

Optimierungskriterien zur Steuerung des Straßenverkehrs mit Lichtsignalanlagen

VON PROFESSOR DR.-ING. HANS-GEORG RETZKO
UND DR. TECHN. PETER CERWENKA, DARMSTADT

In den vergangenen zehn Jahren hat sich die Lichtsignaltechnik — insbesondere durch die Einführung der verkehrsabhängigen Lichtsignalsteuerung mit Hilfe von Computern — stürmisch weiterentwickelt. Während die gerätetechnischen Fragen sowie die Fragen der Nachrichtenübermittlung und der Datenverarbeitung als weitgehend gelöst angesehen werden können, sind nach wie vor zahlreiche verkehrstechnische Fragen offen. Vor allem fehlen noch immer allgemein akzeptierte verkehrsplanerische und verkehrstechnische Optimierungskriterien. Da hierbei nicht nur quantifizierbare Faktoren von Einfluß sind, haben sich verschiedene — oftmals konträre — Meinungen gebildet, die in Diskussionen kaum einander angenähert werden konnten. Hier liegt also ein wichtiges Aufgabengebiet der lichtsignaltechnischen Grundlagenforschung.

Bei den jüngsten Diskussionen auf nationaler oder internationaler Ebene scheint sich abzuzeichnen, daß man zwei grundsätzlich verschiedene Kategorien von Steuerungen unterscheiden muß: bei schwächerem Verkehr müssen die Signalprogramme der Lichtsignalanlagen den Verkehrsströmen, bei stärkerem Verkehr müssen die Verkehrsströme mit Hilfe der Signalprogramme der Lichtsignalanlagen dem verfügbaren Verkehrsraum angepaßt werden. Hieran zeigt sich auch in der Verkehrstechnik der im Rahmen der Generalverkehrsplanung in neuerer Zeit vermehrt deutlich werdende Trend der Abkehr von der Anpassung der Verkehrsanlagen an den Verkehr zur lenkenden und ggfs. reglementierenden Beeinflussung des Verkehrs zum Zwecke der besseren Ausnutzung der vorhandenen, nicht erweiterbaren Verkehrsanlagen. Mehr und mehr wird erkannt und anerkannt, daß ein »optimaler« Straßenverkehr nur dann erreicht werden kann, wenn das Straßennetz als Teilsystem eines komplexen sozio-ökonomisch-technischen Gesamtsystems aufgefaßt wird. Die teilsysteminternen (hier: die straßenverkehrstechnischen) Überlegungen und Untersuchungen müssen also in übergeordnete und umfassende Überlegungen und Untersuchungen eingeordnet werden, die sich mit der Entwicklung gesamtverkehrsplanerischer Strategien befassen. Damit tritt auch die Lichtsignaltechnik aus dem engen technologischen Bereich in den Bereich einer multidisziplinären Entscheidungsvorbereitung und gesellschaftspolitischen Entscheidungsfindung und trägt so zur Verbesserung des Gesamtverkehrsgeschehens bei.

Dementsprechend sind auch die im folgenden in kurzgefaßter Form beschriebenen Überlegungen und Untersuchungen über Optimierungskriterien für die Steuerung des Straßenverkehrs mit Lichtsignalanlagen im größeren Zusammenhang zu sehen.

Diese Gesamtschau entbindet jedoch nicht von der Aufgabe, offene teilsysteminterne Fragen weiterhin einer Lösung zuzuführen. Das war auch der vorrangige Zweck der hier behandelten Überlegungen und Untersuchungen.

Die Anregung zur Durchführung dieser Überlegungen und Untersuchungen entstand

bereits im Jahre 1970. Das Vorhaben, im Rahmen einer Forschungsarbeit allgemein akzeptierte Optimierungskriterien für die Steuerung des Straßenverkehrs mit Lichtsignalanlagen zu erarbeiten, wurde von den seinerzeit bestehenden Arbeitskreisen »Richtlinien für Lichtsignalanlagen« und »Lichtsignalanlagen mit Rechnern« im Arbeitsausschuß »Lichtsignalanlagen« der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e. V. unterstützt. Das Bundesverkehrsministerium erteilte im Oktober 1971 dem erstgenannten Verfasser den Auftrag zur Durchführung eines entsprechenden Forschungsvorhabens.

Die Bearbeitung des Forschungsauftrages erwies sich als langwierig und aufwendig. Die Beschaffung und die Auswertung einschlägiger Literatur erforderte mehr Zeit, als ursprünglich angenommen worden war. Auch die Beteiligung von zwei Experten aus Japan (Professor Dr.-Eng. Masaki Koshi, Tokio, und Professor Dr.-Eng. Tsuna Sasaki, Kioto), die zeitweise im Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der Technischen Hochschule Darmstadt tätig waren, war zwar sachlich sehr wertvoll, verursachte jedoch infolge der Notwendigkeit der Übertragung ihrer Kenntnisse und Erfahrungen einige beträchtliche Erschwernisse, womit nicht nur die sprachlichen Erschwernisse gemeint sind. Bei der Zusammenarbeit mit den beiden ausländischen Experten konnte also nicht nur Fachwissen vermehrt und ausgewertet werden, sondern es wurden darüber hinaus auch Erfahrungen über die Möglichkeiten und Grenzen der Erarbeitung von Forschungsprojekten durch international zusammengesetzte Teams gesammelt.

Wie bereits erwähnt, war es das Ziel des Forschungsvorhabens, allgemein akzeptierte Optimierungskriterien für die Steuerung des Straßenverkehrs mit Lichtsignalanlagen zur Standardisierung vorzuschlagen.

Bei der Bearbeitung dieser Aufgabe wurde auf die Durchführung von Simulationen und empirischen Untersuchungen verzichtet. Stattdessen wurde eine eingehende systematisierte Literaturlauswertung vorgenommen. Ferner wurden Kenntnisse und Erfahrungen anderer Fachleute durch mündlich und schriftlich geführte Diskussionen ausgewertet. Durch die Mitarbeit der beiden japanischen Fachkollegen konnten auch die jüngsten Erfahrungen über Netzsteuerungen in Tokio und Osaka aufgenommen werden.

Sowohl die Auswertung zahlreicher Literaturstellen als auch die Erfahrungen aktueller Steuerungspraktiken haben erkennen lassen, daß die eigentliche Aufgabe der Forschungsarbeit, nämlich eine Bewertung von Optimierungskriterien zum Zwecke der Auswahl eines »günstigen« Kriteriums vorzunehmen, auch mit noch so hohem Aufwand an Zeit, Personal und Finanzmitteln *erkenntnistheoretisch nicht gelöst werden kann*.

Neben diesem generellen Ergebnis können folgende spezielle Ergebnisse der Untersuchungen angegeben werden:

Der Begriff »Kriterium« wird nicht einheitlich verstanden. Folgende Begriffsinhalte werden mit der Bezeichnung »Kriterium« verbunden:

- Mathematische Zielfunktion (zu optimierende Größe; on-line und off-line);
- Maß für die Wirksamkeit (vor allem für Nachher-Untersuchungen; dann auch Wirkungsmaß, Gütemaß oder Funktionsgrad genannt);
- Verfahren zur praktischen Realisierung einer Modellvorstellung einschließlich Berücksichtigung von Restriktionen (auch Philosophie, Ideologie, Taktik, Strategie, Konzeption oder Logik genannt);
- Kennzahl für den Anwendungsbereich (lokal und konditional) der Zielfunktion bei der sogenannten »Mehrkriteriensteuerung«;
- politische, übergeordnete Zielvorstellung (verbal-qualitatives Leitbild, Motiv).

Obwohl sich die vorliegende Forschungsarbeit nur mit den eigentlichen Optimierungskriterien (also dem ersten Begriffsinhalt) befassen sollte, war es doch zweckmäßig, auch die anderen Begriffsinhalte mit in die Untersuchungen einzubeziehen. Dies wurde jedoch dadurch erschwert, daß den einzelnen Literaturstellen oftmals nicht zu entnehmen war, welcher Begriffsinhalt gemeint ist.

Die wichtigsten verwendeten bzw. vorgeschlagenen Kriterien sind folgende:

- Minimierung der Reisezeit (insgesamt oder durchschnittlich);
- Minimierung der Wartezeit (insgesamt oder durchschnittlich);
- Minimierung des Rückstaus (der Schlangenlängen);
- Maximierung der Verkehrsstärke;
- Maximierung der Durchschnittsgeschwindigkeit;
- Minimierung des Treibstoffverbrauches;
- Minimierung der Anzahl der Halte (insgesamt oder durchschnittlich);
- Maximierung des Anteils ungestört abfließender Fahrzeuge;
- Minimierung der Reisezeitstreuungen (»Rauschen«);
- Maximierung der Verkehrsflußglätte (energetischer Wirkungsgrad).

Die Kriterien dieses Kataloges werden in der Literatur häufig (mitunter unbewußt) zwei übergeordneten Kriteriengruppen zugeordnet, wonach die ersten sechs eher als ein Wirtschaftlichkeitskriterium, die letzten vier eher als ein Annehmlichkeitskriterium betrachtet werden. Auf diese Vorstellungen ist es vermutlich zurückzuführen, daß man neuerdings in zunehmendem Maße versucht, einige Kriterien durch Linearkombination zu einem neuen Kriterium zusammenzufassen. *Es ist jedoch festzustellen, daß die Wahl der Gewichtsfaktoren in der Linearkombination willkürlich ist, daß eine Entscheidung über die Wahl verkehrstechnisch nicht begründet werden kann und daß diese Wahl letztlich eine politische Zielsetzung ist. Diese Feststellung führt in logischer Konsequenz dazu, daß (wenn alle Gewichtsfaktoren bis auf einen Null gesetzt werden) diese Aussage letztlich nicht nur für Linearkombinationen von Kriterien gilt, sondern auch auf die Einzelkriterien selbst ausgedehnt werden kann.*

Wenngleich in vielen Fällen Zielkonflikte im streng deterministischen Sinne zwischen einzelnen Kriterien bestehen, so ist verschiedenen Untersuchungen zu entnehmen, daß zwischen einzelnen Kriterien bei verschiedenen verkehrlichen und baulichen Gegebenheiten mehr oder weniger straffe stochastische Abhängigkeiten bestehen. *Dabei kann die Anzahl plausibler Kriterien erheblich reduziert werden, was für eine zu fordernde Standardisierung von großer Bedeutung ist.*

Die Tatsache, daß Ausmaß und Struktur der Abhängigkeiten selbst wieder von verkehrlichen und baulichen Gegebenheiten abhängen, ist somit der eigentliche Grund für die Vielzahl der bisher betrachteten Kriterien und für das Bestreben, Kriterien durch Linearkombination zusammenzufassen.

Teilweise lassen sich den genannten Optimierungskriterien politische Zielsetzungen zuordnen. Doch sind diese Zuordnungen nicht deterministisch-eindeutig, sondern stochastisch-mehrdeutig.

An Optimierungskriterien, die zur praktischen Anwendung bei verkehrabhängiger Signalsteuerung im on-line-Betrieb herangezogen werden, sind folgende Anforderungen zu stellen:

- quantifizierbar,
- Eingabedaten mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand meßbar,
- für das zu steuernde Gebiet relevant,
- angemessen empfindlich hinsichtlich Veränderungen im Verkehrsgeschehen,
- mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand on-line optimierbar,
- möglichst fehlerunanfällig.

Sind mehrere (n) Kriterien unter bestimmten verkehrlichen und baulichen Gegebenheiten stochastisch stark voneinander abhängig, so sind n-1 Kriterien entbehrlich, und man sollte jenes Kriterium auswählen, das die vorstehenden Bedingungen am besten erfüllt. Hat man sich danach für ein bestimmtes Kriterium aus diesen voneinander abhängigen Kriterien entschieden, so sollte dieses aus Gründen der Standardisierung für Vergleichszwecke nach Möglichkeit beibehalten werden.

Neben den Kriterien, die beim Einsatz verkehrabhängiger Signalsteuerung angewendet werden, sind auch Kriterien für die Entscheidung erforderlich, ob überhaupt verkehrabhängig gesteuert werden soll oder nicht. Einerseits verhält sich verkehrabhängige Signalsteuerung bei sehr starkem Verkehr wie zeitplanabhängige Signalsteuerung, andererseits lassen sich die für eine verkehrabhängige Signalsteuerung erforderlichen Zusatzinvestitionen bei sehr schwachem Verkehr wegen des geringen Gesamtnutzens wirtschaftlich nicht rechtfertigen. *Es wird empfohlen, die Entscheidung über die Wahl zwischen einer zeitplanabhängig und verkehrabhängig gesteuerten Anlage mit Hilfe einer Kosten-Nutzen-Analyse oder einer Kosten-Wirksamkeitsanalyse unter Berücksichtigung von Tagesverkehrsschwankungen und deren Prognostizierbarkeit einerseits und der zusätzlichen Investitions- und Betriebskosten der verkehrabhängig gesteuerten Anlage andererseits herbeizuführen.*

Für die Festlegung von Optimierungskriterien wird die nachstehende Empfehlung gegeben. Dabei muß jedoch vorweg ausdrücklich festgestellt werden, daß es sich dabei nicht um erkenntnistheoretisch »beste« Kriterien handelt, sondern um solche,

- die bisher häufig angewendet wurden und somit für eine Standardisierung prädestiniert sind und
- die, gerade weil sie häufig angewendet wurden, auch im on-line-Betrieb praktikabel erscheinen, da sie die genannten Anforderungen gut erfüllen.

Für die Steuerung von *Einzelknotenpunkten* wird empfohlen, die Gesamtwartezeit aller Fahrzeuge aller Zufahrten unter Einhaltung maximaler Sperrzeiten zu minimieren.

Für die *koordinierte Steuerung von Straßenzügen oder Netzen* wird empfohlen, die Gesamtwartezeit aller Fahrzeuge aller Zufahrten aller Knotenpunkte unter Einhaltung maximaler Sperrzeiten und unter Begrenzung maximal zulässiger Schlangenlängen zwecks Verhinderung der Überstauung von Knotenpunkten zu minimieren.

Das empfohlene Kriterium für koordinierte Steuerung ist eine notwendige Reduzierung des plausibleren Kriteriums der Minimierung der Gesamtreisezeit aller Fahrzeuge, da Reisezeiten derzeit on-line auch indirekt nicht gemessen werden können.

Abschließend muß festgestellt werden, daß die Schaffung neuer Kriterien nicht sinnvoll erscheint und auch den Standardisierungsbestrebungen zuwider laufen würde.

Die Verfasser hoffen, daß das gesteckte Ziel des Forschungsvorhabens, allgemein akzeptierte Optimierungskriterien für die Steuerung des Straßenverkehrs mit Lichtsignal-

anlagen zur Standardisierung vorzuschlagen, erreicht worden ist und daß die kompetenten Stellen die Standardisierungsvorschläge übernehmen, zumal diese Vorschläge mit den bisherigen Praktiken oftmals übereinstimmen.

Summary

On commission of the Federal Ministry of Transport the Traffic-Planning and Traffic-Technical Institute affiliated to the Technical-Highschool of Darmstadt explored criteriums of directing in the most favorable way road-traffic by signaling plants. The authors are giving a report of the most important results of their researches.

Résumé

Chargé par le Ministère Fédéral des Transports l'Institut de Planification Routière et de Technique Routière auprès de l'Ecole Polytechnique à Darmstadt a recherché les critères de la plus favorable direction de la circulation routière par des installations à signaux optiques. Les auteurs rapportent sur les résultats les plus importants de ces recherches.

Neue Wege der Europäischen Verkehrspolitik?

VON DR. MANFRED TIETZEL UND DR. HELMUT LEHMACHER, BONN

I.

Trotz der auf vielen Ebenen des europäischen Integrationsprozesses auftretenden Schwierigkeiten bei der Anpassung der nationalen Gegebenheiten an eine gemeinschaftliche Gesamtkonzeption ist die Kommission der Europäischen Gemeinschaft weiterhin bestrebt, durch neue Vorlagen und Empfehlungen das europäische Einigungswerk voranzutreiben. Im Bereich der Verkehrspolitik sind ihr dabei recht vage formulierte Zielpunkte durch den Vertrag von Rom vorgegeben. Daher muß man bei der Ausrichtung der Verkehrspolitik einerseits auf die Präambel des EWG-Vertrags zurückgreifen, worin die Mitgliedstaaten dazu angehalten werden, »ihre Volkswirtschaften zu einigen und deren harmonische Entwicklung zu fördern, indem sie den Abstand zwischen einzelnen Gebieten und den Rückstand weniger günstiger Gebiete verhindern«, andererseits den Artikel 2 des Vertrages heranziehen, in dem festgelegt ist, daß durch »die schrittweise Annäherung der Wirtschaftspolitik der Mitgliedstaaten eine harmonische Entwicklung des Wirtschaftslebens innerhalb der Gemeinschaft, eine beständige und ausgewogene Wirtschaftsausweitung« erreicht wird. In diese die allgemeine Wirtschaftsentwicklung betreffenden Vertragstexte wird die Verkehrspolitik insofern einbezogen, als die Mitgliedstaaten in Artikel 74 dazu angehalten werden, den Bereich des Verkehrs im Rahmen des allgemeinen Vertragswerkes zu sehen. Aus diesem Grund wird auch die Einführung einer allgemeinen Politik auf dem Gebiet des Verkehrswesens angestrebt.

Die von den Vätern der Römischen Verträge erdachte Konzeption ist stärker auf eine effizientere Verkehrsleistung bestehender Infrastrukturanlagen ausgerichtet (Gewähren von Beihilfen, Beseitigung der Diskriminierungen etc.) als auf die Einführung einheitlicher wirtschaftlicher Kriterien beim Bau von Verkehrsinfrastrukturanlagen innerhalb der Europäischen Gemeinschaft. Diesem für die langfristige Entwicklung der Gemeinschaft besonders entscheidenden Punkt wurde erst in späteren Verhandlungen Rechnung getragen. So richtete man schon im ersten¹⁾ und später im zweiten *Kapteyn*-Bericht erhöhte Aufmerksamkeit auf den Bereich der Infrastrukturinvestitionen und ihre langfristigen Strukturwirkungen²⁾. Wegen der oft ungenauen Formulierungen des Titels »Verkehr« oblag es der Kommission, diese Vertragslücken auszufüllen.

Vor diesem Hintergrund ist u. a. auch die von der Kommission im Jahre 1965 begründete Studienreihe »Verkehr« zu sehen, in der bisher zwei Bände erschienen sind: Band

¹⁾ Vgl. Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl (Hrsg.), Bericht im Namen des Ausschusses über Verkehrsfragen über die Koordinierung des europäischen Verkehrs, Dokument Nr. 6, 1957–1958, o. O. November 1957, S. 34 ff.

²⁾ Vgl. Europäisches Parlament (Hrsg.), Sitzungsdokumente 1961–1962, Bericht im Namen des Verkehrsausschusses über Fragen der gemeinsamen Verkehrspolitik im Rahmen der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft, Dokument 106, o. O., 11. Dezember 1961, S. 37 ff.

v vstd
vuw