

# Automatische Offline-Optimierung der Lichtsignaltechnischen Koordinierung des mIV im städtischen Netz unter Verwendung genetischer Algorithmen

Robert Braun und Florian Weichenmeier

*Der Beitrag erläutert ein Verfahren zur automatischen Offline-Optimierung der Lichtsignaltechnischen Koordinierung des motorisierten Individualverkehrs (mIV) im städtischen Netz, das im Rahmen des Forschungsprojekts RATISBONA-opt entwickelt wird. Ziel ist es, ein Software-Werkzeug zu schaffen, das möglichst viele planerische Anforderungen erfüllt und darüber hinaus anwenderfreundlich nachvollziehbare und möglichst optimale Grüne Wellen im Netz erzeugt, die ohne großen Aufwand direkt in die Steuerungen der Lichtsignalanlagen integriert werden können. Zur Optimierung der Signalsteuerung kommen genetische Algorithmen zum Einsatz, die für komplexe, stark nichtlineare Probleme wie die Koordinierung von Lichtsignalanlagen in städtischen Netzen gut geeignet sind. Zur Abbildung des Verkehrs und der Ermittlung der Wirkungskenngrößen für die Zielfunktion wird das Verkehrs- und Wirkungsmodell des Steuerungsverfahrens BALANCE verwendet. Das Software-Werkzeug wird zur Optimierung der Lichtsignalsteuerung in einem Gebiet nahe der Regensburger Innenstadt zum Einsatz kommen und dort getestet und bewertet werden.*

*The paper describes a method for an automatic offline-optimization of coordinated traffic signal control in urban networks that is currently developed within the research project RATISBONA-opt. The objective is a software planning tool, which satisfies as many planning requirements as possible and remains comprehensible for the user. It will generate optimal signal control plans for an urban network, which can be implemented easily into the traffic signal control systems. Genetic algorithms are used as optimization method, because they are able to produce good solutions for such a complex nonlinear problem within a reasonable amount of time. A traffic flow model combined with an impact model is used as basis for the performance index of each solution. The new tools will be evaluated by applying them to an urban network in the city of Regensburg.*

## 1. Einleitung

Koordinierte Lichtsignalsteuerungen für den motorisierten Individualverkehr (mIV) werden heute nach dem Stand der Technik fast in allen Städten mehr oder weniger erfolgreich eingesetzt. Dabei kommen verschiedene Steuerungsverfahren von der koordinierten Festzeitsteuerung bis hin zu verkehrsabhängigen Steuerungen mit diversen Freiheitsgraden zur Anwendung.

Grüne Wellen gehören zu den wichtigsten verkehrsplanerischen Maßnahmen für den mIV im innerstädtischen Bereich. Eine gut funktionierende Grüne Welle reduziert die Zahl der Halte und die mittlere Wartezeit aller Fahrzeuge, was zu einer deutlich reduzierten Gesamtreisezeit führt. Nicht oder nur schlecht funktionierende Koordinierungen haben dagegen

eine Erhöhung der Zahl der Halte zur Folge, die damit verbundenen zusätzlichen Brems- und Anfahrvorgänge führen zu einer Zunahme des Kraftstoffverbrauchs und zusätzlichen Emissionen. Längere Reisezeiten sind nicht nur für den einzelnen Verkehrsteilnehmer, sondern auch volkswirtschaftlich nachteilig. Zur Planung von Grünen Wellen existieren im Wesentlichen zwei verschiedene Verfahren:

- Manuelle Erstellung:  
Der Verkehrsingenieur plant die Wellen per Hand, unter Zuhilfenahme von Zeit-Weg-Diagrammen in Verkehrsingenieur-Arbeitsplätzen.
- Spezialisierte Tools mit Optimierungsalgorithmen:  
Derzeit am häufigsten angewendet wird in Deutschland das stark einseitig eine Verkehrsrichtung bevorzugende Dominanz-Verfahren.

Beide Verfahren lassen sich sehr gut einsetzen, wenn das zu optimierende Gebiet vor allem linear ist und die Hauptbelastung in einer Richtung liegt. Sie stoßen aber an ihre Grenzen, wenn im Untersuchungsgebiet Brüche in den Verkehrsströmen auftreten oder zwei Hauptachsen im Netz aufeinander treffen. Beide Verfah-

ren sind auch nicht für die Optimierung eines Verkehrsnetzes mit mehreren Straßenzügen geeignet, in dem keine Hauptrichtung besonders ausgezeichnet ist und überall Wellenbrüche auftreten können. Außerdem ist es mit diesen Methoden nur schwer möglich, verkehrsplanerische und vor allem verkehrs- und umweltpolitische Zielsetzungen direkt im Verfahren zu berücksichtigen.

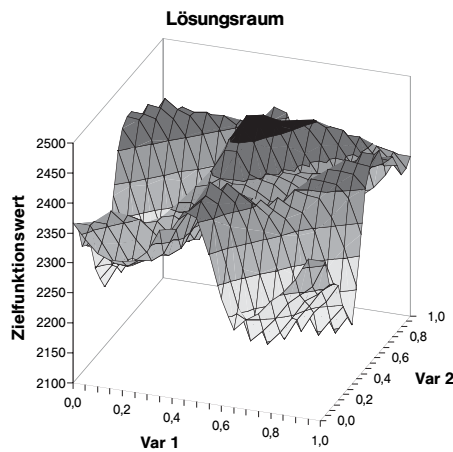
## 2. Problemstellung

Die netzweite Optimierung der Lichtsignalsteuerung stellt ein extrem komplexes Problem mit einer sehr hohen Anzahl von Freiheitsgraden (Steuerungsparametern) dar. Neben der bei einer Festzeitsteuerung i.d.R. einheitlichen Umlaufzeit ist für jeden Knotenpunkt (bis auf einen) eine Versatzzeit, eine Phasenfolge sowie die Freigabezeitanteile der einzelnen Phasen zu ermitteln. Analytisch ist dieses Problem nicht zu lösen, da keine geschlossene mathematische Formulierung möglich ist. Deshalb müssen andere Lösungsmöglichkeiten gefunden werden. Bei drei Phasen pro Knotenpunkt ergeben sich z.B. bei fünf Knotenpunkten 20

*Modifizierter Abdruck des Vortrags auf der HEU-REKA '05 in Karlsruhe*

*Verfasseranschriften: Dipl.-Ing. R. Braun, TU München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik, Arcisstraße 21, 80333 München; Dipl.-Math. F. Weichenmeier, Gevas software GmbH, Leuchtenberggring 20, 81677 München*

zu optimierende Variablen: eine Umlaufzeit, vier Versatzzzeiten, je eine Variable zur Festlegung der Phasenfolge und je zwei Variablen zur Festlegung der drei Freigabezeitanteile. Zur Verdeutlichung der Komplexität zeigt die folgende Abbildung zwei Dimensionen eines derartigen 20-dimensionalen Lösungsraums. Dargestellt ist das Ergebnis der Zielfunktion in Abhängigkeit der möglichen Werte der Versatzzzeiten (Var 1 und Var 2) von zwei der fünf Knotenpunkte. Die restlichen Variablen (Umlaufzeit, Phasenfolgen und Freigabezeitanteile) sind konstant gehalten.



**Bild 1: Zwei Dimensionen eines 20-dimensionalen Lösungsraums**

Bereits anhand der dargestellten zwei Dimensionen des 20-dimensionalen Lösungsraums sind deutlich die zahlreichen lokalen Minima erkennbar (Bild 1).

Bei der Anwendung numerischer Verfahren wie dem Hill-Climbing Algorithmus (Gradientenverfahren mit diskreten Eingangsgrößen) ist es deshalb nahezu unmöglich, das globale Optimum (in diesem Fall das globale Minimum) der Hyperfläche zu erreichen. Da beim Hill-Climbing Algorithmus die einzelnen Steuerungsparameter nacheinander optimiert werden, ergeben sich in Abhängigkeit der verwendeten Reihenfolge und der verwendeten Startlösung mitunter stark unterschiedliche Ergebnisse.

### 3. Lösungsansatz: Optimierung mit genetischen Algorithmen

Genetische Algorithmen (GA) sind heuristische Suchverfahren, die den biologischen Evolutionsprozess nachahmen, d.h. sie modellieren verschiedene natürliche Prozesse wie Selektion, Reproduktion, Rekombination, Mutation, Migration, Lokalität, Nachbarschaft, Parallelität oder Konkurrenz.

Optimale Lösungen werden also nicht analytisch ermittelt, sondern entwickeln sich nach einer Reihe von Iterationen und Veränderungen als Folge des Besitzes einer besseren Fitness als andere Lösungen. Eine bessere Fitness entspricht einem besseren Wert der Zielfunktion (Performance Index), der durch das Wirkungsmodell berechnet wird.

Genetische Algorithmen als Optimierungsmethode bieten u.a. folgende Vorteile:

- es können alle Formen von Bewertungsmodellen eingesetzt werden
- die Algorithmen können schnell sehr große Lösungsräume durchsuchen
- alle Parameter werden gleichzeitig optimiert

- ungerichtete und gerichtete Suchen können kombiniert werden
- es können Lösungen ermittelt werden, die typischerweise durch eine graduelle Veränderung einzelner Parameterwerte (z.B. Gradientenverfahren) nicht gefunden werden können, das Risiko eines vorzeitigen Abbruchs der Suche bei Erreichen eines lokalen Optimums ist verringert.

Genetische Algorithmen benötigen als externe Inputs lediglich einen skalaren Fitnesswert, der die Qualität einer Gesamtlösung angibt. Sie werden häufig bei kombinatorischen Problemen angewendet, deren Lösungsraum schwierig zu durchsuchen ist, d.h. bei hochdimensionalen, multimodalen, un stetigen oder verrauschten Funktionen der Steuerungsgrößen [1]. Für komplexe, stark nicht-lineare Probleme wie die Koordinierung von Lichtsignalanlagen in städtischen Netzen sind genetische Algorithmen deshalb gut geeignet.

Der Ansatz, genetische Algorithmen (GA) als Optimierungsmethode zur Planung von Lichtsignalsteuerungen zu verwenden, wurde bereits verschiedentlich verfolgt. Foy, Benekohal und Goldberg [2] entwarfen eine einfache GA-Optimierung für ein Rasternetz mit vier Knotenpunkten. Für dieses Netz werden Umlaufzeit und Freigabezeitverteilung einfacher Zweiphasensteuerungen optimiert, nicht jedoch die für eine Koordinierung wesentliche Versatzzzeit. Zwei hybride GAS wurden von Hadi und Wallace [3] entworfen, die in Verbindung mit TRANSYT-7F Umlaufzeit, Freigabezeiten, Versatzzzeiten und Phasenfolgen gleichzeitig optimieren. Von Park, Messer und Urbanik [4] wurde eine GA-Optimierung im Hinblick auf übersättigte Verkehrszustände entwickelt, die auch die Versatzzzeit zwischen zwei benachbarten Knotenpunkten mitoptimiert. Ein weiter gehender

Ansatz wird von Ceylan und Bell [5, 6] verfolgt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Steuerung Auswirkungen auf die Routenwahlentscheidung hat. Deshalb wird die Optimierung auf zwei Ebenen durchgeführt: die obere Ebene optimiert die Steuerung mittels eines GA, die untere Ebene optimiert die Verkehrsumlegung.

Neben den genannten Offline-Modellen zur Planung werden in der Literatur auch Entwürfe zur Online-Optimierung beschrieben. Hierfür müssen die Steuerungsparameter variabel über einen größeren Zeithorizont angepasst werden, was die Anzahl der zu optimierenden Parameter deutlich vergrößert [7]. Da das Ziel des hier vorgestellten Forschungsprojekts die Entwicklung eines Planungswerkzeugs zur Offline-Optimierung der netzweiten Lichtsignalsteuerung ist, werden Online-Ansätze an dieser Stelle nicht weiter behandelt.

In der aktuellen amerikanischen Version von TRANSYT-7F ist ebenfalls eine GA-Optimierung möglich [8]. Neben Details im Aufbau des GA selbst besteht der wesentliche Unterschied zu RATISBONA-opt in der unterschiedlichen Handhabung der Phasenfolge, die dort nur sehr allgemein eingestellt werden kann. Zudem ist in RATISBONA-opt eine bruchlose Einbindung in einen normalen Lichtsignalanlagen-Planungsprozess gegeben.

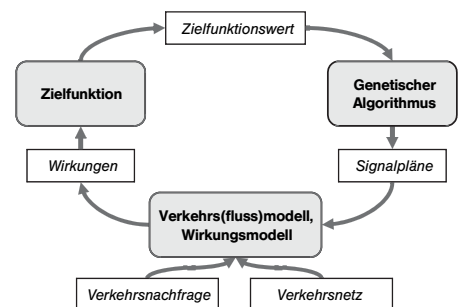
### 4. RATISBONA-opt

#### 4.1 Ablauf der Optimierung

Das Optimierungsverfahren besteht aus folgenden Bestandteilen (Bild 2):

- Genetischer Algorithmus und Steuerungsmodell
- Verkehrsnetz
- Verkehrsnachfrage
- Verkehrsmodell und Wirkungsmodell
- Zielfunktion.

Der genetische Algorithmus beginnt mit der Generierung zufälliger Individuen, die jeweils in einen Signalplan umgerechnet werden. Vorgegeben werden das Ver-



**Bild 2: Ablauf der Optimierung**

kehrsnetz sowie ein Verkehrsnachfrage-szenario, für das ein optimaler Schaltplan errechnet werden soll. Für jeden Signalplan werden die vorgegebenen Belastungen modelliert (Verkehrsmodell) und die resultierenden verkehrlichen Auswirkungen berechnet (Wirkungsmodell). Das hier verwendete Verkehrsmodell und die Ermittlung der Wirkungskenngrößen werden im Abschnitt 4.5 beschrieben.

Die Wirkungskenngrößen gehen gewichtet in eine Zielfunktion ein, die Gewichtung dient dabei dem Einbringen planerischer Vorgaben (z.B. Wartezeit auf Hauptstraßen erhält eine höhere Gewichtung als die der Einbieger). Ergebnis sind die Zielfunktionswerte (Performance-Index) der Signalpläne, also die jeweilige Fitness der Individuen der aktuellen Generation.

### 4.2 Genetischer Algorithmus

Der genetische Algorithmus benötigt als Eingangswert lediglich die einzelnen Fitnesswerte der Anfangspopulation. Der allgemeine Aufbau eines GA ist im Bild 3 dargestellt.

Mit Hilfe der Fitnesswerte findet eine Auswahl von Eltern statt (Selektion). Durch eine paarweise Rekombination der Eltern werden neue Individuen erzeugt. Die einzelnen Gene der Nachkommen werden anschließend mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit verändert (Mutation). Die Nachkommen ersetzen einen Großteil der alten Population und bilden zusammen mit den besten Individuen der Elterngeneration eine neue Population. Diese wird wiederum bewertet, d.h. es wird die Fitness der einzelnen Individuen als Grundlage für die Selektion der nächsten Eltern ermittelt. Abbruchkriterium ist meist eine maximale Anzahl von Generationen. Neben den genannten Standardoperatoren Selektion, Rekombination und Mutation ist der Einsatz weiterer Operatoren wie Migration und Konkurrenz möglich, was den GA noch leistungsfähiger machen kann [9].

Durch den beschriebenen Aufbau eines GA werden parallel mehrere Signalprogramm-entwürfe bewertet (eine Generation), von denen jeweils ein Großteil in die nächste Generation eingeht. Sie tauschen ihre Informationen auch untereinander aus, wodurch die Wahrscheinlichkeit in ein lokales Optimum zu geraten gegenüber anderen Optimierungsmethoden deutlich vermindert ist.

### 4.3 Repräsentation der Steuerungsparameter

Jedes Individuum stellt eine mögliche Lösung (Signalplan aller Knoten im Netz) dar, d.h. es enthält die einzelnen Steuerungsparameter:

- Umlaufzeit
- Versatzzeiten
- Phasenfolgen
- Grünzeiten.

Die Steuerungsparameter entsprechen den einzelnen Genen, die in kodierter Form vorliegen und von Generation zu Generation unter Zuhilfenahme der unterschiedlichen im Abschnitt 4.2 genannten Operatoren verändert werden.

Von entscheidender Bedeutung für die Qualität und Funktionsfähigkeit der Optimierung ist die Kodierung der Steuerungsparameter. Anzustreben ist dabei eine möglichst schlüssige Repräsentation der einzelnen Parameter als Gene im Individuum. Bei jeder Kodierung sind problemspezifische Randbedingungen zu berücksichtigen, im vorliegenden Fall z. B. minimale und maximale Umlaufzeit, erlaubte Phasenfolgen, Mindestfreigabezeiten und unterschiedliche Zwischenzeiten bei unterschiedlichen Phasenfolgen.

Je nach gewählter Kodierung können mehr oder weniger viele unzulässige Lösungen auftreten, die die erforderlichen Randbedingungen nicht einhalten. Da diese Lösungen nicht verwendet werden können, ist ein wichtiges Ziel, die Zahl ungültiger Individuen möglichst gering zu halten. Dazu gibt es mehrere Möglichkeiten [10]:

- Wahl einer relativen Kodierung, die die Randbedingungen bereits in der Art enthält, dass nur gültige Lösungen produziert werden
- Einführung einer Bestrafungsfunktion für Individuen, die Randbedingungen verletzen
- Entwurf geeigneter Dekodierungs- oder Reparaturalgorithmen
- Iterative Neuversuche bis ein gültiges Individuum erzeugt wird [11].

Auf Grund der vorliegenden relativ eng gefassten und teilweise absolut verbindlichen Randbedingungen (z.B. Zwischenzeiten) wurde eine relative Kodierung gewählt, sodass durch die Integration der Randbedingungen nur gültige Lösungen produziert werden.

Ein Individuum ist wie folgt aufgebaut:

$$\{\varphi, (\sigma_1, o_1, \theta_{11}, \dots, \theta_{1m1}), (\sigma_2, o_2, \theta_{21}, \dots, \theta_{2m2}), (\sigma_n, o_n, \theta_{n1}, \dots, \theta_{nmn})\}.$$

Jedes Gen kann einen Wert zwischen null und eins annehmen. Die kodierte Umlaufzeit steht an erster Stelle ( $\varphi$ ), pro Knoten sind Phasenfolge ( $\sigma$ ), Versatzzeit ( $o$ ) und Freigabezeiten ( $\theta$ ) kodiert.

Die Umlaufzeit  $t_U$  errechnet sich zu

$$t_U = t_{U, \min} + \varphi (t_{U, \max} - t_{U, \min}).$$

Die Phasenfolge wird über eine Umrechnung des Gens in eine Kennziffer ausgewählt, die einer der zuvor vom Verkehringenieur festzulegenden möglichen Phasenfolgen zugeordnet ist.

Die Versatzzeit  $t_v$  ist der Zeitpunkt des Endes des ersten Phasenübergangs im Phasenablauf und berechnet sich zu

$$t_v = o \cdot t_U.$$

Die Dauern der Freigabezeiten der einzelnen Phasen ( $P_i$ ) werden in Abhängigkeit der Mindestfreigabezeiten  $P_{\min}$  und der Zwischenzeiten  $Z$  wie folgt berechnet:

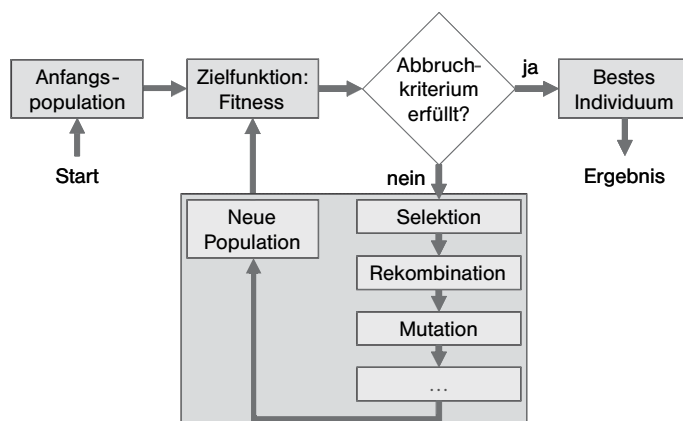
$$P_i = P_{\min, \sigma_i} + \frac{\theta_i}{\sum_{j=1}^{k_g} \theta_j} \cdot \left( t_U - \sum_{j=1}^{k_g} Z_{\sigma_j} - \sum_{j=1}^{k_g} P_{\min, \sigma_j} \right)$$

Das Bild 4 veranschaulicht die Umrechnung der Gene für Umlaufzeit und Freigabezeiten in die Steuerungsparameter.

Durch diese Form der relativen Kodierung ist sichergestellt, dass keine ungültigen Individuen entstehen. Die Randbedingungen sind bereits vollständig in der Kodierung enthalten.

Die Gene selbst, also die kodierten Parameterwerte, können reell oder binär dargestellt werden. Bei der hier gewählten reellen Darstellung kann jedes Gen einen beliebigen Wert zwischen null und eins annehmen und damit genau einen Steuerungsparameter repräsentieren,

**Bild 3:** Allgemeine Struktur eines genetischen Algorithmus





# SIEMENS

Industrial Solutions and Services

## Beste Aussichten für mehr Mobilität.

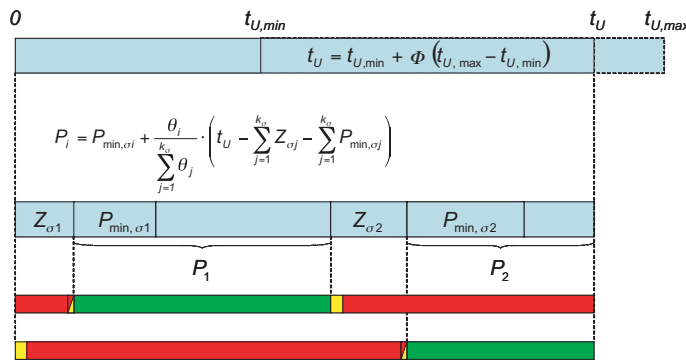
Den Verkehr im Fluss und damit die Mobilität aufrecht zu erhalten ist eine der größten Herausforderungen für Verkehrsplaner. Entscheidendes Instrument: Moderne Verkehrsmanagementsysteme.

Die Grundlage hierbei bildet u. a. eine fundierte verkehrstechnische Planung. SITRAFFIC P2 ist das bewährte Planungs- und Projektierungssystem für lichtsignalgesteuerte Knotenpunkte und Netze aus dem Hause Siemens.

Setzen Sie sich mit uns in Verbindung.  
Wir beraten Sie gerne.

**Intelligent Traffic Systems**

**Bild 4:**  
Kodierung von Umlaufzeit und Freigabezeiten



während bei einer binären Darstellung jedes Gen entweder null oder eins sein kann, d.h. es sind mehrere Gene zur Repräsentation eines Parameterwerts erforderlich. Entsprechend lang und wenig anschaulich wird das Individuum.

Die Entscheidung zwischen binären oder reellen Genen hat Folgen für die Ausprägung und Eigenschaften der Operatoren. Insbesondere bei der Mutation besteht nur bei reellen Genen die Möglichkeit durch Festlegung von Mutationsbereich und Mutationspräzision eine gezieltere Suche im Lösungsraum durchzuführen.

**4.4 GA-Operatoren**

Die Operatoren des genetischen Algorithmus und deren Parametrierung tragen wesentlich zur Qualität des Optimierungsablaufs bei. Als Selektionsmethode wurde die Turnierselektion gewählt. Dabei werden jeweils zwei Individuen verglichen und das Bessere wird als Elternteil ausgewählt (Prinzip: Ziehen mit Zurücklegen).

Bei der Rekombination jeweils zweier Elternteile werden mit einer festzulegenden Wahrscheinlichkeit sämtliche Gene eines Knotenpunkts vom einen oder anderen Elternteil übernommen. Des Weiteren kann ein Teil der Nachkommen in Abhängigkeit der lokalen Fitness der einzelnen Knotenpunkte gebildet werden.

Die Mutation ist für jede kodierte Variable unterschiedlich. Die Mutationswahrscheinlichkeit kann für jede Variable verschieden sein. Für Umlaufzeit und Versatzzeiten können zudem Mutationsbereich und Mutationspräzision (Schrittweite) eingegeben werden. Hier wird der Vorteil der gewählten reellen Darstellung der Gene deutlich: Sie erlaubt eine lokale Suche in der Umgebung der mutierten Variable.

Um zu vermeiden, zu früh ein lokales Optimum zu erreichen, ist die Möglichkeit der Verjüngung gegeben, d.h. bei zu geringer Varianz in der Population wird ein Teil der Population durch neue zufällig generierte Individuen ersetzt. Die beiden

besten Individuen einer Generation werden immer in die nächste Generation übernommen, ein größerer Anteil kann jedoch vom Benutzer festgelegt werden.

**4.5 Verkehrsmodell und Wirkungskenngrößen**

Zur Modellierung des Verkehrs kommt das in BALANCE enthaltene Verkehrsmodell zum Einsatz. Die adaptive Netzsteuerung BALANCE (balancing adaptive network control method) wurde im Rahmen der Forschungsprojekte Munich COMFORT [12] und TABASCO [13] entwickelt und kam seitdem in vielen Forschungs- und Umsetzungsprojekten zum Einsatz.

Das Verkehrsmodell hat die Aufgabe, aus den an den eingegebenen Verkehrsstärken eine interne räumlich-/zeitliche Repräsentation des aktuellen Verkehrszustands zu bilden. Im Wesentlichen besteht es aus drei Funktionsblöcken, die in zwei Stufen angeordnet sind:

- Die erste Stufe ist ein makroskopisches Verkehrsmodell, das einmal pro Optimierung aufgerufen wird. Es besteht aus
  - einer QZ-Schätzung zur näherungsweise Bestimmung der Quelle-/Ziel-Beziehungen im Teilnetz und
  - einer Verkehrsumlegung zur Zuordnung der Verkehrsströme zu den einzelnen Kanten im Netz.
- Die zweite Stufe ist ein mesoskopisches Verkehrsflussmodell, welches aus den makroskopischen Verkehrskenngrößen der ersten Verkehrsmodell-Stufe zyklische Verkehrsfluss-Profile erzeugt.

Das Verkehrsmodell dient zur Ermittlung der Wirkungskenngrößen. Als relevante verkehrliche Wirkungen gehen hier gewichtete Fahrzeug-Wartezeiten, Fahrzeug-Halte und maximale Rückstaulängen ein, die in Form einer Zielfunktion bewertet werden können.

Die Wirkungskenngrößen werden durch zwei Teilmodelle gebildet: Ein im Sekun-

denraster relativ fein auflösendes (mesoskopisches) Modell berechnet den deterministischen Anteil der Wirkungskenngrößen, während stochastische Schwankungen und Überlastungen mit Hilfe eines makroskopischen Warteschlangenmodells abgebildet werden.

Durch die Verwendung des Verkehrsmodells ist sichergestellt, dass tatsächlich systemweit auf verkehrliche Wirkungskenngrößen hin optimiert wird, was beispielsweise bei geometrischen Zielfunktionen wie der Grünbandbreite nicht gegeben wäre.

Statt eines makro- und mesoskopischen Verkehrsmodells könnte prinzipiell auch ein Mikrosimulationsprogramm zur Berechnung der Wirkungskenngrößen verwendet werden. Hier besteht allerdings zum einen der Nachteil, dass die erforderliche Rechenzeit um ein Vielfaches länger ist, zum anderen wäre dort eine Stochastizität der Wirkungskenngrößen gegeben, da die Fahrzeuge entsprechend einer Zufallsverteilung generiert werden. Das BALANCE-Verkehrsmodell liefert demgegenüber bei gleichen Eingabewerten immer das gleiche Ergebnis. Es ist aber möglich, die Ergebnisse mit der angeschlossenen Mikrosimulation zu bewerten und zu kontrollieren.

**5. Umsetzung**

Das Projekt RATISBONA-opt [14] wird von der GEVAS software GmbH und dem Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TU München in Zusammenarbeit mit dem Amt für Öffentliche Ordnung und Straßenverkehr der Stadt Regensburg durchgeführt. Es hat das Ziel, ein Werkzeug zu entwickeln, mit dem Verkehrsplaner mit vergleichsweise wenig Aufwand Grüne Wellen planen können, die eine sehr gute Qualität bei gleichzeitig großen Einflussmöglichkeiten auf einzelne Parameter bieten. Das entstandene Produkt baut auf dem Verkehrsingenieur-Arbeitsplatz CROSSIG auf und ist dadurch in den LSA-Planungsprozess direkt eingebunden. Die normale Knotenpunktplanung (Signalgruppen, Zwischenzeiten, Mindestgrünzeiten usw.) steht dem Algorithmus deshalb sofort zur Verfügung. Über die OCIT-Instation-Schnittstelle können aber auch Planungsdaten von anderen Verkehrsingenieurs-Arbeitsplätzen importiert werden.

Als Karteneditor und zur Verifikation der Steuerungen ist die mikroskopische Verkehrsflusssimulation NONSTOP in das Programm integriert und damit direkt an CROSSIG angebunden.

## 5.1 Voraussetzungen

Vor der Optimierung muss der Planer die Versorgung anpassen. Für RATISBONA-opt werden folgende Daten zusätzlich zur normalen Knotenpunktplanung benötigt:

- Phasenübergänge: Diese enthalten die Zwischenzeiten, nicht aber die Mindestgrünzeiten. Die Versorgung der Phasenübergänge ermöglicht es dem Planer, weit reichende Festlegungen für die Gestalt des resultierenden Signalprogramms zu treffen
- Mögliche Phasenübergangsabläufe (Phasenfolgen): Jeder Ablauf bestimmt ein vollständiges Signalprogramm; der Algorithmus wählt daraus den Besten aus
- Das Verkehrsnetz: Es kann im Karteneditor auf Grundlage bestehender GIS-Netzgraphen (z. B. von NavTech oder TeleAtlas) eingegeben werden (Bild 5). Benötigt werden die Anzahl und Ausprägung der Fahrspuren, Abbiegemöglichkeiten und die Position der Signalgruppen
- Verkehrsbelastung: Der Algorithmus optimiert auf die angegebene Verkehrsbelastung hin. Sie sollte deshalb realistisch und dem Optimierungsziel angemessen sein (also hohe Belastung für Vorzugsstrecken, Beachtung von Einbiegern usw.)
- Zielvorgaben: Der Planer kann hier Signalgruppen stärker gewichten, so dass der Algorithmus ihnen bevorzugt längere Freigabezeiten gibt. Es kann hier differenziert werden nach Wartezeiten, der Zahl der Halte und der maximalen Staulänge (zur Berücksichtigung des Stauraumes).

## 5.2 Ablauf der Optimierung

Vor der Optimierung muss der Planer eingeben, wie viele Generationen und Individuen pro Generation enthalten sein sollen. Außerdem kann er Spezialparameter für die Steuerung des Algorithmus verändern. Für jeden Knoten im betrachteten Gebiet kann eingestellt werden, welche Parameter vom Algorithmus optimiert werden dürfen: alle, nur die Versatzzeit, oder gar keine. Das ermöglicht die Einbeziehung von Randbedingungen und die Berücksichtigung von angrenzenden Koordinierungen.

Danach kann die Optimierung gestartet werden. Der Anwender erhält ständige Rückmeldung darüber, welcher Grad an Verbesserung schon erreicht wurde. Der Algorithmus benötigt dabei natürlich eine gewisse Rechenzeit (bei handelsüblichen

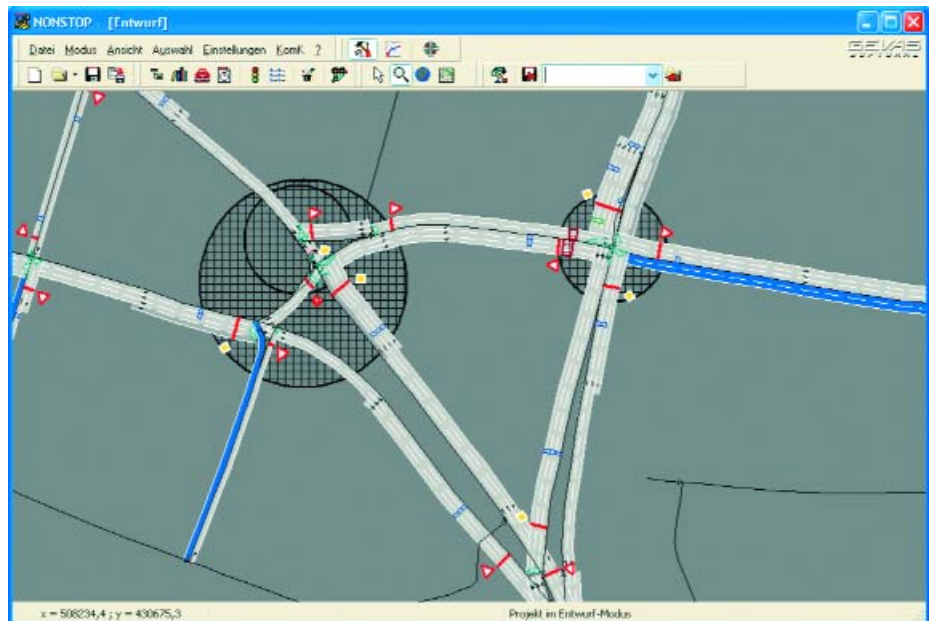


Bild 5: Karteneditor

PCs und einem mittelgroßen Untersuchungsgebiet deutlich unter einer Stunde), kann aber jederzeit angehalten werden. Dann können die bisherigen Ergebnisse untersucht und bei Bedarf geändert werden, bevor die Optimierung weitergeführt oder für beendet erklärt wird.

Schließlich erhält der Anwender die beste

gefundene Koordinierung im Zeit-Weg-Diagramm. Er kann diese im Programm manuell anpassen oder sofort als Planungsstand übernehmen. Durch die Optimierung über Phasenübergänge fällt auch die Erstellung der verkehrsabhängigen Logik auf Basis des Festzeitprogramms leicht.

 The advertisement is for a 'Fachausstellung und Tagung für Planung, Bau und Betrieb von Einrichtungen des ruhenden Verkehrs' (Specialized exhibition and conference for the planning, construction and operation of facilities for stationary traffic). It is held in Wiesbaden at the Rhein-Main-Hallen from June 15-16, 2005. The visual elements include a large 'P' parking sign and a coin slot. The text provides contact information for the organizer, Messe Frankfurt Ausstellungen, and the sponsor, Bundesverband der Park- und Garagenhäuser e.V.
 

**PARKEN**

Fachausstellung und Tagung  
für Planung, Bau und Betrieb  
von Einrichtungen des  
ruhenden Verkehrs

Wiesbaden · Rhein-Main-Hallen · 15.–16. Juni 2005

messe frankfurt  ausstellungen  BUNDESVERBAND DER PARK-  
UND GARAGENHÄUSER E.V.

**Veranstalter**  
Messe Frankfurt Ausstellungen GmbH  
Taubusstraße 7a · D-65183 Wiesbaden  
Telefon +49-(0)611-9 51 66 56  
Fax +49-(0)611-9 51 66 23  
parken@mfa.messefrankfurt.com · www.mfa.de

**Ideeller Träger**  
Bundesverband der Park- und Garagenhäuser e.V.  
Richardtstraße 10 · D-50667 Köln  
Telefon +49-(0)221-2 57 30 16  
Fax +49-(0)221-2 57 30 19  
gth@parkhausverband.de · www.parkhausverband.de

parken@mfa.messefrankfurt.com  
www.parkhausverband.de



Bild 6: Zeit-Weg-Diagramm

### 5.3 Qualitätssicherung

Zur Kontrolle und Verifizierung der Ergebnisse ist ein Simulationsprogramm direkt an den Algorithmus angeschlossen. Man kann damit das errechnete Signalprogramm (oder auch ein anderes aus dem Optimierungsverlauf) sofort mit der vorgegebenen Verkehrsbelastung simulieren und die so entstandenen Verkehrskennzahlen (Reisezeiten und Fahrtverläufe mit Signalisierung) auswerten. Durch Hinzunahme von ÖV-Linien und Haltestellen kann auch der Einfluss der Steuerung auf den öffentlichen Verkehr simuliert werden. Zusätzlich kann auch eine verkehrsabhängige Logik in der Simulation überprüft werden.

Entstandene Wellen können im klassischen Zeit-Weg-Diagramm des Verkehrsingenieur-Arbeitsplatzes betrachtet und so mit selbst geplanten Wellen verglichen werden (Bild 6).

### 5.4 Feldversuch

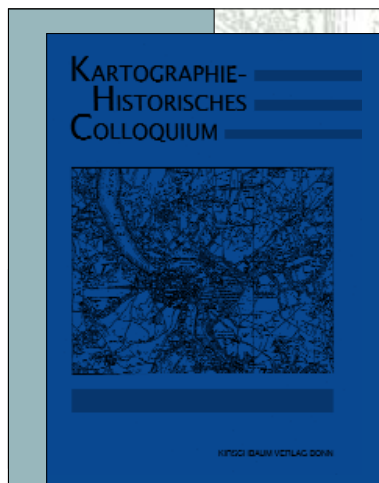
Nachdem erste Auswertungen mittels Mikrosimulation erfolgreich verliefen, ist für

Juni 2005 ein Feldversuch in einem Teilgebiet von Regensburg mit 6 Signalanlagen geplant. Ein mit Hilfe des genetischen Algorithmus optimierter Signalplan wird implementiert und mit der derzeit bestehenden Signalisierung verglichen. Dazu werden vor und nach der Implementierung an mehreren Tagen Reisezeitmessungen mittels Befahrungen (Floating Cars) und Kennzeichenerfassung durchgeführt, die Rückschlüsse auf die verkehrliche Qualität möglich machen.

#### Literaturverzeichnis

- 1 Grefenstette, J. J. (1986): Optimization of control parameters for genetic algorithms, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-16, 1, S. 122–128
- 2 Foy, M. D.; Benekohal, R. F.; Goldberg, D. E. (1992): Signal timing determination using genetic algorithms, Transportation Research Record 1365, S. 108–115
- 3 Hadi, M. A.; Wallace, C. E. (1993): Hybrid genetic algorithm to optimize signal phasing and timing, Transportation Research Record 1421, S. 104–112

- 4 Park, B.; Messer, C.; Urbanik II, T. (1999): Traffic Signal Optimization Program for Oversaturated Conditions: A Genetic Algorithm Approach, Paper presented at the 78<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board (Paper No. 991507), Washington, D.C. Jan. 1999
- 5 Ceylan, H.; Bell, M. G. H. (2004): Traffic signal optimization based on genetic algorithm approach, including drivers' routing, Transportation Research Part B 38, S. 329–342
- 6 Ceylan, H.; Bell, M. G. H. (2005): Genetic algorithm solution for the stochastic equilibrium transportation networks under congestion, Transportation Research Part B 39, S. 169–185
- 7 Abu-Lebdeh, G.; Benekohal, R. F. (1999): Computational issues in microgenetic algorithms for traffic management, Paper presented at the 78<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., Jan. 1999
- 8 McTrans (2004): Traffic Network Study Tool, TRANSYT-7F, United States Version. <http://mctrans.ce.ufl.edu/featured/TRANSYT-7F>, Gültig: 6. Dez. 2004
- 9 Pohlheim, H. (1999): Evolutionäre Algorithmen, Springer Verlag, Berlin
- 10 Sadek, A. W.; Smith, B. L.; Demetsky, M. J. (1997): Dynamic Traffic Assignment: A Genetic Algorithm Approach, Paper presented at the 76<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C. Jan. 1997
- 11 Dürr, P. (2001): Integration des ÖPNV in die dynamische Fahrwegsteuerung des Straßenverkehrs – Steuerungsverfahren DARVIN (Dissertation), Veröffentlichung des Lehrstuhls für Verkehrs- und Stadtplanung, TU München
- 12 Mertz, J. (1996): Munich Comfort, Abschlussbericht, Arbeitsbereich „Städtische Verkehrssteuerung“, 444, Fachgebiet Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, TU München
- 13 Friedrich, B. (1999): Ein verkehrsabhängiges Verfahren zur Steuerung von Lichtsignalanlagen (Dissertation), Veröffentlichung des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, TU München
- 14 Weichenmeier, F.; Braun, R. (2003): RATISBONA-opt – Automatische Offline-Optimierung der lichtsignaltechnischen Koordinierung des mIV im städtischen Netz, 1. Zwischenbericht, GEVAS software GmbH, Lehrstuhl für Verkehrstechnik TU München



Die Geschichte der Kartographie beschäftigt nicht nur die akademische Forschung, sondern erfreut sich auch unter »Laien« eines immer breiteren Interesses. Der Tagungsband zum 9. Kartographie-Historischen Colloquium behandelt in 26 Aufsätzen ein breites Spektrum dieses Forschungsfelds. Themen sind u. a.:

- Paradigmenwechsel in der Kartographie
- historische Behördenkarten
- Eisenbahnkarten
- Regionalkarten von Preußen
- Reichskammergericht und Kartographie
- Kartensammler

9. KARTOGRAPHIE-HISTORISCHES COLLOQUIUM ROSTOCK 1998

Wolfgang Scharfe (Hrsg.)  
DIN A 4, 190 S.,  
67 einfarbige und  
19 mehrfarbige  
Abbildungen  
Preis € 45,-  
ISBN 3 7812 1555 5