

Einfluß von Lichtsignalanlagen auf die Reisegeschwindigkeit des ÖPNV¹⁾

1. Einleitung

Für im Straßenraum verkehrende moderne öffentliche Verkehrsmittel wird eine Reisegeschwindigkeit von etwa 25 km/h gefordert (14). Sie wird insbesondere für Schnellstraßenbahnen mindestens verlangt (3, 5). In letzter Zeit sind einige Veröffentlichungen erschienen, die den Eindruck erwecken, als sei dieser Wert unter den Bedingungen gewisser Behinderungen durch andere Verkehrsarten realisierbar. Dabei wird ausdrücklich der Einfluß vor allem koordiniert geschalteter Lichtsignalanlagen erwähnt (8, 14).

Die praktischen Erfahrungen und die Ergebnisse von Untersuchungen, die vom Wissenschaftsbereich Technologie des Straßen-

transports der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ im Auftrag der Abteilung Stadtverkehr des Zentralen Forschungsinstituts des Verkehrswesens der DDR angestellt worden sind, zeigen aber, daß auf Streckenabschnitten mit Lichtsignalanlagen bereits das Erreichen einer Reisegeschwindigkeit von nur 18 km/h außerordentlich günstige Bedingungen voraussetzt (4).

Im folgenden soll anhand allgemeiner Betrachtungen unter Annahme typischer Verhältnisse die Größenordnung der unterschiedlichen Einflüsse auf die Reisegeschwindigkeit von Straßenbahn, Obus und Kraftomnibus im Stadtverkehr gezeigt werden. In allen Fällen wird vereinfachend die Fahrt auf einer ebenen Strecke unterstellt.

2. Die ungestörte Fahrt

Moderne öffentliche Verkehrsmittel erreichen nach rund 200 m Anfahrweg die laut StVO innerhalb von Ortschaften zulässige

¹⁾ Überarbeitete Fassung eines Vortrages, den der Verfasser am 7. März 1978 anlässlich des 143. Sektionskolloquiums der Sektion Technische Verkehrskybernetik der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden gehalten hat.

Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Für Überschlagsrechnungen hat sich für sie der Ansatz einer Geschwindigkeit von $13,5 \text{ m/s} \approx 48,5 \text{ km/h}$ als sinnvoll erwiesen. Durch die geringfügige Abminderung wird berücksichtigt, daß schon aus Gründen des sparsamen Umgangs mit Energie erfahrungsgemäß bereits eine gewisse Zeit vor dem Bremsbeginn bei elektrischen Fahrzeugen der Treibstrom abgeschaltet und bei Kraftomnibussen die Treibstoffzufuhr gedrosselt wird. Als Anfahrzeitzuschlag t_{az} können 11 s und als Bremszeitzuschlag t_{bz} 7 s angesetzt werden. Für einen Haltestellenabstand von 600 m, wie er in dicht bebauten Gebieten als obere Grenze anzusehen ist (7), errechnet sich daraus eine Fahrzeit von 62 s.

Wesentliche Verbesserungen ließen sich hier auch durch Annahme einer auf 60 km/h gesteigerten Höchstgeschwindigkeit nicht erreichen. Legt man der Rechnung eine Geschwindigkeit von $16,0 \text{ m/s} \approx 57,5 \text{ km/h}$ zugrunde und setzt den Anfahrzeitzuschlag t_{az} mit 13 s und den Bremszeitzuschlag t_{bz} mit 8 s an, so führt das für einen Haltestellenabstand von 600 m zu einer Fahrzeit von 59 s. Das gleiche Ergebnis hat auch das Anwenden der in (5) abgedruckten Anfahrnetztafeln. Der Zeitgewinn gegenüber der geringeren Geschwindigkeit beträgt also 3 s. Da die öffentlichen Stadtverkehrsmittel überwiegend in Straßen mit einer Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h verkehren, sollen die weiteren Betrachtungen in Tabelle 1 von der Fahrzeit von 62 s ausgehen.

Tab. 1: Reisezeit und Reisegeschwindigkeit für einen Haltestellenabstand von 600 m

Bedingung		Reisezeit	Reisegeschwindigkeit
ungestörte Fahrt		77 ... 87 s	24,8 ... 28,1 km/h
LSA in Einzelsteuerung Strab	($t_p = 70 \text{ s}$)	93 ... 130 s	16,6 ... 23,2 km/h
	($t_p = 90 \text{ s}$)	103 ... 141 s	15,3 ... 21,0 km/h
LSA in Einzelsteuerung Kom	($t_p = 70 \text{ s}$)	90 ... 124 s	17,4 ... 24,0 km/h
	($t_p = 90 \text{ s}$)	98 ... 134 s	16,1 ... 22,0 km/h
LSA koordiniert geschaltet	($t_p = 70 \text{ s}$)	105 s	20,6 km/h
	($t_p = 90 \text{ s}$)	135 s	16,0 km/h

Typisch für dicht bebaute Gebiete sind gegenwärtig Haltestellenabstände von 500 m. Der für Schnellstraßenbahnen im Interesse einer höheren Reisegeschwindigkeit angestrebte Bereich von 500 ... 700 m (3, 5) läßt sich erfahrungsgemäß auf vorhandenen Streckenabschnitten nur ausnahmsweise realisieren. Das liegt daran, daß die Lage vieler Haltestellen aus der Entwicklung heraus an Umsteigepunkte, Großbetriebe, wichtige öffentliche Gebäude u.ä. gebunden ist. Sie läßt sich deshalb ohne schwere Nachteile nicht verändern. Aus diesem Grunde soll in Tabelle 2 eine zweite Betrachtung für einen Haltestellenabstand von 500 m unter sonst gleichen Bedingungen wie in Tabelle 1 durchgeführt werden.

Tab. 2: Reisezeit und Reisegeschwindigkeit für einen Haltestellenabstand von 500 m

Bedingung		Reisezeit	Reisegeschwindigkeit
ungestörte Fahrt		70 ... 80 s	22,5 ... 25,7 km/h
LSA in Einzelsteuerung Strab	($t_p = 70 \text{ s}$)	86 ... 123 s	14,6 ... 20,9 km/h
	($t_p = 90 \text{ s}$)	96 ... 134 s	13,4 ... 18,7 km/h
LSA in Einzelsteuerung Kom	($t_p = 70 \text{ s}$)	83 ... 117 s	15,4 ... 21,7 km/h
	($t_p = 90 \text{ s}$)	91 ... 127 s	14,2 ... 19,8 km/h
LSA koordiniert geschaltet	($t_p = 70 \text{ s}$)	105 s	17,1 km/h
	($t_p = 90 \text{ s}$)	135 s	13,3 km/h

Während die Fahrzeit für die einzelnen Züge nur unbedeutenden Abweichungen unterliegt, kommt es bei den Haltestellenaufenthaltszeiten zu starken Schwankungen. Näheres darüber kann aus (7) oder (12) ersehen werden. Am häufigsten kommen Werte zwischen 15 s und 25 s vor. Deshalb soll im weiteren mit diesem Bereich gerechnet werden. Das führt zu den in den Tabellen 1 und 2 genannten Werten für Reisezeit und Reisegeschwindigkeit. Bei ungestörter Fahrt entfallen also 0,7 ... 0,8 der Reisezeit auf die Fahrzeit und ein Anteil von 0,2 ... 0,3 auf die Haltestellenaufenthaltszeit. Dabei ist zu beachten, daß hier die günstigste Situation unterstellt wird. Jede Geschwindigkeitsbeschränkung, etwa durch Bogenfahrt oder aus anderen Gründen hat eine höhere Reisezeit und damit eine niedrigere Reisegeschwindigkeit zur Folge.

3. Die Behinderungszeit vor einer einzeln gesteuerten Lichtsignalanlage

Die mittlere Behinderungszeit \bar{t}_{BLSA} ergibt sich unter Vernachlässigung der Übergangsbedingungen beim Umschalten der Signalanlage für eine Festzeitsteuerung zu

$$\bar{t}_{BLSA} = \frac{t_s}{t_p} \left(\frac{t_s}{2} + t_{az} + t_{bz} \right) + W(S) \cdot t_p$$

Es sind:

t_s = Sperrzeit der Lichtsignalanlage

t_p = Periodendauer (Umlaufzeit) der Lichtsignalanlage

$W(S)$ = Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Zug nicht in der auf sein Eintreffen folgenden Freigabezeit fahren kann

Obwohl das in der Praxis nur bei sehr niedrigen Belegungen zutrifft, soll hier zum Vereinfachen $W(S) = 0$ gelten. Weiter seien $t_{az} = 11 \text{ s}$ und $t_{bz} = 7 \text{ s}$. Für den Fall, daß sich die Signalanlage unmittelbar an einer Haltestelle befindet, entfallen die Summanden t_{az} und t_{bz} , da dann das Anfahren und Bremsen nicht der Lichtsignalanlage angelastet werden kann. So wird beispielsweise grundsätzlich in (10) gerechnet. Natürlich kommen dadurch geringere Behinderungszeiten als im folgenden zustande.

Als Periodendauer soll einmal $t_p = 70 \text{ s}$ und zum anderen $t_p = 90 \text{ s}$ gelten. Die Freigabezeit soll in Anlehnung an die RIST (6) für die Straßenbahn 8 ... 22 s und für Obus bzw. Kraftomnibus 14 ... 28 s betragen. Die Mindestwerte des Standards TGL 12 096/04 (11) werden nicht angesetzt, da sie der Verfasser für Straßenbahnen (insbesondere für zwei Züge) als zu knapp ansieht. Die Sperrzeit läßt sich als Differenz zwischen Periodendauer und Freigabezeit errechnen.

Für eine Periodendauer $t_p = 70 \text{ s}$ führt das Einsetzen in die Gleichung zu

$$\bar{t}_{BLSA} = 16 \dots 43 \text{ s für die Straßenbahn bzw.}$$

$$\bar{t}_{BLSA} = 13 \dots 37 \text{ s für Obus oder Kom,}$$

für eine Periodendauer $t_p = 90 \text{ s}$ zu

$$\bar{t}_{BLSA} = 26 \dots 54 \text{ s für die Straßenbahn bzw.}$$

$$\bar{t}_{BLSA} = 21 \dots 47 \text{ s für Obus oder Kom.}$$

Die Tabellen 1 und 2 zeigen die sich so ergebende Reisezeit und Reisegeschwindigkeit unter der häufig zutreffenden Voraussetzung, daß sich zwischen zwei Haltestellen eine Lichtsignalanlage befindet. Da bei einer kurzen Periodendauer hohe Freigabezeiten und bei einer langen Periodendauer kleine Freigabezeiten selten sind, ist vorwiegend mit Werten zu rechnen, die sich um die Mitte der angegebenen Bereiche bewegen. In sehr starker Vereinfachung läßt das die Aussage zu, daß jede in Festzeitsteuerung betriebene Lichtsignalanlage für die öffentlichen Verkehrsmittel eine Behinderungszeit von einer halben Minute zur Folge hat. Das führt auf den jeweiligen Abschnitten zwischen zwei Haltestellen zum Absinken der Reisegeschwindigkeit um 5 ... 8 km/h. Die Behinderungszeiten vor Lichtsignalanlagen haben unter dieser Bedingung einen Anteil von rund 0,15 ... 0,40 der Reisezeit, wobei aus den bereits erwähnten Gründen vor allem Werte in der Mitte des Bereiches zu erwarten sind. Das deckt sich mit aus München und Nürnberg mitgeteilten Meßergebnissen, wo davon gesprochen wird, daß die mittleren Stillstandszeiten der Straßenbahnen vor Lichtsignalanlagen bis zu 0,28 der Reisezeiten ausmachen (1, 10). Dabei ist zu beachten, daß Anfahrzeit- und Bremszeitzuschlag in diesem Anteil nicht enthalten sind.

4. Die Behinderungszeit bei koordiniert geschalteten Lichtsignalanlagen

Die Behinderungszeit t_{BGW} ist

$$t_{BGW} = t_{hLSA} - t_h \quad \text{für } t_{hLSA} \geq t_h \text{ bzw.}$$

$$t_{BGW} = t_{hLSA} + t_p - t_h \quad \text{für } t_{hLSA} < t_h$$

Es sind:

t_{hLSA} = durch die Lichtsignalsteuerung bestimmte Haltestellenaufenthaltszeit

t_h = Haltestellenaufenthaltszeit

Wenn alle vorkommenden Haltestellenaufenthaltszeiten der gleichen Bedingung hinsichtlich des Vergleichs mit t_{hLSA} genügen,

kann die dazugehörige Gleichung auch für das Rechnen mit den Mittelwerten verwandt werden.

Unter der Voraussetzung, daß zwischen zwei koordiniert betriebenen Knotenpunkten eine Haltestelle liegt und das öffentliche Verkehrsmittel beide in gleicher Position innerhalb des Zeit-Weg-Bandes befahren soll, gilt nach (7)

$$t_{hLSA} = t_p + \frac{s_K (v_g - v_s)}{v_g v_s} - t_{az} - t_{bz}$$

Es sind:

s_K = Abstand zweier Knotenpunkte mit koordinierter Schaltung der Lichtsignalanlagen

v_g = Fahrgeschwindigkeit des öffentlichen Verkehrsmittels

v_s = Fahrgeschwindigkeit des allgemeinen Straßenverkehrs

Unter Anwendung der bekannten Beziehung (9)

$$v_s = \frac{2 s_K}{t_p}$$

lassen sich unter den vereinfachenden Annahmen, daß die Teilpunkte der Grünen Welle mit den Knotenpunkten zusammenfallen und deren Abstand dem der Haltestellen entspricht, die Werte für die Fahrgeschwindigkeit des allgemeinen Straßenverkehrs v_s errechnen. Sind diese bekannt, kann die durch die Lichtsignalsteuerung bestimmte Haltestellenaufenthaltszeit t_{hLSA} ermittelt werden. Dabei sollen im übrigen die auch bisher bereits verwandten Werte ($v_g = 13,5$ m/s; $t_{az} = 11$ s; $t_{bz} = 7$ s) gelten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tab. 3: Fahrgeschwindigkeit des allgemeinen Straßenverkehrs und durch die Lichtsignalsteuerung bestimmte Haltestellenaufenthaltszeit

Haltestellen- und Knotenpunkt- abstand	Perioden- dauer	Fahrgeschw. des allg. Straßen- verkehrs	durch die LSA bestimmte Haltestellen- aufenthaltszeit
500 m	70 s	31,4 km/h	50 s
500 m	90 s	40,0 km/h	80 s
600 m	70 s	61,7 km/h	43 s
600 m	90 s	48,0 km/h	73 s

Deutlich ist zu erkennen, daß die durch die Lichtsignalanlage bestimmte Haltestellenaufenthaltszeit weit über dem der bisherigen Betrachtung zugrunde liegenden Bereich der Haltestellenaufenthaltszeit von 15...25 s liegt. Es ergeben sich so Behinderungszeiten t_{BGW} von 18...35 s bei einer Periodendauer von $t_p = 70$ s sowie von 48...65 s bei einer Periodendauer von $t_p = 90$ s und die in den Tabellen 1 bzw. 2 aufgeführte Reisezeit und Reisegeschwindigkeit. Während die Verhältnisse bei der kürzeren Periodendauer etwa denen der einzeln gesteuerten Lichtsignalanlagen entsprechen, tritt bei der längeren Periodendauer deutlich eine Verschlechterung der Situation auf. Hier steigt der Anteil der Behinderungszeit unter den ungünstigsten Bedingungen bis auf fast die Hälfte der Reisezeit (0,48) an.

Tab. 4: Reisezeit und Reisegeschwindigkeit auf der Strecke der Dresdner Straßenbahnlinie 2

Nr. Streckenabschnitt	Länge		davon bes. Bahnkörper		festzeit-gesteuerte Lichtsignalanl.		mittlerer Halteabst.		Reisezeit		Reisegeschwindigk.	
	(km)	(km)	1953	1978	1953	1978	(m)	(m)	(min)	(min)	(km/h)	(km/h)
1. Cotta — Paul-Grüner-Str.	3,5	3,5	— 1)	— 1)	—	3 2)	500	500	13	11	16,1	19,1
2. Paul-Grüner-Str. — Fetscherplatz	3,6	3,7	—	3,0 2)	—	4 2)	514	528	13	15	16,6	14,8
3. Fetscherplatz — Laubegast	5,8	5,8	— 1)	— 1)	—	1	483	483	19	17	18,3	20,5
Gesamtstrecke	12,9	13,0	— 1)	3,0 1) 2)	—	8	496	500	45	43	17,2	18,1

1) kurzer besonderer Bahnkörper im Endstellenbereich vernachlässigt

2) einschließlich einer nur vom Anliegerverkehr genutzten Straße

3) davon zwei ohne dazwischenliegende Haltestelle koordiniert

4) koordiniert mit dazwischenliegenden Haltestellen

5. Die Auswirkung auf den Fahrplan

Gegen die bisherigen Überlegungen könnte eingewandt werden, daß sie abstrakt geführt worden sind. Um zu allgemeingültigen Aussagen zu gelangen, bleibt aber keine andere Möglichkeit. Durch die Annahme typischer Verhältnisse muß die Größenordnung der Ergebnisse richtig sein, selbst wenn unter konkreten Bedingungen denkbare leichte Veränderungen bei den Ausgangswerten gewisse Abweichungen bei den Resultaten auslösen können. Eine weitere Bestätigung der Aussagen liefert der anhand der entsprochenen Fahrpläne in Tabelle 4 angeführte und als Beispiel gedachte Vergleich der Entwicklung von Reisezeit und Reisegeschwindigkeit auf der Strecke der Straßenbahnlinie 2 in Dresden. Bewußt wurde eine Unterteilung der Strecke in die beiden Außenabschnitte Nr. 1 und Nr. 3 mit teilweise aufgelockerter Besiedlung und den zentralen Bereich Nr. 2 vorgesehen. Bei den oben genannten ist die Auswirkung des Übergangs zum Einsatz moderner Fahrzeuge mit jeweils auf den Platz bezogen dreifacher Antriebsleistung und doppeltem Stromverbrauch in ihrem Einfluß auf die Reisegeschwindigkeit deutlich zu erkennen. Im Streckenabschnitt Nr. 2 hingegen vermögen weder die wesentlich verbesserte Ausrüstung der Fahrzeuge noch der erreichte hohe Anteil von reichlich 0,8 besonderen Bahnkörpern die Behinderungszeiten der mit einer Periodendauer von $t_p = 75$ s arbeitenden koordinierten Lichtsignalanlagen auszugleichen. Die Reisegeschwindigkeit ist um reichlich ein Zehntel zurückgegangen, und zwar erst im Verlaufe der letzten 11 Jahre. Von 1953 bis 1967 konnte sie konstant gehalten werden.

Festzustellen ist schließlich auch, daß die nach Tabelle 4 erzielte Reisegeschwindigkeit unter den in Tabelle 2 genannten theoretisch ermittelten Werten liegt. Die Ursachen sind Geschwindigkeitsverminderungen bei Bogenfahrt, an spitz befahrenen Weichen, Behinderungen durch auf den Gleisen stehende Linksabbieger und ähnliches. So liegen im Streckenabschnitt Nr. 1 in Tabelle 4 mehrere Gleisbogen mit kleinem Halbmesser, während der Streckenabschnitt Nr. 3 weitgehend gradlinig verläuft. Die unterschiedliche Reisegeschwindigkeit spiegelt diese Bedingungen deutlich wider.

6. Weitere Entwicklung

Angesichts der um sich greifenden Motorisierung muß in den nächsten Jahren notwendigerweise damit gerechnet werden, daß

- die Anzahl der Lichtsignalanlagen zunehmen wird,
- diese in stärkerem Maße koordiniert werden und
- aus Gründen der Durchlabfähigkeit die Periodendauer festzeitgesteuerter Lichtsignalanlagen verlängert werden muß.

Alle diese Erscheinungen werden, wie aus den bisherigen Darlegungen klar zu erkennen ist, ein weiteres Absinken der Reisegeschwindigkeit der öffentlichen Verkehrsmittel zur Folge haben. Ein Ausgleich durch bessere fahrdynamische Parameter der Fahrzeuge ist nicht mehr möglich. Die Anfahrbeschleunigung und Bremsverzögerung moderner Straßenbahnen, Obusse und Kraftomnibusse hat für stehende Fahrgäste bereits die Grenze des Zumutbaren erreicht. Auch kann die Fahrgeschwindigkeit unter den auf überschaubare Zeit üblichen Bedingungen keine nennenswerte Steigerung erfahren.

Andererseits steht die bisherige und die sich abzeichnende Entwicklung der Reisegeschwindigkeit der öffentlichen Verkehrsmittel in den Städten in einem krassen Widerspruch zur sozialistischen

Verkehrspolitik, die von deren vorrangiger Behandlung ausgeht. Dabei fällt besonders unangenehm auf, daß neue Lichtsignalanlagen bzw. vor allem deren Koordinierung sich für den allgemeinen Straßenverkehr günstiger auswirken als für die Massenverkehrsmittel. Das heißt, daß entgegen der verkehrspolitischen Absicht ersterer bevorzugt wird.

Diese kritischen Bemerkungen können und sollen nicht als Absage an Lichtsignalanlagen und deren Koordinierung verstanden werden. Allerdings machen sie deutlich, daß die gegenwärtige Praxis der Lichtsignalisierung, die nahezu ausschließlich auf einer starren Festzeitsteuerung beruht, nicht mehr beibehalten werden kann. Es muß vielmehr, wie das in sehr wenigen Beispielen in der DDR und im Ausland (siehe z. B. (2)) bereits erfolgt, dem öffentlichen Verkehrsmittel weitestgehend die Möglichkeit gegeben werden, zu seinen Gunsten in den laufenden Signalzeitenplan einzugreifen. In vielen Fällen ist das ohne wesentliche Nachteile für den allgemeinen Straßenverkehr möglich, besonders dort, wo Signalanlagen unkoordiniert betrieben werden (10, 13). Wird dieses Verfahren richtig angewandt und konsequent durchgeführt, könnten Straßenbahn, Obusse und Kraftomnibusse unter diesen Bedingungen bei nicht zu hohen Belegungen (etwa ≤ 12 Züge/h · Richtung) durchaus eine Reisegeschwindigkeit von 24...25 km/h erreichen. Für Schnellstraßenbahnen wird diese Handhabung gefordert (3, 5). Selbst bei mittleren Belegungen (etwa ≤ 20 Züge/h · Richtung) ist dieses Ziel wenigstens für die Lastrichtung real, wenn nur in dieser fahrende Züge den Signalzeitenplan beeinflussen.

Anders ist die Situation bei koordiniert betriebenen Lichtsignalanlagen. Wie an Beispielen angestellte Untersuchungen zeigen, sind auch hier durch Eingriffe in den Signalzeitenplan gewisse Verbesserungen für die öffentlichen Verkehrsmittel möglich (4). Sobald sie jedoch die Koordinierung gefährden können, werden sie für nicht mehr vertretbar gehalten. Wenn das so ist, dürften Straßenbahnen, Obusse und Kraftomnibusse, die auf solchen Streckenabschnitten verkehren, selbst beim Ermöglichen von Ein-

griffen in den Signalzeitenplan unter den in unseren Städten gegebenen Bedingungen günstigstenfalls den Bereich einer Reisegeschwindigkeit von 20 km/h erreichen. Von Schnellstraßenbahn kann dabei nicht die Rede sein.

Die in Auswertung des 6. Plenums des ZK der SED stark forcierte Entwicklung der Mikroelektronik schafft zweifellos von der Gerätetechnik her die Möglichkeiten, weitaus stärker als bisher auf Anforderung Eingriffe in Signalzeitenplänen vorzunehmen (13). Die sich hier bietende Gelegenheit, die Bevorzugung der öffentlichen Verkehrsmittel endlich auch an Lichtsignalanlagen durchzusetzen, sollte umfassend und bald genutzt werden.

Literatur

- (1) AMPENBERGER, K.: Kurzfristige und mittelfristige Beschleunigungsprogramme für den öffentlichen Personennahverkehr. Internationales Verkehrswesen 28 (1976) 3/4, S. 118...120
- (2) HOPPE, K.: Bevorzugung des öffentlichen Verkehrs bei Knotenpunkten und koordinierten Lichtsignalanlagen. Straße und Verkehr 57 (1971) 1, S. 10 bis 12
- (3) KEUL, D.-J.; GRAMZOW, S.: Zur Weiterentwicklung der Straßenbahn in der DDR. DDR-Verkehr 10 (1977) 12, S. 485 bis 488
- (4) NAUMANN, U.: Grünzeitmodifikation für Straßenbahnen. Die Eisenbahntechnik 24 (1976) 10, S. 462 bis 465
- (5) Richtlinie für die Planung und Gestaltung der verbesserten Straßenbahn — Schnellstraßenbahn — ZFIV der DDR, Berlin 1976
- (6) Richtlinie für Stadtstraßen (RIST). Schriftenreihe der Bauforschung, Reihe Ingenieur- und Tiefbau, Heft 31. Deutsche Bauinformation, Berlin 1969
- (7) RÜGER, S.: Betriebstechnologie städtischer öffentlicher Personenverkehr. transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1974
- (8) SCHMIEL, G.; KORSTEN, R.: Bevorrechtigte Führung von Straßenbahnen und Kraftomnibussen an Lichtsignalgeregelten Einzelknoten. Kraftverkehr 20 (1977) 5, S. 147 bis 153
- (9) SCHNABEL, W.: Lichtsignalgesteuerter Straßenverkehr. transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1975
- (10) SIEGLOCH, W.: Verminderung von Wartezeiten durch verkehrsabhängige Lichtsignalsteuerung — dargestellt am Beispiel der Straßenbahn. Straßenverkehrstechnik 19 (1975) 5, S. 167 bis 171
- (11) Standard TGL 12 096/04. Anlagen des Straßenverkehrs — Leiteinrichtungen — Lichtsignalanlagen
- (12) VOIGT, W.: Modellfunktionen zur Beschreibung der Fahrgastwechselzeiten im Straßenbahnverkehr. Die Straße 15 (1975) 2, S. 48 bis 51
- (13) VOIGT, W.: Möglichkeiten der Bevorrechtigung des öffentlichen Personennahverkehrs im Straßenraum. Die Straße 17 (1977) 9, S. 356 bis 361
- (14) VOIGT, W.; SCHLEIFE, W.; KEUL, D.-J.: Stand und Entwicklung der Stadtverkehrsforschung in der DDR. Die Straße 17 (1977) 12, S. 480 bis 485