

3D-Simulationsmodelle als innovatives Werkzeug in der Verkehrsplanung

Thomas KLOCKER

Dipl.-Ing. Thomas Klocker, IBV-Fallast Ingenieurbüro für Verkehrswesen, Himmelreichweg 20, 8044 Graz-Mariatrost,
ibv@fallast.at

1. EINLEITUNG

Im Planungsprozess, speziell im Verkehrsplanungsprozess, werden nach einer Zustands-, Mängel- und Zielanalyse Maßnahmen oder Maßnahmenpakete zur Erreichung eines angestrebten Zieles entwickelt. Diese werden entweder von Fachexperten alleine und selbstständig entwickelt (bei reinen Fachfragen, zum Beispiel bei der Entwicklung von Signalprogrammen für eine Verkehrslichtsignalanlage), bei sehr komplexen Fragestellungen bedarf es oft aber auch einer fächerübergreifenden, interdisziplinären Zusammenarbeit von Bearbeitern aus unterschiedlichen Fachgebieten. Lösungen, die in Teams aus Raumplanern, Stadtplanern, Architekten und Verkehrsplanern erarbeitet werden, können durchaus auch von den gängigen Lösungen, die im Bereich der Verkehrsplanung üblich sind, abweichen und bessere Ergebnisse liefern.

Aufgabe des Verkehrsplaners ist es nun, die sehr komplexen Zusammenhänge und verkehrlichen Auswirkungen der entwickelten Maßnahmen zu ermitteln und die Ergebnisse für Entscheidungsträger z.B. den politisch Verantwortlichen und auch den Bürger anschaulich und verständlich aufzubereiten und darzustellen.

Da Verkehrslösungen vom Fachmann meistens mit komplizierten und nicht allgemein verständlichen Kennzahlen und Funktionen beschrieben werden, bieten sich 3D-Simulationsmodelle als hilfreiches Planungsinstrumentarium an. Auf der einen Seite können mit diesen Modellen sowohl verkehrsspezifisch relevante Kennzahlen (zum Beispiel Verflechtungslängen, Rückstaulängen, Stautunden usw.) berechnet werden, während auf der anderen Seite auch eine graphisch ansprechende Visualisierung des Verkehrsablaufes möglich ist. Diese hilft vor allem dem Bürger und den Politikern eine Verkehrssituation und die sich daraus ergebenden Vor- und Nachteile einer Maßnahmen zu verstehen.

Im nachfolgenden wird der Begriff der Simulation und der 3D-Simulationsmodelle genauer definiert und auf wesentliche Parameter eingegangen. Dazu werden Möglichkeiten, welche dieses Planungswerkzeug dem Fachmann bietet, anhand einiger konkreter Beispiele, welche vom Büro Fallast bearbeitet wurden, aufgezeigt.

2. SIMULATIONSMODELLE

Simulation bzw. Simulationen als solche werden im allgemeinen als Verfahren zur Analyse des Verhaltens von Systemen anhand von entsprechenden Modellen definiert. Verkehrssimulationsmodelle müssen somit nicht nur die Verkehrsinfrastruktur (Straßen und Wege) sondern darüber hinaus auch das Verhalten der verschiedenen Verkehrsteilnehmer abbilden können. Dadurch können im Modell die Reaktionen der Verkehrsteilnehmer auf eine vorgegebene Situation abgebildet werden. Durch die Veränderung und Variation der Verkehrsinfrastruktur kann dann auf das Verhalten in der Realität rückgeschlossen werden.

In den letzten Jahren wurden zwei unterschiedliche Typen von Verkehrsmodellen entwickelt, die makroskopischen und die mikroskopischen Simulationsmodelle.

- **Makroskopische Modelle:** Sie beschreiben die Gesamtheit der Bewegungsvorgänge, ohne auf die zugrundeliegenden Kräfte einzugehen. Die verkehrlich relevanten Zusammenhänge werden durch die Funktionen die zwischen der Verkehrsstärke, der Verkehrsdichte und der Geschwindigkeit bestehen und weitaus bekannt sind, sowie über die zeitliche und örtliche Veränderungen dieser Parameter beschrieben.
- **Mikroskopische Modelle:** Sie beschreiben das Verhalten eines einzelnen Fahrzeuges und zwar entweder in Abhängigkeit von den Leistungswerten des Fahrzeuges (Beschleunigungsverhalten, Bremsverhalten usw.) und der Bodenhaftung (solche Modelle werden als fahrdynamische Modelle bezeichnet) oder das Verhalten wird in Bezug auf das Fahrverhalten gegenüber benachbarten Fahrzeugen nachgebildet (Modelle der Fahrzeugfolge-theorie).

Im Büro Fallast wird ein mikroskopisches, verhaltensbasiertes und zeitschrittorientiertes Simulationsmodell verwendet. Dies bedeutet, dass durch das Modell,

- das Verhalten jedes einzelnen Fahrzeuges nachgebildet wird,
- zur Abbildung der Fahrvorgänge ein am tatsächlichen Verhalten der Verkehrsteilnehmer entwickeltes Verkehrsflussmodell verwendet wird (psycho-physisches Wahrnehmungsmodell nach Wiedemann, siehe unten) und
- das Modell den Verkehrszustand zu jedem gewünschten Zeitpunkt abbilden kann (die Zeitschritte können je nach Anforderung in Stunden, Minuten oder Sekunden gewählt werden)

Die Güte eines Simulationsmodells ist im wesentlichen von der Qualität des verwendeten Verkehrsflussmodells abhängig, d.h. von dem Verfahren, nach dem die Fahrzeuge im Straßennetz bewegt werden. Hierfür wird das psycho-physische Wahrnehmungsmodell von Wiedemann verwendet. Dieses wurde im Jahr 1974 entwickelt und beschreibt zum Beispiel das Schätzvermögen, das Sicherheitsempfinden und die Risikobereitschaft des Fahrers. Die Grundidee dieses Modells mündet in der Erkenntnis, dass der Fahrer eines schneller fahrenden Fahrzeuges beim Erreichen seiner individuellen Wahrnehmungsschwelle zum vorausfahrenden Fahrzeug zu bremsen beginnt. Da er die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeuges nicht genau einschätzen kann, sinkt seine Geschwindigkeit unter dessen Geschwindigkeit, so dass er wiederum nach dem Erreichen einer individuellen Wahrnehmungsschwelle leicht beschleunigt. Es kommt zu einem ständigen leichten Beschleunigen und Verzögern. Der Zeitpunkt wann diese Fahrvorgänge eingeleitet werden hängt dabei jeweils vom Fahrzeuglenker und seinem individuellen Fahrverhalten ab.

2.1 Simulationsparameter

Die gesamte Simulationsrechnung und somit auch das Ergebnis der durchgeführten Berechnungen wird wesentlich von den der Simulation zugrunde gelegten Parametern beeinflusst. Der wohl wesentlichste Parameter, neben der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur und der Verkehrszusammensetzung (Modal-Split), ist die Geschwindigkeitsverteilung der Fahrzeuge.

Die Fahrgeschwindigkeit innerhalb eines Verkehrsnetzes hängt nicht nur von den Leistungsparametern des Fahrzeuges, dem Fahrverhalten des Lenkers und der erlaubten Höchstgeschwindigkeit ab, sondern ganz wesentlich auch von der Belastung der jeweiligen Straße. Während auf der freien Strecke ein Fahrzeuglenker eines schnelleren Fahrzeuges überprüft, ob er das vor ihm fahrende Fahrzeug überholen kann oder nicht (kann er es nicht überholen, passt er seine Geschwindigkeit dem Vordermann an, es kommt zur sogenannten Pulkbildung), sinkt auf einer stark belasteten Straße, mit zunehmender Belastung der Straße, die fahrbare Geschwindigkeit ab. Die Geschwindigkeitsverteilung aller Fahrzeuge, die im unbeeinflussten Zustand im wesentlichen einer S-Kurve entspricht, nähert sich immer mehr einer Geraden (siehe Abbildung 1). Die Leistungsfähigkeit des gesamten Systems wird dadurch beeinflusst.

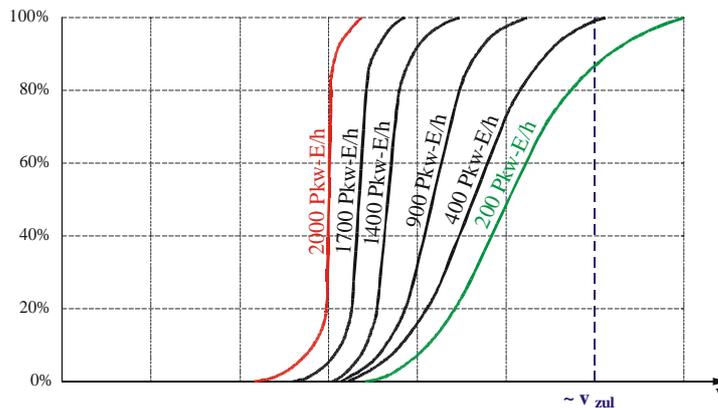


Abb.1: Summenlinien der Geschwindigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke

2.2 Ergebnisse einer Simulationsberechnung

Neben der 3D-Darstellung liefern Simulationsprogramme auch verschiedenste verkehrstechnisch relevante Parameter. Diese können zur Beurteilung des simulierten Zustandes herangezogen werden. Gemeinsam mit der Darstellung auf dem Bildschirm und den protokollierten Ergebnissen der Simulation ist es für den Fachmann möglich, entsprechende Rückschlüsse auf das tatsächliche Verhalten des Verkehrssystems unter den simulierten Randbedingungen zu ziehen. Die Berechnungsergebnisse sollten dabei idealerweise in beliebig großen Zeitschritten zusammengefasst und aggregiert werden können, damit eine leichte Übereinstimmung mit tatsächlich durchgeführten Erhebungen hergestellt werden kann (Kalibrierung des Modells). Zwei der wichtigsten Kennwerte sollen hier kurz genauer erläutert werden.

Querschnittsmessungen

Mit Hilfe von Querschnittsmessungen, die den Querschnittszählungen in der Natur gleichzusetzen sind, kann nicht nur die tatsächlich abgewickelte Verkehrsmenge im System und somit das Simulationsmodell auf seine Richtigkeit kontrolliert werden, sondern sie ermöglichen auch eine fahstreifengenaue Auswertung der Überfahrten. Für Aussagen, die zum Beispiel Auskunft darüber geben sollten, wie viele Fahrzeuge den inneren Fahstreifen eines zweistreifigen Kreisverkehrsplatzes benutzen sind solche Auswertungen von entscheidender Bedeutung.

Reisezeitmessungen

Mit Hilfe einer solchen Funktion ist es möglich zwischen zwei definierten Querschnitten die Reisezeit jedes Fahrzeuges und daraus auch die durchschnittliche Reisezeit des Fahrzeugkollektives zu ermitteln. Daraus lassen sich, über die Entfernung des Start- und des Endquerschnittes der Messung, die durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeiten im System ermitteln. Reisezeiten und vor allem Reisegeschwindigkeiten stellen für den Benutzer ein wesentliches Kriterium dar. Aus der Differenz der Reisezeit in einem gering belasteten System (ideale oder minimale Reisezeit) und der Reisezeit, welche zum Beispiel bei der Simulation der Verkehrsmenge einer Spitzenstunde aufgezeichnet wird, können die Verlustzeiten ermittelt werden. Verlustzeiten wiederum wirken sich sehr stark auf die Wirtschaftlichkeit und den volkswirtschaftlichen Nutzen einer geplanten Infrastruktur aus.

2.3 Vorteile von Simulationsberechnungen

Verkehrsumlegungsprogramme, mit deren Hilfe die Wegwahl der Fahrzeuglenker innerhalb eines Straßennetzes nachgebildet werden kann, berücksichtigen als Hauptkriterium für den besten Weg zwischen zwei Punkten meistens nur die mögliche Reisegeschwindigkeit (der beste Weg wird von den meisten Verkehrsteilnehmern mit dem schnellsten Weg gleichgesetzt). Die Reisegeschwindigkeit im Modell wird im Idealfall durch einen Zusammenhang zwischen Fahrzeugmenge und der vorhandenen Kapazität der Straße beschrieben (Capacity-Restraint-Verfahren). Behinderungen, die zum Beispiel an Kreuzungspunkten durch lange Wartezeiten bei Lichtsignalanlagen auftreten, können dabei nur über genau definierte Widerstandsfunktionen beschrieben werden (meistens über einen konstanten Widerstandsfaktor). Jedes Fahrzeug, dessen Weg über diese Kreuzung führt, erleidet dadurch den selben Verlust an Zeit.

In der Realität hingegen variieren diese Widerstände beträchtlich. Nicht nur deswegen, weil moderne Lichtsignalanlagen verkehrabhängig gesteuert werden können und dadurch die Grünzeiten einer Signalanlage über den Tag hinweg veränderlich sind,

sondern auch aufgrund der zeitlichen Verteilung der Verkehrsteilnehmer im Straßennetz. So kann zum Beispiel eine Straßenkreuzung in der Frühspitze zwischen 7.00 und 8.00 Uhr erheblich überlastet sein, während sie zwischen 8.00 und 9.00 Uhr ohne große Behinderungen befahren werden kann. Die Behinderung durch diese Straßenkreuzung ist somit nicht als Konstante modellierbar.

Wegwahlmodelle leiten den zeitschnellsten Weg zwischen zwei Punkten nur aus Durchschnittswerten ab. Sie eignen sich deshalb gut um neue Routen und Straßen im Netz zu planen (hier fallen die Wartezeiten an Kreuzungspunkten gegenüber der reinen Fahrzeit nicht ins Gewicht), für eine detaillierte Betrachtung der Fahrvorgänge an einem einzelnen Knotenpunkt sind sie allerdings zu ungenau und deshalb ungeeignet. Simulationsmodelle hingegen bilden das Fahrverhalten jedes einzelnen Fahrzeuges nach und eignen sich deshalb gerade für sehr detaillierte Betrachtungen bei denen der Einfluss des Systems auf das einzelne Fahrzeug eine wesentliche Rolle spielt.

Aktion – Reaktion

Der wesentliche Vorteil von Simulationsmodellen, neben der detaillierten Darstellung von Verkehrsabläufen, ist die Möglichkeit das Verhalten des Systems genauestens mitzuverfolgen. Auf eine vom Planer gesetzte Aktion folgt eine entsprechende Reaktion. Dabei können die Aktionen, die vom Benutzer gesetzt werden verschiedenster Natur sein. Im wesentlichen werden aber zwei Gruppen unterschieden, die Veränderung der Infrastruktur oder die Veränderung der Verkehrsnachfrage.

- **Veränderung der Infrastruktur (Verkehrsangebot):** Durch das Verändern der gegebenen Infrastruktur wird ein neues Verkehrssystem und dadurch bei gleichbleibender Verkehrsnachfrage eine veränderte Verkehrssituation erzeugt. Dadurch kann z.B. abgeschätzt werden, wie sich eine alternative Verkehrsregelung auf das System auswirkt; ob an einer Kreuzung ein Kreisverkehrsplatz eine höhere Leistungsfähigkeit aufweist als eine Lichtsignalanlage, ob durch mehrere Fahrstreifen eine Entflechtung der Fahrvorgänge erreicht werden kann oder ob dadurch riskante Fahrmanöver provoziert werden usw.
- **Veränderung der Verkehrsnachfrage:** Durch eine Veränderung der Nachfrage und damit durch eine größere oder kleinere Anzahl an Verkehrsteilnehmer im Netz ergeben sich für den einzelnen Fahrzeuglenker neue Bedingungen, es entsteht wiederum eine veränderte Verkehrssituation. Dadurch kann zum Beispiel beurteilt werden, ob ein Signalprogramm geeignet ist, um eine bestimmte Verkehrsmenge zu bewältigen, ob durch eine erhöhte Verkehrsnachfrage Stauungen zu erwarten sind, ob Rückstaulängen und Aufstellflächen ausreichend dimensioniert sind oder ob sich gewisse Fahrzeugströme gegenseitig behindern usw.

Grundsätzlich muss an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht werden, dass im Bereich der Verkehrsplanung eine ständige Wechselwirkung zwischen der Verkehrsinfrastruktur, der Verkehrsnachfrage und dem Verkehrsablauf besteht. Maßnahmen welche die Verkehrsinfrastruktur oder die Verkehrsnachfrage verändern, verändern automatisch auch den Verkehrsablauf (auf eine Aktion folgt immer eine entsprechende Reaktion).

Visualisierung

Eines der Hauptprobleme vieler guter Ideen ist das mangelnde Verständnis derer, die solche Ideen verwirklichen können (Politiker oder Entscheidungsträger anderer Art) bzw. auch die berechtigte Skepsis des betroffenen Bürgers gegenüber Neuerungen. Vielfach verschwinden gute Ideen in Schubladen nur weil der Planer keine geeigneten Möglichkeiten fand, sie seinem Gegenüber "verständlich" zu machen.

Der Großteil der Bevölkerung kann sich aus einfachen zweidimensionalen Planzeichnungen und den dazugehörigen Schnitten kein reales Bild einer Planung machen. Diesem Mangel an Vorstellungskraft kann durch eine gezielte Visualisierung des Planes abgeholfen werden. Wie im Fernsehen oder im Kino ist es durch eine 3D-Darstellung möglich sich verschiedene Verkehrsabläufe und Verkehrssituationen am Bildschirm anzuschauen. Fachspezifische Kennwerte wie Rückstaulängen, Verflechtungslängen, Wartezeiten usw. können sichtbar und somit verständlich gemacht werden. Dadurch bietet sich nicht nur die Möglichkeit die entworfene Lösung einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, sondern es ermöglicht auch neue Formen des Dialoges mit den Betroffenen und Politikern, da sie selber eine problematische Situation erkennen und zu deren Lösung Vorschläge einbringen können.

2.4 Simulationsmodelle im Planungsprozess

In den nachfolgenden zwei Abschnitten sollen anhand zweier konkreter Projekte die Möglichkeiten von Simulationsmodellen beschrieben werden. Neben dem detaillierten Arbeitsablauf und dem gewünschten Ergebnis sollen kurz die durchaus nicht alltäglichen Erkenntnisse, die mit Hilfe von Simulationsrechnungen gewonnen werden konnten beschrieben werden.

2.5 Verkehrsuntersuchung für den Autobahnknoten Graz-Ost

Vom Büro Fallast wird innerhalb eines Teams aus Verkehrstechnikern, Umwelttechnikern und Raumplanern von Herbst 2001 bis ins Frühjahr 2002 die Verkehrsuntersuchung zum Knoten Graz-Ost durchgeführt. Der Autobahnanschluss Graz-Ost liegt im Südosten von Graz und verbindet den aus der Stadt Graz kommenden Autobahnzubringer mit der A2-Südautobahn. In unmittelbarer Nachbarschaft zum Knoten liegt die Autobahnanschlussstelle Puchwerk, welche hauptsächlich durch die Zufahrten in die beiden Autowerken von Eurostar und Steyr Fahrzeugtechnik belastet wird. Durch die angestrebte Produktionsausweitung von Steyr Fahrzeugtechnik ist in den nächsten Jahren mit einem deutlich erhöhten Verkehrsaufkommen zu rechnen. Vor allem zu den Schichtwechselzeiten wird die gesamte Infrastruktur sehr hoch belastet sein.

Verkehrsumlegungen ließen aufgrund der erhöhten Nachfrage zwar die Notwendigkeit von Maßnahmen erkennen, doch zeigten hier schon kleine Ausbaumaßnahmen, wie die Abmarkierung zusätzlicher Fahrstreifen im Knotenpunktsbereich eine entsprechend entspannende Wirkung. Über den gesamten Tag bzw. über die 16 höchstbelasteten Stunden hinweg gesehen sind keinerlei Kapazitätsprobleme zu erwarten. Ein unmittelbarer Anlass zu Ausbau- bzw. Umbaumaßnahmen konnte deshalb anfangs nicht zwingendermaßen festgestellt werden.

Durch die Simulation der Tagesspitzenstunden im Bereich des gesamten Autobahnknotens konnte allerdings festgestellt werden, dass auch ohne neu induzierten Verkehr, welcher durch den Autocluster verursacht wird, die vorhandene Infrastruktur bis ins Jahr 2005 an ihre Leistungsfähigkeitsgrenzen stößt. Durch die Verflechtung der Fahrzeugströme aus Wien und Klagenfurt kommt es zu erheblichen Behinderungen im unmittelbaren Knotenpunktsbereich. Diese können zu den täglichen Spitzenverkehrszeiten auch so groß werden, dass der Rückstau bis auf die Südautobahn reicht. Somit besteht unabhängig von den Ausbaumaßnahmen des Autoclusters eine dringende Notwendigkeit zum Umbau des Knotens Graz-Ost. Durch die Analyse der Verkehrssituation konnte nicht nur die Ursache für die Stauerscheinungen festgestellt werden, sondern auch wesentliche Anhaltspunkte für die im Team auszuarbeitenden Lösungsvarianten vorgegeben werden.

Durch die Einbeziehung aller Beteiligten und die begleitende Ausarbeitung der entwickelten Lösungen mit Hilfe einer Verkehrsflusssimulation konnte eine befriedigende Lösung, welche auch noch für die nächsten 15 Jahre keine größeren Probleme erwarten lässt, gefunden werden.



Abb.2: Knoten Graz-Ost; dargestellt ist die Autobahnabfahrt Puchwerk mit Blickrichtung nach Nordosten



Abb.3: Kreisverkehr mit Lichtsignalanlage und Busbevorzugung

2.6 Kreisverkehr mit Lichtsignalanlage

Um die Verkehrssituation an häufig überlasteten Verkehrslichtsignalanlagen zu verbessern wird seit einigen Jahren wieder der Umbau des Kreuzungsbereiches in einen Kreisverkehrsplatz in Betracht gezogen. Diese Maßnahme hat sich bei vielen Knotenpunkten als Lösung bewährt. Bei Knotenpunkten, an denen große Verkehrsmengen abgewickelt werden lässt sich die zu erwartenden Verbesserung durch einen Kreisverkehr jedoch nur sehr schwer abschätzen. Für solche Entscheidungen bietet sich die Simulation des Verkehrsflusses zur Beurteilung der zu erwartenden Verkehrssituation an.

Im Bereich von Kreuzungspunkten spielt vor allem die Warte- bzw. Verlustzeit des einzelnen Fahrzeuglenkers eine bedeutende Rolle. Überschreitet diese eine Schwelle von rund 90 Sekunden, so verändert sich das Fahrverhalten der Fahrzeuglenker merklich. Wartezeiten von mehr als rund 1½ Minuten werden kaum mehr akzeptiert, das Fahrverhalten wird rauer und rücksichtsloser. Vor allem im Bereich von Lichtsignalanlagen können solche Wartezeiten leicht auftreten.

Durch die Möglichkeit während des Simulationslaufes die Reisezeit mitprotokollieren zu lassen, kann aus dem Vergleich der Reisezeiten einer sehr gering belasteten Stunde (Nachtstunde) mit der Reisezeit in der Spitzenstunde die Verlustzeit der Fahrzeuglenker beim Durchfahren des Kreuzungsbereiches abgeschätzt werden. Über die Veränderung der Verkehrsnachfrage können verschiedene Zustände dargestellt werden, wobei aus den Erkenntnissen von am Knoten durchgeführten Erhebungen oder statistischen Kennwerten jeweils die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines solchen Zustandes abgeschätzt werden kann. Über die Korrelation der simulierten Verluste mit den Messungen vor Ort kann die Anzahl der Stunden hochgerechnet werden, in denen die Gefahr besteht, dass die Verkehrsinfrastruktur überlastet ist. Diese Kennwerte wiederum dienen den Entscheidungsträgern und Planern als Grundlage für die Variantenauswahl.

Im Zuge der Simulation eines Kreisverkehrsplatzes konnte dabei festgestellt werden, dass die Kombination aus Lichtsignalanlage und Kreisverkehrsplatz, also ein Kreisverkehr mit Lichtsignalanlagen im bzw. am Kreis, eine deutlich höhere Leistungsfähigkeit aufweist als eine optimal gesteuerte Lichtsignalanlage oder ein Kreis mit optimalem Lenkerverhalten. Durch das Sammeln der Fahrzeuglenker an der Einfahrt in den Kreis und das gemeinsame Durchleiten durch den Kreis (mit Hilfe einer Grünen Welle) erhöht sich die Leistungsfähigkeit des gesamten Knotenpunktsbereiches. Eine solche Lösung ist zwar im Ausland schon mit Erfolg getestet worden, vor allem im angelsächsischen Raum wird diese Lösung oft praktiziert, in Österreich war die Simulation eines solchen Kreisverkehrs aber erst der Anstoß zu einer regen Diskussion in Expertenkreisen. Die Simulation und die dreidimensionale Visualisierung des Verkehrsablaufes wurden somit ihren Anforderungen als innovatives Werkzeug in der Verkehrsplanung gerecht.

LITERATURVERZEICHNIS

- Fallast K., Klocker T.: Verkehrsuntersuchung Knoten Graz-Ost, IBV-Fallast, 2002
 Klocker T.: Der Kreisverkehr als Nadelöhr im Buskorridor, TU-Graz, 1999