

# 4D-Verkehrsmodelle: Verkehrsplanerische Lösungen entwickeln und vermitteln

Dr. Martin FELLENDORF, Thomas HAUPT

PTV AG, Verkehrsmanagement, Stumpfstraße 1, D 76131 Karlsruhe  
martin.fellendorf@ptv.de

## 1 VERKEHRSPLANUNG UND DIE VIERTE DIMENSION

Neben den drei räumlichen Dimension ist die Zeit als vierte Dimension in mehrfacher Hinsicht bei der Verkehrsplanung von Bedeutung. Die Zeitachse ist die Skala, an der die Wirkungen von verkehrsplanerischer Maßnahmen überprüft werden können. Für die Verkehrsplanung ist es wichtig, zukünftige Auswirkungen schon im Vorfeld abschätzen zu können.

Dabei sind Simulationen hilfreich. Sie können im Zeitraffer die Effekte einer Veränderung auf den Verkehrsfluss der Zukunft zeigen, wie etwa bei einer veränderten Steuerung einer Lichtsignalanlage und dies zu verschiedenen Tageszeiten mit Berücksichtigung unterschiedlicher Verkehrsbelastungen und mit Blick auf umgebende Teile der Verkehrsinfrastruktur. Bei verkehrsplanerischen Maßnahmen hat man nicht nur eine neuralgische Stelle im Visier sondern alle relevanten Teile, die den Untersuchungsraum beeinflussen. Es gilt, das komplexe Ganze zu erfassen, im Blick zu behalten und zu bewerten. Die Simulation unterstützt dabei den Planer und zeigt Auswirkungen beispielsweise auf zeitliche Entwicklung von Stauungen; Zeit bzw. deren Berücksichtigung ist wichtig für Prognosen neuer Lösungsvorschläge.

Die Entwicklung praktikabler Lösungen und ihre Präsentation brauchen planerische Kreativität, Sachkenntnis, Sorgfalt und Detailtreue. In der Summe führt das häufig dazu, dass entweder eine gute Planung unverständlich dargestellt oder aber eine schlechte Lösung gut präsentiert wird. In beiden Fällen können weitreichende bauliche Entscheidungen auf einer unzureichenden Grundlage getroffen werden. Dabei gibt es mit den Simulationsmodellen jetzt Möglichkeiten, gute Lösungen zu entwickeln und diese verständlich zu präsentieren; Planungs- und Simulationsprogramme beschleunigen heute vielfach den Entscheidungsprozess wesentlich.

Eine gute Planung ist essentiell für eine optimale Nutzung der Verkehrsinfrastruktur. Risiken durch quantitativ nicht geprüfte Umbaumaßnahmen können enorm sein. Man denke an schlecht geplante Tunnel, unzureichend dimensionierte Kreuzungen oder schlicht schlecht befahrbare Kreisverkehre. Niemand wird ernsthaft die solide Verkehrsplanung zugunsten einer leicht verständlichen Präsentation schlechter Lösungen in ihrer Bedeutung reduzieren wollen.

Doch auch gute verkehrsplanerische Lösungen wollen vor den Gremien politischer Entscheidungsträger überzeugend präsentiert werden. Verwöhnt durch die hervorragenden grafischen Möglichkeiten heutiger Computerspiele und die 3-dimensionalen Computeranimationen der Architekten erwartet der Laie heutzutage, komplexe Abläufe des täglichen Lebens visuell durch Computerunterstützung dargebracht zu bekommen. Simulationen von Verkehrsabläufen zeigen dabei nicht einfach nur eine Lösung, die nur akzeptiert werden kann, sondern bietet auch Möglichkeiten, die Wirkungen verschiedener Alternativen vorzuführen und zu bewerten. Aus einer großen Menge möglicher Alternativen kann mit dem zusätzlich gewonnenen Wissen eine fundierte Entscheidung getroffen werden. Gute Lösungen wollen jedoch auch gut vermittelt werden. Entsprechend sollte auch nicht im Planungsprozess gespart werden. Planung und Präsentation gehen Hand in Hand. Wir brauchen gute Lösungen, die dem jeweiligen Verkehrsproblem und der stadtplanerischen Aufgabenstellung angemessen sind. Sie sollten realistisch auf ihre Machbarkeit geprüft werden. Der Erstaufwand in Planung und Ergebnispräsentation ist sinnvoll investiert, wenn dadurch sowohl eine gute Lösung unter den gegebenen Randbedingungen gefunden und andererseits der weitere Entscheidungsprozess in den politischen Gremien und Bürgerbeteiligungen reduziert wird. Die zeitlich variierende Darstellung von Verkehrsabläufen hat hierbei bereits einige Erfolge vorzuweisen; die Verknüpfung der Verkehrssimulation mit guten 3D-Welten wird eine weitere Verbesserung bringen.

## 2 METHODIK: MIKROSKOPISCHE UND MAKROSKOPISCHE VERKEHRSMODELLE

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen makroskopischen und mikroskopischen Verkehrsmodellen. In einem makroskopischen Modell betrachtet man die reale Welt „Verkehr“ aus der Vogelperspektive. Hier interessieren nicht die einzelnen Fahrzeuge, sondern Fahrzeugströme. Je nach Definition wird die zeitliche Entwicklung der Verkehrsströme bei makroskopischen Modellen auch ausgeklammert. Der Verkehrszustand wird zu bestimmten Tageszeiten dargestellt. Diese statische Betrachtung zeigt einen repräsentativen Verkehrszustand für einen durchschnittlichen Werktag oder eine definierte Spitzenstunde. Nur wenige Objekte mit einer geringen Anzahl beschreibender Attribute werden von den makroskopischen Modellen als Eingangsgröße benötigt. Graphen bestehend aus Knoten, die Kreuzungen und Haltestellen

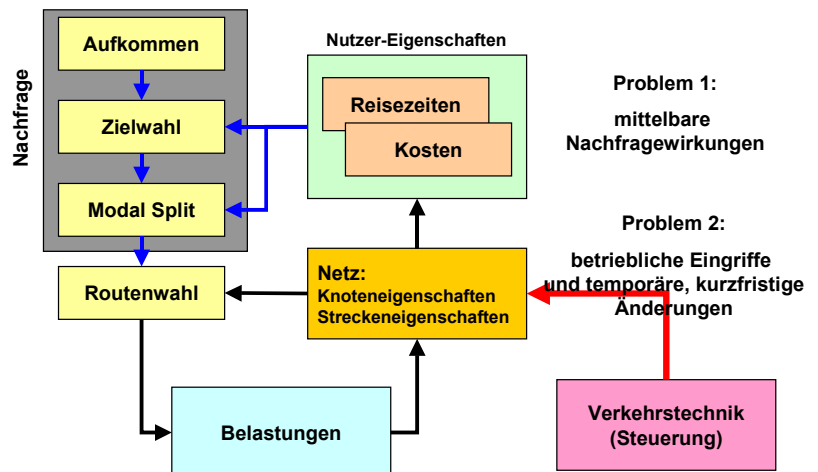


Abb 1. Der makroskopische Planungsansatz

repräsentieren, und Kanten als Verbindungen zwischen Knoten werden benötigt. Idealisierend wird der Verkehr an Punkten erzeugt, die aus dem Schwerpunkt von räumlich abgrenzbaren Gebieten entsteht. Die Zellschwerpunkte werden mit dem umgebenden Knoten-Kanten-Modell verknüpft. Das Verkehrsaufkommen wird durch Nachfragematrizen modelliert, die als Wert die Anzahl der Fahrtwünsche von einem Zellschwerpunkt zu einem anderen enthalten. Die Verkehrsnachfrage berücksichtigt mehrere Verkehrszwecke und verhaltenshomogene Bevölkerungsgruppen. Die Fahrtwünsche von mehreren Nachfragematrizen werden auf das als Knoten-Kanten-Modell abgebildete Verkehrsnetz verteilt. Mit makroskopischen Modellen werden Verkehrsverlagerungen in regionalen, nationalen oder sogar internationalen Verkehrsnetzen untersucht,

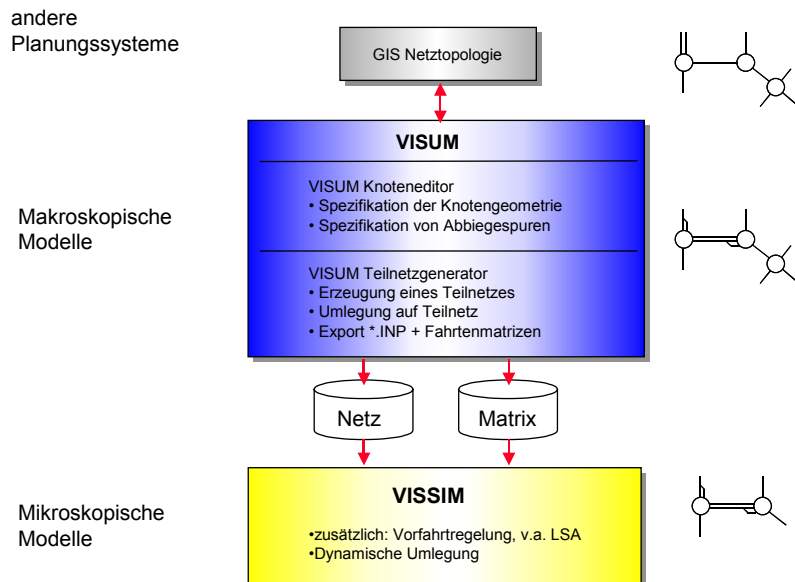


Abb 2. Zusammenhang zwischen makroskopischem Modell VISUM und mikroskopischem Modell VISSIM

Mikroskopische Modelle bilden das einzelne Fahrzeug und dessen Verhalten ab. Sie sind

detailliert und benötigen eine Fülle Attributen für zahlreiche Objekte. Mittels einer zeitschrittorientierten Simulation wird eine quasi reale Nachbildung der Verkehrsabläufe ermöglicht; stochastische, d.h. zufällig eintretende Einzelereignisse und Entscheidungen werden im Gegensatz zu makroskopischen Modellansätzen berücksichtigt. Solche Modelle finden immer dann Anwendung, wenn dynamische Abläufe, wie zum Beispiel Signalsteuerungen, im Detail untersucht werden sollen. Ein Beispiel dafür ist die Koordinierung von Lichtsignalanlagen mit Bevorzugung von ÖPNV Fahrzeugen. Hier sind konkurrierende Anforderungen bei der Aufteilung von Grünzeiten an den Signalanlagen zu berücksichtigen, damit die entstehenden Wartezeiten innerhalb von politisch definierten Zumutbarkeitsgrenzen fair aufgeteilt werden.

Je nach Größe der verkehrlichen Maßnahme und ihrem Wirkungsbereich entscheidet sich der Verkehrsplaner neben einer makroskopischen Betrachtung auch für eine mikroskopische Modellierung. Dabei werden Grunddaten aus dem makroskopischen Modell wie grundlegende Netztopologie und Verkehrsnachfragematrizen übernommen und durch weitere Attribute ergänzt. Zusätzlich werden weitere beschreibende Objekte wie die Verkehrssteuerung aufgenommen, da diese in einer rein makroskopischen Betrachtung meist nur durch pauschalierende Widerstände für mikroskopische Fragestellungen grob abgebildet werden.

### 3 DATENGRUNDLAGE FÜR MIKROSKOPISCHE VERKEHRSMODELLE

Drei Modellkomplexe sind als Eingangsgrößen für eine mikroskopische Betrachtung von Belang:

1. Verkehrsinfrastruktur; d.h. die Nachbildung des zu modellierenden Straßenraums und Schienenetzes. Der Straßenverlauf mit Anzahl von Fahrstreifen kann häufig aus Graphischen Informationssystemen (GIS) als „Street Center Lines“ übernommen werden, wobei jedoch eine Verfeinerung an den Knotenpunkten erforderlich ist, um Fahrstreifenaufweitungen und ausgeklinkte Abbiegefahrbahnen wie Rechtsabbieger mit Dreieckseisen geometrisch korrekt modellieren zu können. Haltestellen und Buskaps müssen ebenfalls für jeden Haltepunkt versorgt werden, meist eine Fleißaufgabe, die keine wirklichen modelltechnischen Probleme aufwirft.
2. Verkehrsnachfrage; d.h. die Anzahl der Fahrtwünsche pro Verkehrsmittel und Zeitintervall. Makroskopische Modelle liefern verkehrsmittelspezifische Nachfragematrizen (Origin-Destination), die aus soziodemographischen Strukturdaten pro Verkehrszelle sowie Modellen für die Verkehrsmittelwahl gewonnen werden.

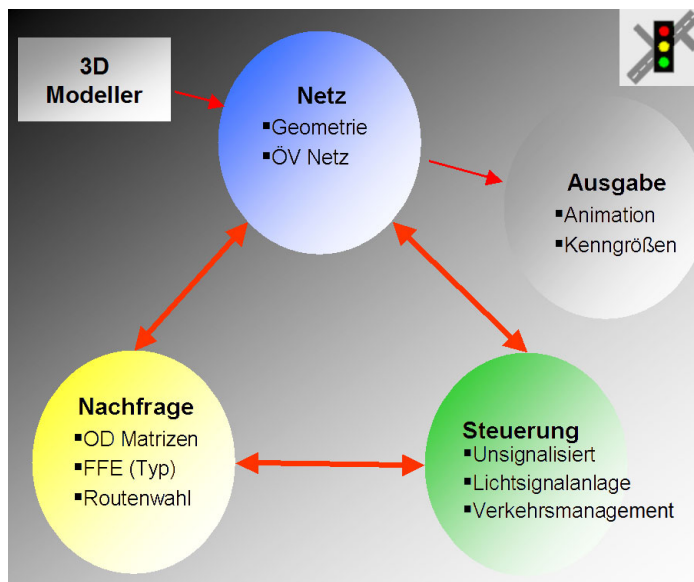


Abb 3. Netz, Nachfrage und Steuerung als wesentliche Modellkomplexe für ein mikroskopisches Verkehrssimulationsmodell; 3D Modeller und Ausgabemodul als Ergänzung für Präsentationen und Analysen

In den makroskopischen Modellen liegen die Daten zur Verkehrsnachfrage meist recht grob als mittlere Anzahl von Fahrtwünschen über 24 Stunden vor. Da in der mikroskopischen Betrachtung jedoch auch die zeitliche Entwicklung des Verkehrsgeschehens über einen einzelnen Tag ebenso wie die Betrachtung über verschiedene Wochentage und saisonale Schwankungen ein Rolle spielen, müssen die Nachfragedaten zeitlich feiner aufgelöst werden. Aktuelle Daten aus Verkehrszählungen (manuelle Knotenstromzählungen, automatische Detektorzählungen, Fahrgastzählungen im ÖV, etc.) werden zusammen mit den modellierten groben Nachfragematrizen in Matrix-Schätzverfahren verwendet, um zeitlich feiner aufgelöste Nachfragedaten zu gewinnen. Der Einsatz von OD-Matrix-Schätzverfahren hat sich hier in letzter Zeit bewährt, allerdings mit dem Nachteil, keine prognosefähigen Nachfragedaten zu erhalten. Solange jedoch nicht veränderte Raum- und Siedlungsstrukturen mit mikroskopischen Ansätzen nachgebildet werden müssen, kann von weitestgehender Konstanz der Fahrtwünsche ausgegangen werden. Etwa 80 Prozent aller Fahrten wiederholen sich in einem konstanten Zyklus und unterscheiden sich allenfalls in der Wahl des Abfahrzeitpunktes.

Neben den Nachfragematrizen erfordert ein mikroskopisches Verkehrsmodell darüberhinaus noch Angaben zu der Fahrzeugflotte, dem Fahrverhalten der Fahrer und ihren Präferenzen zur Wahl einer Route vom Startpunkt zum gewünschten Zielort. Für die Definition der Fahrzeugflotte liegen in den meisten Ländern Daten zum Kraftfahrzeugbestand vor, die als Eingangsgrößen Verwendung finden. Zum Fahrverhalten werden Annahmen getroffen, die zum einen in zahlreichen Detailuntersuchungen für typische Situationen geeicht wurden und zum anderen den ortsspezifischen Gegebenheiten angepaßt werden. Sowohl präzise Angaben zum Beschleunigungs- und Wunschgeschwindigkeitsverhalten sind erforderlich als auch schlecht zu messende Einflußgrößen wie der Fahrstreifenwechsel, der im innerörtlichen Verkehr grundlegend anderen Gesetzmäßigkeiten als auf Autobahnen folgt.

Über das Routenwahlverhalten im städtischen Raum gibt es nur wenige empirisch gesicherte Untersuchungen; hier wird häufig mit der offensichtlichen Annahme der reisezeit-minimalen Route gearbeitet. Für den ÖV ist kein Routenwahlmodell erforderlich, da in den mikroskopischen Ansätzen nicht die Personen sondern die Fahrzeuge modelliert werden; die ÖV-Fahrzeuge bewegen sich auf vordefinierten Linienwegen (Routen).

3. Verkehrssteuerung; d.h. der Einfluss der durch steuernde Elemente auf das Verkehrsgeschehen genommen wird. Im innerstädtischen Bereich ist dies in erster Linie die Lichtsignalsteuerung. Über Detektoren werden aktuelle Verkehrsmengen erfaßt und ausgewertet. Entweder zentral über einen Verkehrsrechner oder lokal an jedem Steuergerät werden die Grünzeiten den einzelnen konkurrierenden Verkehrsströmen zugeteilt, wobei meist gewisse politische Vorgaben als Randbedingungen einfließen. Gerade für den Test unterschiedlicher Steuerungslogiken eignet sich die mikroskopische Simulation mehr als jeder analytische Ansatz. Daher müssen die Steuerungslogiken entweder sehr realistisch nachgebildet oder besser, direkt vom Steuergerät übernommen werden.

Andere verkehrssteuernde Maßnahmen betreffen Alternativen wie Kreisverkehre, Rechts-vor-Links oder Vorfahrt geregelte Kreuzungen. Hier sind als Eingangsgrößen dem Simulationsmodell Zeitlücken vorzugeben, die von dem Fahrerkollektiv angenommen werden, um in einen vorfahrtberechtigten Verkehrsstrom einzubiegen oder ihn zu kreuzen.

Die drei Teilmodelle für die Abbildung der Verkehrsinfrastruktur, dem Verkehr, der diese Verkehrsinfrastruktur nutzt, und den Modellen, die den Verkehr auf Verkehrsinfrastruktur regeln, sind eng miteinander verflochten. In jedem Simulationsschritt tauschen sie untereinander Daten und Zwischenergebnisse aus. Für Präsentationszwecke fließen zusätzlich noch 3D-Bilderwelten ein, die die Szenen visuell realistischer erscheinen lassen, ohne jedoch direkt Einfluss auf das Simulationsmodell zu nehmen. Für die Ausgabe von Simulationsläufen sind Auswertungsmodule zur Ermittlung verkehrlicher Kenngrößen wie Rückstaulängen, Wartezeiten, Haltezeiten, Reisezeiten, Emissionswerte und Lärm erforderlich.

#### 4 SIMULATION MIT VISSIM

Die Potenziale für mehr Qualität bei der Entwicklung und Präsentation sind vorhanden. Da Untersuchungen am „lebenden Objekt Verkehr“ oft aufwändig und teuer sind, bieten sich hier Simulationsmodelle an. Mit ihnen können komplexe Verkehrsstrukturen kostengünstig aufgebaut und geplante Änderungen im Verkehrsnetz aufschlussreich dargestellt werden. Die Softwarelösung dazu wird bereits weltweit eingesetzt. Unter dem Namen ptv vision sind die Softwareprodukte der PTV AG zur Optimierung von Verkehrsnetzen und Verkehrsabläufen unter Verkehrsplanern inzwischen weltweit zu einem Markenbegriff geworden.

VISSIM, Teil von ptv vision, ist ein mikroskopisches, zeitschrittorientiertes und verhaltensbasiertes Simulationsmodell zur Nachbildung des innerstädtischen Verkehrsgeschehens. Wesentliche Teile des Simulationsmodells basieren auf Forschungen am Institut für Verkehrswesen der Universität (TH) Karlsruhe. Es wird als Simulationswerkzeug von Ingenieurbüros, Städten und Verkehrsbetrieben zur Planung und Bewertung komplexer Verkehrsanlagen genutzt – so beispielsweise in zahlreichen Hauptstädten wie Bangkok, Berlin, Paris, Peking, Washington und auch in Wien.

Das Simulationsmodell besteht aus einem Verkehrsflussmodell, das die Fahrzeuge maßstäblich durch das zu simulierende Verkehrsnetz bewegt, und einem Steuerungsmodell, das die verkehrsabhängige Lichtsignalsteuerung abbildet. Beide Modelle kommunizieren während der Simulation miteinander. Wechselwirkungen zwischen Verkehrsaufkommen und verkehrsabhängiger Lichtsignalsteuerung über Detektoren (meist Induktionsschleifen) werden damit realitätsnah abgebildet.

Wie in einem Video gibt es die Verkehrsabläufe auf der Straße und Schiene wieder. Dabei wird die Darstellung immer genauer, je detaillierter man die Szenerie betrachtet. Dargestellt werden kann der Einfluss der Verkehrsströme auf das Stadtbild, kombiniert mit der Berücksichtigung aller Verkehrsteilnehmer: motorisierter Individualverkehr, Öffentlicher Verkehr, Radfahrer und Fußgänger.

In den vergangenen Jahren hat die PTV in Karlsruhe (Deutschland) zahlreiche neuralgische Verkehrsknotenpunkte mittels Simulation untersucht. Ein besonders interessanter Fall ist beim „unechten Kreisel“ am neu gebauten Ostring zu beobachten. Interessant ist dieser Kreisverkehr besonders durch seine untypische Vorfahrtreglung, die dem stark ausgeprägten Hauptstrom über den Ostring Rechnung trägt. Zusätzlich zu dem heutigen Ausbau ist eine Straßenbahntrasse geplant, wobei mittels Simulation

unterschiedliche Ausbau- und Verkehrsregelungsvarianten zu beurteilen waren. In der Diskussion waren niveaufreie Lösungen ebenso wie niveaugleiche Varianten mit Lichtsignal- oder Vorfahrtregelung. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist für diesen Aufsatz weniger bedeutsam als die Methodik. In einem Verkehrsentwicklungsplan wurde ein sehr detailliertes Verkehrsmodell unter Einbeziehung aller Straßen aufgebaut. Für das Simulationsmodell wurden stundenbezogene Verkehrsbelastungen für das Jahr 2010 prognostiziert. Unterschiedliche Ausbauvarianten und Steuerungsmaßnahmen wurden bei gleichbleibenden Prognosebelastungen des PKW und LKW-Verkehrs mit VISSIM beurteilt, wobei die Taktfrequenz der neuen ÖV-Linien ebenfalls variiert wurde. 3D-Bilderwelten wurden ebenfalls eingebunden, so daß der Betrachter ein besseres Verständnis für die lokalen Gegebenheiten und die Größe der Stadtbahnen im Kreisverkehr gewinnen konnte.

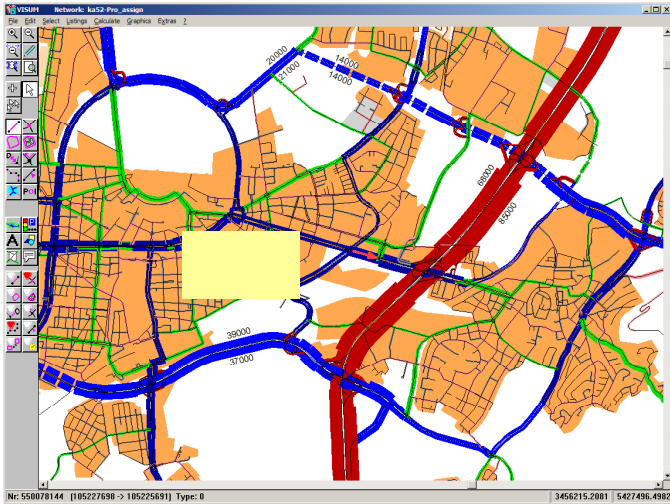


Abb 4. Darstellung der durchschnittlichen, täglichen Belastung pro Strecke; Farbe abhängig vom Streckentyp; Untersuchungsraum: transparent hinterlegter Bereich

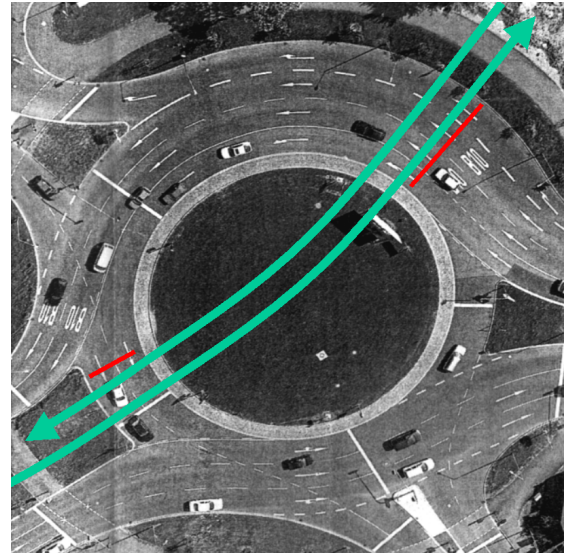


Abb 5. Der „unechte Kreisverkehr“ Ostring in Karlsruhe mit geplanter querender Führung der

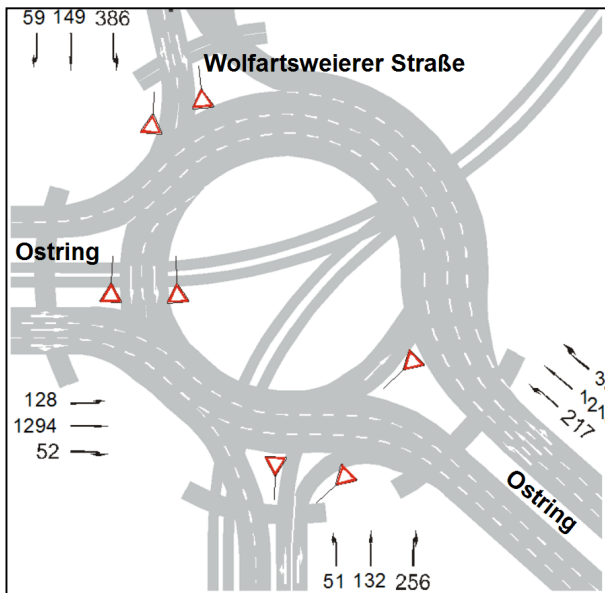


Abb 6. Prognostizierte Verkehrsbelastungen und Vorfahrtregelung für Kreisverkehr „Ostring“

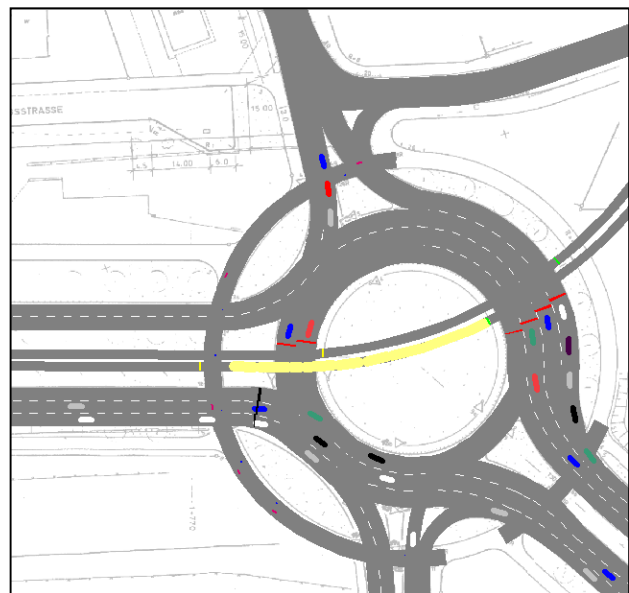


Abb 7. 2D Darstellung des geplanten Verkehrsablaufs mit niveaugleicher Führung der Stadtbahn; Pkw's warten vor einer Dunkel-Rot Signalanlage

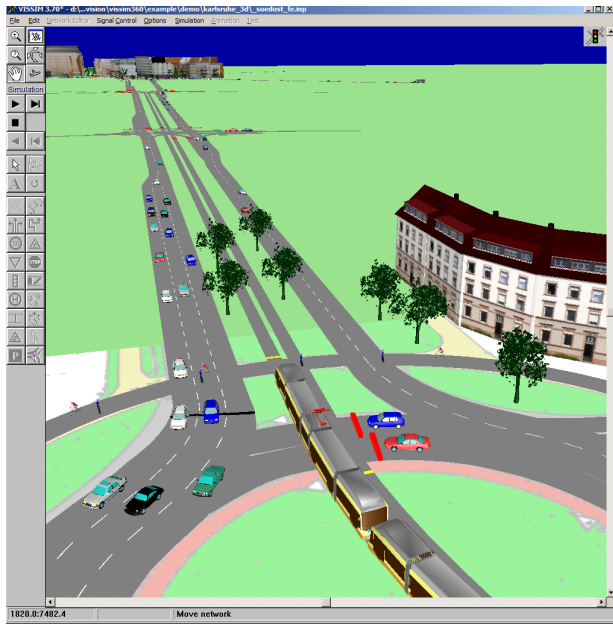


Abb 8. 3D Darstellung der gleichen Verkehrssituation wie Abb. 8

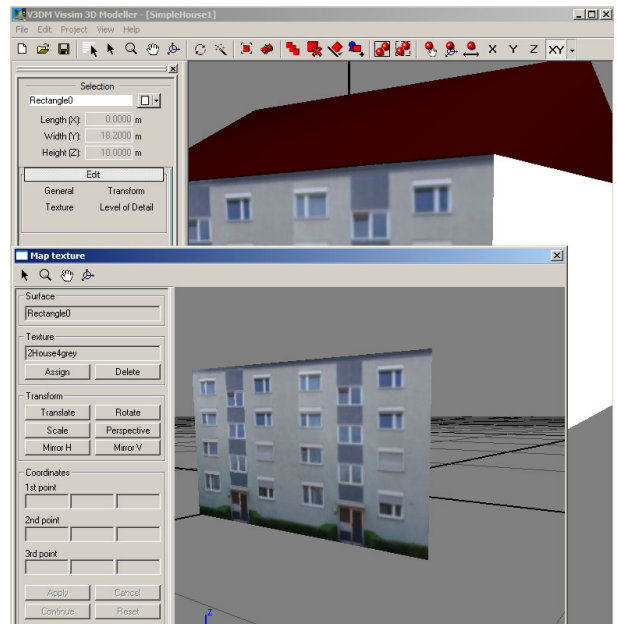


Abb 9. Erzeugung von 3D Bilderwelten für VISSIM; Fotos von existierenden Gebäuden werden als Texturen aufgebracht und als 3D-Modell in die Szenerie eingespielt

## 5 AUSBLICK:

Eine mikroskopische Verkehrsflussimulation erlaubt im Unterschied zu klassischen, analytischen Ansätzen die Schaffung eines „Versuchslabors“ zur Nachbildung realer Verkehrsabläufe. Unterschiedliche bauliche Szenarien und alternative Verkehrssteuerungen lassen sich unmittelbar am Rechner umsetzen; Kopplungs- und Interaktionseffekte werden direkt berücksichtigt. Insgesamt wird der komplexe Prozess „Verkehrsablauf“ transparenter und damit besser verständlich. Durch Variation einzelner Parameter kann der Planer erkennen, an welchen Stellschrauben er am besten ansetzen muss, um die Gesamtsituation im diffizilen Gebilde „Verkehr“ zu verbessern. In einigen Situationen mag es mit der Ummarkierung einzelner Fahrstreifen getan sein, in anderen Fällen hilft eine geänderte Lichtsignalsteuerung und in komplexen Anwendungen mag ein Problem nur durch Änderungen in der Verkehrsmittelwahl zu beheben sein. Eins jedoch ist diesen Beispielen gemeinsam – eine mikroskopische Verkehrssimulation ist ein geeignetes Werkzeug, die geplanten Veränderungen am Rechner zu bewerten. Dies wird auch in vielen Fällen erfolgreich getan, ohne dass es einem breiten Publikum bekannt ist. Mit der Einbeziehung von 3 dimensional Bilderwelten und den rasanten Entwicklungen der PC Hardware wird es jetzt möglich, 3D-Filme auf handelsüblichen PC's zu erstellen, zu bearbeiten und zu visualisieren. Die Einbindung der 3D-Bilderwelten in die mikroskopische Verkehrssimulation wird helfen, den abstrakten Verkehrsplanungsprozess transparenter zu gestalten. Die richtige Anwendung der Simulationsmodelle bleibt jedoch in der Verantwortung des Planers. Die Fähigkeit, schöne 3D-Landschaften aufzubauen macht aus einem Grafiker genauso wenig einen Verkehrsplaner, wie die Anwendung professioneller Textverarbeitungssysteme einen Schriftsteller ausmacht. Dennoch ist die Verknüpfung von fundierten Simulationsmodellen mit phantastischen grafischen Möglichkeiten ein ungemein reizvolles Hilfsmittel, neue Planungen überzeugend einer breiten Öffentlichkeit zu präsentieren.

