

# **Beschleunigung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) an Lichtsignalanlagen am Beispiel der Darmstädter Straßenbahnlinie 6 („Schnelle 6“)**

**Dr.-Ing. Dietmar Bosserhoff  
Peter Franz**

Hessisches Landesamt für Straßenbau  
Wilhelmstraße 10  
65185 Wiesbaden

Manuskript für:

**40 Jahre  
Hessisches Landesamt für Straßenbau  
(1994)**

Herausgeber:

Hessisches Landesamt für Straßenbau  
Wilhelmstraße 10  
65185 Wiesbaden

Dietmar Bosserhoff / Peter Franz

## Beschleunigung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) an Lichtsignalanlagen am Beispiel der Darmstädter Straßenbahnlinie 6 ("Schnelle 6")

Neben zahlreichen anderen hessischen Städten entschied sich 1985 die Stadt Darmstadt, den ÖPNV verstärkt zu fördern, um ein Gegengewicht bzw. ein alternatives Angebot zum ständig steigenden motorisierten Individualverkehr zu bieten. Ein Schwerpunkt dieser Zielsetzung sollte die Verkürzung der Fahrzeit und Verbesserung der Pünktlichkeit der Straßenbahn mittels der Beeinflussung der Lichtsignalanlagen (LSA) sein.

Vom Magistrat der Stadt erhielt die HEAG Verkehrs-GmbH den politischen Auftrag, zunächst die in Nord-Süd-Richtung verlaufende Straßenbahnhauptachse von Arheilgen nach Eberstadt mit den Linien 1, 6, 7 und 8 zu beschleunigen.

Ein besonderes Ziel stellte die gleichzeitige Einführung einer Express-Linie – die "Schnelle 6" – dar, die über die durch LSA-Beeinflussung verkürzte Fahrzeit hinaus durch Halt die Fahrgäste noch schneller an ihr Ziel bringt, weil sie nur an Haltestellen mit erhöhten Fahrgastaufkommen hält und der Fahrscheinverkauf in den Straßenbahnen wegfällt. Bei Haltestellen vor LSA, an denen kein fahrplanmäßiger Halt für die "Schnelle 6" vorgesehen ist, wird gewährleistet, dass die Straßenbahnen freie Fahrt am Knotenpunkt mit absoluter Priorität erhalten, um eine Verunsicherung oder Gefährdung der Fahrgäste zu vermeiden. Die Einführung der "Schnellen 6" stellt bundesweit ein Pilotprojekt dar.

Die mit LSA-Beeinflussung ausgerüstete Strecke weist folgende charakteristische Merkmale auf:

– Streckenlänge Arheilgen - Frankenstein	12,07 km
– Anteil besonderer Bahnkörper rd.	70 %
– Anzahl der Haltestellen	25
– Anzahl der Lichtsignalanlagen	28
– Anzahl der Fußgängerschutzanlagen	5
– Sonderanlagen	8
– Anzahl der LSA-mit vorgelagerter Haltestelle ohne Halt für die Linie 6	8

Auf einem großen Teil der Beschleunigungsstrecke verfügt die Straßenbahnlinie über nicht über einen besonderen Bahnkörper, sondern verkehrt auf straßenbündigem Bahnkörper in Fahrbahnmitte.

*Wechsel von besonderem Bahnkörper in Seitenlage zu straßenbündigem Bahnkörper  
(Foto: D. Bosserhoff)*



### Prinzip der LSA-Beeinflussung

Bei der Beeinflussung von Lichtsignalanlagen durch den ÖPNV wird für ÖV-Fahrzeuge bei der Annäherung an eine LSA vorrangig Grün geschaltet und ihnen somit eine möglichst ungehinderte Durchfahrt ohne Wartezeit gewährt. Diese Beeinflussung ist besonders vorteilhaft bei Straßenzügen mit mehreren, in "Grüner Welle" koordiniert hintereinander geschalteten

LSA. Hier treten im Regelfall lange Wartezeiten für ÖV-Fahrzeuge auf, weil sie aufgrund der Zeitverluste an Haltestellen die auf die Belange des motorisierten Individualverkehrs abgestimmten Koordinierungen der Grünphasen an aufeinanderfolgenden Knotenpunkten nicht nutzen können. Der primäre Nutzen der Beschleunigungsmaßnahmen an Lichtsignalanlagen liegt daher in der Minimierung bzw. Reduzierung der Wartezeiten für ÖV-Fahrzeuge an den Knotenpunkten. Zusätzlich zu der damit verbundenen Verkürzung der Beförderungszeit und Erhöhung der Pünktlichkeit wirken sich für den Fahrgast die vermiedenen Brems- und Anfahrvorgänge positiv aus.

Wenn eine Linie an allen Knotenpunkten beschleunigt wird, ergibt sich i.d.R. eine Verringerung der Verlustzeiten, die es ermöglicht, Fahrzeugkurse einzusparen oder (bei gleichem Fahrzeugansatz) eine Taktverdichtung durchzuführen.

Maßgebenden Einfluss auf die Reduzierung der LSA-Verlustzeiten haben das Verkehrsaufkommen des Längs- und Querverkehrs im IV und ÖV sowie die durch die Knotenpunktgeometrie (Anzahl der Fahrspuren) bestimmte Leistungsfähigkeit des Knotens und die Anzahl der vorhandenen Phasen.

Das Ausmaß der Beschleunigung des ÖV wird vor allem durch verkehrspolitische Vorgaben bestimmt, die den Umfang des ÖV-Vorranges bzw. der Einschränkung des IV festlegt. Im Vorfeld der Maßnahmen ist zu entscheiden, ob

- nur verspätete oder alle ÖV-Fahrzeuge beschleunigt werden,
- die ÖV-Fahrzeuge beschleunigt werden unter gleichgewichtiger Wahrung der Belange des ÖV und des IV oder
- die ÖV-Fahrzeuge bestmöglich beschleunigt werden mit der Inkaufnahme, dass der Individualverkehr stärker behindert wird.

Bei einem hohen Verkehrsaufkommen und/oder für den ÖV ungünstigen verkehrspolitischen Vorgaben (d.h. möglichst geringe Beeinträchtigung des IV) ist eine deutliche Reduzierung der Verlustzeiten nur mit einer qualitativ aufwendigen LSA-Steuerung erreichbar. In Abhängigkeit von den genannten Einflussgrößen ist daher für jeden Knotenpunkt ein spezifisches Volumen zur Reduzierung der LSA-Verlustzeiten möglich, das sich unter Einbeziehung verschiedener Kriterien (Fahrzeugfrequenz des ÖV, Fahrgastbesetzung etc.) monetarisieren und in Relation zu den Gesamtaufwendungen (Nutzen-Kosten-Verhältnis) setzen lässt.

### **Mängelanalyse des Straßenbahnbetriebes**

Als Voraussetzung für eine Förderung nach Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) und für eine sachgerechte Planung für die "Schnelle 6" war eine Verkehrsuntersuchung durchzuführen, die folgende wesentliche Themen beinhaltete:

- Problembeschreibung / Aufgabenstellung,
- Bestandsaufnahme des Linienverkehrs, der vorhandenen Steuerungsanlagen sowie der Signalisierung (Programme),
- Auslastungssituation im Individualverkehr,
- Behinderungsanalyse im Linienverkehr,
- Planungs- und Steuerungskonzept,
- Anlagentechnisches Konzept,
- Kostenermittlung und
- Realisierungskonzept.

Ein wichtiger Punkt in einer solchen Untersuchung ist die Erhebung und Analyse der Behinderungen der ÖV-Fahrzeuge. In den Fahrzeugen waren daher Reisezeitmessungen durchzuführen, die Aufschluss über die Art und Dauer sowie das zeitliche und örtliche Auftreten der Behinderungen gaben (LSA-Halte, Längsstau, Fahrkartenverkauf usw.). Aufbauend auf dieser Analyse war nachzuweisen, dass im Rahmen des vorgesehenen Gesamtkonzeptes ein zu den Kosten im sinnvollen Verhältnis stehender Nutzen entsteht. Die Berechnung ergab im Fall der "Schnellen 6" in Darmstadt einen Amortisationszeitraum von 6 Jahren.

An dieser Stelle sei nur als ein wesentliches Ergebnis der Reisezeitverlust an den Lichtsignalanlagen genannt. Bei einer Gesamtfahrzeit von 39 Minuten zwischen den Linienendpunkten treten für die Straßenbahnfahrzeuge durchschnittlich rund 7 Minuten (18,1 % der Fahrzeit) Verlustzeiten je Fahrtrichtung durch rotzeigende Lichtsignalanlagen auf. Eine Vielzahl von Fahrten weist noch erheblich größere Verlustzeiten auf.

### **Steuerungskonzept**

Zum besseren Verständnis ist nachfolgend das Steuerungskonzept bei der LSA-Beeinflussung durch ÖV-Fahrzeuge allgemein gültig beschrieben, wie es im wesentlichen auch bei der Beschleunigung der Linie 6 seine Anwendung findet.

Auf Grundlage der Mängelanalyse und der Heranziehung weiteren Datenmaterials (Verkehrsmengen des Individualverkehrs, betriebliche Daten usw.) war zur Erreichung der gesteckten Ziele ein Steuerungskonzept zu erarbeiten.

Wesentliche Ziele von Bevorrechtigungsmaßnahmen sind die

- Reduzierung der Beförderungszeiten und die
- Verbesserung der Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit des ÖPNV.

Zur Erreichung dieser Ziele ist der Einsatz eines flexiblen, situationsabhängigen Steuerungsverfahrens erforderlich. Ein optimales Steuerungsverfahren gliedert sich in drei Aufgabebereiche:

- makroskopische IV-Steuerung zur Berücksichtigung längerfristiger Verkehrszustände,
- mikroskopische IV-Steuerung zur kurzfristigen, situationsabhängigen Steuerung des IV (verkehrsabhängige Steuerung) an den einzelnen Knotenpunkten und
- mikroskopische ÖV-Steuerung zur kurzfristigen, situationsabhängigen Bevorzugung des ÖV an den einzelnen Knotenpunkten.

Unabdingbar ist eine mikroskopische ÖV-Steuerung. Die makro- und mikroskopische IV-Steuerung verbessern die Randbedingungen für die ÖV-Beschleunigung deutlich, weil wegen der verkehrsabhängigen IV-Steuerung erhebliche Reserven für die ÖV-Beschleunigung vorhanden sind und die Beeinträchtigung des IV geringer wird.

Im Rahmen der Projektierung ist eine grundlegende Überarbeitung der vorhandenen Signalprogramme erforderlich, um den Verkehrsablauf des IV und ÖV zu optimieren. Hierbei sind beispielsweise aufgrund von Ergebnissen aus Verkehrszählungen die Umlaufzeiten und die Grünzeitverteilung der für die maßgebenden Verkehrszustände (z.B. Hauptverkehrszeit, Normalverkehrszeit, Schwachlastverkehrszeit) verschiedenen Grundsignalprogramme festzulegen. Eventuell vorhandene zugehörige „Grünen Wellen“ sind entsprechend zu gestalten.

Bei der makroskopischen IV-Steuerung wird die Einschaltzeit des jeweils günstigsten Grundsignalprogrammes auf der Grundlage der jeweils aktuellen Verkehrssituation bestimmt. Die Einschaltzeit kann festgelegt werden aufgrund der Erfahrung vor Ort oder mittels makroskopischer Parameter des Verkehrsablaufes wie Verkehrsstärke, Dichte und Geschwindigkeit, die durch Induktionsschleifen erfasst werden, die in einem Messstellennetz verlegt sind.

Die mikroskopische IV-Steuerung dient der Bemessung der Grünzeiten, um die knappen Leistungsfähigkeitsreserven von Knotenpunkten auch kurzfristig optimal zu nutzen. Die Erfassung der für die Grünzeitbemessung erforderlichen verkehrlichen Kenngrößen erfolgt mit Hilfe von in der Fahrbahn verlegten Induktionsschleifen.

Die mikroskopische ÖV-Steuerung dient der Beschleunigung der ÖV-Fahrzeuge an den LSA. Das Steuerungsverfahren greift verkehrabhängig in die LSA-Steuerung ein mit dem Ziel, eine bedarfsgerechte, umlaufbezogene Modifikation der Signalprogramme zugunsten der ÖV-Fahrzeuge zu erreichen. Die Verlustzeiten infolge der Signalsteuerung werden dabei für jedes einzelne ÖV-Fahrzeug minimiert, im Optimalfall auf Null reduziert. Zur Erfassung der ÖV-Fahrzeuge bei der Annäherung an die LSA und Meldung an das LSA-Steuergerät ist ein spezielles System erforderlich. In Abhängigkeit vom Zeitpunkt einer ÖV-Anforderung (relativ zur Umlaufzeit des Signalprogramms) bestimmt die Steuerungslogik den für das ÖV-Fahrzeug günstigsten Eingriff in das LSA-Programm, falls sich ohne Eingriff Verlustzeiten ergeben würden. Hierbei sind je nach den Erfordernissen am Knotenpunkt z.B. möglich:

- Verlängerung der ÖV-Freigabezeit,
- Vorziehen der ÖV-Freigabezeit,
- Einblendung von ÖV-Sonderphasen,
- Phasentausch,
- Sperrung des IV der Gegenrichtung (Linksabbiegen für den ÖV möglich),
- Leerräumen des ÖV-Fahrbereiches bzw. Haltestellenbereichs vom IV.

Nach Vorbeifahrt an der LSA wird der ÖV-Eingriff beendet und in das normale Signalprogramm zurückgeschaltet. Bei starker Beeinträchtigung von IV-Strömen erfolgt ein Grünzeitausgleich.



*Besonderer Bahnkörper in Straßenmitte: Sperrung der Linksabbieger und Freigabe der Straßenbahn mit aufleuchtendem Quittiersignal (Foto: D. Bosserhoff)*

Den jeweiligen Fahrrichtungen des ÖPNV stehen an den einzelnen Knotenpunkten bzw. LSA vorab festgelegte Bereiche Verfügung, in denen bei Bedarf zusätzlich Freigabezeiten geschaltet werden können. Der Umfang dieser Bereiche ist von den verkehrlichen Merkmalen des jeweiligen Knotenpunktes und den verkehrspolitischen Vorgaben abhängig. Eine optimale ÖV-Beschleunigung ist dann erreicht, wenn zu jedem Zeitpunkt im Signalprogramm für ankommende ÖV-Fahrzeuge Freigabezeit geschaltet werden kann.

## Erfassungs- und Übertragungssystem

Zur Erfassung der ÖV-Fahrzeuge bei der Annäherung an eine LSA ist ein spezielles System erforderlich. In der Praxis bewährt haben sich drei unterschiedliche Erfassungs- und Übertragungssysteme:

- Sender/Induktionsschleife-System: Erfassung der ÖV-Fahrzeuge an einer Koppelspule oder Empfangsschleife und Übertragung der Meldung per Leitung zur LSA
- Bake/Leitung-System: Erfassung der ÖV-Fahrzeuge an einer Bake und Übertragung der Meldung per Leitung zur LSA
- Bake/Funk-System: Erfassung der ÖV-Fahrzeuge an einer Bake und Übertragung der Meldung per Datenfunk an die LSA.

Für Darmstadt kam aufgrund der überwiegend vorhandenen Leitungsverbindungen längs der Trasse ein Bake/Leitung-System zum Tragen. Die ÖV-Fahrzeuge sind hierbei mit einem Sende- (und Empfangs)gerät ausgerüstet. Entlang der Strecke sind Baken mit einem Empfangs- (und Sende)gerät installiert. Bei der Vorbeifahrt des ÖV-Fahrzeugs an der Bake findet zwischen ihm und der Bake ein Datenaustausch mittels Infrarot statt. Die Meldung wird von der Bake über Kabel an das Knotenpunktgerät übertragen.



*Sendegerät auf dem  
Fahrzeugdach  
(Foto: D. Bosserhoff)*



*Bake zur Abmeldung unmittelbar nach Passieren der LSA  
(Foto: D. Bosserhoff)*

In der Regel sind je LSA und Fahrtrichtung zwei Anmeldepunkte erforderlich, deren Lage nach verkehrstechnischen Erfordernissen bestimmt wird. Um den ÖV-Eingriff in die LSA-Steuerung möglichst kurz zu halten, ist zusätzlich ein Abmeldepunkt an der LSA zur Erfassung der Durchfahrt erforderlich. Über die ordnungsgemäße Anmeldung der ÖV-Fahrzeuge werden die Straßenbahnfahrer an jeder LSA mittels eines Quittiersignals informiert, das bei Fehlfunktion oder nicht eingeschalteter ÖV-Beeinflussung ein rechtzeitiges Anhalten an der LSA ermöglicht.

Das ÖV-Fahrzeug sendet während der Fahrt kontinuierlich seine Linien- oder Zielkennung aus. Bei Vorbeifahrt an den Anmeldepunkten wird eine Anforderung erzeugt, die an das Knotenpunktgerät weitergegeben wird. Die Information über die Fahrtrichtung (rechts, gerade, links) und die Art der Linie ("Schnelle 6", normale Linien 1, 7, 8) wird ohne Zutun des Fahrers knotenpunktspezifisch automatisch gebildet. Die Eingabe der Linien- oder Zielnummer in das Fahrzeuggerät erfolgt über einen Codierschalter, der zweckmäßig beim Fahrer montiert wird.

In der Stadt Darmstadt ist für die Gesamtverkehrssteuerung eine dezentrale Steuerung vorhanden, wobei einige verbleibende übergeordnete Steuerungsaufgaben von kleineren Gebietsrechnern übernommen wurden. Die Feinsteuerung bzw. Modifikation der Signalprogramme erfolgt über die Knotenpunktssteuergeräte.

Die Gebietsrechner erfüllen die übergeordneten Aufgaben der Koordinierung und Funktionsüberwachung der Steuergeräte. Die Gebietsrechner werden wiederum zentral von einem Verkehrsrechner überwacht.

Zur Einrichtung der ÖV-Beeinflussung war der Austausch eines Großteiles der vorhandenen Knotenpunktssteuergeräte gegen Mikrocomputergeräte erforderlich, um die Signalprogrammmodifikationen zu jedem Zeitpunkt vornehmen zu können.

Die Erfassung des Individualverkehrs bezüglich der verkehrsabhängigen Programmauswahl erfolgt über Detektoren, die an die jeweiligen Knotenpunktssteuergeräte angebunden sind.

Die Funktionsüberwachung der zur Beschleunigung des ÖV installierten bzw. vorhandenen Gerätetechnik ist eine wesentliche Komponente zur Sicherstellung des Funktionierens der ÖV-Beeinflussung und Verhinderung negativer Auswirkungen auf den IV. Hierfür wurde in Darmstadt ein Fernüberwachungssystem installiert, das an die Betriebsleitstelle der HEAG und an den Rechner der Stadt angeschlossen ist. Es lokalisiert die Störquellen, damit die Störungsursachen durch die Wartungsdienste umgehend behoben werden können.

## **Kosten**

Die Gesamtkosten betragen für die etwa 12 km lange Strecke rund 24 Mio. DM. Davon entfallen rund 17 Mio. DM auf die Maßnahmen zur ÖV-Bevorrechtigung an LSA (Steuergeräte, Tiefbauarbeiten). Weitere 7 Mio. DM wurden für die Erweiterung des rechnergestützten Betriebsleitsystems, das Fernüberwachungssystem, die Haltestelleneinrichtung, die Fahrzeugausrüstung sowie die Gleis- und Markierungsarbeiten verausgabt.

## **Wirkungen der Maßnahme**

Die Wirkungen wurden durch umfangreiche Vor- und Nacherhebungen analysiert und in einem Bericht dokumentiert.

Wesentliche Vorteile für den ÖV-Nutzer und den ÖV-Betreiber liegen in der Fahrzeitverkürzung von 10 bzw. 11 Minuten bei der "Schnellen 6" zwischen den Endpunkten Eberstadt und Merck/Gleisschleife.

Diese Verkürzung resultiert sowohl aus dem direkten Beschleunigungseffekt an Lichtsignalanlagen, als auch aus der Vorbeifahrt ohne Halt an schwach belasteten Haltestellen und (in geringerem Umfang) dem Wegfall des Fahrscheinverkaufs in den Straßenbahnen.

Fahrzeitgewinne werden auch durch höhere Reisegeschwindigkeiten zwischen den Haltestellen Wartehalle und Landskronstraße sowie Landskronstraße und Eschollbrücker Straße im südlichen Ast der Linie ermöglicht. Die Fahrtverläufe weisen in diesem Abschnitt durchschnittliche Reisegeschwindigkeiten zwischen 40 km/h und 50 km/h aus. Die Straßenbahnen müssen hier auf einem Abschnitt von fast drei Kilometer Länge wegen Wegfalls der LSA-Verlustzeiten und Haltestellenaufenthaltszeiten in der Regel nicht mehr halten.

Durch die Beschleunigungsmaßnahmen konnte die Reisegeschwindigkeit der "Schnellen 6" im Mittel von 18 km/h auf 26 km/h erhöht werden. Von den Beschleunigungsmaßnahmen an den LSA profitieren auch die Linien 1, 7 und 8.

Neben dem Fahrzeitgewinn ist die Strecke auch attraktiver geworden durch

- höhere Pünktlichkeit,
- bessere Fahrkomfort (deutlich weniger Brems- und Anfahrvorgänge),
- einen an den IV angenäherten Fahrtablauf in Form einer "Grünen Welle für den ÖV".

Aus der Akzeptanzuntersuchung folgt, dass insbesondere die "Schnelle 6" eine große Erhöhung der Attraktivität des ÖV bewirkt hat. Hinsichtlich von Schnelligkeit, Pünktlichkeit und Komfort wird sie ähnlich gut bewertet wie der Pkw.

Die Wirkung auf das Fahrgastaufkommen war letztlich von entscheidender Bedeutung für den Nutzen der Maßnahme, und dabei die Frage, ob Verlagerungen zur "Schnellen 6" von anderen Linien oder von anderen Verkehrsmitteln herrühren.

Insgesamt wurde durch die Beschleunigungsmaßnahme und die Umwandlung der Linie 6 in eine Expressbahn ein Fahrgastgewinn von rund 15 % auf den drei Linien 6,7 und 8 während der Hauptverkehrszeiten erzielt. Betrachtet man nur die Linie 6, so ergibt sich eine Zunahme des Fahrgastaufkommens um ca. 10%, obwohl nur noch 60% der Haltestellen bedient werden. Bei den Haltestellen, an denen die Schnelllinie nicht mehr hält, ist die Anzahl der Ein- und Aussteiger etwa konstant geblieben. Die Fahrgäste, die früher die Linie 6 benutzten, sind also auf die Linien 7 und 8 umgestiegen.

Das Fahrgastaufkommen erhöhte sich von 1988 32.347 auf 1991 34.249 Personen. Dies ist ein Zuwachs von 2.900 Fahrgästen täglich.

Von besonderer Bedeutung für die Erhöhung der ÖV-Attraktivität ist neben allen objektiv messbaren Verbesserungen das positive Empfinden des Fahrgastes, wenn lästige Halte an den LSA entfallen und er zügig am Stau des "Individualverkehrs" vorbeifährt!

Der Betreiber des ÖV konnte durch die Fahrzeitgewinne der "Schnellen 6" bei unverändertem Takt die Anzahl der gleichzeitig im Einsatz befindlichen Straßenbahnen von vier auf fünf verringern. Auch die Fahrer profitieren von der ÖV-Beeinflussung, da ihre Arbeit durch den gleichmäßigeren Fahrtverlauf erleichtert wird.

Die Erfolge waren Anlass, umgehend auch die Ost-West-Straßenbahnachse (Darmstadt – Griesheim) mit den Linien 9 und 10 zu beschleunigen. Auch die Buslinien werden in den nächsten Jahren mit entsprechendem Aufwand und Engagement an den LSA beschleunigt.