

Integrierte Fahr- und Verkehrssimulation zur Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen

Integrated Drive- and Traffic simulation for the Design of Driver assistance systems

Dipl.-Ing. Ahmed Benmimoun
Dipl.-Ing. Frederic Christen
Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen (fka)
Steinbachstr. 7
52074 Aachen

Abstract

Bei der Entwicklung neuer Fahrzeugsysteme gewinnt der Einsatz der Simulation immer mehr an Bedeutung. Insbesondere die Entwicklung und Analyse von Fahrerassistenzsystemen stellen spezifische Anforderungen an die Simulationsumgebung. Da das Assistenzsystem mit seiner Umgebung interagiert, ist es zwingend erforderlich, dass die Simulationsumgebung neben einer detaillierten Abbildung des eigenen Fahrzeugs auch ein geeignetes Modell der Verkehrsumgebung und des Fahrers zur Verfügung stellt. Je nach Entwicklungsstadium des Assistenzsystems rücken zusätzliche Fragestellungen in den Vordergrund, die die Substitution von virtuellen Komponenten des geschlossenen Regelkreises durch reale Komponenten erforderlich machen. Dieser Beitrag beschreibt einen Ansatz, bei dem von der Konzeptionsphase eines Assistenzsystems bis zu seiner Auslegung und Umsetzung auf eine geschlossene Toolkette zurückgegriffen wird. Basis dieser geschlossenen Toolkette ist die Verkehrsflusssimulation PELOPS, die mit Hilfe von SiL(Software-in-the-loop)- und HiL(Hardware-in-the-loop)-Schnittstellen eine integrierte Fahr- und Verkehrssimulation ermöglicht. Anhand eines Anwendungsbeispiels wird der Einsatz dieser Toolkette verdeutlicht.

Abstract / Englisch

The role of simulation tools becomes more and more important for the development of new vehicle systems. Especially the development and analysis of driver assistance systems makes specific demands on the simulation environment. Because driver assistance systems interact with the environment and the surrounding vehicles, the simulation environment has to cover besides of a detailed vehicle model also the vehicle environment and the driver. Depending on the stage of the development process other analysis aspects come to the foreground, which presuppose the substitution of the virtual components of the closed control loop by real components. This paper describes an approach, which makes it possible to use a closed chain of tools from the conception phase up to the realization of a driver assistance system. The basis for this closed chain of tools is the traffic flow simulation PELOPS, which provides an integrated traffic flow and driving simulator by SiL(Software-in-the-loop)- and HiL(Hardware-in-the-loop)-Interfaces. This approach is pointed up by an example of application.

1. Motivation

Neben der Möglichkeit, Fahrerassistenzsysteme direkt in Fahrversuchen zu entwickeln und zu testen, werden heutzutage vermehrt computergestützte Simulationen eingesetzt. Der Einsatz der Computersimulation bietet eine Reihe von Vorteilen: u.a. kürzere Entwicklungszeiten, geringerer Material- und Personeneinsatz und hohe Reproduzierbarkeit der Fahrsituationen.

Je nach Entwicklungsstadium und Fragestellung kommen bei der heutigen Systementwicklung unterschiedliche Simulationstools zum Einsatz. Für die Systemkonzeption und -entwicklung wird häufig eine Verkehrsflusssimulation benötigt, die die drei Elemente des Verkehrs (Fahrer, Fahrzeug und Umwelt) abbildet. Da Fahrerassistenzsysteme in der Regel mit der Umgebung und dem Fahrer interagieren, ist eine Simulationsumgebung erforderlich, die diese drei Komponenten des Verkehrs umfasst.

Die Bewertung von Fahrerassistenzsystemen insbesondere hinsichtlich der Benutzerakzeptanz ist jedoch mit solchen Verkehrsflusssimulationen nur bedingt möglich, da hierfür reale Fahrer das System erfahren müssen, um sich ein Urteil bilden zu können. Auch die Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle kann nur mit einem realen Fahrer im Regelkreis erfolgen. Deshalb erfolgt diese Art der Entwicklung und Bewertung von Fahrerassistenzsystemen üblicherweise im Fahrsimulator.

Hierfür muss das entwickelte Assistenzsystem in den Fahrsimulator integriert werden und eine virtuelle Welt zum Testen des Systems generiert werden, was einen nicht unerheblichen Aufwand bedeutet. Zudem verfügen in der Regel die Modellfahrer des umgebenden Verkehrs im Fahrsimulator nur über ein vereinfachtes Verhaltensmuster.

Wünschenswert ist eine Simulationsumgebung, die eine realistische Abbildung von Verkehr und geeigneter Hard- bzw. Softwareschnittstellen für den Einsatz sowohl am Arbeitsplatz als auch bei Fahrversuchen ermöglicht. Mit der von ika/fka entwickelten submikroskopischen Verkehrsflusssimulation PELOPS war bereits in der Vergangenheit eine realistische Abbildung des Verkehrs möglich. Heute steht eine neue Version von PELOPS zur Verfügung, die echtzeitfähig ist und für den Einsatz als Hardware-in-the-Loop Werkzeug modifiziert wurde. Diese Version ist in der Lage, Daten über verschiedene Soft- bzw. Hardwareschnittstellen bereitzustellen, und kann somit in Kombination mit anderen Tools für den gesamten Entwicklungsprozess von Fahrerassistenzsystemen eingesetzt werden.

2. Die Verkehrsflusssimulation PELOPS

Das submikroskopische, fahrzeugorientierte Verkehrsflusssimulationsprogramm PELOPS (Programm zur Entwicklung längsdynamischer, mikroskopischer Verkehrsprozesse in systemrelevanter Umgebung) wurde bei ika/fka in Zusammenarbeit mit der BMW AG entwickelt [1] [2]. Es wird heute von der fka vertrieben und gepflegt.

Das Konzept von PELOPS besteht in der Verknüpfung detaillierter submikroskopischer Fahrzeugmodelle mit mikroskopischen verkehrstechnischen Modellen, die sowohl eine Untersuchung des längsdynamischen Fahrzeugverhaltens als auch eine Analyse des Verkehrsablaufs ermöglichen. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, alle Wechselwirkungen zwischen Fahrer, Fahrzeug und Verkehr (vgl. Bild 1) berücksichtigen zu können. In einer modularen Programmstruktur werden die genannten Elemente modelliert und durch Schnittstellen abgegrenzt.

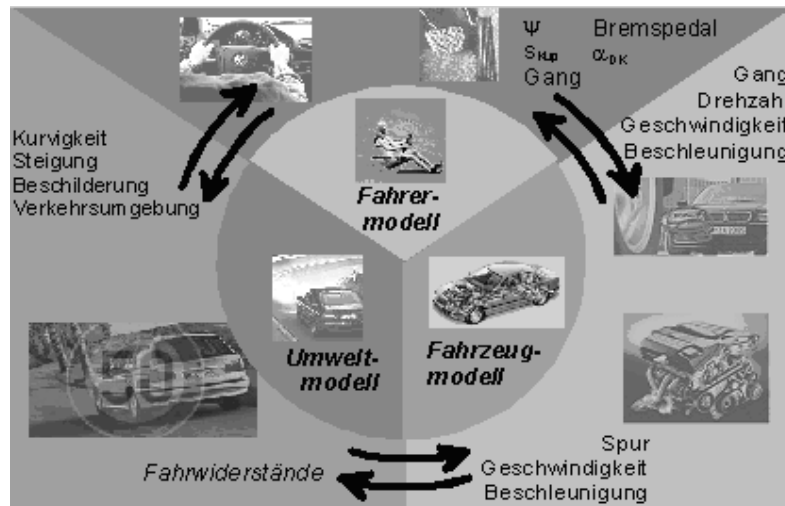


Bild 1. Das Simulationsprogramm PELOPS

2.1 Fahrer, Fahrzeug- und Umweltmodell

Das Umweltmodell erlaubt bei Bedarf eine detaillierte Beschreibung der Einflüsse einer stationären Verkehrsumgebung. Sowohl der Verlauf der Straße in horizontaler und vertikaler Richtung über Radien und Klothoiden bzw. Steigungen, Gefälle und vertikale Abrundungen, als auch die Anzahl und die Breite der Spuren wird angegeben. Zusätzlich zu diesen geometrischen Daten können Verkehrszeichen, Spurmarkierungen sowie Umweltbedingungen über Parameter wie Nässe, Glätte, Sichtweite etc. vorgegeben werden. Die aktuellen Verkehrsbedingungen für ein Fahrzeug ergeben sich dann aus der Anzahl der umgebenden Fahrzeuge sowie deren Abständen und Geschwindigkeiten. Um bestimmte Verhaltensweisen im Verkehr zu provozieren oder vorgegebene Fahrzyklen nachzufahren, können einzelnen Fahrer-Fahrzeug-Einheiten auch bestimmte Geschwindigkeitsprofile vorgegeben werden. Das Einsetzen der Fahrzeuge am Streckenbeginn kann sowohl anhand von makroskopischen (Verkehrsstärke, Durchschnittsgeschwindigkeit und prozentualer Lkw-Anteil je Spur) als auch von mikroskopischen (Einsetzzeitpunkt, Geschwindigkeit und Spur je Fahrzeug) Verkehrsdaten erfolgen.

Das Fahrzeugmodell basiert auf dem 'Ursache-Wirkungs-Prinzip', bei dem eine Berechnung der Antriebskraft ausgehend vom Motorbetriebspunkt über Kupplung, Getriebe und Differential zu den Rädern erfolgt, wo die Antriebskraft dann mit den Fahrwiderständen bilanziert wird. Der Betriebspunkt wird über die Änderung des Motormomentes (Ursache) gewechselt. Aus der dadurch verursachten Beschleunigung und Geschwindigkeitsänderung resultiert unter Berücksichtigung der Elemente des Antriebsstranges die Motordrehzahl (Wirkung). Als Getriebearten sind das konventionelle Handschalt- sowie Automatikgetriebe implementiert. Für Nutzfahrzeuge kann zusätzlich ein Retarder im Antriebsstrang abgebildet werden. Diese detaillierte Abbildung des Fahrzeugs unter Verwendung des Ursache-Wirkungs-Prinzips lässt die Untersuchung regelungstechnischer Einrichtungen wie ABS und ACC zu. Zusätzlich zu der beschriebenen Darstellungsform von Fahrzeugen, die in PELOPS als 'Realfahrzeuge' bezeichnet werden, existiert auch die Möglichkeit, mit einer weniger komplexen Fahrzeugabbildung zu arbeiten, um bei geringeren Rechenzeiten Verkehrsphänomene zu untersuchen. So abgebildete Fahrzeuge werden als 'synthetische' Fahrzeuge bezeichnet. Sie lassen sich über einen reduzierten Datensatz beschreiben, der sich aus den Parametern Fahrzeugtyp, maximale Motorleistung, maximale Verzögerung, Gesamtgewicht, Luftwiderstand und Radwiderstand zusammensetzt.

Fahrzeuge können auch mit einem Sensor modul ausgestattet werden, welches dem Anwender erlaubt, beliebig viele Sensoren an beliebigen Stellen des Fahrzeugs zu positionieren. Die Sensoreigenschaften, wie beispielsweise Taktrate,

Öffnungswinkel, Reichweite und Fehlerrate können frei vorgegeben werden. Neben Umfeldsensoren können auch Funktionen, wie Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation implementiert werden.

Das Fahrermodell besteht aus einem Entscheidungs- und einem Handlungsteil. Im ersten Modul werden mit Hilfe eines psycho-physischen Verhaltensmodells auf Basis der aktuellen Verkehrssituation ein Beschleunigungs- und ein Spurwechselwunsch gebildet. Im Handlungsmodell wird anschließend die Absicht des Fahrers in die entsprechenden Bedienelemente des Fahrzeugs wie etwa Gas- Brems- und gegebenenfalls Kupplungspedal, Blinker und Lenkradstellung umgesetzt.

Das Fahrermodell von PELOPS identifiziert verschiedene Situationen in Abhängigkeit der Informationen über den umgebenden Verkehr. Für jede mögliche Situation sind entsprechende Verhaltensregeln in Form von Algorithmen hinterlegt, die die Reaktion des Modellfahrers bestimmen. In den meisten Fällen wird nicht nur eine, sondern mehrere verschiedene Situationen gleichzeitig erkannt. So kann z.B. der Fahrer einem vorausfahrendem Fahrzeug folgen und gleichzeitig auf eine Kurve voraus reagieren. In solchen Fällen wird auf die Situation geregelt, die zu einer intensiveren Reaktion seitens des Modellfahrers führt. Diese Reaktion ist im Falle der Längsdynamik die Wunschbeschleunigung des Fahrers, welche durch das Aktionsmodell in eine Pedalposition, sowie in einen Gangwechsel transformiert wird. Das heißt, dass die Situation mit der kleinsten resultierenden Wunschbeschleunigung priorisiert wird, wenn mehrere mögliche Einzelsituationen identifiziert wurden. So reagiert das Fahrermodell immer auf die wichtigsten (gefährlichsten) Ereignisse in seiner Umgebung.

Für die Reaktion auf Fahrzeuge auf der eigenen Spur benutzt das Fahrermodell ein psychophysisches Modell des Fahrers. Die Einordnung der Situation entsprechend diesem Modell hängt von der gefahrenen Geschwindigkeit und den individuellen Parametern des Fahrers ab, wie beispielsweise das Sicherheitsbedürfnis (beschreibt sicherheitsrelevante Fahrparameter wie Abstände zum Vorderfahrzeug etc.) und das Schätzvermögen (beschreibt die Fähigkeit des Fahrers Geschwindigkeiten und Abstände zu erkennen). In PELOPS wird nicht nur die Reaktionen auf Fahrzeugen auf der eigenen Spur betrachtet, sondern auch das realistische Fahrverhalten auf mehrspurigen Straßen. Hierfür ist ein taktisches Spurwechselmodell [3] implementiert. Dieses basiert auf der Zufriedenheit der Fahrer auf den verschiedenen Spuren. Abhängig von der Bewertung der Zufriedenheit, wird geprüft, ob der Fahrer den Wunsch hat die Spur zu wechseln. Im Falle eines Spurwechselwunsches wird dessen Umsetzung unter Berücksichtigung des umgebenden Verkehrs und der Fahreigenschaften (z.B. Lückengröße, in die noch gewechselt werden kann) analysiert. Wenn der Spurwechsel möglich ist, beginnt der Fahrer zu beschleunigen oder abzubremesen, um in die Ziellücke auf der Nachbarspur zu kommen.

2.2 In-the-Loop Funktionalitäten

PELOPS kann auch als Rapid-Prototyping-Werkzeug in der Assistenzsystementwicklung eingesetzt werden [4]. Somit ist es bei der Simulation neuer Systemkonzepte nicht mehr zwingend erforderlich, dass Algorithmen und Funktionen direkt als Quellcode in PELOPS eingebunden werden. Sowohl Hardwarekomponenten als auch Softwareprogramme können mit PELOPS in einer gekoppelten Simulation betrieben werden. Dazu stellt PELOPS als Schnittstellen eine Netzwerkanbindung, eine serielle Schnittstelle, über die beispielsweise eine Kopplung mit dSpace-Hardware vorgenommen werden kann, sowie CAN-Bus zur Verfügung.

Die Durchführung von Hardware-in-the-Loop(HiL)-Simulationen verlangt generell nach einer Simulation in Echtzeit. Dies bedeutet, dass eine Zeiteinheit in der Simulation gleich lange andauert wie in der Realität. Dies ist notwendig, da die zu testenden Komponenten den gleichen Randbedingungen ausgesetzt werden müssen wie bei deren Einsatz in einem vollständig realen Umfeld. So zeigt sich beispielsweise, ob die Arbeitsgeschwindigkeit eines geprüften Steuergerätes für seine Aufgabenstellung ausreicht, die verwendete Datenübertragungsrate zwischen einzelnen Komponenten eines Systems hoch genug ist, oder mechanische Stellglieder in ausreichend kurzer Zeit präzise genug angesteuert werden können [4].

Im Hardware-in-the-Loop Fall erfolgt die Synchronisierung von PELOPS mit einer realzeitlichen Bezugsgröße. Diese Bezugsgröße kann entweder durch den in jedem PC enthaltenen quarzgesteuerten Echtzeituhr-Baustein oder von einer an der Simulation beteiligten Komponente, die entsprechend ausgestattet ist, zur Verfügung gestellt werden. Bei einem externen Zeitbezug muss jedoch sichergestellt sein, dass der entsprechende Lieferant in der Lage ist, seine Zeitbasis zu kontrollieren und etwaige Fehler selbständig zu detektieren, da sonst die gesamte Simulation falsch ablaufen und die Ergebnisse verfälschen würde [4].

Im Gegensatz zur HiL-Simulation muss eine Software-in-the-Loop(SiL)-Simulation in der Regel nicht in Echtzeit ablaufen, da die Zeitbasis der mit Daten zu versorgenden Software ebenfalls nicht in Echtzeit abläuft. Um die Konsistenz der Simulationsdaten zu gewährleisten, müssen in diesem Fall alle beteiligten Programme synchronisiert werden. Die notwendige Synchronisierung aller Teilnehmer wird an den Schnittstellen für den Datenaustausch vorgenommen, indem sowohl PELOPS als auch die angekoppelte Software immer beliebig lange auf die Daten des aktuellen Zeitschrittes der jeweils anderen Komponente warten. Zur Realisierung einer solchen Synchronisierung ist auf beiden Seiten eine einheitliche Zeitschrittweite bei der Berechnung bzw. an der Datenschnittstelle notwendig. Eine Schnittstelle zu MATLAB/Simulink ist in PELOPS bereits vorhanden. Der Datenaustausch während der SiL-Simulation geschieht über eine ethernetbasierte Netzwerkkommunikation.

Mit dieser SiL- und HiL- Schnittstelle ist es möglich jede einzelne virtuelle Komponente des Verkehrs durch eine reale Komponente zu substituieren. So lässt sich beispielsweise ein reales Fahrzeug mit einem realen Fahrer im virtuellen Verkehr auf einer Teststrecke bewegen, um ein virtuelles Assistenzsystem zu testen und zu erfahren.

3. Integrierte Fahr- und Verkehrssimulation

Mit Hilfe der beschriebenen Schnittstellen, lässt sich auch ein realer Fahrer in den geschlossenen Regelkreis einbinden. Somit lässt sich ein entwickeltes Assistenzsystem noch in der Entwicklungsphase von realen Fahrern bewerten und parametrisieren. Zu dem können Aspekte wie z.B. Benutzerakzeptanz untersucht werden und die erforderliche Mensch-Maschine-Schnittstelle auslegen.

Bild 2 zeigt den Aufbau eines solchen Fahrsimulators. Auf einem Rechner läuft die unveränderte PELOPS-Simulation mit dem entwickelten Fahrerassistenzsystem. Eines der mit dem System ausgerüsteten Fahrzeuge wird nicht von einem virtuellen Fahrer gesteuert, sondern über eine HiL-Schnittstelle von einem realen Fahrer. Dieser bedient die üblichen Fahrzeugstellelemente (Gas- und Bremspedal, Lenkrad, Gangstellhebel, Blinkerstellhebel, etc.) in einem Mock-up. Die Position dieser Stellelemente wird über Sensoren erfasst und in analoge Signal umgewandelt. Für die Position des Lenkrades und der Drosselklappenstellung werden Seilzugpotentiometer verwendet, die den verfahrenen Weg vermessen. Für das Bremspedal wird über einen Drucksensor der Hydraulikdruck im geschlossenen Bremskreis gemessen. Dieser Bremsdruck ist proportional zum Bremsmoment am Rad, was den Vorteil hat, dass der Bremsmechanismus nicht detailliert im Fahrzeugmodell in der Simulation abgebildet werden muss. Die Position der anderen Stellelemente, wie beispielsweise Gangstellhebel und Blinkerstellhebel kann über einfache elektrische Schaltungen festgestellt werden. Diese Signale werden über einen auf C167-Mikrocontroller basierenden Steuerrechner eingelesen, in digitale Signale umgewandelt und über CAN dem PELOPS-Simulationsrechner in Echtzeit zur Verfügung gestellt. PELOPS liest diese Signale ein und steuert damit das simulierte Fahrzeug.

4. Anwendungsbeispiel für die integrierte Fahr- und Verkehrssimulation

Etwa 35 % aller Unfälle in Deutschland ereignen sich im Bereich von Knotenpunkten [5][6]. Diese Unfallrate hat sich in den letzten Jahren nicht signifikant geändert. Das Unfallreduktionspotential eines Fahrerassistenzsystems, das den Fahrer in solchen Kreuzungssituationen unterstützt, ist daher hoch. Die Realisierung eines solchen Assistenten stellt allerdings hohe Anforderungen an die Sensorsysteme zur Erfassung und Bewertung der Kreuzungssituation. Heutige Umfeldsensoren (Radar, Laser oder Bildverarbeitungssysteme) können nicht alle Fahrzeuge im Kreuzungsbereich rechtzeitig erfassen, insbesondere wenn die Sicht auf die benachbarten Kreuzungsarme durch Objekte (Gebäude, Bäume) verdeckt ist. Der Fahrer braucht aber gerade in diesen Situationen Unterstützung. Die Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation ermöglicht die Erfassung von verdeckten Fahrzeugen und ist daher für diese Art von Anwendung geeignet. Hierfür müssen die Fahrzeuge über ein Positionierungssystem verfügen und einer digitalen Karte, so dass sie sich gegenseitig ihre aktuelle Position und Geschwindigkeit kommunizieren können.

Um das Potential eines solchen kommunikations-basierten Kreuzungsassistenten abzuschätzen werden unterschiedliche Technologiekonzepte betrachtet und analysiert und sowohl heute verfügbare Systeme als auch zukünftig verfügbare Systeme berücksichtigt:

- Low-tech „Simple IVC“: Heutige Technologie (GPS-System, digitale Karte, Kommunikationstechnologie) , Fahrzeuge kommunizieren nur untereinander
- High-tech „Simple IVC“: Zukünftige Technologie (höhere GPS- und Kartengenauigkeit), Fahrzeuge kommunizieren nur untereinander
- Low-tech „Sophisticated IVC“: Heutige Technologie, Fahrzeuge kommunizieren zudem mit einem Infrastruktursystem, welches alle Fahrzeuge auf der Kreuzung erfasst
- High-tech „Sophisticated IVC“: Zukünftige Technologie, Fahrzeuge kommunizieren zudem mit einem Infrastruktursystem, welches alle Fahrzeuge auf der Kreuzung erfasst

Diese vier unterschiedlichen Technologiekonzepte werden in der Verkehrsflusssimulation PELPOS analysiert und miteinander verglichen. Die Kriterien zur Bewertung der Systeme sind zum einen das Unfallreduktionspotential und zum anderen die erwartete Benutzerakzeptanz.

Das Unfallreduktionspotential kann durch einen Vergleich mit einer Simulation ohne jegliche Assistenz ermittelt werden. Zur Beurteilung der erwarteten Benutzerakzeptanz wird die Anzahl der Fehl- und Falschalarme herangezogen.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass das Unfallreduktionspotential hauptsächlich vom Ausrüstungsgrad an Fahrzeugen mit einem Kommunikationssystem abhängt [7]. Das verwendete Technologiekonzept spielt nur eine untergeordnete Rolle, so dass auch mit heute verfügbare Technologie eine signifikante Reduktion von Kreuzungsunfällen realisierbar wäre. Die Anzahl der Fehl- und Falschalarme (und damit die erwartete Benutzerakzeptanz) hängt in erster Linie mit der verwendeten Technologie, insbesondere die Genauigkeit der verwendeten Positions- und Kartendaten. In Bild 3 sind die Fehl- und Falschalarmraten für die betrachteten Systeme normiert über den Ausrüstungsgrad und der Anzahl von Konfliktsituationen zusammengefasst.

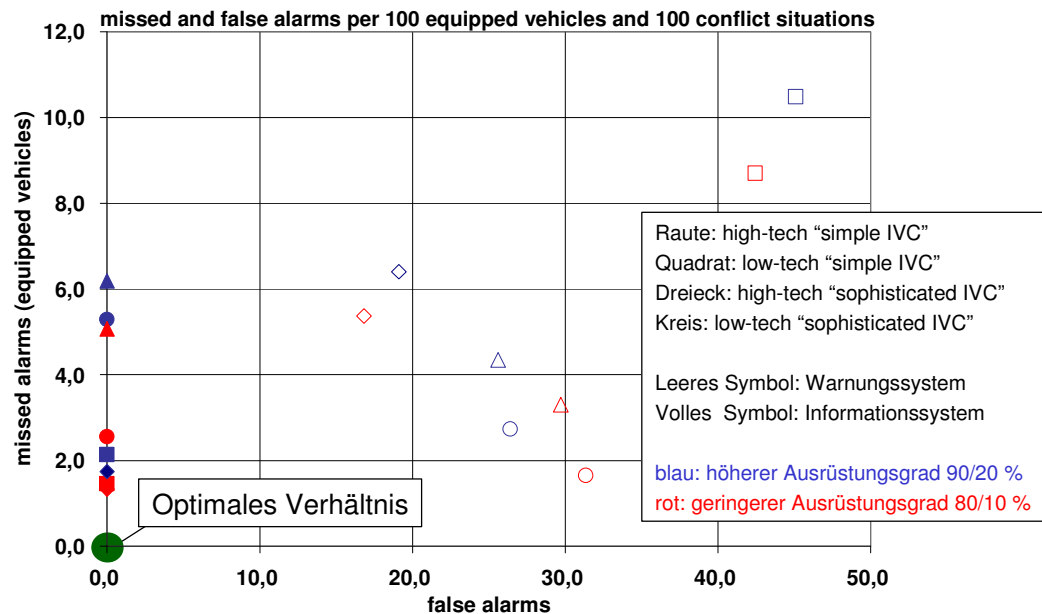


Bild 3. Zusammenfassung von Fehl- und Falschalarmraten

Die Fehl- und Falschalarmraten können lediglich für die betrachteten Systeme verglichen werden. Eine absolute Aussage über die Benutzerakzeptanz der Systeme ist jedoch nicht möglich. Hierfür müssen realer Fahrer, die die Systeme „erfahren“, diese miteinander vergleichen und bewerten. Hierfür wird der RWTH-Fahrsimulator InDriveS benutzt, der auf dem in Kapitel 3 beschriebenen Konzept basiert. Das Assistenzsystem selbst, die vier verschiedenen Technologiekonzepte, die Algorithmen, das Verkehrsszenario und der interaktiver Verkehr werden im Vergleich den zuvor durchgeführten Verkehrsflusssimulationen nicht verändert. In dem Mock-up werden unterschiedliche Arten einer Mensch-Maschine-Schnittstelle installiert, um zu überprüfen auf welche Art dem Fahrer die Information/Warnung zugänglich gemacht werden soll.

Neben dem Aspekt der Bewertung der Nutzerakzeptanz der vier Technologiekonzepte, kann das Assistenzsystem weiter entwickelt und optimiert werden. Die betrifft insbesondere die Auslegung des Systems, beispielsweise hinsichtlich von Warnschwellen, Zeitpunkt, ab dem der Fahrer gewarnt bzw. informiert wird etc. Diese Untersuchungen laufen zur Zeit noch im RWTH-Fahrsimulator.

Literaturhinweise:

[1] Rainer Diekamp, Entwicklung eines fahrzeugorientierten Verkehrsflusssimulationsprogramms

RWTH Aachen Dissertation, 1995

[2] Michael Weilkes, Auslegung und Analyse von Fahrerassistenzsystemen mittels Simulation

RWTH Aachen Dissertation, 1999

[3] Dirk Ehmanns, Modellierung des taktischen Fahrerverhaltens bei Spurwechselforgängen

RWTH Aachen Dissertation, 2002

[4] Karsten Breuer, Verkehrsflusssimulation zur Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen

RWTH Aachen Dissertation, 2004

[5] Rene Grosspietch, Bewertung des sicherheitsfördernden Potentials von Fahrerassistenzsystemen für Linksabbiegemanöver mit Gegenverkehr

RWTH Aachen Dissertation (in Vorbereitung), 2005

[6] Ulrich Lages, INTERSAFE – New European Approach for Intersection Safety

11th World Congress on ITS, Nagoya, 2004

[7] Benmimoun, A., Chen, J., Neunzig, D., Suzuki, T., Kato, Y.

Communication-based Intersection assistance

IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Las Vegas, 2005