

Lichtsignalregelung mit Priorität für Tram und Bus: eine Zwischenbilanz

Autor(en): **Pitzinger, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 37

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74856>

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.

Lichtsignalregelung mit Priorität für Tram und Bus

Eine Zwischenbilanz

Von Peter Pitzinger, Zürich

Der Wunsch nach immer mehr Mobilität lässt sich Jahr für Jahr an den steigenden Verkehrsbelastungen ablesen. Dieser Wunsch führt uns aber in immer grössere Abhängigkeiten. Damit das Verkehrssystem funktionsfähig bleibt, sind Schranken gegen willkürliche Handlungen des Einzelnen nötig. Die Verkehrsregelung schreibt immer strenger vor, auf welchen Spuren, mit welcher Geschwindigkeit und zu welcher Zeit wir eine Verkehrsanlage befahren dürfen. Die Verkehrsregelung ist nicht nur eine Folge, sondern sie ist Voraussetzung und Grundlage für mehr Mobilität. Vor der Wahl zwischen hoher Mobilität mit strikter Verkehrsregelung und weniger Fahrten ohne Reglementierung entscheiden wir uns bewusst oder unbewusst für die Regelung. Sie muss aber tatsächlich zu einem besseren Verkehrsablauf führen, wenn wir sie akzeptieren sollen.

Zu den neuen verkehrsregelnden Massnahmen gehört die Lichtsignalregelung mit Priorität für den öffentlichen Verkehr. Zieht man eine Zwischenbilanz aus den letzten Jahren, so erweist sie sich als nützliches Konzept. Sie stellt die beförderten Personen an den Kreuzungen in den Vordergrund, sie nützt Tram und Bus und bringt kaum Nachteile für den Individualverkehr. Die Kreuzungen werden im Ganzen gesehen besser geregelt, die Wartezeiten für alle Verkehrsteilnehmer werden kleiner. Die Experimentierzeit ist vorbei, die verkehrstechnischen Konzepte sind bereinigt, die nötigen Geräte sind vorhanden und relativ billig. Es ist zu wünschen, dass sich die Lichtsignalregelung mit Priorität für Tram und Bus weiter durchsetzt.

Verkehrsregelung statt neue Bauwerke

Vorteile für den öffentlichen Verkehr

Seit Mitte der 70er Jahre ist es der Verkehrsregelung und kaum neuen Bauwerken zu verdanken, dass der wachsende Verkehr in unseren Städten noch fliesst. *Verkehrsbauten* sind teuer, sie belasten die Umwelt und stossen auf Widerstand. Die Verkehrsregelung ist im Vergleich dazu *billig* und *flexibel*. Sie arbeitet mit *Signalisation* und *Markierung*. Die Verkehrsregelung kann zwar keine neuen Verkehrsflächen schaffen. Sie bestimmt aber, wie die bestehenden Flächen genutzt und wie die Zeit bewirtschaftet wird, die an den Kreuzungen zur Verfügung steht. Verkehrsflächen lassen sich rationell ausnützen oder aber vergeuden. Die Zeit ihrerseits kann sinnvoll auf die Verkehrsteilnehmer verteilt oder aber verschwendet werden. Je schlechter das Verhältnis zwischen den vorhandenen Verkehrsflächen und dem steigenden Verkehr ist, um so wichtiger wird eine gute Verkehrsregelung. Verschiedene Regelungskonzepte sind bisher mit wechselndem Erfolg angewandt worden. Seit etwa sechs Jahren hat sich das Konzept, den öffentlichen Verkehr mit *Priorität* zu regeln, durchgesetzt. Neben eigenen Spuren für Tram und Bus spielt dabei die *Lichtsignalregelung* eine grosse Rolle.

Die Lichtsignalregelung mit Priorität für Tram und Bus hat etwa im Jahre

1976 ihren Aufschwung genommen, ungefähr gleichzeitig mit dem Ende der grossen Strassenbauten in unseren Städten. Es wurde mit ihr ein Weg gesucht, um den wachsenden Ansprüchen nach Mobilität zu begegnen und die vorhandenen Verkehrsanlagen besser zu nutzen. In den letzten sechs Jahren ist viel an Arbeit und Geräten in diese Aufgabe investiert worden. Heute sind mehrere Systeme in Betrieb; die Lichtsignalregelung mit Priorität für den öffentlichen Verkehr ist aus dem Versuchsstadium herausgewachsen und hat Reife erreicht. Es wurden brauchbare verkehrstechnische Konzepte verwendet; die dazu notwendige Technik ist vorhanden. So erfassen *Detektoren* Tram und Bus, *Mikroprozessoren* und *Computer* verarbeiten die Informationen und regeln gemäss den verkehrstechnischen Konzepten. Der Nutzen lässt sich heute *quantifizieren*.

Eine Zwischenbilanz darf aber nicht allein aus der Sicht des öffentlichen Verkehrs gezogen werden. Die Lichtsignalregelung mit Priorität nützt zwar dem Tram und dem Bus, dafür wurde sie ja eingeführt, die Bilanz wird also positiv ausfallen. Der öffentliche Verkehr auf unseren Strassen und Kreuzungen ist aber nur *ein Teil eines Ganzen*. Wie sieht die Bilanz aus einem etwas weiteren Blickwinkel aus?

Und der Individualverkehr?

Die Hauptstrassen in unseren Städten müssen heute vielfältige Aufgaben er-

füllen. In den Wohnquartieren wächst der Widerstand gegen den Durchgangsverkehr, gegen die Mobilität der anderen. Die *Nachteile des Individualverkehrs* werden bewusst: er *beansprucht Strassenfläche*, *produziert Lärm und Abgase*, er schafft *Sicherheitsprobleme*. Der Individualverkehr soll in Wohnquartieren auf ein *sinnvolles Mass reduziert* werden, zumindest der Durchgangsverkehr ist auf Hauptstrassen zu kanalisieren. Gleichzeitig müssen die Hauptstrassen den allgemein wachsenden Motorfahrzeugverkehr aufnehmen. In den letzten fünf Jahren sind die Verkehrsbelastungen um 3 bis 4 Prozent pro Jahr gestiegen, sie sind 1981 um etwa 20 Prozent höher als 1976. Für die schwachen Verkehrsteilnehmer, für *Fussgänger* und *Velofahrer* wird mehr Sicherheit auf den Hauptstrassen verlangt. Tram und Bus leiden unter dem Fahrzeugstau auf den Hauptstrassen und stauen sich vor Lichtsignalanlagen. Daraus resultiert die Forderung nach *Priorität für den öffentlichen Verkehr*. Fahrzeugstau und Wartezeiten bringen aber auch *wirtschaftliche Verluste* für alle Verkehrsteilnehmer und *Schadstoffimmissionen* für die Anlieger der Hauptstrassen. Der Stau sollte deshalb reduziert werden. Alle diese Aufgaben sollen unsere Hauptstrassen ohne Ausbau lösen.

Der Einwand liegt nahe, dass die Forderung nach *Priorität des öffentlichen Verkehrs* an Lichtsignalanlagen auch zu weit gehen kann. Lichtsignalanlagen müssen auf Tram und Bus mit einem *unregelmässigen* Ablauf reagieren. Die Phasen folgten nicht mehr in der gewohnten Art und Dauer und die Verkehrsteilnehmer würden nicht mehr den Signalablauf begreifen. Unsicherheit und Fehlverhalten wären die Folgen. Mit dem unregelmässigen Ablauf würden auch zusätzliche Wartezeiten und Rückstau entstehen; Grüne Wellen würden unterbrochen. Für die Verkehrsteilnehmer resultieren *Zeitverluste* und der *Benzinverbrauch* stiege, für die Anlieger wüchsen die *Abgasimmissionen*. Dieser unerfreuliche Ablauf auf den Hauptstrassen müsste den Durchgangsverkehr auf Schleichwegen zurück in die Wohnquartiere führen und dort die Wohnlichkeit zerstören.

Formuliert man die Einwände gegen die *Priorität des öffentlichen Verkehrs* bei Regelung noch extremer, dann geht es weniger um den Gewinn von Sekunden für Tram und Bus, sondern um die *bewusste Behinderung des Individualverkehrs*, denn Tram und Bus verbrauchten weniger Energie, belasteten die Umwelt weniger und beanspruchten weniger Verkehrsfläche. Der Individualverkehr mit seinem hohen spezifischen Energieverbrauch, seiner Um-

weltbelastung und seinem Flächenbedarf sollte in der Entwicklung gebremst werden. Sollten die Verkehrsteilnehmer diese Vorteile von Tram und Bus nicht selber einsehen, dann müsse man eben ihrem Glück nachhelfen.

Einwände aus grösserer Distanz hingegen betrachten die Priorität für den öffentlichen Verkehr eher als *Modeerscheinung*. Wie früher der Strassenbau, so seien heute eben die Wohnlichkeit und die Priorität für Tram und Bus die gängigen Schlagworte. Lichtsignalregelung mit Priorität für den öffentlichen Verkehr sei eher eine vorübergehende *Spielerei* für Leute mit Freude an Ampeln, Mikroprozessoren und Computern. Auch dieser Trend werde sich wieder ändern, bis seine Folgen absehbar und bis die letzten Leistungsreserven auf unseren Hauptstrassen verbraucht seien.

Ein sachlicher Massstab

Will man eine vernünftige Bilanz aus der Regelung mit Priorität für den öffentlichen Verkehr ziehen, braucht es einen sachlichen Massstab. Es genügt nicht, gewonnene Sekunden für Tram und Bus oder die Nachteile für die übrigen Verkehrsteilnehmer und für die Anlieger aufzuzählen. Diese Art behandelt die einzelnen Teile für sich, sie sind nicht vergleichbar. Man kommt zu einem sachlichen Massstab, wenn man überlegt, wozu der öffentliche und der Individualverkehr eine Kreuzung überqueren. Beide sollen nicht primär Fahrzeuge über die Kreuzung bringen, sondern *Personen*. Der Massstab ist deshalb die *Wartezeit der beförderten Personen*, nicht die der Fahrzeuge. Der Erfolg oder Misserfolg des neuen Konzeptes lässt sich aus der *Gesamtwartezeit* der Personen ablesen. Der Massstab ist auch anschaulich: Eine Wartezeit von 100 Personenstunden bedeutet, dass in jeder Spitzenstunde auf einer Kreuzung gleichsam 100 Personen in Fahrzeugen sitzen und warten. Müssen sie im Bus oder Tram warten, sagt dies mehr aus als die Reduktion von mittleren Wartezeiten von einigen Sekunden für eventuell leere Kursfahrzeuge. Wenn die Personen in Autos warten, dann ist die Gesamtwartezeit proportional zum Rückstau und näherungsweise auch zu den Schadstoffmissionen der aufgestauten Fahrzeuge. Die wirtschaftlichen Verluste im Individualverkehr durch Wartezeiten und zusätzlichen Energieverbrauch lassen sich daraus ableiten.

Nimmt man als neuen Massstab die Wartezeiten der Personen, dann lässt sich nicht nur die Wirkung der Regelung quantifizieren. Ohne weitreichende ökologische Überlegungen drängt sich die Priorität des öffentlichen Ver-

kehrs auf. Es genügt der Blick auf die Verkehrsregelung: möglichst niedrige Wartezeiten für Personen führen direkt zur Priorität von Tram und Bus. Verglichen mit dem Individualverkehr fahren nur wenige Strassenbahnen und Busse über eine Kreuzung, sie befördern aber je Fahrzeug ein Mehrfaches an Fahrgästen. Die Priorität des öffentlichen Verkehrs setzt den Hebel am rationalen Punkt an und bevorzugt die seltenen, aber stark besetzten Kursfahrzeuge. Damit sinken die Wartezeiten der Passagiere in Tram und Bus deutlich. Weil diese Wartezeiten ein grosser Teil der Gesamtwartezeiten an einer Kreuzung sind, werden auch Behinderungen des Individualverkehrs vertretbar. Solange der Nutzen aus der Priorität des öffentlichen Verkehrs überwiegt, wird im ganzen gesehen besser geregelt. Die knappe Verkehrsfläche wird rationeller genutzt, die Wartezeit der beförderten Personen ist kleiner geworden.

Wie werden bei dem neuen Konzept Personen über Kreuzungen geführt? Die Antwort auf diese Frage erlaubt es, die Vorteile für Tram und Bus den Einwänden gegen die Priorität des öffentlichen Verkehrs gegenüberzustellen. Dazu wird im folgenden Abschnitt gezeigt, wie die Bevorzugung für Tram und Bus erreicht wird. Nicht theoretische Überlegungen, sondern das verkehrstechnische Prinzip und die Technik sollen kurz erörtert werden. Es geht um den Nachweis, dass die Regelung mit Priorität für Tram und Bus den übrigen Verkehrsteilnehmern nicht schaden, sondern der Allgemeinheit nützen will.

Grundlagen

Die Regelungsarten

In Verkehrsanlagen mit *hohen und gleichmässigen Verkehrsbelastungen* zählen nicht Individualfahrzeuge, sondern der *Verkehrsfluss*. In der Verkehrstechnik wird dann von *makroskopischen Verkehrsparametern* gesprochen: *Verkehrsmenge*, *Verkehrsdichte* und *mittlere Geschwindigkeit*. Auch die Regelung operiert nicht mit einzelnen, sondern mit *Kollektiven* von Fahrzeugen. Lichtsignale bündeln die Verkehrsströme, die untereinander keine Konflikte haben, zu Phasen und lassen sie in einem regelmässigen zeitlichen Ablauf fließen. In Strassenzügen werden benachbarte Anlagen zu Grünen Wellen koordiniert. Diese Art wird *makroskopische Regelung* genannt. Sie liefert bei hohen Verkehrsbelastungen befriedigende Resultate.

Bei *niedrigen* und *unregelmässigen* Verkehrsfrequenzen wird aber die makroskopische Regelung untragbar. Man kann dann nicht mehr von einem gleichmässigen Verkehrsfluss sprechen, und auch die Regelung muss sich vorwiegend an einzelne Fahrzeuge anpassen. Verkehrsströme werden nicht mehr zu Phasen gebündelt, sondern jede Zufahrtspur erhält eine *eigene Signalgruppe*. Je nach Eintreffen der Verkehrsteilnehmer wird eine variierende Zahl von Signalgruppen zu Phasen zusammengestellt. Auch die Phasendauer ist nicht mehr fix, sondern verkehrabhängig. Die feste Koordination von benachbarten Anlagen gilt nur als Rahmen für Phasenkombination und Phasendauer. Die Regelungsart orientiert sich an Individualfahrzeugen und heisst deshalb *mikroskopische Regelung*.

Zwischen diesen beiden Extremen gibt es zahlreiche *Übergangslösungen*. Die Verkehrsbelastungen auf unseren Strassen wechseln mit der Zeit und mit dem Ort, die Verkehrsregelung passt sich an. Bei starkem, gleichmässigem Verkehr ist die makroskopische Regelung sinnvoll. Je schwächer und wechselnder die Belastungen sind, um so mehr steigt der Nutzen von mikroskopischen Regelungselementen. Dies gilt sowohl für den öffentlichen wie für den Individualverkehr.

Für den öffentlichen Verkehr hat die mikroskopische Regelung eine grössere Bedeutung als für den Individualverkehr. Verglichen mit den Fahrzeugmengen des Individualverkehrs sind Tram und Bus seltene Ereignisse. Im Durchschnitt durchfahren etwa 50mal soviel Autos als Kursfahrzeuge unsere Kreuzungen. Nur bei wenigen Anlagen kann man von einem Verkehrsfluss im öffentlichen Verkehr sprechen. Beide Regelungsarten aber, sowohl die makroskopische wie die mikroskopische, können Tram und Bus bevorzugen.

Makroskopische Priorität

Sie schaltet einen *regelmässigen Ablauf*. *Fahrzeuge mit hoher Besetzung* erhalten aber einen grösseren Anteil an der Grünzeit. In Grünen Wellen wird nicht nur für den Individualverkehr, sondern auch für Tram und Bus koordiniert. Bei hohen Frequenzen des öffentlichen Verkehrs hilft die makroskopische Priorität einer grossen Zahl von Kursfahrzeugen. Die niedrigen Umläufe der Regelung, die Koordination nützen den zahlreichen Passagieren von Tram und Bus. Nachteile für den Individualverkehr werden akzeptabel. Bei niedrigen bis mittleren Frequenzen des öffentlichen Verkehrs ist aber die makroskopische Priorität ein plumpes Regelungsprinzip. Die angebotenen Grünzeiten

werden von Tram und Bus nicht genutzt und gehen für die übrigen Verkehrsteilnehmer verloren. Trotz Priorität trifft aber ein Teil der Kursfahrzeuge auf Rot. In koordinierten Systemen fallen Tram und Bus aus der Grünen Welle, weil die Haltestellenaufhalte streuen. Die makroskopische Priorität mit ihrem regelmässigen Ablauf kann nicht auf die individuellen Fahrten der Kursfahrzeuge reagieren.

Der Nutzen der makroskopischen Priorität lässt sich deutlich an einer einfachen Kreuzung zeigen, die z. B. je Stunde von 60 Tram und quer von 3000 Fahrzeugen befahren wird (Bild 1). Die bisherige Art, makroskopisch Verkehr zu regeln, war ungerecht, weil die Fahrzeuge im Vordergrund standen. Bei einer guten Regelung musste die Gesamtwartezeit der Fahrzeuge minimal werden. Weil im Individualverkehr 50mal soviel Fahrzeuge die Kreuzung überqueren als im öffentlichen Verkehr, erhielt der Individualverkehr auch das 50fache Gewicht. Die Gesamtwartezeit war am niedrigsten, wenn den Autos möglichst viel und dem Tram nur minimales Grün zugeteilt wurde. Der linke Teil von Bild 1 zeigt diese Lösung. Sie war aus der Sicht der Fahrzeuge vernünftig, das Tram zählte wie ein Personenwagen unabhängig von seiner Fahrgastzahl.

Diese Regelung benachteiligt den öffentlichen Verkehr, denn ein Tram befördert ein Mehrfaches an Personen verglichen mit dem Auto. Es sollen nicht Fahrzeuge, sondern Personen mit möglichst kurzen Wartezeiten über die Kreuzung gebracht werden. In dem Beispiel befördert jedes der 60 Tram etwa 70 Personen, in der Stunde sind dies 4200 Fahrgäste. Im Individualverkehr mit etwa 1,4 Personen je Auto überqueren 4200 Personen die Kreuzung, ebenso viele wie im Tram. Soll die Gesamtwartezeit aller Personen minimal sein, dann müssen der öffentliche und der Individualverkehr dasselbe Gewicht erhalten. Die Lösung liegt bei einer anderen Verteilung der Grünzeiten, der rechte Teil von Bild 1 zeigt das neue Regelungsprinzip. Das Tram erhält mehr Grün, wenn die Wartezeiten der Personen und nicht jene der Fahrzeuge zählen. Damit steigen zwar die Wartezeiten im Individualverkehr, aber die Kreuzung als Ganzes arbeitet besser.

Mikroskopische Priorität

Die mikroskopische Priorität verzichtet auf einen gleichmässigen Ablauf der Regelung für Tram und Bus. Sie erfasst die Kursfahrzeuge und gibt Grün zur richtigen Zeit und nur begründetes Grün. Bild 2 beschreibt die mikroskopische

Priorität an einem einfachen Knoten mit einem öffentlichen Verkehrsmittel und mit parallel bzw. quer fliessendem Individualverkehr. Der Individualverkehr soll im Prinzip entsprechend seinen Frequenzen makroskopisch, mit einem gleichmässigen Ablauf, geregelt werden.

Mit der mikroskopischen Priorität wird dieser Regelungsablauf eine Funktion des Trams. Bild 2a (oben) trägt dazu auf der Abszisse die Zeit des Trameintreffens auf und zeigt auf der Ordinate den entsprechenden Signalablauf. Wenn ein Tram während der Grünzeit des Parallelverkehrs fährt, ändert sich der Ablauf nicht. Während der Rotzeit dehnt aber das Tram zuerst sein Grün mit dem Parallelverkehr nach, dann schaltet es eine Zwischenphase und im letzten Teil zieht es seine Grünzeit mit dem Parallelverkehr vor. Während des ganzen Umlaufes kann das Tram freie Fahrt erhalten. Weil die Umlaufzeit der

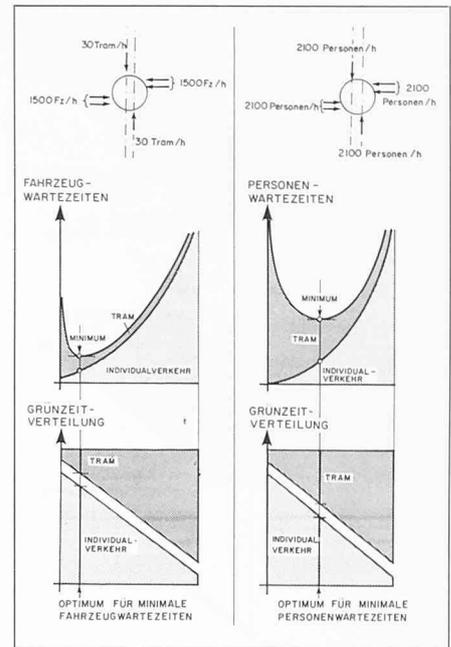
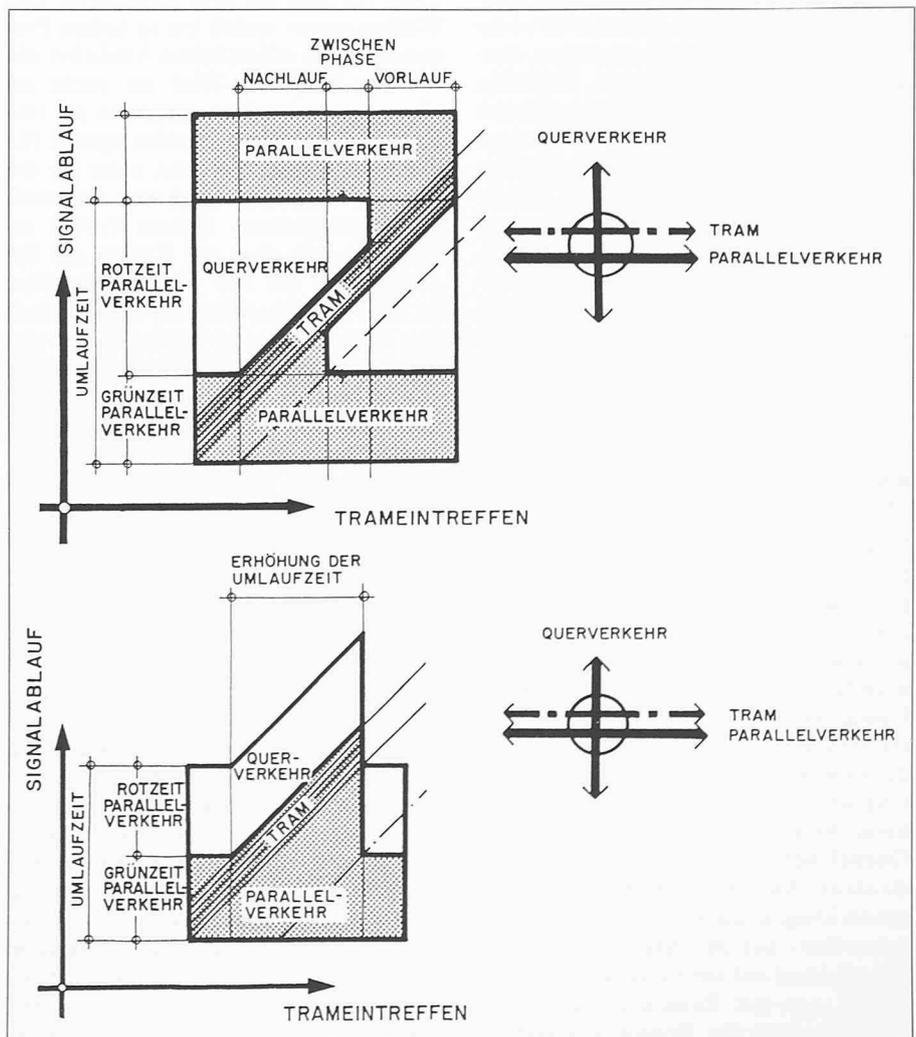


Bild 1. Prinzip der makroskopischen Priorität

Bild 2. Prinzip der mikroskopischen Priorität mit Einschalt-(oben) und Wartestruktur (unten)



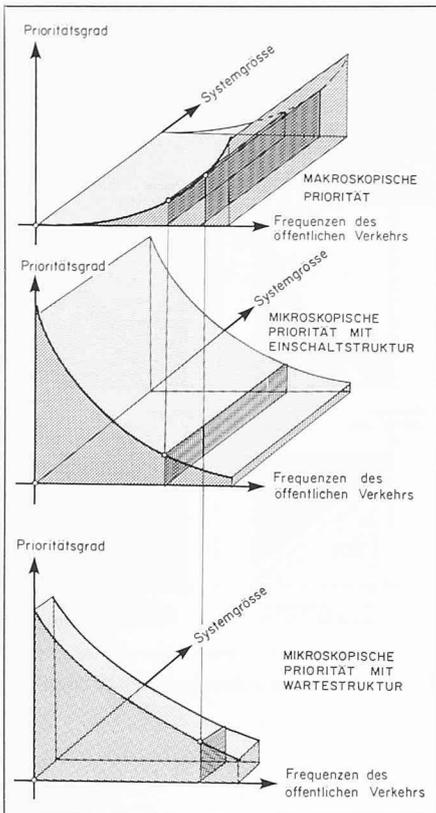


Bild 3. Anwendungsbereiche der Prioritätsstrukturen

Regelung fest bleibt und Tramgrün nur eingeschaltet wird, soll diese mikroskopische Priorität als *Einschaltstruktur* bezeichnet werden. Bei niedrigen Frequenzen des öffentlichen Verkehrs bleibt der Anlauf trotz wartezeitfreier Fahrt für Tram und Bus für die übrigen Verkehrsteilnehmer plausibel und Grüne Wellen werden kaum gestört. Wachsende Frequenzen der Kursfahrzeuge verformen zunehmend den regelmässigen Ablauf der Regelung. Die Grünzeiten wechseln, Querverkehrsphasen können ausgelassen und Grüne Wellen gebrochen werden. Die Fussgänger und Fahrzeuglenker begreifen den Ablauf nicht mehr, Fahrzeuge werden bei unterdurchschnittlichen Grünzeiten aufgestaut und erst bei überdurchschnittlichen wieder abgebaut.

Mikroskopische Priorität für den öffentlichen Verkehr lässt sich auch mit einer *Wartestruktur* erreichen. Wie bei der Einschaltstruktur wird der regelmässige Ablauf bei Eintreffen von Kursfahrzeugen verformt, aber die Umlaufzeit wird nicht mehr eingehalten. Die Regelung wartet gleichsam mit dem Grün auf das Tram oder den Bus und setzt dann den Ablauf fort, als ob keine Verformung stattgefunden hätte. Darauf bezieht sich der Name Wartestruktur. Bild 2b (unten) erläutert sie in einem Diagramm mit der Zeit des Trameintreffens auf der Abszisse und dem Signalablauf auf der Ordinate. Mit dem Schritt von der Einschalt- zur Wartestruktur wird die Regelung flexibler,

weil die Randbedingung der fixen Umlaufzeit wegfällt. Tram und Bus ändern zwar die Phasendauer, aber die Phasenfolge bleibt plausibel. Bei niedrigen und mittleren Frequenzen des öffentlichen Verkehrs lässt sich wartezeitfreies Fahren erreichen. Die Wartestruktur ist aber auf kleine Regelungssysteme beschränkt. Koordinierte Systeme setzen die gleiche Umlaufzeit in allen Knoten voraus, bei der Wartestruktur wechselt die Umlaufzeit. Nachbarknoten können zwar diese Wechsel mitmachen, trotzdem bleiben nur kurze Grüne Wellen erhalten, die alle Knoten des kleinen Systems während eines Umlaufs durchfahren. Die Wartestruktur eignet sich für Einzelanlagen und nahe beisammen liegende Kreuzungen, eine weitere Grenze findet sie bei hohen Tram- und Busfrequenzen.

Anwendungsbereiche

Aus dem Beschrieb der makroskopischen und der beiden mikroskopischen Prioritätsstrukturen lässt sich auf ihre Anwendungsbereiche und auf ihre Grenzen schliessen. Massgebende Kriterien sind die Frequenzen des öffentlichen Verkehrs und die Grösse des signalgeregelten Systems. Bild 3 zeigt den erreichbaren Prioritätsgrad für Bus und Tram für jede der drei Strukturen. Die Wartestruktur erzielt bis zu hohen Frequenzen des öffentlichen Verkehrs die höchste Priorität. Weil sie nicht an einen festen Umlauf gebunden ist, verfügt sie über mehr Freiheitsgrade für den öffentlichen Verkehr, ohne für die übrigen Verkehrsteilnehmer unplausibel zu erscheinen. Diesen Vorteil erkaufte sie sich aber auf Kosten der Systemgrösse. Bei der Einschaltstruktur ist zwar der Prioritätsgrad kleiner, weil der Umlauf erhalten bleibt. Dafür eignet sie sich für grosse Signalsysteme mit vielen koordinierten Kreuzungen. Die makroskopische Priorität ist wenig sinnvoll bei niedrigen, aber zweckmässig bei hohen Tram- und Busfrequenzen. Dann sind die Kursfahrzeuge keine seltenen Ereignisse, sondern sie sind wie der Individualverkehr makroskopisch zu regeln. Tram und Bus werden nicht mehr einzeln erfasst, sie erhalten regelmässig Grün und nutzen es. Der Aufwand für die mikroskopische Priorität ist nicht mehr zweckmässig.

Diese Aussage über den *Prioritätsgrad*, der sich mit den einzelnen Strukturen erreichen lässt, enthält eine Voraussetzung: Die übrigen Verkehrsteilnehmer sind bereits berücksichtigt. Es ist sehr einfach, dem Bus und Tram wartezeitfreie Fahrt anzubieten, wenn man Fussgänger und Individualverkehr vernachlässigen kann. Der Prioritätsgrad ist dann keine Funktion der Frequenzen des öffentlichen Verkehrs und der Sy-

stemgrösse, sondern Bus und Tram melden sich an und erhalten Grün, sobald und solange sie es brauchen. Soll aber der Verkehrsablauf auf der Kreuzung durchschaubar und verständlich bleiben, sollen nicht Fussgänger- und Querverkehrsphasen bei aufeinander folgenden Tram- und Busfahrten ausgelassen werden, dann gibt es *Grenzen*. Einschränkungen entstehen auch, wenn Leistungsverluste für den Individualverkehr, zusätzlicher Rückstau und Wartezeiten und damit Immissionen für die Anlieger klein sein, und Grüne Wellen nicht regelmässig zerstört werden sollen. Diese Bedingungen aus dem ganzen Verkehrssystem führen zu den Anwendungsbereichen in Bild 3. Wenn man die Prioritätsstrukturen innerhalb dieser Bereiche benutzt, dann sind die Einwände gegen die Priorität des öffentlichen Verkehrs übertrieben oder gegenstandslos.

Hardware

Die Lichtsignalregelung braucht Ausenanlagen für die Signalanzeigen, Geräte an den Kreuzungen um die Anzeigen zu schalten, zentrale Geräte zum Koordinieren und Übermittlungsleitungen. Diese Hardware war einfach, solange makroskopisch geregelt wurde. Das Bündeln zu wenigen Phasen, der regelmässige zeitliche Ablauf und die feste Koordination waren einfach zu erfüllen.

Mit *mikroskopischen* Regelungselementen kamen *aufwendige Geräte*. Die Impulse stammten vom Individualverkehr: Mit der Forderung nach höherer Verkehrssicherheit musste nicht nur in den Spitzen-, sondern auch in den Flaute- und Nachtstunden geregelt werden. In komplizierten Knoten mussten Linksabbieger vom Gegengeradeausverkehr und Rechtsabbieger von Fussgängern zeitlich getrennt werden. Auch in den untergeordneten Kreuzungen mit niedrigen Verkehrsbelastungen über den ganzen Tag mussten Lichtsignalanlagen für Verkehrssicherheit sorgen. Die makroskopische Regelung war dafür nicht geeignet. Individualverkehr und Fussgänger wurden über Detektoren erfasst, die lokalen und zentralen Geräte werteten die Messungen aus und verarbeiteten Regelalgorithmen. Diese Funktionen waren in festverdrahteten Bausteinen verlegt, für jede Kreuzung und für jedes System wurden sie einzeln projektiert, gefertigt und geprüft.

Die mikroskopische Prioritätsregelung für den öffentlichen Verkehr brachte neue Anforderungen. Die Wünsche nach möglichst wartezeitfreier Fahrt für Tram und Bus, nach einem plausiblen Ablauf für die übrigen Verkehrsteil-

nehmer ohne grössere Behinderungen des Individualverkehrs waren mit den vorhandenen Geräten nicht mehr realisierbar. Das Auswerten einer grossen Zahl von Tram- und Busdetektoren und der sekundlich wechselnde Ablauf der Regelung abhängig von den Detektormessungen überforderte die festverdrahteten Schaltungen.

Mikroprozessoren und Computer öffneten neue Möglichkeiten. Komplexe Regelalgorithmen konnten verwirklicht werden, die vorher nicht oder nur vergrößert möglich waren. Bild 4 zeigt dazu die Hardware einer modernen Verkehrsregelung mit Priorität für den öffentlichen Verkehr. Sie weist eine umfangreiche Verkehrserfassung, eine lokale Datenverarbeitung mit Mikroprozessoren und zum Teil eine Zentrale mit einem Verkehrsrechner und leistungsfähige Übermittlungsanlagen auf. Mikroprozessoren und Rechner für die Verkehrsregelung unterscheiden sich von der üblichen Datenverarbeitung, weil sie den Prozess «Verkehr» regeln müssen. Sie haben Eingänge für Detektormeldungen, Ausgänge für Schaltbefehle und sie regeln im Echtzeit-Betrieb. Der Programmablauf im Rechner oder Mikroprozessor ist synchron mit dem zeitlichen Ablauf der Verkehrsregelung. Dazu benötigen die Prozessoren ein spezielles Betriebssystem.

Die Mikroprozessoren und Rechner verfügen über Bausteine, mit denen sie den Verkehr regeln können. Analog zur üblichen Datenverarbeitung brauchen sie aber Anweisungen, wie dies geschehen soll. Der spezifische Charakter der Kreuzungen und des Systems und das projektierte Regelungskonzept sind einzugeben. Diese Eingaben erfolgen über die Software.

Software

Die Lichtsignalregelung verwendet heute aus Bausteinen zusammengesteckte Geräte. Es fehlt der Bezug zu der Kreuzung, die geregelt werden soll, und es fehlen die Angaben, wie die Regelung zu arbeiten hat. Diese Anweisungen liefert die Software. Sie enthält die *knoten- und regelungsspezifischen Angaben in computerverständlicher Form*. Für die Software ist es unerheblich, ob die für sie bestimmten Speicher und der Prozessor für ihre Bearbeitung an einer Kreuzung oder in einer Zentrale stehen. Die Software für Mikroprozessoren und Verkehrsrechner unterscheidet sich wenig.

Bei der Verkehrsregelung besteht die Software aus drei prinzipiellen Teilen: aus der *Informationsverarbeitung*, der *Prozesssteuerung* und der *Informationsausgabe*. Mit der Informationsverarbeitung gewinnt die Regelung vor allem

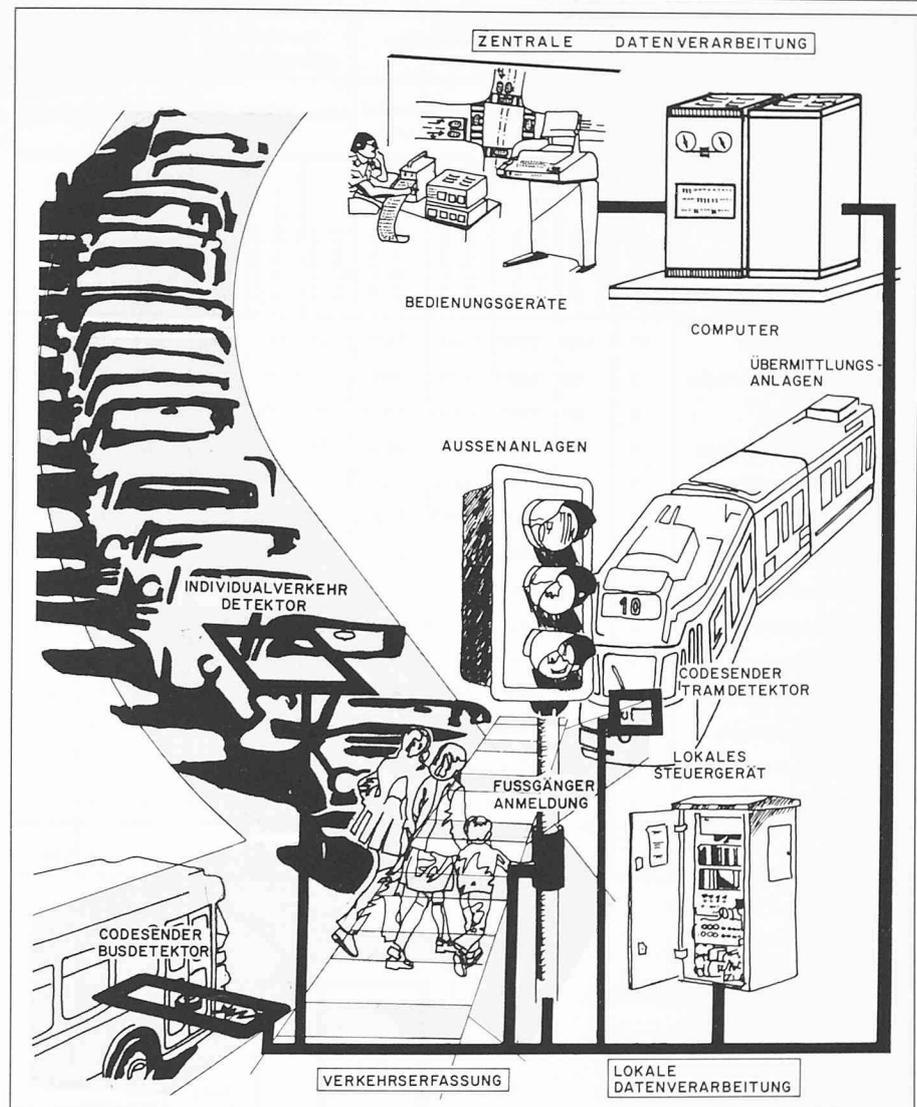


Bild 4. Hardware der Lichtsignalregelung

ein Bild über den Verkehrszustand. Die Verkehrsteilnehmer melden sich über Detektoren an, die Detektoren liefern elektrische Impulse. Aus ihrem Beginn, der Dauer und dem Ende wird auf den Verkehr geschlossen. Die Auswertung der Impulse hängt von der Regelungs- und von der Verkehrsart ab. Mikroskopische Regelungen bereiten kurzfristig auf, makroskopische Regelungen errechnen Mittelwerte und Trends. Ein Anmeldesystem für den öffentlichen Verkehr mit einer Kette von Detektoren, mit Block- und Haltestellenüberwachung ist umfangreicher als eine Fussgängeranmeldung. Die Prozesssteuerung geht vom Verkehrszustand aus und von spezifischen Knotendaten wie Zwischenzeiten, minimalen und maximalen Freigabezeiten und maximalen Sperrzeiten. Sie verarbeitet diese Angaben gemäss den verkehrstechnischen Grundlagen, wie sie z. B. in Bild 2 dargestellt sind. Die Prozesssteuerung entscheidet in jeder Sekunde, welche Freigabezeiten abzubrechen und welche Signalgruppen freizugeben sind. Das Ergebnis ist die Informationsausgabe

mit Befehlen über Freigabe oder Freigabeende.

Die Software ist einen ähnlichen Weg wie die Geräte gegangen. Zuerst wurden massgeschneiderte Einzellösungen geschrieben, analog zu den festverdrahteten Geräten. Dann wurde klar, dass die drei Softwareteile bei allen Lösungen ähnlich sind. Heute besteht die Software aus *Modulen*, die je nach Aufgabe zusammengestellt werden. Das Schreiben der Software geht von den verkehrstechnischen Grundlagen aus, verfeinert in mehreren Schritten und bestimmt zuletzt die Module, aus denen die Software besteht. Dieser Weg vom Generellen ins Detail wird als *strukturierte Programmierung* bezeichnet, das Ergebnis sind sogenannte *Struktogramme*. Sie lassen sich gut auf Bildschirmen abbilden und auf Druckern lesbar schreiben. Die Software wird deshalb auf üblichen Datenverarbeitungsanlagen produziert. Sie ist heute verständlich geschrieben, dadurch leicht zu ändern, anzupassen oder zu erweitern. Mit ihrem modularen Auf-

Regelungsgebiet	Anzahl Lichtsignalanlagen	Verkehr Abendspitze					Wartezeiten Abendspitze (Personenstunden pro Stunde)					
		(Fahrzeuge pro Stunde)		(Beförderte Personen pro Stunde)			Alte Regelung			Neue Regelung		
		öffentl. Verkehr	Individual-Verkehr	öffentl. Verkehr	Individual-Verkehr	Summe	öffentl. Verkehr	Individual-Verkehr	Summe	öffentl. Verkehr	Individual-Verkehr	Summe
Zürich Bellevue	11	140	5200	11000	7300	200	460	660	120	410	530	
Zürich Gessnerbrücke	3	60	3200	4000	4500	12	80	92	8	70	78	
Zürich Urania	5	80	2700	6400	3800	35	60	95	15	70	85	
Zürich Pelikanachse	4	75	3800	5400	5400	35	100	135	18	110	128	
Zürich Sihlbrücke	5	80	4700	6400	6600	36	120	156	23	110	133	
Zürich Selnau	2	28	2500	1900	3500	10	100	110	7	100	107	
Zürich Stauffacher	4	108	3000	8300	4200	31	160	191	32	140	172	
Zürich Wehntalerstr.	9	60	4300	2400	6000	65	85	150	46	68	114	
Zürich Giesshübel	4	40	5200	2400	7300	20	140	160	6	150	156	
Basel Dreispitz	4	52	2800	3400	3900	30	70	100	9	76	85	
Basel Viertelkreis	1	40	2800	2400	3900	30	50	80	6	54	60	
Genf, Chêne-Bourg	2	30	2400	2600	3400	10	25	35	3	25	28	
Genf, Chêne-Bougeries	3	30	2700	2600	3700	23	55	78	7	60	67	
Genf, Carouge	1	30	1900	2600	2700	22	13	35	6	19	25	
Summe	58	853	47200	61800	66200	559	1518	2077	306	1462	1768	

ZUSAMMENFASSUNG:

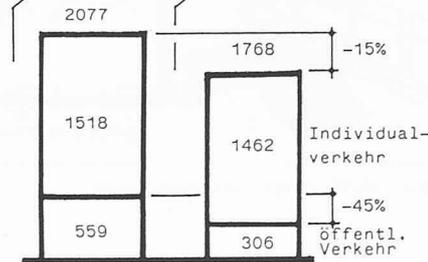


Bild 5. Beispiele für Regelungen mit Priorität für den öffentlichen Verkehr

bau braucht sie aber mehr Speicher und längere Rechenzeiten als massgeschneiderte Lösungen. Das spielt bei Mikroprozessoren, die nur die Software für eine Kreuzung bearbeiten, keine Rolle. Wenn zentrale Computer mehrere Kreuzungen regeln, dann muss die Software eventuell noch zusammengefasst werden, weil Speicher und Rechenzeit Grenzen setzen.

Beispiele

Verkehrstechnische Konzepte und moderne Technik müssen noch keine brauchbaren Resultate bringen. Lichtsignalregelung mit Priorität für den öffentlichen Verkehr muss in der Praxis funktionieren. Bild 5 stellt deshalb ausgeführte Lösungen aus den drei Städten Zürich, Basel und Genf zusammen. Die

Regelungen sind in den Jahren 1976 bis 1981 projektiert und in Betrieb genommen worden. Projektiert wurden sie vom unterzeichneten Ingenieurbüro in Zusammenarbeit mit den Polizei- und Tiefbauämtern der drei Städte. Die Mikroprozessoren und zentralen Verkehrsrechner, die eingesetzt wurden, stammen von der Firma Siemens.

Die Tabelle in Bild 5 bezeichnet zuerst die Regelungsgebiete und gibt die Zahl der Lichtsignalanlagen je Regelungssystem an. Es handelt sich um 14 Gebiete mit insgesamt 58 Lichtsignalanlagen. Die weiteren Kolonnen bringen Angaben zum Verkehr in einer durchschnittlichen Abendspitzenstunde. Etwa 130 000 Personen werden in jeder Abendspitze über die geregelten Kreuzungen befördert. Dabei transportiert der öffentliche Verkehr etwa gleich viele Personen wie der Individualverkehr,

aber mit einem Fünfzigstel an Fahrzeugen. Zuletzt stellt die Tabelle den Verkehrsablauf bei der alten und bei der neuen Verkehrsregelung dar. Es werden die Wartezeiten in Personenstunden für Individual- und öffentlichen Verkehr in einer Abendspitze angegeben. Ein Vergleich der Wartezeiten bei der alten und bei der neuen Regelung für jedes einzelne Regelungsgebiet lässt aber noch keine generellen Schlüsse zu.

Die Randbedingungen waren in allen Regelungsgebieten verschieden. Nur bei einigen war Priorität für Tram oder Bus der alleinige Auslöser für eine neue Lichtsignalregelung. Bei vielen Gebieten standen zwischen der neuen und der alten Regelung noch betriebliche und bauliche Massnahmen. Sie haben den Verkehrsablauf zum Teil verbessert, teilweise auch verschlechtert. Es würde hier zu weit führen, jedes Gebiet detailliert zu erläutern.

Betrachtet man aber alle Gebiete zusammen, dann gleichen sich die einzelnen betrieblichen und baulichen Massnahmen aus und es lässt sich eine Zwischenbilanz aus der Sicht der Lichtsignalregelung ziehen. Bild 5 fasst im Diagramm zuerst die Wartezeiten für öffentlichen und Individualverkehr für die alten Regelungen zusammen. Obwohl der öffentliche Verkehr etwa gleich viele Personen wie der Individualverkehr transportiert, lagen schon bei der alte Regelung seine Wartezeiten weit unter jenen des Individualverkehrs. Das liegt nur zum Teil daran, dass bereits die alten Regelungen mit Priorität für Tram und Bus gearbeitet haben. Der öffentliche Verkehr befährt an vielen Kreuzungen eigene Spuren oder Trassees und leidet nicht unter dem Fahrzeugstau. Er fährt aber mit Individualverkehr zusammen über die Kreuzungen und profitiert so von seinen Grünzeiten.

Trotzdem haben die neuen Regelungen die Wartezeiten der Passagiere im öffentlichen Verkehr um etwa 45 Prozent reduzieren können. Die Wartezeiten der beförderten Personen im Individualverkehr sind nicht gestiegen, sondern um etwa 4 Prozent gesunken. Die Wartezeiten aller beförderten Personen sind um etwa 15 Prozent kleiner als bei den alten Regelungen. Die Lichtsignalregelung mit Priorität für den öffentlichen Verkehr hilft nicht nur Tram und Bus, sondern der Verkehr wird als Ganzes besser bewältigt.

Adresse des Verfassers: Dr. P. Pitzinger, dipl. Ing./SIA, Verkehrsingenieur, Hegarstr. 16, 8032 Zürich.