

1812

## Verkehrsorganisation – ein wesentlicher Intensivierungsfaktor für den städtischen Nahverkehr

(vom Autor gekürzte Fassung)

### 1. Die Intensivierung im städtischen Nahverkehr

Wie in allen anderen Bereichen der Volkswirtschaft erfordern auch die im städtischen Nahverkehr jetzt und in den nächsten Jahren anstehenden Aufgaben in Anbetracht der von den materiellen und personellen Fonds her gegebenen Möglichkeiten das ständige Bemühen um die Intensivierung aller Prozesse. Ziel muß es für den Transporttechnologien sein, die erforderlichen Verkehrsleistungen mit dem geringsten Aufwand an Arbeitskräften und Fahrzeugen in der erforderlichen Qualität zu erbringen.

Unter Zusammenfassen bekannter Beziehungen /1/ ergibt sich die Anzahl der Arbeitskräfte im Fahrdienst zu

$$n_{Ak} = \frac{1}{60 W \eta_s} \sum \frac{Q_{massg} t_D t_{fu}}{P \gamma_{massg} \bar{\eta}_v \bar{\eta}_d} \quad (1)$$

Die Summe in Gl. (1) ist für jede Linie über alle Tage einer Woche und für alle Linien des Netzes zu errechnen.

Die Anzahl der im Bestand benötigten Züge ist wiederum in Anlehnung an /1/

$$n_Z = \frac{1}{60 E_{ök}} \sum \frac{Q_{massg} t_D}{P \gamma_{massg}} \quad (2)$$

Gl. (2) ist ebenfalls für alle Linien eines Netzes zu bilden. Es darf hier aber nur für den maßgebenden Umlauf in der Spitzenstunde gerechnet werden. Mithin gilt für Gl. (2) – nicht aber für Gl. (1) – die Randbedingung

$$\sum t_D = \frac{t_{fu}}{\eta_{v\ massg}} \quad (3)$$

Von den auf die Anzahl der Arbeitskräfte und der benötigten Züge nach den Gln. (1) bis (3) wirkenden Einflußfaktoren ergeben sich die Wochenarbeitszeit  $W$  und der Wirkungsgrad  $\eta_s$  im wesentlichen aus gesetzlichen oder kollektivvertraglichen Festlegungen und das Platzangebot  $P$  aus den Fahrzeugabmessungen. Ein hoher ökonomischer Einsatzkoeffizient  $E_{ök}$  setzt eine intensive Instandhaltungstechnologie voraus, worauf an anderer Stelle /2/ eingegangen wird. Im Zusammenhang mit den 1977 eingeführten sozialpolitischen Maßnahmen sind vielfach eine vorteilhaftere Anpassung an die örtlichen und zeitlichen Schwankungen des Verkehrsaufkommens realisiert sowie eine rationellere Fahrplan- und Dienstplangestaltung erreicht worden. Beispiele dafür werden in /3/ vorgestellt. Damit werden aber die maßgebende Verkehrsstromstärke  $Q_{massg}$ , die Ausdehnung des Zeitabschnitts mit konstantem Ver-

kehrseinsatz  $t_p$ , die maßgebende Platzausnutzung  $\gamma_{massg}$ , der Fahrplanwirkungsgrad  $\eta_v$  und der Dienstplanwirkungsgrad  $\eta_d$  beeinflusst.

Nicht erwähnt wurde bisher als einzige Größe aus den Gln. (1) bis (3) die Reisezeit im Umlauf  $t_{fu}$ . Die durch ihre Senkung denkbaren Ansätze zu einer Intensivierung sollen Gegenstand dieses Beitrags sein. Daß der Reisezeit und der ihr umgekehrt proportionalen Reisegeschwindigkeit in ihrem Einfluß auf die Arbeitsproduktivität auch international eine zunehmende Bedeutung beigemessen wird, beweist u. a. ein umfassender Aufsatz /4/.

Tafel 1. Verwendete Formelzeichen

$n_{Ak}$	Anzahl der Arbeitskräfte
$W$	gesetzliche Wochenarbeitszeit
$\eta_s$	Wirkungsgrad zum Berücksichtigen von Arbeitsstundenverlusten durch Urlaub, Krankheit usw.
$Q_{massg}$	Verkehrsstromstärke im für den Verkehrseinsatz jeweils maßgebenden Querschnitt einer Linie
$t_D$	Ausdehnung des Zeitabschnitts, für den $Q_{massg}$ und $\gamma_{massg}$ gültig sind (in h)
$t_{fu}$	Reisezeit im Umlauf (in min)
$P$	Platzangebot eines Zugs
$\gamma_{massg}$	Platzausnutzung im für den Verkehrseinsatz jeweils maßgebenden Querschnitt einer Linie
$\bar{\eta}_v$	mittlerer Fahrplanwirkungsgrad
$\bar{\eta}_d$	mittlerer Dienstplanwirkungsgrad
$n_Z$	Anzahl der Züge
$E_{ök}$	ökonomischer Einsatzkoeffizient als Quotient aus maximalem Einsatz nach Fahrplan zum Fahrzeugbestand
$\eta_{v\ massg}$	Fahrplanwirkungsgrad für den Zug mit der maßgebenden (kürzesten) Umlaufzeit
$t_{BLSA}$	mittlere Behinderungszeit vor einer Lichtsignalanlage
$t_s$	Sperrzeit einer Lichtsignalanlage
$t_p$	Periodendauer (Umlaufzeit) einer festzeitgesteuerten Lichtsignalanlage
$t_{az}$	Anfahrzeitzuschlag
$t_{bz}$	Bremzeitzuschlag
$W(S)$	Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Zug nicht in der auf sein Eintreffen folgenden Freigabezeit fahren kann
$t_{BGW}$	Behinderungszeit vor einer in Koordination betriebenen Lichtsignalanlage
$k$	ganzzahlige Konstante, gibt an, um wieviel Perioden das öffentliche Verkehrsnetztel gegenüber dem allgemeinen Straßenverkehr zurückfällt
$s_K$	Abstand zweier Knotenpunkte mit koordinierter Schaltung der Lichtsignalanlagen
$v_g$	Fahrgeschwindigkeit des öffentlichen Verkehrsmittels
$v_s$	Fahrgeschwindigkeit des allgemeinen Straßenverkehrs
$t_h$	Haltestellenaufenthaltszeit

(Fortsetzung von S. 365)

chersystems. Gerade auf dem letztgenannten Gebiet ist z. Z. erfreulicherweise eine echte Aktivierung eingetreten, die – auf internationalen Erfahrungen aufbauend und auch den ersten praktischen Erfahrungen in Erfurt folgend – in den nächsten Jahren grundsätzliche Umstellungen in den Nahverkehrsbetrieben auslösen wird. Darüber wird allerdings zweckmäßigerweise in einem anderen Rahmen weiter zu beraten und zu diskutieren sein, wie er beispielsweise gegenwärtig durch die Arbeit der Versuchs- und Entwicklungsstelle des Kraftverkehrs (VESK) gegeben ist.

Hier kam es darauf an, mit einigen praktischen Beispielen, die eben nur Beispiele sein konnten, Anregungen zu vermitteln, auf welche

Weise die sinngemäße Anwendung verschiedener Methoden der Intensivierung und Rationalisierung eine Leistungssteigerung auch in der eigentlichen Verkehrsgestaltung ermöglicht. Diese muß bereits in der Planungsphase beginnen und sich bis ins letzte Detail der Fahr- und Dienstplangestaltung durchsetzen. Insoweit wurden sicherlich keine neuen wissenschaftlichen Kenntnisse verbreitet, wohl aber – und auch das ist ja eine Aufgabe der Kammer der Technik und der diesjährigen Fachtagung – im Sinn des Erfahrungsaustauschs praktische Erkenntnisse vermittelt und hoffentlich damit auch einige Denkanstöße gegeben. Gleichzeitig sollte kundgetan werden, daß auch die im Verkehr Tätigen alles unternehmen, um durch ihre Arbeit an der Erfüllung der durch Partei und Regierung gestellten Hauptaufgabe mitzuwirken. EDA 9179



## 2. Die Reisezeit und ihre Bestandteile

Die Reisezeit setzt sich zusammen aus der Fahrzeit, der Haltestellenaufenthaltszeit und den Fahrzeitzuschlägen, die meist nach Erfahrungen zum Ausgleich von Behinderungen im Verkehrsablauf gegeben werden.

Bei der Fahrzeit, die üblicherweise je nach den Bedingungen mit 0,5 bis 0,8 der Reisezeit deren größten Anteil ausmacht, sind vor allem bei der Straßenbahn (aber auch beim Kraftomnibus) durch den Einsatz von Fahrzeugen mit leistungsfähigeren Motoren im letzten Jahrzehnt beachtliche Kürzungen erzielt worden. Damit ist ein Stand erreicht worden, der außer an den Stellen, wo die Fahrgeschwindigkeit durch bauliche Maßnahmen erhöht werden kann, weitere Verbesserungen nur noch mit einem unvermeidbar hohen Aufwand erreichen läßt.

Nicht verschwiegen werden soll, daß durch Vergrößern der Haltestellenabstände ein spürbares Senken der Fahrzeit möglich wäre. Deshalb wird das auch für Schnellstraßenbahnen gefordert /5/ /6/. Auf bestehenden Streckenabschnitten läßt sich das jedoch wegen der langfristig herausgebildeten Gegebenheiten und wegen der negativen Auswirkungen auf die Gehzeit nur ausnahmsweise realisieren.

Die Haltestellenaufenthaltszeit, deren Anteil an der Reisezeit im allgemeinen bei 0,15 bis 0,25 liegt, hat — bezogen auf den ein- oder aussteigenden Fahrgast — über Jahrzehnte keine nennenswerten Veränderungen erfahren. Solche sind auch nicht zu erwarten. Dabei soll allerdings nicht übersehen werden, daß international immer stärker auf eine Verminderung der Trittstufenhöhe übergegangen wird /7/. Selbst wenn teilweise vielleicht etwas überspitzt Maße von 15 cm gefordert werden, sollten auf lange Sicht Werte von 20 cm angestrebt und 25 cm in keinem Falle (auch nicht von der Straßenbahn zur untersten Trittstufe) überschritten werden.

Die Fahrzeitzuschläge und die sie begründenden Behinderungszeiten nehmen insofern eine besondere Rolle ein, als sie nicht wie Fahrzeit und Haltestellenaufenthaltszeit notwendigerweise mit dem Beförderungsprozeß im städtischen Nahverkehr verbunden sind.

Sie treten nur dort auf, wo von der Verkehrsorganisation her aus subjektiven oder objektiven Gründen die der sozialistischen Verkehrspolitik entsprechende Bevorzugung des öffentlichen Verkehrsmittels anderen Gesichtspunkten untergeordnet wird. Deshalb verwundert es nicht, daß der Anteil der Behinderungszeit an der Reisezeit außerordentlich stark schwankt und — von Ausnahmen abgesehen — für die einzelnen Streckenabschnitte den Bereich 0,0 bis 0,4 überstreicht. Offensichtlich liegen hier die größten Reserven für ein Senken der Reisezeit und damit für die Intensivierung. Darauf soll im folgenden näher eingegangen werden. Vorher sollen noch je ein typisches Beispiel für die Entwicklung der Reisezeit in den verflochtenen 25 Jahren (Tafel 2) und ihre Zusammensetzung unter verschiedenen Bedingungen der Lichtsignalisierung (Bild 1) vorgestellt werden.

## 3. Die Behinderungszeiten

Eine Analyse des Fahrtverlaufs im Straßenraum eingesetzter öffentlicher Nahverkehrsmittel zeigt besonders nach der grundsätzlichen Gewährung der Vorfahrt für Straßenbahnen und dem Einräumen des Vorrangs für die Haltestellen verlassende Kraftomnibusse, daß die Behinderungszeiten vor allem an Lichtsignalanlagen zustande kommen. Mit deren zunehmender Installation ist auf bestimmten

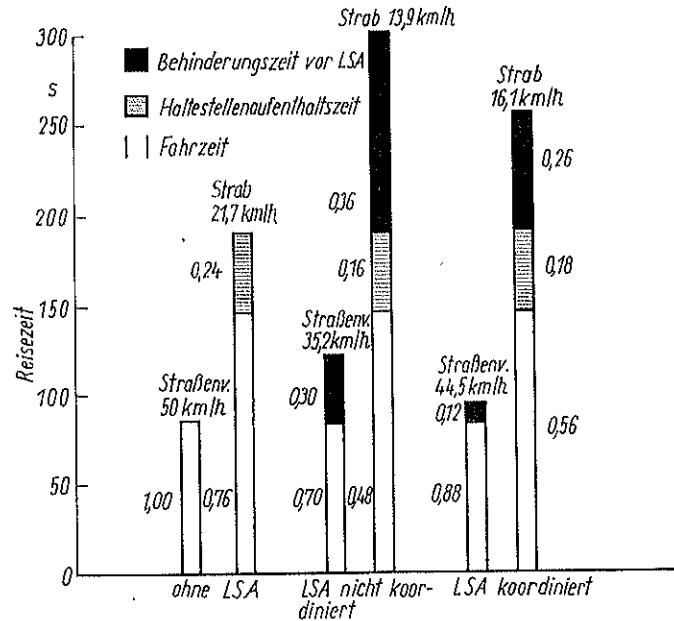


Bild 1. Reisezeitanteile (Dresden, Gruner Straße stadtwärts; Periodendauer  $t_p = 75$  s)

Streckenabschnitten (z. B. Nr. 2 in Tafel 2) die Reisezeit trotz Verdoppelung des auf den Platz bezogenen Energieverbrauchs und Verdreifachung der ebenso berechneten Motorleistung gestiegen.

Die mittlere Behinderungszeit vor einer Lichtsignalanlage ergibt sich unter Vernachlässigen der Übergangsbedingungen beim Signalbildwechsel für eine Festzeitsteuerung zu

$$\bar{t}_{\text{BLSA}} = \frac{t_s}{t_p} \left( \frac{t_s}{2} + t_{uz} + t_{bz} \right) + W(S) t_p \quad (4)$$

Für konkrete Bedingungen können die Behinderungszeiten z. B. auch aus Bild 4 abgelesen werden. Bei den im allgemeinen vorherrschenden Verhältnissen liegen die Werte bei etwa 25 bis 40 s, also beachtlich hoch.

Nun werden, um die Behinderungszeiten vor Lichtsignalanlagen für den allgemeinen Straßenverkehr zu senken, diese koordiniert geschaltet. An den Haltestellen fallen dann aber die öffentlichen Verkehrsmittel, selbst wenn sie mit der Geschwindigkeit der Kraftfahrzeuge Schritt zu halten vermögen, aus der Welle heraus. Die so zustande kommenden Behinderungszeiten können in Anlehnung an /1/ errechnet werden zu

$$t_{\text{BGW}} = k t_p + \frac{s_K (v_0 - v_s)}{v_0 v_s} - t_{uz} - t_{bz} - t_h \quad (5)$$

Selbst wenn durch die konkreten Bedingungen eine hohe Schwankungsbreite erzeugt wird, findet man dann, wenn sich eine Haltestelle zwischen zwei Knotenpunkten mit koordinierter Schaltung befindet, üblicherweise Behinderungszeiten von ungefähr 25 bis 55 s vor. Sie liegen also im gleichen Bereich wie bei nicht koordinierten Anlagen, bei einer hohen Periodendauer sind sie sogar größer.

Tafel 2. Reisezeit und Reisegeschwindigkeit auf der Strecke der Dresdener Straßenbahnlinie 2.

Nr.	Streckenabschnitt	Länge km		Davon besonderer Bahnkörper km		Festzeit-gesteuerte Lichtsignalanlage		Mittlerer Haltestellenabstand m		Reisezeit min		Reisegeschwindigkeit km/h	
		1953	1978	1953	1978	1953	1978	1953	1978	1953	1978	1953	1978
1.	Cotta—Paul-Grüner-Str.	3,5	3,5	— <sup>1)</sup>	— <sup>1)</sup>	—	3 <sup>2)</sup>	500	500	13	11	16,1	19,1
2.	Paul-Grüner-Str.—Fetscherplatz	3,6	3,7	—	3,0 <sup>2)</sup>	—	4 <sup>2)</sup>	514	528	13	15	16,6	14,8
3.	Fetscherplatz—Laubegast	5,8	5,8	— <sup>1)</sup>	— <sup>1)</sup>	—	1	483	483	19	17	18,3	20,5
	Gesamtstrecke	12,9	13,0	— <sup>1)</sup>	3,0 <sup>1)2)</sup>	—	8	496	500	45	43	17,2	18,1

<sup>1)</sup> kurzer besonderer Bahnkörper im Endstellenbereich vernachlässigt

<sup>2)</sup> einschließlich einer nur vom Anliegerverkehr genutzten Straße

<sup>3)</sup> davon 2 ohne dazwischenliegende Haltestelle koordiniert

<sup>4)</sup> koordiniert mit dazwischenliegenden Haltestellen

Interessant sind die bisher meist nur verbal beschriebenen und der Intensivierung widersprechenden ökonomischen Auswirkungen der Lichtsignalanlagen. Das soll durch Anwenden der Gl. (1) bis (3) gezeigt werden. Wenn vereinfachend für eine Lichtsignalanlage eine Behinderungszeit von 30 s angesetzt wird, führt das zum Erhöhen der Reisezeit im Umlauf von 1 min. Der Quotient  $Q_{\text{massg}}/(P \gamma_{\text{massg}})$  soll zunächst so bemessen sein, daß in jeder Fahrtrichtung 1 Fahrt/h erfolgt. Um die komplizierte Summenbildung in den Gl. (1) und (2) hier zu umgehen, soll zum Bestimmen der Ausdehnung  $t_D$  von einer mittleren wöchentlichen Einsatzzeit der lt. Fahrplan verkehrenden Fahrzeuge von 90 h ausgegangen werden. Da Lichtsignalanlagen vielfach abends und nachts sowie in den Morgenstunden am Wochenende ausgeschaltet werden und somit die öffentlichen Verkehrsmittel nicht behindern können, soll nur mit  $t_D = 76$  h gerechnet werden. Ferner seien erfahrungsgemäß  $W = 42$  h;  $\eta_s = 0,8$ ;  $\bar{\eta}_v = 0,8$  und  $\bar{\eta}_d = 0,9$ . Das führt nach Gl. (1) zu

$$n_{\text{Ak}} = \frac{1}{60 \cdot 42 \cdot 0,8} \cdot \frac{1,76 \cdot 1}{0,8 \cdot 0,9} = 0,0524 \text{ VBE.} \quad (6)$$

Dieser Betrag erscheint gering. Rechnet man aber entsprechend den häufig anzutreffenden Bedingungen nur mit 8 bis 12 Fahrten/Spitzenstunde-Richtung, erfordert jede Lichtsignalanlage bereits 0,42 bis 0,63 zusätzliche Arbeitskräfte im Fahrdienst, bei gelegentlich vorkommenden noch höheren Belegungen entsprechend mehr. Beim Anwenden der Gl. (2) und (3) seien  $E_{\text{ök}} = 0,75$  und wegen der straffer bemessenen Wendezeit in der Spitzenstunde  $\eta_{v \text{ massg}} = 0,82$ . Nach Einsetzen der Gl. (3) in Gl. (2) ergibt sich

$$n_z = \frac{1}{60 \cdot 0,75} \cdot \frac{1 \cdot 1}{0,82} = 0,0271 \text{ Züge.} \quad (7)$$

Wird auch hier von 8 bis 12 Fahrten/Spitzenstunde-Richtung ausgegangen, erhöht jede Lichtsignalanlage den Fahrzeugbestand um 0,22 bis 0,33 Züge.

Werden für eine Arbeitskraft im Fahrdienst einschließlich des Sozialversicherungsanteils eine Lohnsumme von 12 000 M/a, für einen Straßenbahn-Großzug eine Abschreibung in Höhe von 36 000 M/a und für einen Gelenk-Kraftomnibus eine solche von 32 000 M/a angesetzt, erfordert jede Lichtsignalanlage bei der Rechnung zugrunde gelegten mäßigen Belegung eine finanzielle Mehrbelastung des Verkehrsbetriebs von 13 000 bis 19 000 M/a beim Einsatz von Straßenbahn-Großzügen und 12 000 bis 18 000 M/a beim Einsatz von Gelenk-Kraftomnibussen.

Befindet sich eine Lichtsignalanlage nicht unmittelbar an einer Haltestelle und sind keine Vorsignale vorhanden, tritt noch zusätzlicher Energieverbrauch für alle zum Stehen oder Abbremsen gezwungenen Fahrzeuge auf. Wird z. B. für die Anfahrt eines Straßenbahn-Großzugs 1,2 kWh angesetzt und angenommen, daß 0,8 der Züge davon betroffen werden, ergibt eine Lichtsignalanlage bei einer Belegung von 8 bis 12 Fahrten/Spitzenstunde-Richtung einen jährlichen Mehrverbrauch von 60 000 bis 90 000 kWh. Das läßt bei einem mittleren Strompreis von 0,145 M/kWh die Kosten um weitere 9 000 bis 13 000 M/a steigen.

Selbstverständlich vermag die hier praktizierte Mittelwertrechnung die komplizierten Verhältnisse im konkreten Einzelfall nicht wiederzuspiegeln. Ihre Aussagen sind deshalb nur zutreffend, wenn man eine möglichst große Anzahl von Lichtsignalanlagen betrachtet.

Bei Kraftomnibussen und Obussen, die von einer untergeordneten Straße her in einen Knotenpunktbereich einfahren, ist allerdings zu beachten, daß durch das Installieren der Lichtsignalanlage die sich aus dem Gewähren der Vorfahrt ergebenden Behinderungszeiten wegfallen. Unter bestimmten Bedingungen können diese größer als die durch die Lichtsignalanlage ausgelösten sein, wodurch die Veränderung insgesamt nicht der Intensivierung entgegenwirkt.

Es entspricht ihrer Bedeutung, wenn den Behinderungszeiten vor Lichtsignalanlagen in diesem Beitrag ein beachtlicher Umfang eingeräumt wird. Allerdings treten auch an einigen anderen Stellen Behinderungen der öffentlichen Verkehrsmittel ein. Neben dem bereits erwähnten Gewähren der Vorfahrt durch Kraftomnibusse und Obusse, die in untergeordneten Straßen verkehren, sind als weitere Ursache hauptsächlich das Einordnen von Verkehrsteilnehmern, die selbst die Vorfahrt zu beachten haben, im Gleisbereich von Straßenbahnen sowie das Einbeziehen öffentlicher Verkehrsmittel in die Warteschlangen vor in ihrer Durchlaßfähigkeit für den allgemeinen Straßenverkehr erschöpften Verkehrsanlagen zu nennen. Selbst wenn die letztgenannte Erscheinung gegenwärtig nur

vereinzelt in den Spitzenzeiten des Verkehrs auftritt, sind die sich daraus ergebenden Reisezeitverlängerungen gerade in dieser Zeit besonders störend.

#### 5. Die Verkehrsorganisation als Mittel zum Senken der Behinderungszeiten

Wie die bisherigen Ausführungen eindeutig zeigten, erfordert die Intensivierung des Beförderungsprozesses im städtischen Nahverkehr ein Senken der Behinderungszeiten. Das gilt um so mehr, als durch die geplante Zunahme der Lichtsignalanlagen, deren vorgesehene Koordinierung und die aus Gründen der Durchlaßfähigkeit für den allgemeinen Straßenverkehr zu erwartende Erhöhung der Periodendauer ein Vergrößern der Behinderungszeiten zu erwarten ist. Hier liegt eine große Aufgabe der Verkehrsorganisation, die im Gegensatz zur derzeit vorherrschenden Gepflogenheit auch an den Lichtsignalanlagen vom Grundsatz der vorrangigen Behandlung der öffentlichen Verkehrsmittel auszugehen hat.

##### 4.1. Möglichkeiten bei koordiniert gesteuerten Lichtsignalanlagen

Mehrfach ist bereits erörtert worden, beim Koordinieren von Lichtsignalanlagen vom Zeit-Weg-Verhalten der öffentlichen Verkehrsmittel auszugehen und diesen somit eine behinderungsfreie „Grüne Welle“ zu gewährleisten. Wenn zwischen zwei Knotenpunkten eine Haltestelle liegt, wie das als Regelfall anzusehen ist, führt das nach einer hier nicht wiedergegebenen Beispielmessung für typische Verhältnisse zu Knotenpunkt- (und damit Haltestellen-) abständen von 850 bis 1300 m sowie zu einer Fahrgeschwindigkeit des allgemeinen Straßenverkehrs von 85 bis 105 km/h. Andernfalls geht die Koordinierung für den allgemeinen Straßenverkehr verloren. Beides ist schon aus Gründen der Verkehrssicherheit und des Umweltschutzes nicht praktikabel.

Wesentlich günstiger wird bekanntlich die Situation, wenn es gelingt, zwischen zwei koordiniert betriebenen Lichtsignalanlagen zwei Haltestellen anzuordnen. In Abhängigkeit von den durch den Knotenpunktabstand, die Geschwindigkeit des öffentlichen Verkehrsmittels und des allgemeinen Straßenverkehrs, die Periodendauer (Umlaufzeit) der Lichtsignalanlage und die Haltestellenaufenthaltszeit bestimmten konkreten Bedingungen lassen sich hier meist Lösungen ohne oder mit nur geringen Behinderungszeiten für Straßenbahnen, Obus und Kraftomnibus finden. Bei längeren Koordinierungsstrecken kann das durch den ständigen Wechsel der Haltestellenlage vor und hinter dem Knotenpunkt gesichert werden [6]. Zwischen zwei Lichtsignalanlagen liegen dadurch jeweils keine oder zwei Haltestellen, niemals nur eine.

Leider wird diese Möglichkeit auch bei Neubauten fast immer verfallen. Die Überlegungen zum Aufstellen des Signalprogramms setzen ein, wenn an der baulichen Gestaltung nichts mehr zu ändern ist. Das darf künftig nicht mehr so sein.

Auf Straßen, auf denen die Lichtsignalanlagen koordiniert betrieben werden oder werden sollen, sind alle Möglichkeiten zu nutzen, die Haltestellen so anzuordnen, daß nur selten eine zwischen zwei Knotenpunkten vorhanden ist.

Dort, wo das aus der örtlichen Situation heraus — etwa wegen stellenweise ungenügender Straßenbreite oder wegen der Umsteigebeziehungen — nicht möglich ist, gibt es nur unter besonderen Bedingungen noch Chancen, die Behinderungszeiten zu senken.

Wenn zu bestimmten Tageszeiten eine ausgesprochene Flutrichtung des Verkehrs vorhanden ist, kann mit Vorteil die Koordinierung nur in dieser vor sich gehen. Für die Hin- und Gegenrichtung können auch unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten für den allgemeinen Straßenverkehr angewendet werden. Beide Varianten führen zum Vermindern der Behinderungszeiten in der Lastrichtung bei gleichzeitigem Erhöhen in der Gegenrichtung. Der zeitliche Nutzen wird also für den überwiegenden Anteil der Fahrgäste spürbar, nicht aber hinsichtlich der Intensivierung, da die Reisezeit im Umlauf unverändert bleibt.

Ist der Quer- und Abbiegeverkehr nur schwach, kann das öffentliche Verkehrsmittel auf Anforderung eine frühere oder längere Freigabe erhalten. Dadurch wird die Freigabezeit für den Quer- und Abbiegeverkehr in diesen Perioden vermindert oder gänzlich unterdrückt. Besonders kompliziert wird hierbei allerdings die Situation, wenn das öffentliche Verkehrsmittel in verschiedenen Relationen am Knotenpunkt verkehrt. Der sich abzeichnende Einsatz der Mikrorechenstechnik zur Steuerung von Lichtsignalanlagen erleichtert derartige Eingriffe in die Signalprogramme wesentlich.

In mühevoller Kleinarbeit sind am Wissenschaftsbereich Technologie des Straßenverkehrs der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden unter konkreten Bedingungen Unter-

suchungen über die Möglichkeiten und den Nutzen von Veränderungen im in diesem Abschnitt beschriebenen Sinn aufgestellt worden. Dabei zeigte es sich, daß — wenn an der Koordinierung für den allgemeinen Straßenverkehr festgehalten wird — stets nur ein mehr oder weniger starkes Vermindern der Behinderungszeit möglich ist. Trotz dieser Einschränkung sollte man angesichts des im Abschn. 3. dargestellten starken Einflusses der Behinderungszeiten auf den Bedarf an Arbeitskräften und Zügen alle sich bietenden Möglichkeiten nutzen. Nur so kann es gelingen, mit dem öffentlichen Verkehrsmittel auf koordiniert signalisierten Streckenabschnitten eine Reisegeschwindigkeit von bis zu 20 km/h zu erzielen. Die an sich anzustrebenden höheren Werte bei 24 bis 25 km/h sind in Grünen Wellen des allgemeinen Straßenverkehrs unter den üblichen Bedingungen auch mit Eingriffen in die Signalprogramme nicht realisierbar.

#### 4.2. Möglichkeiten bei einzeln gesteuerten Lichtsignalanlagen

Wird eine Lichtsignalanlage nicht koordiniert betrieben, gestattet sie, zugunsten des öffentlichen Verkehrsmittels in einem sehr weiten Bereich Eingriffe in das Signalprogramm vorzunehmen /8/ /9/. Aus dem Ausland sind dafür konkrete Beispiele bekannt /10/, in der DDR gibt es einige wenige Anlagen (z. B. Leipzig, Waldstr./Zöllnerweg).

Jedes sich nähernde öffentliche Verkehrsmittel meldet sich über einen Fahrleitungskontakt (Strab, Obus) oder Schleifendetektor (besondere Fahrspur bzw. Bahnkörper) an. Der Zeitpunkt richtet sich nach den konkreten Bedingungen; er ist sehr stark von der Größe der Veränderung der Freigabezeit abhängig und liegt mindestens 15 s vor dem Überfahren der Aufstelllinie. Befindet sich eine Haltestelle vor der Lichtsignalanlage, wird die Meldung vor oder bei der Einfahrt in diese abgegeben. Natürlich können durch die Schwankungen der Haltestellenaufenthaltszeiten hier in gewissem Umfang Behinderungszeiten zustande kommen, jedoch dürften diese bei richtiger Bemessung gering bleiben. Für die so zustande kommende Modifikation des Signalprogramms gibt es zwei prinzipielle Varianten: die Verlängerung der Freigabezeit und die vorzeitige Freigabe. Bei der Verlängerung der Freigabezeit führt das aber zwangsläufig zu einem längeren Sperren des Quer- und Abbiegeverkehrs. Auch für diesen empfiehlt sich dann eine längere Freigabe, um die so entstandenen Fahrzeugansammlungen rasch abzubauen. Das hat jedoch beim Anwenden der Modifikation eine höhere Periodendauer (Umlaufzeit) zur Folge. Für zwei typische Beispiele kann man aus Bild 2 die nach Gl. (4) errechnete mittlere Behinderungszeit des öffentlichen Verkehrsmittels in Abhängigkeit von der Freigabezeitdehnung ablesen. Dabei wurde vereinfachend  $W(S) = 0$  gesetzt.

Natürlich steigt dadurch die Behinderungszeit beim allgemeinen Straßenverkehr. Dabei ist zu beachten, daß sich die Behinderungszeit keineswegs für alle Kraftfahrzeuge, sondern nur für diejenigen erhöht, die in Perioden mit Freigabezeitdehnung fahren. Trotz dieser Einschränkung soll zum besseren Beurteilen das Verhältnis der reduzierten Behinderungszeit beim öffentlichen Verkehrsmittel zu deren Vergrößerung beim allgemeinen Straßenverkehr in Abhängigkeit von der Freigabezeitdehnung errechnet werden. Die sehr eindeutige Aussage enthält Bild 3.

Neben der bereits vollzogenen Einschränkung werden auch dadurch noch zu hohe Werte der Erhöhung der Behinderungszeit beim Straßenverkehr angesetzt, weil mit den Mittelwerten je Fahrzeug oder Person gerechnet wird. Da die öffentlichen Verkehrsmittel in einer Periode in der Regel mehr Personen befördern als der Individualverkehr, sind die in Abhängigkeit von den konkreten Bedingungen noch günstiger, als das aus Bild 3 zu ersehen ist. Die beschriebene Vorgehensweise kann nur — das sei nicht verschwiegen — bis zu Freigabezeitdehnungen von 30 bis 50 s empfohlen werden, weil sonst die Periodendauer (Umlaufzeit) zu stark wachsen würde.

Bei der vorzeitigen Freigabe kann — wenn die Freigabezeit in der Richtung, in der das öffentliche Verkehrsmittel fährt, entsprechend früher beendet wird — eine Veränderung der Periodendauer (Umlaufzeit) unterbleiben. Die Erhöhung der Behinderungszeit für den allgemeinen Straßenverkehr bleibt hierbei relativ gering.

Die günstigste Lösung scheint es zu sein, wenn je nach dem Eintreffzeitpunkt des öffentlichen Verkehrsmittels entweder die Verlängerung der Freigabezeit oder die vorzeitige Freigabe angewendet werden. Der Einsatz der Mikrorechenstechnik eröffnet hier beachtliche Möglichkeiten zur Bevorzugung der öffentlichen Verkehrsmittel und gleichzeitig zum Intensivieren deren Einsatz.

Scheint es doch durchaus real zu sein, auf diesem Weg die Behinderungszeiten vor Lichtsignalanlagen völlig zu vermeiden und so für Straßenbahn, Obus und Kraftomnibus eine Reisegeschwindigkeit von 24 bis 25 km/h zu erzielen. Lediglich bei hohen Belegungen (mehr als 12 Züge/h · Richtung) oder einander kreuzenden Strecken des öffentlichen Verkehrsmittels ist dieses Ziel nicht vollständig erreichbar, da man dann mit einem Überlagern sich ausschließender Anforderungen rechnen muß.

#### 4.3. Das Problem der Durchlaßfähigkeit lichtsignalgesteuerter Knotenpunkte

Vor allem bei Umleitungsmaßnahmen ergeben sich nicht unerhebliche Behinderungszeiten vor Knotenpunkten, die offensichtlich keine ausreichende Durchlaßfähigkeit besitzen. Dabei werden Belegungen riskiert, die weit über der nach einer auf der KDT-Jahrestagung 1967 erstmalig vorgestellten /11/ und von /12/ und /13/ übernommenen Methode errechneten praktischen Durchlaßfähigkeit liegen. Andererseits ist bekannt, daß in anderen Fällen diese Werte in unterschiedlichem Maß überschritten wurden, ohne daß die Behinderungen unzumutbar groß wurden /14/. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer präziseren Theorie. Erste Gedanken dazu werden in /14/ vorgestellt. Dabei soll entsprechend der auch beim allgemeinen Straßenverkehr üblichen Handhabung auf die ohnehin stets subjektive Definition einer praktischen Durchlaßfähigkeit verzichtet und durch das Errechnen der belegungsabhängigen Behinderungszeit nach Gl. (4) der Zusammenhang zwischen Quantität und Qualität als Entscheidungsgrundlage sichtbar werden. Ein in Stufen von je 15 s eingeteilter verbaler Maßstab dient der besseren Bewertung. Die Berechnung der Stau-Wahrscheinlichkeit  $W(S)$  geschieht mit dem Modell der hypergeometrischen Verteilung. Sie ist kompliziert, erfordert den Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung und soll hier nicht wiedergegeben werden. Bild 4 zeigt ein für bestimmte Bedingungen nach einer Anregung von B. Weniger gezeichnetes Nomogramm, für das die Beststudentin A. Kießling umfangreiche Berechnungen vorgenommen hat.

Komplizierter werden die Bedingungen bei Straßenbahnen, wenn vor einer Lichtsignalanlage eine Haltestelle und dahinter eine Ab-

Bild 2. Behinderungszeit beim ÜPNV  $t_{BÜ}$  in Abhängigkeit von der Freigabezeitdehnung  $\Delta t_F$

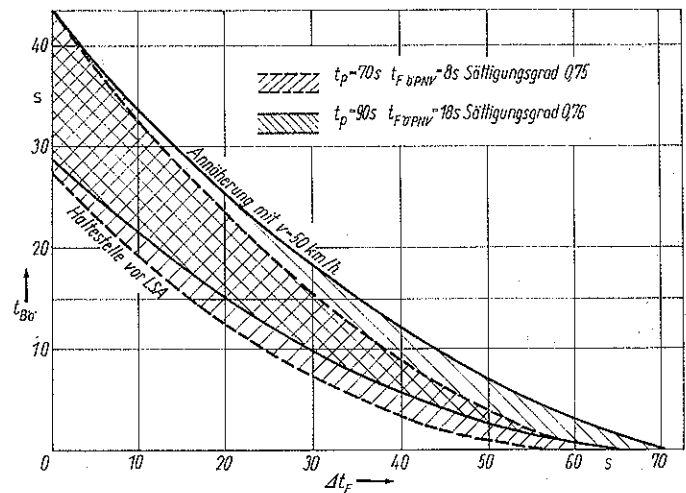
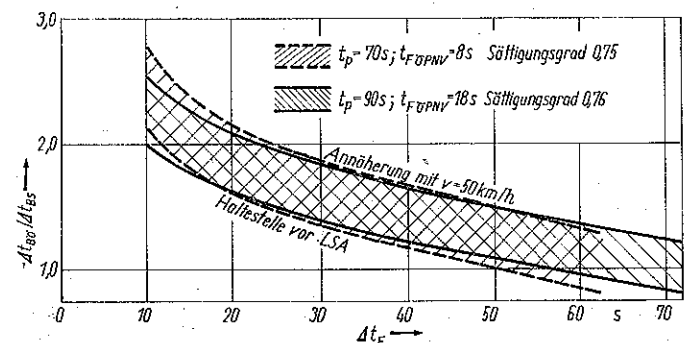


Bild 3. Verhältnis von Verminderung der Behinderungszeit beim ÜPNV  $-\Delta t_{BÜ}$  zu deren Erhöhung beim Straßenverkehr  $\Delta \bar{t}_{BS}$  in Abhängigkeit von der Freigabezeitdehnung  $\Delta t_F$



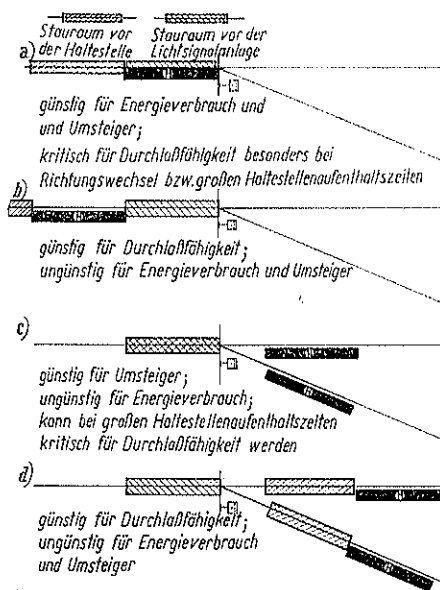
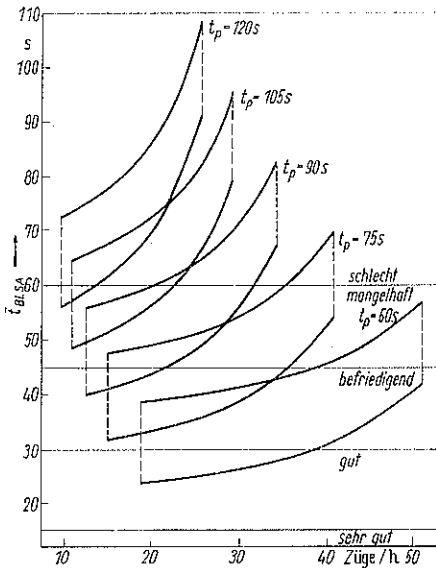


Bild 4. Behinderungszeiten vor Lichtsignalanlagen  $t_{BSA}$  in Abhängigkeit von Belegung  $J$  und Periodendauer  $t_p$  (Freigabe für einen Zug, max. Eintreffenzahl zwei Züge)

Bild 5. Anordnung von Straßenbahn-Haltestellen an Knotenpunkten

4

5

zweigung liegen. Durch die Vorschrift, daß spitz befahrene Weichen ohne Zungensicherung höchstens mit 15 km/h befahren werden dürfen /15/, liegt die Zugwechselzeit hier bei 30 s. Die Berechnungen sind sehr kompliziert. Eines aber ist eindeutig. Die ungünstigste Lösung hinsichtlich der Durchlaßfähigkeit ist diejenige, die für die umsteigenden Fahrgäste und den Energieverbrauch die beste und deshalb weit verbreitet ist (Bild 5). Das ergibt sich daraus, weil hier der Stauraum vor der Lichtsignalanlage mit der Haltestelle zusammenfällt. Im Bild 5 wird ein Überblick über alle Möglichkeiten mit ihren Vor- und Nachteilen gegeben. In der Regel sollte man die Lösung nach Bild 5 a bevorzugen. Das muß aber dort seine Grenze haben, wo durch große Haltestellenaufenthaltszeiten und/oder eine hohe Belegung die Durchlaßfähigkeit nicht mehr zureichend ist. Unter ungünstigen Umständen kann das bereits bei 25 bis 30 Zügen/h · Richtung der Fall sein. Hier ist unbedingt auf eine der anderen Lösungen überzugehen, und wenn das nur für die Dauer einer geplanten Umleitungsmaßnahme der Fall ist.

Gelegentlich wird auch versucht, durch das Einrichten von Doppelhaltestellen die Durchlaßfähigkeit zu erhöhen. Das gelingt auch, jedoch ist der Nutzen vor festzeitgesteuerten Lichtsignalanlagen und spitz befahrenen Weichen bescheidener als anderswo. Die Ursache liegt in der bei Ausfahrt mit 15 km/h auf 57 s steigenden maßgebenden Wechselzeit für den zweiten Zug.

#### 4.4. Sonstige verkehrsorganisatorische Maßnahmen

Alle bisher erörterten Maßnahmen zielten auf das Senken von Behinderungszeiten vor Lichtsignalanlagen. Zweifellos ist das die verkehrsorganisatorische Schwerpunktaufgabe der nächsten Jahre. Das schließt nicht aus, die an anderen Stellen gegebenen Behinderungen öffentlicher Verkehrsmittel gleichfalls zu reduzieren. Hier wäre an Vorfahrtveränderungen zugunsten von Obus und Kraftomnibus; Linksabbiegeverbote an Stellen, wo das Einordnen im Gleisbereich von Straßenbahnen erfolgt; das Anwenden von Sperrlinien zum Freihalten der Gleisanlagen und unter bestimmten Bedingungen an das Anordnen von Busschleusen oder Busspuren zu denken. Derartige Vorstellungen wurden in der Vergangenheit erfreulicherweise im Gegensatz zu der für die öffentlichen Verkehrsmittel ungünstigen Situation an den Lichtsignalanlagen bereits mehrfach erfolgreich realisiert. Jedoch ist mit der Zunahme des Straßenverkehrs in den Städten auf diesem Weg weiter voranzuschreiten.

#### 5. Schlußbetrachtung

Die Darlegungen lassen erkennen, daß mit den Mitteln der Verkehrsorganisation ein wesentlicher Beitrag zum Intensivieren des Beförderungsprozesses im städtischen Nahverkehr geleistet werden kann. Besonders gilt das für die Verhältnisse an Lichtsignalanlagen. Hier muß endlich der Durchbruch von der bisher üblichen tolerierenden Berücksichtigung oder gar vereinzelt vorkommenden Benachteiligung der öffentlichen Verkehrsmittel (z. B. in Dresden „Rote Welle“ der Straßenbahn zwischen Pirnaischem Platz und

Akademiestraße) zu deren Bevorrechtigung erfolgen. Die Anwendung der Mikrorechenstechnik führt zu neuen Möglichkeiten, die es rasch zu nutzen gilt.

Dabei darf nicht übersehen werden, daß dort, wo Lichtsignalanlagen koordiniert werden und es nicht gelingt, die Anordnung von nur einer Haltestelle zwischen zwei Knotenpunkten zu vermeiden, auch durch Eingriffe in das Signalprogramm ein nur bescheidener Nutzen für das öffentliche Verkehrsmittel zu erreichen ist. Ein Schnellstraßenbahnbetrieb ist unter derartigen Bedingungen nicht zu realisieren. Entlang den Strecken öffentlicher Verkehrsmittel sollten deshalb „Grüne Wellen“ nur eingerichtet werden, wenn das unbedingt notwendig ist. Dabei sollten durch geschickte Haltestellenanordnung (keine oder zwei zwischen zwei Knotenpunkten) möglichst günstige Verhältnisse für das öffentliche Verkehrsmittel erreicht werden.

Wenn es gelingt, durch das Nutzen der in diesem Beitrag gegebenen Hinweise die ständig steigenden Behinderungszeiten vor Lichtsignalanlagen zu senken, führt das nicht nur zu einer volkswirtschaftlich bedeutsamen Intensivierung, sondern gleichzeitig zum Reduzieren der Beförderungszeit für die Fahrgäste und damit zum Verbessern deren Arbeits- und Lebensbedingungen. Dieses Ziel lohnt den Einsatz für eine entsprechende Veränderung.

#### Literatur

- [1] Rüger, S.: Betriebstechnologie städtischer öffentlicher Personenverkehr. Berlin: transpress VEB Verlag für Verkehrswesen 1974.
- [2] Uhlig, W.: Intensive und rationale Fahrzeuginstandhaltung. DET — Die Eisenbahntechn. /Berlin/ 26 (1978) 9, S. 372—374.
- [3] Göllmann, K.: Rationelle Gestaltung der Nahverkehrsprozesse im ÖPNV. DET — Die Eisenbahntechn. /Berlin/ 26 (1978) 9, S. 361—366.
- [4] Appelmans, P.; Devroye, J.: Die Reisegeschwindigkeit — ein Produktivitätsfaktor im öffentlichen Stadtverkehr. UITP-Revue /Brüssel/ 26 (1977) 4, S. 279—290.
- [5] Keul, D.-J.; Gramzow, S.: Zur Weiterentwicklung der Straßenbahn in der DDR. DDR-Verkehr /Berlin/ 10 (1977) 12, S. 485—488.
- [6] Richtlinie für die Planung und Gestaltung der verbesserten Straßenbahn — Schnellstraßenbahn — ZFIV der DDR. Berlin 1976.
- [7] Johansson, T.: Entwicklung des Autobusses und seine Integration in neuzeitliche Oberflächenverkehrssysteme, einschließlich Anrufbus- und Taxiverkehr. 42. Internat. Kongreß d. UITP. Montreal 1977.
- [8] Sieglöck, W.: Verminderung von Wartezeiten durch verkehrsbahngestützte Lichtsignalsteuerung — dargestellt am Beispiel der Straßenbahn. Straßenverkehrstechn. /Bonn-Bad Godesberg/ 19 (1975) 5, S. 167—171.
- [9] Voigt, W.: Möglichkeiten der Bevorrechtigung des öffentlichen Personenverkehrs im Straßenraum. Die Straße /Berlin/ 17 (1977) 9, S. 356—361.
- [10] Hoppe, K.: Bevorzugung des öffentlichen Verkehrs bei Knotenpunkten und koordinierten Lichtsignalanlagen. Straße und Verkehr /Zürich/ 57 (1971) 1, S. 10—12.
- [11] Harpe, K.; Rüger, S.: Verkehrsknotenpunkte und ihre Durchlaßfähigkeit. Internat. Fachtagung d. IZV Nahverkehr d. KDT. Leipzig 1967.
- [12] Richtlinie für Stadtstraßen (RIST). Schriftenreihe d. Bauforschung. Reihe Ingenieur- und Tiefbau, H. 31. Dt. Bauinformation /Berlin/ 1969.
- [13] Schnabel, W.: Lichtsignalgesteuerter Straßenverkehr. Berlin: transpress VEB Verlag für Verkehrswesen 1975.
- [14] Rüger, S.; Weniger, B.: Durchlaßfähigkeit festzeitgesteuerter Knotenpunkte für Straßenbahnen. DET — Die Eisenbahntechn. /Berlin/ 24 (1976) 7, S. 301—304.
- [15] Ordnung über den Bau und Betrieb von Straßenbahnen — Bau- und Betriebsordnung für Straßenbahnen (BO Strab) vom 22. Januar 1976. Berlin: Staatsverlag der DDR 1976. EbA 9529