introduits. La Banque Mondiale minimise ces mesures en affirmant qu'«elles se sont révélées difficiles à mettre en oeuvre». Les taxes sur l'essence ou à l'importation pour les automobiles, qu'elle suggère, sont si éloignées des décisions journalières des automobilistes qu'elles ont très peu d'effet sur l'encombrement urbain.

— Tout transport public est considéré comme étant une entreprise purement commerciale, dont le but principal est le succès financier. Les réseaux d'autobus et de chemin de fer sont sans cesse considérés comme «viables» ou «non viables» en fonction de la couverture de leurs coûts. Le fait que beaucoup de villes ont une politique de tarifs peu élevés qui vise à assurer une mobilité élevée à la population pauvre, est déclaré peu rentable. La politique de subventionnement des transports publics constitue maintenant une pratique largement acceptée dans les pays en voie de développement, et est requise avant tout par les subventions directes et indirectes importantes dont jouit l'automobile. Il existe certainement de plus fortes raisons pour l'adoption de politiques de tarifs peu élevés ou modérés dans les pays en voie de développement, là où la mobilité urbaine est essentielle pour l'emploi et la survie de la majorité de la population.

— Les exploitations fructueuses et en progrès des services d'autobus et des sites propres pour autobus à São Paulo, Porto Alegre et plusieurs autres villes, sont correctement soulignées. Cependant, l'accent mis sur les autobus privés (difficiles à contrôler) et les affirmations selon lesquelles les autobus qui bénéficient de certaines priorités et les couloirs réservés, peuvent

schläge für ein Verbot des Kfz-Verkehrs in den Städten und die Förderung des öffentlichen Verkehrs, von der die grosse Masse der Bevölkerungen dieser Städte abhängt, klingen nach einer sehr fortschrittlichen Auffassung. Der kundige Leser stellt jedoch dann fest, dass die spezifischen Lösungsvorschläge für praktische Massnahmen an diese vorgeschlagene Politik nicht heranreichen oder ihr sogar zuwiderlaufen. Diese Widersprüche sollen an einigen Beispielen verdeutlicht werden.

— Wenn die stark verbilligte Benutzung von Kraftfahrzeugen in Städten korrigiert werden soll, dann sollten die in Singapur geltenden Preisfestsetzungsverfahren sowie Parkgebühren mit Progressionseffekt eingeführt werden. Die Weltbank spielt diese Massnahmen herunter, indem sie erklärt, sie hätten sich als «schwer durchsetzbar» erwiesen. Die von ihr vorgeschlagenen Benzinsteuern bzw. Einfuhrabgaben für Kraftfahrzeuge sind von den täglichen Entscheidungen der Kraftfahrzeugbenutzer so weit entfernt, dass sie sich auf die Verkehrstaus in den Städten kaum auswirken würden.

— Der gesamte öffentliche Verkehr wird als rein kommerzielle Tätigkeit betrachtet, und der finanzielle Erfolg ist das höchste Ziel. Autobus- und Bahnsysteme werden wiederholt als «rentabel» bzw. «nicht rentabel» bezeichnet, je nachdem, ob sie kostendeckend arbeiten oder nicht. Die Tatsache, dass viele Städte im Interesse der Mobilität ihrer einkommensschwachen Bevölkerung eine Politik der niedrigen Fahrpreise verfolgen, wird als Geldverschwendung bezeichnet. Die Subventionierung der öffentlichen Verkehrsbetriebe ist selbst in Entwicklungsländern weit verbreitet und ist in erster Linie durch die umfangreichen direkten und indirekten Subventionen gerechtfertigt, die das Kraftfahrzeug erhält. Es gibt aber sicherlich noch weitere überzeugende Gründe für die Niedrigfahrpreispolitik in den Entwicklungsländern, in denen die Mobilität der städtischen Bevölkerung für die Arbeitsplatzsicherung und das Überleben der Masse der Einwohner wesentlich ist.

— Die erfolgreichen, modernisierten Busbetriebe und Busspuren in São Paulo, Porto Alegre und verschiedenen anderen Städten werden richtig dargestellt. Die Betonung der privaten Busse (die schwer zu kontrollieren sind) sowie die Behauptungen, dass Busse mit bestimmten Vorfahrtberechtigungen und gesonderten Fahrbahnen die Bedürfnisse aller —

periences around the world. Transit in Bogota, Colombo and most other cities lauded by the World Bank is evaluated by their users and most professionals as extremely poor, unreliable and chaotic: operator's profits can never be the only criterion for evaluation of transit services.

— In their definitions of modes the two quoted publications include judgment statements always negative for all rail modes. Thus, light rail is «not flexible» because some passengers must transfer to feeder buses; when buses have transfers to separate trunk line from its feeders (as described for Porto Alegre), it is pointed out that this leads to savings, less congestion and 20% higher speed. Thus, the same characteristic is «inflexibility» for one mode, «efficiency» for the other!

— Metro systems are described as extremely complicated and so expensive that they are «well beyond the means of most cities». The vital role of metros in Mexico, Buenos Aires and São Paulo, the decision to build a metro in Singapore and increasing construction of economical LRT systems are not mentioned; even the world-renowned Hong Kong metro is hardly mentioned in the description of transit in that city; the LRT line under construction in that city is also omitted.

If the deceptive reports and arguments against major investments in transportation infrastructure (urban freeways and rail systems) were applied to housing, the advice would be to stay with shacks, because apartment buildings are «too expensive».

There is no doubt that developing countries must do extremely careful planning to find the best uses for their limited resources. In all cases better utilization of existing roads

satisfaire les besoins de tous, même des villes les plus grandes, sont contraires aux faits et expériences relevés de par le monde. Les transports publics de Bogota, Colombo et de la plupart des autres villes glorifiées par la Banque Mondiale, sont évalués très mauvais, non fiables et irréguliers par leurs usagers et beaucoup de professionnels: les profits de l'exploitant ne peuvent jamais constituer le seul critère d'évaluation des services de transport public.

— Parmi leurs définitions des modes de transport, les deux publications citées incluent des avis toujours négatifs contre tous les modes de transport ferroviaires à courte distance. Ainsi, le système de métro léger «n'est pas flexible» parce que certains passagers doivent se transférer aux autobus de rabattement; lorsque les réseaux d'autobus prévoient, à partir de leur service de rabattement, des correspondances à des lignes principales séparées (comme cela est décrit pour Porto Alegre), il est souligné que cela entraîne des économies, moins d'encombrement et une augmentation de 20% de la vitesse. Ainsi, la même caractéristique est appelée «inflexibilité» pour un mode et «efficacité» pour l'autre!

— Les réseaux de métro sont décrits comme étant extrêmement complexes et tellement chers qu'il se situe «bien au-dessus des moyens de la plupart des villes». Le rôle vital des métros de Mexico, Buenos Aires et São Paulo, la décision de construire un métro à Singapour, et la construction sans cesse croissante de réseaux de métro léger économiques ne sont pas mentionnés; et c'est à peine si le métro mondialement célèbre de Hong Kong est mentionné dans la description des transports publics de cette ville; la ligne de métro léger en construction dans cette ville est également oublié.

Si ces arguments et ces rapports inexacts contre des investissements majeurs dans l'infrastructure des transports (autoroutes urbaines et réseaux ferroviaires à courte distance) étaient appliqués au logement, ce conseil reviendrait à encourager le logement dans les cabanes parce que les immeubles sont «trop chers».

Il ne fait aucun doute que les pays en voie de développement doivent procéder à une planification extrêmement soignée de leurs réseaux pour trouver les meilleures utilisations possi-

selbst der grössten — Städte decken können, widersprechen jedoch den Tatsachen und Erfahrungen überall auf der Welt. Der öffentliche Verkehr in Bogota, Colombo und den meisten anderen von der Weltbank gelobten Städten wird von seinen Benutzern und den meisten Fachleuten als ausserordentlich schlecht, unzuverlässig und chaotisch bezeichnet: der Gewinn des Betreibers kann niemals das einzige Kriterium für die Bewertung eines öffentlichen Verkehrs sein.

— Bei ihren Definitionen der Verkehrsarten enthalten die beiden genannten Veröffentlichungen Urteile, die für den schienengebundenen Verkehr stets negativ ausfallen. Die Stadtbahnen sind demnach «nicht flexibel», weil bestimmte Fahrgäste in Zubringerbusse umsteigen müssen; in den Fällen, in denen Busse Umsteigemöglichkeiten zu Fernlinien bieten, die von den Zubringern getrennt sind (wie dies für Porto Alegre dargestellt wird), wird erklärt, dass dies zu Einsparungen, weniger Staus und einer um 20% erhöhten Geschwindigkeit führt. Das gleiche Merkmal hat somit im ersten Fall «mangelnde Flexibilität» und im zweiten Fall eine Leistungssteigerung zur Folge!

— Metrosysteme werden als ausserordentlich kompliziert und als so teuer beschrieben, dass sie «über die Möglichkeiten der meisten Städte weit hinausgehen». Die unentbehrliche Funktion der Metros in Mexico, Buenos Aires und São Paulo, die Entscheidung eine Metro in Singapur zu bauen und der zunehmende Bau wirtschaftlich arbeitender Stadtbahnsysteme werden nicht erwähnt; selbst die weltberühmte Metro in Hong Kong wird bei der Beschreibung des öffentlichen Verkehrswesens in dieser Stadt kaum genannt; die in Hong Kong im Bau befindliche grosse Stadtbahnlinie wird ebenfalls unterschlagen.

Würden diese irreführenden Berichte und Argumente gegen umfangreiche Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur (städtische schienengebundene Verkehrssysteme) auf den Wohnungsbau angewandt, so müsste der Rat lauten: Bleibt in euren Hütten, Wohnblocks sind zu teuer für euch.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass Entwicklungsländer ausserordentlich sorgfältig planen müssen, um für ihre begrenzten Mittel den besten Verwendungszweck zu finden. In allen Fällen

should be given primary attention. Bus improvements are badly needed and in many cases can satisfy all transit needs. But there is no physical way that large cities, such as Cairo, Mexico and Seoul, could ever have efficient public transport without construction of separated ways for it (an excellent review of the efforts large cities are making to solve their transportation problems is given in [11]). Except for short or lightly travelled rights-of-way, rail systems have such distinct advantages over buses in capacity, speed, safety, economy and other features, that once transit separation is secured, LRT or metro is the logical choice of mode. And on major lines where rail lines are constructed there is no need for «flexibility»; to the contrary, *permanence* and *reliability* are needed. They give better service and economy than «flexible» systems.

The sooner the growing cities in developing countries begin planning transit systems independent of street congestion, the cheaper it will be for them to find lower-cost rights-of-way. Contrary to the critics' claims, rail systems can often be built for moderate investments and have simple, efficient operation. The

bles de leurs ressources limitées. En tous les cas, ils devraient accorder une attention préférentielle à une meilleure utilisation des routes existantes. L'amélioration des autobus est extrêmement nécessaire et, dans de nombreux cas, elle peut satisfaire tous les besoins de transport public. Mais il n'existe aucun moyen physique par lequel de grandes villes telles que Le Caire, Mexico et Séoul, puissent un jour avoir des transports publics efficaces sans la construction de voies séparées à cet effet (un excellent examen des efforts que les grandes villes font pour résoudre leurs problèmes de transport est donné en [11]). Les voies séparées peu ou légèrement fréquentées mises à part, les réseaux ferroviaires à courte distance offrent des avantages tellement distincts de ceux des autobus, en matière de capacité, de vitesse, de sécurité, d'économie et pour d'autres particularités, qu'une fois que la séparation des transports publics est assurée, le métro léger ou le métro représentent le choix logique. Et sur les lignes principales où des lignes ferroviaires sont construites, la «flexibilité» n'a pas d'importance; par contre, un certain degré de *permanence* et de *fiabilité* est requis. Il permet un meilleur service et une meilleure économie que les réseaux «flexibles».

Plus tôt les grandes villes des pays en voie de développement commenceront à planifier des réseaux de transport public indépendants des encombrements des rues, moins cher cela leur reviendra de réaliser des voies séparées moins coûteuses. Contrairement aux affirmations des critiques, les réseaux ferroviaires peu-

sollte die bessere Nutzung der vorhandenen Strassen im Vordergrund stehen. Verbesserungen des Busverkehrs sind dringend erforderlich und können in vielen Fällen den gesamten öffentlichen Verkehrsbedarf decken. Es gibt jedoch keine praktikable Lösung für die Verkehrsprobleme von grossen Städten wie Kairo, Mexico und Seoul ohne ein öffentliches Verkehrssystem mit gesonderter Trasse (eine ausgezeichnete Darstellung der Anstrengungen der grossen Städte zur Lösung ihrer Verkehrsprobleme wird in [11] gegeben). Ausser im Falle von kurzen oder nicht stark benutzten Sonderfahrbahnen weisen schienengebundene Systeme gegenüber Bussen in Bezug auf Kapazität, Geschwindigkeit, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und andere Merkmale so eindeutige Vorteile auf, dass bei dem Beschluss über die Einführung eines öffentlichen Verkehrssystems die Entscheidung logischerweise zugunsten der Stadtbahn oder der Metro ausfallen muss. Auf den Hauptstrecken, auf denen ein schienengebundener Verkehr eingerichtet wird, ist «Flexibilität» nicht gefragt: im Gegenteil lautet die Forderung auf *Permanenz* und *Zuverlässigkeit*. Das Leistungsangebot und die Wirtschaftlichkeit sind dann höher als bei «flexiblen» Systemen.

Je früher die wachsenden Städte in den Entwicklungsländern mit der Planung vom unabhängigen Strassenverkehr öffentlicher Verkehrssysteme beginnen, desto billiger werden sie kostengünstige Trassen finden. Im Gegensatz zu den Behauptungen der Kritiker können schienengebundene Systeme häufig mit mässigen Investi-



Fig. 12: Lindenwold Line in Philadelphia relies extensively on park-and-ride access and covers over 80% of its operating costs.

Fig. 12: La ligne Lindenwold à Philadelphie dépend fortement de son accès «park-and-ride» et couvre plus de 80% de ses coûts d'exploitation.

Bild 12: Die Lindenwold-Linie in Philadelphia benutzt meistens Pkw als Zubringer (Park-and-Ride); sie deckt über 80% ihrer Betriebskosten.

economically-designed Lindenwold metro line in Philadelphia (Fig. 12) and San Diego LRT have higher operating ratios than most bus transit systems in the United States.

## 7. Conclusions

Metro systems have undergone numerous innovations in recent years. As a result, there is today a great diversity in sizes, technology and amenities of rail systems. Conventional high-capacity rail systems have «grown» into even larger ones in some cities, but also into smaller, medium-capacity rail and rubber-tired systems in others. There is now virtually a «continuum» in rail transit modes from LRT via metro to regional rail systems. This modernization is likely to continue into the next century. In Western countries ATO will probably be the most significant innovation, making metros considerably more attractive to passengers through increased service frequencies and shorter station spacings along lines. Cities in developing countries, on the other hand, are likely to utilize primarily the large capacity and economy of non-automated, simple rail transit technology.

Urban congestion has made separation of transit in large cities imperative, while competition of the automobile necessitates improved service quality. Metro is often the logical mode to meet these requirements. Therefore the growing trend in the number of cities with metros is likely to continue.

The increasing problems of high investment costs of metros will force a greater diversity in funding sources, such as various types of dedicated taxes, benefit-sharing and other contributions. But the bulk of funds will continue to be provided from governmental sources, the

vent souvent être construits pour des investissements modérés et avoir un exploitation simple et efficace. La ligne de métro Lindenwold de Philadelphie conçue économiquement (Fig. 12) et le métro léger de San Diego ont des rapports d'exploitation plus élevés que la plupart des réseaux de transport public des Etats-Unis.

## 7. Conclusions

Les réseaux de métro ont connu de nombreuses innovations durant ces dernières années. Par conséquent, il y a actuellement une grande diversité dans la taille, la technologie et les avantages des réseaux ferroviaires. Les réseaux ferroviaires conventionnels à grande capacité se sont «développés» en des réseaux encore plus grands dans certaines villes, mais également en des réseaux ferroviaires et sur pneumatiques plus petits et à capacité moyenne dans d'autres villes. Actuellement, il existe virtuellement un «continuum» dans les modes de transports publics ferroviaires depuis le métro léger en passant par le métro, jusqu'aux réseaux de chemin de fer régionaux. Il est probable que cette modernisation se poursuive jusqu'au siècle prochain. Dans les pays occidentaux, l'ATO constituera probablement l'innovation la plus importante; elle rendra les métros beaucoup plus attrayants aux passagers grâce à une fréquence de service accrue et à un espacement des stations plus court sur les lignes. D'un autre côté, il est probable que les villes des pays en voie de développement privilégieront la grande capacité et l'économie de la technologie simple et non-automatique des réseaux express régionaux.

L'encombrement urbain a rendu indispensable la séparation des transports publics dans les grandes villes, tandis que la concurrence de l'automobile nécessite une amélioration de la qualité du service. Le métro constitue souvent la solution logique pour répondre à ces exigences. Par conséquent, la tendance à l'augmentation du nombre de villes qui possèdent un métro, continuera sans doute.

Les problèmes croissants suscités par les coûts d'investissement élevés des métros impliqueront une plus grande diversité dans les sources de financement, telles que divers types de taxes particulières, le partage des bénéfices et bien d'autres contributions. Mais la majeure partie des fonds

tionen gebaut werden und bieten einen einfachen, leistungsfähigen Betrieb. Die wirtschaftlich konzipierte «Lindenwold»-Metrostrecke in Philadelphia (Bild 12) und die Stadtbahn in San Diego haben einen besseren Kostendeckungsgrad als die meisten mit Bussen arbeitenden öffentlichen Verkehrssysteme in den Vereinigten Staaten.

## 7. Schlussfolgerungen

Die Metrosysteme sind in den letzten Jahren Gegenstand zahlreicher Innovationen gewesen. Es herrscht daher heute eine grosse Vielfalt an Grössen, Technologien und Leistungsangeboten. In manchen Städten sind die konventionellen Hochleistungs-Schienensysteme zu noch grösseren Systemen «gewachsen», in anderen dagegen sind sie zu kleineren, schienengebundenen und gummiereiften Systemen mittlerer Kapazität geschrumpft. Es gibt heute praktisch ein «Kontinuum» des schienengebundenen Verkehrs von der Stadtbahn über die Metro bis zu regionalen Eisenbahnsystemen. Diese Modernisierung wird sich mit grosser Wahrscheinlichkeit in das nächste Jahrhundert hinein fortsetzen. In den Ländern des Westens wird der vollautomatische Zugbetrieb wahrscheinlich die bedeutendste Innovation darstellen und die Metro für die Fahrgäste durch kürzere Zugfolgezeiten und kürzere Abstände zwischen den Haltepunkten attraktiver gestalten. Die Städte in den Entwicklungsländern werden demgegenüber eher die grosse Kapazität und bessere Wirtschaftlichkeit nichtautomatisierter, einfacher Schienensysteme nutzen wollen.

Die Verkehrsstaus in den Städten haben die Abtrennung der öffentlichen Verkehrsmittel zumindest in den Grossstädten zwingend werden lassen, während der Wettbewerb des Kraftfahrzeugs zugleich eine bessere Betriebsqualität erfordert. Die Metro ist häufig die logische Antwort auf diese Herausforderungen. Der wachsende Trend der Städte zugunsten des Baus von Metros wird sich daher wahrscheinlich fortsetzen.

Die steigenden Probleme bei der Aufbringung der hohen Investitionskosten für Metros werden zu einer grösseren Diversifizierung der Finanzierungsquellen zwingen; hierzu gehören zweckgebundene Steuern, Beteiligungen am Nutzen und andere Lösungen. Die Masse der Mittel wird

dominant funding method throughout the history of metros. The need for more metro services under financial constraints will increase the use of functional designs and lower-cost versions of metros, such as LRT, medium-capacity systems and metros on aerial structures instead of tunnels wherever local conditions permit.

continuera à provenir de sources gouvernementales, qui constituent la méthode de financement dominante tout au long de l'histoire des métros. Le besoin d'un nombre plus important de services de métro sous contraintes financières augmentera le recours à des conceptions fonctionnelles et à des versions de métro moins chères, telle que le métro léger, ainsi qu'à des réseaux de capacité moyenne et à des métros aériens pour remplacer les tunnels partout où les conditions locales le permettent.

jedoch auch weiterhin aus öffentlichen Quellen kommen — der traditionellen Finanzierungsmethode in der gesamten Lebensgeschichte der Metros. Der Bedarf an mehr Metrosystemen bei gleichzeitiger Berücksichtigung der finanziellen Zwänge wird zu einer gesteigerten Verwendung funktioneller und kostensparender Lösungen führen, wie Stadtbahnen, Systeme mittlerer Kapazität und Metros auf Hochbahnstrecken, anstelle der unterirdischen Verkehrsführung, soweit die örtlichen Verhältnisse dies zulassen.

## References - Bibliographie - Literaturverzeichnis

- [1] Vuchic, Vukan R., *Urban Public Transportation Systems and Technology*; Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1981.
- [2] Pushkarev, B., J. Zupan and R. Cumella, *Urban Rail in America*; Indiana University Press, Bloomington, IN, 1982.
- [3] Rogers, Lee, *UITP Handbook of Urban Transport*; UITP, Brussels, 1985.
- [4] Jackson, Chris, «Metro planners steer different courses»; *Railway Gazette International*, February 1986, pp. 102-103.
- [5] Ridley, Tony M., «Metros in 21st Century cities»; *Railway Gazette International*, July 1985, pp. 503-506.
- [6] Vuchic, Vukan R., «Rapid transit automation and the last crew member»; *Railway Gazette International*, October 1973, pp. 383-385.
- [7] Faucheux, P., Kiepper, A. and Ridley, T., «Perspectives of evolution and development of metropolitan railways and their influence on urban life in the year 2000»; *Report 3*, 46th UITP Congress, Brussels, 1985.
- [8] Vuchic, Vukan R., «The auto vs. transit controversy: Toward a rational synthesis for urban transportation policy»; *Transportation Research - A*, Volume 18A, No. 2, 1984, pp. 125-133.
- [9] *Urban Transport*; A World Bank policy study, ISSN 0258-2120, 1986.
- [10] Armstrong-Wright, Alan, *Urban Transit Systems*; World Bank Technical Paper number 52, 1986.
- [11] Thompson, Michael J., *Great Cities and Their Traffic*; Penguin Books, Ltd., 1978.