Diskrete Simulation im komplexen Warteschlangennetzwerk

oder: Wie kann der Computer den Stau im Kreisverkehr berechnen?

von Ulrich Helwing

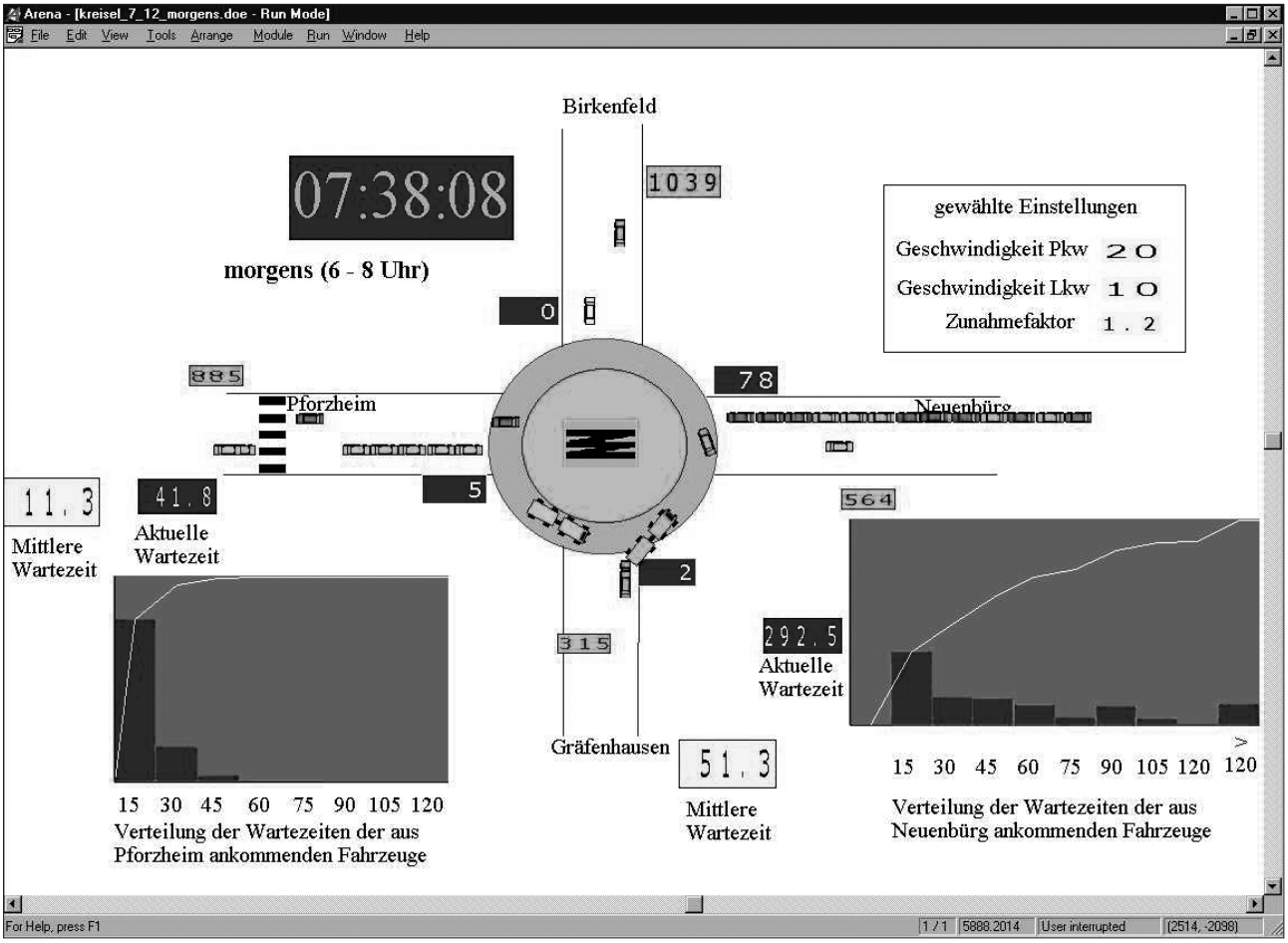
Jeder kennt die Vorzüge eines Kreisverkehrs; insbesondere vermeidet er unnötig stehenden Verkehr mit seinen verstärkten Abgasemissionen. Man braucht nur ein wenig mit dem Fuß vom Gas zu gehen und schon kann man eine so ausgerüstete Kreuzung passieren. Das Fehlen jeglicher Wartezeiten verschafft dem Verkehrskreisel größere Beliebtheit als der mit Ampeln gesicherten Kreuzung. Wenn diese nicht zufällig eine „grüne Welle" aufgeschaltet hat, ist die Zykluszeit fast immer gleich der Wartezeit.

Kürzlich hat sich in Pforzheim ein Verein gegründet, der den seit etwa einem Jahr am Kupferhammer provisorisch eingerichteten Kreisverkehr unbedingt wieder abschaffen will, weil er in der morgendlichen Rushhour zu einem verstärkten Rückstau und damit zu längeren Wartezeiten führe. Ein Blick am frühen Morgen zeigt die Richtigkeit dieser Klage. Wo liegt die Leistungsgrenze für einen Kreisverkehr, so heißt die eigentliche Frage.

Nun ist ein Kreisverkehr keine billige Einrichtung, selbst ein provisorischer kostet schnell an die 100.000 Mark. Folglich kann man damit keine aussagekräftigen Experimente anstellen, wie denn die beste Konstellation aussehen könnte. Wie so oft im Leben kann der Computer auch bei der Suche nach dem besten Lay-out eines Kreisverkehrs entscheidend mithelfen.

Ein Kreisverkehr ist ein komplexes Warteschlangennetzwerk: Jede einzelne Einmündung stellt dabei eine Warteschlange dar. Diese ist zwar hinsichtlich der Ankünfte stochastisch unabhängig (es sei denn, 300 m vorher regelte eine Ampel den Verkehrsstrom), nicht aber hinsichtlich der Abfertigung (Passage des Kreisverkehrs). Vielmehr wirkt hier die jeweilige Vorfahrtsregel auf den Strom, der aus den anderen Zufahrten stammt und dort seinerseits der Regel gehorcht. Darüber hinaus wird dieser Strom durch die jeweilige Abbiegehäufigkeit noch verändert. Solche stark rückgekoppelten Systeme sind schwer zu berechnen, aber geradezu prädestiniert für die Behandlung mit der diskreten Simulation.

Simulieren an sich heißt: „so tun als ob", und das ist jedermann geläufig. Mit dem Computer Simulieren ist etwas erklärungsbedürftig: Die Idee besteht darin, Zufallsexperimente, wie sie in allen Warteschlangensitua-



Eine Momentaufnahme des simulierten Kreisverkehrs bei 20% höherem Verkehrsaufkommen: der Stau aus Neuenbürg ließe sich durch einen Bypass vermeiden.

tionen stattfinden, nachzustellen, ihre Auswirkung zu protokollieren und am Ende statistisch auszuwerten. Ein PC arbeitet aber nicht zufällig, sondern muss Zufallszahlen mittels eines Zufallsgenerators erzeugen, er kann damit quasi würfeln. Aus den so erzeugten Zahlen werden dann Merkmale des Problems, wie hier z.B. die schwankenden Zwischenankunftszeiten der Fahrzeuge, berechnet. Benötigt wird hierzu nur die Verteilung der Zwischenankunftszeiten, der Theorie nach eine negative Exponenzialverteilung, d.h. die Ermittlung des Mittelwertes genügt zur Simulation.

Und so war denn die erste Aufgabe für eine größere Studentengruppe im Rahmen der „DV-gestützten Managementmethoden“ (bei Professor Dr. Wolfgang Schäfer) eine Verkehrszählung natürlich vorwiegend in der morgendlichen Rushhour bei stürmischem Wind und kalten Temperaturen. Gezählt wurde in Birkenfeld an der so genannten Bugholzkreuzung; Projektpartner war der Enzkreis mit dem Leiter des Verkehrsamtes, Herrn Schwaab. Die Ergebnisse waren die Grundlage für die weitere Arbeit am Simulator.

Alexander Graf, Mimmo Hager, Jan Hartmann und Sebastian Smyrek, Studenten aus dem Studiengang Beschaffung und Logistik übernahmen die Aufgabe, mit dem Simulationsprogramm ARENA ein Modell der Kreuzung anzufertigen und das Verhalten der Autofahrer, also die Verkehrsregeln und die zufälligen Ankunftsprozesse abzubilden. Betreut wurde das Projekt von Professor Ulrich Helwing, Dan Diulescu und Bernd Kuppinger.

Die Vorstellung der verschiedenen Szenarien und deren Ergebnisse wurden einem breiten Auditorium von Verkehrsverantwortlichen aus diversen Stadt- und Landkreisen bis hin zum Odenwaldkreis bekannt gemacht. Der Ablauf der Simulation und ihrer kinoartigen Animation mit der sichtbaren Entstehung der Warteschlangen, die ausgewerteten Wartezeiten sowie die Mengen der Verkehrsteilnehmer mit zu langen Wartezeiten waren für alle Experten ein Premierenerlebnis mit durchaus beeindruckender Wirkung. Das erstellte Modell konnte nun mit minimalem Aufwand auch andere Szenarien durchleuchten:

- Der Ist-Zustand der Verkehrsbelastung wurde um 20% erhöht. Deutlich sichtbar entstanden längere Warteschlangen und –zeiten.
- Diese unzulängliche Situation konnte durch einen Bypass in der Hauptabbiegerichtung deutlich verbessert werden.
- Die abendliche Rushhour wurde durch Eingabe veränderter Daten als unkritisch erkannt.

In der abschließenden Diskussion war man sich einig, dass die Simulation nicht nur ein gutes Hilfsmittel zur Untersuchung der Leistungsgrenzen eines Kreisverkehrs, sondern auch ein gewichtiges Argument im Umgang mit ‚Kreiselgegnern‘ ist.

Der Autor
Ulrich Helwing ist Professor im Fachbereich Beschaffung, Logistik und Wirtschaftsingenieurwesen.