

# Die Wirksamkeit von Lichtsignalanlagen

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **84 (1966)**

Heft 11

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-68858>

## **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.

problems gliedert sich in vier Teile, die nur als Ganzes angewandt wirksam werden. Als Grundsätze sind sie wie folgt formuliert:

- *Eliminierung der Dauerparkierer aus dem öffentlichen Grund der Innenstadt.* Die Dauerparkierung soll hier nur noch abseits der Strassen in öffentlichen oder privaten Parkflächen – wenn möglich kostendeckend – stattfinden dürfen.
- *Förderung der Kurzparkierung in der Innenstadt.* Dem Besucher-, Einkaufs-, Geschäfts- und Wirtschaftsverkehr ist genügend Parkraum zur Verfügung zu stellen.
- *Sicherung der Gebührenerhebung.* Die Erhebung von Gebühren gewährleistet eine zweckdienliche Staffelung der Benützung des öffentlichen Grundes. Dies gilt sowohl für die Kurzparkierung als auch für die Mittel- und Langparkierung.
- *Massnahmen des Park-and-Ride-Systems.* Durch die Schaffung von grosszügig angelegten Parkplätzen in der Nähe der Haltestellen öffentlicher Verkehrsmittel sollen die von auswärts kommenden Automobilisten des täglichen Berufsverkehrs veranlasst werden, ihr Fahrzeug ausserhalb der überlasteten Innenstadt abzustellen.

Da die Beschaffung neuen Parkraumes zu den kostspieligen und langfristigen Aufgaben der Stadtplanung gehört, schlagen die Gutachter sofort wirksam werdende organisatorische Massnahmen vor, die den vier Grundsätzen Rechnung tragen. Der bestehende Parkraum wird dadurch zwar nicht vermehrt, hingegen wird er besser bewirtschaftet und zweckmässiger verwendet. Der Vorschlag entspricht einer Nutzungsdifferenzierung der Parkflächen, die sich an die bekannte Differenzierung der Bauzonen anlehnt. Die Stadt soll in vier unterschiedliche Parkierungszonen eingeteilt werden, die als rote, rosa, blaue und weisse Zone bezeichnet sind. Die charakteristischen Merkmale sind die folgenden:

- *Die rote Zone* ist auf die Altstadt beschränkt. Im öffentlichen Verkehrsraum wird hier ein absolutes Parkierungsverbot erlassen. Die Strassen sind mit Vorrang für den Fussgänger reserviert; der Anliegerverkehr ist gestattet.
- *Die rosa Zone* umfasst grundsätzlich das restliche Citygebiet mit starker geschäftlicher Nutzung. Die Zugänglichkeit für den motorisierten Besucherverkehr ist sicherzustellen, indem die Dauerparkierung im öffentlichen Verkehrsraum für immer eliminiert wird. Die Parkhäuser dieser Zone sollen durch geeignete Gebührenstaffelung ebenfalls in erster Linie von Kurzparkierern benutzt werden. Die Kurzparkierung im öffentlichen Verkehrsraum ist durch Parkuhren zu kontrollieren. Die Parkgebühren sind zum Teil zu erhöhen, die zulässige Parkdauer ist besser zu staffeln. Die maximale Parkdauer im öffentlichen Verkehrsraum ist auf eine Stunde zu beschränken. Laufzeit der Parkuhren: 07.00–23.00 Uhr.

- *Die blaue Zone* ist gebührenfrei; sie stellt eine Pufferzone zwischen dem streng bewirtschafteten Gebiet und den unbeschränkt benützbaren Aussenzonen dar. Die Kontrolle erfolgt mit Parkscheibe; sie soll im wesentlichen ebenfalls der Eliminierung von Dauerparkierern dienen. In einzelnen Schwerpunkten intensiver Nutzung des Bodens können als Ausnahme Parkuhren aufgestellt werden. Die im Bereich der blauen Zone zu erstellenden Parkhäuser sind vornehmlich für die Dauerparkierung zu verwenden. Die Parkdauer im öffentlichen Strassenraum beträgt 1½ bis 3 Stunden. Bewirtschafteter Zeitraum 08.00 bis 18.00 Uhr.
- *Die weisse Zone* umfasst das übrige Stadtgebiet; hier gilt das übliche Regime ohne besondere Einschränkungen.

Zur Verbesserung des Verkehrsablaufs wird eine stärkere Ausschöpfung der bestehenden rechtlichen Möglichkeiten empfohlen. Die Hauptstrassen und die Tram- und Busstrassen sollen vom ruhenden Verkehr befreit werden. Der heute stark behinderte gewerbliche Verkehr ist zu erleichtern, in der roten Zone soll er privilegiert, in der rosa Zone in erster Linie berücksichtigt werden. Weitere Empfehlungen befassen sich mit Erleichterungen des Taxiverkehrs, der Unterbringung von Schwerlastwagen und der Anlage von Halteplätzen für Gesellschaftswagen.

Die Möglichkeiten der Gebührenerhebung für das Nachtparkieren im öffentlichen Strassenraum sind durch gestaffelte Tarife auszuschöpfen, wodurch die Errichtung kleiner Sammelgaragen in den Quartieren auf Privatgrund gefördert werden soll. Mit Hilfe der Einführung einer Abgeltungsverpflichtung sollen sich auch diejenigen Bauherren an der Schaffung neuen Parkraumes beteiligen, die bisher auf Grund des Ausnahmean Artikels von der Bereitstellung von Parkständen auf privatem Grunde befreit waren.

Diese Massnahmen ermöglichen es, bereits innert 5 Jahren die Zahl der für Besucher zur Verfügung stehenden öffentlichen Parkstände in der Innenstadt wie folgt zu erhöhen:

- durch organisatorische Massnahmen 7200 P
- nach Fertigstellen der ersten Grossparkhäuser 11 000 P

Gegenüber den heute bestehenden 2100 Parkständen bedeutet das eine Verdrei- bzw. Verfünffachung der Zahl. Die Sachbearbeiter empfehlen vor allem, die Vorschläge für die Sofortmassnahmen beförderlichst prüfen zu lassen. Diesen Vorschlägen schliesst sich auch der Delegierte für die Stadtplanung an.

Zürich, 24. Januar 1966.

Hans Marti

Adresse des Verfassers: 8057 Zürich, Malvenstrasse 24

## Die Wirksamkeit von Lichtsignalanlagen

Von Dr. Peter Pitzinger, dipl. Bauing., S. I. A., Zürich

DK 656.1.051

### 1. Einleitung

Der Anlass zu dem vorliegenden Artikel war eine *Untersuchung des Bureau of Public Roads* in den USA [1]. Es wird darin die Leistungsfähigkeit von Kreuzungen behandelt und unter anderem auch die Wirksamkeit von zahlreichen Lichtsignalanlagen in den USA überprüft. Das Ergebnis dieser Überprüfung ist zumindest überraschend.

Im Rahmen von sogenannten Sofortprogrammen planen und bauen Städte Zentralsteuerungen für Lichtsignalanlagen und andere komplexe Signalsysteme. Diese Anlagen sind kostspielig und kompliziert. Es sind deshalb Überlegungen notwendig, welche Vorteile diese Systeme bringen können und in welcher Weise sie eingerichtet werden sollen. In diesem Zusammenhang ist es naheliegend, zu überprüfen, wie wirksam die einfachen Steuergeräte für isolierte Kreuzungen heute arbeiten. Bevor man sich an ein kompliziertes, koordiniertes System heranwagt, sollte man in der Lage sein, einfache und wirksame Lichtsignalanlagen einzurichten. Die erwähnte Untersuchung des Bureau of Public Roads ergibt für die bestehenden amerikanischen Lichtsignalanlagen ein ungünstiges Bild. Die Untersuchung umfasste 1600 Kreuzungszufahrten in den USA. Sie hatte zur Aufgabe, Grundlagen für eine Revision des «Highway Capacity Manual» aus dem Jahre 1950 zu bieten. Dieses Werk bildete seit seinem Erscheinen die Basis für Leistungsfähigkeitsberechnungen von Strassen und Kreuzungen und musste der fortschreitenden Entwicklung angepasst werden. An rd. 300 Kreuzungen konnte bei dieser Gelegenheit auch die Wirksamkeit bestehender Lichtsignalanlagen überprüft werden.

Eine Lichtsignalanlage ergibt dann den wirksamsten Verkehrsablauf und die geringsten Zeitverluste, wenn alle Zufahrten der

Kreuzung in gleichem Masse ausgelastet sind. Die Untersuchung bezeichnet das Verhältnis der voll ausgelasteten Umlaufzeiten einer Zufahrt zu der gesamten Anzahl der Umlaufzeiten in der Spitzenstunde als «load factor» (*Belastungsfaktor*). Bei einer gut funktionierenden Lichtsignalanlage muss daher das Verhältnis der Belastungsfaktoren der Zufahrten einen Wert nahe 1,00 erreichen. Ein Verhältnis der Belastungsfaktoren von 0,09 besagt, dass in einer Zufahrt elfmal mehr Umlaufzeiten ausgelastet sind als in den anderen. Die 268 untersuchten Kreuzungen verteilen sich fast gleichmässig über den möglichen Bereich. Nur 22% der Kreuzungen zeigen ein Verhältnis der Belastungsfaktoren über 0,8. Für die Untersuchungen wurden verschiedene Gebiete in den USA ausgewählt. Die überprüften Kreuzungen waren im allgemeinen die stärksten belasteten dieser Gebiete und lagen im Schnittpunkt zweier oder mehrerer Hauptstrassen. Es wurden keine Kreuzungen von Haupt- mit Nebenstrassen einbezogen, da in diesem Fall das Verhältnis der Belastungsfaktoren von 1,00 nicht angestrebt wird. Dort ist die Regelung dann am wirksamsten, wenn die Hauptstrasse bevorzugt wird.

Kreuzungen von zwei Einbahnstrassen sind einfach zu regeln. Die Untersuchung hat aber gezeigt, dass auch bei diesen Kreuzungen die bestehenden Möglichkeiten nicht genützt werden, indem bei 41,9% der Kreuzungen das Verhältnis der Belastungsfaktoren zwischen 0,00 und 0,07 liegt. Werden die untersuchten Kreuzungen nach der Art der Signalregelung eingeteilt, so beträgt das durchschnittliche Verhältnis der Belastungsfaktoren bei Festzeitsteuerung 0,54, bei Festzeitsteuerung mit mehreren Programmen 0,64, bei teilweise verkehrshängiger Steuerung 0,66, bei *verkehrshängiger Steuerung* 0,36, beim

Progressivsystem 0,42 und beim flexiblen Progressivsystem 0,61. Offensichtlich funktionieren verkehrsabhängige Steuerungen nicht so, wie es von den Herstellern behauptet wird, oder sie werden nicht richtig eingerichtet.

Es ist eines der wichtigsten städtischen Transportprobleme, den Verkehrsfluss an Kreuzungen zu verbessern. Die amerikanische Untersuchung hat gezeigt, wie viel Spielraum für Verbesserungen bleibt. Es bleibt eine Ermessensfrage, ob diese Ergebnisse aus den USA auf die Schweiz übertragbar sind. Hier fehlen analoge Untersuchungen. Vergleicht man aber die einfachen Kreuzungen in den USA mit den Knoten mit mehr als vier Ästen, den Mehrphasensystemen und dem inhomogenen Verkehr in der Schweiz, so bleibt höchstens die Frage, ob die Wirksamkeit der Lichtsignalanlagen hier nicht noch weit schlechter ist.

Lichtsignalanlagen haben einen wesentlichen Einfluss auf den Verkehrsablauf. Sorgfältig geplant und fachgerecht eingerichtet, bewirken sie einen geregelten Verkehrsfluss und reduzieren die Häufigkeit bestimmter Unfälle; sie können koordiniert werden und in ganzen Strassennetzen einen kontinuierlichen Verkehrsablauf erreichen. Lichtsignalanlagen können aber auch, wenn sie am falschen Ort stehen oder unsachgemäss entworfen wurden, zu langen Wartezeiten, zur Nichtbeachtung der Signalanzeigen oder zum Benützen von ungeeigneten Ausweichstrassen führen, um die Signale zu vermeiden. Der vorliegende Bericht versucht, einigen Ursachen nachzugehen, die zu Schwierigkeiten bei Lichtsignalanlagen führen. Dabei ist es nicht die Aufgabe, auf organisatorische oder kommerzielle Aspekte einzugehen oder einzelne bestehende Anlagen zu kritisieren. Es sollen nur einige verkehrstechnische Probleme der Lichtsignalregelung besprochen werden.

## 2. Begründung einer Lichtsignalanlage

Es ist ein eindeutiger Fehler, eine Lichtsignalanlage auf Grund eines spektakulären Unfalles einrichten zu wollen. Die allgemeine öffentliche Ansicht, das Lichtsignalanlagen die Anzahl der Unfälle wesentlich reduzieren, wird durch die Erfahrung nur selten bestätigt. Häufig steigt die Unfallzahl nach der Einrichtung [2]. Von einer Lichtsignalanlage kann nicht erwartet werden, dass Auffahrunfälle und Kollisionen zwischen Abbiegern und Fussgängern oder zwischen Linksabbiegern und entgegenkommenden Geradeausfahrern abnehmen. Wesentlich reduziert werden nur rechtwinklige Kollisionen, Kollisionen zwischen Geradeausfahrern und Fussgängern sowie Unfälle infolge übersetzter Geschwindigkeit, aber nur in koordinierten Systemen. Für die Einrichtung von Lichtsignalanlagen sind in erster Linie andere Kriterien als die Unfallzahlen massgebend. Eine blosse Häufung von Unfällen allein rechtfertigt eine Lichtsignalanlage noch nicht, da auch weniger einschränkende Mittel Unfälle verhindern können. Erst wenn diese Massnahmen versagt haben, soll eine Lichtsignalanlage eingerichtet werden. Die kreuzenden Verkehrsströme, die zu Unfällen geführt haben, sollen damit zeitlich getrennt werden.

Es bleibt die Frage offen, wann eigentlich an einer Kreuzung eine Lichtsignalanlage eingerichtet werden soll. Es gibt dafür keine europäischen Richtwerte. Die deutschen Richtlinien empfehlen, eine vergleichende Leistungsberechnung zwischen einer Vorrang- und einer Lichtsignalregelung durchzuführen [3]. Die Methoden für die Berechnung von vorrang-geregelten Kreuzungen sind aber kompliziert und nur für Spezialfälle geeignet [4]. Ganz allgemein gesagt, ist eine Lichtsignalregelung leistungsfähiger als eine Vorrang- oder Stopregelung. Die Verkehrsbelastung, von welcher an eine Lichtsignalanlage notwendig ist, ergibt sich deshalb nicht aus dem Vergleich der Leistungsfähigkeit, sondern aus dem Vergleich der Zeitverluste [5]. Aber auch dieser Weg ist praktisch noch nicht anwendbar. Deshalb sollten zumindest als grobe Richtwerte die *amerikanischen Normen* angewendet werden [2]. Danach kann eine Lichtsignalanlage eingerichtet werden, wenn folgende stündliche Verkehrsbelastungen täglich während 8 Stunden auftreten:

Zufahrt	beide Hauptstrassenzufahrten zusammen	stärkere Nebenstrassenzufahrt
einspurig	500 PWE/h	150 PWE/h
mehrspurig	600 PWE/h	200 PWE/h

  

bei untragbaren Wartezeiten für den Verkehr in den Zufahrt	beide Hauptstrassenzufahrten zusammen	Nebenstrassen: stärkere Nebenstrassenzufahrt
einspurig	750 PWE/h	75 PWE/h
mehrspurig	900 PWE/h	100 PWE/h

bei starkem Fussgängerverkehr, der die Hauptstrasse überquert:

	beide Hauptstrassenzufahrten	Fussgänger auf stärkstem Übergang über Hauptstrasse
Hauptstrasse ohne Mittelinsel	600 PWE/h	150 F/h
Hauptstrasse mit Mittelinsel	1000 PWE/h	150 F/h

Diese massgebenden Belastungen können für Gemeinden mit weniger als 10 000 Einwohnern oder bei Zufahrtsgeschwindigkeiten über 65 km/h um 30% reduziert werden. Für einzelne Anlagen in koordinierten Systemen müssen diese Bedingungen nicht erfüllt sein. Diese haben nur den Zweck, die Fahrzeuge zu bündeln und dadurch die Koordination zu erleichtern.

## 3. Systemwahl

Ein weiteres Problem ist die Wahl des richtigen Signalsystems. Für Einzelkreuzungen stehen festzeitgesteuerte und verkehrsabhängige Anlagen zur Verfügung. Jedes der beiden Systeme hat seine bestimmten Vorteile und seinen eindeutigen Anwendungsbereich. Leider sieht die Praxis oft anders aus. So werden z. B. verkehrsabhängige Lichtsignalanlagen als Allheilmittel gegen Verkehrsschwierigkeiten propagiert und an den ungeeignetsten Orten errichtet. Die einleitend angeführte Untersuchung hat festgestellt, wie unwirksam dann diese Anlagen arbeiten.

*Festzeitgesteuerte Anlagen* sind für *städtische Verhältnisse* die einfachsten und die besten Lichtsignalanlagen. Einer ihrer wesentlichen Vorteile ist der, dass sie sich sehr gut für eine Koordinierung eignen. In Städten kann der Verkehrsablauf nur entscheidend verbessert werden, wenn das ganze Strassennetz erfasst wird. Es müssen hier koordinierte Systeme bevorzugt werden. Isolierte Signalanlagen sollten die Ausnahme bilden. Auf die koordinierten Anlagen einzugehen, ist im Rahmen dieses Artikels nicht möglich. Für ihren Entwurf liegen Richtlinien und Methoden vor, um Fehler zu vermeiden und ein Optimum aus dem bestehenden Strassennetz herauszuholen [6]. Festzeitgesteuerte Anlagen regeln den Verkehr mit mehreren Programmen für Spitzenstunden und Flautezeiten. Sie setzen voraus, dass man den Verkehrsablauf nach Grösse und Tageszeit aus Zählungen kennt. Im städtischen Verkehr wiederholen sich die Schwankungen im Verkehrsanfall; die Anlagen können daher vorprogrammiert werden.

*Verkehrsabhängige Anlagen* sind hier praktisch ungeeignet. In verkehrsschwachen Stunden könnten sie zwar die Zeitverluste der Fahrzeuge verringern. Dieser Gewinn ist aber nur sehr gering [7] und spielt nur für einen sehr kleinen Teil des Tagesverkehrs eine Rolle. In den übrigen Tagesstunden entspricht ihr Ablauf dem der festzeitgesteuerten Anlagen. Die teure und komplizierte Automatik und die Detektoren werden sinnlos. Daneben sind verkehrsabhängige Anlagen wesentlich störungsanfälliger als festzeitgesteuerte. Ein einziges schlecht abgestelltes Fahrzeug kann dazu führen, dass der Detektor in der Zufahrt nicht überfahren wird und die Signalregelung versagt. Verkehrsabhängige Anlagen sind vor allem für *kleinere Gemeinden* geeignet. Sie werden nicht vorprogrammiert, sondern passen die Signalanzeige bis zu einem gewissen Grad dem Verkehrsanfall in den einzelnen Zufahrten an. Sie messen die Anzahl der Fahrzeuge entweder in allen Zufahrten und sind dann vollverkehrsabhängig, oder nur in einzelnen Zufahrten als teilweise verkehrsabhängige Anlagen. Geeignet sind sie vor allem für einen Verkehrsablauf, dessen Schwankungen unregelmässig und durch Zählungen nicht erfassbar sind. Vor allem in kleineren Gemeinden treten bestimmte Zufahrtsbelastungen nur sporadisch auf; mit verkehrsabhängigen Anlagen können sie Grünzeiten nach Bedarf erhalten. Einzelne Fussgänger können Druckknöpfe betätigen und den Verkehr auf der Hauptstrasse unterbrechen. Verkehrsabhängige Anlagen sind für eine Koordinierung nur sehr wenig geeignet. Für kleinere Gemeinden ist dies aber ohne Bedeutung.

*Handgesteuerte Anlagen* sollten nur in Ausnahmefällen verwendet werden. Polizeibehörden verlangen bei Lichtsignalanlagen oft noch die Möglichkeit, sie manuell bedienen zu können. Das Ergebnis der Handsteuerung sind dann grosse Zeitverluste und überfüllte Stauräume. Die Handsteuerung ist die unwirtschaftlichste Regelung. Es

kommen Umlaufzeiten bis zu 4 Minuten vor; dadurch wird eine grosse Verkehrsmenge vorgetäuscht, die in Wirklichkeit nur durch die schlechte Regelung entsteht.

In städtischen Verhältnissen werden immer wieder verkehrshängige Anlagen gebaut, bei welchen oft Wert gelegt wird auf die scheinbare Flexibilität dieser Anlagen, vor allem in Flauteinstunden. Regelungsprogramme für diese Stunden können aber bei allen festzeitgesteuerten Anlagen vorgesehen werden. Der Charakter des Verkehrsanfalles ist durch Zählungen zu ermitteln.

#### 4. Leistungsberechnungen

Auf dem Leistungsfähigkeitsnachweis für geplante Lichtsignalanlagen beruht die Entscheidung für eine bestimmte Lösung. Nur selten wird auf eine mangelnde Leistungsfähigkeit der Kreuzung und auf deren Konsequenzen hingewiesen. Es sind z. B. zusätzliche Aufstellspuren oder Abbiegerverbote notwendig, um eine auf die Dauer für Fahrer und Fussgänger wirksame Regelung zu erreichen.

Der Fehler bei Leistungsfähigkeitsnachweisen besteht in der Hauptsache darin, dass zu hohe Spurleistungsfähigkeiten pro Grünstunde verwendet werden. Es ist dies die Leistungsfähigkeit einer Zufahrtspur in PWE/h, wenn das Signal immer auf Grün stünde. Man rechnet fehlerhaft mit 1800 PWE/Grünstunde oder einem Zeitbedarf von 2 s pro Fahrzeug. Das häufig verwendete «Zeit-Weg-Verfahren» [8] beruht z. B. auf diesen Werten. Diese Spurleistungsfähigkeit kann zweifellos erreicht werden, aber nur mit einem Rückstau von Fahrzeugen, der sich über hunderte Meter erstreckt. Es erscheint sinnvoll, auf die Leistungsberechnung einzugehen, da die Grundwerte der Regelung – Umlaufzeiten, Grünzeiten, Wartezeiten und Rückstau – dabei ermittelt werden. Es gibt drei anerkannte Verfahren:

- das Zeitbedarfsverfahren mit Berücksichtigung einer Zufallsverteilung der Fahrzeuge
- das Verfahren nach dem «Highway Capacity Manual»
- die «British Road Research Laboratory»-Methode.

Diese Methoden sollen hier nicht erläutert werden; sie finden sich in der Fachliteratur. Interessant ist hier nur, mit welchen Spurleistungsfähigkeiten pro Grünstunde diese anerkannten Verfahren rechnen.

Das Zeitbedarfsverfahren berücksichtigt das zufällige Eintreffen der Fahrzeuge an der Signalanlage. Es wird auf der Grundlage gerechnet, dass nur in einem von 20 Umläufen mehr Fahrzeuge eintreffen dürfen als bewältigt werden können. Als Zufahrtsgesetz gilt die Poisson-Verteilung; gestörte Verteilungen sind bei den üblichen Umlaufzeiten nachweisbar ohne Einfluss. Aus einer Tabelle kann die Anzahl der Fahrzeuge, abhängig von der stündlichen Verkehrsmenge und der Umlaufzeit, bestimmt werden, die nur in 5% der Umlaufzeiten überschritten wird (Tabelle 1). Bei einer Verkehrsmenge von z. B. 600 PWE/h und einer Umlaufzeit von 60 s sind dies 15 PWE. Durchschnittlich werden in diesem Fall 10 PWE/h pro Umlaufzeit eintreffen. Der Zeitbedarf der abfahrenden Fahrzeuge beträgt im Durchschnitt  $2 \text{ s/PW} + 4 \text{ s Anfahrverlustzeit}$ . Die Spurleistungsfähigkeit pro Grünstunde lässt sich aus diesem Zeitbedarf und den Werten der Tabelle 1 leicht errechnen. Sie beträgt bei diesem Verfahren rd. 1300 PWE.

Tabelle 1. Anzahl der an der Signalanlage eintreffenden Fahrzeuge, abhängig von der stündlichen Verkehrsmenge und der Umlaufzeit

Spurbelastung (PWE/h)	Umlaufzeit (s)								
	40	50	60	70	80	90	100	110	
50	2	2	2	2	2	3	3	3	
100	2	3	4	4	4	5	5	6	
200	4	5	6	7	8	8	9	10	
300	6	7	8	10	11	12	13	14	
400	8	9	11	12	14	15	16	18	
500	9	11	13	15	16	18	20	21	
600	11	13	15	17	19	21	23	25	
700	12	15	17	19	22	24	26	29	
800	14	16	19	22	24	27	30	32	
900	15	18	21	24	27	30	33	36	
1000	16	20	23	26	30	33	36	39	
1100	18	22	25	29	32	36	39	43	
1200		23	27	31	35	39	42	46	
1300				33	37	41	45	50	
1350					38	43	47	51	
1400								53	

Tabelle 2. Fahrzeugstau einer 3,5 m breiten Zufahrtspur (Sättigungsverkehrsmenge rund 1900 PWE pro Grünstunde), der einmal in 20 Umlaufzeiten noch überschritten wird

Sättigungsgrad x	Grünzeitanteil λ	m = durchschnittliche Verkehrsmenge pro Umlaufzeit c				
		2,5	5,0	10,0	20,0	40,0
0,3	0,4	5	7	12	20	34
	0,6	4	5	9	15	24
	0,8	3	4	6	9	15
0,5	0,2	6	7	15	26	47
	0,4	5	7	12	20	35
	0,6	4	5	9	15	24
	0,8	3	4	6	9	15
0,7	0,2	7	9	15	25	44
	0,4	6	8	12	20	34
	0,6	5	7	9	15	25
	0,8	5	5	7	9	15
0,8	0,2	9	12	16	25	46
	0,4	8	11	14	21	35
	0,6	8	9	11	16	25
	0,8	7	8	9	11	16
0,9	0,2	19	18	22	30	49
	0,4	19	17	20	23	39
	0,6	19	16	17	21	34
	0,8	18	15	15	18	22
0,95	0,2	36	28	33	40	55
	0,4	35	27	30	35	47
	0,6	34	26	25	34	39
	0,8	34	25	27	27	32
0,975	0,2	74	63	65	62	84
	0,4	74	57	65	59	75
	0,6	69	61	62	54	65
	0,8	65	56	61	51	64

Das Verfahren nach dem Highway-Capacity-Manual ist wie erwähnt seit 1956 in Revision. Vorläufige Dimensionierungsgrössen sind im Jahre 1962 erschienen [1]. Für eine Stadt z. B. in der Grösse von Zürich ergibt sich daraus eine Leistungsfähigkeit pro Grünstunde für eine 3,5 m breite Zufahrtspur von rd. 1000 PWE.

Die British Road Laboratory Methode geht von einer Sättigungsverkehrsmenge von rd. 1900 PWE pro Grünstunde für eine 3,5 m breite Zufahrtspur aus. Mit Formeln und Tabellen wird jedoch nachgewiesen, mit welchen Wartezeiten und Rückstauemengen gerechnet werden muss, wenn mit dieser Sättigungsverkehrsmenge dimensioniert wird. Die Tabelle 2 zeigt den Fahrzeugstau, der einmal in 20 Umlaufzeiten noch überschritten wird.

Er hängt ab von:

m durchschnittliche Verkehrsmenge pro Umlaufzeit c

$\lambda = \frac{g}{c}$  Grünzeitanteil

g effektive Grünzeit ohne Anfahrverluste

$x = \frac{q}{\lambda s}$  Sättigungsgrad

q Verkehrsmenge pro Stunde

s Sättigungsverkehrsmenge

Aus der Tabelle 2 geht hervor, dass vernünftige Rückstaulängen nur mit einem niedrigen Sättigungsgrad erreicht werden. Bei einem Sättigungsgrad nahe 1,0, d. h. bei einer Verkehrsmenge von 1900 PWE pro Grünstunde, wird der Rückstau rd. 300–400 m betragen. Ein tragbarer Rückstau ergibt sich bei einem Sättigungsgrad von 0,7 oder einer Spurleistungsfähigkeit von rd. 1300 PWE pro Grünstunde.

Unabhängig davon, welche Bemessungsmethode man also anwendet, wird die Spurleistungsfähigkeit pro Grünstunde im Maximum 1300 PWE betragen. Rechnet man mit höheren Werten, dann setzt man voraus, dass die Lichtsignalanlage regelmässig überlastet sein wird.

#### 5. Umlaufzeiten

Es kommt sehr häufig vor, dass Lichtsignalanlagen mit viel zu hohen Umlaufzeiten eingerichtet werden. Grosse Umlaufzeiten führen zu langen Wartezeiten und vor allem zu einem grossen Fahrzeugstau. Die vorhandenen Stauräume reichen dann nicht mehr aus. Die

optimale Umlaufzeit für jede Art des Verkehrsanfalles kann mit Formeln [9] oder ebenso genau mit Richtwerten berechnet werden: Normale Umlaufzeiten liegen zwischen 50 s und 70 s; der untere Grenzwert beträgt 30 s, der obere 90 s. In Sonderfällen kann die Umlaufzeit bis 120 s betragen.

Auch die übliche Praxis, die Umlaufzeiten für Programme in Spitzenstunden zu erhöhen, ist zumindest anfechtbar. Vorteilhaft ist daran, dass der Anteil der Gelb- und Allrotzeiten an der Umlaufzeit kleiner wird. Die Gelb- und Allrotzeiten sind konstante Grössen für alle Umlaufzeiten und ergeben sich aus der Situation der Kreuzung. Mit einer grösseren Umlaufzeit wird deshalb die Lichtsignalanlage theoretisch leistungsfähiger. Praktisch ist dieser Gewinn selten feststellbar. Werden nämlich die Grünzeiten grösser als rd. 20 s, so fällt die Spurleistungsfähigkeit wieder ab [1], [7]. Die Fahrzeuge überfahren die Stoplinie mit grösseren Geschwindigkeiten und daher auch mit grösseren zeitlichen Abständen. Die Nachteile von grösseren Umlaufzeiten in Spitzenstunden dürfen nicht unterschätzt werden: Die Zeitverluste der Fahrzeuge steigen, und Linksabbieger, die den Verkehrsfluss behindern, erhalten weniger Gelegenheiten, die Kreuzung zu entleeren.

## 6. Phasenzahl

Die Erkenntnis, dass Lichtsignalanlagen mit einem Zweiphasensystem die besten und leistungsfähigsten sind, hat sich noch nicht durchgesetzt. Immer wieder wird versucht, durch komplizierte Mehrphasensysteme alle sich kreuzenden Verkehrsbewegungen zu beseitigen. Jede zusätzliche Phase bedeutet einen grossen Leistungsverlust, Stauungen und Wartezeiten. Es ist praktisch unmöglich, alle sich kreuzenden Verkehrsbewegungen der Fahrzeuge und Fussgänger zu trennen; dies wird auch von einer Lichtsignalanlage nicht verlangt. Innerhalb der Lichtsignalregelung gilt das Vortrittsrecht der entgegenkommenden Geradeausfahrer vor Linksabbiegern und der Fussgänger vor den Abbiegern [10].

Die Anzahl der Phasen einer Lichtsignalregelung wird immer einen Kompromiss zwischen Sicherheit und Leistungsfähigkeit darstellen. Man muss sich aber darüber im klaren sein, dass scheinbar notwendige Mehrphasensysteme oft ein Beweis für eine schlechte Verkehrsführung oder einen ungeeigneten Kreuzungsausbau sind. Die Verkehrsführung lässt sich verbessern, wenn man nicht nur die Kreuzung selbst, sondern das ganze Strassenetz untersucht. Dann lassen sich Linksabbieger im Knoten eliminieren, Einbahnstrassen einrichten und Haltestellen der öffentlichen Verkehrsmittel verlegen. Durch ein Versetzen von Randsteinen können Abbiegerspuren und Haltestellenbuchten angeordnet werden. Der Ablauf an der Kreuzung wird einfacher gestaltet, denn die einfachste Lichtsignalanlage mit der kleinsten Phasenzahl wird immer auch die beste sein.

## 7. Einstellwerte verkehrsabhängiger Anlagen

Bei der erwähnten amerikanischen Untersuchung haben die verkehrsabhängigen Anlagen weitaus am schlechtesten abgeschnitten. Das könnte überraschen, weil diese Anlagen mit ihrer grossen Flexibilität eigentlich den wirksamsten Verkehrsablauf bieten sollten. Da die Messungen in den Spitzenstunden durchgeführt wurden, sollten die verkehrsabhängigen Anlagen zumindest den Wirkungsgrad festzeitgesteuerter Anlagen erreichen.

Ganz unabhängig davon, ob der Automatikeil und die Detektoren richtig arbeiten, erkennt man häufig schon auf den ersten Blick, dass bestimmte verkehrsabhängige Anlagen nicht einwandfrei funktionieren können – die Detektoren liegen viel zu nahe an der Stoplinie. Ihr Abstand hängt mit den Einstellwerten der Anlagen zusammen:

Die Länge der Grünzeit bewegt sich zwischen einer Minimal- und einer Maximalzeit. Auf eine Fahrzeuganmeldung über den Detektor läuft zuerst die Mindestgrünzeit ab. Sie verlängert sich für jede weitere Anmeldung um die Überfahrzeit. Diese Überfahrzeit bestimmt die Flexibilität der Anlage, den Abstand zwischen Detektor und Stoplinie und die Mindest-Grünzeit. Die Überfahrzeit soll zwischen 3 s und 5 s liegen. Ist der Zeitabstand der eintreffenden Fahrzeuge grösser als die Überfahrzeit, dann endet die Grünzeit. Je kleiner die Überfahrzeit ist, um so sensibler reagiert die Anlage. Sie muss jedoch grösser sein als das Abflussintervall der Fahrzeuge von rd. 2 s. Gleichzeitig muss die Überfahrzeit der Fahrzeit zwischen Detektor und Stoplinie entsprechen. Die Mindestgrünzeit muss dann genügen, um den Stauraum zwischen Detektor und Stoplinie leeren zu können. Aus dieser kurzen Erläuterung der Funktionsweise ergeben sich die Beziehungen zwischen Zufahrtsgeschwindigkeit, Überfahrzeit, Mindestgrünzeit und Detektorabstand gemäss Tabelle 3.

Tabelle 3. Beziehungen zwischen Zufahrtsgeschwindigkeit, Überfahrzeit, Mindestgrünzeit und Detektorabstand

Zufahrtsgeschwindigkeit (85 Perzentile)	Überfahrzeit 4 s		Überfahrzeit 3 s	
	Abstand Detektor- Stoplinie	Mindest- Grünzeit	Abstand Detektor- Stoplinie	Mindest- Grünzeit
km/h	m	s	m	s
30	33	15	25	12
35	39	17	29	14
40	44	19	33	15
45	50	21	38	17
50	55	22	42	18
55	62	24	46	19
60	66	26	50	21
65	72	28	54	22
70	78	30	58	23

Die notwendigen Abstände der Detektoren von der Stoplinie sind relativ gross. Verkehrsabhängige Anlagen können also nur dort eingerichtet werden, wo auch die Stauräume genügend lang sind, ganz abgesehen von den Voraussetzungen im Verkehrsablauf, über die im Abschnitt 3 die Rede war.

## 8. Schlussfolgerungen

Es ist nicht möglich, im vorliegenden Rahmen auf alle Fehler einzugehen, die bestehende Lichtsignalanlagen aufweisen. Es gibt sehr vielfältige Möglichkeiten für die Verbesserung des Verkehrsflusses an Kreuzungen und der Lichtsignalanlagen. Voraussetzung sollte sein, dass ihre verkehrstechnische Projektierung in die Hände von Verkehrsfachleuten gehört. Signalfirmen können z. B. für den verkehrlichen Teil der Projektierung einen Verkehrsingenieur beiziehen. Ein anderer Weg ist die direkte Zusammenarbeit der auftraggebenden Behörde mit einem beratenden Verkehrsingenieur. Er arbeitet ein Projekt mit einem Pflichtenheft aus, das alle notwendigen Angaben über die Lichtsignalregelung enthält. Auf dieser Basis können die eingeladenen Lieferfirmen Offerten einreichen, und die Behörde verfügt über vergleichbare Grundlagen. Es ist selbstverständlich, dass die Lieferfirmen zusätzlich zu den Offerten auch eigene Projekte für die Lichtsignalanlage ausarbeiten und einreichen können.

Abschliessend muss darauf hingewiesen werden, dass in der Schweiz einheitliche Richtlinien für den Bau von Lichtsignalanlagen fehlen. Die Fachliteratur enthält die verschiedensten Verfahren für die Dimensionierung von Lichtsignalanlagen. Sie reichen von theoretisch anspruchsvollen Methoden bis zu groben Überschlagsrechnungen; die Wahl der Methode hängt vom Ausbildungsgrad des Projektierenden ab. Aber in jedem Fall sind einheitliche Richtlinien notwendig, die z. B. festlegen, welche Unterlagen für die Projektierung vorliegen müssen, welche Berechnungen durchgeführt werden sollen und wie die technischen Einrichtungen zu gestalten sind. Für solche Richtlinien gibt es genügend Beispiele aus anderen Ländern. Gute Richtlinien werden sicher helfen, die Wirksamkeit von Lichtsignalanlagen zu verbessern.

## Literaturnachweis

- [1] O. K. Normann: Variations in Flow at Intersections as Related to Size of City, Type of Facility and Capacity Utilisation in «Highway Research Board Bulletin» 352, Washington D.C., 1962.
- [2] Manual on Uniform Traffic Control Devices, Bureau of Public Roads, Washington D.C., 1961.
- [3] Richtlinien für den Bau und Betrieb von Lichtsignalanlagen im Strassenverkehr, Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen e. V., Ausgabe 1964.
- [4] R. Woerner: Verfahren zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von unregelmässigen Verkehrsknoten. Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen, Heft 55, 1963.
- [5] F. V. Webster & J. G. Wardrop: Capacity of Urban Intersections, in «Traffic Engineering and Control», 1962.
- [6] P. Pitzinger: Graphische Methode für den Entwurf koordinierter Signalsysteme, Diss. T. H. Wien 1964.
- [7] F. V. Webster: Traffic Signals, in «Traffic Engineering Practice», London 1963.
- [8] K. Leibbrand: Verkehr und Städtebau, Birkhäuser, 1964.
- [9] F. V. Webster: «Traffic Signal Setting», Road Research Technical Paper No 39, London 1958.
- [10] Verordnung über die Strassensignalisation, 1963.

Adresse des Verfassers: Dr. P. Pitzinger, im Ingenieurbüro Dr. E. Staudacher & R. Siegenthaler, Frohburgstr. 85, 8006 Zürich.