

✓ vst. a

## Technische und wirtschaftliche Möglichkeiten neuer Nahverkehrssysteme - Der Westinghouse Transit Expressway als Beispiel

VON DR. PETER TONN, DARMSTADT

### I. Einleitung

Wie jede entwickelte Volkswirtschaft haben auch die USA ihre Nahverkehrskrise. Dort ist sie gewissermaßen in einem fortgeschrittenen Stadium zu beobachten, d. h. innerhalb eines Verkehrssystems, das sich deutlich autogerechter entwickelte als die europäischen Verkehrssysteme. Nachdem in USA wesentlich mehr Vorleistungen erbracht wurden, um ein auf dem privaten Automobil basierendes System funktionsfähig zu machen, zeigt sich, daß sowohl die Funktion an sich zu wünschen übrig läßt, als auch die Nebeneffekte so unangenehm sind, daß eine unmodifizierte Weiterentwicklung in dieser Richtung wenig zweckmäßig scheint.

So werden Anstrengungen gemacht, wenigstens einige der Nebenwirkungen, insbesondere Umwelteinflüsse und Unsicherheitsfaktoren, zu verringern. Das hebt jedoch noch nicht wieder die Funktionsfähigkeit in den Stadtgebieten auf ein annehmbares Niveau. Daher sind zum anderen seit etwa einer Dekade Bemühungen zu beobachten, das Nahverkehrskonzept zu überprüfen. Insbesondere sind hier die Versuchsreihen (demonstration programs) des *Department of Housing and Urban Development* zu nennen, die später vom *Department of Transportation* übernommen wurden<sup>1)</sup>. Diese Untersuchungen verfolgten den Zweck, mögliche Nahverkehrskonzepte in der Praxis zu erproben. Daneben lief eine Reihe theoretischer Studien über neue Verkehrskonzepte, deren bekannteste wohl der vom *Stanford Research Institute* erarbeitete Vorschlag zur Gliederung der Verkehrsstruktur ist<sup>2)</sup>.

In der gleichen Zeit gab es eine große Anzahl technischer Neuentwicklungen, die darauf abzielen, Effizienz, Attraktivität und Wirtschaftlichkeit von Verkehrssystemen zu verbessern bzw. neue Systeme mit diesen Eigenschaften anzubieten.

Wenige dieser Ideen sind durchentwickelt, was die Tatsache andeuten mag, daß bei einer Übersichtsuntersuchung der *Johns Hopkins Universität*<sup>3)</sup> von 100 ins Auge gefaßten Ideen schließlich nur 10 genau überprüft wurden — die 10, von denen wenigstens eine Systembeschreibung vorlag, die eine Bewertung ermöglichte. Bei diesen Ideen läßt sich

- 1) Eine Auflistung findet sich in: *U. S. Department of Transportation, Urban Mass Transportation Administration* (Hrsg.), *Directory of Research, Development and Demonstration Projects*, Washington, D. C. o. J. (jährlich kumulativ publiziert).
- 2) *Stanford Research Institute, Future Urban Transportation Systems, Final Report*, Menlo Park, Calif. March 1968.
- 3) *Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, Transportation Programs Report, Technical Evaluation of Advanced Urban Transportation Systems, Summary Report*, Silver Springs, Maryland, June 1970.

als wesentliche gemeinsame Eigenschaft hervorheben, daß eine gute Grundidee zur Lösung eines ganz bestimmten Problems durch eine Anzahl neuer Probleme mehr oder weniger kompensiert wird, die sich aus den gestellten Ansprüchen ergeben.

Von den 6 Nahverkehrssystemen dieser Untersuchung<sup>4)</sup> ist das der *Westinghouse Electric Corporation* zur Baureife entwickelt: Der »Transit Expressway« oder »Skybus« wurde in der sogenannten *South Park*-Versuchsanlage in Pittsburgh längere Zeit getestet<sup>5)</sup>. Aufgrund der Ergebnisse gelang es, die Errichtung einer 23 km langen Strecke von Pittsburgh in die »South Hills« Vororte durchzusetzen<sup>6)</sup>. Neuerdings ist jedoch die politische Kontroverse um die Errichtung dieser Transit Expressway-Linie erneut entbrannt, so daß nicht vorhergesagt werden kann, ob die Linie gebaut werden wird<sup>7)</sup>.

Nachdem nun der Transit Expressway als Alternative bei Nahverkehrsneueinvestitionen ernsthaft zu erwägen ist, sollen hier seine technischen und ökonomischen Eigenschaften erörtert werden. Dabei interessiert, welche Nahverkehrsmittel er ersetzen könnte, bzw. welche bestehenden Lücken er ausfüllen würde. Auch wenn hier nur ein System behandelt wird, so sind die angesprochenen technischen und wirtschaftlichen Probleme doch prinzipieller Natur, so daß die hier gegebenen Fragestellungen und Hinweise zur Beantwortung mit den nötigen geringen Modifikationen auf andere, ähnliche Systeme übertragbar sind, sobald Unterlagen über diese verfügbar werden.

### II. Systembeschreibung<sup>8)</sup>

Der Skybus ist ein elektrisch getriebenes Passagierfahrzeug für den Massenverkehr; er ist an einen separaten Fahrweg gebunden und wird in seiner Originalkonzeption von außerhalb des Fahrzeugs durch einen zentralen Computer gesteuert, ohne daß eine Eingriffsmöglichkeit von innerhalb des Fahrzeugs gegeben wäre. Von der Systemidee ist er also unter die schienengebundenen Massenverkehrsmittel einzuordnen — die Namen »Skybus« oder »Transit Expressway« sind hier irreführend.

Die systemtypische Komponente des Skybus ist die Rad-Schiene-Konstruktion. Das verhältnismäßig kurze (9 m) Fahrzeug läuft auf zwei zwillingsbereiften Einzel-Lenkachsen. Als tragende Schiene fungieren zwei Betonstreifen; die Radführung wird ersetzt durch horizontal angeordnete Luftreifen, die gegen einen in der Mitte angeordneten I-Träger gepreßt werden und sowohl die Seitenführung als auch die Lenkfunktion für die Achsen übernehmen. Die Führungsräder — 2 Paar pro Achse — sind mit der Achse in einem gemeinsamen Hilfsrahmen angeordnet, der auch Bremsen und Elektromotor trägt, und der seinerseits über Federn, Lenker, Stoßdämpfer mit dem Fahrzeugkörper verbunden ist. Dabei werden viele Teile verwendet, die aus dem Automobilbau stammen.

Die restlichen Komponenten — Fahrzeugkörper, Klimatisierung, Kontrollsystem — sind

- 4) Alden Self Transit System; Dashaveyor Transportation System; Monocab Transit System; Transivator System; Transtech System; Vehicle Distribution System (Variante des Transit Expressway).
- 5) *MPS Corporation, Report on Testing and Evaluation of the Transit Expressway*, Feb. 20, 1967, Pittsburgh, Pa., im folgenden zitiert als *South Park*-Bericht.
- 6) *Port Authority of Allegheny County, South Hills Transit Expressway Revenue Line, Preliminary Engineering Report*, 2 Vols, Jan. 1970, Pittsburgh, Pa., im folgenden zitiert als *South Hills*-Gutachten.
- 7) Es bestand die Alternative, entweder das vorhandene konventionelle Nahverkehrssystem Pittsburghs auszubauen, oder aber eine vorerst einzelne Linie des neuen Systems zu errichten. Über die Problematik der ersten Entscheidung berichtet: *One Problem, Two Solutions*, in: *Headlights*, 31/1969, No 9/10 (Sept./Oct.), S. 2 ff. Neuerlich ist eine Klage gegen das Pittsburgher *Early Action Program*, das auch die Transit Expressway-Linie enthält, eingebracht worden, vgl. *Modern Railroads*, April 1972, S. 79.
- 8) Die technische Beschreibung folgt im allgemeinen dem *South-Park*-Bericht.

nicht systemtypisch, sondern wären durch andere Konstruktionen ersetzbar, ohne den Charakter des Skybus grundlegend zu verändern. Nur die Kombination des automatischen Kontrollsystems mit der Rad-Technologie hat einige Konsequenzen, die unten erläutert werden.

Es erscheint zweckmäßig, dieses Konzept an dem eingeführten System zu messen, d. h. an der Stahlrad-Stahlschiene-Konstruktion. Sicher wäre ein Vergleich mit anderen gummiereiften Schienenfahrzeugen interessant. Von diesen sind einige bis zur Betriebsreife entwickelt worden und haben in Nahverkehrseinrichtungen Eingang gefunden (so z. B. Pariser Metro, Montrealer Untergrundbahn oder Tokyoter Alwegbahn); da jedoch keinem ein Wiederholungserfolg beschieden war, liefe der Vergleich allenfalls auf die Frage hinaus, was beim Skybus besser sei. Daran hätte sich dann der Vergleich mit dem Stahl-Stahl-System anzuschließen. Das gleiche gilt für den Vergleich mit hängenden »Ein«-schienenbahnen<sup>9)</sup>, die zusätzlich das Problem der Fahrzeugschaukelbewegungen haben. Die Auswirkung dieses prinzipbedingten Schaukelns sind entweder eine niedrige Geschwindigkeit (Wuppertal) oder Aufhängungen, die der des Skybus an Kompliziertheit um nichts nachstehen (Safege und andere).

Als andere Alternative bestehen die Entwicklungen auf dem Gebiet der Luftkissen- und Magnetkissenschienenfahrzeuge. Jedoch scheint deren Hauptanwendungsbereich im Fernverkehr mit hohen Geschwindigkeiten zu liegen. Die niedrigen Geschwindigkeiten des Nahverkehrs können auch ohne den Energieverbrauch für das Magnet- oder Luftkissen (von der Lärmentwicklung des letzteren ganz zu schweigen) mit Radfahrzeugen beherrscht werden.

### III. Technische Eigenschaften

#### 1. Schwingungen und Geräusch

Sowohl das konventionelle als auch das Skybus-System können in einem weiten Bereich mechanisch schwingen. Dabei ist ein ausgesprochen niederfrequenter Bereich (Stoß- und Schaukelbewegungen), der durch die äußere Gestaltung des Systems bestimmt wird, von den höherfrequenten Bereichen (Vibrationen und Geräusch), die hauptsächlich durch Unwuchten, Oberflächenrauigkeiten und andere Makro- und Mikrounregelmäßigkeiten beeinflusst sind, zu unterscheiden.

Die Hauptquelle für niederfrequente Schwingungen ist die Berührungsfläche Rad-Schiene. Beim konventionellen System haben die starr verbundenen Räder kegelförmige<sup>10)</sup> Laufflächen. Ausweichen aus der Mittellage führt aufgrund der sich unsymmetrisch ändernden Raddurchmesser zu einer Rücklenkbewegung der Achse. Damit ist ein Schwingensystem gegeben. Die Dämpfung hängt von der geometrischen Gestaltung der Berührungsflächen und von der Verbindung Achse-Fahrzeug sowie den Massenverhältnissen ab. Für den Geschwindigkeitsbereich des Nahverkehrs kann dieses Schwingungsproblem als beherrschbar betrachtet werden.

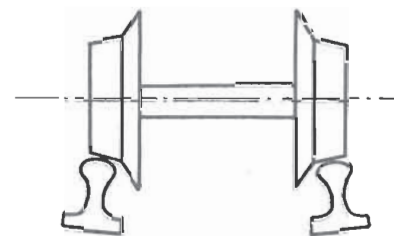
Die Skizze des Transit Expressway (Abbildung 2) zeigt, daß die horizontale Führung von vier Luftreifen übernommen wird. Ausweichen aus der Mittellage führt zu unsym-

<sup>9)</sup> »Ein«-Schienen deswegen, weil diese Konstruktionen, wie auch die Alwegbahn, drei oder mehr Laufstreifen heranziehen müssen, um die Schaukelbewegungen des Fahrzeugs unter Kontrolle zu bekommen. Lediglich das äußerliche Bild vermittelt den Eindruck einer einzigen Schiene großen Querschnitts.

<sup>10)</sup> Im Prinzip. Daß der Querschnitt nicht als gradliniger Kegel gestaltet wird, dient dazu, das angesprochene Schwingungsproblem zu kontrollieren.

#### Konventionelle Rad-Schiene-Führung

Abbildung 1:



metrischer Veränderung der Anpresskraft (über die Veränderung der Reifenaufstandsflächen), die die Achse in die Mittellage zurückführt, so daß auch hier ein Schwingensystem vorliegt. Seine Eigenschaften sind bestimmt durch die Federungseigenschaften der Führungsreifen, die Seitenfederung der Laufreifen (deren Aufstandsfläche als Reibungsdämpfer wirkt), die Verbindung zum Fahrzeug und die großen ungefederten Massen: Achse, Antrieb und Hilfsrahmen sind starr mit den Rädern verbunden. Frühe Berichte über die *South Park*-Anlage<sup>11)</sup> weisen darauf hin, daß die Seitenführung des Fahrzeugs schlecht war. Verbesserungen wurden erreicht über eine weichere Federung und weichere Dämpfung des Wagenkörpers gegenüber dem Fahrgestell<sup>12)</sup>. Damit wurden offenbar die horizontalen Schwingungen im Geschwindigkeitsbereich bis 80 km/h auf ein angenehmes Maß reduziert, wobei als stillschweigende Voraussetzung anzunehmen ist, daß der Fahrweg, insbesondere die Ausrichtung der Führungsschiene, eine gewisse Mindestqualität hat. Daten hierüber sind nicht zu finden<sup>13)</sup>. Bemerkenswert ist jedoch, daß die Entwicklung bisher nicht über 80 km/h hinaus weitergeführt wurde<sup>14)</sup>. Eventuell wäre dann eine Änderung des Konzepts durch eine merkliche Reduzierung der ungefederten Massen nötig.

Das alles bezieht sich auf horizontale Schwingungen. Vertikale Schwingungen und Stöße scheinen keine Probleme aufzuwerfen, da der sonst sehr ausführliche *South Park*-Bericht hierauf nicht eingeht. Auch kleine Unebenheiten der Beton-Lauffläche, wie sie sich durch Abnutzung ergeben, scheinen keinen wesentlichen Einfluß zu haben<sup>15)</sup>. Wie weit eine ungleichmäßig zusammengepreßte Schneedecke und der Eishöcker, der sich am Ende einer beheizten Strecke ausbildet, den Fahrkomfort beeinflussen, wird nicht erörtert. Jedoch sollte man im Auge behalten, daß die ungefederten Massen größer sind als bei einem Bus – der für diese Frage direkt vergleichbar ist –, so daß bei gleicher Fahrbahnqualität kein besserer Fahrkomfort zu erwarten ist.

<sup>11)</sup> Chilton, E. G., Future Urban Transportation Systems: Technological Assessments, Stanford Research Institute, Menlo Park, Cal., May 1967, S. 171.

<sup>12)</sup> *South Park*-Bericht, S. 96 ff.

<sup>13)</sup> Anzumerken ist hier, daß die Führungsschiene, im Gegensatz zur Stahltechnologie, von vorneherein gerade sein muß, da wegen ihres großen Querschnitts nachträgliches Ausrichten kaum möglich ist, vgl. dazu auch weiter unten.

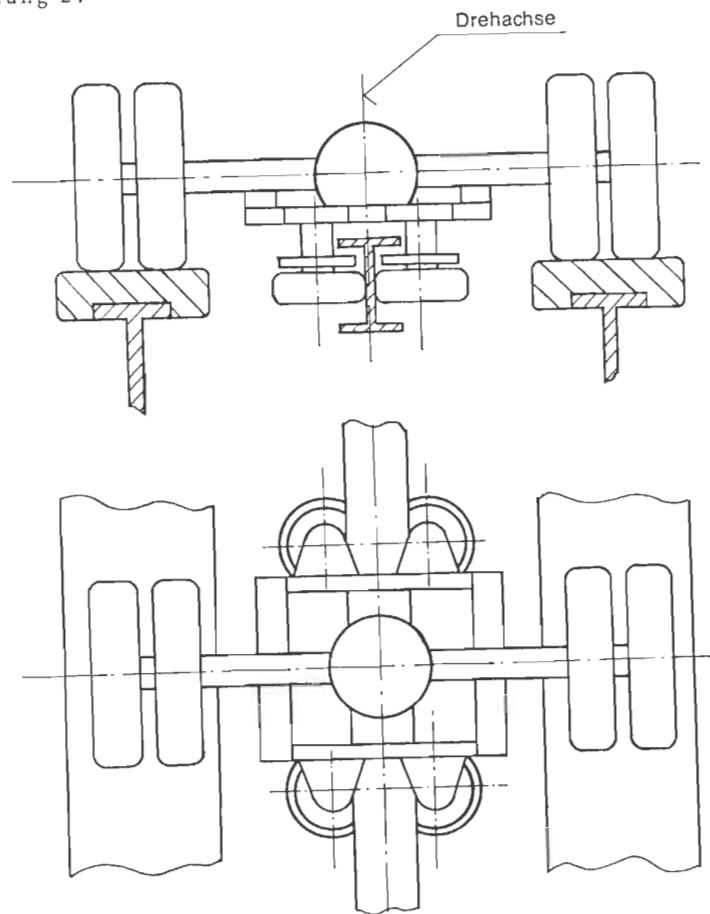
<sup>14)</sup> Sekundär wird berichtet, daß die *South Hills*-Linie bis zu 96 km/h erreichen soll: Klauer, L. T. and Associates, Performances and Cost Evaluations of Rapid Transit Alternatives for Southeastern Michigan, Dec. 31, 1970, S. 25. Für ihr Gutachten selbst nehmen Klauer and Ass. dennoch ein (modifiziertes) System mit 80 km/h Höchstgeschwindigkeit an.

<sup>15)</sup> *South Park*-Bericht, S. 56.



## Führungssystem des Westinghouse Transit Expressway

Abbildung 2:



Anmerkung: Diese Skizze wurde nach der Zeichnung auf S. 82 des *South Park*-Berichtes angefertigt. Alle Teile der Aufhängung, des Antriebs und der Bremsen sind weggelassen.

Geräusche bei Schienenfahrzeugen werden hauptsächlich von der Berührungsfäche Rad-Schiene und vom Antrieb erzeugt<sup>16)</sup>, das heißt von Quellen außerhalb des Wagenkörpers. Andere Geräuschquellen wie Lüftung, Windgeräusche usw. sind in ihrer Lautstärke wesentlich geringer und zudem nicht systemabhängig. Sie können hier vernachlässigt werden. Ebenso ist die Isolierung des Wagenkörpers nicht systemabhängig. Also müssen

<sup>16)</sup> Wilson, G. P., High Speed Rapid Transit System Noise and Vibration, Paper presented for Continuing Education in Engineering, University of California, Berkeley, special program »Atmospheric Noise Pollution and Measures for its Control«, June 17–21, 1968, S. 3.

nur die äußeren Geräuschquellen Rad-Schiene und Antrieb betrachtet werden, um auch Aussagen über den Innenlärm bzw. nötige Dämpfungsmaßnahmen machen zu können. Es existieren Geräuschmessungen der Versuchsausführungen sowohl des Transit Expressway als auch eines modernen Stahlschienensystems, der BART-Fahrzeuge<sup>17)</sup>. Die Messungen wurden mit der gleichen Ausrüstung auf Hochbahnstrecken der Versuchsanlagen des Skybus und der BART-Anlage vorgenommen. Meßentfernung war etwa 15 m (50 Fuß). Gemessen wurden ein einzelnes Fahrzeug bei BART, zwei Fahrzeuge (mit zusammen der gleichen Passagierkapazität) beim Skybus. Die Meßgeschwindigkeiten variierten zwischen 50 und 110 bzw. 50 und 80 km/h. Ein direkter Vergleich bei 80 km/h zeigt, daß der Skybus im Geräuschniveau etwa 2,5 dBA (82 bzw. 79,5 dBA) tiefer liegt, eine Differenz, die gerade noch wahrnehmbar ist. Rechnet man die Werte für den Skybus auf 110 km/h hoch, ergeben sich 3 dBA (87 bzw. 84 dBA).

Interessanter ist der Vergleich der Frequenzspektren (Oktavbandspektren). Diese sind nicht direkt vergleichbar, da die Werte für einen 8-Wagen-Zug beim BART-System (180 m Länge) und für einen 10-Wagen-Zug (maximale Wagenzahl; 90 m Länge) beim Skybus hochgerechnet wurden. Doch sollte der Fehler gering sein (weniger als 3 dB).

Das Frequenz-Spektrum zeigt ein Maximum von 89 dB gegenüber dem Bezugswert  $0,2 \cdot 10^{-3}$  Mikrobar bei 500 Hz für den BART-Zug mit Werten von 80 dB oder darunter bei 62,5 und über 2000 Hz. Demgegenüber hat der Skybus sein Maximum von 90 dB bei 62,5 Hz und liegt im Bereich von 500 bis 2000 Hz zwischen 85 und 81 dB, wobei zusätzlich bei 250 Hz ein lokales Minimum mit 83 dB liegt. Man kann also festhalten, daß unter Berücksichtigung der Empfindlichkeit des menschlichen Ohres der Skybus insofern »leiser« ist, als er sein Hauptgeräusch in niederfrequenten Bereichen erzeugt, wie es ja auch in der dBA-Messung zum Ausdruck kommt.

Zwei Anmerkungen seien noch gemacht. Erstens: Weitere Messungen *Wilson*s zeigen, daß die Anbringung einer einfachen Schalldämmmauer (25 cm Überlappung über den Wagenkörper, ca. 7,5 kg/qm) den Schallpegel bei 110 km/h von 87 auf 73 dBA beim BART-System, bzw. von 84 auf 74 dBA beim Skybus absenkt. Die geringere Wirksamkeit beim Skybus beruht auf dem Vorherrschen tiefer Frequenzen. Diese Unterschiede liegen eine Größenordnung über den systembedingten Unterschieden. Ferner liegt der Schalldruck des BART-Zuges nur im Bereich 500–2000 Hz um max. 2 dB über dem des kürzeren Skybus-Zuges. Die geringfügigen Lärmunterschiede zwischen den Systemen verschwinden also bei Anbringung einer Schalldämmwand praktisch ganz. Zweitens: Alle Messungen *Wilson*s wurden bei trockenem Wetter gemacht. Über nasses Wetter liegen keine Angaben vor. Jedoch legt die Geräuschentwicklung von Reifen auf nasser Straße die Vermutung nahe, daß der Skybus bei nassem Wetter recht laut werden könnte.

Ein anderer, potentieller Geräuschvorteil des Transit Expressway muß noch erwähnt werden: Wenn auch bei beiden Systemen Bodenerschütterungen an den Meßpunkten (15 m) bereits unter der Wahrnehmbarkeitsschwelle liegen, so sind sie doch vorhanden und können bei Betrieb im Tunnel in nahen Gebäuden ein »leises, rumpelndes Geräusch« erzeugen. Zwar ist dieses Geräusch durch verbesserte Wartung zu bekämpfen, dennoch erwartet *Wilson* aufgrund der Erfahrungen mit Straßentunnels hier weniger Schwierigkeiten beim Transit Expressway<sup>18)</sup>.

<sup>17)</sup> *Ebenda*; BART steht für das »Bay Area Rapid Transit System« in San Francisco und Umgebung.

<sup>18)</sup> *Ebenda*, S. 9.

## 2. Betriebs- und Sicherheitsfragen

Zwei Details lassen für den Skybus Besonderheiten erwarten: Die Reibpaarung Gummi-Beton mit ihren höheren Reibungskoeffizienten und die Seitenführung, die das Fahrzeug mit der Schiene formschlüssig verbindet.

Der höhere Reibbeiwert könnte dazu ausgenutzt werden, höhere Beschleunigungen und Verzögerungen zu erzielen. Das würde eine Verkürzung der Zugfolge und damit eine Erhöhung der Kapazität einer gegebenen Strecke ermöglichen, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen. Hinzu käme die Möglichkeit, stärkere Steigungen als mit dem Stahl-system zu überwinden. Zwei Faktoren verhindern jedoch die Nutzung dieser Möglichkeiten.

In Nahverkehrssystemen ist die Beschleunigung und Verzögerung aus Gründen des Komforts begrenzt. Die als zulässig betrachteten Werte liegen in der Größenordnung von  $5 \text{ km/h} \cdot \text{s}$  oder  $0,133 \text{ g}$ . Das beschränkt den Skybus für den Normalbetrieb auf Werte, die auch mit konventionellen Fahrzeugen erreichbar sind. Der Ausnutzung für Notbremsungen steht entgegen, daß das System automatisch, ohne Zugführer, arbeiten soll; eine nicht unbedeutende Komplizierung der Steuerung wäre nötig. Zum anderen weist die Paarung Gummi-Beton starke Änderungen des Reibungskoeffizienten mit Veränderung des Streckenzustandes auf (trocken gegen naß, beschneit, vereist). Diese Unterschiede in der Steuerung zu erfassen, würde ebenfalls zu einer wesentlichen Komplizierung führen, so daß die Beschränkung auf konventionelle Werte<sup>19)</sup> zweckmäßig erscheint, die weitgehend unter allen Bedingungen konstant gehalten werden können. Wie wichtig diese Konstanz ist, zeigt, daß für Brems- und Beschleunigungsstrecken beim Skybus elektrische Beheizung der Fahrstreifen vorgesehen ist. Deren Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit wird weiter unten behandelt.

Diese Variabilität der Reibung schließt eine Möglichkeit zu Einsparungen aus: Gummibereifte Systeme, die in Tunnels verlegt sind, können verhältnismäßig einfacher als Stahl-systeme beiwagen verwenden, ohne auf die Ausnutzung der Beschleunigungsgrenzen zu verzichten<sup>20)</sup>. Diese Möglichkeit entfällt für Systeme mit offenen Strecken natürlich, da hier wieder die Änderung der Beschleunigung mit dem Streckenzustand zu Schwierigkeiten im Kontrollsystem führen würde.

Nunmehr zu der formschlüssigen Verbindung zwischen Schiene und Fahrzeug:

Wie aus Abbildung 2 hervorgeht, sind die Führungsräder so seitlich zu einem I-Träger angeordnet, daß das Fahrzeug nicht von der Schiene abgehoben werden kann. Sollten die waagerechten Kräfte zu groß werden oder Kräfte senkrecht nach oben auftreten, übernehmen die über dem Luftreifen angeordneten Stahlscheiben die Führung. Damit werden sowohl Entgleisungen als auch Umkippen unmöglich. Zwar ist die Wahrscheinlichkeit einer Entgleisung heutzutage auch bei Stahl-systemen gering, aber die Möglichkeit ist gegeben. Gegen Entgleisungen kann man – und muß man bei Hochbahninstallationen – Vorkehrungen treffen, aber sie verteuern natürlich die Konstruktion. Umkippen

<sup>19)</sup> Die Versuchsanlage *South Park* war für etwa  $8 \text{ km/h} \cdot \text{sec}$ . leer und  $5 \text{ km/h} \cdot \text{sec}$ . voll belastet ausgelegt. Die *South Hills*-Linie in Pittsburgh soll mit  $4,2 \text{ km/h} \cdot \text{sec}$ . oder  $0,115 \text{ g}$  verzögern (*South Park*-Bericht, S. 101; *Klauder and Ass.*, a.a.O., S. 26).

<sup>20)</sup> So z. B. die Pariser Metro, vgl. *Sykes, W. J. A.*, A Note on Pneumatic-Tyred Trains for the R.A.T.P. Paris Metro System, in: The Institution of Mechanical Engineers, Proceedings 1966–67, Vol. 181, Part 3 G, Guided Land Transport, A Convention arranged by the Railway Engineering Group, 27th and 28th October 1966, S. 151.

kann durch überhöhte Kurvengeschwindigkeiten auftreten<sup>21)</sup>, und ist damit über das Kontrollsystem abzusichern.

Zusätzlich – und das sei hier nur zum Hinweis auf die Konsistenz der Konstruktion angemerkt – verringert dieses Führungssystem auch die Folgen eines Druckverlustes in einem Reifen: In diesem Falle übernimmt die Stahlscheibe die Führung, ohne daß es zu wesentlichen Schäden kommen müßte. Sollten hingegen beide Reifen eines der Zwillinglaufräder die Luft verlieren, ist ebenfalls durch die formschlüssige Verbindung gesichert, daß das Fahrzeug die Schienen nicht verläßt.

So weit so gut. Der Preis, den man jedoch für diese Vorteile zu zahlen hat, ist eine Weichenkonstruktion, die einer Eisenbahnweiche an Eleganz und Billigkeit um etliches nachsteht. Wie bei allen Systemen, die mit Führungselementen arbeiten, die die Schiene von außen umgreifen, kann man nicht Weichenzungen verwenden, die sich von innen an die durchgehenden Schienen legen, sondern muß eben diese Schienen selbst bewegen. Da sich der I-Träger nicht biegen läßt, ist man zu einer Konstruktion gelangt, bei der für die beiden Richtungen jeweils ein anderes Stück in Position gefahren wird – eins gerade, eins gebogen. Beide zusammen sitzen auf einer verschiebbaren Plattform, mit einem Gesamtgewicht der beweglichen Teile von etwa 2 Tonnen. Die Schaltzeit ist etwa 8 sec.; zusätzlich ist die Geschwindigkeit auf  $25 \text{ km/h}$  begrenzt<sup>22)</sup>.

Wie weit diese Weiche zusätzliche Sicherheitseinrichtungen gegen die Einfahrt in eine »offene« Seite erfordert, sei hier nicht erörtert, da moderne Systeme mit dichtem Verkehr eine derartige Sicherung sowieso haben sollten. Jedoch ist klar, daß mit dieser Weiche die Konkurrenzfähigkeit des Skybus für Systeme mit vermaschten Netzen sehr in Frage gestellt ist<sup>23)</sup>, wohingegen einfache Linien mit einer Kehrschleife am Ende und einem Abstellbahnhof nicht so sehr beeinträchtigt würden.

## IV. Bemerkungen zur Wirtschaftlichkeit

Die beste Methode, Aussagen über die Wirtschaftlichkeit zu machen, wäre, alle Kosten- und Ertragsbestandteile anzugeben und mit einem konventionellen System zu vergleichen. Das scheitert jedoch daran, daß diese Daten nicht verfügbar sind. Es stehen aber zwei Gutachten<sup>24)</sup> zur Verfügung, die die Kosten des Skybus für bestimmte Linien angeben, wobei das Gutachten für Detroit den Transit Expressway direkt mit einem konventionellen System vergleicht. Anhand dieser Gutachten ist es möglich, eine vorläufige Aussage zu machen.

Die Gutachten erörtern nicht die Ertragsaussichten. Muß die Ertragsseite explizit berücksichtigt werden? Der Ertrag eines Nahverkehrssystems ist eine Funktion der Transportleistung und der Tarifstruktur. Unter der Voraussetzung einer gegebenen Tarifstruktur

<sup>21)</sup> wenn man nicht an exotischere Gründe wie Windböen denken will, derentwegen beispielsweise das BART-System mit einer breiteren Spur als normal entwickelt wurde.

<sup>22)</sup> Vgl. *Klauder and Associates*, a.a.O., S. 51, und: Transit Expressway Switch now under Test at South Park, in: The Transit Research Foundation of Los Angeles, Inc. (Hrsg.), City and Suburban Travel, No. 10 X, März 1970, S. 8 f. Es ist nicht spezifiziert, ob die Geschwindigkeitsbegrenzung auch für gerade Durchfahrt gilt.

<sup>23)</sup> Z. B. bezog die Entscheidung, das BART-System in konventioneller Technik zu bauen, die Schwierigkeiten, die sich bei »Gummi«-Systemen, seien es Hänge- oder Standbahnen, mit den Weichen ergeben würden, als wesentlichen Punkt ein. Vgl. Standard Rails Get Area Approval, in: Railway Age, Nov. 4, 1963, S. 19 f., und *Wheatcroft, E. L. E., Woodhouse, L. C.*, Monorails, in: The Institution of Mechanical Engineers, Proceedings 1966–67, Vol. 181, Part 3 G . . . , a.a.O., S. 72 ff.

<sup>24)</sup> *South Hills*-Gutachten und *Klauder and Associates* (letzteres für das Gebiet Detroit und Umgebung).



bleibt die Frage, ob der Skybus in der Lage ist, durch seine neuartige Technologie ein höheres Passagieraufkommen zu erzielen als ein modernes Stahlsystem. Wie oben gezeigt, erfüllen beide Systeme in etwa die gleiche Transportfunktion, bei gleichem Komfort etc.<sup>25)</sup> Allenfalls hat der Skybus einen gewissen Nachteil durch seine geringere Geschwindigkeit<sup>26)</sup>. Man kann also für beide Systeme in etwa das gleiche Passagieraufkommen und damit in etwa gleiche Erträge annehmen<sup>27)</sup>, so daß sich der weitere Vergleich auf die Kostenseite beschränken kann.

Für den Kostenvergleich wird das Gutachten von *Klauder and Ass.* als Basis benutzt, das für ein genau spezifiziertes, umfangreiches Nahverkehrssystem direkt vergleichbare Zahlen vorlegt. Zwar werden die Zahlen nicht ohne weiteres in ihrer absoluten Größe auf ein anderes Land übertragbar sein, doch sind die USA und z. B. Deutschland in ihrem Entwicklungsstand ähnlich genug, um die Übertragung der Verhältnisse der Zahlen zu ermöglichen<sup>28)</sup>.

Das *Klauder*-Gutachten wurde für das geplante Nahverkehrsnetz in und um Detroit/Michigan erstellt. Verglichen wurden sechs Systeme, für die die folgenden jährlichen Kosten — einschließlich Anlagekosten und externer Kosten (Reisezeit, Verkehrsbelastung) — geschätzt wurden:

Stahl-Rad-Stahl-Schiene	226 Mio. US \$
Skybus modifiziert	242 Mio. US \$
Einschienen-Schwebebahn	270 Mio. US \$
Busse auf reservierten Straßen	253 Mio. US \$
Busse auf reservierten Fahrspuren	257 Mio. US \$
Busse im Stadt-Autobahn-Verkehr	230 Mio. US \$

Die beiden ersten Systeme, deren Vergleich hier interessiert, sind für identische Netze gerechnet worden. Diese Netze haben folgende relevante Charakteristika<sup>29)</sup>:

<sup>25)</sup> Die Neuheit an sich als Anziehungsfaktor entfällt hier; sie ist nur in Ausstellungen oder Vergnügungsparks bedeutsam. Beispiele sind die Alweg-Bahn in Seattle und Disneyland, oder die Skybus-Versuchsanlage in South Park, die zeitweilig für das Publikum geöffnet war.

<sup>26)</sup> Für das Detroit System werden Durchschnittsgeschwindigkeiten von 55 km/h (Skybus) und 70 km/h (konventionelles System) genannt (*Klauder and Associates*, a.a.O., S. 29 und S. 23); das ergibt 25 % längere Reisezeiten für den Skybus, oder z. B. 3 1/2 Minuten Zeitunterschied für etwa 15 km (17 bzw. 13 1/2 min. Reisezeit). Das mag viel erscheinen, aber: Diese Fahrzeit liegt in Ballungsgebieten deutlich unter der Zeit mit dem Auto, und die beiden Systeme werden nicht in direkter Konkurrenz gegeneinander, sondern wahrscheinlich gegen das Auto betrieben. Folglich ist zu vermuten, daß dieser Einfluß klein bleibt. Jedoch geht diese längere Reisezeit in die Benutzerkosten des Systems ein. Für das Detroit System machen diese Zeitkosten etwa den Kostenunterschied der beiden Systeme aus.

<sup>27)</sup> Dabei ist als weitere Einschränkung hinzunehmen, daß die Maximalkapazität des Skybus wegen der auf 10 Fahrzeuge beschränkten Zuglänge und der kurzen Einheiten geringer ist (bei 2-min.-Zugfolge und 10-Wagen-Zügen etwa 10 700 Passagiere/h) als bei Stahlsystemen (z. B. 31 200 Pass./h mit 26 m-Wagen, wie im Detroit Gutachten angenommen. Eine Kapazitätserhöhung des Skybus auf etwa 20 200 durch 50 % längere Fahrzeuge und 12-Wagen-Züge, wie im Detroit Gutachten, wäre eventuell möglich). Der Skybus ist also im direkten Vergleich nur bis zu einem bestimmten, niedrigeren Volumen in Stoßzeiten überhaupt vergleichbar; größere Wagenlängen würden eine Verwendung von mehr als zwei Achsen bedingen und damit das Grundkonzept ändern.

<sup>28)</sup> Um diesen Punkt ganz klar zu stellen: Der Aufsatz soll einen ersten Überblick darüber geben, was der Skybus leisten kann und was nicht. Er kann und will nicht eine genaue Analyse vor einer endgültigen Entscheidung ersetzen. Die gestellte Aufgabe ist lediglich, eine endgültige Entscheidung vor einer genauen Analyse vermeiden zu helfen, insbesondere, als die Ansprüche neuer Systeme ohne direkten Vergleich zu konventionellen Lösungen oft vergessen lassen, was die konventionellen trotz allem zu leisten vermögen. Unter diesem Gesichtspunkt ist die hier gezeigte Großzügigkeit des Arguments und der Rückgriff auf Kostenunterlagen, die nicht selbst errechnet wurden, zu sehen.

<sup>29)</sup> *Klauder and Associates*, a.a.O., S. 4 ff.

Streckenlänge	206 km
Gesamte Gleislänge	415 km
Stationsabstand, Minimum	1,2 km (weniger in der Innenstadt)
Mittel	2,2 km
Maximum	4,5 km
Reisegeschwindigkeit	72,5 km/h
Zugabstände Stoßzeiten	3 min.
tags und abends	6 min.
nachts	10—20 min.

Auf Strecken mit schwachen Verkehrsaufkommen bis zum Doppelten dieser Zeiten. Nur Sitzplätze zu allen Tageszeiten. Vollautomatische Fahrgelderhebung. Weitgehend automatischer Fahrbetrieb. Werktägliches Verkehrsaufkommen 540 000 Passagiere<sup>30)</sup> <sup>31)</sup>.

Für dieses Netz ergeben sich die in Tabelle 1 wiedergegebenen Investitions- und Betriebskosten (Tabelle siehe nächste Seite).

Diese Tabelle zeigt, daß die Kosten beider Systeme in der gleichen Größenordnung liegen. Während der Skybus marginal geringere Investitionskosten verursacht, sind die jährlichen Aufwendungen marginal höher. Die oben notierte größere Differenz der Gesamtkosten ergibt sich im wesentlichen aus den unterschiedlichen, bewerteten Reisezeiten in beiden Systemen<sup>32)</sup>.

Da die Kostenermittlung dieser Tabelle auf bestimmten Annahmen beruht, ist es nötig, die einzelnen Posten zu diskutieren.

### 1. Kosten für Landbeschaffung

Das *Klauder*-Gutachten geht von der Annahme aus, daß beide Systeme den gleichen Bedarf an Land haben. Der Skybus könnte hier billiger sein, einmal weil bei dem Bau als Hochbahn ein schmalerer Streifen benötigt wird, zum anderen, weil billigeres Land ausgewählt werden kann, da sich die Konstruktion schwierigeren Streckenführungen eher anpassen läßt.

Der erste Vorteil ist nur zu realisieren, wenn öffentlicher Grund genutzt wird, wie der Mittelstreifen von Straßen. Sowie Privatgrundstücke aufgekauft werden müssen, ist es unwahrscheinlich — und auf jeden Fall unter den meisten Gesichtspunkten nicht erstrebenswert —, daß nur der schmale Streifen für die Säulen gekauft werden muß. Da auch das konventionelle System technisch dieselbe Möglichkeit bietet, liegt der eigentliche Kostenvorteil darin, daß der Skybus als Hochbahn wegen seines geringen Gewichts und

<sup>30)</sup> Alle angegebenen Daten entsprechen den für das Gutachten gemachten Auflagen.

<sup>31)</sup> Diese Zahl gilt in den Auflagen für 1985. Da jedoch das Gutachten auf einer Betriebsaufnahme in 1970 beruht, und von Erweiterungen nicht die Rede ist, handelt es sich offenbar um die zugrundeliegende Systemkapazität.

<sup>32)</sup> Unter folgenden Annahmen: 6 % Zinssatz; keine Amortisation der Landbeschaffungskosten; 50 Jahre Lebenserwartung der festen Einrichtungen; 25 Jahre Lebenserwartung der Fahrzeuge, Schrottwert 10 % des Neupreises.

<sup>33)</sup> Vgl. *Klauder and Associates*, a.a.O., S. 42 ff.

Tabelle 1:

Geschätzte Kosten eines Nahverkehrssystems in Detroit (in 1000 US \$)

	Konventionelles System		Skybus (modifiziert)	
Investitionskosten				
Land für Strecke, Abstellbahnhöfe und Werkstätten	33 800		33 800	
Bau der festen Einrichtungen				
Strecke, Abstellbahnhöfe, Werkstätten	2 391 700		2 192 600	
Bahnhöfe	349 200		349 200	
	2 740 900		2 541 800	
Fahrzeuge	154 000		189 100	
	2 894 900		2 730 900	
Gesamt	2 928 700		2 764 700	
Jährliche Kosten <sup>32)</sup>	181 300		179 600	
Betriebskosten	Anzahl der Beschäftigten	Jährliche Kosten	Anzahl der Beschäftigten	Jährliche Kosten
Fahrbetrieb	504	7 392	588	8 397
Elektrik und Elektronik	186	2 904	199	3 061
Wartung der festen Einrichtungen	156	3 072	128	2 291
Wartung der Ausrüstung	285	4 877	407	7 208
Verwaltung/sonstige	224	3 191	224	3 191
Energie	—	7 298	—	6 163
Personen- und Sachschäden		1 200		1 560
Gesamt	1 355	29 934	1 546	31 871

Quelle: Zusammengestellt aus den Tabellen auf S. 22, 24, 28, 30 des Gutachtens von *Klauder and Associates*, a.a.O. Die Kosten für den Erwerb und Betrieb von Parkplätzen wurden hier weggelassen.

seiner Entgleisungssicherheit billiger zu bauen ist <sup>34)</sup>, so daß nicht die Ersparnis an Landkosten durch höhere Konstruktionskosten kompensiert wird.

Die einfache Anpassung an schwierigere Streckenführung beruht auf der Möglichkeit engerer Kurven — bis zu 50 m Radius in der Originalausführung — und stärkerer Stei-

<sup>34)</sup> *Klauder and Associates*, a.a.O., S. 42; *Hoel, L. A., et al.*, Urban Rapid Transit: Concepts and Evaluation, Transportation Research Institute, Carnegie-Mellon-University, Pittsburgh, Pa., 1968.

gungen. Die Ausnutzung enger Kurven führt jedoch weit unterhalb der Sicherheitsgrenzen zu Geschwindigkeitsbegrenzungen, um den Komfort nicht zu beeinträchtigen. Wenn eine Seitenbeschleunigung von 0,1 g zugelassen wird, heißt das, daß die maximale Überhöhung 10% betragen darf; daraus resultieren bei 50 m Radius

0,1 g einwärts bei Stillstand

0,0 g bei 25 km/h

0,1 g auswärts bei 35 km/h;

bei Ausnutzung der 80 km/h Höchstgeschwindigkeit ist ein Radius von 250 m nötig. Nachdem konventionelle Fahrzeuge mit Drehgestellen ebenfalls recht enge Radien befahren können, und zudem mit längeren Fahrzeugen beim Skybus der minimale Radius wächst, wird die Frage des kleinsten Radius im wesentlichen auf einen Vergleich der Durchschnittsgeschwindigkeiten reduziert. Dabei besteht die Möglichkeit, daß Stahlrad-systeme den Zeitverlust durch langsames Fahren in engen Kurven durch höhere Endgeschwindigkeiten auf geraden Streckenteilen wieder wettmachen. Erlaubt schließlich die Streckenführung durchweg hohe Geschwindigkeiten, wird dieser Vorteil irrelevant.

Ebenso beschränkt der angestrebte Komfort — neben den Erfordernissen der automatischen Steuerung, wie oben diskutiert — die Längsbeschleunigung und damit die Steigungen auf etwa 10%, womit auch hier kein unmittelbarer Vorteil besteht.

Ein anderer Nachteil ist, daß bei konventionellen Systemen die Mitbenutzung von Straßen möglich ist, insbesondere wichtig, wenn das System aus einem bestehenden Straßensystem (z. B. Frankfurt) entwickelt wird. Diese Möglichkeit entfällt beim Transit Expressway fast ganz (obwohl natürlich durch Tieferlegen der Führungsschiene, deren genaue Position nicht dominierend zu sein scheint, die Unterbrechung der Straßenoberfläche auf einen schmalen Schlitz reduziert werden könnte).

## 2. Die Kosten für Strecke, Abstellbahnhöfe und Werkstätten

Das Detroit Nahverkehrsnetz würde etwa zu 50% als Hochbahnstrecke, zu 10% zu ebener Erde, zu 13% in Einschnitten und zu 27% in Tunnels gebaut werden <sup>35)</sup>. Diese Streckenführung bringt natürlich dem Skybus einen Kostenvorteil, da er als Hochbahn relativ billiger zu bauen ist. Liegt also nicht der Zwang vor, die Strecke weitgehend hoch zu legen, dürfen relativ niedrigere Baukosten für ein Stahlsystem erwartet werden. Um wieviel die Kosten sich ändern, läßt sich nach dem vorliegenden Material nicht abschätzen. Die Angaben des Detroit Gutachtens sind nicht nach Streckenarten aufgeschlüsselt, und das Gutachten für Pittsburgh definiert nicht die in den Kosten der verschiedenen Streckenabschnitte enthaltenen sonstigen Faktoren — Weichen etc. —, so daß auch hieraus keine Schlüsse gezogen werden können <sup>36)</sup>.

Ein anderer Faktor, der die Kostenrechnung dominieren könnte, ist die aufwendige Weichenkonstruktion, wie sie oben beschrieben wurde. Die für diese Weiche zu erwartenden hohen Kosten würden den Skybus für Systeme mit vielen Weichen eventuell konkurrenzunfähig machen.

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor ergibt sich bei der Montage der Schienen. Da die einzelnen Teile im Gegensatz zur Stahlschiene praktisch starr sind, wird eine sehr genaue

<sup>35)</sup> *Klauder and Associates*, a.a.O., S. 42.

<sup>36)</sup> Hinzu kommt, daß das Pittsburgher Gutachten auf früheren Kostenschätzungen beruht, und daß die für den Streckenbau erwarteten Kosten im Laufe weniger Jahre sehr stark gestiegen sind, so daß alle älteren Angaben mit Vorsicht zu betrachten sind; vgl. auch *Klauder and Associates*, a.a.O., S. 27: Frühe Schätzungen liegen bei 6–8 Mio. \$/mile, aktuelle bei 24 Mio. \$/mile.



Teilefertigung in Verbindung mit präzisen Fundamentierungsarbeiten nötig. Das wäre, nachdem praktische Erfahrungen vorliegen, mit der einfachen Fertigung und dem höheren Montageaufwand der Stahlschiene zu vergleichen.

Schließlich und endlich wurde das Argument erhoben, daß die Teile der Transit Expressway-Schienen immer wieder verwendet werden könnten. Das muß von Fall zu Fall untersucht werden. Die Montage- und Fundamentierungskosten sind sicher zu hoch, um den Skybus nach Art einer Buslinie hin- und herzuschieben. Wie weit bei einer längerfristigen Installation die spätere anderweitige Verwendung bereits beim Investitionsentscheid gesichert ist, kann nur im konkreten Fall geklärt werden.

### 3. Anschaffungskosten der Fahrzeuge

Die gesamten Aufwendungen für Fahrzeuge sind eine Funktion der Kosten pro Fahrzeug und der Anzahl der benötigten Fahrzeuge. Letztere wird bestimmt durch die maximale Kapazität, die normalerweise für die abendliche Verkehrsspitze benötigt wird. Um eine ausreichende Kapazität zu erreichen, wurden im Detroiter Gutachten — unter der Annahme eines Sitzplatzes für jeden Fahrgast — längere Fahrzeuge (South Park 9,10 m, 14 t; South Hills 10,5 m, 17 t; Detroit 14,1 m, 23 t) und längere Züge (12 statt 10 Fahrzeuge) angenommen. Nun liegt das 23 t-Fahrzeug noch im Rahmen dessen, was 4 Zwillingreifen zu tragen vermögen (11,5 t Achslast). Jedoch läßt die Erfahrung, die man in der South Park-Versuchsanlage anfänglich mit dem Fahrkomfort machte, erwarten, daß hier noch Entwicklungsarbeit zu leisten ist, um unter den geänderten Verhältnissen ein annehmbares Niveau zu erreichen. Ferner geht durch die längeren und schwereren Fahrzeuge ein Teil des Kostenvorteils verloren, den der Transit Expressway auf Hochbahnstrecken hat<sup>37)</sup>.

Daß die Fahrzeugkosten für den Skybus bei gegebener Kapazität höher sind als für das Stahl-System (189 Mio. \$ und 154 Mio. \$), zeigt den Kostennachteil, der sich durch Aufteilung der Kapazität auf kleinere, voll ausgerüstete Einheiten ergibt. Die Benutzung von Beiwagen in Stoßzeiten, wenn sie technisch unter Verzicht auf Beschleunigung möglich wäre, könnte die Kosten etwas reduzieren, aber dem stehen die Kosten für durchweg stärkere Motorfahrzeuge und für den höheren Steuerungsaufwand entgegen.

### 4. Die Betriebskosten

Einer der ursprünglichen Vorteile des Transit Expressway ist, durch die Aufteilung in kleinere, automatisch betriebene Einheiten außerhalb der Stoßzeiten eine kürzere Zugfolge zu tragbaren Kosten anzubieten. Dieser Vorteil geht nicht in die Kostenziffern des Gutachtens ein, da die zweite und wesentliche Änderung am Skybus-System darin besteht, daß die Züge mit Begleiter gefahren werden, der in den vollautomatischen Betrieb eingreifen kann. Um wieviel die Kosten dadurch steigen, kann erst ermittelt werden, wenn sowohl die genaue Betriebsstruktur als auch der Personalbedarf des vollautomatisierten Systems bekannt sind<sup>38)</sup>.

Mit Zugbegleitern erfordert das Transit Expressway-System mehr Betriebspersonal als das Stahl-System. Der Grund liegt wahrscheinlich darin, daß es an der oberen Grenze seiner Kapazität arbeitet und dadurch mehr Züge zu Spitzenzeiten einsetzen muß. Das

<sup>37)</sup> Der Kostenvorteil ergibt sich aus dem geringeren Baugewicht der Träger, das durch die gleichmäßigere Lastenverteilung und das geringe Gesamtgewicht möglich ist, vgl. Hoel, L. A., a.a.O., Kapitel 2.

<sup>38)</sup> Wegen der nicht definierten Betriebsstruktur kann der Personalbedarf auch nicht aus den Angaben des Gutachtens für Pittsburgh/South Hills abgeleitet werden.

konventionelle System, das hier Wagen von 26 m Länge benutzt, könnte entweder die gleiche Passagierzahl mit weniger, aber längeren Zügen und weiterer Zugfolge bewältigen, oder aber aufgrund seiner höheren Durchschnittsgeschwindigkeit in Grenzfällen Züge während der Spitzenzeiten doppelt einsetzen, wie es beispielsweise auf der Strecke Philadelphia Stadtmitte—Lindenwold gemacht wird. Diese neuingerichtete Strecke entspricht in ihren Fahrleistungen usw. weitgehend dem für Detroit beschriebenen Stahl-System.

Bei den Aufwendungen für Wartungspersonal ist der Skybus ebenfalls im Nachteil (535 gegenüber 441 Beschäftigte), wobei der Vorteil der einfacher zu wartenden ortsfesten Einrichtungen (128 gegenüber 285) durch den Nachteil bei der Fahrzeugwartung (407 gegenüber 156) mehr als ausgeglichen wird. Der Grund dürfte hauptsächlich in der höheren Fahrzeugzahl (995 gegenüber 545) zu suchen sein, die aber bei einer linearen Hochrechnung immer noch einen unerklärten Rest von ca. 100 Beschäftigten läßt<sup>39)</sup>.

Im Energieverbrauch liegt der Skybus überraschenderweise günstiger, was erklärbar ist durch seine geringeren Fahrleistungen (50 km/h gegenüber 70 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit) und sein geringeres Gewicht pro Sitz (0,411 t Skybus — 0,481 t Stahl-System). Das wird unterstützt durch die Zahlen für den Energieverbrauch pro Sitz-km: 0,033 kWh für den Skybus und 0,042 kWh für das konventionelle System.

Die Energieverbrauchszahlen, die für Detroit errechnet wurden, liegen für den Transit Expressway günstiger als in anderen Gutachten. *Klauder and Associates* führen das auf die größeren durchschnittlichen Stationsabstände und auf die manuelle Kontrolle beim Bremsen zurück, die immer volles Bremsen erlaube, unabhängig von der Belastung<sup>40)</sup>.

Das letzte Kostendetail ist der Energieverbrauch für die oben erwähnte Beheizung der Strecke. Dieser Energieverbrauch ist gering, wenn die Beheizung auf kritische Stücke beschränkt bleibt und die jährlichen Schneefallzeiten nicht zu lang sind. Man erreicht bei 100 h Schmelzbetrieb eine Verbrauchserhöhung von 0,0006 kWh/Sitz-km oder 1,8%. Bei 1300 Stunden Schmelzbetrieb wäre erst der Energieverbrauch des konventionellen Systems erreicht<sup>41)</sup>.

Keine treffende Aussage scheint über den Reifenverbrauch möglich. Bisher beobachtet wurde der Verschleiß über 12000 km. Ob aus so kurzfristigen Daten auf eine Reifenlebensdauer von rd. 130000 km<sup>42)</sup> geschlossen werden kann, sei dahingestellt.

## V. Schlußbemerkung

Im Vergleich zu einem konventionellen Nahverkehrs-Schienenfahrzeug in Stahl-Rad-Stahl-Schiene-Technologie zeigt sich, daß der Westinghouse Transit Expressway — gemessen an den Möglichkeiten und an der Betriebscharakteristik des konventionellen Systems —

<sup>39)</sup> Rechnet man die im Pittsburgher Gutachten angegebenen Beschäftigungszahlen (S. 9 und 10) nach Streckenlänge und Fahrzeugzahl um, kommt man sogar auf eine Gesamtzahl von 575 statt 535 Beschäftigte. Vgl. jedoch vorige Fußnote.

<sup>40)</sup> *Klauder and Associates*, a.a.O., S. 29.

<sup>41)</sup> Zur Berechnung: 300 m vor und nach jeder Station beheizt, doppelgleisige Strecke mit 4 Streifen à 60 cm Breite. Somit sind  $300 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 0,60$  qm zu beheizen. Bei 550 W/qm (bei nicht zu kaltem Wetter zum Schneeschmelzen ausreichend) erhält man 800 kW/Station oder für die 61 Stationen des Detroiter Systems und 100 h Betriebszeit 4880000 kWh. Bei  $8,15 \cdot 10^9$  Sitz-km/Jahr ist der Mehrverbrauch 0,0006 kWh/Sitz-km oder 1,8%.

<sup>42)</sup> *South Park*-Bericht, S. 127.

keinen gravierenden Vorteil bietet. Das entspricht seiner Konzeption, die auf eine andere Betriebscharakteristik — niedriges Transportvolumen bei automatisiertem Betrieb — ausgelegt ist. Da diese Betriebscharakteristik noch nicht in der Praxis existiert, besteht die Gefahr, daß der Transit Expressway, wie die beiden angeführten Gutachten zeigen, als Ersatz für Schnellbahnen mit hoher Kapazität mißverstanden wird.

Sieht man von der in jüngster Zeit ausgeführten Variante eines Pendelverkehrs auf Flughäfen ab, so ergibt sich als typischer Anwendungsfall etwa folgender: Die Bedienung einer nahen Vorstadt nicht zu hoher Besiedlungsdichte oder auch der »Straßenbahndienst« innerhalb einer Stadt, wobei Gebiete mit linearer Besiedlung besonders günstig sind. Dabei hätte man etwa als Ergebnis zu erwarten:

Der Einfluß der Höchstgeschwindigkeit (80 km/h) wäre bei — wünschenswerten — kleinen Stationsabständen gering. Das würde sowohl für den Sammeldienst in der Innenstadt wie auch die Verteilung in der Vorstadt gelten.

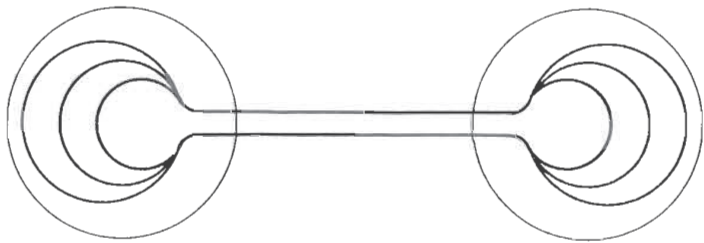
Der zu erwartende Fahrkomfort liegt bei kleinen Fahrzeugen und bei Einhaltung niedriger Geschwindigkeiten durchaus im Bereich moderner Schienenfahrzeuge oder Busse; als angenehm gegenüber Schienenfahrzeugen ist dabei die Geräusentwicklung zu nennen, die von der Tendenz her mehr in Bereichen niedriger Frequenz liegt.

Die durch die Rad-Schiene-Konstruktion gegebene höhere Fahrsicherheit (Entgleisung), die auch bei eventuellen Reifenschäden nicht zu unbedingtem Stillstand führen würde, gibt die wegen der Betriebskosten unbedingt nötige Voraussetzung, den Betrieb automatisch ohne Fahrzeugpersonal durchführen zu können.

Wie weit die Weichen einen negativen Einflußfaktor darstellen, hängt weitgehend von der Gestaltung des Netzes ab. Bei rein linearen Netzen ist der Nachteil gering. Sowie jedoch eine Flächenbedienung nötig wäre — etwa wie in Abbildung 3 dargestellt —

Abbildung 3:

*Kombiniertes Flächenbedienungs-Linientransport-Netz*



müßte der entstehende Nachteil sorgfältig gegen die verminderte Attraktivität einer gebrochenen Verbindung bzw. gegen die Kosten anderer Systeme abgewogen werden.

Da dieses Netz einen Kapazitätsengpaß hat, und da die Kapazität einer gegebenen Strecke mit der Zuglänge wächst, wäre zur Ergänzung die Entwicklung einer vollautomatischen Zugaufstellung und -trennung wünschenswert; andernfalls müßten die Schleifen zu Zeiten hoher Auslastung mit ganzen Zügen befahren werden, was die Zugfolge auf der einzelnen Schleife verlängerte.

Für ein so angelegtes System könnte die Kostenseite günstiger aussehen, als es nach dem Gutachten von Detroit der Fall ist. Ist die nötige Passagierkapazität kleiner, können wieder die Kostenvorteile des leichteren, kürzeren Fahrzeugs in Verbindung mit Hochbahnstrecken zum Tragen kommen; sie gehen für Detroit aufgrund der etwas gewaltsamen Anpassung an die Forderungen eines Netzes, das Korridore hoher Passagierbelastung enthält, verloren.

Allerdings ist damit nicht gesagt, daß die Kosten pro Kapazitätseinheit sinken. Lediglich ist ein System mit geringen absoluten Kosten gegeben, das auch für niedrigere Passagierzahlen noch vertretbar ist. Auch ist damit nicht ausgeschlossen, daß ein unter gleichen Gesichtspunkten modifiziertes konventionelles System ähnlich geringe Kosten erreicht.

Damit kann der Westinghouse Transit Expressway eingeordnet werden. Er ist kein Ersatz für konventionelle Nahschnellbahnen — dafür ist er vom Konzept her nicht leistungsfähig genug; vielmehr liegt sein Anwendungsbereich bei niedrigen Kapazitäten und Geschwindigkeiten. Er ist also für die Fälle in Erwägung zu ziehen, bei denen eine Schienenbahn zwar wünschenswert, aber auch schon etwas zu aufwendig wäre, andererseits ein Busnetz die Korridorkapazität nicht mehr erbringen könnte oder zu arbeitsintensiv wäre. Nach unten hin ist eine Grenze durch die noch recht aufwendige Fahrzeugkonstruktion gezogen, die eine weitere Verkleinerung zu einem System des »personalized transit« verbietet, wenn auch von der Anlage her die Systemidee bei weiterer Vereinfachung durchaus geeignet wäre\*).

\* The basic contents of this study were collected during a visit at Northwestern University's Transportation Center in 70/71. The author wishes to express his thanks to the staff of the T. C., who were at all times willing to discuss any point and help in any way; in particular Dr. John A. Bailey, Director of T. C.; Dr. Edward K. Morlok, Professor at T. C. and Dep. of Civil Engineering; the staff of the library. The opinion expressed and any mistakes eventually contained in this paper, are solely the author's, yet, and in no case express the view of the T. C. or of one of its staff members. The visit to Northwestern was made possible by a grant from Deutscher Akademischer Austauschdienst.

### Summary

After a long period of stagnation in approaches to solve intra-city travel problems, there are proposals now to introduce technological innovations for solution. This paper analyses one class of these innovative systems for its technical and economic abilities, choosing as an example the Westinghouse Electric Corporation's Transit Expresswaysystem. The analysis concentrates upon the new suspension and guidance technology and its influence upon operation, revenue and costs if employed in a subway or/and elevated installation.

### Résumé

Des propositions sont à présent à l'ordre du jour pour l'innovation technologique, après une longue pause sans idées nouvelles pour résoudre le problème du trafic à courte distance. L'article précédent étudie les possibilités techniques et économiques d'une classe de tels systèmes nouveaux en se servant de l'exemple du Transit Expressway de la Westinghouse Electric Corporation. On y examine les effets sur le fonctionnement de la nouvelle technique de support et de guidage, les revenus et frais en l'employant comme un chemin de fer souterrain ou surélevé.