

Ansätze zur kognitiven Simulation eines Autofahrers

DANIEL KRAJZEWICZ & PETER WAGNER

Institut für Verkehrsforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Schlüsselwörter: Fahrermodellierung, Verkehrssimulationen, Verkehrsmodelle, Kognition

1. Zusammenfassung

Das Institut für Verkehrsforschung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (IVF/DLR) setzt in vielen Projekten Simulationen des Straßenverkehrs ein, z.B. um Schwachstellen in Verkehrsnetzen zu finden oder um Geräte zur Verkehrskontrolle oder -beeinflussung während ihrer Entwicklung zu bewerten. In der Regel kommen dabei sogenannte mikroskopische Simulationen zum Einsatz, deren betrachtete Größe ein Fahrer-Fahrzeug-Objekt ist, das die Bewegung eines Fahrzeugs im Verkehrsnetz durch wenige Gleichungen beschreibt. Solche Modelle erlauben die Simulation des Straßenverkehrs großer Städte in Echtzeit, allerdings bilden sie den Prozess des Fahrzeugführens nur vereinfacht ab.

Innerhalb eines der Projekte des IVF soll das Verhalten eines einzelnen Autofahrers genauer untersucht und modelliert werden. Während solche Modelle auch für andere Gebiete der Verkehrsforschung interessant sind, z.B. der Forschung zu Fahrsicherheit oder zu Fahrerassistenzsystemen, erhoffen wir uns, so Rückschlüsse auf den Verkehrsfluss ziehen und somit die Qualität mikroskopischer Modelle erhöhen zu können. Im Rahmen dieses Berichts sollen nach einer kurzen Einführung in die Thematik „Verkehrssimulation“ unsere ersten Ansätze zum Aufbau einer in ein simuliertes Verkehrsgeschehen integrierten Simulation der Fahrerkognition gegeben werden.

2. Einleitung

Simulationen sind ein innerhalb der Verkehrsforschung häufig eingesetztes Werkzeug. Bei der Entwicklung neuer Technologien werden Simulationen benutzt um die Auswirkungen dieser Technologien zu berechnen und so deren Vorteile gegenüber konventionellen Methoden vorherzusagen. Ein Beispiel hierfür ist die Simulation „optischer Informationssysteme“ (OIS) im Rahmen des gleichnamigen Projektes des

IVF. Die Kenngrößen simulierter OIS wurden innerhalb der Simulation für eine Lichtsignalsteuerung verwendet. So konnte ohne direkte Eingriffe in den realen Verkehr gezeigt werden, dass die von OIS erzeugten Beschreibungen des Verkehrszustandes, die herkömmliche Detektoren nicht liefern, verbesserte Flusststeuerungen ermöglichen. Im Rahmen des Großprojektes INVENT der deutschen Automobilhersteller werden Simulationen eingesetzt, um die hier entwickelten Verkehrsmanagementstrategien zu bewerten und neue Methoden der Optimierung des Verkehrsflusses zu entwickeln. Ein weiteres, im Jahr 2002 abgeschlossenes Projekt, befasste sich mit der Simulation des Mobilitätsverhaltens einer synthetischen Bevölkerung. Hier wurden statt Fahrzeugen einzelne Personen und ihre Mobilitätswünsche modelliert. Da die Fahrtwünsche auf ein multimodales Verkehrsnetz umgelegt wurden, diente eine Verkehrssimulation als ein mittelbar eingesetztes Werkzeug zum Berechnen des Verkehrszustandes auf der Straße und somit der Attraktivität des straßengebundenen Verkehrs für die synthetische Bevölkerung (Hertkorn 2002). Neben weiteren Faktoren sollte so die Entwicklung der Bevölkerungsstruktur vorhergesagt werden.

Das IVF versucht die Qualität der eingesetzten Modelle zu verbessern. So werden z.B. mit speziell erweiterten Fahrzeugen oder neuen Sensoren Messungen durchgeführt, um mehr über die tatsächliche Dynamik des Verkehrs zu erfahren, neue mikroskopische Modelle entwickelt oder die Parameter bekannter mikroskopischer Verkehrsflussmodelle an Messungen angepasst (Brockfeld, Kühne & Wagner 2002). Das hier vorgestellte „Kognitive Fahrermodell“ versucht ebenfalls die Abbildungsgenauigkeit mikroskopischer Modelle zu verbessern, verfolgt jedoch einen anderen Ansatz. Statt weiterer Arbeit mit mikroskopischen Modellen wird versucht, ein genaueres Denk- und Datenflussmodell eines einzelnen Autofahrers zu erstellen. Solche Modelle werden im Allgemeinen als „sub-mikroskopisch“ bezeichnet. Die aus diesem Modell und den Ergebnissen der mit ihm durchgeführten Simulationen gewonnenen Erkenntnisse sollen dann in mikroskopische Verkehrssimulationen und -modelle eingebettet werden.

In den folgenden Kapiteln wird zunächst das Thema Verkehrssimulationen besprochen, wobei neben einer Vorstellung der Annahmen mikroskopischer Modelle erläutert wird, wofür fein aufgelöste Modelle eines menschlichen Fahrers benutzt werden können. Danach wird das von uns entwickelte kognitive Modell vorgestellt. Im Anschluss wird ein Ausblick auf seine weitere Entwicklung gegeben.

3. Verkehrssimulationen und -modelle

3.1 Mikroskopische Simulationen

In vielen Fällen ist das bei Verkehrssimulationen betrachtete Areal sehr groß, meistens eine ganze Stadt oder ein Stadtzentrum. Von den eingesetzten Modellen wird daher nicht nur eine hohe Qualität, sondern auch eine hohe Ausführungsgeschwindigkeit verlangt. So konnten noch vor einigen Jahren für solche Simulationen nur sogenannte makroskopische Modelle eingesetzt werden. Statt einzelner Fahrzeuge betrachten diese Modelle den Verkehrsfluss – eine aus den einzelnen Fahrzeugbewegungen aggregierte Größe. Durch den Fortschritt der Computertechnik werden diese Modelle jedoch zunehmend durch sogenannte mikroskopische Simulationen ersetzt, die den Verkehrsfluss in einzelne Fahrzeuge aufbrechen und das Verhalten dieser abbilden. Die in mikroskopischen Simulationen benutzten Modelle zur Beschreibung

der Fahrzeugbewegungen sind bewusst einfach gehalten, um eine hohe Ausführungsgeschwindigkeit zu erreichen. So ist die am IVF entwickelte mikroskopische Simulation "SUMO"¹ (siehe Abbildung 1) in der Lage, ca. 1.000.000 Fahrzeugbewegungen pro Sekunde auf einem 1GHz-PC zu berechnen. Jede Fahrzeugbewegung beschreibt dabei das Verhalten des simulierten Fahrzeugs über einen Zeitraum von einer Sekunde.

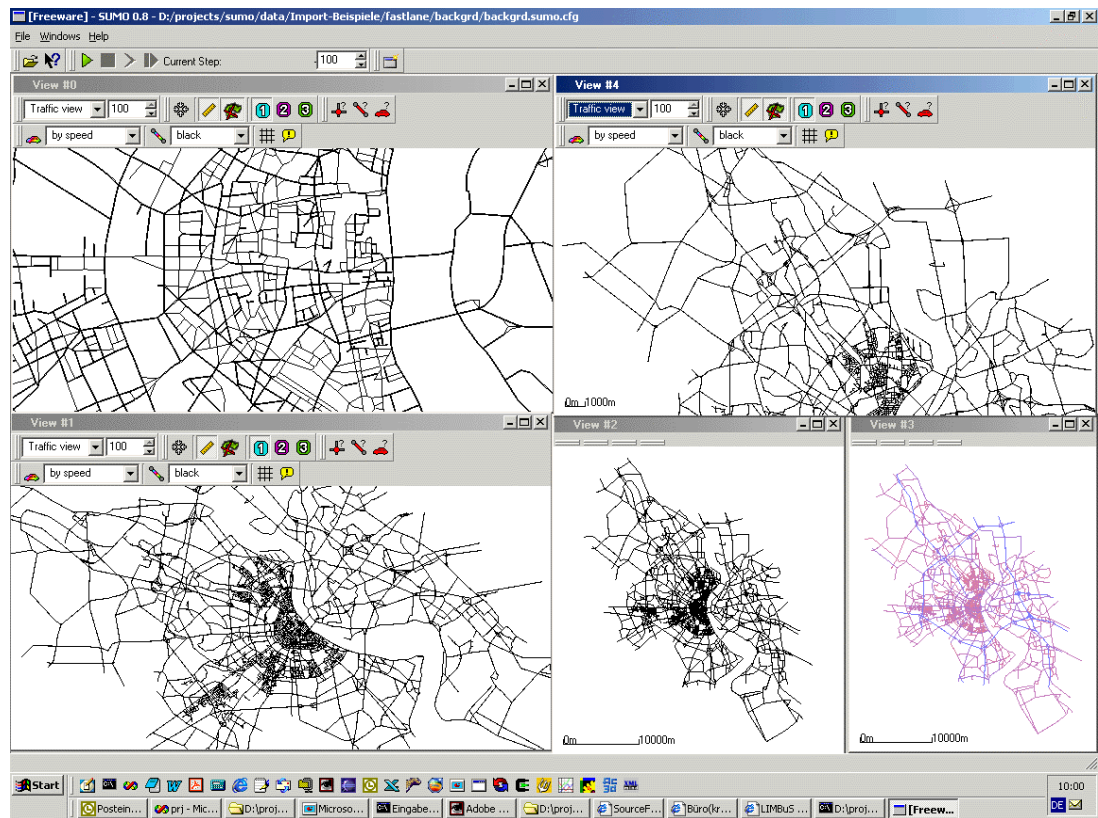


Abbildung 1: Mikroskopische Simulation von Köln mit SUMO.

Innerhalb der Verkehrsforschung existiert eine Vielzahl mikroskopischer Modelle. Sie müssen vor allem in der Lage sein, den Fluss auf einer Straße realistisch abzubilden. Diese Größe hängt hauptsächlich von der Dichte der Fahrzeuge auf der Straße ab, wie in Abbildung 2 zu sehen ist. Auch sollte das Entstehen und das Verschwinden von Staus möglichst korrekt simuliert werden. Aus Beobachtungen ist z.B. bekannt, dass Staus die Eigenschaft haben, sich stromabwärts zu bewegen und spontan zu entstehen. Eine durch mikroskopische Modelle zudem oft umgesetzte Eigenschaft der Fahrzeugdynamik ist das von Wiedemann (1974) entdeckte und formalisierte Pendelverhalten eines Fahrers um einen Fixpunkt hinter dem vorausfahrenden Wagen.

¹ „Simulation of Urban MObility“ (SUMO) ist eine frei erhältliche, mikroskopische Verkehrssimulation; siehe: <http://sumo.sourceforge.net/>

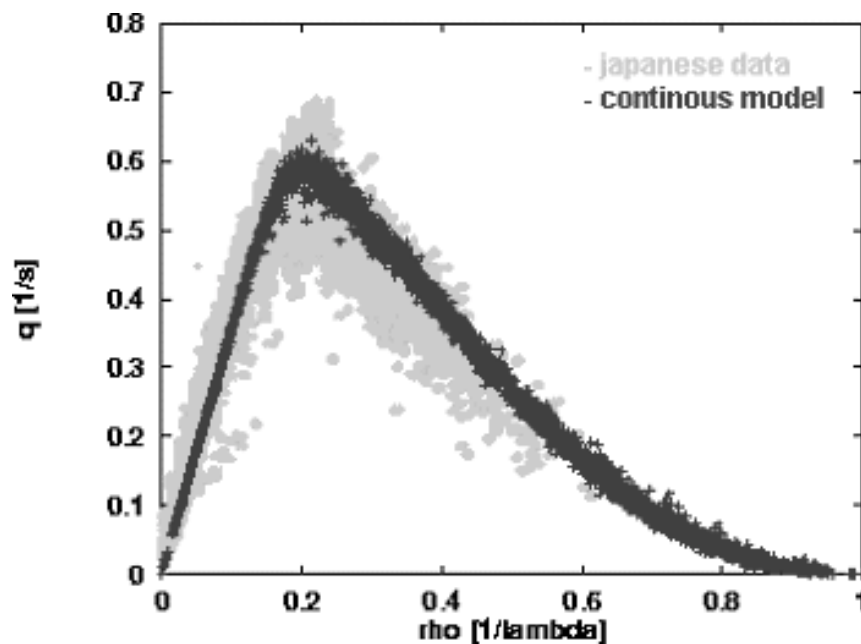


Abbildung 2: Fundamentaldiagramm (Fahrzeugfluss über Fahrzeugdichte).

Mikroskopische Modelle, die die erwähnten Anforderungen erfüllen, können sehr einfach gehalten sein. So besitzt das am IVF eingesetzte, in Krauß (1998) beschriebene Modell nur fünf Parameter: die Fahrzeuglänge, das maximale Bremsvermögen, die maximale Beschleunigung, die Höchstgeschwindigkeit und eine weitere Variable, die das Unvermögen des Fahrers, die gewünschte Geschwindigkeit zu erreichen, beschreibt. Die so genannte „gewünschte“ Geschwindigkeit ergibt sich aus dem Sicherheitsabstand, der aus den Geschwindigkeiten beider Fahrzeuge, dem Abstand zwischen ihnen und ihrem Bremsvermögen errechnet wird – ein Paradigma, das innerhalb der mikroskopischen Modelle sehr häufig benutzt wird, weshalb diese als „Fahrzeugfolgemodelle“ bezeichnet werden. Die tatsächliche Geschwindigkeit des simulierten Fahrzeugs hängt neben der vom Fahrer gewünschten Geschwindigkeit von dem Beschleunigungsvermögen, der Maximalgeschwindigkeit des Fahrzeugs und der das Unvermögen des Fahrers beschreibenden Variable ab.

Das Modell von Krauß beschreibt nur die Längsgeschwindigkeit, wie die meisten mikroskopischen Modelle. Mit dem Einsatz der Modelle in „realen“ Umgebungen, also Wegenetzen, wurde eine Simulation der Spurwechselmanöver nötig. Innerhalb mikroskopischer Simulationen wird der Spurwechsel meistens auf bereits vorhandene mikroskopische Fahrzeugfolgemodelle aufgesetzt. Die zeitliche Dynamik wird kaum betrachtet. Innerhalb eines Schrittes kann das simulierte Fahrzeug von einer Spur auf eine andere wechseln – und im nächsten wieder zurück.

Wie aus ihrer Vorstellung erkennbar, vernachlässigen mikroskopische Modelle viele Elemente der Fahrzeugdynamik. Nur einige beinhalten die mit steigender Fahrzeuggeschwindigkeit abnehmende Beschleunigung. Ebenfalls selten modelliert werden Gangwechsel, die aufgrund von Aufmerksamkeit variierenden Reaktionszeiten des Fahrers, die unter Umständen fehlerbehaftete Aufnahme von Informationen aus der Umwelt, die Wahl der Geschwindigkeit und andere Aspekte der Fahrzeugführung, auch wenn diese Aspekte sicherlich Auswirkungen auf den Verkehrsfluss haben.

3.2 Sub-Mikroskopische Simulationen

Erst seit der zweiten Hälfte der 90er Jahre werden viele mit den Themen „Fahrerassistenzsysteme“ und „Verkehrssicherheit“ verknüpften Modelle entwickelt, die versuchen, den Fahrer genauer abzubilden. Zum Einen wurde diese Entwicklung erst in den letzten Jahren durch Fortschritte der Psychologie, der Forschung zu Mensch-Maschine-Interaktion und durch die gleichzeitig steigende verfügbare Rechenkapazität möglich und berechenbar. Zum Anderen rückt die Thematik selbst verstärkt in den Vordergrund in dem Bemühen, das Fahren sicherer zu gestalten und den Versuchen, dieses durch das Abbilden und Erforschen dieses Prozesses in Simulationen zu erreichen (vgl. Jürgensohn 2001).

Durch eine feinere Auflösung des Fahrer-Fahrzeug-Objektes und die damit einhergehende Reduktion der Simulationsgeschwindigkeit sind sub-mikroskopische Simulationen kaum in der Lage die Bewegung vieler Fahrzeuge in einer vertretbaren Zeit zu berechnen. Somit ändern sich auch die an sie gestellten Aufgaben. Sub-mikroskopische Simulationen werden für die Beantwortung folgender Fragestellungen herangezogen:

- Wie gut sind die fahrzeuginternen Anzeigen erkennbar?
- Wie aufmerksam ist der Fahrer und wo gibt es Engpässe in seiner Aufmerksamkeit?
- Welchen Einfluss haben Fahrerassistenzsysteme und andere Geräte auf den Fahrprozess und die Fahrtüchtigkeit des Fahrers?
- Wodurch entstehen Unfälle und wie können sie verhindert werden?
- Wie entstehen makroskopisch beobachtbare Verkehrszustände (Stau, Stop-And-Go, synchronisierter Verkehr)?
- Wie wird der Verkehr durch das Verhalten einzelner Fahrer bedingt?

Die hier beschriebene Arbeit konzentriert sich vorrangig auf die Beantwortung der letzten beiden Fragen. Klassische Untersuchungen zu Mensch-Maschine-Interaktion werden sekundär behandelt.

4. Modellstruktur

4.1 Grundstruktur der Simulation

Das Modell soll die menschliche Kognition abbilden. Fokussiert werden die für den Vorgang des Fahrzeugführens notwendigen Strukturen und Prozesse. Unter Kognition versteht man nach Neisser „...alle jene Prozesse, durch die der sensorische Input umgesetzt, reduziert, weiter verarbeitet, gespeichert, wieder hervorgeholt und schließlich benutzt wird“ (Neisser 1974 S.19). Ausgehend von der Annahme, der Fahrer würde Informationen aus der Umwelt aufnehmen, in Bedeutungen umwandeln und aus diesen seine Aktionen ableiten, erhält man den in Abb. 3 schematisch dargestellten Informationsfluß in einer stark vereinfachenden Form. Diese Sicht auf den Fahrprozess wird in Ingenieurwissenschaften als die „Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Schleife“ bezeichnet (vgl. Jürgensohn 2001). Das Modell soll den gesamten Vorgang möglichst komplett, wenn auch an einigen Stellen vereinfachend, umfassen.

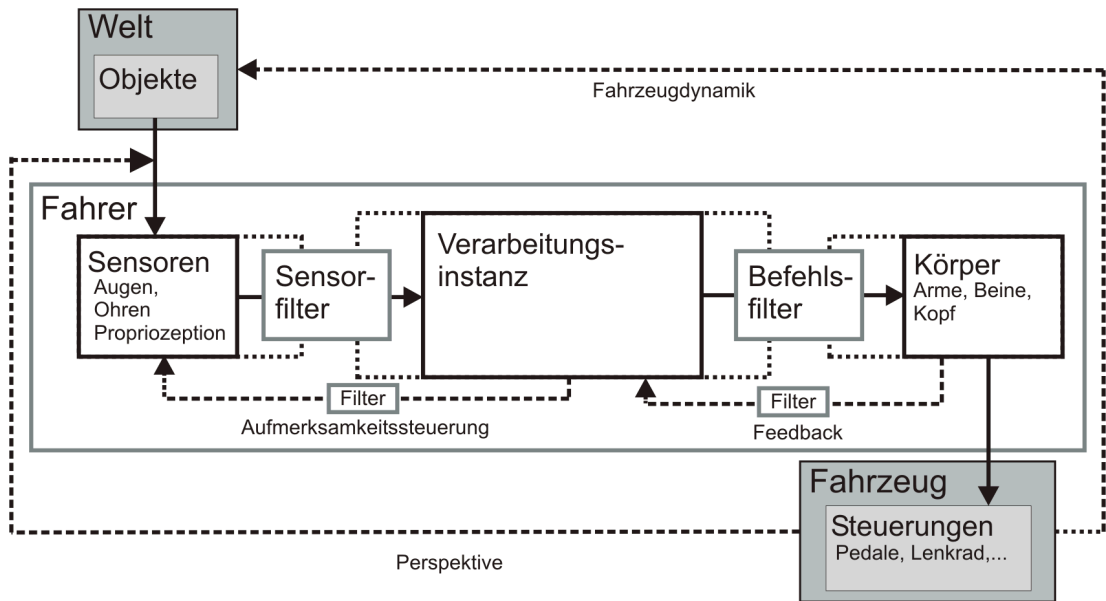


Abbildung 3: Schematische Abbildung des Informationsflusses beim Führen eines Fahrzeugs.

Die Simulation spielt in einem dreidimensionalen Raum. Aus diesem Grund haben alle in der Simulation enthaltenen Objekte ein Aussehen, wodurch nicht nur die Visualisierung der Szene vereinfacht, sondern auch eine realitätsnahe Modellierung der Wahrnehmung möglich wird. Abbildung 4 zeigt die Darstellung einer Simulationsszene.

Als Programmiersprache wurde Java ausgewählt. Das gesamte System wurde vollständig neu aufgebaut, der Einsatz anderer submikroskopischer Verkehrssimulationen verworfen, weil die meisten nur unvollständig beschrieben und nur als geschlossene Programme erhältlich sind und somit der Forschung und der späteren Weiterentwicklung nicht dienen können. Durch einen eigenen Ansatz erhoffen wir uns auch einen größeren Erkenntnisgewinn.

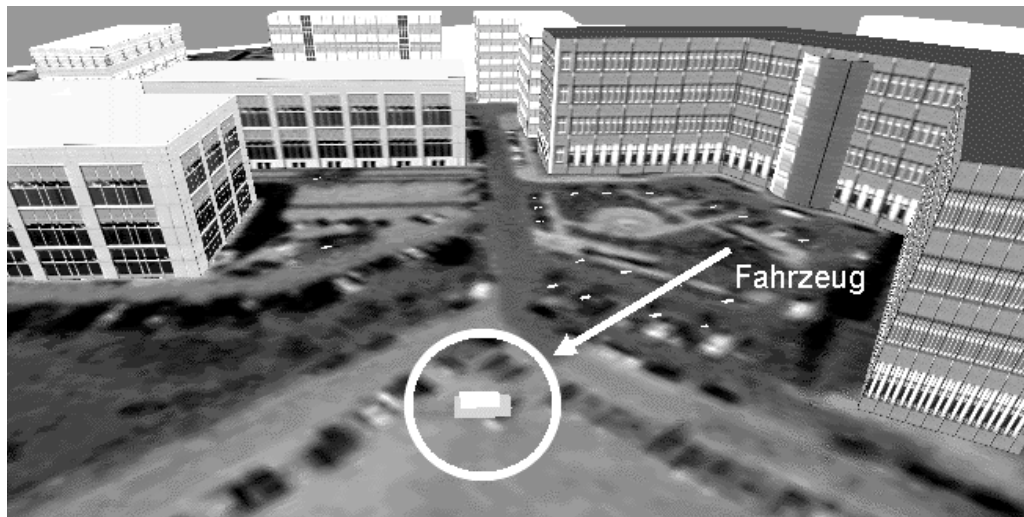


Abbildung 4: Beispiel für die Darstellung der Simulationsumgebung; das Fahrzeug wurde zur besseren Sichtbarkeit nachträglich markiert.

Das System ermöglicht die Spezifikation der Umgebung, der Aktionsmöglichkeiten des Autofahrers und weiterer Parameter in XML. Die Ausgaben werden in XML-Dateien abgelegt oder auf dem Bildschirm dargestellt. Die Simulation läuft mit simulierten Intervallen von 100ms für einfache Szenen in Echtzeit ab.

Unsere Sicht auf die Kognition ist bereits in Abb. 3 gezeigt worden. In den nächsten Abschnitten werden die in ihr enthaltenen Strukturen einzeln tiefergehender besprochen.

4.2 Sensoren

4.2.1 Sehen

Den Augen wird der größte Anteil an der Informationsaufnahme beim Autofahren zugesprochen. Das spiegelt sich wider in der Menge zu diesem Thema erhältlichen Arbeiten. Bei der Erforschung der Aufnahme optischer Informationen werden unterschiedliche Ansätze verfolgt. Neben Modellen, die das Erkennen und Bewerten von Szenen zum Gegenstand haben (siehe z.B. Jürgensohn 1997 oder Dörner 2001) finden sich Untersuchungen zu der Qualität der Informationsaufnahme (Epstein, Rogers 1995) oder zur Bewegung der Augen, sogenannten Sakkaden (siehe z.B. Velichkovsky et al 1995).

Mit dem Submodell des Sehens wird nicht der Anspruch verfolgt, den Prozess der Informationsverarbeitung von der Reizaufnahme bis zur semantischen Kodierung nachzubilden. Die tatsächlichen Abläufe sind noch weitgehend unerforscht. Ihre Komplexität und ihr massiv paralleles Ablaufen sind auf herkömmlichen, sequentiellen Rechnern nicht umsetzbar, wenn die Simulation eine praktikable Ausführungsgeschwindigkeit behalten soll. Interessant sind für uns die Augen stattdessen als eine begrenzte Ressource: Objekte, auf die sie nicht gerichtet sind, können nicht wahrgenommen werden, die Aufnahme einer bestimmten Information dauert eine bestimmte, statistisch erfassbare Zeit, das Erkennen eines Objektes z.B. ~400ms (Dornhoefer 1999). Der Fahrer ist daher in komplexen Situationen gezwungen, die Ressource „Sicht“ angemessen zu verwalten.

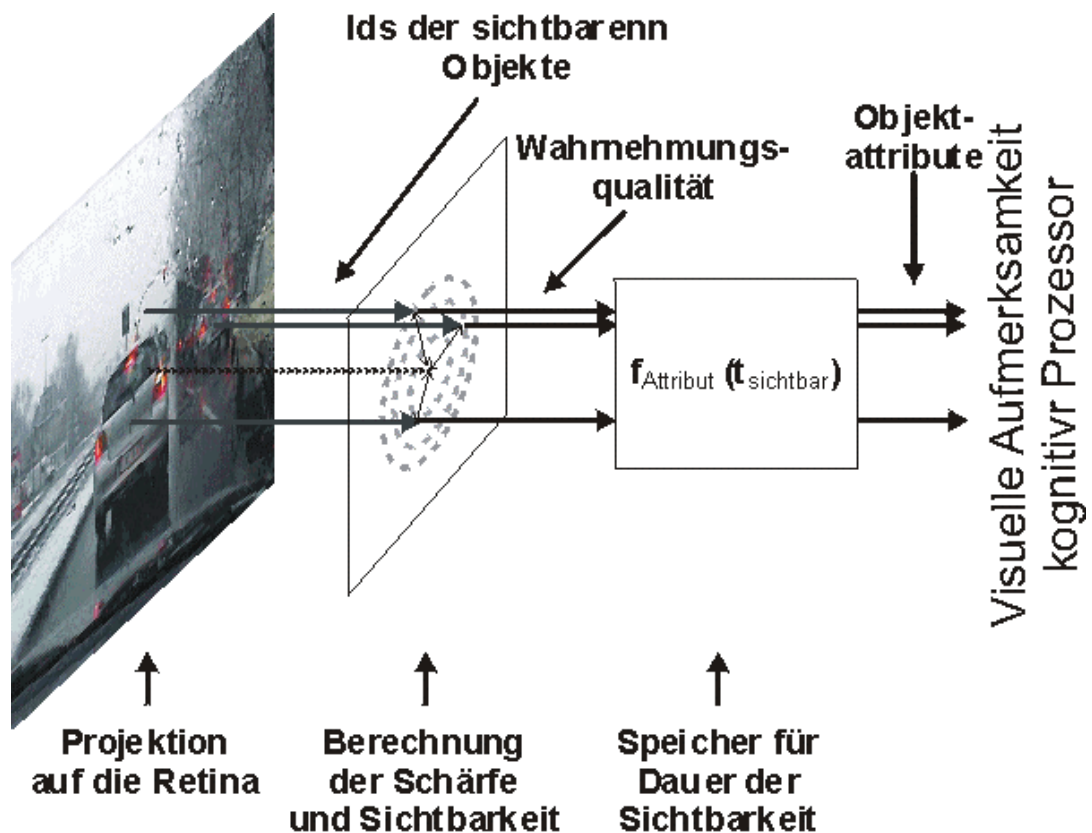


Abbildung 5: Abriss des Modells der Wahrnehmung.

Bei der Simulation des Sehens werden die in der Simulationsbeschreibung kodierte Objekte wie Fahrzeuge, Gebäude und Straßen auf eine simulierte Retina projiziert. In jedem Zeitschritt werden in Abhängigkeit vom Abstand zu der Retinamitte die Qualität ihrer Wahrnehmung berechnet und über mehrere Zeitschritte akkumuliert, wie in Abbildung 5 zu sehen. Die so gefilterten Informationen werden an die Verarbeitungsinstanz weiter gegeben.

4.2.2 Weitere Sinne

Als weitere Sinne werden der Hörsinn und die wahrgenommenen Fliehkräfte berücksichtigt. Den Hörsinn benutzen Fahrer vor allem, um den Zustand des eigenen Fahrzeugs zu bestimmen, insbesondere seiner Geschwindigkeit. In einem starken Zusammenhang damit steht die Wahl des Gangs, beschrieben in Diekamp 1995). Hierbei ist lediglich die Lautstärke des Fahrgeräusches wichtig, so dass das Geräuschmodell sehr einfach gehalten werden kann. In Abhängigkeit von der Drehzahl des Motors und der Geschwindigkeit wird ein Wert für die Lautstärke des Wagens berechnet und direkt an die Fahrerinstanz weiter gegeben. Es wird keine Filterung berücksichtigt.

Messungen ergaben, dass Fahrer „Lieblingsbeschleunigungen“, sowohl längs als auch quer zur Fahrtrichtung besitzen, und man hat versucht, diese zur Bildung von Fahrertypen heranzuziehen (Neumerkel et al 2002). Innerhalb unseres Modells, werden Beschleunigungskräfte nicht als wahrgenommene Größen, sondern als vom Fah-

rer erwünscht modelliert und dienen der Geschwindigkeitswahl beim Planen der weiteren Fahrt.

Weitere menschliche Sinne werden innerhalb des Modells nicht betrachtet, so sind das Schmecken oder das Riechen beim Führen eines Fahrzeugs sicherlich unwichtig. Das gilt ebenfalls für die Aufnahme taktiler Reize, da wir annehmen, dass der Fahrer sein Fahrzeug gut genug kennt und somit das Greifen nach einem Fahrzeugstellregler keine taktile Exploration umfasst. Zwar verhindert das Vernachlässigen taktiler Reize die Behandlung von Rückstellkräften der Fahrzeugregler, die teilweise als Informationsmedium in modernen Fahrerassistenzsystemen eingesetzt werden. Wir hoffen jedoch aufgrund der anfänglichen Fragestellung – der Modellierung normaler Straßenfahrten unter Vernachlässigung extremer Situationen und erweiterter Fahrzeugkonzepte – diese Vereinfachung durchführen zu können, ohne dass die Genauigkeit des Modells stark reduziert wird. Vernachlässigt wird auch die Interozeption, d.h. die Wahrnehmung von Bedürfnissen wie Hunger, Durst etc.

4.3 Zentrale Verarbeitungsinstanz

Eines der größten Probleme bei der Formulierung der Kognition als ein Datenflussmodell ist das Herleiten der dafür notwendigen Informationsarten und Strukturen. Das menschliche Gehirn besteht aus 10^{12} Neuronen (Brause 1991), die über 10^{15} Verbindungen besitzen (Churchland, Sajnowski 1997). Diese Struktur speichert Informationen, weil Neuronen oder Mengen dieser ein bestimmtes elektrisches Potential haben. Sie verarbeitet Informationen jedoch auch durch die Weitergabe der Potentiale an weitere Neurone oder Neuronengruppen über die Verbindungen zwischen diesen. Die neuronalen Strukturen des Gehirns sind weitgehend unerforscht. Somit ist es schwer festzustellen, welche Informationen wo ihren Sitz haben und wie sie verarbeitet werden. Durch die variable Anzahl von Verbindungen scheinen neuronale Informationspräsentationen nicht nur multidimensional, sondern auch in der Anzahl ihrer Dimensionen variabel. So müssen bei der Modellierung sowohl Annahmen zu der Datenverarbeitungskaskade als auch zur Darstellung der innerhalb einer betrachteten Struktur verarbeiteten Informationen getroffen werden, wobei darauf zu achten ist, dass die jeweilige Modellierung das Notwendige umfasst, gleichzeitig jedoch verständlich bleibt.

Die Umsetzung der Verarbeitungsinstanz besteht aus den folgenden, stark miteinander kooperierenden Komponenten: einer interner Weltrepräsentation (IWR), einem Aufmerksamkeitsscheduler, einer hierarchischer Planinstanz und einer Handlungsinstanz. Die Komponenten werden im Folgenden besprochen.

4.3.1 Interne Weltrepräsentation

Die wahrgenommenen Objekte und ihre dynamischen Eigenschaften werden zunächst in ein internes Abbild der Umwelt eingebaut, wo sie für eine Zeit erhalten bleiben, auch wenn das Objekt aus der Sicht verschwindet.

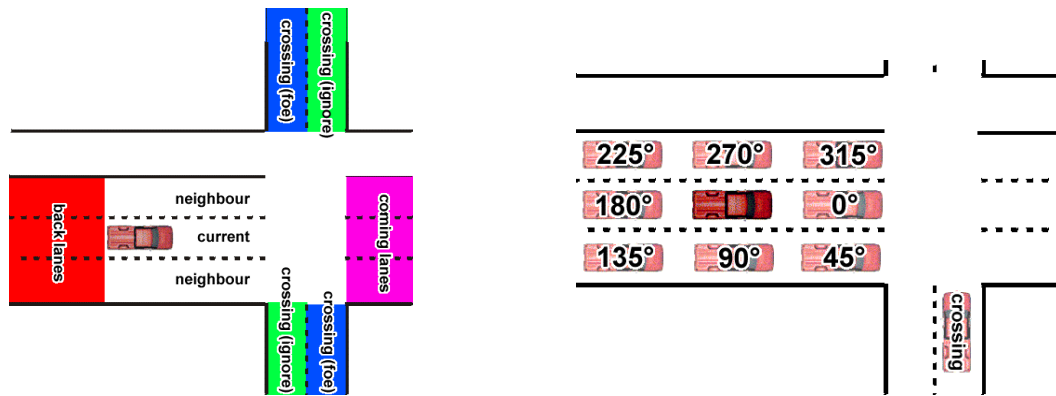


Abbildung 6: Objektklassen in der internen Weltrepräsentation (links: Spurklassen, rechts: Fahrzeugklassen).

Die interne Weltrepräsentation ist als ein Satz von Platzhaltern modelliert. Jeder Platzhalter entspricht einer Objektklasse, die für die Weiterfahrt von Bedeutung ist, so z.B. „aktuelle Spur“, „kreuzende, feindliche Spur“, „Fahrzeug(e) voraus“, „Fahrzeug(e) hinten“ etc. Abbildung 6 zeigt die Platzhalter schematisch, die die interne Weltrepräsentation bilden. Während der Simulation wird ein vom simulierten Fahrer erkanntes Objekt in den passenden Platzhalter eingesetzt, wobei ein Platzhalter mehrfach belegt werden kann, ein Objekt sich aber stets in höchstens einem Platzhalter befindet. Die Grundannahme dieses Modells der IWR ist, dass jedes Objekt in der Umgebung des Fahrers einen bestimmten Einfluss auf ihn hat. So sind die sich vor dem Fahrer befindenden Fahrzeuge für die Wahl der Geschwindigkeit wichtiger als die Fahrzeuge neben oder hinter ihm. Durch eine Kategorisierung der Einflüsse gewinnt man zunächst einen Geschwindigkeitsvorteil bei der Simulation, weil die Bedeutung der gesehenen Objekte nicht wiederholt berechnet werden muss. Zusätzlich scheint diese Sicht auf den Zustand, in dem sich der Fahrer befindet, die Betrachtung dieses Zustandes zu vereinfachen, so dass hier weitere, interessante Untersuchungen zum Thema „Verkehrssituation“ möglich werden.

4.3.2 Planinstanz

Die Planinstanz arbeitet auf den in der internen Weltrepräsentation gespeicherten Werten und einer beim Simulationsstart durch einen Satz von zu überfahrenden Kreuzungen vorgegebenen Route. Die Planinstanz ist an das Drei-Ebenen-Modell von Michon (siehe Ranney 1994) angelehnt, das aus einer Navigations-, einer Bahnführungs- und einer Stabilisierungsebene besteht. Auf der Navigationsebene findet das Verfolgen der Route bis zum Zielort der Fahrt statt, die Bahnführungsebene beinhaltet die Spurwahl, sowohl durch die Navigationsebene als auch durch den Zustand auf der Straße bedingt. Auf der Stabilisierungsebene ist die Regelung der lateralen Spurlage und der erwünschten Geschwindigkeit zu finden. Die vom Fahrer ausgeführten Aktionen sind hierarchisch in diesen Ebenen angeordnet und dienen dem Erreichen des Ziels der jeweiligen Ebene. Normalerweise müssen Aktionen auf tieferen Ebenen an die höher angesiedelten Wünsche angepasst werden.

Die vorgegebene Route bildet vereinfachend die oberste Schicht des Drei-Ebenen-Modells der Fahrzeugführung ab, wobei der bei der Navigation zur Orientierung notwendige, kognitive Aufwand nicht explizit betrachtet wird.

Jedes in der IWR gespeicherte Objekt kann bestimmte Aktionen auslösen. Soll der simulierte Fahrer z.B. an einer Kreuzung abbiegen, so werden die Aufgaben „Brem-

sen“, „Lenkrad drehen“ etc. in ein dynamisches Plankonstrukt eingetragen, das die mittlere, taktische Ebene des Modells nach Michon repräsentiert. Dabei wird angenommen, dass auch diese Aktionen hierarchisch angeordnet sind und nur dann ausgeführt werden können, wenn bestimmte Prämissen erfüllt sind. Diese Annahmen führen zu einer Kaskade von Aktionen, so führt zum Beispiel die Instatiiierung der Aktion „Fahre um Kurve“ zum Setzen der Aktion „Bremse“, weil der Fahrer die Kurve nur mit einer sich aus den von ihm bevorzugten Querschleunigungen ergebenden Geschwindigkeit überfahren will.

Die Stabilisierungsebene wurde nicht als das Ausführen expliziter Aktionen, sondern als ein Regelvorgang implementiert. Die Anpassung an die gewünschte Spurlage erfolgt hier kontinuierlich, mögliche vom Fahrer dabei gemachten Fehler werden bisher nicht berücksichtigt.

4.3.3 Aufmerksamkeitsscheduler

Für Objekte in der IWR wird die Wichtigkeit für die Weiterfahrt bestimmt, die von der Entfernung zu dem jeweiligen Objekt und der Anzahl mit dem Objekt verknüpfter Aktionspunkte der Bahnführungsebene abhängt. Diese Wichtigkeit steuert den Wahrnehmungsprozess, indem die nächste Sakkade auf das aktuell wichtigste Objekt ausgeführt wird.

4.3.4 Handlungsinstanz

Die in der Planungsinstanz gespeicherten Aktionen werden ausgeführt, indem die passende Aktion aus einem Aktionsspeicher herausgelesen und mit vorher abgeschätzten Parametern gestartet wird. Die Aktionen liegen in ihrem Speicher benannt vor, so gibt es jeweils eine Aktion für „Lenkrad drehen“ oder „Beschleunigen“. Dieses Konzept entspricht weitgehend den Annahmen zu Handlungsschemata, welches vom Menschen gelernte Aktionen als schematische Muster im Gehirn vorliegend ansieht, die für die Ausführung passend parametrisiert werden. Nach Elsner (2000) beinhalten Handlungsschemata Informationen über die Vor- und Nachbedingungen der Aktion, die während der Handlung normalerweise aufgenommenen Reize und das motorische Programm der Bewegung.

4.4 Körper

Um die Tot- und Rückstellzeiten der Fahrzeugkontrollen in das Modell aufzunehmen, betätigt der simulierte Fahrer Stellgrößen seines simulierten Fahrzeugs. Die Handlungen werden parametrisiert ausgeführt, d.h. der Fahrer betätigt die Bremse, das Gaspedal oder das Lenkrad mit einer bestimmten Stärke, die sein „Bewusstsein“ aus der aktuellen Situation ableitet. Obwohl die Stellung des betroffenen Reglers berechnet wird, sind die ausführenden Extremitäten an kein Skelett angebunden. Die Implementierung eines Skeletts samt der notwendigen Inversen Kinematik – der Rückführung des Bewegens von Füßen oder Händen auf die Beine bzw. Arme – und das Studium des Verlaufs von Bewegungen erschien uns im Rahmen dieses Projektes nicht durchführbar. Auf in ähnlichen Simulationen benutzte, kommerziell erwerbbar Bibliotheken, wie „Jack“ (siehe EDS 2003), wurde verzichtet.

4.5 Fahrzeugmodell

Im deutschsprachigen Raum finden sich mehrere Publikationen, die detailliert auf die Modellierung der Dynamik von Fahrzeugen eingehen. In Diekamp (1995) wird ein Modell der Längsbewegung vorgestellt, das speziell auf die Problematik des Wechsels von Gängen eingeht. Ammon (1997) beschränkt sich auf die Fahrzeugdynamik, ohne die Fahrerinteraktion zu betrachten, beschreibt jedoch neben der Längs- auch die Querdynamik und die Möglichkeit, die Modellkomplexität zu variieren. Die dritte hier zu nennende Quelle ist das Buch „Kraftfahrzeugführung“ (Jürgensohn 2001), das verstärkt Modelle zur Bewertung von Fahrerassistenzsystemen bespricht.

Da wir uns zumindest zunächst auf Fahrten unter einfachen Bedingungen konzentrieren, können viele komplexe und schwer ermittelbare Parameter eines Fahrzeugs ohne große Qualitätseinbußen vernachlässigt werden. Erweiterungen werden erst bei der Berücksichtigung von schnellen Kurvenfahrten oder zur Bildung von Aussagen über die Auswirkungen vom Zittern, Rütteln etc. des Fahrzeugs, benötigt.

5. Weitere Schritte

Viele der Arbeiten zur Fahrererkennung beruhen auf Experimenten, die unter Laborbedingungen, z.B. in Simulatoren oder auf bestimmten Teststrecken und/oder unter bestimmten Vorgaben durchgeführt worden sind. Es gilt zu prüfen, ob sich solche Ergebnisse in den echten Verkehr übertragen lassen. Es ist anzunehmen, dass eine erneute Kalibrierung der gefundenen Parameter notwendig sein wird, wenn der ursprünglich experimentelle Kontext, in dem die Daten erfasst worden sind, verlassen wird.

Obwohl das Modell ablauffähig ist, muss es daher anhand von Daten, die im Kontext der Fahrzeugführung erhoben worden sind, verifiziert und kalibriert werden. Zunächst werden dafür Videoaufnahmen einer ca. 45min dauernden Fahrt über das WISTA-Gelände in Berlin Adlershof benutzt. Es gilt, die Fahrt möglichst genau nachzubilden – unter Beachtung des Verkehrs auf Hauptstraßen, in die eingefahren wird, der unterschiedlichen Straßentypen und der vorhandenen Hindernisse. Weitere Validierungen mit anderen Daten sollen folgen. Zu diesen Daten gehören Datensammlungen über Fahrzeugfolgeverhalten, die zum Teil über die Internetseiten der Clearingstelle Verkehr (siehe Schulz, Parnitzke & Wagner 2003) erhältlich sind und mit dem ViewCar des DLR (Vollrath 2004) erfasste Daten über das Verhalten eines Autofahrers.

Erst nach einer Validierung des Modells und der gesamten Simulation können speziellere Fragestellungen untersucht werden, wobei – wie bei der Aufnahme taktile Reize besprochen – Erweiterungen des Modells notwendig werden.

Neben dem Fertigstellen des Konzeptes mit der Umsetzung aller als notwendig erkannter Strukturen, soll die Benutzerinteraktion erweitert werden. So soll dem Benutzer die Möglichkeit gegeben werden, eigene Operationen auf Daten innerhalb der Kognition zu spezifizieren, z.B. die Informationsaufnahme mit weiteren Filtern zu versehen. Solche Ansätze könnten z.B. dazu dienen, den Einfluss von Alkohol zu untersuchen.

6. Literatur

- Ammon, D. (1997). *Modellbildung und Systementwicklung in der Fahrzeugdynamik*. Teubner, (Leitfäden der angewandten Mathematik und Mechanik), ISBN 3-519-02378-4 Gb.
- Brause, R. (1991) *Neuronale Netze: eine Einführung in die Neuroinformatik*. Teubner, Stuttgart, ISBN 3-519-02247-8
- Brockfeld, E; Kühne, R. & Wagner, P. (2002). Towards Benchmarking Microscopic Traffic Flow Models, In: *Networks for Mobility, Interntaional Symposium*, September 18-20, 2002, in Stuttgart, Proceedings, Vol I, p. 321-331
- Churchland, P. S.; Sajnowski, T. J. (1997) *Grundlagen zur Neuroinformatik und Neurobiologie*. Vieweg-Verlag, ISBN 3-528-05428-X
- Diekamp, R.(1995). *Entwicklung eines fahrzeugorientierten Verkehrssimulationsprogramms*. Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen mbH (fka), ISBN 3-925 194-31-2
- Dornhoefer, S.M. (1999). *Blickparameter als Indikatoren der Fahrumgebungserfassung*. Diplomarbeit
- Dörner, D. (2001). *Bauplan für eine Seele*. Rowohl Taschenbuch Verlag AG, ISBN 3-499-61193-7
- EDS. (2003). Internetseiten der „Electronic Data Systems“ (<http://www.eds.com/products/plm/efactory/jack/>)
- Elsner, B. (2000). *Der Erwerb kognitiver Handlungsrepräsentationen*. wvb Wissenschaftlicher Verlag Berlin, ISBN 3932089464
- Epstein, W.; Rogers, S. (1995). *Perception of Space and Motion*. Academic Press Inc.; ISBN 0-12-240530-7
- Fastenmeier, W. (1995). *Autofahrer und Verkehrssituation*. Mensch-Fahrzeug-Umwelt Band 33, Dt. PsychologenVerlag, ISBN 3-925559-80-9
- Hertkorn, G. (2002). „Synthetische Bevölkerung“; In: K. J. Beckmann, G. Rindsfüser, H. Mühlhans, J. Ansorge, U. Brüggemann, N. Eissfeldt, J. Gräfe, G. Hertkorn. *SimVV Mobilität verstehen und lenken – zu einer integrierten quantitativen Gesamtsicht und Mikrosimulation von Verkehr*. Abschlussbericht des SimVV-Projektes, Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen
- Jürgensohn, T. (1997). *Hybride Fahrermodelle*. Pro Unniversitate Verlag, ISBN 3-932490-22-3
- Jürgensohn, T. (2001). *Kraftfahrzeugführung*. Springer, ISBN 3-540-42012-6
- Krauß, S. (1998) *Microscopic Modelling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics*. DLR (Hauptabteilung Mobilität und Systemtechnik), ISSN 1434-8454

- Neumerkel, D; Rammelt, P; Reichardt, D & Stolzmann, W. (2002). Fahrermodelle - Ein Schlüssel für unfallfreies Fahren? In: *KI-16*, S. 34-36, Heft 3
- Neisser, U. (1974). *Cognitive Psychology*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, ISBN 0-13-139667-6
- Ranney, T.A. (1994). Models of Driving Behavior: A Review of their Evolution. In: *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 26, No. 6, pp. 733-750; Elsevier Science Ltd, 1994
- Schulz, A.; Parnitzke, A. & Wagner, P. (2003). Homepage der Clearingstelle Verkehr unter: <http://www.clearingstelle-verkehr.de/>
- Velichkovsky, B. M.; Challis, B. H. & Pomplun, M.. (1995). Arbeitsgedächtnis und Arbeit mit dem Gedächtnis: Visuell-räumliche und weitere Komponenten der Verarbeitung. In: *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, Hogrefe-Verlag, Goettingen, 1995, Band XLI, Heft 4, S. 672-701
- Vollrath, M. (2004) *VIEW CAR - Freude am Fahren mit innovativen Assistenzsystemen*. DLR-Nachrichten 106
- Wiedemann, R. (1974). *Simulation des Straßenverkehrsflusses*. In: Heft 8 der Schriftenreihe des IfV, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe