



travolution

Optimierung der Lichtsignalsteuerung mit Genetischen Algorithmen

Kommunikation zwischen Fahrer und Ampel

Projekt-Information



Projektpartner



Amt für Verkehrsmanagement
und Geoinformation der Stadt
Ingolstadt



Audi



Technische Universität
München, Lehrstuhl für
Verkehrstechnik

GEVAS
SOFTWARE



Gefördert vom Bayerischen
Staatsministerium für
Wirtschaft, Infrastruktur,
Verkehr und Technologie

TRAFFIC & eVOLUTION – Infrastruktur besser nutzen!

TRAVOLUTION ist eine Wortschöpfung und setzt sich aus TRAFFIC und eVOLUTION zusammen. Der Projektname verdeutlicht, dass mit Hilfe **Evolutionärer Optimierungstechniken der Mathematik** die Verkehrssteuerung in der Stadt wesentlich besser ablaufen kann als bisher.

Im Hauptstraßennetz von Ingolstadt zeigten die vier Projektpartner, wie durch die Anwendung modernster Techniken die **bestmögliche Grüne Welle** für das gesamte Straßennetz geschaltet werden kann. Dadurch werden die Wartezeiten und die Anzahl der Halte im Netz drastisch reduziert. Die Autofahrer müssen spürbar seltener an roten Ampeln halten, und auch die öffentlichen Verkehrsmittel profitieren von dem neuen System. Da jedes Abbremsen und jeder Anfahrvorgang unnötig Benzin verschwenden, führt der bessere Verkehrsfluss im TRAVOLUTION-Netz zu einem niedrigeren Gesamtverbrauch an Treibstoff. Negative Folgen des städtischen Verkehrs, Luftverschmutzung und Feinstaub nehmen statistisch nachweisbar ab.

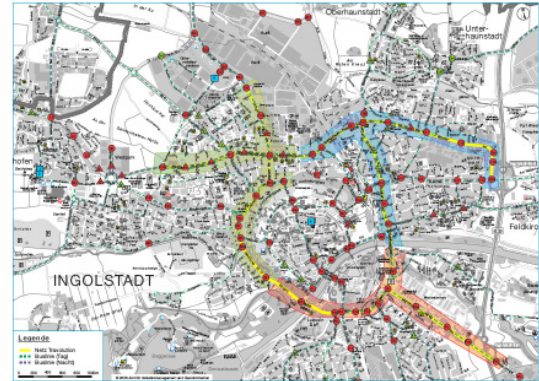


Abbildung 1: Das Hauptstraßennetz in Ingolstadt mit BALANCE ausgestattet

TRAVOLUTION verfolgt zwei Ansätze:

Der erste Ansatz optimiert die Lichtsignalsteuerung im Hauptstraßennetz Ingolstadts für alle Individualverkehre gleichzeitig. Die „verkehrsadaptive Netzsteuerung“ sucht also die bestmöglichen Ampelschaltungen für das gesamte Verkehrsnetz und für alle Verkehrsteilnehmer. Um diese komplexe Aufgabe zu lösen, wurden für TRAVOLUTION **Genetische Algorithmen** entwickelt. Durch die mathematische Nachahmung des natürlichen Evolutionsprozesses kann die Optimierung innerhalb eines relativen kurzen Zeitraums bewerkstelligt werden. Die Genetischen Algorithmen kommen zum ersten Mal in Deutschland erfolgreich im Online-Betrieb zur Anwendung. Das bedeutet, dass sich die Optimierung laufend an die aktuelle Verkehrssituation anpasst und alle 5 Minuten eine optimale Steuerung entsteht. Die **Grünen Netzwellen** reagieren sehr viel besser auf den prognostizierten Verkehr als bisher übliche Steuerungsverfahren.

Der zweite in TRAVOLUTION verfolgte Ansatz kommt vom Projektpartner AUDI und trägt den Namen **Der informierte Fahrer**. Als Premiumhersteller bietet AUDI zukunftsweisende, hochwertige Fahrerassistenzsysteme an. Dazu gehört natürlich auch, dass die Fahrzeuge mit der Umgebungs-Infrastruktur kommunizieren, um dem Fahrer wichtige Informationen rechtzeitig zur Verfügung stellen zu können. Das Ergebnis ist C2I-Kommunikation, also zwischen Auto (**Car**) und **Infrastruktur**.



Abbildung 2: Das Cockpit eines AUDI-Testfahrzeugs

In TRAVOLUTION wurde **erstmalig in Deutschland** die **C2I-Kommunikation** im Feld getestet. Ein Ampelphasenassistent optimiert das Verhalten der einzelnen Fahrer an signalisierten Kreuzungen.

Diese Optimierung sieht beim Annähern an die Kreuzung eine Geschwindigkeit vor, die **keinen Halt** erfordert. Damit wird der Fall vermieden, dass ein Fahrzeug mit hoher Geschwindigkeit an die Kreuzung heranfährt, abbremst, wenige Sekunden steht und danach wieder anfährt, während eine leicht verringerte Geschwindigkeit den Stopp vermieden hätte.

Die vorausschauende Fahrweise reduziert den Kraftstoffverbrauch, die Luftschadstoffe und den Verkehrslärm.

Was ist verkehrsadaptive Netzsteuerung?

TRAVOLUTION arbeitet mit der verkehrsadaptiven Netzsteuerung **BALANCE**. Eine Netzsteuerung berechnet eine optimale Steuerungsstrategie für ein Verkehrsnetz. Sie schaltet dynamische Grüne Wellen, die Verkehrsflüsse aller Richtungen und Veränderungen in der Verkehrsnachfrage berücksichtigen. Diese effektive Lichtsignalsteuerung ermöglicht eine **optimale Auslastung eines gesamten Straßennetzes**, auch bei hohen und konkurrierenden Anforderungen.

Wird das vorhandene Verkehrspotenzial so gut genutzt, verringern sich die negativen Aspekte von Stop-and-Go: weniger Wartezeiten an roten Ampeln, zügiges Vorankommen, geringerer Spritverbrauch. Deshalb ist verkehrsadaptive Netzsteuerung das **wirksamste und effizienteste Mittel**, den dichten innerstädtischen Verkehr umweltfreundlich zu gestalten, ohne die Infrastruktur teuer auszubauen.

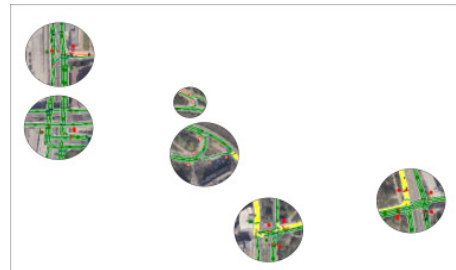
Verkehrsadaptive Netzsteuerung betrachtet das gesamte Verkehrsnetz



Vorteile:

- Dynamische Grüne Wellen ohne großen Planungsaufwand
- Lokale Steuerungen bleiben erhalten
- Flexible Reaktionen auf wechselnde Verkehrsmengen
- Umfassende Sicht auf die Verkehrslage

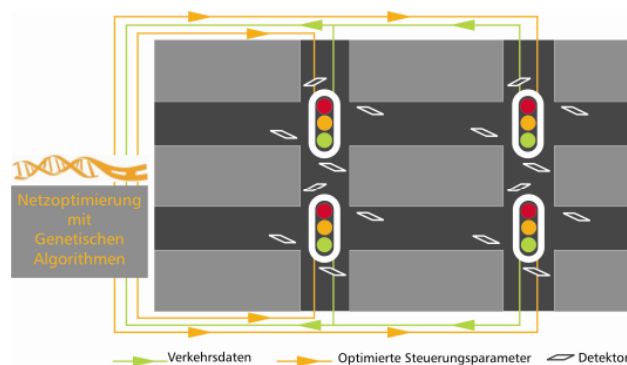
Zum Vergleich: Normale LSA-Steuerung



Nachteile:

- Jeder Knoten steht für sich allein
- Schaltung der Ampeln wird nur für bestimmte Straßen koordiniert
- Kaum Möglichkeiten zur vorausschauenden Reaktion auf wechselnde Verkehrsverhältnisse

Online-Optimierung

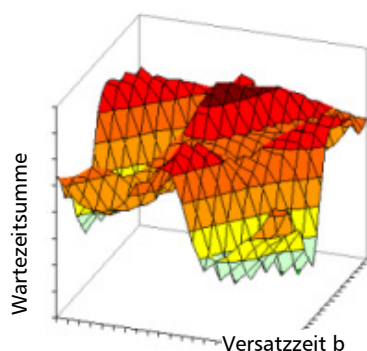


Die Ampeln sind miteinander vernetzt, und ein **zentraler Verkehrsrechner** wertet die mit den Detektoren gewonnenen Verkehrsdaten aus. Anschließend wird die erwartete netzweite Verkehrslage berechnet.

Als Ergebnis sendet der Verkehrsrechner die mit BALANCE optimierten Steuerungsparameter an die einzelnen Ampeln im Netz, die sich so auf die **aktuelle Verkehrssituation** einstellen.

Was sind Genetische Algorithmen?

Genetische Algorithmen (GA) sind Teil der sogenannten Evolutionären Verfahren in der Mathematik, mit denen man seit einiger Zeit sehr erfolgreich all den Optimierungsproblemen zu Leibe rückt, die mit herkömmlichen Verfahren nicht zu lösen sind. Und um ein solches eigentlich unlösbares Problem handelt es sich beim Verkehr in der Stadt. Mathematiker sprechen von einem sehr großen Lösungsraum, wenn man mehrere hundert Parameter gleichzeitig so bestimmen will, dass ein (gewichtetes) Systemoptimum entsteht.



Die Genetischen Algorithmen in TRAVOLUTION bewältigen diesen **sehr großen Lösungsraum**. Die koordinierte und optimal an den erwarteten motorisierten Individual-Verkehr angepasste Lichtsignalsteuerung wird als „Lebewesen“ verstanden. Lebewesen haben Eigenschaften, die – und das ist der Trick der Natur – in Form von Genen weitervererbt werden, wenn sich die Lebewesen fortpflanzen.

Abbildung 3:

Der Lösungsraum für eine Strecke mit drei Knoten besteht aus den Versatzzeiten und der Summe der Wartezeiten. Er zeigt zahlreiche lokale Optima und ist analytisch nicht lösbar.

Begriffe der Genetik wie Mutation, Kombination, Selektion, Rekombination können auch in die Verkehrstechnik übernommen werden. Die innerhalb vieler Generationen entstehenden Lebewesen erweisen sich als fit oder nicht fit.

Fit sein heißt in der Straßenverkehrstechnik: In der Simulation wird für eine Netzsteuerung anhand der zu erwartenden Verkehrsmengen berechnet, wie groß die Summe der Wartezeiten, der Anzahl der Halte und der Reisezeiten sein wird. Mit anderen Worten: Wie gut agiert die Netzsteuerung auf den zukünftigen Verkehr? Die „fitten“ Steuerungsvarianten dürfen sich weitervermehren, bis sich schließlich die beste Steuerung gebildet hat. Für die weniger guten Varianten endet ihr „Leben“ hier.

In TRAVOLUTION wurden diese Genetischen Algorithmen von GEVAS software und dem Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TU München entwickelt und **zum ersten Mal im Großversuch** im Hauptstraßennetz Ingolstadts angewendet. Ingolstadt hat 130.000 Einwohner und ist Sitz der AUDI-Werke mit über 30.000 Arbeitsplätzen. Das Einsatzgebiet umfasst 46 Lichtsignalanlagen und damit den wesentlichen Teil des städtischen Straßennetzes, mit Anbindung der Autobahn A9 an zwei Anschlussstellen.

Die in Ingolstadt schon seit vielen Jahren sehr erfolgreich praktizierte **Beschleunigung der Busse** an fast allen Lichtsignalanlagen wird vom Einsatz der Verkehrsadaptiven Netzsteuerung mit Genetischen Algorithmen nicht negativ beeinflusst. Ganz im Gegenteil: Weil die ÖPNV-Bevorzugung an den Lichtsignalanlagen dezentral sekundlich abgewickelt wird (Busse melden sich über Funk direkt an den LSA an), gibt es keinen Konflikt zur im Minutenbereich tätigen Netzsteuerung. Die manchmal negativen Auswirkungen der ÖPNV-Priorisierung auf den Individualverkehr – Autofahrer, Radfahrer und Fußgänger müssen lange an roten Ampeln warten, bis ein Bus oder eine Straßenbahn die Kreuzung passiert hat - werden von der Netzsteuerung bemerkt und zeitlich wie räumlich verringert.

Die **Resultate** bestätigen die Leistungsfähigkeit der neuen Optimierungsmethode: Über den Tag verteilt wurden die Wartezeiten um 21% vermindert, die Anzahl der Halte ging um 17% zurück. In der Rush-Hour am Abend konnten Wartezeiten und Halte jeweils um 32% gesenkt werden.

Insgesamt ergeben sich so in Ingolstadt **Wartezeiteinsparungen** von über 800 Stunden pro Arbeitstag. Hochgerechnet auf ein Jahr entspricht das **volkswirtschaftlichen Einsparungen** von rund 950.000 Euro. Der Treibstoffverbrauch vermindert sich um ca. 700.000 Liter, das entspricht etwa 1600 Tonnen CO₂ im Jahr.

Ergebnisse

Die Effekte von TRAVOLUTION wurden in drei Messreihen mit Floating Cars und automatischer Kennzeichenerfassung untersucht.

Der **Ausgangspunkt** für die Messungen war die vorher bestehende verkehrsabhängige Steuerung mit Grünen Wellen. In einem **zweiten Schritt** wurden die Werte für BALANCE ohne Genetische Algorithmen ermittelt. Diese Version der verkehrsadaptiven Netzsteuerung verwendet einen Hill-Climbing-Algorithmus, also ein heuristisches Suchverfahren, das den sehr großen Lösungsraum nicht vollständig abdeckt. Dies ist aber im **dritten Schritt** möglich: der verkehrsadaptiven Netzsteuerung BALANCE mit Genetischen Algorithmen, die für TRAVOLUTION entwickelt wurde.

Für die Messreihen gab es also drei Szenarien:

- Szenario 1: Vergleich zwischen bisheriger verkehrsabhängiger Steuerung in Grünen Wellen und BALANCE mit Hill-Climbing-Algorithmus (BALANCE-HC)
- Szenario 2: Vergleich zwischen der Verkehrsadaptiven Netzsteuerung BALANCE mit Hill-Climbing-Algorithmus und BALANCE mit Genetischen Algorithmen (BALANCE-GA)
- Szenario 3: Vergleich zwischen der Ausgangslage (verkehrsabhängige Steuerung) und der Verkehrsadaptiven Netzsteuerung BALANCE mit Genetischen Algorithmen

Die Tabelle zeigt die **Reduzierung der Verlustzeiten** an Lichtsignalanlagen in den drei Szenarien:

Zeitraum	Szenario 1: Vergleich Basis-Steuerung mit BALANCE-HC	Szenario 2: Vergleich BALANCE-HC mit BALANCE-GA	Szenario 3: Vergleich Basis-Steuerung mit BALANCE-GA
6:30 – 9:00	-12%	-8%	-19%
9:00 – 15:00	-5%	-4%	-9%
15:00 – 19:00	-21%	-15%	-32%
Tagesdurchschnitt: 6:30 – 19:00	-12%	-10%	-21%

In der letzten Spalte ist der Vergleich zwischen der Ausgangssituation (gepflegte, verkehrsabhängige Grüne Wellen) und der Verkehrsadaptiven Netzsteuerung BALANCE mit Genetischen Algorithmen dargestellt. Über den Tag werden die Wartezeiten an den Lichtsignalanlagen um 21% reduziert!

Gegenüber dem bisherigen BALANCE mit Hill-Climbing-Optimierung haben sich die Wartezeiten nochmals um 10% verringert. BALANCE-HC ist dabei schon um 12% besser als die Basis-Steuerung.

Die Verlustzeiten an den Lichtsignalanlagen konnten in der Hauptverkehrszeit zwischen 15.00 Uhr und 19.00 Uhr sogar um 32% reduziert werden.

Die **Anzahl der Halte** hat sich über den Tag um 17% verringert.

Aus diesen Zahlen lassen sich unmittelbar Verbesserungen der Umweltsituation errechnen: Der gesamte Kraftstoffverbrauch im Netz wird um 19% reduziert. Dies bedeutet umgerechnet eine Ersparnis von rund 700.000 Litern Kraftstoff im Jahr oder 1.600 Tonnen CO₂-Verminderung.

Der Nutzen von TRAVOLUTION wird also in drei Problemfeldern städtischen Verkehrs deutlich:

1. Verkehrsadaptive Netzsteuerung spart Zeit

TRAVOLUTION reduziert die Verlustzeiten im Ingolstädter Hauptstraßennetz. Autofahrer, aber auch Busse verlieren weniger Zeit an roten Ampeln und kommen insgesamt zügiger voran.

2. Je besser die Grüne Welle, desto weniger Benzinverbrauch

Jeder Stopp an einer Ampel, jedes Anfahren und jedes Abbremsen kosten Benzin. TRAVOLUTION optimiert ein ganzes Hauptstraßennetz so, dass zu jeder Tageszeit die jeweils bestmögliche Grüne Welle geschaltet werden kann – der gesamte Kraftstoffverbrauch in Ingolstadt verringert sich erheblich. Das bedeutet, dass damit die CO₂-Belastung der Luft und der Feinstaub erheblich reduziert werden konnten.

3. Hohe volkswirtschaftliche Einsparungen

Wenn die Einsparungen durch TRAVOLUTION in einem ganzen Jahr betrachtet werden, zeigt sich das wirtschaftliche Potential der verkehrsadaptiven Netzsteuerung. Das betrifft nicht nur den geringeren Gesamtverbrauch an Benzin – auch die Zeitersparnis aller Verkehrsteilnehmer kann volkswirtschaftlich umgerechnet werden, schließlich summieren sich alle sinnlos im Stau verbrachte Minuten zu einer Zeitspanne, die erheblich produktiver genutzt werden könnte. Der gesamte volkswirtschaftliche Nutzen der Netzsteuerung übersteigt schon nach einem Jahr bei weitem die Investitionskosten. Es ist viel günstiger, die bestehende Infrastruktur besser zu nutzen, als die Straßen weiter auszubauen.

Entwicklungsstadium / Einsatz

TRAVOLUTION optimiert den Straßenverkehr in Ingolstadt mit der **verkehrsadaptiven Netzsteuerung BALANCE**. Als Produkt wird BALANCE seit 1997 in zahlreichen deutschen Städten angewandt. Die Erweiterung durch **Genetische Algorithmen** wurde speziell für TRAVOLUTION entwickelt und ist ein voll einsatzbereites Produkt. BALANCE war von Beginn an als offenes System konzipiert und ist nicht an Verkehrsanlagen oder Detektoren bestimmter Hersteller gebunden. Dies gilt auch für die verbesserte Version mit Genetischen Algorithmen, die in Ingolstadt zu sehr positiven Ergebnissen geführt hat.

BALANCE mit Genetischen Algorithmen kann wie in TRAVOLUTION in vergleichbaren städtischen Straßennetzen **jederzeit problemlos eingesetzt werden**.

Auszeichnungen

Deutschland Land der Ideen



Ausgewählter Ort 2009



Die Ergebnisse von TRAVOLUTION haben in Deutschland und auch international viel Aufmerksamkeit bekommen – so erhielt TRAVOLUTION eine Auszeichnung als **Ort im Land der Ideen**. Die Initiative „Deutschland – Land der Ideen“ unter der Schirmherrschaft des Bundespräsidenten prämiert pro Jahr 365 besonders innovative Ideen; TRAVOLUTION wurde 2009 im Themenbereich „Umwelt und Energie“ ausgewählt.

Auf der **Intertraffic Amsterdam 2010**, der weltweit wichtigsten Messe für Verkehr, wurde TRAVOLUTION mit einem **Innovation Award** in der Kategorie „Cooperative Systems“ ausgezeichnet.



www.travolution-ingolstadt.de