Kapitel 4

Forschungsschwerpunkt Verkehr

In der Dokumentation der Leitprojekte zu seinem Ideenwettbewerb „Mobilität in Ballungsräumen“ schrieb der Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie 1998:

Für die Zukunft ist zu erwarten, daß trotz – oder vielleicht auch gerade wegen – der Einführung moderner Kommunikationsmittel der Trend zu mehr Mobilität ungebrochen bleibt. In den letzten Jahren ist jedenfalls das Verkehrsaufkommen spürbar angewachsen.

Diese Entwicklung stößt an die Grenzen bestehender Infrastrukturen. Verkehr, der nicht mehr flüssig abgewickelt werden kann, beginnt sich selbst zu behindern, schränkt Mobilität ein und beeinträchtigt Lebensqualität.

Zentrales Ziel muß es deshalb sein, Mobilität dauerhaft zu erhalten und unerwünschte Verkehrsfolgen spürbar zu verringern. [. . .] Mehr denn je sind auch im Verkehr intelligente Lösungen bei der Weiterentwicklung von Fahrzeugen, Diensten und Infrastrukturen gefragt.

Zur Verfolgung dieser Ziele ist in den letzten Jahren die simulatorische Abbildung des Verkehrsgeschehens zu einem wirkungsvollen Werkzeug für die Beurteilung von Verkehrszuständen und die vorausschauende Bewertung von Steuerungsmaßnahmen entwickelt worden. Die Verkehrssteuerung steht dabei vor verschiedenen, z.T. auch widersprüchlichen Aufgaben wie der ausgewogenen Verteilung der Verkehrsströme im vorhandenen Straßennetz, der Entwicklung neuer Lenkungsmechanismen in besonders stark belasteten Streckenabschnitten oder der Steuerung des Verkehrsaufkommens durch Informationstransparenz zur aktuellen Verkehrslage.

Wie jeder Autofahrer alltäglich erfahren muß, ist der Verkehr ein hochgradig dynamisches System. Das über Tag, Woche und Jahr veränderliche Verkehrsaufkommen sowie Sonderveranstaltungen, Tagesbaustellen, Umleitungsverkehre, etc. führen zu zeitlich stark schwankenden Verkehrsbelastungen auf unseren Straßen. Diese Dynamik kann durch die in der Verkehrsplanung etablierten, zeitlich gering aufgelösten, bzw. statischen Modelle nicht ausreichend abgebildet werden.

Allein den jeweils aktuellen Verkehrszustand wiederzugeben, ist auf Grund der nur punktuellen Datenaufnahme mit Zählschleifen oder Infrarotdetektoren im allgemeinen nicht durchführbar. Daraus ergibt sich auch die mangelnde Wirksamkeit herkömmlicher Steuerungsstrategien, die lediglich reaktiv auf das Verkehrsgeschehen einwirken, wenn Stauungslagen bereits aufgetreten sind. Um die Belastungen von Mensch und Umwelt durch die vor allem in Staulagen unnötig erhöhten Schadstoffwerte zu reduzieren, ist eine vorausschauende strategische Planung des Nah- und Fernverkehrs auf unseren Straßen notwendig.

Diese Problemstellungen erzwingen daher notwendigerweise dynamische simulatorische Lösungsansätze.

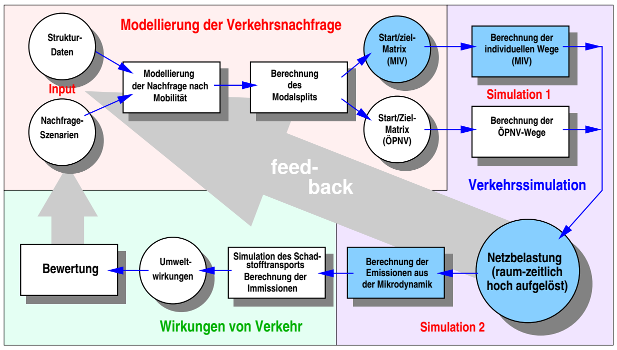

Abbildung 4.1: *Modellkette des Forschungsverbundes Verkehrssimulation und Umweltwirkungen (dunkel eingefärbt sind die Arbeitsbereiche unserer Forschungsgruppe)*

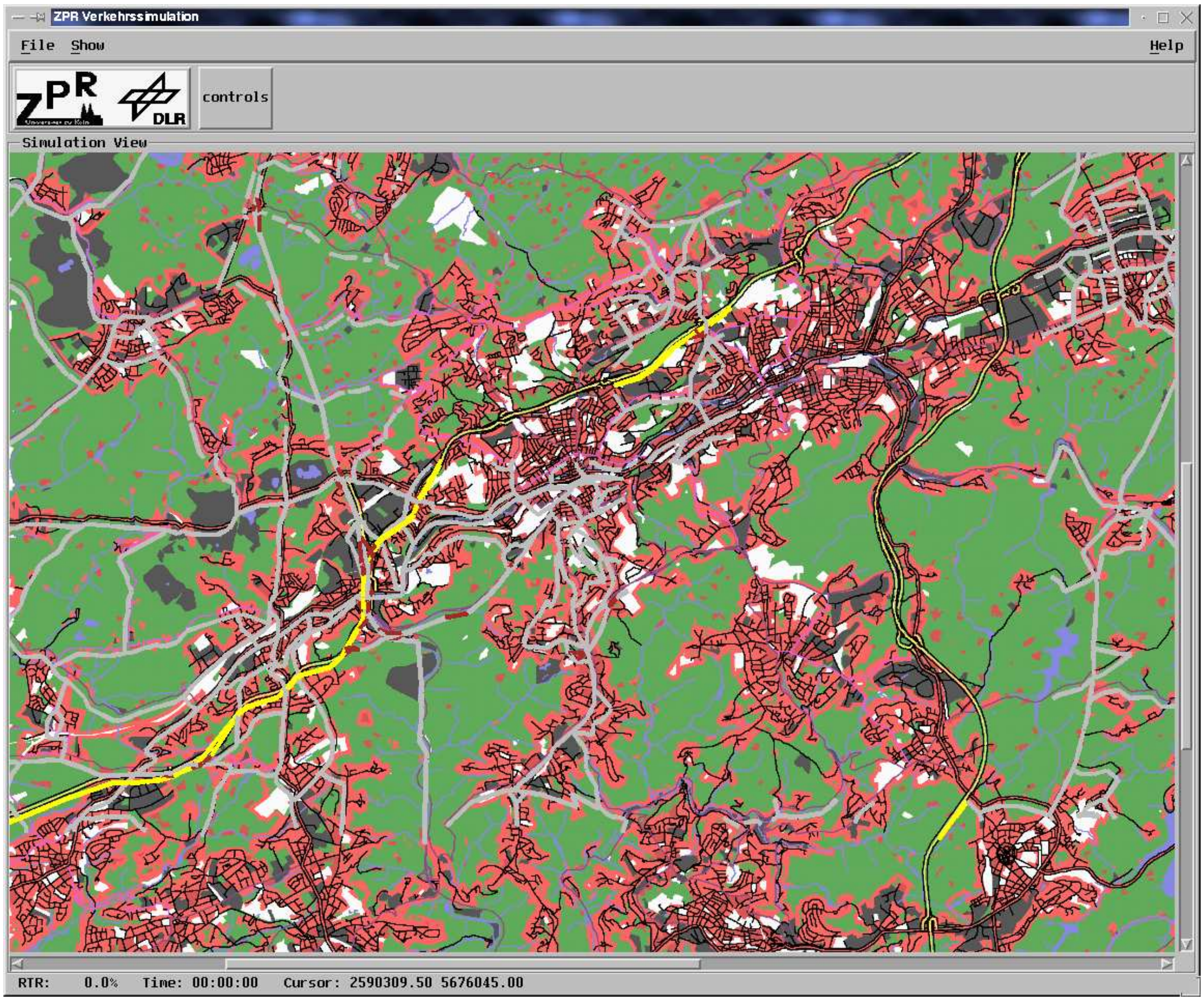

Abbildung 4.2: Wuppertal–Simulationnetz für PLANSIM-T

4.1 Projektgeschichte

Die Beschäftigung mit mikroskopischer Verkehrssimulation hat in unserer Arbeitsgruppe seit Anfang der neunziger Jahre Tradition. Ausgehend von der Analyse dynamischer Verkehrsflußmodelle hat sich inzwischen ein weitreichender Arbeitsschwerpunkt gebildet, beginnend mit der Modellierung mobilitätserzeugender Verhaltensmuster und der Beschreibung der resultierenden Verkehrsnachfrage, über die dynamische Routenumlegung bis zur eigentlichen Simulation der Bewegung der einzelnen Fahrzeuge und der Berechnung der sich ergebenden Schadstoffemissionen.

Seit Mitte 1996 ist ein Teil unserer Verkehrssimulationsarbeitsgruppe beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) angesiedelt, wo zur Zeit ein neues Institut mit dem Schwerpunkt Verkehrsforschung/-technik entsteht.

Wesentliche Fortschritte in unserer Arbeit und die Erschließung neuer Themenfelder ergaben sich durch unsere Teilnahme an dem durch das nordrheinwestfälische Forschungsministerium geförderten Forschungsverbund „Verkehrssimulation und Umweltwirkungen“ (FVU) in den Jahren 1995–98. Ziel des FVU, an dem elf Universitätsinstitute und das DLR beteiligt waren, war eine integrale Untersuchung der verkehrlichen Zusammenhänge sowie die Entwicklung einer Modellkette beginnend bei den politischen und wirtschaftlichen Steuerungsmaßnahmen bis hin zu den Auswirkungen der Verkehrsbelastungen auf Mensch und Umwelt. Exemplarisch umgesetzt wurde diese Kette von Einzelsimulationen am Autobahnnetz des Städtedreiecks Köln–Düsseldorf–Aachen sowie am Hauptstraßennetz der Stadt Wuppertal.

4.2 Wissenschaftliche Fortschritte

Im Umfeld unserer anwendungsorientierten Forschung im Bereich der Verkehrssimulation sind im Berichtszeitraum zahlreiche Veröffentlichungen, darunter drei Dissertationen und zwei Diplomarbeiten entstanden. Schwerpunktmäßig erstreckten sich die Untersuchungen dabei auf die folgenden Bereiche:

Parallele Verkehrssimulation in Shared-Memory-Architekturen

In einer wissenschaftlichen Zusammenarbeit mit dem Los Alamos National Laboratory wurde im Rahmen eines Promotionsprojektes auf der Basis einer Mehrspurvariante des klassischen Zellularautomatenmodells (CA-Modell) nach Nagel und Schreckenberg der Simulator PAMINA entwickelt.

Das softwaretechnische Hauptziel dieser Arbeit lag dabei in einer Parallelisierung des Simulationstools für Shared-Memory-Systeme. Durch Betrachtung von einfachen Parametern des Straßennetzwerkes, z.B. Anzahl der Kreuzungen und Straßenabschnitte, und der Hardware, z.B. Kommunikationsbandbreite und -latenz, gelang es, eine obere Schranke für die parallele Effizienz der Simulation herzuleiten. Es zeigte sich, daß bei Bus-Kommunikationsnetzen, die in vielen Shared-Memory-Systemen eingesetzt werden, hohe Effizienzen nur für kleine und mittlere Rechnergrößen bis 64 CPUs erreichbar sind. Eine weitere Verbesserung kann nur auf Rechnern mit einem zweidimensionalen Kommunikationsnetzwerk erreicht werden.

Mit Hilfe der enwickelten Toolbox ist ein dynamisches Load-Balancing nach dem Prinzip der Domain-Decomposition-Methode mit PVM als Message-Passing Bibliothek möglich. Dieser Ansatz erlaubt sowohl die Verwendung eines Shared-Memory-Rechners, wie z.B. der SGI Power Challenger mit 16 CPU's, als auch eines Workstation-Clusters von 12 SUN Sparc 5, der ungefähr die gleiche Rechenleistung liefert. Darüber hinaus erlaubt die Toolbox das Einfügen und Entfernen von Rechnern während der Laufzeit der Simulation.

PAMINA wurde erfolgreich eingesetzt zur Simulation des Straßennetzes der TRANSIMS-Case-Study-Area, eines Teils des innerstädtischen Bereiches von Dallas, Texas. TRANSIMS (TRansportation ANalysis SIMulation System) ist ein vom U.S. Department of Transportation und der Environmental Protection Agency finanziertes Programm mit dem Ziel der Entwicklung von Simulationen, Modellen und Datenbanken zum Aufbau einer integrierten Umgebung für die Analyse regionaler Transportsysteme. Zwei ehemalige Mitarbeiter unserer Arbeitsgruppe sind inzwischen Mitglieder des TRANSIMS-Entwicklungsteams.

Zur Zeit wird in einem neuen Promotionsprojekt unsere zentrale Mikrossimulationsumgebung PLANSIM-T auf moderne Großrechnerarchitekturen mit verteiltem Speicher (Distributed-Memory Systeme) angepaßt, um so eine weitere Steigerung der Simulationsgeschwindigkeit erzielen zu können.

Mikroskopische Verkehrsflußmodelle

Anknüpfend an unsere Untersuchungen des CA-Modells nach Nagel und Schreckenberg wurden in einer Dissertation und einer unterstützenden Diplomarbeit die phänomenologischen Eigenschaften verschiedener mikroskopischer Verkehrsflußmodelle genauer analysiert. Dabei wurde ein neues Fahrzeugfolgemodell entwickelt, das inzwischen auch standardmäßig in unserer Simulationssoftware PLANSIM-T Anwendung findet.

Ausgangspunkt der Betrachtungen waren empirische Untersuchungen zur Dynamik des Verkehrsflusses durch Kerner und Rehborn. Dort wurde nachgewiesen, daß Straßenverkehr in drei qualitativ verschiedenen Zuständen, nämlich dem Zustand des freien Verkehrs, des synchronisierten Verkehrs und des Staus vorgefunden werden kann. Die Übergänge zwischen verschiedenen Verkehrszuständen wurden als Phasenübergänge erster Ordnung interpretiert.

Staus sind, abgesehen von ihrer offensichtlichen Eigenschaft, einen Verkehrsfluß hoher Dichte und niedriger Geschwindigkeit zu besitzen, durch folgende Eigenschaften charakterisiert:

1. Staus können auch in Abwesenheit irgendwelcher Hindernisse entstehen und lange Zeit existieren.
2. Der Fluß aus dem Stau ist deutlich niedriger als der maximale Fluß.
3. Der Fluß aus dem Stau ist stabil.

4. Der Fluß aus dem Stau und die Geschwindigkeit der flußabwärtigen Staufront hängen nicht vom Fluß in den Stau ab.

5. Es gibt metastabile Zustände hohen Flusses.

Ziel war nun die Abbildung der qualitativen und quantitativen Eigenschaften des Verkehrs, basierend auf einer Simulation der Dynamik einzelner Fahrzeuge. Bei der Modellierung der Einzelfahrzeugdynamik wird auf einen minimalen Satz von Regeln zurückgegriffen, der aus wenigen Grundannahmen über den Verkehrsfluß abgeleitet wird. Diese Grundannahmen sind: 1) Geschwindigkeit und Beschleunigung der Fahrzeuge sind begrenzt. 2) Die Wechselwirkung von Fahrzeugen führt zur kollisionsfreien Bewegung im Verkehr. 3) Jedes Fahrzeug bewegt sich (von stochastischen Fluktuationen abgesehen) mit der höchsten Geschwindigkeit, die mit obigen Restriktionen kompatibel ist. Aus diesen Annahmen wurde eine Familie von Modellen abgeleitet, die jeweils durch einen geschwindigkeitsabhängigen Wunschabstand und eine geschwindigkeitsabhängige Relaxationszeit der Fahrdynamik charakterisiert sind.

Eine Spezialisierung dieser Modellfamilie führt auf eine Unterfamilie, die durch die freien Parameter a und b, die typische Beschleunigungs– bzw. Verzögerungsfähigkeiten der Einzelfahrzeuge bezeichnen, charakterisiert wird. Je nach Wahl der freien Parameter a und b und der Maximalgeschwindigkeit der Fahrzeuge $v_{\max}$ zeigt das Modell drei qualitativ unterschiedliche Verhaltensweisen, die durch eine Einteilung der Modellfamilie in drei Klassen phänomenologisch jeweils gleichartiger Modelle charakterisiert wird.

- Klasse I:
  - a und b bezüglich empirisch bekannter Fahrdynamik realistisch, langreichweitige Wechselwirkung.
  - Alle o.g. Eigenschaften des Staus werden korrekt abgebildet.
  - Der Übergang in den gestauten Zustand ist ein Phasenübergang.
- Klasse II:
  - b groß, kurze Bremswege, kurzreichweitige Wechselwirkung.
  - Eigenschaften 2, 3 und 5 der Staus werden nicht abgebildet.

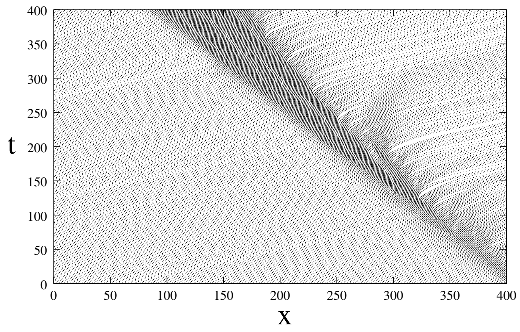

Abbildung 4.3: *Staubildung in Klasse I (Weg-Zeit-Diagramm))*

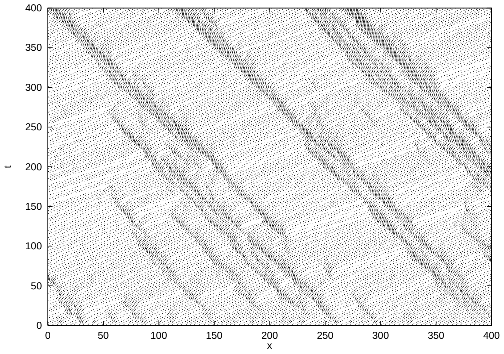

Abbildung 4.4: *Staubildung in Klasse II (Weg-Zeit-Diagramm))*

  - Der Übergang in den gestauten Zustand ist kein Phasenübergang.
- Klasse III:
  - a groß, Beschleunigung begrenzt Fahrdynamik nicht wesentlich.
  - System bildet keine Staus.

Phänomenologisch gesehen sind der Klasse I neben dem neuentwickelten Modell auch das makroskopische Kerner-Konhäuser-Modell, neuere Zellularautomatenmodelle und mit Einschränkungen auch das Optimal-Velocity-Model von Bando zuzuordnen. Klassische CA-Modelle des Verkehrsflusses, wie das Nagel-Schreckenberg-Modell sind den Klassen II und III zuzuordnen.

Für eine praktische Anwendung, beispielsweise im Bereich des Verkehrsmanagements auf Schnellstraßen, sind nur Modelle der Klasse I geeignet, weil die anderen beiden Klassen die Dynamik der Stauentwicklung falsch oder gar nicht abbilden.

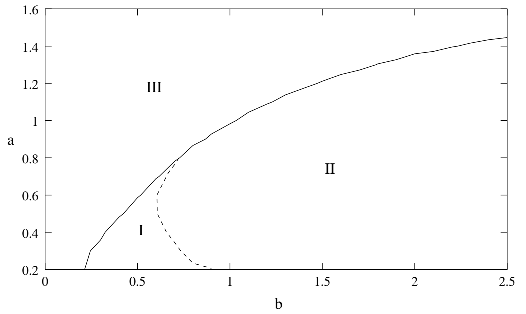

Abbildung 4.5: *Grenzlinien der Modellklassen im (a, b)-Parameterraum (a = Beschleunigungsvermögen, b = Bremsvermögen der Fahrzeuge.)*

Die Update-Regeln für das im Rahmen unserer Forschung entwickelte Modell sind fast so einfach wie die der klassischen CA-Modelle, allerdings verwendet es kontinuierliche Ortskoordinaten x und Geschwindigkeitswerte v. Für jeden Zeitschritt werden die folgenden Operationen durchgeführt:

$$\begin{aligned} v_{\text{des}} &\leftarrow min[v_{\max}, v + a, v_{\text{safe}}] , \\ v &\leftarrow max[0, rand[v_{\text{des}} - \epsilon a, v_{\text{des}}]] , \\ x &\leftarrow x + v, \end{aligned}$$

Hierbei bezeichnet $v_{\max}$ die Maximalgeschwindigkeit jedes einzelnen Fahrzeugs, $\epsilon \in [0, 1]$ eine Modellkonstante und $rand[s, t]$ eine Zufallszahl im Intervall $[s, t]$. Die maximale Geschwindigkeit v_{safe}, bei der Kollisionen vermieden werden, berechnet sich als

$$v_{\text{safe}} = v_{\text{l}} + \frac{g - v_{\text{l}}\tau}{\frac{v}{b} + \tau} .$$

aus der Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs v_{l}, dem Abstand g zum Vordermann und der Reaktionszeit τ.

Dieses Modell für den Einspurverkehr läßt sich in einfacher Weise unter Wahrung der qualitativen Modelleigenschaften auf Mehrspurverkehr verallgemeinern. Nach dieser Verallgemeinerung wird eine exzellente quantitative Übereinstimmung der Modelleigenschaften mit empirisch ermittelten Daten der Verkehrsdynamik erreicht.

Simulationsbasierte Ansätze zur Routenumlegung

Im Rahmen des FVU hatte unsere Arbeitsgruppe die Aufgabe, den Verkehr in großen Straßennetzen, wie etwa dem der Stadt Wuppertal mit knapp 17000 einzelnen Straßenabschnitten, zu simulieren. Die oben beschriebenen mikroskopischen Verkehrsflußmodelle benötigen zur Simulation eines realen Straßennetzes detaillierte Eingangsdaten zur Verkehrsnachfrage, nämlich eine Liste aller Fahrten mit Startzeit und Route. Dagegen standen als Ausgangsdaten nur zeitlich und räumlich aggregierte Verkehrsnachfragedaten in Form einer sogenannten Start-Ziel-Matrix ohne Spezifikation der Routen zur Verfügung. Es mußte daher ein Verfahren entwickelt werden, das aus einer aggregierten Start-Ziel-Matrix individuelle Routen für die einzelnen Fahrzeuge berechnet.

Die grundlegende Idee hinter allen Routenwahlmodellen ist sehr einfach und wurde schon 1952 von Wardrop formuliert: *Alle benutzten Routen zu einem gegebenen Paar von Start- und Zielknoten haben die gleichen Kosten, und die Kosten aller unbenutzten Routen sind mindestens genauso groß.* Jeder Fahrer versucht also, seine Reisezeit individuell zu optimieren. Einen Zustand, in dem dies für jeden Verkehrsteilnehmer erfüllt ist, nennt man *Benutzergleichgewicht*. Die zeitunabhängige Version dieses Problems, *statische Routenumlegung* genannt, ist mathematisch und algorithmisch gut verstanden. Für streng konvexe Kostenfunktionen kann die Existenz und Eindeutigkeit einer Lösung gezeigt werden, und algorithmisch kann das Problem etwa mit dem Frank-Wolfe-Algorithmus gelöst werden. Diese klassischen Ansätze der Verkehrsplanung wurden im Rahmen einer Diplomarbeit in unserer Arbeitsgruppe implementiert und an Beispielnetzen erprobt. Auf Grund ihres hohen Rechenaufwandes sind sie jedoch nur für kleine Instanzen geeignet, und ihre Übertragung auf dynamische Fragestellungen scheitert selbst in diesen Fällen, da sich hierbei ein Aufwand proportional zum Produkt aus Netzgröße und der Anzahl der zu simulierenden Zeitschritte ergibt. Legt man die Anforderungen der anderen am FVU beteiligten Gruppen an die Zeitauflösung unserer Simulationen zugrunde, so ergäbe sich im dynamischen Fall für eine einzige Iteration des Frank-Wolfe-Algorithmus für die FVU-Modellstadt Wuppertal eine Laufzeit von ca. 2048 Tagen, die selbst in einer parallelisierten Version für eine praktische Anwendung nicht vertretbar ist.

Im Rahmen einer Dissertation wurde daher eine Methode entwickelt, das Benutzergleichgewicht für eine dynamische Start-Ziel-Matrix direkt im Simulationsmodell zu bestimmen, d.h. für eine gegebene Menge von Fahrern mit festem Startzeitpunkt Routen zu bestimmen, die das Wardropsche Kriterium erfüllen.

Die einfachste Idee wäre, jedem Fahrer zunächst den geometrisch kürzesten Weg zuzuweisen, mit Hilfe dieser Routen einen Simulationslauf durchzuführen, anschließend aufgrund der in der Simulation bestimmten Reisezeiten für einen gewissen Teil der Fahrer neue Routen zu bestimmen und diesen Prozeß zu iterieren, bis die Reisezeiten konvergieren und kein Fahrer seine Reisezeit durch Wahl einer anderen Route verbessern kann. Allerdings kann man sehr leicht Beispiele konstruieren, in denen dieser Prozeß nicht konvergiert und das Gleichgewicht instabil ist.

Unser Ansatz beruht darauf, daß ein Fahrer mehr als eine Route kennen kann. Ein Fahrer d wird in diesem Modell durch folgende Größen beschrieben:

- Startknoten O_d und Zielknoten D_d,
- Startzeit t_d,
- Menge $\mathcal{P}_d$ von Routen von O_d nach D_d,
- Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Routenwahl

$$p_d : \mathcal{P}_d \to \mathbb{R}_+ \text{ mit } \sum_{r \in \mathcal{P}_d} p_d(r) = 1,$$

- „gelernte" Reisezeiten $\tau_d : \mathcal{P}_d \to \mathbb{R}_+$.

In jeder Simulation wählt der Fahrer gemäß p_d zufällig eine Route aus $\mathcal{P}_d$ aus. Nach der Simulation werden die Reisezeiten τ_d geändert, und die Wahrscheinlichkeitsverteilung p_d wird so verschoben, daß günstigere Routen häufiger gewählt werden. Der Vorteil dieses Ansatzes ist, daß zumindest in einfachen Fällen und für das unten beschriebene Warteschlangenmodell die Stabilität des Verfahrens gezeigt werden kann.

Problematisch bei solch einem Iterationsprozeß ist die Rechenzeit des Simulationsmodells. Selbst die am ZPR/ZAIK entwickelten, sehr leistungsfähigen Fahrzeugfolgemodelle sind nicht so schnell, daß eine solche Iteration mit ihnen in angemessener Zeit durchgeführt werden könnte.

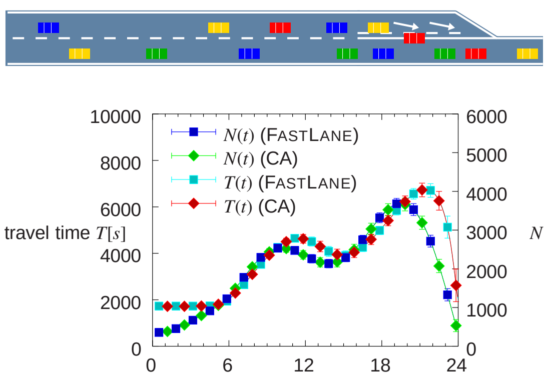

Abbildung 4.6: *Kalibrierung der Reisezeiten des Warteschlangenansatzes am CA-Modell in einer Bottleneck-Situation*

Daher wurde für diese Aufgabe ein spezielles Warteschlangenmodell entwickelt, das die Fahrzeugfolgedynamik auf einem Straßenabschnitt vernachlässigt; statt dessen wird jeder Straßenabschnitt als Warteschlange mit vorgegebener Länge, Kapazität und vorgegebenem Fassungsvermögen beschrieben. Obwohl dieses Modell den Verkehrsfluß sehr stark vereinfacht, werden die Reisezeiten, die in den am ZPR/ZAIK verwendeten Fahrzeugfolgemodellen gemessen wurden, sehr gut reproduziert. Mit Hilfe dieses Modells läßt sich der zeitliche Aufwand zur Berechnung des Benutzergleichgewichts (je nach Netztopologie) um den Faktor 10-100 beschleunigen.

4.3 Anwendungsprojekte

Online-Routing in großen Straßennetzen

Der Markt für Fahrzeug-Navigationssysteme hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Fast jeder Automobilhersteller von Modellen der Oberklasse und der gehobenen Mittelklasse bietet seinen Kunden einen solchen elektronischen Piloten an, der den Fahrer mit Hilfe von Display und akustischen Anweisungen individuell zum Fahrtziel leitet.

Während die Routenführung bei den Geräten der ersten Generation in erster Linie auf statischen Daten in Form einer digitalisierten Straßenkarte auf CD-ROM basierte, sind neuere Geräte in der Lage, aktuelle Staumeldungen, die über das Mobilfunknetz oder Radio übertragen werden, miteinzubeziehen. Verbunden mit dem Engagement verschiedener privatwirtschaftlicher Unternehmen und staatlicher Stellen zur Schaffung einer zumindest in Ansätzen flächendeckenden Informationsinfrastruktur für die aktuelle Verkehrslage soll dadurch in naher Zukunft das individuelle Routen von Verkehrsteilnehmern auf Basis von Online-Daten ermöglicht werden.

Für den Bereich der eigentlichen Routenberechnung bedarf es dazu intelligenter Strategien, da bei der praktischen Anwendung vorgeschlagene Routen hinreichend schnell gefunden werden müssen und mit der tatsächlichen schnellsten Route dabei soweit wie möglich übereinstimmen müssen.

Das darunter liegende Problem der Bestimmung von kürzesten Wegen in Graphen ist eine der grundlegenden und bestuntersuchten Fragestellungen in der kombinatorischen Optimierung. Zu den Charakteristiken des Problems auf realen Straßengraphen gehört die Komplexität des Netzwerkes als rechen- und speicherintensiver Faktor sowie die spezielle Stuktur dieser Graphen als Ansatzpunkt für effiziente Verfahren.

Aufbauend auf unseren Ergebnissen aus einem Projekt innerhalb des von der DFG geförderten Schwerpunktprogrammes „Echtzeitoptimierung großer Systeme “werden von uns algorithmische Verfahren entwickelt, die die stark hierarchische Struktur (Autobahnen - Bundesstraßen - Landstraßen) der Graphen und die gegebene Straßengeometrie mitberücksichtigen.

Im Hinblick auf das Routen von Verkehrsteilnehmern auf Basis von Online-Daten interessiert darüber hinaus, in welcher Weise bereits generierte Lösungen von dynamischen Veränderungen der Verkehrssituation betroffen sind. Die von uns in diesem Zusammenhang herangezogenen Analysen zur Robustheit kürzester Wege zielen darauf, effiziente Alternativen zur vollständigen Neuberechnung der Route zu entwickeln.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt ist die geeignete Beschreibung der zu beobachtenden zeitlichen Dynamik in Straßennetzen. Da sich die Erfassung von aktuellen Verkehrsdaten bisher und in der nahen Zukunft in erster Linie auf das Autobahnnetz beschränkt, müssen bei der Routenbestimmung für den überwiegenden Teil des Straßnnetzes Annahmen über die Verkehrssituation getroffen werden, die dennoch von entscheidender Bedeutung für die gefundenen kürzesten Wege sind. Zu diesen Annahmen zählen sowohl zugrundegelegte Durchschnittsgeschwindigkeiten als auch die Auswirkungen von gemeldeten Staus auf umliegende Straßen, für die keine Online-Daten zur Verfügung stehen. Um für diese Art von Fragestellungen realitätsnahe Antworten bereitstellen zu können, wird auf die an unserem Institut entwickelte Verkehrssimulation zurückgegriffen, da sich mit Ihrer Hilfe die Dynamik des Straßenverkehrs auch in hinreichend großem Maßstab sehr gut nachbilden läßt.

Sonderforschungsbereich „Umwelt“

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 419 „Umweltprobleme eines industriellen Ballungsraumes; Naturwissenschaftliche Lösungsstrategien und sozio-ökonomische Implikationen“ werden wir gemeinsam mit dem Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln die Ausbreitung und Transformation von Luftschadstoffen unter Berücksichtigung klimatologischer Fragestellungen untersuchen. Grundlage ist neben den Emissionskatastern für Haus- und Industriebrand eine großflächige dynamische Simulation des Straßenverkehrs.

Aufgrund einer prognostizierten Zunahme der Verkehrsbelastung ist trotz einer Emissionsreduzierung der Kraftfahrzeuge mit einer verstärkten Umweltwirkung des Verkehrs zu rechnen. Zugleich sollen Verminderungsstrategien im industriellen Bereich zu einer veränderten Emission von Luftschadstoffen führen. Zur Abschätzung der Auswirkungen von Verminderungsstrategien im Verkehr (Tempolimit, Benzinpreis, Roadpricing, o.ä.) und in der Industrie (Einsatz von umweltschonenden Energieumwandlungstechnologien) sollen verschiedene Szenarien der Schadstoffbelastung durch die Kausalkette Erzeugung/Emission-Transmission-Immission untersucht werden, wobei als weiterer Einflußfaktor die regionalen Auswirkungen von globalen Klimaänderungssignalen berücksichtigt werden müssen.

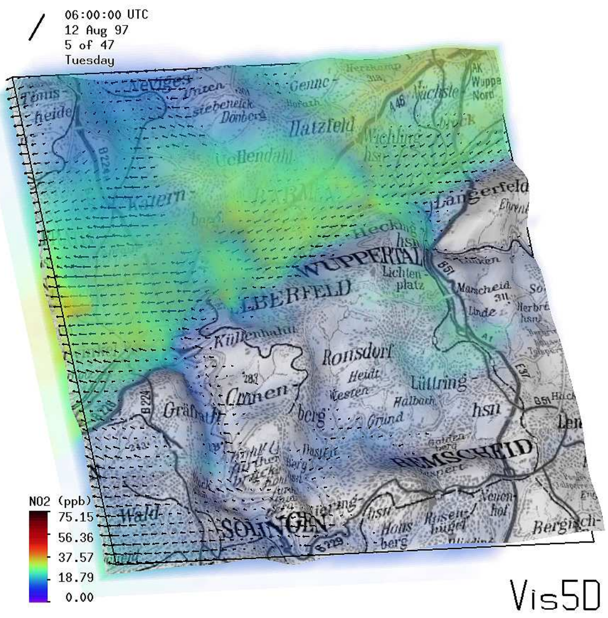

Abbildung 4.7: *Stickoxyd-Ausbreitung über Wuppertal, Simulation des Instituts für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln aus den Emissionsdaten unserer Verkehrssimulation*

Während die Emissionen vieler Emittenden (z.B. Kraftwerk, Industrie) nur relativ langsame Variationen aufweisen, muß der Straßenverkehr zeitlich hochaufgelöst abgebildet werden, da für die in einem Bereich des Straßennetzes emittierten Schadstoffe in der Regel nicht die mittlere Verkehrsbelastung, sondern vielmehr deren zeitliche Entwicklung bis hin zur Dynamik der Einzelfahrzeuge (Rush-Hour, Stauentwicklung, etc.) entscheidend ist. Durch den Einsatz einer mikroskopischen Simulation zur Modellierung der Emissionsquelle „Straßenverkehr“ ist es erstmals möglich, die ökologischen Auswirkungen der Änderung der sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen vor deren Umsetzung abzuschätzen.

3V – Verteilte Verkehrssimulation und Visualisierung

Für das Gigabit-Testbed West, das die Standorte Köln, Bonn und Jülich umfassen wird, werden wir unsere Simulationssoftware in einem neuen Anwendungsfeld erproben. Gemeinsam mit unseren Projektpartnern beim DLR, dem Forschungszentrum Informationstechnik (GMD) und der Firma echtzeit GmbH soll der Verkehr im Stadtkern von Berlin simuliert werden und der Verkehrszustand kontinuierlich mit Multicasttechnologie über das Datennetz an verschiedene Visualisierungsarbeitsplätze verteilt werden. Da insbesondere die aufwendige „Virtual-Reality"-Visualisierung der Firma echtzeit eine hohe zeitliche Auflösung der Zustandsdaten erzwingt, sind für ein solches Verfahren Übertragungsbandbreiten erforderlich wie sie erstmalig mit dem Gigabit-Testnetz zur Verfügung stehen. Eine detaillierte Darstellung des Projektes *3V* findet sich im Abschnitt 6.4.

StadtInfo Köln

Im StadtInfo-Köln-Projekt arbeitet unsere Partnergruppe beim DLR mit 16 weiteren Kooperationspartnern aus Industrie, Hochschule und kommunaler Verwaltung zusammen. Projektleiter ist das Amt für Straßen und Verkehrstechnik der Stadt Köln. Ziel des StadtInfo-Projektes, das im Rahmen des oben zitierten BMBF-Programms „Mobilität in Ballungsräumen" Ende 1998 gestartet wurde, ist der Aufbau eines flächendeckenden, umfassenden Informationssystems für den Ballungsraum Köln. Den Nutzern dieses Informationssystems werden aktuelle Informationen über unterschiedliche Übertragungskanäle zur Verfügung gestellt:

- Parkplätze, einschließlich Prognose und Parkleitinformationen,
- aktueller Verkehrszustand in Köln, und entsprechende Leitempfehlungen,
- ÖPNV-Informationen (aktuelle Verspätungen, Fahrplaninformationen),
- Veranstaltungshinweise und deren Auswirkungen auf den Verkehr,
- aktuelle Reisezeit und prognostizierter Verkehrszustand.

Aufgabe des DLR ist dabei die Vorhersage von Reisezeiten im Verlauf der nächsten Stunde mit Hilfe der mikroskopischen Verkehrssimulation. Ausgehend von der aktuellen Verkehrssituation wird mit vielfacher Echtzeitgeschwindigkeit simuliert, so daß sich der zukünftige Verkehrszustand und im Idealfall sogar endogene Staus vorhersagen lassen.

WWW-Adresse

`http://www.zpr.uni-koeln.de/Verkehr`