# Wenn der Verkehr die Ampeln steuert

**Man stelle sich vor, dass die Ampeln von den Autos gesteuert würden, statt umgekehrt. Dieses revolutionäre Konzept kann sowohl die Fahrzeiten als auch die Fahrzeugemissionen massiv verringern. Es mag wie Fantasie klingen, aber eine solche grüne und benutzerorientierte Verkehrsleitstrategie wird in vielen Städten überall auf der Welt bald Realität sein und könnte auch in der Schweiz kostengünstig implementiert werden. Variabilität mit erhöhter Flexibilität bewältigen: Dieser neuartige Komplexitätsmanagement-Ansatz wird in Zukunft ein zentrales Erfolgsprinzip von smarten Städten und Versorgungsketten darstellen.**

Dominik Pöpping/pixelio.de

Ampeln, die sich selbst steuern, reagieren flexibel auf die effektive Verkehrssituation und passen sich an diese an.

Staus und verstopfte Strassen sind nicht nur problematisch, weil sie jeden Tag Millionen von Menschen ärgern. Allein in den USA kosten Verspätungen, die durch Verkehrsstaus verursacht werden, fast 100 Mrd. Dollar pro Jahr – dabei werden 10 Mrd. Liter Treibstoff und unzählige Stunden an Wartezeit vergeudet. In ganz Europa blockieren Verkehrsstaus jeden Tag 7500 km Hauptstrassen und Autobahnen. Dazu kommen grosse Mengen $CO_2$, die zusammen mit anderen Schadstoffen in die Atmosphäre gepumpt werden.

Verkehr hält sich nicht an genaue Muster. Tatsächlich weist der Verkehrsfluss grosse natürliche Schwankungen auf. So variiert die Zahl der Fahrzeuge, die während eines bestimmten Zyklus' an einer Kreuzung ankommen, beträchtlich. Diese Fluktuationen sind eine

Herausforderung im Verkehrsmanagement. Auch Verkehrsunfälle oder das Wetter können den Verkehrsfluss beeinträchtigen.

### Selbstorganisation als Zukunftskonzept

Die meisten Theorien im Verkehrsmanagement gehen davon aus, dass Ampeln auf regelmässige und vorausschaubare Weise zyklisch funktionieren müssen, damit sie synchron sind. Nun zeigt es sich allerdings, dass dieser Ansatz unnötig restriktiv ist, dass weniger geordnete Muster effizienter sein können und dabei sowohl die Fahrzeit als auch die Anzahl der Staus verringern.

Die wichtigste Rolle dabei spielen einfache Funktionsregeln für alle Ampelanlagen. Die Ampeln können selbständig auf wechselnde Verkehrsbedingungen reagieren und ihre Grün-Rot-Phasen selbst organisieren. Das ist jetzt schon möglich, wenn ein Lichtsignal seine Daten mit benachbarten Ampeln teilt und einer einfachen Strategie folgt. Erstens: Jede Ampel nimmt die lokalen Verkehrsbedingungen wahr und kalkuliert, wie lange die Grünphase dauern soll, bis die Strasse wieder frei ist. Zweitens: Die Anlagen kommunizieren miteinander, um zu vermeiden, dass die Grünphasen zu lange dauern und Staus an anderen Stellen verursachen. Simulationen haben gezeigt, dass dadurch die durchschnittlichen Wartezeiten um 10 bis 30 % verringert werden können.

Dies wird erreicht, obwohl die Phasen der Ampeln nicht nach einem gleichmässigen Muster wechseln. Lichtsignale, die sich selbst steuern, folgen keinem festen Fahrplan. Stattdessen reagieren sie sofort auf die effektive Verkehrssituation. Wenn sich diese Situation ändert, weil der ankommende oder abfliessende Verkehr in unerwarteter Weise variiert, beispielsweise aufgrund eines Unfalls oder einer Baustelle, passen sich die Grün- und Rotphasen entsprechend an. Wenn keine Fahrzeuge ankommen, schalten die Ampeln auf Rot, damit sie bereit sind, sofort grünes Licht zu geben, wenn ein Auto oder ein Fussgänger eintrifft.

### Grünes Licht für den grössten Verkehrsdruck

Basierend auf Messungen des Verkehrs, der in gewisse Strassensegmente fliesst, antizipiert das System an jeder Kreuzung die Fahrzeugströme, die kurze Zeit später an der Ampel eintreffen werden. Mithilfe dieser antizipierten Ströme können die Wartezeiten an den Ampeln für alle Verkehrsströme festgelegt werden. Dann wird der «Verkehrsdruck» definiert, und zwar durch den zeitlichen Anstieg von verkehrsstrom-spezifischen kumulativen Verzögerungen. An der Kreuzung erhält dann jener Verkehrsstrom grünes Licht, der den grössten Verkehrsdruck ausübt. Gemäss diesem Prinzip kontrollieren die Verkehrsströme die Ampeln – und nicht umgekehrt.

Um Unausgewogenheit zu verhindern, werden wachsende Kolonnen wenn immer nötig stabilisiert. Das daraus resultierende Steuerungsprinzip ist selbstorganisiert und dezentralisiert. Es reagiert flexibel auf die effektive lokale, anstatt auf eine durchschnittliche Situation, und die kurzfristige Antizipation von Fahrzeugströmen ermöglicht die Koordination von benachbarten Ampeln und Verkehrsströmen. Das Prinzip reduziert nicht nur die durchschnittlichen Wartezeiten, sondern verbessert auch die Prognostizierbarkeit der Fahrzeiten. Dies resultiert aus der Anwendung von zwei Strategien – eine für die Stabilisierung, die andere für die Optimierung. Zusammen entsteht eine Sequenz von Ampelphasen, die sich flexibel den effektiv bestehenden Verkehrsbedingungen anpasst und dabei Überlaufeffekte vermeidet.

Die Formel, mit der die Priorität der einzelnen Verkehrsströme kalkuliert wird, berücksichtigt sowohl die Kolonnenlänge als auch die Ankunftszeit der Fahrzeuge. Gleichzeitig führt die dezentralisierte Überwachung von Unausgewogenheiten, die durch die lokale Fahrzeitminimierung verursacht werden könnten, zur Stabilisierung von Kolonnen und Rotphasen. Das vorgeschlagene Überwachungskonzept stellt sicher, dass es für alle Verkehrsflüsse im Netzwerk regelmässig Grün wird – und zwar lange genug. Es ermöglicht zudem flexible Reaktionen auf lokale Nachfragefluktuationen und begünstigt die selbstorganisierte Koordination von Verkehrsflüssen.

### Pilotstudie in Dresden

Die Leistung des Steuersystems konnte durch eine detaillierte Pilotstudie aufgezeigt werden, die auf einem Strassennetzwerk aus 13 ampelgesteuerten Kreuzungen im Stadtzentrum von Dresden in Deutschland durchgeführt wurde. Obwohl dort ein modernes adaptives Verkehrsleitsystem, das grüne Wellen fördert, zum Einsatz kommt, gibt es unbefriedigende Verzögerungen und Koordinationsprobleme. Zwei parallele Hauptstrassen führen je auf einer Seite am Bahnhof Dresden Mitte vorbei. Nicht weniger als sieben Bus- und Tramlinien durchqueren das Netzwerk alle 10 min in gegensätzlichen Richtungen. Ausserdem gibt es in diesem Bereich 68 Fussgängerstreifen. Die lokalen Verkehrsbehörden sind sich einig, dass der Verkehr in diesem Teil Dresdens aufgrund der unregelmässigen Netzwerk-Topologie und der hohen Verkehrsbelastung am schwierigsten zu steuern ist.

Simulationen adäquater Verkehrsbedingungen zeigten, dass die anpassungsfähige Verkehrsleittechnik die Wartezeiten für Trams und Busse im Vergleich zum herkömmlichen System hier um mehr als 50 % verringert. Auch Autos und Lastwagen kommen im Netzwerk schneller voran, und Fussgänger warten 36 % weniger lang auf das nächste grüne Licht. Derart signifikante Reduktionen der Wartezeiten für alle Verkehrsteilnehmer wurden für eine grosse Vielzahl verschiedenster Verkehrsbedürfnisse gefunden. In der Schweiz hat sich die Stadt Zürich das System präsentieren lassen. Ob es auch hier umsetzbar wäre, prüft die zuständige Dienstabteilung Verkehr (DAV).

**DIRK HELBING, STEFAN LÄMMER**

## INFORMATION

**Prof. Dr. Dirk Helbing,** Professor für Soziologie, ETH Zürich
dhelbing@ethz.ch
**Dr. Stefan Lämmer,** Institut für Wirtschaft und Verkehr, TU Dresden
traffic@stefanlaemmer.de