

Verkehrliche Wirkungen von Fahrerassistenzsystemen – Der Ansatz im INVENT-Teilprojekt VRA

Traffic Effects of Driver Assistance Systems – The Approach within INVENT

Dr.-Ing. Thomas Benz, PTV AG, Karlsruhe

Dr. Georg Lerner, BMW AG, München

Frederic Christen, fka, Aachen

Matthias Schulze, DaimlerChrysler AG, Stuttgart

Dieter Vollmer, DaimlerChrysler AG, Stuttgart

Summary

Within the German Research Initiative INVENT, the partial project „Verkehrliche Wirkung, Recht und Akzeptanz (VRA)“ deals with traffic effects, legal aspects, acceptance and economics of driver assistance systems. The major focus is to accompany the development of such systems rather than evaluating the systems at a later stage. This ensures that wrong development paths are avoided from the beginning. This presentation gives examples for the consulting services of VRA as well as for the early simulations of a driver assistance system. Such simulations vary in scale from basic functions to driving situations, then to traffic situations and finally to traffic scenarios. Results are presented for the basic functions and driving situations for a stop-and-go extension of adaptive cruise control.

1 Die Inhalte von VRA

VRA ist die Kurzbezeichnung für das Teilprojekt „Verkehrliche Wirkung, Recht und Akzeptanz“ innerhalb des INVENT-Projektes „Fahrerassistenz, Aktive Sicherheit“.

Um kostspielige Fehlentwicklungen zu vermeiden, ist es erforderlich, bei der Entwicklung von neuen Fahrerassistenzsystemen möglichst frühzeitig deren verkehrliche Wirkung, ihre Akzeptanz beim Kunden und gegebenenfalls sogar ihre betriebs- und volkswirtschaftlichen Auswirkungen zu untersuchen. Auch potentielle verkehrs-, zulassungs- und haftungsrechtliche Probleme müssen frühzeitig identifiziert werden, insbesondere dann, wenn es sich um Systeme handelt, die bestimmte Fahrfunktionen teilweise oder ganz vom Fahrer

übernehmen.

Um diese Aufgabe zu leisten vereinigt das Teilprojekt VRA die folgenden Aufgabengebiete:

► **Verkehrliche Wirkungen**

Neue Assistenzsysteme werden modelliert und in die bei den Partnern bestehenden Verkehrssimulatoren implementiert. Dies erlaubt es, die verkehrlichen Auswirkungen dieser Systeme zu analysieren, sobald erste Systemspezifikationen bereitstehen. Eventuelle Änderungen in den Spezifikationen können schnell in die Simulationsmodelle implementiert werden, so dass auch verschiedene Systemauslegungen parallel untersucht werden können.

► **Innovation, Akzeptanz und Verbraucher**

Hier werden die aktuellen und künftigen Kundenbedürfnisse analysiert. Auf der Basis der in den Projekten „Stauassistent“ und „Vorausschauende aktive Sicherheit“ festgelegten Systemspezifikationen werden Akzeptanzprognosen erstellt und die Gebrauchssicherheit untersucht. Sobald die ersten Systemprototypen zur Verfügung stehen, werden Akzeptanztests bei ausgewählten Zielgruppen durchgeführt.

► **Rechtliche Aspekte**

Hier wird die rechtliche Situation für die in INVENT entwickelten Fahrerassistenzsysteme untersucht. Neben haftungsrechtlichen Fragen werden auch die rechtlichen Anforderungen an Informationserteilung und Bedienungsanleitung untersucht.

► **Ökonomische Bewertung**

Die ökonomische Bewertung der in INVENT entwickelten Fahrerassistenzsysteme umfasst einzel- und gesamtwirtschaftliche Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen. Ziel ist es, den Systementwicklern schon frühzeitig Aussagen über den potentiellen Nutzen ihrer Systeme und die mit den Systemen verbundenen Kosten für den Nutzer sowie für die Gesamtheit zur Verfügung zu stellen.

Das Projekt VRA sieht sich in erster Linie als Dienstleister für die FAS Applikationsprojekte „Stauassistent“ und „Vorausschauende aktive Sicherheit“. Die in VRA zu entwickelnden Bewertungsverfahren und Methoden werden deshalb eng an den Bedürfnissen und Wünschen der Applikationsprojekte ausgerichtet.

Ziel von VRA ist es, analog zur kontinuierlichen Weiterentwicklung der Bewertungsverfahren auch die an die Applikationsprojekte gelieferten Ergebnisse gemäß den Wünschen der Applikationsprojekte ständig zu verfeinern. Dies stellt sicher, dass die Resultate nicht nur

immer dem neuesten Stand der Entwicklungen in den Applikationsprojekten entsprechen, sondern auch immer mit den jeweils aktuellsten Bewertungsverfahren und Methoden erarbeitet wurden.

2 Verkehrliche Wirkungen

Die Arbeiten im Arbeitspaket „Verkehrliche Wirkungen“ liefern eine Bewertung der Assistenzsysteme im verkehrlichen Umfeld für die anderen Teilprojekte. Diese Bewertung liefert für die Systementwicklung die Wirksamkeit der Systeme unter Berücksichtigung von variablen Ausrüstungsgraden (z.B. Interaktion zwischen ausgerüsteten Fahrzeugen, mit nicht ausgerüsteten). Die Wirksamkeiten werden prinzipbedingt in einer Vielzahl von Situationen ermittelt und entsprechend der Häufigkeiten dieser Situationen erfasst. Unter "Wirksamkeit" ist dabei zu verstehen, wie sich ein ausgerüstetes – im Gegensatz zu einem nicht ausgerüsteten – Fahrzeug verhält und dadurch zu einer Situationsveränderung führt. Solche Änderungen sind zunächst einmal lokal sehr begrenzt, nämlich auf die unmittelbar beteiligten Fahrzeuge.

Eine Vielzahl von individuellen Situationsänderungen führt in der Regel zu verkehrlichen Wirkungen, d.h. zu einer Veränderung in den makroskopischen Kenngrößen des Verkehrsablaufes, beispielsweise der Abflussrate aus einem Stau. Solche makroskopischen Veränderungen haben gegenüber den individuellen Veränderungen, die nur sehr wenige benachbarte Fahrzeuge betreffen, deutliche Auswirkungen auf das verkehrliche Gesamtgeschehen. Sie beeinflussen also alle Fahrzeuge in einem Fahrzeugstrom. Dies kann zu einem völlig veränderten Verkehrsfluss führen und damit Größen wie die Kapazität oder Reisezeiten betreffen, was nicht zu letzt wirtschaftliche Auswirkungen für die Allgemeinheit hat.

VRA stellt virtuelle Testfelder für Assistenzsysteme zur Verfügung, die eine reproduzierbare Bewertung ermöglichen. Die Leistungsfähigkeit des Systems wird dabei in Vergleich zu einer „Basis“ betrachtet, die dem heutigen Verkehrszustand entspricht und nur „unausgerüstete“ Fahrzeuge umfasst.

Weiterhin ist vorgesehen, die Simulation so zu erweitern, dass einen Optimierung möglich wird. Derzeit sind die Simulationstools reine Bewertungswerkzeuge, die Ergebnisse für eine bestimmte Systemausprägung in einem vorgegebenen Szenario liefern. Hierzu werden neue Module geschaffen, die auf der Basis der Simulationsergebnisse eines "Initial-Laufes" eine

automatische Parametervariation erlauben und dann sukzessive neue Bewertungsläufe durchführen, bis vorgegebene Zielkriterien erreicht werden.

Daneben zählen zu den Weiterentwicklungen die Schaffung einer allgemein gültigen Datenschnittstelle zu Fahrerassistenzsystemen (FAS) und die Erstellung eines Verkehrsmonitors zur zielgerichteten Auswertung. Die nachfolgende Abbildung zeigt diese Komponenten in ihrem Zusammenhang zur Verkehrsablauf-Simulation.

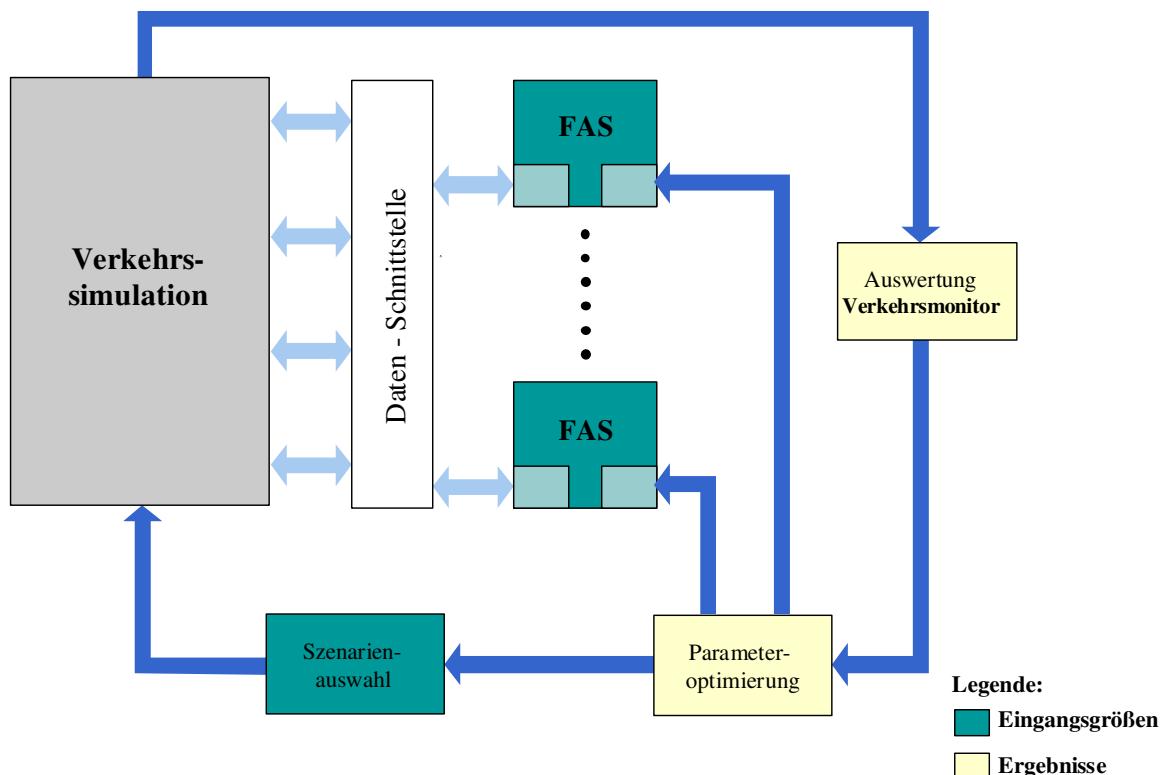


Abb. 1: Schema der Module zur Weiterentwicklung

VRA soll im Rahmen der verkehrlichen Bewertung beispielsweise die folgenden Fragen beantworten:

- ▶ Wie wirkt sich die Parametrisierung des Systems auf den Kraftstoffverbrauch des eigenen Fahrzeugs und des gesamten Verkehrs aus?
- ▶ Wie werden Reisezeit und Verkehrsdurchsatz in einem Streckenabschnitt durch das Assistenzsystem in Abhängigkeit des Ausrüstungsgrades (5%, 10%, 20%, 40%, ...) verändert?

- ▶ Wie beeinflussen unterschiedliche Systeme die Verkehrssicherheit?
- ▶ Ist das Assistenzsystem kolonnenstabil?
- ▶ Wie häufig muss der Fahrer das System überstimmen? In welchen Situationen geschieht dies?
- ▶ Wie muss die Erfassungsgeometrie der Fahrzeugumfeldsensorik gestaltet werden, um eine möglichst hohe Erfassungsgüte zu erreichen?

Ein erster Fragenkatalog zur verkehrlichen Bewertung wurde zu Beginn des Projektes zusammen mit den Partnern des Applikationsprojekts Stauassistent (STA) erstellt.

3 Aktuelle Ergebnisse

Im folgenden werden die ersten Ergebnisse dargestellt, die innerhalb des ersten Jahres in enger Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt „Stauassistent“ (STA) erarbeitet wurden. Sie umfassen einerseits „Consulting“ bezüglich der Thematik Stau und andererseits die erste Ad-hoc-Bewertung eines Reglers, wie er von STA spezifiziert worden ist.

3.1 Makroskopie des Staus

Unter diesem Titel sollten globale Kenngrößen des Phänomens Stau zusammengestellt werden. Die Fragen, die an das Teilprojekt VRA herangetragen wurden, betrafen einerseits die Definition von „Stau“, andererseits die Auswirkungen von Stau. Diese Fragen waren durch eine Literaturstudie zu klären.

Bei der Beschaffung der Literatur war auffällig, dass nicht nur sehr wenige Studien vorliegen, sondern auch die Verfügbarkeit eingeschränkt ist. Insbesondere liegen keine offiziellen Zahlen vor. Nachfolgend wird auf zwei aktuelle Untersuchungen /1/, /2/ eingegangen.

Bereits bei der Definition von „Stau“ gehen die allgemein benutzten Kennwerte auseinander. In /2/ wird von täglicher Staugefahr ausgegangen, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- ▶ Durchschnittsgeschwindigkeit kleiner 20 km/h

- ▶ Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) größer als 80.000Kfz/24h (bei zwei Fahrstreifen pro Richtung)
- ▶ mindestens eine Staustunde pro Tag

Zum Vergleich sei hier die Grundlage für die Steuerung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen /3/ zitiert. Unter etwas anderen Voraussetzungen, nämlich auf Basis von Messungen in kurzen Zeitintervallen, wird hier der Zustand „Stau“ festgelegt, wenn gilt:

- ▶ Durchschnittsgeschwindigkeit kleiner 30 km/h
- ▶ Verkehrsdichte größer 60 Fz/km pro Spur (bei zwei Fahrstreifen pro Richtung)

Neben der täglichen Staugefahr definiert /2/ noch die erhöhten Stauanfälligkeit, wenn gilt:

- ▶ Durchschnittsgeschwindigkeit kleiner 60 km/h
- ▶ Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) größer als 65.000Kfz/24h (bei zwei Fahrstreifen pro Richtung)

Auf dieser Basis wird ermittelt, dass 17 % (1948.6 km) des deutschen BAB-Netzes (Gesamtlänge 11.393 km) störanfällig sind und auf 2 % (208.6 km) tägliche Staugefahr besteht. Diese Zahlen gelten für das Jahr 1998.

Für das Jahr 2015 werden zwei Szenarien unterschieden:

- ▶ im **Trendszenario** werden keine verkehrspolitischen Maßnahmen zur Steuerung der Verkehrsentwicklung außer der Straßenbenutzunggebühr für Lkw ergriffen
- ▶ im **Integrationsszenario** ergreift die Verkehrspolitik angebots-, infrastruktur- und preispolitische Maßnahmen, um die Integration der Verkehrssysteme zu erhöhen

Davon ausgehend erhöht sich die Streckenlänge mit täglichen Staus um 351 % (Trendszenario) bzw. um 196 % (Integrationsszenario). Die nachfolgende Abbildung zeigt die entsprechend betroffenen Autobahn-Abschnitte.

Während sich /2/ auf die relevanten Streckenlängen bezieht, also auf die Infratstrukturseite, behandelt /1/ die Zeitverluste, also die Nutzerseite. Ausgangspunkt ist die Verkehrsleistung, die zu 30 % im BAB-Netz abgewickelt wird, also auf 2 % des gesamten Straßennetzes (Stand 1995). Es wird festgestellt, dass Staus auf BAB und Innerortstraßen relevant sind, auf

Landstraßen dagegen vernachlässigbar.

Es wird ausgeführt, dass im gesamten deutschen Straßennetz 12.700 Mio Fz-h erbracht werden; davon 1.900 Mio auf BAB und 7.300 Mio innerorts. Im Gesamtnetz werden 7.7 % der Zeit im Stau verbracht. Auf BAB werden 17.5 % der Zeit im Stau verbracht, entsprechend 334 Mio Fz-h, innerorts 8 %, entsprechend 587 Fz-h.

Dies wird umgerechnet auf die Bevölkerung Deutschlands von ca. 82 Millionen. Damit ergeben sich pro Einwohner 11 Stunden Aufenthaltsdauer im Stau pro Jahr.

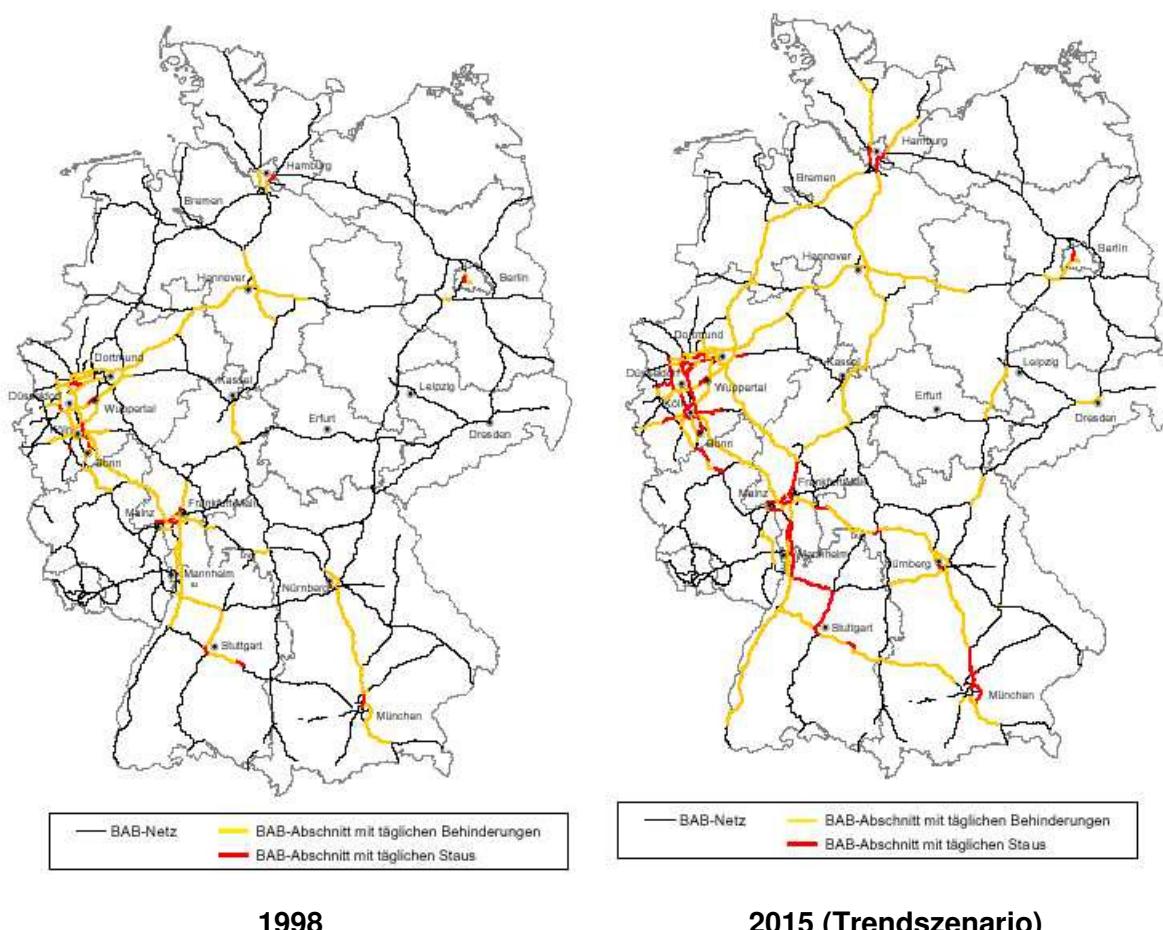


Abb. 2: Kritische Autobahnabschnitte. Quelle: /2/

Abschließend wird hier noch erwähnt, dass die gesamtwirtschaftliche Bewertungen teilweise von sehr unterschiedlichen Zeitkostensätzen ausgehen. Dadurch entstehen extreme Differenzen in den – oft plakativ publizierten – ermittelten Folgen von Staus.

3.2 Untersuchungskonzept

Um fachgemäße Aussagen über die verkehrliche Wirkung von Fahrerassistenzsystemen zu treffen, bedarf es einer systematischen Vorgehensweise bei der Untersuchung dieser Systeme. Aus diesem Grunde hat das Arbeitspaket „Verkehrliche Wirkung“ ein Untersuchungskonzept erdacht, welches auf der folgenden Abbildung schematisch dargestellt ist.

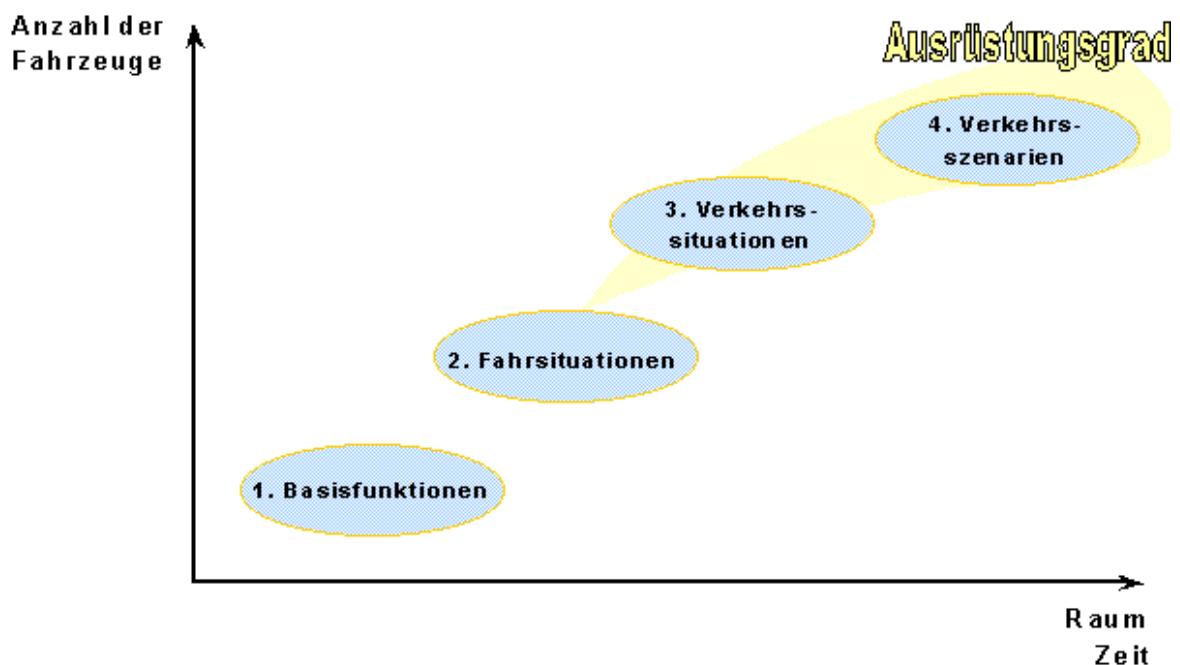


Abb. 3: Untersuchungskonzept zur Bewertung von Fahrerassistenzsystemen

Die diesem Untersuchungskonzept zu Grunde liegende Idee ist, die Fahrerassistenzsysteme nicht direkt in komplexen Verkehrsszenarien zu prüfen, sondern mit dem Testen der Basisfunktionen der Systeme zu beginnen. Diese Basisfunktionen charakterisieren sich dadurch, dass nur ein – mit dem Assistenzsystem ausgerüstetes – Fahrzeug während einer relativ kurzen Simulationszeit untersucht wird. Hierbei wird das Verhalten des Systems auf eine Sollwertvorgabe – z.B. konstante Sollgeschwindigkeit, konstanter Sollabstand, Sprunganregung – geprüft.

Der nächste Schritt ist die Simulation von Fahrsituationen. Diese bestehen aus einer geringen Anzahl von Fahrzeugen, wobei das ausgerüstete Fahrzeug auf das jeweilige Vorderfahrzeug einregelt. Die Zielfahrzeuge fahren hierbei einen synthetischen oder realen

Geschwindigkeits- bzw. Beschleunigungsverlauf nach. Beispiele für Fahrsituationen sind Annäherungs- und Folgevorgänge, Stop&Go-Verläufe, Einschervorgänge und die Untersuchung der Kolonnenstabilität. Nachdem die Simulation der Fahrsituationen erfolgreich abgeschlossen ist, werden die Fahrerassistenzsysteme in unterschiedlichen Verkehrssituation untersucht. Solche kennzeichnen sich durch die Betrachtung einer großen Anzahl von Fahrzeugen in zeitlich und räumlich begrenzten Situationen. Dadurch dass hier mit einer Vielzahl von Fahrzeugen simuliert wird, können unterschiedliche Ausrüstungsgrade mit in die Untersuchung einbezogen werden. Bei den Verkehrssituationen handelt es sich beispielsweise um Annähern ans Stauende, Folgen im Stau, Ausfahren aus dem Stau, Reaktion auf Störungen, Dichtewellen oder synchronisierten Verkehr.

Letzter Punkt des Untersuchungsprogramms ist die Betrachtung der Assistenzsysteme in Verkehrsszenarien, welche komplexe Szenarien mit einer großen Anzahl von Fahrzeugen in zeitlich und räumlich ausgedehnten Situationen abbilden. Auch hier wird der Ausrüstungsgrad als Parameter mit in die Simulation einbezogen. Zu diesem Untersuchungspunkt stehen dem Arbeitspaket (AP) „Verkehrliche Wirkung“ verschiedene komplexe Verkehrsszenarien – generiert aus Realdaten – zur Verfügung: Autobahnverkehr mit Spurenzug, Autobahnverkehr mit hohem Lkw-Anteil und Lkw-Überholvorgängen, Stadtverkehr mit hoher Verkehrsbelastung und starkem Zufluss an den Knotenpunkten, u.a.

Das hier vorgestellte Untersuchungskonzept ist ein iterativer Prozeß. Es ermöglicht Fahrerassistenzsysteme in einer frühen Entwicklungsphase bis hin zur Endphase zu untersuchen sowie zu bewerten und dabei die Entwicklung positiv zu beeinflussen.

3.3 Erste Simulationsergebnisse

Wie im Kapitel „Untersuchungskonzept“ beschrieben, wird das zu untersuchende Fahrerassistenzsystem – hier der Stauassistent (STA) – zuerst anhand von **Basisfunktionen** geprüft.

Die erste vom AP „Verkehrliche Wirkung“ untersuchte Basisfunktion für den STA war das Einregeln einer Sollgeschwindigkeit. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Geschwindigkeitsverlauf der einzuregelnden Sollgeschwindigkeit (rot) von 40 km/h und der tatsächlich eingeregelten Geschwindigkeit des STA (blau). Wie man erkennen kann, hat der STA keine Probleme, die Sollgeschwindigkeit nach anfänglichen Einschwingungsvorgängen zu halten.

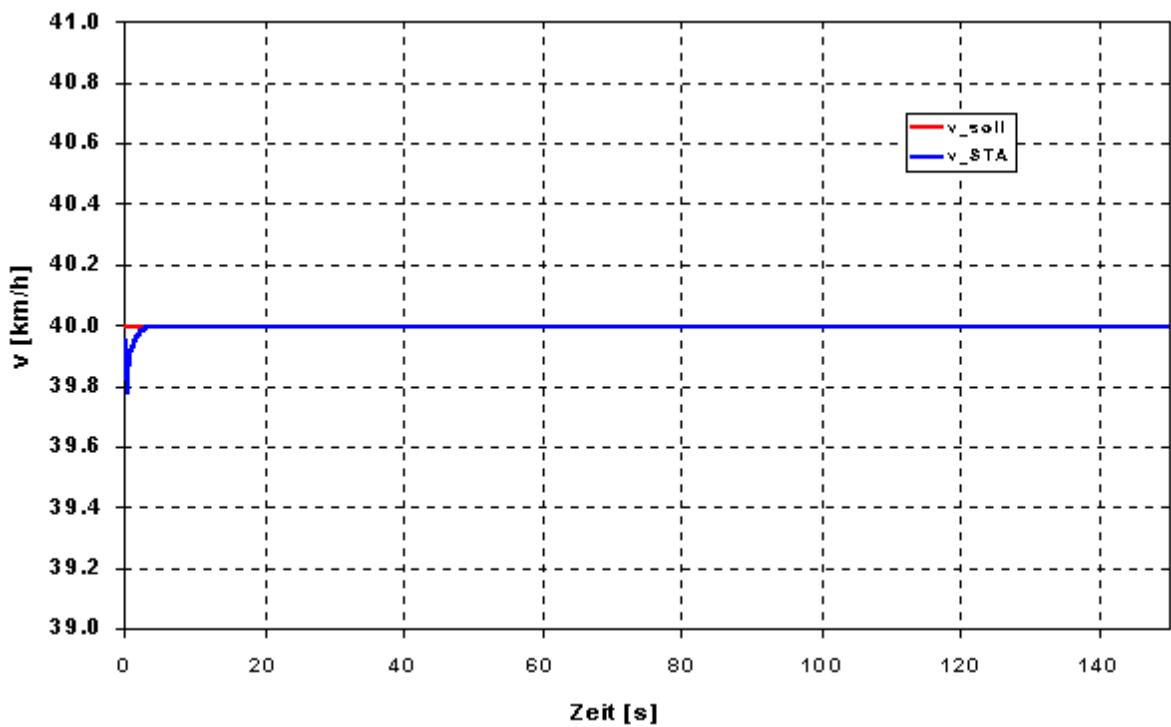


Abb. 4: Geschwindigkeitsverlauf

Bei der Betrachtung des STA-Status-Signals (nächste Abbildung) fällt jedoch auf, dass der STA stark zwischen den Zuständen an („1“) und aus („0“) schwingt.

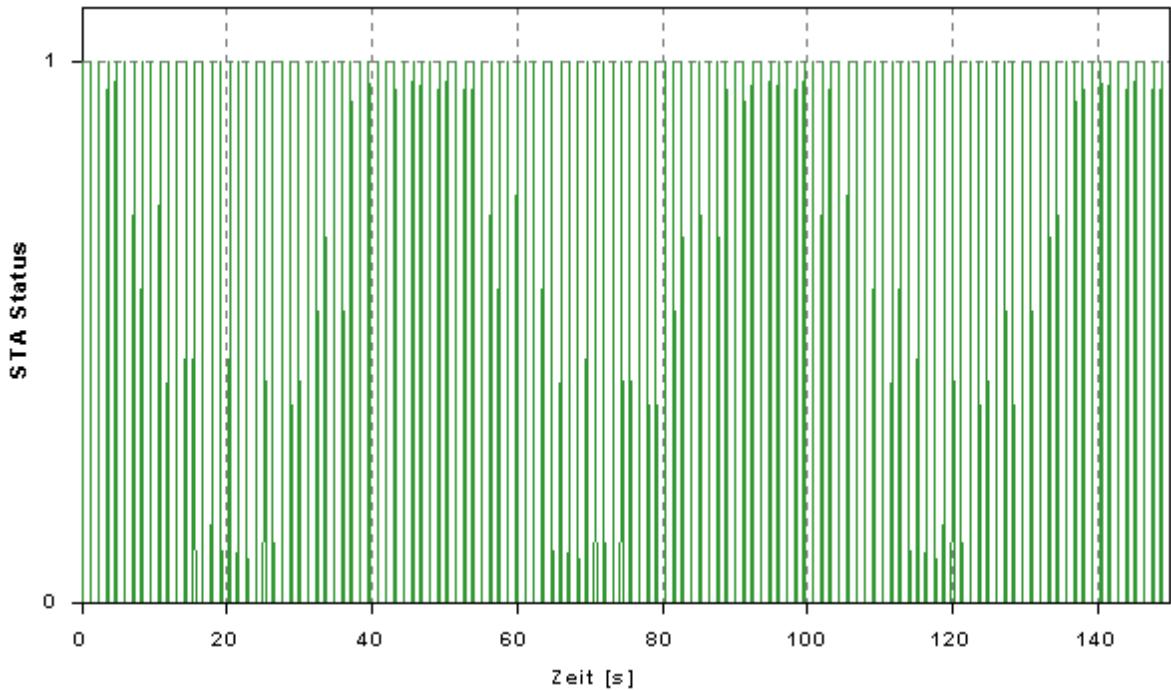


Abb. 5: Schwingung des STA Status (an - aus)

Der Grund hierfür liegt in der lückenhaften Ein-/Ausschalthysterese: beim Erreichen der Wunschgeschwindigkeit des Fahrers („v set“) schaltet sich der STA aus. Stimmt diese Wunschgeschwindigkeit mit der Einschaltgrenze des STA (40 km/h) überein, kommt es zu den erwähnten Schwingungen. Dieses Problem ist mittlerweile bereoben und in die Weiterentwicklung des STA eingeflossen.

Eine weitere untersuchte Basisfunktion ist die Sprunganregung. Hierbei wurde ein Geschwindigkeitssprung von 30 km/h auf 40 km/h vorgegeben, wie in folgender Abbildung wiedergegeben (rot). Die Antwort des STA (blau) weist einen kleinen Überschwinger auf.

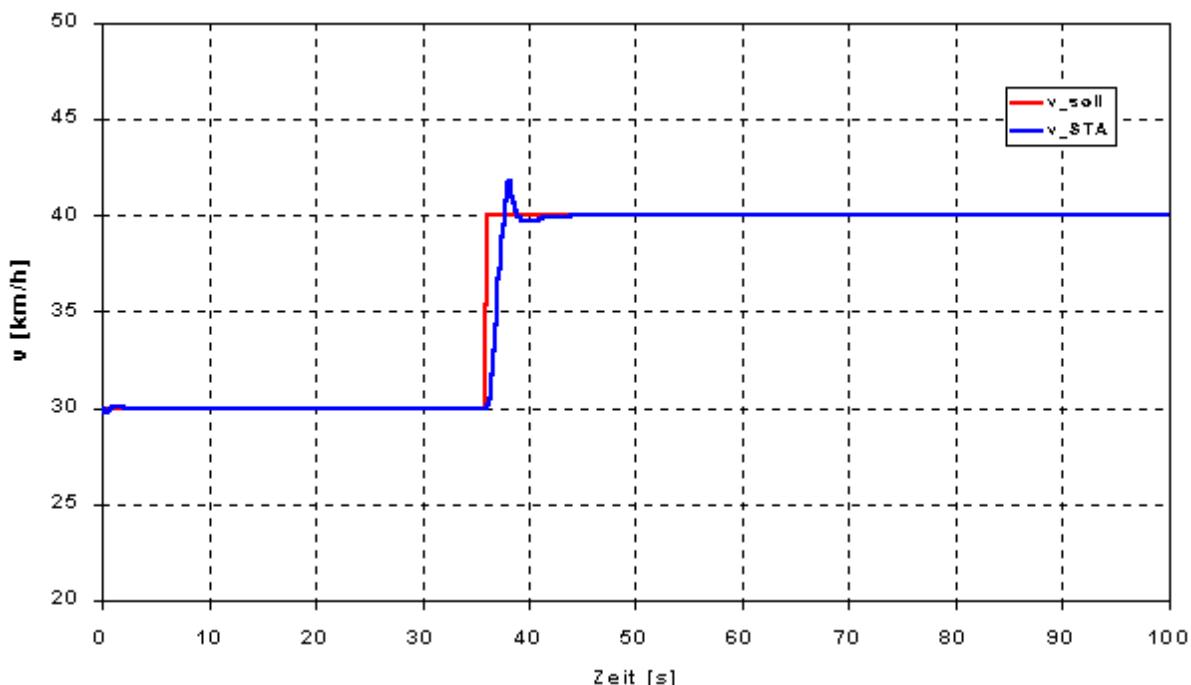


Abb. 6: Sprunganregung

Im weiteren Verlauf der Ad-hoc-Bewertung gilt zu untersuchen, ob dieses Überschwingen einen negativen Einfluss auf die Kolonnenstabilität des STA hat.

Wie man in den vorangegangenen Abschnitten gesehen hat, führte die Analyse der elementaren Regelweise des STA anhand von Basisfunktionen bereits zu wichtigen Ergebnissen. Die daraus gewonnenen Rückschlüsse konnten in die Reglerentwicklung einbezogen werden und zu deren Fortschritt beitragen.

Die verkehrlichen Wirkungen werden, wie oben erläutert, erst überprüft, wenn der Regler gewisse Reife hat, d.h. Ergebnisse aus der Untersuchung von Basisfunktionen und

Fahrsituationen eingeflossen sind.

Die hier folgenden Ergebnisse zeigen erste Analysen von **Fahrsituationen**. Dazu fährt ein vorausfahrendes Fahrzeug ein stautypisches Geschwindigkeitsprofil nach. Ein folgendes weiteres Fahrzeug ist einmal ohne und einmal mit Stauassistenzsystem ausgerüstet. Das folgende Bild zeigt diesen Geschwindigkeitsverlauf über Strecke und Zeit für das vorausfahrende Fahrzeug und ein folgendes Fahrzeug ohne Stauassistenzsystem.

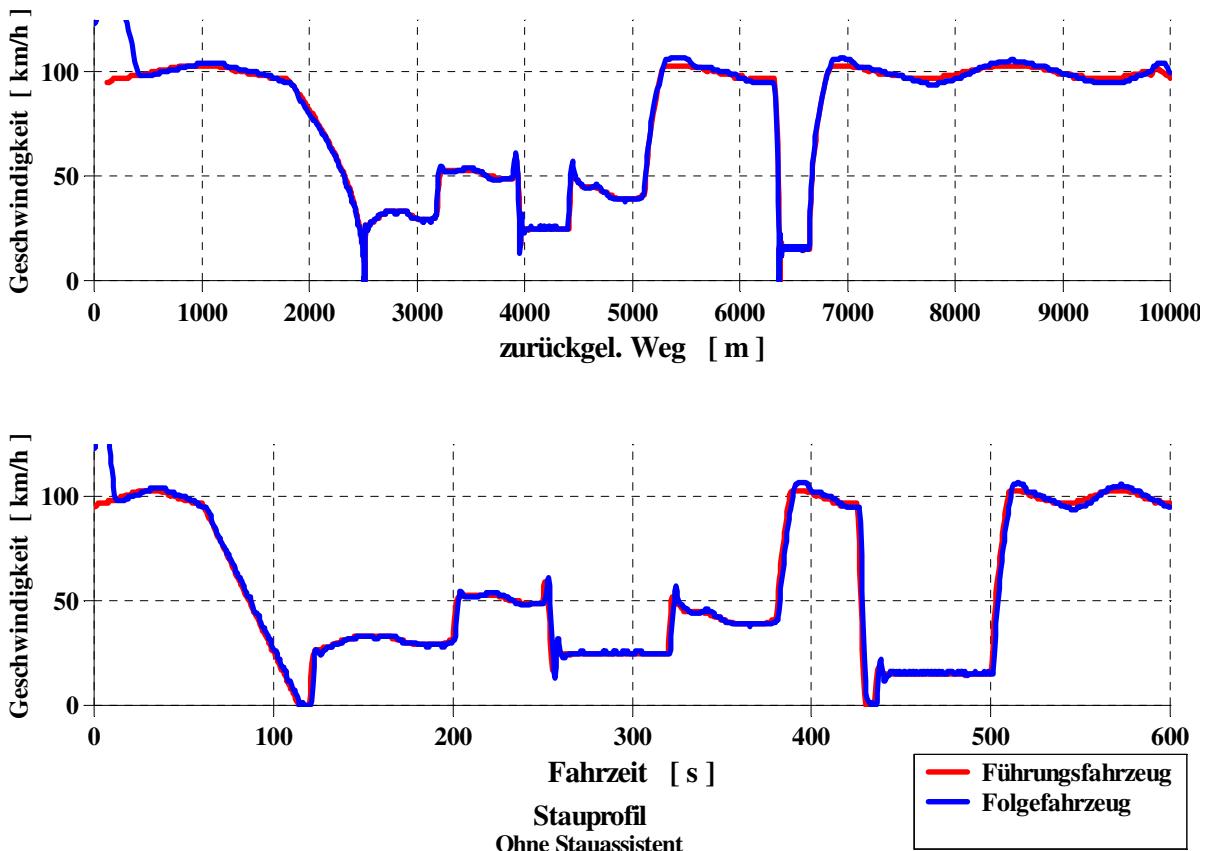


Abb. 7: Nachfahren eines Stauprofils ohne Stauassistent im Folgefahrzeug

In der ersten Untersuchung wird der Einfluss der Zeitlücke auf das Beschleunigungsverhalten des folgenden ausgerüsteten Fahrzeugs analysiert. Danach werden erste verkehrliche Auswirkungen des Assistenzsystems bei der Ausfahrt aus dem Stau untersucht.

Einfluss der eingestellten Zeitlücke

Die Zeitlücke ist ein wesentlicher Assistenzsystemparameter, der vom Fahrer unmittelbar

wahrgenommen werden kann. Die Zeitlücke ist der Abstand dividiert durch die Geschwindigkeit. Sie bestimmt das geschwindigkeitsabhängige Abstandsverhalten und ist somit ein wesentlicher Sicherheitsparameter im realen Straßenverkehr. Aufgrund der Reaktionszeit des Menschen sieht der Gesetzgeber „Tacho Halbe“ vor, was einer Zeitlücke von 1,8 s entspricht. Dauerhaft gefahrene Abstände unterhalb der Hälfte dieses Wertes (0,9s) werden als Verstoß geahndet.

Da die Reaktionszeiten des Assistenzsystems deutlich unterhalb der menschlichen Reaktionszeiten liegen, werden 2 Bewertungsanalysen bei der empfohlenen Zeitlücke von 1,8 Sekunden und bei 1 Sekunde durchgeführt, die gerade noch nicht mit Bußgeld belegt wird.

Die folgende Abbildung zeigt bei der Fahrt im Stau bei eingestellten Zeitlücken von 1,8 s den Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Abstandsverlauf des folgenden Fahrzeugs mit Assistenzsystem.

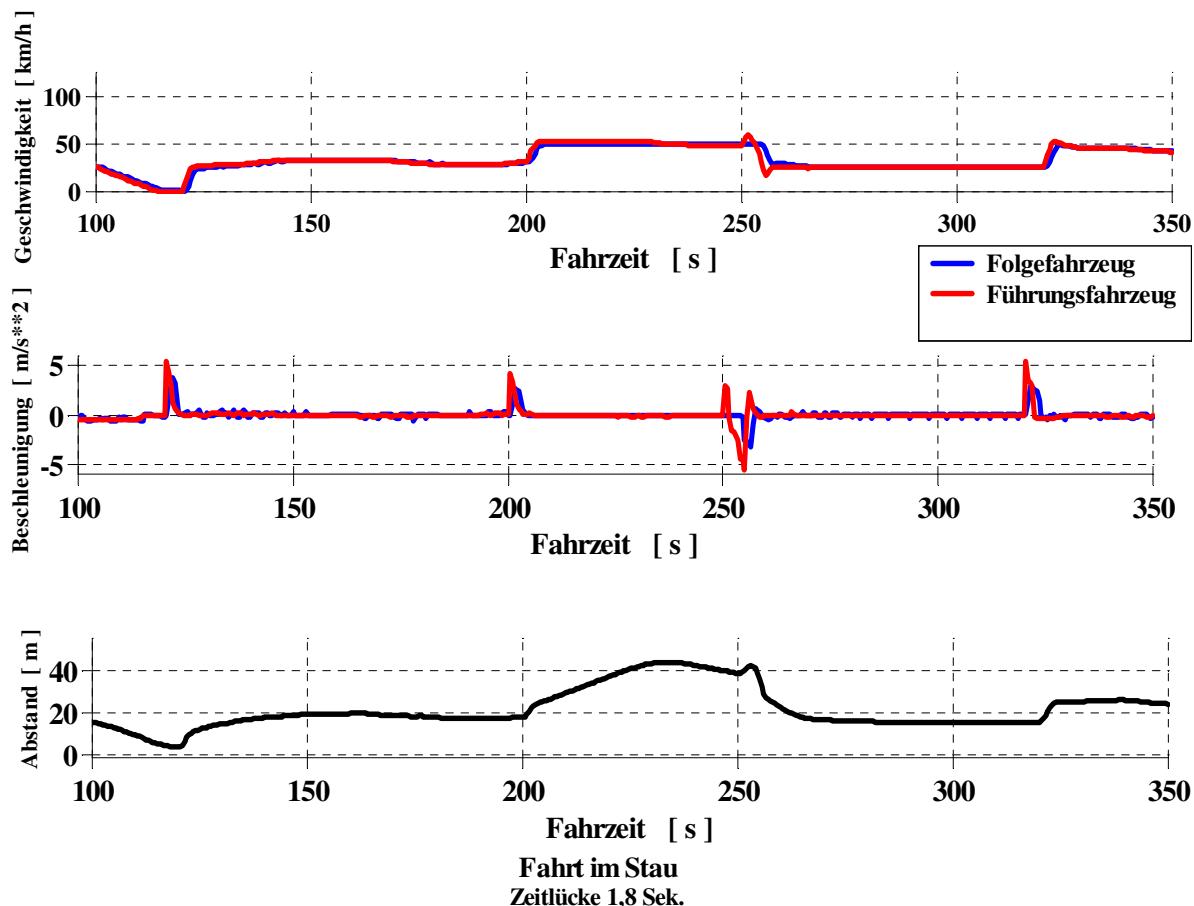


Abb. 8: Fahrt im Stau mit Assistenzsystem und eingestellter Zeitlücke 1,8 Sek

Das folgende Bild zeigt die gleichen Größen bei einer eingestellten Zeitlücke von 1 Sekunde.

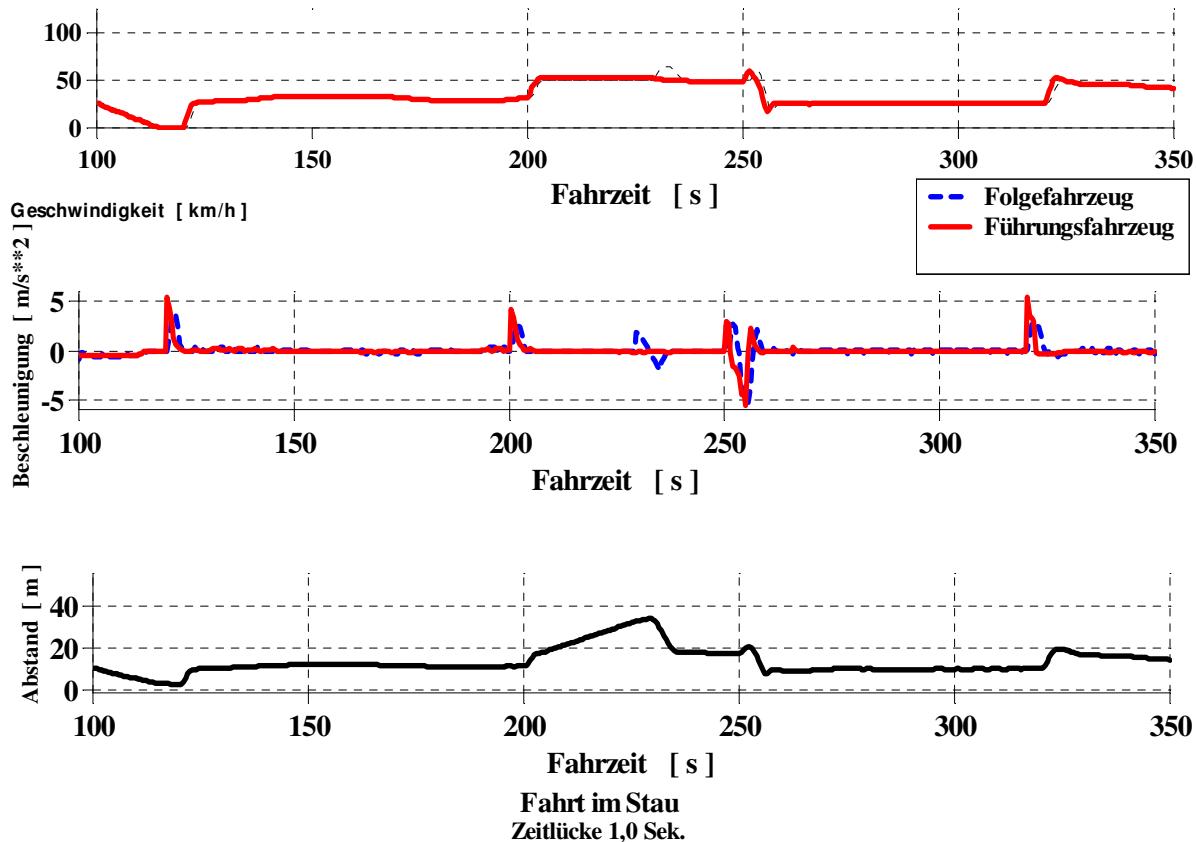


Abb. 9: Fahrt im Stau mit Assistenzsystem und eingestellter Zeitlücke 1,0 Sek.

In beiden Fällen werden die Geschwindigkeiten vom Stauassistenten gut nachgefahren, so dass hier keine Probleme zu erwarten sind, wenn mehrere Fahrzeuge mit Assistenzsystem hintereinander herfahren. Die Abstände sind bei einer Sekunde naturgemäß kleiner. Dies wirkt sich auf die Staulänge eher positiv aus.

Interessant ist der annähernd gleiche Verlauf der Beschleunigung. Die naheliegende Vermutung, dass das Assistenzsystem, ähnlich wie der menschliche Fahrer, eine angestrebte größere Zeitlücke für ein dämpfendes beruhigendes Fahren benutzt, ist falsch. Wenn man den Beschleunigungsverlauf als Maß für Komfort und Verbrauch ansieht, dann ergeben sich bei größeren Zeitlücken keine besseren Werte. Umgekehrt kann die verkehrliche Wirkung einer beruhigenden Fahrweise nicht über die Zeitlücke realisiert werden.

Einfluss eines Fahrerübernahmeparameters

Nicht nur das Regelverhalten des Stauassistenten bestimmt seine verkehrliche Wirkung, sondern auch die Bedingungen, wann der Assistent ein- und ausgeschaltet (Fahrerübernahme) wird. Beide Vorgänge können automatisch oder durch den Fahrer eingeleitet werden.

Hier wird die automatisch ausgelöste Fahrerübernahme für 2 Assistenzsystemvarianten untersucht. Zuerst findet die Fahrerübernahme statt wenn eine Grenzgeschwindigkeit von 50 km/h erreicht wird, Fall a). Im zweiten Fall b) muss zusätzlich zur Geschwindigkeitsbedingung noch eine Mindestabstandsbedingung erfüllt werden, bevor das Assistenzsystem an den Fahrer übergibt.

Das Augenmerk liegt auf der verkehrlichen Wirkung dieser Varianten bei der Ausfahrt aus dem Stau. Verkehrstheoretische Ansätze und Messungen im realen Verkehr zeigen, dass bei der Ausfahrt aus einem Stau eine Verkehrsstärke von etwa 1800 Fz/h realisiert wird, was einer Zeitlücke zwischen den Fahrzeugen von etwa 2 Sekunden entspricht.

Zuerst wird bei der Ausfahrt aus dem Stau der simulierte Verlauf von Geschwindigkeit, Abstand und Zeitlücke gezeigt, wenn das folgende Fahrzeug nicht mit dem Stauassenzsystem ausgerüstet ist. Die simulierten Zeitlücken zeigen eine gute Übereinstimmung mit den real gemessenen Daten.

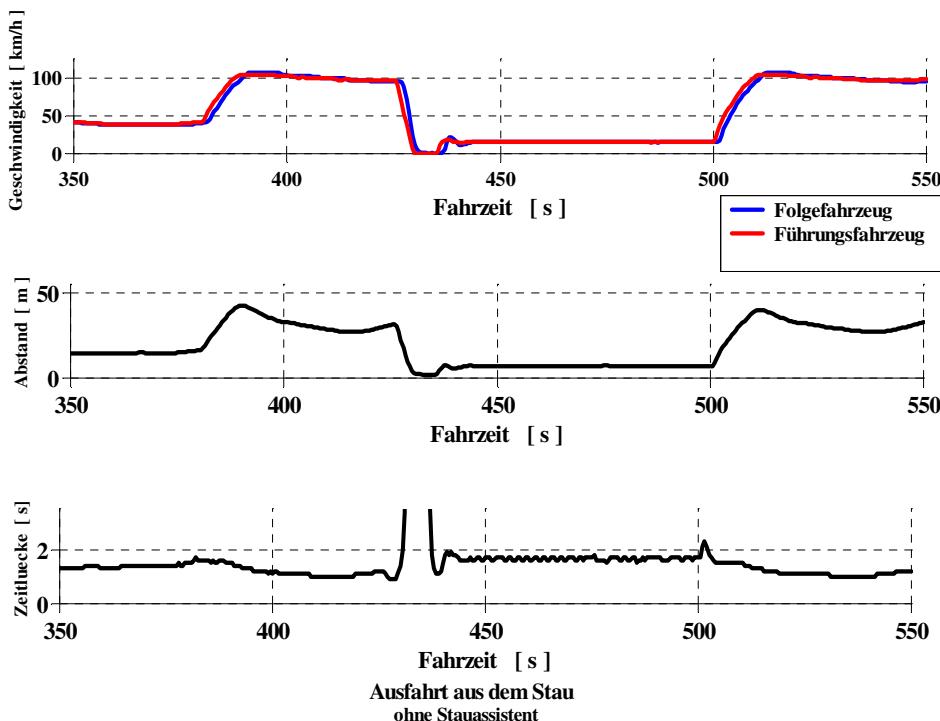


Abb. 10:: Ausfahrt aus dem Stau ohne Stauassistent

Ist das folgende Fahrzeug mit Assistenzsystem ausgerüstet, so zeigt die folgende Abbildung bei einer eingestellten Zeitlücke von 1,0 Sekunden den Verlauf von Geschwindigkeit, Abstand und Zeitlücke für den oben geschilderten Fall bezüglich der automatisch ausgelösten Fahrerübernahmestrategie wenn die Grenzgeschwindigkeit erreicht ist.

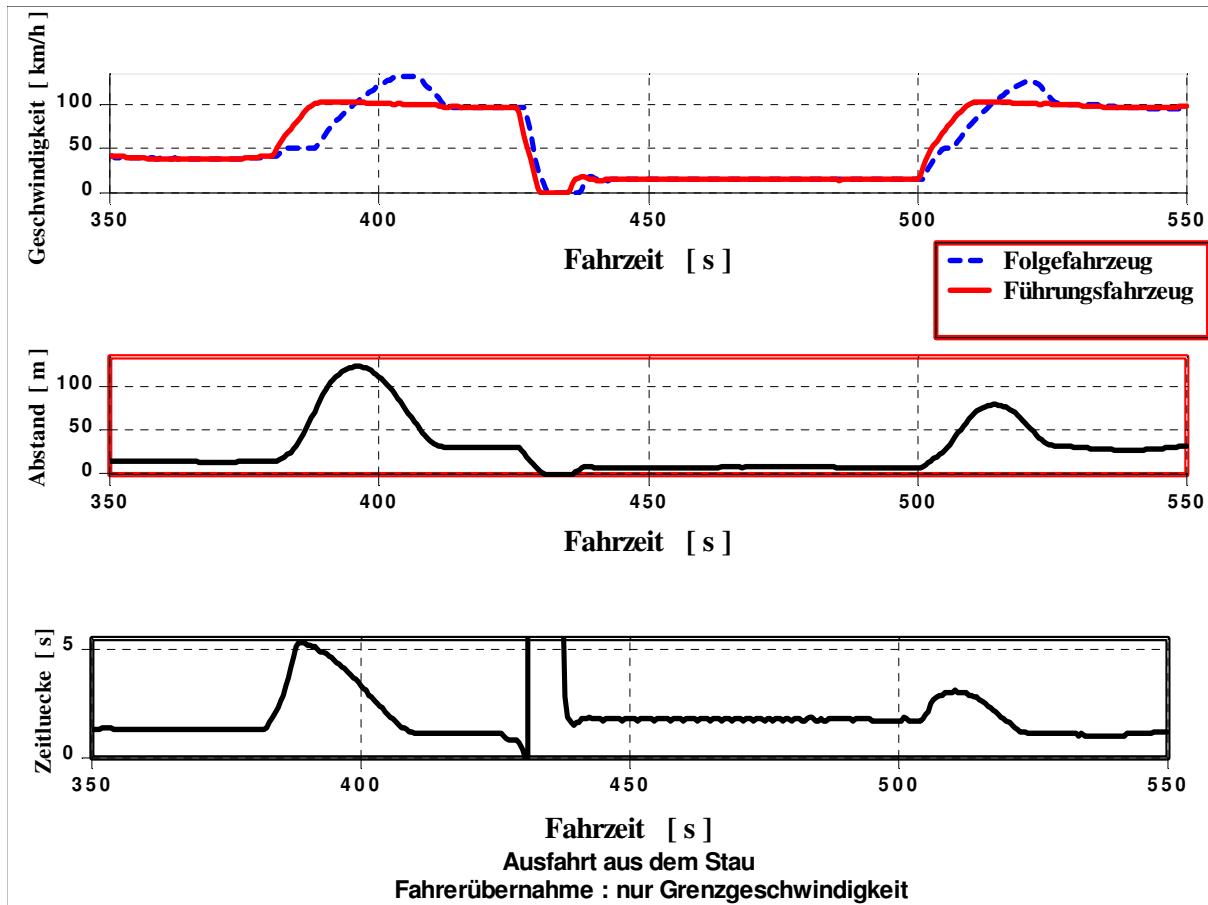


Abb. 11: Fahrerübernahme ohne Mindestabstandsbedingung

Wenn die automatisch ausgelöste Übernahme durch den Fahrer erst stattfindet, wenn neben der Geschwindigkeitsbedingung gemäß Fall a) noch eine Abstandsbedingung gemäß Fall b) erfüllt sein muss, dann ergeben sich kaum Unterschiede im Abstandsverhalten, siehe folgende Abbildung. Die inakzeptabel großen Abstände haben eine starke negative verkehrliche Wirkung bei der raschen Auflösung von Staus. Die Akzeptanz des Fahrers in dieser Situation wird hier nicht untersucht, wäre aber vermutlich auch ziemlich gering.

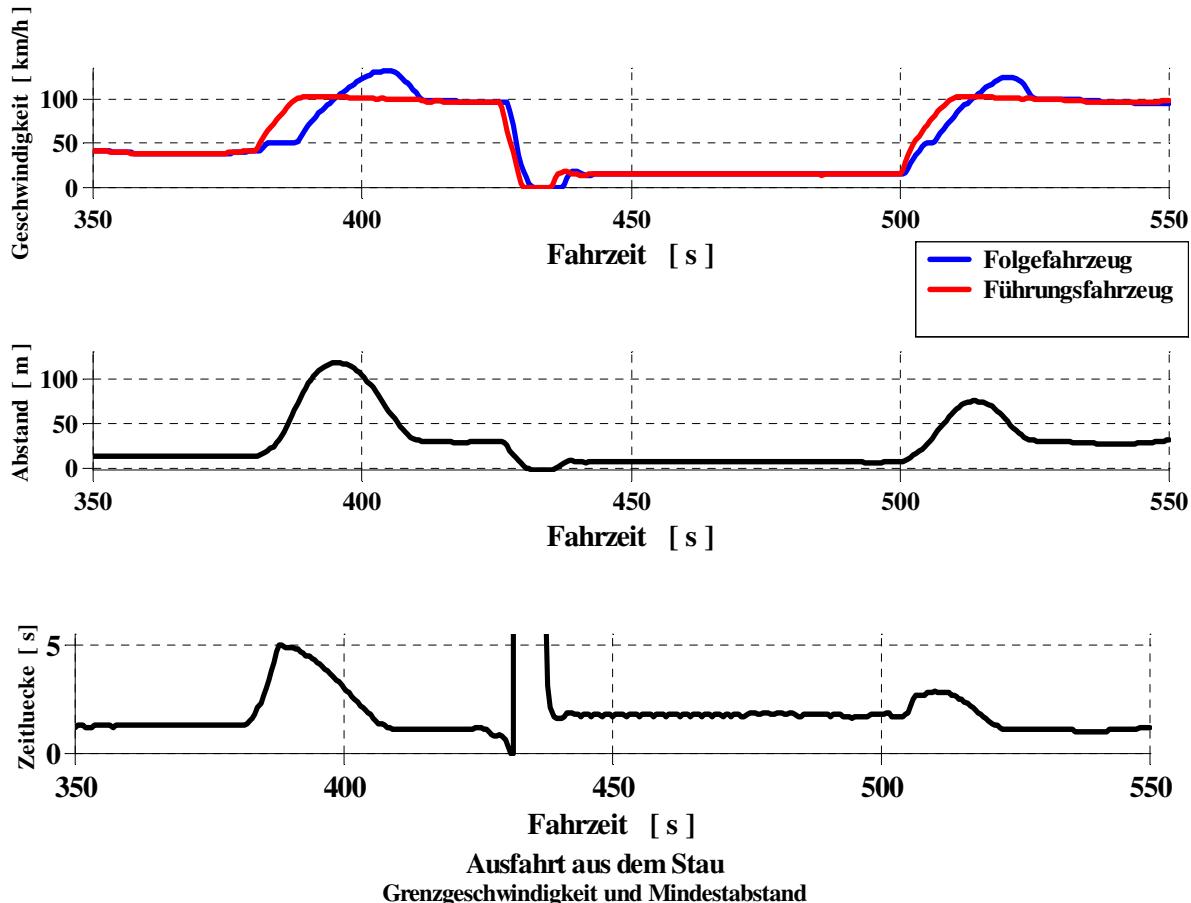


Abb. 12: Fahrerübernahme mit Mindestabstandsbedingung

Die gezeigten frühen Bewertungen des INVENT-Stauassistenten sind typisch für erste Ad-hoc-Bewertungen. Einerseits sind noch nicht alle relevanten Parametervarianten des Stauassistenten umfassend untersucht. Neben überraschend guten ersten Ergebnissen, wie z.B. das Verhalten beim Geschwindigkeitssprung gibt es auch Parameterkonstellationen und Assistenzsystemkonzepte, die in jedem Fall überarbeitet und in der vorliegenden Form nicht weiterentwickelt werden sollten.

4 Schlußbemerkungen

Die oben dargestellten Ergebnisse geben lediglich einen beispielhaften Auszug aus den Arbeiten innerhalb des Arbeitspaketes „Verkehrlichen Wirkungen“ wieder. An ihnen wird klar ersichtlich, wie schon sehr frühzeitig wertvolle Hinweise für die Entwicklung gegeben werden können. Die Entwicklung des Systems „Stauassistent“ wird in /4/ beschrieben. Im weiteren Verlauf der Arbeiten werden nun die vorhandenen Tools zu einer integrierten Analyse-

Plattform zusammengeführt und um weitere für die Entwickler wichtige Module ergänzt. Parallel dazu werden die Bewertungsaufgaben entlang der oben beschriebenen Schiene für räumlich-zeitlich immer größere Bereiche durchgeführt werden, so dass am Ende der Projektlaufzeit gesicherte Aussagen zu den verkehrlichen Wirksamkeiten vorliegen werden.

5 Projekt-Förderung

Die hier beschriebenen Arbeiten werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen **19 S 1056** gefördert.

6 Literatur

- /1/ Schallaböck, K.-O., Petersen, R.: Traffic Congestion in Europe, Report of the 110th Round Table on Transport Economics (12-13. March 1998), Paris, März 1998
- /2/ Baum, H.; Peter, H.; Rupke, B.; Schneider, J.; Schott, V.; Schulz, W.H.; Suthold, R.; Krempin, M.: Kapazitätssituation der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland, Studie für das FOCUS Magazin, Köln, Oktober 2001
- /3/ Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen, Ausgabe 1999
- /4/ Weilkes, M.; Baum, D.; Hummel, M.; Maurer, M.; Schiehlen, J.: Stauassistent – Systemkonzept und Funktionalität, VDI-Tagung „Telematik im Kraftfahrzeug“, Ottobrunn, November 2002