

Leitstrategien individueller und kollektiver Zielführung in verkehrstechnischen Steuerungsverfahren

FA 3.315

Forschungsstelle: RWTH Aachen, Institut für Stadtbauwesen (ISB) / Ingenieurgruppe für Verkehrswesen und Verfahrensentwicklung (IVV-Aachen)

Bearbeiter: Beckmann, K.J. / Beckmann, B. / Wehmeier, Th. / Serwill, D. / Springsfeld, Ch.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Abschluss: Juli 2000

1. Aufgabenstellung

Vom Einsatz kollektiver und individueller Zielführungssysteme – insbesondere dynamischer Art – wird eine Steigerung der Effizienz und der Verträglichkeit städtischer und großräumiger Verkehre erwartet. Die zurzeit betriebenen Zielführungssysteme sind nicht aufeinander abgestimmt und ihre Betreiber verfolgen unterschiedliche Strategien.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, mögliche Diskrepanzen zwischen den Intentionen der Betreiber von Zielführungssystemen, den erwarteten Wirkungen von Zielführungssystemen, sowie den Anforderungen der Nutzer an diese Systeme zu analysieren und aufzubereiten. Es sollten Hinweise zur Verringerung bzw. zum Abbau dieser Konflikte entwickelt und auf Eignung überprüft werden.

2. Untersuchungsmethodik

Eingangs wird auf der Grundlage einer Literaturanalyse und von Expertengesprächen eine Wissensbasis geschaffen. Dabei werden die grundlegenden Funktionsweisen und Strategien von bestehenden als auch von konzipierten Zielführungssystemen aufbereitet und analysiert. Daraus werden Untersuchungsfelder, Hypothesen und Fragestellungen abgeleitet. Die möglichen Konflikte werden sowohl verbal-argumentativ als auch mit Hilfe simulativer Untersuchungen, unter Einsatz dynamischer Routensuch- und Umlenungsverfahren untersucht und bewertet. Ebenfalls mit Hilfe simulativer Untersuchungen werden anschließend Möglichkeiten der Verknüpfung kollektiver und individueller Zielführungssysteme aufgezeigt. Darauf aufbauend werden schließlich Hinweise zum Zusammenwirken von individuellen und kollektiven Zielführungssystemen gegeben sowie Empfehlungen für beteiligte Akteure abgeleitet.

Die simulativen Untersuchungen erfolgen dabei auf aggregierter Ebene, d. h. die Steuerungsalgorithmen und die Verkehrsteilnehmer werden nicht objektorientiert (z.B. als Einzelfahrzeugsimulation) abgebildet, da nur so das Routenwahlverhalten von Kollektiven abgebildet werden kann. Diese Methode ist deshalb sinnvoll, weil es nicht das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist, Steuerungsstrategien für spezifische Anlagen zu erarbeiten und zu kalibrieren. Es ist vielmehr Ziel, Hinweise zum Zusammenwirken individueller und kollektiver Zielführungssysteme zu erarbeiten.

Die konkretisierten Konstellationen von Steuerungsbedingungen/-fällen werden in umfangreichen Simulationen unter Berücksichtigung von Sensitivitätstests und Variation verschiedener Einflussgrößen (Nutzungsraten, Maschengröße, Umwegfaktor, verfügbare Netzkategorien, Auslastungsgrad, Fern-/Nah-

verkehrsanteil, Störfallursache wie Unfall, Baustelle, hohes Verkehrsaufkommen, sowie Prognosefähigkeit der Systeme) untersucht. Die simulativen Untersuchungen beziehen neben den Nutzern individuell- und kollektiv-dynamischer Zielführungssysteme auch Nutzer von individuell-statischen Systemen, von individuellen Verkehrsinformationsdiensten, von Radioverkehrshinweisen wie auch die unbeeinflussten Verkehrsteilnehmer ein.

3. Untersuchungsergebnisse

Insgesamt muss festgestellt werden, dass die exogenen Einflüsse (Netzgeometrie, Belastungssituationen, Störfallursachen) erheblichen Einfluss auf das jeweilige Simulationsergebnis haben. Dies liegt zum einen an den prinzipiellen Festlegungen in den Modellalgorithmen. So bedeuten beispielsweise minimale Unterschiede in Reisezeiten auf zwei Alternativrouten u. U. schon eine andere Wahl von Optimalrouten oder Schaltzeitpunkten. Zum anderen ist dies aber auch ein Hinweis darauf, dass infolge der Vielschichtigkeit der Rahmenbedingungen kein für alle Praxisfälle eindeutiges Handlungskonzept („Leitstrategie“) abgeleitet werden kann.

Die Anteile von Nah- und Fernverkehr am Gesamtverkehr haben wegen der unterschiedlichen Ortskenntnis und der damit verbundenen Bereitschaft bzw. Fähigkeit, selbstständig Alternativen im untergeordneten Netz (Nahverkehr) oder großräumig im Fernverkehrsnetz (Fernverkehr, der über den Störfall informiert ist) zu suchen, Einfluss auf den Befolgungsgrad der kollektiven Systeme und das Routenwahlverhalten für Alternativen.

Betrachtet man die Verbreitungs- und Befolgungsgrade der Zielführungssysteme, so ist zunächst die triviale Feststellung zu treffen, dass geringe Anteile (z.B. heutige Ausstattung von 10 % der Neuwagen mit individuell-statischen Zielführungssystemen; Anteil der individuell-dynamischen Zielführungssysteme im Promillebereich) keine Auswirkungen auf die gegenseitige Beeinflussung der Systeme bedeuten. Beide Systeme können sich gegenseitig stützen, wenn sie beide die Alternativroute der Wechselwegweisungsanlage (WWW) empfehlen, weil so ein höherer Anteil von der überlasteten Originalroute verlagert wird. Bei hohen Verbreitungs- und Befolgungsraten können – je nach „Reaktionsgeschwindigkeit“ (z.B. durch Prognosefähigkeit) – unterschiedliche Situationen entstehen: Die WWW muss nicht schalten, da signifikante Verkehrsanteile durch individuelle Systeme von der Originalroute abgeleitet werden oder die individuellen Systeme können die durch die WWW entlastete Originalroute weiterhin nutzen, so dass durch „Hin- und Herschalten“ auf die jeweils günstigere Route ein Schwingungseffekt entsteht. In beiden Fällen entstehen übrigens für den Nutzer des individuellen System widersprüchliche Routenempfehlungen an den Wechselverkehrszeichen. Das individuelle System kann u. U. auch eine großräumigere Verlagerung um den Gesamtbereich der WWW bewirken, so dass die WWW noch nicht schalten muss.

Zur Erreichung hoher Befolgungsgrade bei kollektiv-dynamischen Systemen kann im Rahmen dieses Projektes gefordert werden, dass zukünftige Wechselwegweisungen – nicht zuletzt vor dem Hintergrund der Entwicklungen im Bereich der Detektion und der Signaltechnik – die Möglichkeiten der besseren Information der Fahrer zur Akzeptanzsteigerung nutzen. Hierunter fallen beispielsweise Informationen über Stauort und Stauursache oder über die momentanen Reisezeiten auf den Alternativen der WWW.

Generell haben Systeme, die eine Prognose zukünftiger Verkehrszustände in ihre Empfehlung integrieren, einen „Zeitvorteil“ gegenüber Systemen, die lediglich auf der Basis aktueller Daten reagieren. Die Qualität der Prognosen ist natürlich von den verfügbaren Eingangsgrößen, von den hinterlegten Prognosealgorithmen, nicht zuletzt auch vom Prognosehorizont abhängig. Hier kann vermutet werden, dass die Qualität einer Kurzfristprognose in einem überschaubaren Netzabschnitt (kollektive Anlage) akkurater ist als beispielsweise die Prognose für eine Fahrtbeziehung in einem großen Netz und die damit verbundene längere Fahrzeit. Zwischenzeitliche Störungen wirken sich bei langen Prognosehorizonten stärker aus als bei kurzen.

Für die individuell-dynamische Zielführung liegen heute nur für das Autobahnnetz dynamische Verkehrsdaten vor. Deshalb müssen bei Routenberechnungen für das untergeordnete Netz statische Informationen herangezogen werden. Die Wirkung einer zukünftigen besseren Datenverfügbarkeit (z.B. dynamische Fahrzeiten im untergeordneten Netz durch Floating-Car-Data) könnte darin liegen, dass – je nach eingesetztem Routensuchalgorithmus – Verdrängungen ins Sekundärnetz vermieden werden, da hierbei die realen (niedrigen) Geschwindigkeiten sowie Wartezeiten an Knoten berücksichtigt werden. Dieses Phänomen trat bei den Simulationen bei hohen Gesamtnetzauslastungen (vereinzelt) auf.

Einen speziellen Aspekt der individuell-dynamischen Zielführung stellt die Anzahl der Systemanbieter dar. Man kann zwar davon ausgehen, dass die Anbieter auf die gleichen Datengrundlagen zurückgreifen, jedoch jeweils eigene Routenempfehlungen im Off-Board-Betrieb erarbeiten. Jeder Anbieter wird dabei versuchen, seinen Kunden die optimalen Routen zur Verfügung zu stellen (Nutzeroptimum). Diese sollten sich, auch wenn mit leicht unterschiedlichen Algorithmen gearbeitet wird, im Wesentlichen nicht voneinander unterscheiden. Die Auswirkungen sind bei geringen Verbreitungsgraden irrelevant. Bei hohen Verbreitungsgraden kann es zu Überlastungserscheinungen bei gleicher Routenempfehlung kommen. Somit wäre (theoretisch) ein Steuerungsverbund zwischen den Anbietern notwendig, um Netzüberlastungen im Sinne eines Systemoptimums zu vermeiden und eine unkalkulierbare Verschlechterung des (individuellen) Nutzeroptimums zu verhindern.

Unter dem Gesichtspunkt, dass der Betreiber einer individuellen Zielführung seinen Kunden einen möglichst großen Nutzen verschaffen will, kann unterstellt werden, dass das Vorhandensein einer kollektiven Anlage eine Beeinträchtigung darstellt: Die kollektive Anlage leitet im Falle einer Störung auf der Originalroute von dieser Route auf die Alternativroute um, so dass diese eine höhere Belastung erhält, die Leistungsfähigkeit wird gemindert. Ohne kollektive Anlage, d.h. unter Inkaufnahme des Staus auf der Originalroute, würde die volle Leistungsfähigkeit der Alternativroute für die Umfahrung der Störstelle durch Kunden des individuellen Systems zur Verfügung stehen. Hierdurch würde ein größerer Nutzen für die Kunden des individuellen Systems entstehen, die Gesamtbilanz über alle Verkehrsteilnehmer wäre aber negativ. Somit kann im Umkehrschluss gefolgert werden, dass, je besser eine kollektive Anlage arbeitet, desto geringer der relative Vorteil für die Nutzer individuell-dynamischer Systeme ist.

Die Frage, ob kollektive Systeme künftig durch eine starke Verbreitung der individuell-dynamischen Systeme überflüssig werden, kann eindeutig mit nein beantwortet werden, da nicht davon auszugehen ist, dass die heutigen oder auch die zukünftigen Nutzer der kollektiven Anlagen vollständig zu Nutzern individueller Systeme werden. Hier spielen u. a. auch die individuellen Kosten der Systeme und der Einzelauskünfte eine Rolle. Somit kann durch ein Zusammenwirken von kollektiven und individuellen Zielführungssystemen eine insgesamt höhere Anzahl von Verkehrsteilnehmern mit „besseren“ Verkehrsinformationen versorgt werden.

Verlagerungen ins untergeordnete Netz finden nur dann statt, wenn sich hierdurch günstigere Fahrzeiten als auf der Original- und auf der Alternativroute der WWW ergeben. Dies tritt insbesondere ein bei einem hohen Umwegfaktor (Routen im untergeordneten Netz sind kürzer), bei großen Maschen (Alternativstrecke für Nahverkehr uninteressant), bei hohen Netzauslastungen (kein Geschwindigkeitsvorteil der BAB) oder fehlenden Daten über die Verkehrszustände im untergeordneten Netz (individuell-dynamische Systeme nutzen statische Daten für das untergeordnete Netz). Der Effekt ist bei Zusammenwirken mehrerer dieser Faktoren besonders ausgeprägt. Insgesamt muss jedoch festgestellt werden, dass in den Simulationsfällen diese Verdrängungen nur relativ selten auftraten bzw. teilweise erst im Sinne von Netzkalibrierungen sogar „herbeigeführt“ werden mussten.

Es stellt sich vor diesem Hintergrund die Frage, ob und wie solche Verdrängungen zu verhindern sind. Hierfür kommen nicht die Teilkollektive der unbeeinflussten Verkehrsteilnehmer und der Radiohörer (evtl. in Verbindung mit statischen Systemen) in Frage. Diese können bei entsprechender Ortskenntnis oder unter Nutzung des statischen Systems nach eigener Entscheidung versuchen, den Stau zu umfahren. Einzig die Betreiber individuell-dynamischer Zielführungssysteme sind technisch gesehen in der Lage, Routenführungen durch das untergeordnete Netz zu verhindern. Dies könnte einerseits kurzfristig durch eine besondere Typisierung (Malus) dieser Strecken geschehen, damit die heute berücksichtigten statischen Widerstände höher (negativer) in den Routensuchprozess eingehen. Geht man davon aus, dass in Zukunft auch dynamische Daten aus dem untergeordneten Netz vorliegen, so relativiert sich dieses Problem insgesamt, da dann auch die tatsächlichen (hohen) Belastungen des untergeordneten Netzes berücksichtigt werden.

Abschließend kann zu diesem Thema noch gefragt werden, ob es tatsächlich im langfristigen Interesse der Betreiber individuell-dynamischer Systeme ist, eine Nutzung des untergeordneten Netzes zu empfehlen. Die Systeme werden sowieso keine Verlagerungen empfehlen, wenn im Autobahnnetz (zeit-)kürzere Routen errechnet werden. Dies ist beispielsweise immer dann der Fall, wenn noch genügend Kapazitäten auf Alternativrouten vorhanden sind (z.B. Störfallursache Unfall oder Baustelle bei Normalbelastung). Somit werden Verdrängungen ins untergeordnete Netz nur bei insgesamt hohen Belastungen entstehen, sodass die Gefahr der Überlastung des untergeordneten Netzes gegeben ist oder dort schon eine Überlastung besteht. Somit muss sich ein Systembetreiber fragen, ob er durch eine Umleitung in den Stau des Sekundärnetzes nicht die „Glaubwürdigkeit“ seiner Empfehlungen und damit die Einschätzung der Leistungsfähigkeit seines Systems schwächt.

Zur möglichst realitätsnahen Abbildung des Verkehrsgeschehens im Untersuchungsraum wurden bei den Simulationen (teilweise) auch Kollektive berücksichtigt, die andere Leit- und Informationssysteme nutzen. Durch die Qualitätsverbesserung im Radiobereich kann davon ausgegangen werden, dass die Nutzung und Akzeptanz von Radiomeldungen aufgrund der verbesserten Technik der Systeme (z.B. RDS-TMC) und der verbesserten Erfassung von Störfällen (z.B. „Staumelder“) in naher Zukunft weiter zunehmen wird. Generell wird damit der Informationsgrad der Verkehrsteilnehmer weiter verbessert, so dass Störstellen u. U. großräumig im BAB-Netz oder kleinräumig im untergeordneten Netz umfahren werden können. Beides setzt, da der Verkehrsteilnehmer nicht geleitet sondern nur informiert wird, eine gewisse Netzkenntnis voraus, die i. d. R. bei Ortskundigen vorhanden ist. Ortsfremde können diese Netzkenntnis durch den Einsatz von individuell-statischen Systemen ersetzen. Somit tragen verbesserte Radiomeldungen (evtl. in Verbindung mit individuell-statischen Systemen) zu einer Entlastung des überlasteten Bereiches bei – eventuell verbunden mit einer Verdrängung ins untergeordnete Netz.

Das Zusammenwirken von Radiomeldungen mit kollektiven Zielführungssystemen (gemeldeter Stau im Radio und Anzeige der Alternativroute auf der Wechselwegweisung) kann zu einer Akzeptanzerhöhung der Routenempfehlung führen. Dies gilt natürlich auch für die individuell-dynamische Zielführung, die aber von vorneherein auch unter dem Aspekt der Kostenpflichtigkeit der Auskünfte weniger Akzeptanzprobleme erwarten lässt. Wer sich eine Alternativroute individuell ermitteln lässt, wird dies nur tun, wenn (augenscheinlich) positive Erfahrungen vorliegen und dann diese Empfehlungen in der Regel auch befolgen.

Insgesamt wird durch einen Datenverbund (alle Anbieter dynamischer Systeme verfügen über Verkehrszustandsdaten gleicher Qualität und Verfügungsgeschwindigkeit (die darauf aufbauenden Routenempfehlungen werden allerdings getrennt ermittelt)) die Transparenz des Systems „Verkehr“ erweitert, da die Qualität der Grundlagendaten immer einen großen Einfluss auf die Effizienz der Systeme ausübt. Somit ist ein Datenverbund grundsätzlich als positiv anzusehen.

Durch einen Informationsverbund (nicht nur Daten, sondern auch Informationen über Zeitpunkt und Art von Schaltvorgängen oder Routenempfehlungen), der allerdings in Realität nur eine Informationsweitergabe vom kollektiven System an das individuelle System bedeuten kann, könnten individuell-dynamische Systeme durch das „Wissen“ um die Schaltentscheidungen (und die erwarteten „kollektiven“ Wirkungen) in die Lage versetzen, nachteilige Routenempfehlungen (z.B. gleichzeitiges Leiten auf Alternativstrecke bei dortiger hoher Belastung) zu vermeiden. Außerdem könnte die Qualität einer Prognose verbessert werden.

Auf der Grundlage eines Informationsverbundes könnte bei weiterer Verbreitung individuell-dynamischer Systeme langfristig die Entwicklung eines Strategieverbundes (der ein Systemoptimum unter weit gehender Berücksichtigung der einzelnen Nutzeroptima gewährleistet) notwendig werden.

Insgesamt ist festzustellen, dass Aussagen zu den verkehrlichen Wirkungen der Zielführungssysteme immer nur vor dem Hintergrund der örtlichen (exogenen) Rahmenbedingungen getroffen werden können; allgemein gültige Empfehlungen sind nur bedingt möglich.

4. Folgerungen für die Praxis

Für die Betreiber kollektiver Zielführungssysteme lässt sich schlussfolgern:

- Kollektive Zielführungssysteme sind weiterhin erforderlich, da in naher und mittlerer Zukunft nicht mit hohen Ausstattungsgraden bei individuellen Zielführungssystemen gerechnet werden kann und nur die kollektiven Systeme die notwendigen dynamischen Empfehlungen geben können.
- Verbesserte Radioinformationen (RDS/TMC) werden – bei gleicher Nachricht – die Akzeptanz kollektiv-dynamischer Zielführungssysteme verbessern.
- Auch bei hohen Ausstattungsgraden mit individuell-dynamischen Systemen sind in der Regel im Zusammenwirken der Systeme keine negativen Auswirkungen zu erwarten.
- Zur Erzeugung von Synergieeffekten sollten die Betreiber kollektiver Systeme anstreben, mit den Betreibern individueller Systeme zumindest einen Daten- und möglichst einen Informationsverbund einzugehen. Bei hohen Auslastungsgraden ist langfristig ein Strategieverbund zu überprüfen.

Für die Anbieter/Betreiber individuell-dynamischer Zielführungssysteme ergibt sich:

- Zur Leistungssteigerung der eigenen Systeme ist ein Daten- und Informationsverbund mit den kollektiven Systemen anzustreben.
- Die Erstellung und Berücksichtigung von kurzfristigen Verkehrsprognosen kann die Routenempfehlungen verbessern.
- Bei den heutigen geringen Ausstattungsgraden sind keine speziellen Maßnahmen zur Garantie des individuellen Nutzeroptimums der Kunden notwendig.
- Sollten in Zukunft nennenswerte Ausstattungsgrade erreicht werden, so ist bei einer großen Menge von Nutzern ein individuelles Nutzeroptimum nicht unbedingt mehr zu gewährleisten. Bei mehreren Anbietern ist dann ein Strategie- oder Steuerungsverbund anzustreben.
- Verdrängungen von Fahrten ins untergeordnete Netz sind im Sinne des Schutzes der Allgemeinheit aber auch vor dem Hintergrund der Akzeptanz des eigenen Systems (Führung in den Stau im untergeordneten Netz) zu vermeiden. □