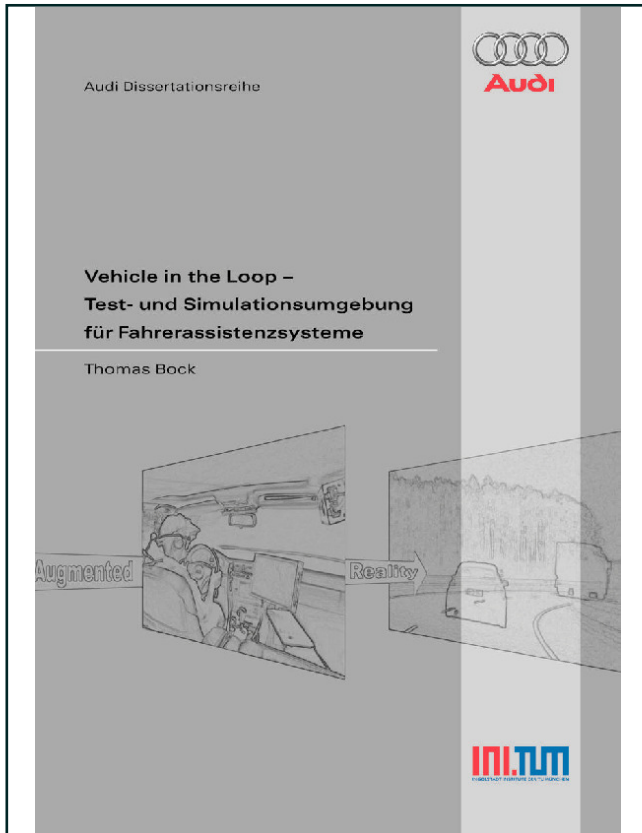




Thomas Bock (Autor)

# Vehicle in the Loop - Test- und Simulationsumgebung für Fahrerassistenzsysteme



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1285>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# 1 Einleitung

Die ansteigende Fahrzeugkomplexität, vor allem getrieben durch den Einzug der Regelsysteme ins Fahrzeug, bei steigender Variantenvielfalt und größtmöglicher Individualisierung und gleichzeitiger Reduzierung der Entwicklungszeiten und -kosten sind ohne Simulationsunterstützung praktisch nicht mehr beherrschbar. Die Verfügbarkeit und Qualität von Simulationsmethoden und deren Prozessintegration wird damit zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor.

## 1.1 Motivation für Test- und Simulationsumgebung am Beispiel der Automatischen Notbremse

Systeme zur Verbesserung der Fahrsicherheit stellen ein wesentliches Entscheidungskriterium beim Neuwagenkauf dar und werden zu einem immer wichtigeren Umsatz- und Ertragsträger für den Automobilssektor. Während im klassischen Bereich der passiven Fahrsicherheit nur noch kleine Fortschritte mit verhältnismäßig hohem Aufwand erzielt werden können, lassen sich mit Systemen zur aktiven Sicherheit noch deutlich mehr Potentiale ausschöpfen.

Ein aktuelles Forschungs- und Entwicklungsthema stellen autonom intervenierende Assistenzsysteme dar, welche Unfälle vermeiden (Collision Avoidance) oder die Unfallfolgen mindern (Collision Mitigation) sollen. Da derartige Systeme teilweise auch ohne explizite Handlung des Fahrers in die Fahrdynamik eines Fahrzeugs eingreifen, sind die Anforderungen an die Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit der Einzelsysteme sowie deren Interaktion mit bereits bestehenden Fahrzeugsystemen besonders hoch [11].

Mit der gestiegenen Komplexität dieser Systeme ändert sich auch die Anforderung an die bis zur Entwicklung der Serienreife benötigten Test- und Simulationswerkzeuge. Aktuelle und künftige Assistenzsysteme können mit etablierten Methoden oft nur eingeschränkt oder gar nicht erprobt werden. Der derzeit vertretbare Auslözeitpunkt einer Automatischen Notbremse (ANB) liegt beispielsweise in einem sehr kurzen Zeitfenster unmittelbar vor einer Kollision (vgl. Bild 1.1). Deshalb erweist sich der reproduzierbare und vor allem sichere Test für den Entwicklungsingenieur derartiger Sicherheitssysteme bisher als sehr schwierig [10].

Fahrerassistenzsysteme, die in kritischen Verkehrssituationen unterstützen, erfordern eine Erprobung und Absicherung unter nahezu realen Verkehrsbedingungen. Der derzeitige Stand der Technik sind Fahrsimulatoren, Verkehrsflusssimulationen und Erprobungs-

## 1 Einleitung

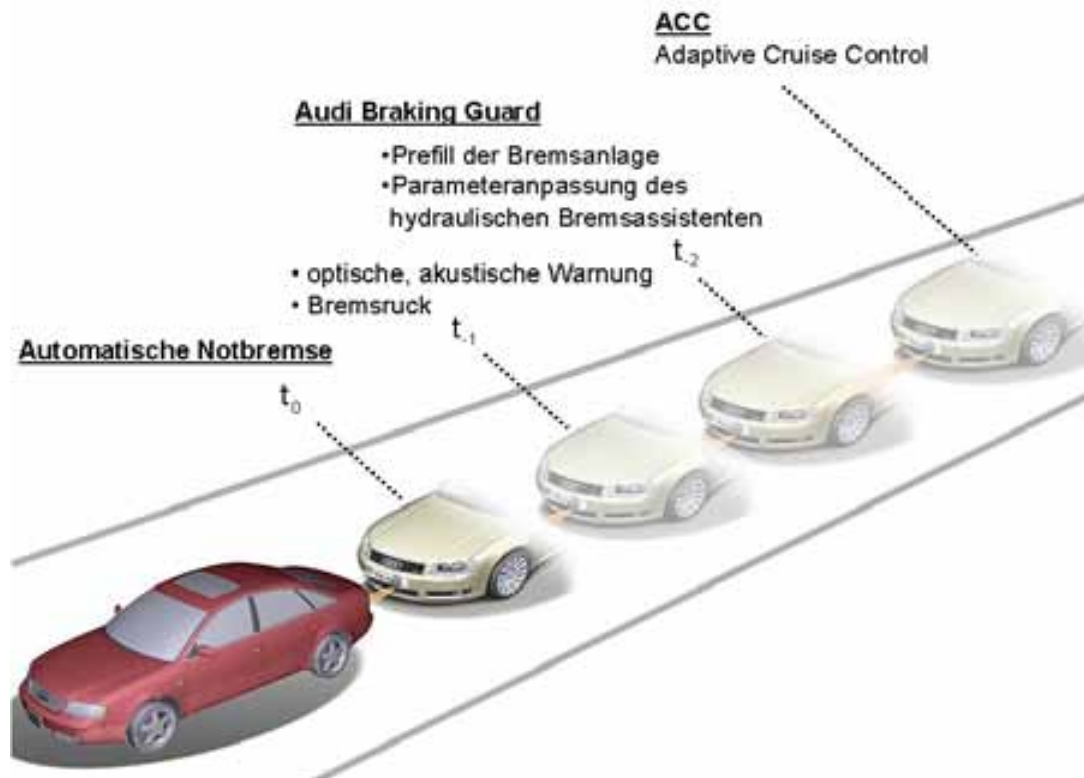


Bild 1.1: Entwicklungstrend ACC - Audi Braking Guard - Automatische Notbremse

fahrzeuge, die mit Ersatzobjekten wie z.B. Schaumstoffwürfeln kollidieren. Die derzeit verfügbaren Testwerkzeuge erfüllen die Anforderungen nach einer realistischen, reproduzierbaren, sicheren und zugleich Ressourcen schonenden Testumgebung allerdings nur eingeschränkt (vgl. Kapitel 2). Selbst komplexe Bewegungssysteme von Fahrsimulatoren können die reale Fahrzeugdynamik nur begrenzt abbilden. Anhand der bekannten Testmethoden zur Absicherung von Collision Avoidance und Mitigation Systemen wird die Notwendigkeit einer alternativen Testmöglichkeit sichtbar.

Die historisch gewachsene Entwicklungsmethode der Funktionsentwicklung im Versuchsfahrzeug bringt für den Entwicklungsingenieur die Vorteile einer direkten und unverfälschten Funktionsbeurteilung im Fahrzeug, da er nicht wie im Simulator auf das reale Umfeld verzichten muss und die gewünschte Funktionsausprägung (im Falle einer Automatischen Notbremse einen Eingriff in die Längsdynamik) direkt spüren kann. Zusätzlich kann bei der Funktionsdarstellung auf die im Fahrzeug bereits vorhandene Vernetzung (z.B. CAN Busse, Flexray, etc.) und das Diagnosekonzept zurückgegriffen werden. Falls Änderungen an diesen Rahmenbedingungen im Laufe eines neuen Fahrzeugprojektes notwendig werden, kann somit schnell und zielgerichtet reagiert werden.

## 1.2 Ziel und Beiträge der Arbeit

Der Ansatz für die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Test- und Simulationsumgebung liegt daher in der Kopplung eines realen Testfahrzeugs mit einer virtuellen Verkehrsumgebung eines Fahrsimulators. Der virtuelle Fremdverkehr soll dem Fahrer durch ein optical see through Head Mounted Display während der Fahrt realitätsnah und kontaktanalog auf der realen Straße eingeblendet werden. Durch die Anwendung der Augmented Reality Technologie bleibt für den Fahrer die reale Umwelt (z.B. Fahrbahn, Straßenbebauung) weiterhin sichtbar. Dadurch können die Vorteile eines Fahrsimulators mit denen eines realen Versuchsfahrzeugs kombiniert werden.

Mit Hilfe einer Probandenstudie muss anschließend gezeigt werden, ob diese neuartige Test- und Simulationsumgebung als Tool für Entwicklungsingenieure dienen kann. Eine entscheidende Rolle spielt dabei, neben technischen Messdaten, die subjektive Wahrnehmung des Fremdverkehrs durch den Fahrer. Hieraus leitet sich die Anforderung ab, dass der Fahrer den virtuellen Fremdverkehr möglichst realistisch wahrnehmen muss. Somit steht im Fokus der Studie, ob das Fahrverhalten der Probanden bei den Versuchen mit einem virtuellen Vorderfahrzeug dem Verhalten bei einem realen Vorderfahrzeug gleicht.

## 1.3 Struktur der Arbeit

Anfangs wird der Stand der Technik im Bereich der Test- und Simulationsumgebungen für Fahrerassistenzsysteme dargestellt. Anschließend werden unterschiedliche Konzeptansätze zur Positionierung eines realen Versuchsfahrzeugs in einer Verkehrssimulation und zur realistischen Visualisierung von simuliertem Fremdverkehr für den Fahrer vorgestellt. Darauf aufbauend wird das Gesamtkonzept im Rahmen einer funktionalen Architektur erklärt und der Begriff „Vehicle in the Loop“ für die neuartige Test- und Simulationsumgebung eingeführt.

In den folgenden Kapiteln werden die technische Umsetzung und die hierfür notwendigen Koordinatentransformationen erklärt. Da Fahrerassistenzsysteme zur Unfallschwereminderung oder Unfallvermeidung zumeist auf Umfeldsensorik basieren, sind für das Vehicle in the Loop Konzept Sensormodelle notwendig, damit die zu entwickelnden Fahrerassistenzfunktionen auf virtuellen Fremdverkehr reagieren können. Die Entstehung und Modellierung der Sensormodelle für einen Radarsensor und eine Videokamera ist Inhalt des vorletzten Kapitels, bevor abschließend die Einsetzbarkeit und die bisherigen Grenzen des Vehicle in the Loop durch eine Probandenstudie vorgestellt werden.

## 2 Stand der Technik für Test- und Simulationsumgebungen

Die Anzahl unterschiedlicher Fahrerassistenzsysteme und deren Komplexität ist in den letzten Jahren stetig gewachsen. Durch diesen Anstieg nimmt der Bedarf an angepassten Test- und Simulationsumgebungen ebenfalls zu. Neben den notwendigen technischen Gesichtspunkten, wie etwa der Systemsicherheit, müssen auch Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion und die Auswirkungen der Assistenzsysteme auf den Verkehrsfluss betrachtet und bewertet werden [26]. Makroskopische verkehrstechnische Auswirkungen lassen sich bevorzugt durch Verkehrsflusssimulationen beurteilen. Ergonomische Aspekte von Fahrerassistenzsystemen sind beispielsweise gut mit Fahrsimulatoren zu testen. Eine kundenrelevante Applikation und endgültige Parametrierung von Systemkomponenten erfolgt trotz steigender Simulationsmöglichkeiten derzeit bevorzugt durch den Entwicklungsingenieur in realen Versuchsfahrzeugen oder wird durch Feldversuche und/oder Probandenstudien abgesichert.

Im Folgenden werden verschiedene Test- und Simulationsumgebungen vorgestellt, deren Einsatzspektrien einen Bereich bei der Entwicklung und Bewertung von Fahrerassistenzsystemen abdecken und welche eine Erprobung mit Fremdverkehr (teilweise synthetisch) ermöglichen.

### 2.1 Hardware in the Loop Methoden

In diesem Kapitel wird einführend die Technik der Hardware in the Loop (HIL) Simulation erläutert und anschließend eine Anpassung der HIL Methodik auf Fahrerassistenzsysteme vorgestellt.

#### 2.1.1 Einsatzarten von Hardware in the Loop

Mit der rapiden Zunahme von elektronischen Steuergeräten mit steigendem Funktionsumfang, insbesondere in der Antriebselektronik mit einer Fülle neuer regelbasierter Funktionen, wurde ab ca. Mitte der 1990er Jahre Hardware in the Loop als Maßnahme zur Verbesserung der Testmöglichkeiten im Automobilebereich eingeführt [91]. Hierbei wird HIL in drei wesentlichen Ausprägungen für den Test angewandt:

- Integration eines elektronischen Systems (z.B. Motor-, Getriebe- oder Bremsensteuergerät) in einen HIL Simulator als so genannter Komponenten- oder Modulprüfstand: Das zu testende Steuergerät liegt in Form realer Hardware vor und ist in eine Echtzeit-Simulationsumgebung eingebunden. Die Aufgabe der Simulationsumgebung ist es, die benötigten Eingangssignale für das reale Steuergerät mittels entsprechender Softwaremodelle bereitzustellen. Die Ausgangssignale des zu testenden Steuergeräts sind wiederum Eingangssignale für die Softwaremodelle (entsprechend für Motor, Getriebe, Bremse) der Simulationsumgebung.
- Adaption von mehreren elektronischen Systemen an einen bzw. mehreren gekoppelten HIL Simulatoren als so genannter Integrationsprüfstand: Hierbei gehören die elektronischen Systeme im Allgemeinen zum gleichen Teilbereich des Automobils (z.B. Antriebselektronik, Komfort- bzw. Karosserieelektronik, Infotainmentelektronik).
- Neben der reinen Anbindung des elektronischen Steuergeräts an einen HIL Simulator gibt es auch die Variante des mechatronischen Verfahrens. Hierbei wird zusätzlich ein Teil der Mechanik in die Regelschleife integriert. Dieses Verfahren wird beispielsweise in der Entwicklung des elektronischen Stabilitätsprogramms (ESP) verwendet, wobei neben dem ESP Steuergerät auch die Bremsenhardware (z.B. Bremsscheiben und Bremssättel) als reale Mechanik an den HIL Simulator gekoppelt ist. Durch Fahrdynamikmodelle wird auf Grund der realen Bremsenreaktionen ein Fahrzustand in Echtzeit simuliert, welcher als Eingangsinformation für das ESP Steuergerät dient.

Bei der Durchführung von Tests mit HIL werden die in der Anfangsphase manuell durchgeführten Tests durch automatische Testabläufe ersetzt. Dieses Verfahren nennt man Testautomatisierung [68]. Die Aussagekraft und Validität der HIL Simulationsergebnisse konnte durch die mittlerweile hohe Güte der verwendeten Modelle im Fahrdynamik- oder auch Motorbereich deutlich verbessert werden. Dies führt mittlerweile zu erheblichen Verkürzungen der Entwicklungszeiten. Der steigende Kostendruck in der Automobilindustrie und der Trend kürzerer Entwicklungszyklen begünstigen den Einsatz des HIL Verfahrens bei der Entwicklung neuer Regelalgorithmen.

### 2.1.2 Adaptive Cruise Control HIL

Ein spezifischer Komponenten- bzw. Modulprüfstand (vgl. Kapitel 2.1.1), der sich im Bereich der Fahrerassistenzsysteme etabliert hat, ist der Adaptive Cruise Control (ACC) HIL. Mit Hilfe dieses HIL ist es möglich, die Funktion des ACC Steuergerätes im Labor zu testen. In dieser Konfiguration ist lediglich das ACC Steuergerät real vorhanden, die Objekterkennung z.B. mittels Radarsensor und das übrige Fahrzeug werden simuliert. Die Hauptanwendung des ACC HIL liegt in der

- Überprüfung der Schnittstelle zu den beteiligten Steuergeräten (z.B. Bremse, Motor, etc.).

## 2 Stand der Technik für Test- und Simulationsumgebungen

- Funktionsprüfung des ACC Abschalt- bzw. Sicherheitskonzeptes z.B. bei erkanntem Hardwarefehler.
- Funktionsprüfung des Reglerverhaltens, d.h. die Umschaltung von unterschiedlichen ACC Teilfunktionen, z.B. dem Übergang von ACC Freifahrt in ACC Fahrfahrt. Die subjektive Qualität der Abstandsregelung kann hier nicht getestet werden.

Je nach Anwendung ist eine unterschiedlich aufwendige Simulation des Eigenfahrzeugs bzw. des Fremdverkehrs mittels Sensormodelle notwendig. Zur Überprüfung der Schnittstellen des zu testenden Steuergerätes und zur Funktionsprüfung des Abschaltkonzeptes der ACC Funktion reicht eine so genannte Restbussimulation des Eigenfahrzeugs aus. Dies bedeutet, dass mit Hilfe des ACC HIL lediglich diskrete Fahrzeugsignale dem ACC Steuergerät zur Verfügung gestellt werden, die dieses als Eingangsinformation benötigt.

Soll die Funktion des Reglerverhaltens getestet werden, ist zusätzlich die Simulation von Fremdverkehr bzw. die Simulation einer Objektliste notwendig. In der Objektliste sind die gemessenen Zustandsgrößen des Fremdverkehrs aufgelistet, welcher z.B. mit einem Radarsensor erfasst wird.

### 2.1.3 DECOS - eine HIL Simulationsumgebung für Fahrerassistenzsysteme

In der Veröffentlichung von Tellmann [86] wird über eine echtzeitfähige Simulationsumgebung, mit dem Projektnamen DECOS (Dependable Embedded Components and Systems), berichtet. Die bekannten HIL Methoden werden in dieser Arbeit um die Anforderungen von Fahrerassistenzsystemen, welche auf Umfeldsensorik basieren, erweitert. In dieser erweiterten HIL Konfiguration ist das Fahrerassistenzsystem in Form des realen Steuergerätes, in die Simulationsumgebung eingebunden (siehe Bild 2.1).

Außer dem zu testenden Fahrzeug werden weitere Verkehrsteilnehmer simuliert, die durch einen Szenariengenerator so beeinflusst werden können, sodass verschiedene kritische Situationen erzeugt werden. Diese Verkehrssituationen ermöglichen es, die Systemreaktionen des Fahrerassistenzsystems offline zu testen. Die Zustände des simulierten Fremdverkehrs werden durch Sensormodelle erfasst, damit das zu testende Fahrerassistenzsystem mit Eingangssignalen versorgt werden kann. Dazu kann das Testfahrzeug mit verschiedenen virtuellen Sensoren ausgestattet werden. Das Fahrerassistenzsystem berechnet aus diesen Informationen die entsprechende Fahrzeugreaktion. Die Ausgangssignale des Fahrerassistenzsystems beeinflussen in der HIL Umgebung eine Fahrdynamiksimulation, die das zu testende Fahrzeug widerspiegelt. Eine subjektive Beurteilung der Systemreaktion und eine darauf aufbauende Applikation der Systemparameter ist durch diese Testumgebung nicht möglich.

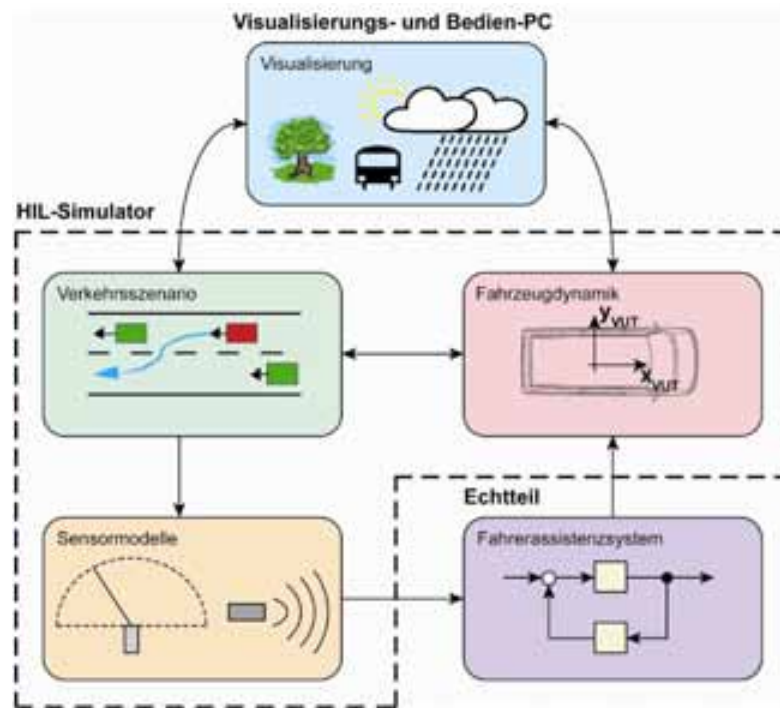


Bild 2.1: Simulationsumgebung für Fahrerassistenzsysteme - DECOS Projekt [86]

## 2.2 Fahrsimulatoren

Fahrsimulatoren stellen ein wichtiges Forschungs- und industrielles Entwicklungswerkzeug dar. Im Bereich der sicherheitsrelevanten Fahrerassistenzsysteme beginnt die Funktionsentwicklung verstärkt mit Softwaremodellen. Diese Modelle können zu einem frühen Zeitpunkt in Fahrsimulatoren analysiert und Zusammenhänge mit anderen Funktionen teilweise kostengünstiger als mit realen Prototypen untersucht werden. Die für einzelne Fragestellungen erforderlichen Fahrsituationen werden in einer Verkehrssimulation gut kontrolliert und reproduzierbar dargestellt. Dabei ist die Testfahrt für den Fahrer in der Simulation ungefährlich, gleichzeitig stellt er wiederum auch kein Risiko für andere Verkehrsteilnehmer dar [48]. Der praktische Nutzen und damit letztlich auch der Erfolg neuer Fahrerassistenzsysteme hängt wesentlich davon ab, wie gut der Fahrer mit dem System umgehen kann und möchte. Fahrsimulatoren mit heutigen technischen Möglichkeiten ermöglichen dabei aussagekräftige Nutzbarkeits- und Akzeptanzuntersuchungen für Bedienkonzepte.

Zusätzlich können Fahrsimulatoren gefahrlos für Extremsituationen, wie etwa Einsatzfahrten von Rettungskräften, verwendet und somit ein Ausbildungs- und Trainingszweck vermittelt werden. Im Luftfahrtbereich werden Simulatoren unter anderem zur Ausbildung und Selektion von angehenden Piloten eingesetzt. Als Prüf- und Diagnoseinstrument dienen Fahrsimulatoren für Eignungstest, die z.B. nach Krankheiten oder Führerscheinentzug erforderlich sind. Die Einsatzbereiche von Fahrsimulatoren unterscheiden sich somit stark [17].