

Weiterentwicklung von Modellen zur Alternativroutensteuerung unter besonderer Berücksichtigung vermaschter Netze

FA 3.308

Forschungsstelle: RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen (Prof. Dr.-Ing. B. Steinauer) / Theis Consult, Beratende Ingenieure, Aachen, Potsdam

Bearbeiter: Offermann, F. / Wienert, A. / Gericke, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Abschluss: April 2000

1. Aufgabenstellung

Zur verbesserten Verteilung der Verkehrsströme im Autobahnnetz Deutschlands sind zahlreiche Netzbeeinflussungsanlagen (NBA) in Betrieb. Die Wahl des Modellansatzes und dessen spezifische Anpassung zur Darstellung der Verkehrssituation ist von den örtlichen, verkehrlichen und topologischen Gegebenheiten abhängig. Im Rahmen dieser Untersuchung werden die erforderlichen anlagenspezifischen Adaptionen aufgenommen, gesichtet und den Steuerungsverfahren zugeordnet. Hierauf aufbauend wird ein Bewertungsverfahren entworfen, welches auf einem Kriterienkatalog basiert, anhand dessen die Auswahl von Steuerungsverfahren für NBA möglich ist. Aufbauend auf dieser

Grundlage werden Hinweise und Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Steuerungsmodelle bezüglich der Integration und des Vermaschungsprozesses definiert. Hierbei wird ein dreistufiges Vorgehensmodell zur Konzeption eines integrativen Gesamtsteuerungsverfahrens entworfen. Abschließend werden die Vorgaben einer Anwendung im Autobahnnetz Nordbayerns unterzogen.

2. Untersuchungsmethodik

2.1 Analyse der Netzbeeinflussungsanlagen in Deutschland

Die Randbedingungen, unter denen die untersuchten NBA in Deutschland arbeiten, und der Aufbau der jeweiligen Steuerungsmodelle wurden systematisch zusammengefasst. Um aus einem Vergleich der netztopologischen und anlagentechnischen Randbedingungen mit den integrierten Steuerungsmodellen sinnvolle und weniger geeignete Adaptionen herauszuarbeiten, wurde ein standardisiertes Bewertungsverfahren entworfen. Hierfür wurde zunächst neben den Erfahrungen der Betreiber aus dem praktischen Betrieb der Anlagen eine „Wissensbasis“ aus umfangreichen Untersuchungen und Forschungsprojekten der letzten Jahre zusammengetragen. Um diese Erkenntnisse gemeinsam mit den tabellarisch aufbereiteten Randbedingun-

gen und Steuerungsmodellbeschreibungen zu einem standardisierten Bewertungsverfahren zusammenzufassen, ist ein „wissensbasiertes“ System auf der Grundlage der Fuzzy-Logik entworfen worden. Das bezüglich einer Bewertung der Adaption der Steuerungsmodelle zusammengetragene Wissen wurde hierbei in die Regelkataloge der Fuzzy-Inferenz integriert.

Aus der Bewertung der bestehenden Anlagen konnten sinnvolle Adaptionen der Steuerungsmodelle an die Randbedingungen definiert werden. Auf dieser Grundlage erfolgt die Definition eines Vorgehensmodells zur Auswahl geeigneter Teilmodule eines Steuerungsverfahrens unter Berücksichtigung der Randbedingungen.

Hierbei kann für die Auswahl eines geeigneten Steuerungsverfahrens bei der Planung einer neuen NBA auf die Wissensbasis innerhalb der Regelkataloge des Bewertungsverfahrens zurückgegriffen werden. Es ist zu differenzieren, ob es sich um eine vollständige Neukonzeption der Anlage handelt oder ein neuer Steuerungsalgorithmus auf Grundlage einer bereits bestehenden Infrastruktur zu definieren ist. Für beide Fälle wurde ein entsprechendes Ablaufdiagramm definiert.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Weiterentwicklung der Steuerungsmodelle

Die Weiterentwicklung der Steuerungsmodelle beinhaltet grundlegende Überlegungen zu den Aspekten der

- Integration untergeordneter VBA in das Steuerungsverfahren einer NBA und
- der Berücksichtigung der Vermaschung mehrerer NBAen innerhalb der Steuerungsverfahren.

Es wurden vier Stufen der Integration untergeordneter Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) in das Analysenmodell einer NBA eruiert. Während für eine Übernahme der Schaltungen aufgrund anlagentechnischer Restriktionen keine konsistente Schnittstelle zu den Analysenmodellen definiert werden kann, ist die Übernahme der verkehrstechnischen Analyseergebnisse aus allen untergeordneten VBA anzustreben. Hierbei muss jedoch anhand der anlagentechnischen und topologischen Randbedingungen eine entsprechende Schnittstelle definiert werden, welche nicht allgemeingültig formulierbar ist und somit für jeden Integrationsfall getrennt betrachtet werden muss. Eine Übernahme der Datenbasis ist nur dann sinnvoll, wenn das Verkehrsflussmodell der NBA die im Bereich der verdichteten Querschnittserfassung gelieferten differenzierten Verkehrsdaten verarbeiten kann. Aus diesem Grunde ist für diese Integrationsstufe, ausgehend vom Analysemodell der NBA, differenziert für strecken- und querschnittsbezogene Analyseverfahren vorzugehen. Bei der Übernahme der Analysemodelle der zeitlich feinteiliger arbeitenden VBA ist zwischen einer vollständigen und einer räumlich begrenzten Integration zu differenzieren. Der Nutzen einer Übernahme ist hierbei in Abhängigkeit der vorhandenen Netztopologie und des Erfassungsstellenabstandes in der gesamten Netzmasche zu bewerten. Hierbei ist zu beachten, inwieweit die Integration einer Streckenbeeinflussungsanlage (SBA) zu einer verbesserten Analysequalität innerhalb der NBA führt. Diese Aspekte der grundlegenden Überlegungen wurden in einer tabellarischen Darstellung zusammengefasst. Diese stellt die Grundlage für den nachfolgend definierten Teil des Vorgehensmodells zur Integration untergeordneter VBA in das Steuerungsverfahren einer NBA dar.

Die Integration untergeordneter VBA in das Prognoseverfahren einer NBA hängt von der gewählten Integrationsstufe für das Analysemodell ab. Generell sind bei einer Integration der untergeordneten VBA in das Prognosemodell nur die Stufen der Übernahme der Datenbasis (auch zur Prognose) und der Ergebnisübernahme aus der Verkehrsflussanalyse denkbar.

Die Übernahme der Datenbasis setzt hierbei eine dem Prognoseverfahren angemessene Lage und Konfiguration der Erfassungsstellen voraus (Beispiel: vollständige Erfassung der Anschlussstellen und Knoten und 4–7 km Abstand zwischen MQ für das Streckenprognoseverfahren). Insbesondere die Ergebnisse aus der Störfalldetektion stellen für die Prognose einen wichtigen Informationsgehalt dar. Hierbei ist zu definieren, wie der Störfallerkennungsausput (Störfall im Sektor ja / nein) in vom Prognosemodell verarbeitbare Kenngrößen transportiert wird. Bezüglich der Berücksichtigung der Vermaschung zweier NBA innerhalb des Prognosemodells sind zwei grundsätzliche Möglichkeiten der Prognoseberechnung für sich überschneidende Prognosestrecken vorgestellt worden:

- die routenbezogene Berechnung und
- die streckenbezogene Berechnung.

In der routenbezogenen Methode erfolgt die Berechnung durchgehend in einem Prognoselauf vom Ausgangspunkt der Prognose bis zum Zielpunkt der Route. Andere parallel laufende Routen werden als Zuflüsse behandelt. Streckenbezogen wird das gemeinsame Streckenstück zweier Routen nur einmal gerechnet, was die zeitliche Synchronisation am Punkt des Zusammenflusses voraussetzt.

Der genaue Ablauf der Berechnung wurde anhand von Beispielen für beide Verfahren vorgeführt. Neben der Frage der Berechnungsmethode ist das zu wählende Prognoseverfahren im Falle der Vermaschung festzulegen, falls beide Teilmaschen aufgrund unterschiedlicher Netzcharakteristik von sich aus mit unterschiedlichen Verfahren arbeiten. Bei der Konzeption eines integrativen Gesamtsteuerungsverfahrens ist stets zu beachten, welches Prognoseverfahren für jede Teilmasche die beste Adaption an die Netz- und Verkehrstopologie darstellt.

Bezüglich der Berücksichtigung einer Vermaschungssituation im Entscheidungsverfahren einer NBA ist als Axiom für aktuelle betrachtete Anlagen heutzutage aus Akzeptanzgründen eine nutzeroptimale Steuerung im Gegensatz zur netzoptimierten zu wählen. Ebenso hat sich bei den Steuerkriterien die Reisezeit als alleiniges oder zumindest dominierendes Kriterium durchgesetzt. In den Zielplänen ist festzulegen, dass ein Kraftfahrer beim späteren Passieren eines zweiten Entscheidungspunktes nicht eine in Konkurrenz zu ersten Empfehlung stehende Anzeige vorfindet.

Die Konzeption des Gesamtsteuerungsverfahrens muss die Hierarchisierung der Anlagen berücksichtigen, d.h. die Entscheidung einer kleinen Masche wird in die der größeren integriert.

Die Wahl der vorgeschlagenen Optimalroute kann auf der Basis hinterlegter fester Zielpläne oder einer ereignisgesteuerten Umlegung beruhen; auch hier sind stromab anliegende Schaltungen zu berücksichtigen. Für beide Methoden wurden entsprechende Vorgehensweisen in einem Leitfadensmodell (Vorgehensmodell Teil 2 und 3) dargestellt.

3.2 Vorgaben für einen integrierten Steueransatz in Nordbayern und Nachweis der Wirksamkeit

Das oben dargestellte 3-stufige Vorgehensmodell zur Definition einer Steuerungsverfahrens vermaschter Netze mit Integration untergeordneter VBA wurde auf den konkreten Anwendungsfall am vermaschten Autobahnnetz in Nordbayern übertragen. Auf dieser Grundlage wurden Vorgaben für einen integrierten Steueransatz in Nordbayern getroffen.

3.2.1 Vermaschung der WWW Würzburg-Nürnberg mit der WWW Nürnberg-Ost

Nach einer Gegenüberstellung der Netztopologien wurden nachfolgende grundlegenden Konzeptionsvorgaben und -annahmen für das Gesamtsteuerungsmodell definiert.

Die WWW Würzburg-Nürnberg ist der WWW Nürnberg-Ost gegenüber übergeordnet. Das Steuerungsmodell ist getrennt für die Fahrrichtungen Süden und Norden zu definieren. Während für die Fahrtrichtung Süden aufgrund des größeren zeitlichen Versatzes zwischen Einfahrpunkt und erstem gemeinsamen Entscheidungspunkt ein autarker Betrieb beider Anlagen vorzusehen ist, ist in Fahrtrichtung Norden ein hybrides Prognoseverfahren zu definieren. Hierbei besteht zum Einen die Möglichkeit die WWW Nürnberg-Ost als rein detektierende Anlage wie eine SBA in das Analysemodell zu integrieren, zum Anderen kann die WWW Nürnberg-Ost um ein Querschnittsprognoseverfahren ergänzt werden, mit welchem bis zum AK Nürnberg gerechnet wird, ehe ab dort die Streckenprognose bis zum AK Biebelried startet.

Mit Hilfe der simulativen Untersuchung wurden die beiden aufgeworfenen konzeptionellen Ansätze untersucht. Für den Vermaschungsbereich erfolgte unter variierender Verkehrsbelastung sowohl eine Querschnitts- als auch eine Streckenprognose der Reisezeiten. Ein Vergleich der mit den beiden Verfahren prognostizierten Reisezeiten mit den Referenzreisezeiten der Mikrosimulation liefert einen gleichwertigen Qualitätsmaßstab für beide Prognoseansätze. Demnach ist die WWW Nürnberg-Ost in ihrer rein detektierenden Funktionsweise in das Analysemodell der WWW Würzburg-Nürnberg zu integrieren. Gleichsam ist die WWW Würzburg-Nürnberg um die durch die Vermaschung entstehenden zusätzlichen Prognoserouten zu erweitern und eine ereignisorientierte Umleitungssimulation innerhalb der Entscheidungsfindung zu implementieren.

Diese Integrationsvorgaben bezüglich des Prognosemodells wurden anhand einer theoretischen Prognosefehlerberechnung für die Gesamtmasche überprüft. Hierbei wurde festgestellt, dass sich die Prognoseergebnisse bei einem hybriden Ansatz (Querschnittsprognose von AD Feucht bis AK Nürnberg, Streckenprognose vom AK Nürnberg bis AK Biebelried) in ihrer Qualität in der Gesamtrechnung nur marginal verbessern lassen. Auch diese Ergebnisse rechtfertigen den zusätzlichen algorithmischen Aufwand eines auf zwei Prognoseverfahren basierenden Steuerungsmodells nicht.

Die Steuerungsstrategie ist nutzeroptimal unter ausschließlicher Berücksichtigung des Kriteriums Reisezeit zu definieren. Für die ereignisorientierte Umlegung des Gesamtentscheidungsverfahrens wurden relevante Störfallbereiche festgelegt.

3.2.2 Integration der SBA A6 Schwabach in das Steuerungsverfahren der WWW Würzburg Nürnberg

Die Ergebnisse der sowohl zeitlich als auch räumlich feinteiliger arbeitender SBA sind zunächst zeitlich und räumlich an den Informationsinput des Analysemodells der NBA anzupassen. Hierzu ist eine Streckenabschnitts- und Zeittransformation durchzuführen, um abschließend einen innerhalb der SBA detektierten Störfall in das Analyseverfahren der NBA zu integrieren. Das Ende dieser Prozesskette, die Information „kein Stau“ / „Primärstau“ oder „Sekundärstau“, definiert hierbei bereits den Eingang in das Prognoseverfahren der NBA. Dieser Input zeichnet für den Start einer Überlastungsprognose verantwortlich. Der hierbei zugrundeliegende Prozessablauf wurde konkretisiert.

Anhand der Datencluster zweier definierter Störfallsituationen (bei mittlerer und starker Verkehrsbelastung) wurde getrennt für das Verfahren der NBA und der SBA eine Störfalldetektion durchgeführt. Für beide Belastungsszenarien ist durch die Übernahme der Ergebnisse der Störfalldetektion der SBA ein deutlicher Qualitätsgewinn in der Analyse gewährleistet. Bezüglich der Integration der SBA ins Prognosemodell der NBA wurde untersucht, inwieweit durch eine schnellere und detailliertere Störfalldetektion ein frühzeitiger Start der Überlastungsprognose zu einer besseren Prognose der Reisezeiten führt. Eine Gegenüberstellung der simulierten und prognostizierten Reisezeiten der beiden Verkehrsszenarien macht die Wirksamkeit der Nutzung des Outputs der Störfallerkennung der SBA für einen Start der Überlastungsprognose deutlich. Die Wirksamkeit der vorgeschlagenen Integrationsvorgaben zur Integration der SBA A6 Schwabach konnte somit nachgewiesen werden.

4. Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Die Untersuchung hat Vorgaben für eine Weiterentwicklung der Steuerungsmodelle von NBA bezüglich der Vermaschung mehrerer Netze und der Integration untergeordneter VBA erbracht. Gleichsam konnten systematisch aufbereitete Anwendungshinweise zur Auswahl geeigneter Steuerungsmodelle definiert werden.

Aus einer Analyse der in Deutschland in Betrieb befindlichen NBA wurde ersichtlich, dass die Verkehrs- und Netztopologie einen signifikanten Einfluss auf die Auswahl der Steuerungsmodelle hat. Aus diesem Grunde wurde ein wissenschaftliches System definiert, welches die Sinnhaftigkeit der Auswahl einzelner Steuerungsmodelle bewertet. Dieses stellt die Grundlage für ein Vorgehensmodell zur Auswahl geeigneter Steuerungsmodelle dar.

Anschließend wurde ein Leitfaden für die Erweiterung der bestehenden Steuerungsmodelle im Hinblick auf die Vermaschung mehrerer NBA und die Integration untergeordneter VBA definiert. Dieser wurde anschließend für den konkreten Anwendungsfall im Autobahnnetz Nordbayerns angewendet. Die Wirksamkeit der in diesem Zusammenhang weiter spezifizierten Integrationsvorgaben wurde mittels Simulation nachgewiesen. □