Niederflurfahrzeuge - ein Beitrag zum attraktiven Nahverkehr

Autor(en): **Weidmann, Ulrich**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **110 (1992)**

Heft 13

PDF erstellt am: **02.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-77884

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Literatur

[1] *Savage, S. B.*, and *Hutter, K.*: The motion of a finite mass of granular material down a rough incline. J. Fluid 199, 177-215 (1989)

[2] *Savage, S. B.*, and *Hutter, K.*: The dynamics of avalanches of granular materials from initiation to runout. Part I: Analysis. Acta Mechanica 86, 201-223 (1991)

[3] *Hutter, K.*: Avalanche Dynamics - A Review. J. Fluid Mech. (submitted)

[4] *Hutter, K.*, and *Koch, Th.*: Motion of a granular avalanche in an exponentially curved chute: experiments and theoretical predictions. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A334, 93-138 (1991)

[5] *Scheiwiller, T.*, *Hutter, K.*, and *Hermann, F.*: Dynamics of powder snow avalanches. Annales Geophysicae, 5B (6), 569-588 (1987)

[6] *Hermann, F.*: Experimente zur Dynamik von Staublawinen in der Auslaufzone. Mitteilung Nr. 107 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich (1990)

terschiedlichen Vertikalausdehnung in grösseren Geschwindigkeiten und Dichten in den Regionen oberhalb 12 cm identifiziert werden. Im Unterschied zu den Geschwindigkeitsdarstellungen zeigen die Dichtedarstellungen mehrere Maxima, die als scharfe Peaks heraustreten. Vergleicht man die Geschwindigkeiten im Bild links und Bild rechts, so erkennt man, dass die grössten Reduktionen in der bodennahen Zone auftreten mit einem 4fachen Geschwindigkeitsabbau. Ob dies auf die Bodenreibung oder einen «Skischanzeneffekt» zurückzuführen ist, ist gegenwärtig Gegenstand weiterer Untersuchungen. Im Gegensatz zur Geschwindigkeit wird die Dichte zwischen den Positionen A und B bedeutend abgebaut, wobei dies mehr an Stellen der Dichtemaxima und weniger dazwischen geschieht. Dieses Verhalten ist in vielen weiteren Messungen ebenfalls bestätigt worden.

Man erkennt auf Bild 11 im übrigen im Geschwindigkeits- bzw. Dichtegraphen eine unterschiedliche Position der Lawinenfront. Die sichtbare Vorderkante stimmt mit der Dichtefront der Lawine überein. Alle Geschwindigkeitsdaten, die registriert worden sind, bevor diese Dichtefront die Messposition erreicht, müssen von Vorlaufbewegungen des Wassers herrühren, welche durch Verunreinigungen sichtbar werden. Dieser Bereich wird in der Auslaufzone kontinuierlich grösser. Auf der andern Seite handelt es sich hierbei um ein reelles Phänomen, als das Auftreten von starken Winden vor der Ankunft der sichtbaren Lawinenfront den Förstern und Berglern ein bekanntes Phänomen darstellt.

Eine für den Praktiker informative Variable ist die spezifische kinetische Energie oder der äquivalente Staudruck, welche für das vorangehende Experiment im Bild 12 dargestellt ist, jetzt jedoch mit Hilfe der Ähnlichkeitsgesetze transformiert auf Naturdimensionen übertragen. Gemäss den gegenwärtigen Vorschriften entspricht ein Druck von 1,5 kPa gefährlichen Verhältnissen, wohingegen ein Druck von 0,5 kPa als harmlos betrachtet wird. Drücke, die dazwischen liegen, sind potentiell gefährlich. Im Querschnitt A (oben) muss die gesamte Lawine als gefährlich betrachtet werden, im Querschnitt B (unten) sind die untersten 30 m jedoch harmlos. Punkte in der bodennahen Grenzschicht erfahren einen wesentlich kleineren dynamischen Druck als Punkte, die etwas höher liegen. Dieses Verhalten ist ebenfalls in vielen andern Laborexperimenten bestätigt worden.

Der nächste Schritt muss jetzt darin bestehen, dies auch rechnerisch zu bestätigen und so die Kenntnisse des in den Experimenten nachgewiesenen und bis anhin unbekannten Verhaltens zu erweitern, um die Schlussfolgerungen vertrauenswürdiger und die Verordnungen genauer zu machen.

Verdankung

Die Bilder 10, 11 und 12 sind in verdankenswerter Weise von meinem früheren Mitarbeiter Dr. *F. Hermann* zur Verfügung gestellt worden.

Adresse des Verfassers: Prof. *Kolumban Hutter*, Ph.D, Institut für Mechanik, Technische Hochschule Darmstadt, Hochschulstrasse 1, W-6100 Darmstadt; z.Z. Geographisches Institut der ETH Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich

Niederflurfahrzeuge – ein Beitrag zum attraktiven Nahverkehr

Neue Fahrwerkskonstruktionen gestatten seit wenigen Jahren den Bau von Niederflur-Schienenfahrzeugen mit Einstiegshöhen von nur etwa 30 cm. Sehr verschiedenartige Entwürfe wurden zum Teil bereits realisiert. Einer Komforterhöhung, Erleichterungen für Behinderte sowie möglichen Fahrzeitverkürzungen stehen konstruktive Erschwernisse gegenüber.

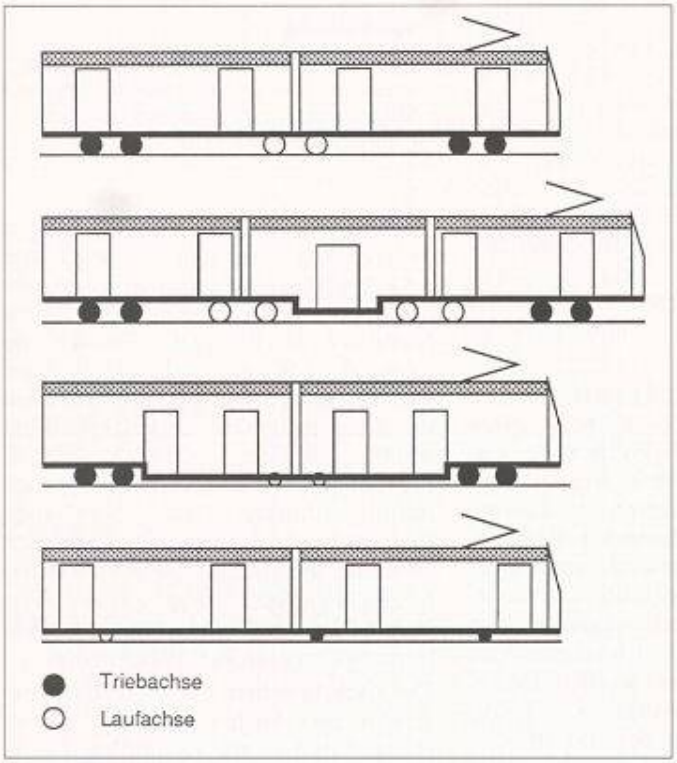
VON ULRICH WEIDMANN, ZÜRICH

Der Linienverkehr mit Tram und Bus hat in der Schweiz einen grossen Stellenwert, der aufgrund verkehrspolitischer Zielvorgaben noch gesteigert werden soll. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an Komfort, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit. Einen Schwachpunkt bilden dabei die Fahrzeugeinstiege. Allein auf dem Netz der Zürcher Verkehrsbetriebe erfolgen pro Tag rund zwei Millionen Fahrgastwechselvorgänge. Jeder dieser Vorgänge stellt eine Komfortverminderung dar und verlängert die Beförderungszeiten. Für den Betreiber eines Nahverkehrssystems bedeutet die Aufenthaltszeit an den Haltestellen nicht nur eine Senkung der Umlaufgeschwindigkeit des Rollmaterials und damit ein Absinken der Produktivität, sondern wegen mangelhafter Kalkulierbarkeit auch eine ständige Quelle von Fahrplanabweichungen. Für Behinderte schliesslich kann der Einstieg ein unüberwindliches Hindernis darstellen.

Fahrzeugbau

Überblick

Dass durch Tiefeinstiege zumindest der Komfort verbessert werden kann, ist unbestritten. Entsprechend existieren bereits seit vielen Jahrzehnten vereinzelte Fahrzeugentwicklungen mit tiefgelegten Einstiegen, beruhend auf zwei- oder vierachsigen Fahrzeugtypen [1]. Zu nennen sind beispielsweise die Anhängewagen von Amsterdam und Berlin aus den Jahren 1922 und 1928 [2]. Durchsetzen konnten sie sich aber aus verschiedenen Gründen vor allem kon-



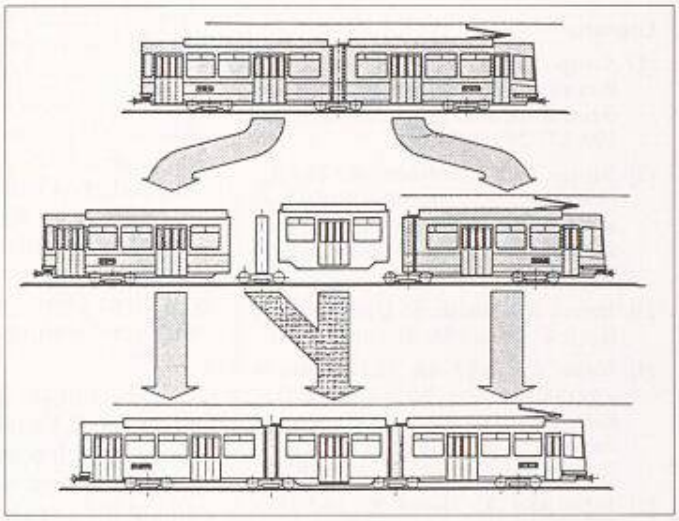


Bild 2. Gelenkwagen Be 4/8 der Baselland Transport AG (BLT) mit nachträglich eingeführtem Niederflurteil (Typ 1). Zeichnung Schindler

Links: Bild 1. Übersicht über die Fahrzeugkonzepte. Von oben nach unten: Konventionelles Gelenkfahrzeug, Niederflurkonzept 1, Niederflurkonzept 2, Niederflurkonzept 3. Zeichnung IVT

struktiver Art nicht. So hiess es 1956 in einem Vortrag anlässlich eines Seminars über die Beschleunigung der Fahrgastabfertigung: «Ich erwähne hier nur den immer wieder ausgesprochenen Wunsch nach möglichst tief liegendem Fussboden, um mit möglichst nur einer Stufe beim Ein- und Aussteigen auszukommen. Diese Forderung lässt sich nur in Spezialfahrzeugen durchbilden. Im allgemeinen stören die technisch notwendigen Abmessungen der Raddurchmesser und die Konstruktion der Fahrzeugrahmen.» Die genannten Spezialfahrzeuge blieben weiterhin aus, und die Behandlung des Themas des Kongresses erfolgte fast ausschliesslich aus der Sicht des Billettverkaufs [3].

Vor rund 25 Jahren begann zunächst in der Schweiz (Verkehrsbetriebe Zürich) die Umstellung auf den Billettverkauf durch Automaten an den Haltestellen, wodurch der reine Zeitbedarf des Besteigens und Verlassens des Fahrzeuges für die Haltezeit massgebend wurde. Die Beschleunigung des Fahrgastwechsels durch konstruktive Massnahmen wurde zu einer wichtigen Zielgrösse. Die zunehmende Verbreitung von Gelenkstrassenbahnwagen und einige teilweise neue technische Elemente eröffneten schliesslich die Chance für den Durchbruch. Dabei sind drei Entwicklungslinien zu beobachten:

1. Der abgesenkte Teil des Fahrzeuges beschränkt sich auf einen kleinen Teil der Gesamtfläche (10 bis 15%).

2. Der überwiegende Teil des Fahrzeugbodens (60 bis 70%) weist eine deutlich reduzierte Höhe über Schienenoberkante auf.

3. Der gesamte Wagenboden ist abgesenkt [4].

Von den Entwicklungslinien 1 und 2 sind bereits mehrere Fahrzeugtypen im Fahrplaneinsatz, während sich die Entwicklungslinie 3 noch in der Konzept- beziehungsweise der Prototypphase befindet.

Niederflurkonzepte

Definiton

Im folgenden werden unter den Niederflurfahrzeugen alle Strassenbahntypen verstanden, bei welchen zumindest eine der Türen eine deutlich reduzierte Einstiegshöhe aufweist.

Kleiner Niederfluranteil

Bei der Bauart 1 werden nur der Einstieg selbst und dessen unmittelbare Umgebung abgesenkt. Werden alle Türen tief angeordnet, was grundsätzlich möglich ist, so erfordert dies eine grosse Zahl von Treppen im Fahrzeuginnern. Dem stehen die Anforderungen des Fahrgastkomforts, der Sicherheit und der Raumaufteilung entgegen.

In Würzburg (D) wurde diese Bauart für die Bedienung einer Neubaustrecke gewählt, welche Steigungen bis 91‰ (Maximum in der Schweiz 77‰) aufweist und ein allachsgetriebenes Fahrzeug erfordert. An derselben Linie ist ein grosses Behindertenzentrum zu bedienen, weshalb ein rollstuhlgängiger Einstieg und ein entsprechendes Abteil vorzusehen war. Es blieb beim derzeitigen Stand der Technik nur der gewählte Ausweg [5].

Eine andere Situation lag bei der Baselland Transport vor, welche kurzfristig die Beförderungskapazität erhöhen musste. Ein bestehender sechsachsiger Gelenkwagen konventioneller Bauart wurde durch ein zusätzliches Mittelteil zu einem achtachsigen Fahrzeug mit entsprechend höherer Beförderungskapazität erweitert. Diese Gelegenheit wurde genutzt, um wenigstens dort einen behindertenfreundlichen Einstieg zu schaffen [6].

Mittlerer Niederfluranteil

Konstruktiv anspruchsvoller als die Gruppe 1 ist die Gruppe 2, weil für einen mehrheitlich tiefgelegenen Wagenboden die Laufdrehgestelle neu entwickelt werden müssen. Die Motordrehgestelle sind konventioneller Bauart und haben hochgelegene Endabteile zur Folge. Pioniere waren die Transports Publics Genevois (TPG) und die Maschinenfabrik Vevey (ACMV), welche 1984 den ersten Niederflur-Tramwagen neuer Konstruktion in Betrieb setzten. Bemerkenswert daran ist, dass ein technisches Element – Drehgestell mit kleinen Rädern – am Anfang stand, welches für einen vollständig anderen Zweck, nämlich den Transport normalspuriger Güterwagen auf Meterspurbahnen, konzipiert wurde. Zwischen den beiden Enddrehgestellen konnte damit ein ebener, tiefliegender Wagenboden (480 mm über SOK) erreicht werden. Nicht optimal ist, dass vom Haltestellenperron aus immer noch zwei Treppenstufen zu überwinden sind. Bei der kürzlich abgelieferten Fahrzeugserie Be 4/8 (achtachsige Gelenkwagen) der Berner Verkehrsbetriebe wurde der Wagenboden weiter abgesenkt (350 mm). Dazu mussten aber die Sitzplätze

über den Laufdrehgestellen auf Podesten angeordnet werden [7].

Grössere Freiheiten bestanden beim Niederflurwagen der normalspurigen Stadtbahn Grenoble. Die günstigeren Platzverhältnisse erlaubten hier einen Wagenboden auf einer Höhe von 345 mm über Schienenoberkante. Dazu wurde ein Laufdrehgestell mit Einzelradaufhängung konstruiert, bei welchem der Wagenboden nicht über, sondern durch die Radebene hindurch verlaufen kann und keine Podeste erforderlich sind.

Grosser Niederfluranteil

Erst das Konzept 3 bringt den vollen Nutzen eines tiefen Wagenbodens. Technologisch besteht zwischen der Gruppe 2 und der Gruppe 3 ein massiver Sprung, weil bei letzterer auch die schwierigen Antriebsaggregate neu entworfen werden müssen. Ausgangspunkt ist der unvermeidbare Übergang zur Einzelaufhängung der Triebräder ohne durchgehende Achse, eine Konstruktion, welche bei Schienenfahrzeugen bisher praktisch unbekannt war. Ende 1989 lieferte die Waggonbaufirma MAN einen Prototyp-Gelenkwagen an die Bremer Strassenbahn aus. Ebenfalls 1989 stellte das italienische Werk SOCIMI einen vierachsigen, einteiligen Prototyp vor (pro Rad ein Motor). Intensive Forschungsarbeiten der Entwicklergemeinschaft VÖV-Niederflur-Stadtbahn in Deutschland haben 1991 in einer Anzahl von Prototypfahrzeugen für Normal- und Meterspur gemündet. Die schweizerische Fahrzeugindustrie schliesslich hat ein Einzelradfahrwerk entworfen, welches die besonderen Schwierigkeiten meterspuriger Strassenbahnen berücksichtigt (System COBRA).

Bild 3. Das abgesenkte Mittelteil des BLT-Wagens erlaubt ein problemloses Einsteigen mit Kinderwagen. Foto: Schindler

Bewertung

Vorbemerkung

Eine Bewertung der drei Konzepte muss die Aspekte Fahrgast, Betrieb, Beschaffung, Unterhalt und Umwelt berücksichtigen. Das Resultat dieses Optimierungsprozesses kann damit je nach den Randbedingungen anders lauten. Einige allgemeine Bemerkungen sind dennoch angebracht.

Kleiner Niederfluranteil

Bei der Bauart 1 sind sowohl Motor- als auch Laufdrehgestelle von konventioneller Bauart. Sie eignet sich für alle Spurweiten gleichermassen, kann aber die Vorteile der Niederflurtechnik nicht zur Geltung bringen. Eine Verkürzung der Fahrgastwechselzeiten ist kaum zu erwarten, solange das Fahrzeug zusätzlich zu den tiefen Einstiegen auch deren hohe aufweist. Die Fahrgäste dürften zudem recht bald realisieren, an welchem Punkt der Haltestelle das Niederflurabteil zu stehen kommt. Vor allem Bewegungsbehinderte werden darauf achten, dass sie an dieser Stelle einsteigen können. Dadurch werden die betreffende Türe und das Niederflurabteil überdurchschnittlich von langsamen Fahrgästen belastet. Wegen Rückstaus und gegenseitiger Behinderung übersteigt dadurch die Fahrgastwechselzeit die üblichen Werte. Fahrzeuge der Bauart 1 sollten daher die Ausnahme bilden (nachträgliche Umbauten).

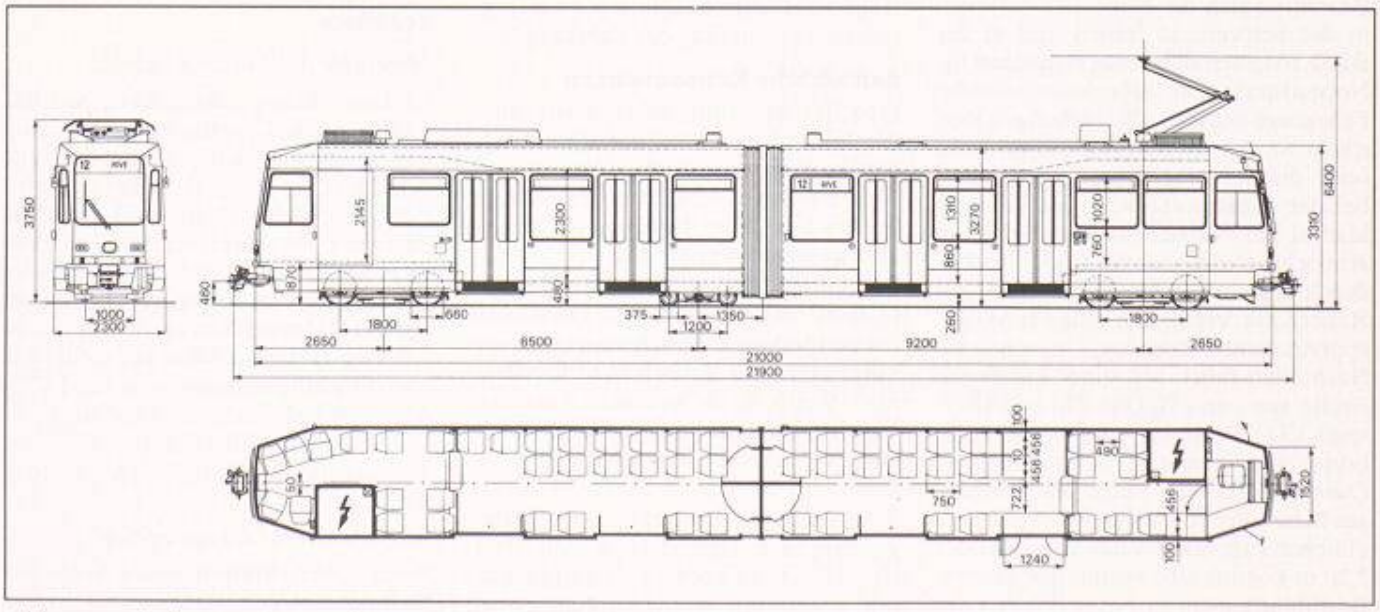


Bild 4. Niederflurtram der Genfer Verkehrsbetriebe (Typ 2), Zeichnung ACMV Vevey.

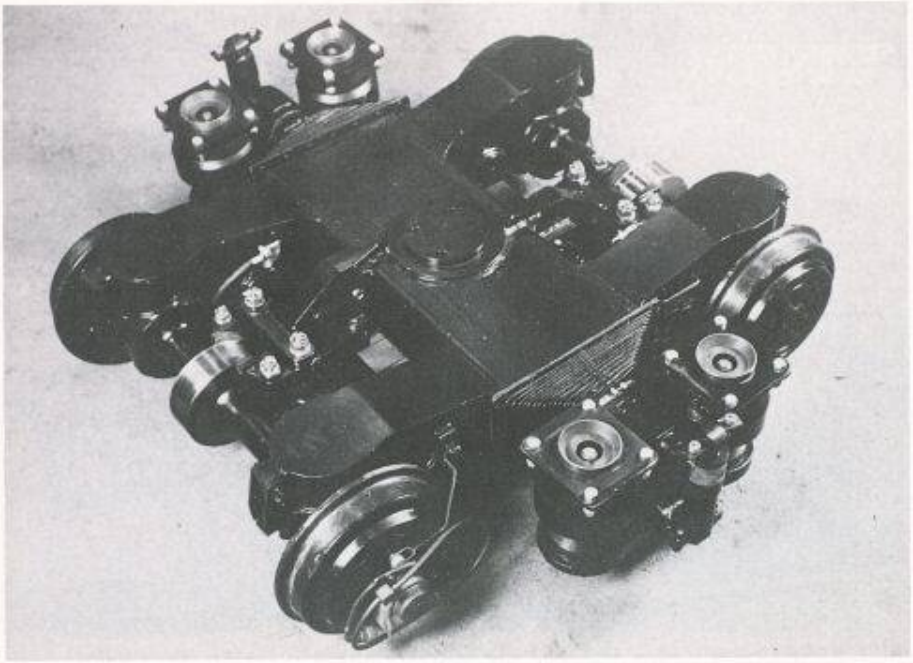


Bild 5. Laufdrehgestell des Genfer Niederflurtrams mit kleinen Raddurchmessern. Foto ACMV Vevey

Mittlerer Niederfluranteil

Die Entwicklungslinie 2 ist betrieblich zweckmässig, da alle Fahrzeugtüren im tiefgelegenen Teil des Fahrzeuges angeordnet und ähnlich ausgestaltet werden können. Diese Konzeption eignet sich gleichermassen für Normal- wie für Meterspur. Abgesehen von den Laufdrehgestellen sind keine technisch neuen Lösungen erforderlich. Der Entwicklungsaufwand und die Risiken halten sich damit in Grenzen. Die ungleichmässige Türverteilung hat keine schwerwiegenden Nachteile gezeitigt. Ungünstig sind hingegen die schlecht erschlossenen, hochgelegenen Endabteile, welche nur über Treppen im Fahrzeuginnern zu erreichen sind.

Grosser Niederfluranteil

Bewähren sich die Neukonstruktionen in der Schweiz, in Italien und in der BRD, so lassen sich damit zumindest für Normalspur sehr fahrgastfreundliche Fahrzeuge erzielen. Die bisherigen Beispiele weisen allerdings auf eine mehr oder minder eingeschränkte Freiheit bei der Raumaufteilung hin. Weniger klar ist der Nutzen für Meterspur. Im Antriebsbereich steht für den Fussboden lediglich der Raum zwischen den Rädern zur Verfügung, was bei Meterspurstrassenbahnen zu besonderen Nachteilen führt: Mit einer nutzbaren Breite von rund 700 bis 800 mm (Beispiel VÖV-Prototyp) und einer Gangbreite von minimal 700 mm ist der Durchgang auf die Mitte des Fahrzeuges fixiert. Bei den bisher in der Schweiz üblichen Fahrzeugbreiten von 2,20 oder 2,30 m kommt eine symmetrische 2+2-Bestuhlung nicht in Frage. Wegen der unverrückbaren Lage des Durchganges ist die klassische 2+1-Bestuhlung ebenfalls nicht möglich, so dass nur eine Lösung mit 1+1-Sitzen bleibt (Sitzplatzverlust). Geht man wie der VÖV Deutschland von 2,40 m Breite aus, so ist zwar eine durchgehende 2+1-Bestuhlung möglich. Aus den gewonnenen 20 cm Kastenbreite entsteht aber hauptsächlich eine Ablagefläche zwischen Einzelsitz und Aussenwand. Die bisherigen Anpassungen der Streckeninfrastruktur für breitere Wagen und der Kampf für einen höheren Anteil am Strassenquerschnitt (40 bis 60 cm bei einer Doppelspur) lassen sich damit kaum rechtfertigen. Zudem verliert man rund 10% des bei dieser Wagenbreite möglichen Fassungsvermögens. Die Entwicklungslinie 3 eröffnet somit interessante Aussichten, verlangt aber eine besonders sorgfältige Gesamtoptimierung des Fahrzeuges.

Betriebliche Konsequenzen

Den Betreiber interessieren vor allem die Auswirkungen auf den Betriebsablauf und auf die örtliche Infrastruktur. Neben anderen Fragen haben sich die beiden folgenden Bereiche als besonders kontrovers erwiesen:

1. Gelingt es mit den Tiefeinstiegen, die Haltezeiten und damit die Umlaufzeiten von Nahverkehrsfahrzeugen zu verkürzen und den Betrieb zu rationalisieren? Wenn ja, in welchem Ausmass? Welche Anpassungen an der Infrastruktur sind gegebenenfalls erforderlich?

2. Kann unter den geänderten Bedingungen eine Beförderung von Rollstuhlfahrern in normalen Fahrplankursen zugelassen werden, ohne grosse Störungen zu riskieren?

Am Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau der ETH Zürich läuft seit einiger Zeit ein Forschungsprojekt, welches unter anderem die Beantwortung des ersten Fragenkomplexes zum Ziel hat. Einige Resultate werden im folgenden Abschnitt vorgestellt. In einem weiteren Abschnitt werden Überlegungen zum zweiten Fragenbereich angestellt, welche auf den Gesetzmässigkeiten des Linienbetriebes basieren.

Fahrgastwechselzeiten und Fassungsvermögen

Wichtigste Einflussgrössen

Die Inbetriebnahme der Serienfahrzeuge der TPG in Genf und die Eröffnung der Stadtbahn Grenoble erlaubten 1989 erstmals die Messung von Fahrgastwechselzeiten bei Niederflurstrassenbahnen der Gruppe 2 im täglichen Linienbetrieb und die Beobachtung der Fahrzeugauslastung. Die betreffenden Fahrzeugtypen eigneten sich für Untersuchung besonders, weil der Grenobler Wagen dank hoher Haltestellenperrons einen quasi ebenen Einstieg ermöglicht, während in Genf zwei Treppenstufen zu überwinden sind.

Die Einflüsse auf die spezifische Fahrgastwechselzeit (Fahrgastwechselzeit pro Person) lassen sich in drei Gruppen einteilen:

1. Merkmale des Einstieges: Türbreite, Einstiegshöhe

2. Merkmale des Fahrgastwechsel: Belegungsgrad des Fahrzeuges, Bewegungsrichtung, gegenseitige Behinderung von Ein- und Aussteigern

3. Merkmale der momentanen Betriebszeit: Tageszeit, Klimaverhältnisse

Resultate

Merkmale des Einstiegsraumes

Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Leistungsfähigkeit einer Fahrzeugtüre linear mit deren Breite verändert, bei einem Grundwert von 0,8 Pers. pro Meter Breite und Sekunde, unter der Voraussetzung nur einer Bewegungsrichtung und bei fehlender Höhendifferenz. Bezüglich des Einflusses der Höhendifferenz, welche beim Einstieg zu überwinden ist, stellt man eine Leistungseinbusse von rund 25% oder eine Erhöhung der Fahrgastwechselzeit um einen Drittel fest, sobald eine Treppenstufe überwunden werden muss.

Merkmale des Fahrgastwechsel

Beim Überschreiten eines kritischen Stehplatzbelegungsgrades im Türraum des Fahrzeuges steigt die Fahrgast-

wechselzeit sehr stark an. Es hat sich gezeigt, dass deren Verlängerung bereits bei einer Belegung von 2 Personen pro Quadratmeter spürbar ist. In Genf verdoppelt sie sich bei 3,5 Pers./m², während der Anstieg in Grenoble bescheidener ist. Das günstigere Verhalten des Grenobler Fahrzeuges dürfte vom grosszügigeren Auffangraum herrühren, der auch bei hoher Stehplatzbelegung gute Bewegungsmöglichkeiten bietet.

Ein deutlich schnelleres Aussteigen als Einsteigen konnte bei beiden Fahrzeugen nachgewiesen werden. Verantwortlich dafür dürften Rückstauerscheinungen im Fahrzeug, eher geordneteres Aussteigen sowie eine Geschwindigkeitsreduktion beim Betreten eines Raumes sein. Hinzu kommt bei Fahrzeugen mit Treppen ein langsameres Hinauf- als Hinabsteigen. Überraschenderweise war der Unterschied in Grenoble ausgeprägter als in Genf, obschon das Grenobler Fahrzeug keine Trittstufen aufweist.

Ein- und aussteigende Fahrgäste an der gleichen Türe behindern sich gegenseitig und erhöhen den Zeitbedarf pro Fahrgast. Bei beiden Fahrzeugen beträgt der Verlust rund 0,2 s/Pers.

Merkmale der Betriebszeit

Tageszeit und Klimaverhältnisse beeinflussen die Fahrgastwechselzeit ebenfalls. Zu letzterem liegen noch keine Untersuchungen vor. Bezüglich ersterem zeigt sich etwa folgende Geschwindigkeitsganglinie während eines Tages, bezogen auf das Mittel (Anhaltspunkte):

- Morgenspitze 91%
- Vormittag 110%
- Mittagsspitze 93%
- Nachmittag 113%
- Abendspitze 96%

Der Fahrgastwechsel dauert somit pro Person in der Morgenspitze 9% weniger lang als im Durchschnitt, am Nachmittag aber um 13% länger.

Fahrzeugauslastung

Die charakteristischen Endabteile über den Motordrehgestellen haben zur Befürchtung geführt, dass durch die fehlenden direkten Türen nach aussen und durch die notwendigen Treppen im Wageninnern ein Attraktivitäts- und Kapazitätsverlust entsteht. Die Beobachtungen zeigen indessen, dass die Endabteile bis zur Vollbelegung der Sitzplätze gleich gut oder eher besser ausgelastet sind als die tiefgelegenen Wagenteile. Von diesem Zeitpunkt an bleibt deren Auslastung zurück und erreicht einen Grenzwert von rund 2,7 Pers./m² in Genf (kurzes Endabteil) und 1,6 Pers./m² in Grenoble (langes Endabteil). Die maximalen Stehplatzdichten sind offensichtlich eine Funktion der Distanz im Innern bis zur nächsten Türe. Dies gilt gleichermassen für konventionelle Fahrzeuge mit teilweise recht langen türlosen Gängen, bei welchen ebenfalls nicht mit dem üblichen Bemessungswert von 4 P/m² gerechnet werden darf. Ein massgebender Kapazitätsverlust ist durch relativ kleine Endabteile bei Niederflurfahrzeugen somit nicht zu erwarten [8].

Verkehrsbetrieb oder Hersteller	*Land*	*Typ*	*Anzahl*	*Fussbodenhöhe HT*	*NT*	*Anteil NF %*	*erstes Baujahr*
Gruppe 1: Kleiner Niederfluranteil							
Baselland BLT	Schweiz	Be 4/8	19	855	325	14.4	1987 1)
Würzburg	Deutschland	GT 8/8 C	14	910	310	9.8	1988
Amsterdam	Niederlande	11 G	20	880	280	14.6	1989
Amsterdam	Niederlande	12 G	25	880	280	14.6	1989
Freiburg	Deutschland		11	910	270		1990
WSB	Schweiz	Be 4/8	7	880	390		(1992)
RBS	Schweiz	ABe 4/8	8	880	390		(1992)
RBS	Schweiz	Be 4/8	3	880	390		(1992)
BD	Schweiz	Be 4/8	5	880	390		(1992)
Sheffield	Grossbritannien		25	880	480	33.0	(1993)
Gruppe 2: Mittlerer Niederfluranteil							
Gruppe 2.1: Mittlerer Niederfluranteil, kleine Laufräder							
Genf TPG	Schweiz	Be 4/6	46	870	480	60.5	1984
Bern SVB	Schweiz	Be 4/8	12	710	350	71.6	1989
St-Etienne	Frankreich	Be 4/6	12	720	360	60.2	1991
FART	Schweiz	ABe 4/6	8	900	530	62.7	(1992)
SSIF	Italien	ABe 4/6	2	900	530	62.7	(1992)
Gruppe 2.2: Mittlerer Niederfluranteil. Loselaufräder							
Mailand/FIREMA	Italien		1	834	364	56.2	1984
Turin ATM/FIAT	Italien		1	830	300	52.5	1985
Grenoble SEMITAG	Frankreich		35	875	345	60.7	1987
Turin ATM	Italien		54	820	350	57.9	1990
Kassel	Deutschland		15	720	350	63.6	1990
Rom ATAC	Italien		60	680	350	53.5	1990
Paris	Frankreich		16	875	345	60.7	(1992)
Gruppe 3: Grosser Niederfluranteil							
SOCIMI	Italien	S-350	1	350	350	100.0	1989
Bremen	Deutschland	GT6N	1	350	300	100.0	1989
VÖV	Deutschland	GTW-ER	1	350	290	100.0	1991
VÖV	Deutschland	dGTW-ER	1	350	290	100.0	1991
BN	Belgien	BAS 2000	1	350	350	100.0	1990
München	Deutschland	GT6N	3	350	300	100.0	1991

Tabelle: Übersicht über die internationale Entwicklung der Niederflurtechnik bei Schienenfahrzeugen (Stand April 1991).

Legende:

HT	Hochflur-Teil	(1992)	Voraussichtliche Ablieferung 1992
NT	Niederflur-Teil	1)	Umbau aus Be 4/6 von 1978
NF	Niederflur		

Beförderung von Schwerbehinderten

Problemstellung

Die Mobilitätsbedürfnisse Behinderter unterscheiden sich nicht grundsätzlich von jenen der Nichtbehinderten. Hingegen sind ihre Anforderungen an das Transportmittel oft um ein Vielfaches höher. Allgemein geht man davon aus, dass je nach Definition zwischen 10 und 30% der Bevölkerung als bewegungsbehindert zu gelten haben. Der obere Wert enthält auch Personen mit Gepäck oder Kinderwagen. Rund 5% der bundesdeutschen Bevölkerung gehören zu den Gehbehinderten mit entsprechendem Ausweis. Gehbehinderte, welche beim klassischen öffentlichen Verkehr einen Sondertransportdienst erfordern, machen etwa 2% der Bevölkerung aus. Die Zahl der Rollstuhlfahrer schliesslich liegt bei 1,5 bis 2 ‰ der Bevölkerung (Stadt Zürich: Etwa 600 Rollstuhlfahrer). Mit Ausnahme der genannten 2% sind diese Behinderten in der Lage, den öffentlichen Nahverkehr mit mehr oder weniger Mühe zu benützen. Die

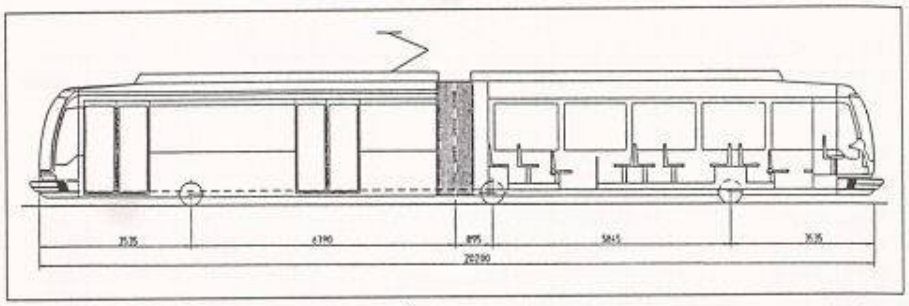


Bild 6. Entwurf des zweiteiligen VÖV-Niederflur-Stadtbahnwagens mit durchgehend tiefliegendem Wagenboden (Typ 3). Zeichnung VÖV

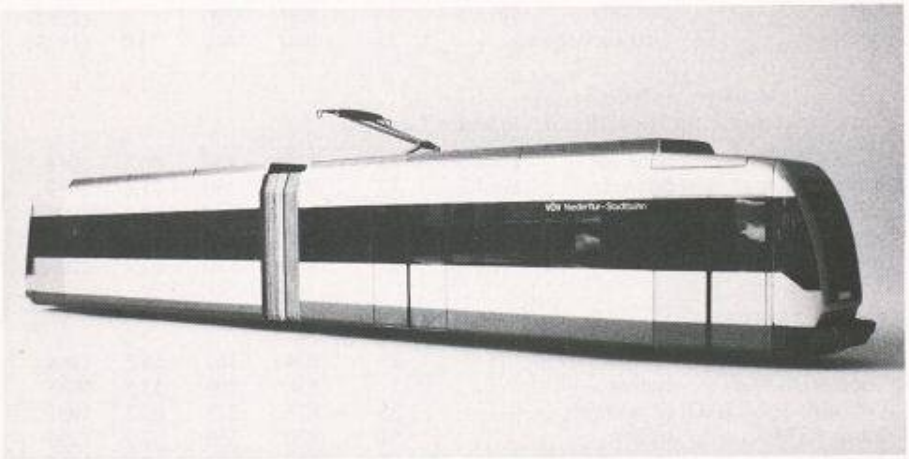


Bild 7. Modell des VÖV-Niederflur-Stadtbahnwagens. Foto VÖV

Bestrebungen richten sich vor allem darauf, namentlich den Rollstuhlfahrern die gleiche Dienstleistung zu ermöglichen. Diese Frage hat für den öffentlichen Verkehr aus folgenden Gründen ein besonderes Gewicht:

1. Die Rollstuhlfahrer gehören meist zur Gruppe der Zwangsbenützer des öffentlichen Verkehrs. Daraus wird eine gewisse Verpflichtung zu deren Beförderung abgeleitet.

2. Von der Öffentlichkeit wird der Wunsch an den öffentlichen Verkehr gerichtet, durch die Beförderung von Behinderten deren soziale Integration zu verbessern.

3. Rollstuhlfahrer sind, wenn sie befördert werden, ein seltenes Ereignis, welches in der Planung nur schlecht berücksichtigt werden kann und das sich meist störend auf den Betriebsablauf auswirkt.

4. Die Beförderung von Rollstuhlfahrern kann durch baulich-konstruktive Massnahmen ermöglicht werden, während dies für andere Behinderungen nicht zutrifft (zum Beispiel Altersblindheit).

Rollstuhlfahrer stellen somit nicht nur die höchsten Ansprüche an die öffentlichen Verkehrsmittel, sondern sie sind auch wegen Sozialtarifen für die unter Kostendruck stehenden Verkehrsbetriebe kommerziell problematisch, verursachen betrieblich die grössten Schwierigkeiten, und ihre Zahl ist, verglichen mit jener der übrigen Benützer, verschwindend klein. Eine mitmenschliche Haltung verlangt indessen gebieterisch die intensive Suche nach Lösungen.

Lösungsansätze

Ansatz Rollstuhllift

Im Nahverkehr herrschen zwei Stossrichtungen zur Linderung des Problems vor. Die erste berücksichtigt die Gegebenheiten des konventionellen Rollmaterials und der bestehenden Infrastruktur. Zur Anwendung gelangen Rollstuhllifte, welche ins Fahrzeug eingebaut werden. Diese Lösung erfordert keine Anpassung an den Haltestelleneinrichtungen. Hingegen verursacht sie Haltezeiten von einer bis sechs Minuten.

Lösungsansatz Niederflur

Im Linienbetrieb ist anzusteben, dass die Rollstuhlfahrer die Fahrzeuge aus eigener Kraft besteigen können. Ohne Hilfseinrichtungen liegt dafür die obere Grenze der Schwellenhöhe bei rund 30 bis höchstens 50 mm ([9] und [10]). Aus anderen Gründen (Orientierung von Blinden, Vermeidung von Stolperkanten) darf dieser Wert hingegen 30 mm nie unterschreiten. Der verbleibende Spielraum von 20 mm ist kleiner als die Toleranzen aus Perronhöhe, Federung des Fahrzeuges und Abnützung der Radreifen, was die Schwierigkeiten bei der Konkretisierung der Forderung zeigt. Die Beobachtung, wonach gut-trainierte Rollstuhlfahrer eine Höhendifferenz von bis zu 80 oder 100 mm ohne Hilfe überwinden können, darf in diesem Zusammenhang nicht massgebend sein, da sie die meisten Patienten ausschliessen würde [4]. Hingegen ist eine solche Höhendifferenz zulässig, wenn das Besteigen und Verlassen des Fahrzeugs wie in Grenoble durch eine kleine Blechrampe erleichtert wird, welche auf Wunsch des Fahrgastes ausgefahren wird.

Bewertung

Rollstuhllifte

Die zusätzliche Haltezeit bei Behindertenliften reicht aus, um den Betriebsablauf nachhaltig zu stören: Durch die Initialverspätung findet der Kurs mit dem Behindertentransport an den folgenden Haltestellen mehr Fahrgäste als üblich vor, wodurch sich die Fahrgastwechselzeit verlängert und die Verspätung weiter anwächst. Auf den Folgekurs warten weniger Fahrgäste als üblich, weshalb er zunehmend verfrüht sein wird. Er verkehrt vor seiner Fahrplanlage, wodurch sich sein Abstand zum nächsten Kursfahrzeug über das fahrplanmässige Mass hinaus vergrössert und bei diesem wiederum einen erhöhten Fahrgastandrang verursacht [11]. Im hierzulande üblichen Linienverkehr mit kurzen Kursfolgen und knapp kalkulierten Wendezeiten können somit Rollstuhllifte in den Fahrzeugen nicht akzeptiert werden. Zu bedenken ist dabei auch, dass nicht nur die 99,9% der anderen Fahrgäste eine Verzögerung erleiden, sondern dass der Rollstuhlfahrer durch deren Verärgerung und entsprechende Äusserungen stark belastet werden kann. Ob die gewünschte soziale Integration auf diesem Weg erreicht wird, ist zumindest fraglich.

Rollstuhlbeförderung in Niederflurfahrzeugen

Gemäss eigenen Beobachtungen in Grenoble stört das Einsteigen der Rollstuhlfahrer in ein Niederflurfahrzeug den Betriebsablauf nicht. Im Fahrzeug selbst dagegen stellen die Rollstühle eindeutig Hindernisse dar. Befinden sich gleichzeitig zwei Rollstühle im selben Türraum, so fällt die betreffende Türe für den Fahrgastwechsel aus. Dadurch werden die benachbarten Türen und Fahrzeugbereiche zusätzlich belastet, was die Fahrgastwechsel- beziehungsweise die Haltezeit erhöht. Ungünstige Auswirkungen des Rollstuhltransportes in Niederflurfahrzeugen entstehen somit weniger durch die Rollstühle selber als vielmehr durch deren Einfluss auf den übrigen Fahrgastwechsel. Aus betrieblicher Optik können Rollstühle deshalb in der Hauptverkehrszeit nicht unbesehen zugelassen werden.

Weitere Anpassungen

Ein Rollstuhlfahrer kann den öffentlichen Verkehr nur dann alleine benützen, wenn alle Abschnitte seines Weges von Haustür zu Haustür auf ihn ausgerichtet sind. Allein im Nahverkehr würde dies eine Anpassung der Zufahrten, die Erreichbarkeit aller Automatentasten und des Münzeinwurfs, die Lesbarkeit der Fahrgastinformation usw. verlangen. Nicht auszuschliessen sind zudem strengere Bestimmungen bezüglich der maximal zulässigen Beschleunigungs- und Kurvengeschwindigkeitswerte, was die Fahrzeiten verlängern würde.

Die Frage, ob sich dieser Aufwand rechtfertigt oder ob man dem Rollstuhlfahrer mit weniger Geld einen separaten, für ihn bequemeren Transportdienst anbieten kann, soll hier nicht weiter diskutiert werden. Wenn man sich aber zur Rollstuhlbeförderung entschliesst, so dürfen bei der Abstimmung aller Komponenten des Systems auf diese Fahrgastgruppe keine Nachteile für die übrigen Fahrgäste und die Betriebsführung entstehen.

Schlussbemerkungen

Folgerungen

Die beiden gestellten Fragen nach dem Nutzen der Niederflurtechnik für die Produktivitätssteigerung und die Behindertenbeförderung können somit folgendermassen beantwortet werden:

Betriebsführung

Durch einen echten Tiefeinstieg kann eine Verkürzung der Fahrgastwechselzeit um rund einen Drittel erwartet werden. Dies bedeutet für eine durchschnittliche Strassenbahnlinie (ca. 9 km, 22 Haltestellen) eine Fahrzeitverkürzung von rund einer Minute (3%) oder eine Umlaufzeitverkürzung von rund zwei Minuten (geschätzt anhand von Messfahrten in Grenoble). Bereits eine einzige Treppenstufe macht dies zunichte. Um den vollen betrieblichen Nutzen eines Tiefeinstieges zu erreichen, muss deshalb die Höhendifferenz zwischen Haltestellenkante und Wagenboden auf unter rund 100 mm gesenkt werden. Bei einer minimalen Fussbodenhöhe der Fahrzeuge von rund 350 mm ist demnach eine Perronhöhe von mindestens 250 mm nötig. Die heute in der Schweiz ausgeführten Perrons liegen um 100 bis 150 mm unter diesem Wert. Wie die Stadtbahn Grenoble zeigt, kann die Anhebung bei guter Gestaltung städtebaulich verantwortet werden. Solche Haltestelleninseln erlauben indessen kein Betreten an jeder beliebigen Stelle und müssen mit definierten Zugängen ausgestattet werden. Dadurch vergrössert sich die bauliche Länge, aber auch die Haltestellensicherheit. Bei einer neuen Haltestelleninfrastruktur ist sicherzustellen, dass der Einsatz älterer, konventioneller Fahrzeuge möglich bleibt, da diese noch lange weiterverwendet werden müssen.

Beförderung von Rollstuhlfahrern

Die Beförderung von Rollstuhlfahrern in konventionellen Linienfahrzeugen mit Behindertenliften ist aus betrieblichen Gründen klar abzulehnen. Unproblematischer sind diesbezüglich Niederflurfahrzeuge, wobei auch dort auf die Rollstuhlbeförderung in der Hauptverkehrszeit möglichst zu verzichten ist. Sobald Komponenten von Fahrzeugen oder Anlagen speziell auf die Bedürfnisse von Rollstuhlfahrern ausgerichtet werden, ist vorgängig im Sinne eines Vergleichskonzeptes ein den Bedürfnissen entsprechender Ersatzdienst zu prüfen (Behindertentaxis). Ein Entscheid gegen die Rollstuhlbeförderung darf nicht als behindertenfeindlich interpretiert werden, da er das Resultat eines Optimierungsprozesses ist, bei welchem die Bedürfnisse der Rollstuhlfahrer ein, aber nicht das einzige Beurteilungskriterium darstellen. Das Recht von Schwerstbehinderten auf eine Mobilität, welche jener von gesunden Menschen gleichkommt, steht jedenfalls ausser Diskussion. Nicht vergessen werden dürfen schliesslich die grossen Verbesserungen, welche mit der Niederflurtechnik zugunsten der übrigen Bewegungsbehinderten erzielt werden.

Ausblick

Die Entwicklung von Niederflurfahrzeugen für den schienen- und strassengebundenen öffentlichen Nahverkehr kommt sowohl dem Postulat der Betriebsrationalisierung als auch jenem der Komforterhöhung stark entgegen. Die Vorteile sind so überzeugend, dass diesen neuen Fahrzeuggenerationen die Zukunft gehört. Die Begeisterung darf nicht über viele offene Detailprobleme hinwegtäuschen. Noch immer liegen keine den konventionellen Fahrzeugen ebenbürtige Langzeiterfahrungen vor. Die oben postulierten Anpassungen an der Haltestelleninfrastruktur können zum allseits gewünschten neuen Erscheinungsbild und zu einem selbstbewussteren Auftreten des öffentlichen Verkehrs genutzt werden. In der Praxis wird sich aber zeigen, dass dies im konkreten Einzelfall keineswegs unwidersprochen hingenommen wird, sobald dafür Fahrbahnverengungen, Haltestellenverlängerungen oder höhere Haltestellenkanten erforderlich sind, welche das Stadtbild beeinflussen oder die Velo- und Autofahrer behindern.

Literatur

[1] H. Ahlbrecht, Dr. A. Müller-Hellmann: Renaissance der Niederflurfahrzeuge bei Strassen- und Stadtbahnen; in: Der Nahverkehr 5/87, S.32 bis 40

[2] H. Hondius: OePNV-Niederflurfahrzeuge im Kommen; in: Stadtverkehr 2/89, S.7 bis 18

[3] Vortrag von W. Prasse anlässlich der Arbeitstagung «Mittel und Wege zur Beschleunigung der Fahrgastabfertigung» des Verbandes öffentlicher Verkehrsbetriebe in Kassel vom 28.Juni 1956

[4] Dr. G. Girnau, Dr. A. Müller-Hellmann: OePNV auch für Ältere und Behinderte; Der Nahverkehr 4/89, S. 10 bis 18

[5] P. Lehmann: Das Würzburger Konzept für Strassenbahn-Niederflurwagen; in: Der Nahverkehr 4/88, S. 32 bis 40

[6] Neuerungen bei der Baselland Transport AG; in: Schweizer Eisenbahn-Revue 6/1986, S. 198 bis 199

[7] H. Berger: Niederflur-Doppelgelenk-Tramwagen für die Verkehrsbetriebe Bern; in: Der Nahverkehr 5/88, S. 70 bis 74

[8] H. Iffländer, U. Weidmann: Niederflur-Vorteil für alle! In: Der Nahverkehr 4/89, S. 71 bis 77

[9] Schweizerischer Invalidenverband: Behindertengerechtes Bauen, Norm SN 521 500 mit Leitfaden, Olten 1989

[10] G. Oswald: Behinderte im Strassenverkehr, Arbeitsbericht des IVT der ETH Zürich, Dezember 1986

[11] Dr. W. Berg: Innerbetriebliche Gesetzmässigkeiten des öffentlichen Linienbetriebes, Dissertation am IVT der ETH Zürich, März 1982, IVT-Bericht 82/2

Adresse des Verfassers: *Ulrich Weidmann*, Dipl. Ing. ETH/SIA, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT-ETHZ), ETH Hönggerberg, 8093 Zürich.