

# Modellbasierte Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen: Simulation von Fahrdynamik und Umgebungsverkehr

Martin Ehmann

TESIS DYNAware GmbH, Baierbrunner Str. 15, D-81379 München  
Tel. (089) 747377-0, Fax (089) 747377-99, m.ehmman@tesis.de



## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Struktur des XS-Car mit Traffic Modul	1
3	Vorkonfigurierte Szenarien	4
4	Szenario Editor	6
5	Zusammenfassung und Ausblick	7
	Literatur	7

# Modellbasierte Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen: Simulation von Fahrdynamik und Umgebungsverkehr

## 1 Einführung

In modernen Fahrzeugen kommen Fahrerassistenz- und Sicherheitssysteme zum Einsatz, die nicht nur Informationen über den Zustand des eigenen Fahrzeugs benötigen, sondern mit verschiedenen Sensoren und Kameras auch die Umgebung des Fahrzeugs beobachten. Neben dem Tempomat mit Abstandsregelung (ACC) gibt es eine Vielzahl von Systemen, die mit Fern- und/oder Nahbereichssensoren arbeiten, wie Spurhalteassistenten, Tote-Winkel-Überwachung oder Einparkhilfen. Neuere Entwicklungen betrachten die verschiedenen Systeme nicht mehr einzeln, sondern vernetzen zusätzlich aktive und passive Sicherheitskomponenten miteinander, um sie noch effektiver zu machen [1, 2, 3].

Testumgebungen für die modellbasierte Entwicklung solcher Systeme müssen daher nicht nur detaillierte Modelle für das Testfahrzeug („Vehicle-under-Test“, VUT) enthalten, sondern auch Fremdfahrzeuge und Hindernisse simulieren. Das XS-Car der TESIS DYNAware zusammen mit dem Traffic Modul bietet hierfür eine integrierte Lösung, die für Funktionsentwicklung von Steuergerätesoftware auf Basis von Matlab/Simulink ebenso geeignet ist, wie für die Echtzeitsimulation in Hardware-in-the-Loop Prüfständen.

## 2 Struktur des XS-Car mit Traffic Modul

Das XS-Car der TESIS DYNAware ist eine Softwareumgebung auf der Basis von Matlab/Simulink mit der virtuelle Testfahrten eines kompletten Fahrzeuges im Labor durchgeführt werden können. Das virtuelle Testfahrzeug kombiniert Modelle für die Fahrdynamik- (veDYNA), Motordynamik- (enDYNA) und Brems hydrauliksimulation (RT BrakeHydraulics). Darüber hinaus ist im XS-Car das 3D-Straßenmodell „AdvancedRoad“ und ein Fahrermodell „AdvancedDriver“ enthalten. Um die Modellierungstiefe an die jeweilige Anwendung anpassen zu können, ist jede Komponente auch in einer einfacheren Ausführung erhältlich, die geringere Anforderungen an die Bedatung stellt.

Die virtuelle Fahrzeugumgebung XS-Car hat sich bei komplexen Simulationsaufgaben im PKW, Rennfahrzeug- und LKW-Bereich bewährt und wird auf Hardware-in-the-Loop (HIL) und Software-in-the-Loop (SIL) Simulatoren für elektronische Steuergeräte wie Motorsteuergeräte, Fahrdynamikregelsysteme oder Fahrerassistenz-Systeme eingesetzt. Neben diesen Echtzeit-Anwendungen wird die Software der TESIS DYNAware als schnelles Simulationswerkzeug in der Funktionsentwicklung (Model-in-the-Loop, MIL) und für Konzeptstudien benutzt. Durch das Traffic Add-On wird der Anwendungsbereich auf Systeme mit Umgebungssensoren erweitert.

Die wesentlichen Bestandteile des ursprünglich für einen ACC HIL-Simulator entwickelten Traffic Moduls sind der eigentliche Simulationsblock für den Umgebungsverkehr, der Traffic Observer und das Radarsensormodell. Abbildung 1 zeigt die Struktur eines solchen HIL-Simulators, auf dem ein ACC- und ein ESP-Steuergerät im Verbund getestet werden. Optional kann auch ein Motorsteuergerät

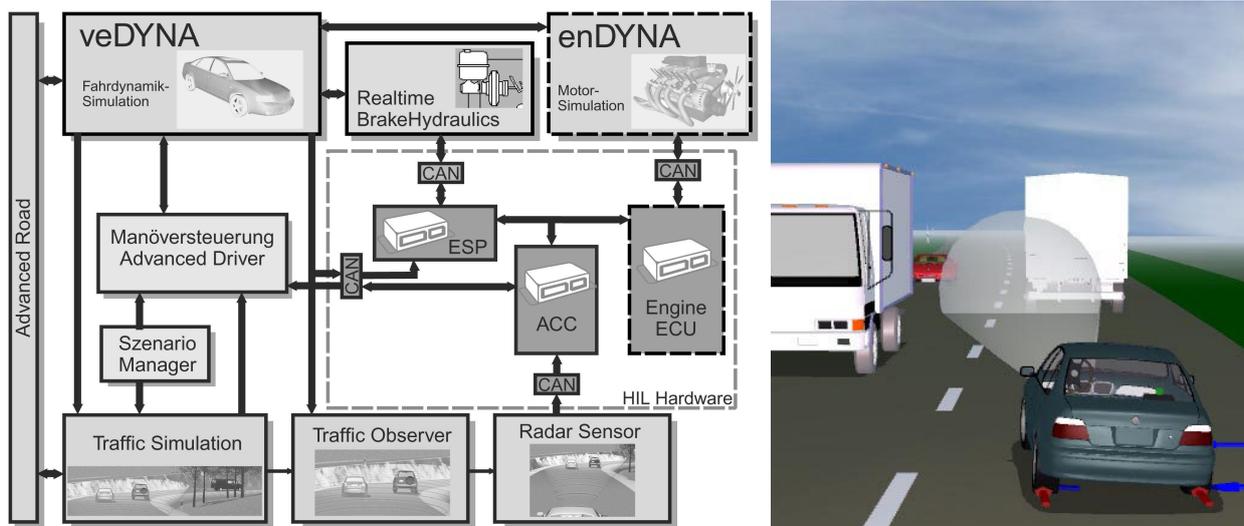


Abbildung 1: XS-Car im HIL-Simulator für ein ACC-System. 3D-Animation mit DYNAanimation.

integriert werden, wobei der im Fahrdynamikprogramm veDYNA vorhandene Kennfeldmotor durch das Motordynamikmodell enDYNA ersetzt werden muss.

**Steuergeräteschnittstellen** Das ACC-Steuergerät wird in der Regel eine Sollgeschwindigkeit in den CAN-Bus einspeisen. Daraus resultierende Bremsvorgänge werden über das ESP-Steuergerät realisiert. Beschleunigungsvorgänge werden von einem Geschwindigkeitsregler, der in das Motorsteuergerät integriert ist, kontrolliert. Dieser Geschwindigkeitsregler ist bereits aus dem einfachen Tempomaten bekannt. Falls das Motorsteuergerät nicht in Hardware vorhanden ist, müssen die entsprechenden Signale des ACC-Steuergerätes im HIL abgefangen und die notwendigen Funktionen von der Simulationssoftware übernommen werden. Die Sollgeschwindigkeit wird dann an einen Regler in der Manöversteuerung übergeben, der ein entsprechendes Gaspedalsignal generiert.

**Traffic Simulation** Der Traffic Simulationsblock berechnet das Bewegungsverhalten der Fremdfahrzeuge sowie Position und Orientierung von stehenden Objekten. Dazu werden Informationen über das zu simulierende Verkehrsszenario aus dem Szenario Manager und aktuelle Position, Orientierung und Geschwindigkeit des veDYNA Fahrzeugs benötigt. Die berechneten Absolutkoordinaten und -geschwindigkeiten werden an den Traffic Observer weitergereicht. Darüber hinaus stellt der Traffic Simulationsblock Animationsdaten für die 3D-Darstellung in DYNAanimation zur Verfügung. Obgleich softwaretechnisch identische Datenstrukturen verwendet werden, unterscheidet dieses Modul zwischen stehenden Hindernissen (z.B. Leitplanken) und bewegten Objekten (benachbarte Fahrzeuge), um die Rechenzeit gering zu halten. Für stehende Hindernisse werden einige Berechnungen, etwa für die Animationstransformationen, nur in der Initialisierungsphase durchgeführt. In den ersten Integrationsschritten wird jeweils ein Hindernis initialisiert. In der Folge wird für stehende Hindernisse nur Rechenzeit im Traffic Observer und Sensormodell benötigt. So ist es auf einem dSPACE DS1006 Board möglich, das veDYNA Testfahrzeug, 16 bewegte Objekte und 64 Hindernisse zusammen mit einer Turnaround-Zeit von nur  $150 \mu\text{s}$  zu simulieren, während auf einem DS1005 Board (1 GHz) dafür ca. 1.5 ms benötigt werden.

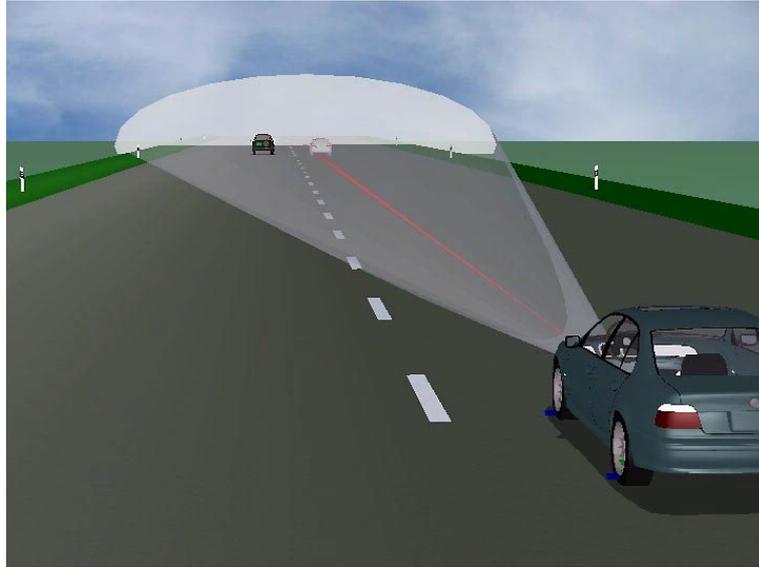


Abbildung 2: Strahlorientiertes Sensormodell (Starten der Animation durch Mausklick auf das Bild)

**Traffic Observer** Der Traffic Observer erhält von der Traffic Simulation die Absolutkoordinaten und Geschwindigkeiten aller Objekte und berechnet daraus die Entfernung, Richtung und Relativgeschwindigkeit zu den auf dem veDYNA Testfahrzeug (VUT) montierten Sensoren. Die Objekte werden dabei vereinfacht als Quader betrachtet und es werden die entsprechenden Informationen sowohl für den Mittelpunkt des Quaders, als auch für alle acht Ecken bereit gestellt. Der Ausgangsvektor des Traffic Observers enthält entsprechend 37 Elemente für jedes Fremdfahrzeug bzw. Hindernis (in Klammern jeweils die Signalbreite): Abstand (9), Relativgeschwindigkeit (9), Azimuth (horizontaler Sichtwinkel) (9), Elevation (vertikaler Sichtwinkel) (9), Flag, das angibt, ob das Objekt im Szenario enthalten ist (1). Der Traffic-Observer wurde komplett in Simulink implementiert. Das Modul zur Berechnung der Relativkoordinaten, -geschwindigkeiten und -winkel wird mit Hilfe eines For-Iterator-Systems nur für diejenigen Traffic Objekte ausgeführt, die im aktuellen Szenario enthalten sind. Die Vektorbreiten für die Ein- und Ausgangssignale sind dynamisch, so dass nur die jeweils benötigten Daten übergeben werden und damit etwas Rechenzeit eingespart werden kann, falls nicht die Maximalzahl der Objekte benutzt wird. Damit sind auch auf einem DS1005 Board Simulationen mit 1 ms Schrittweite möglich. Die Anzahl der Objekte, die beim Compilieren des Modells eingestellt war, stellt die maximale Anzahl der Objekte für die onboard Anwendung dar. Die Grenze gilt für die Summe der stehenden Hindernisse und Fremdfahrzeuge, wobei die Verteilung auf beide Objekttypen beliebig ist.

**Sensormodul** In einer ersten Version des Simulators wurde ein einfaches Sensormodul benutzt, das eine Objektliste mit den Daten der zum Sensor nächstgelegenen Ecke der Objekte füllt. Eine spezielle Behandlung der Daten ist nur dann im Nahbereich notwendig, wenn sich Ecken eines Objektes sowohl auf der einen, als auch auf der anderen Seite des Sensorsichtwinkels befinden. Zum Test der ACC Basisfunktionalität ist eine solche Implementierung ausreichend.

In einer strahlorientierten Implementierung des Sensormoduls wird die Umgebung in jedem Integrationsschritt in einer bestimmten Richtung abgetastet (Abb. 2). Wiederum werden die Fremdfahrzeuge und Hindernisse als Quader betrachtet, was eine sehr effiziente Berechnung der Schnittpunkte

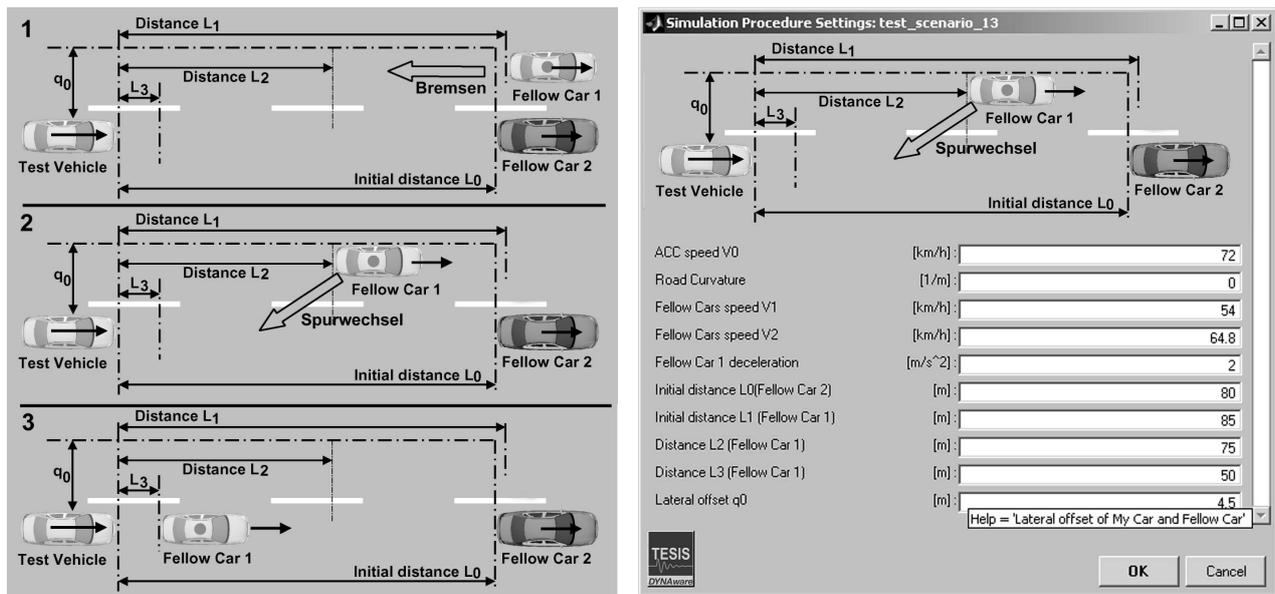


Abbildung 3: Verkehrsszenario mit Spurwechsel und szenariospezifische graphische Bedienoberfläche

des Strahles mit Oberflächen der Objekte ermöglicht. Bei dieser Implementierung sind sowohl Abstand und Relativgeschwindigkeit des Reflexionspunktes, als auch der Reflexionswinkel und etwaige Reflexionseigenschaften der Objekte verfügbar. Durch geeignete zyklische Bewegung des Sensorstrahles lässt sich der Sensorsichtbereich abtasten und die Objektliste kann mit geeigneten Daten gefüllt werden. Für typische ACC Anwendungen bietet die Betrachtung der Objekte als Quader eine gute Approximation. Für Anwendungen mit Nahbereichssensoren können komplexere Geometrien zunächst aus einzelnen Quadern zusammengesetzt werden. Die Machbarkeit einer Erweiterung auf Objekte mit beliebiger Geometrie hängt in erster Linie von der verfügbaren Rechenzeit ab.

### 3 Vorkonfigurierte Szenarien

In einer Pilotanwendung hat ein japanischer Hersteller analog der in Abschnitt 2 beschriebenen HIL-Simulator-Struktur zwar auf die Integration eines Motorsteuergerätes verzichtet, aber das System zu einem Prüfstand mit reversiblen Gurtstraffer und entsprechendem Steuergerät ergänzt. Ziel ist es, die Schutzwirkung dieses passiven Sicherheitssystems mittels Informationen aus dem aktiven Fahrerassistenzsystem zu verbessern, indem der Gurtstraffer bereits vor einem möglichen Zusammenstoß aktiviert wird.

Entsprechend war es notwendig, sowohl Verkehrsszenarien zum Test des Abstandsreglers des ACC-Systems, als auch Unfallszenarien zum Test des integrierten Gurtstraffers zu entwerfen. Aus der Zusammenarbeit mit dem Kunden ergab sich, dass sich viele Szenarien für beide Anwendungen eignen, z. B. unerwartet auf die eigene Fahrspur einsicherende Fahrzeuge, plötzliche Bremsmanöver des Vorfahrenden, etc. Bei aktiviertem ACC wird die Unfallvermeidungsfunktion des Systems getestet: Notbremsung über das ESP-System im Rahmen der bei automatischen Eingriffen maximal möglichen Verzögerung. Bei abgeschaltetem ACC-System erhält die Manöversteuerung keine Informationen über benachbarte Fahrzeuge und es kommt zu den für die Tests erwünschten Unfallsituationen. Kurz vor dem Aufprall wird über die vom Fahrer nicht beeinflussbare CAN-Kommunikation des ACC-

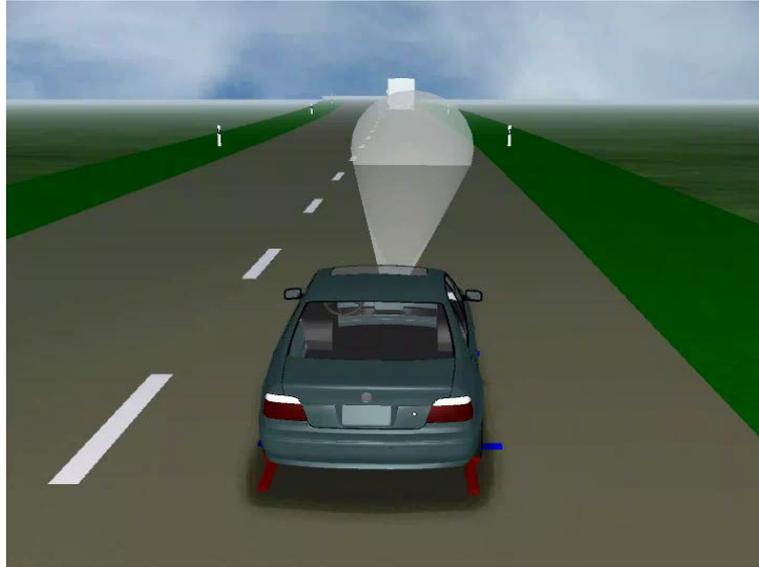


Abbildung 4: Überholmanöver des veDYNA Testfahrzeugs mit Gegenverkehr (Starten der Animation durch Mausklick auf das Bild)

Steuergerätes mit der Gurtstraffersteuerung das passive Sicherheitssystem aktiviert.

Exemplarisch stellen wir hier ein Szenario mit drei Fahrzeugen und einem Fahrspurwechsel vor (Abb. 3). Das veDYNA Testfahrzeug (VUT) nähert sich von hinten mit konstanter Geschwindigkeit  $V_0$  zwei Fahrzeugen, die nebeneinander mit der Geschwindigkeit  $V_2 (< V_0)$  fahren. Zu Beginn des Szenarios beträgt der Abstand des Testfahrzeugs zum Vorausfahrenden (FellowCar2)  $L_0$ , während  $L_1$  der Abstand zum Fahrzeug auf der linken Fahrspur (FellowCar1) ist. Diese Anfangssituation wird automatisch, unabhängig von der Parametrierung des Testfahrzeugs, herbeigeführt.

Sobald der Abstand  $L_1$  unterschritten wird, bremst FellowCar1 mit definierter Verzögerung von  $V_2$  auf  $V_1 (< V_2)$ . Wenn daraufhin der Abstand  $L_2 (< L_1)$  unterschritten wird, beginnt FellowCar1 einen Spurwechsel auf die rechte Fahrspur, der beim Abstand  $L_3$  beendet ist.

Das Szenario wird über eine spezielle graphische Bedienoberfläche aufgerufen, über die die szenariospezifischen Parameter einstellbar sind (Abb. 3 rechts). Eine solche Oberfläche steht für alle 17 Szenarien zur Verfügung, die derzeit mit dem Traffic Modul ausgeliefert werden. Die Verkehrssituationen können sowohl auf geraden, als auch auf kreisrunden Straßen getestet werden; der Kurvenradius ist über die Szenario-Oberflächen einstellbar.

Die vordefinierten Szenarien sind dem Benutzer als Matlab Source Code zugänglich. In gewissem Rahmen können dadurch die Eigenschaften der Szenarien auf spezifische Bedürfnisse angepasst wer-

den; insbesondere ist es sehr leicht möglich, die dem Endanwender zugänglichen Parameter in den graphischen Bedienschnittstellen zu erweitern oder einzuschränken.

## 4 Szenario Editor

Mit dem Szenario Editor kann der Benutzer Verkehrssituationen mit bis zu 16 Fremdfahrzeugen und 64 stehenden Hindernissen aufbauen. Für jedes Fahrzeug wird aus einer Liste eine von acht definierten Fahraufgaben („Task Mode“) ausgewählt. In der Regel beinhaltet die Fahraufgabe eine bestimmte Aktion, z.B. einen Spurwechsel, der abhängig vom Abstand zum Testfahrzeug eingeleitet wird, während zuvor eine bestimmte Geschwindigkeit, Querschleunigung oder Abstand zu einem weiteren Fahrzeug einzuhalten ist. Derzeit sind acht verschiedene Fahraufgaben implementiert, z. B. „triggered speed and lanechange“, die für das FellowCar1 des im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Szenario (Abb. 3) benutzt wurde. Analog zu den szenariospezifischen Bedienfenstern, die das Traffic Modul für vorkonfigurierte Szenarien bietet, sind auch im Szenario Editor für jede Fahraufgabe charakteristische Parameter einzugeben (Abb. 5). Allerdings werden hier die für die eingestellte Fahraufgabe notwendigen Einstellungen in der Bedienoberfläche für jedes Fahrzeug separat angezeigt. Anfangspositionen und Anfangsgeschwindigkeiten müssen so gewählt werden, dass sich das gewünschte Szenario ergibt. Weitere Einstellungen sind möglich, um den Typ des Fahrzeugs (PKW, Sportwagen, LKW,...) festzulegen: Dimension, Animationsgeometrie, charakteristische Beschleunigungs- und Verzögerungswerte, etc. Die Traffic Fahrzeuge können sich sowohl auf der gleichen Fahrbahn wie das veDYNA Testfahrzeug (VUT) befinden, als auch auf der Gegenfahrbahn („oncoming“), wobei die jeweiligen Fahrspuren frei bestimmt werden können.

Die Manöversteuerung des Fahrdynamikprogramms veDYNA und der Advanced Driver, d. h. die komplexe Fahr-Regelung für das virtuelle Testfahrzeug (VUT), arbeiten reibungslos mit dem Traffic Add-On zusammen und sind so verzahnt, dass szenariospezifische Manöver für das Testfahrzeug, z. B. ein Spurwechsel, auch im Traffic Szenario Editor ausgewählt werden können. Dabei ist die zustandsabhängige Manöversteuerung für das veDYNA Testfahrzeug, die die zeit- und wegbasierte Manöverauswahl ergänzt, sehr nützlich. Das Traffic Modul übernimmt die dynamische Bahnplanung für Ausweich- oder Überholmanöver und übergibt die berechnete Sollbahn situationsabhängig an den Advanced Driver (Abb. 4).

Neben den Fremdfahrzeugen und den Einstellungen für das Testfahrzeug erlaubt der Szenario

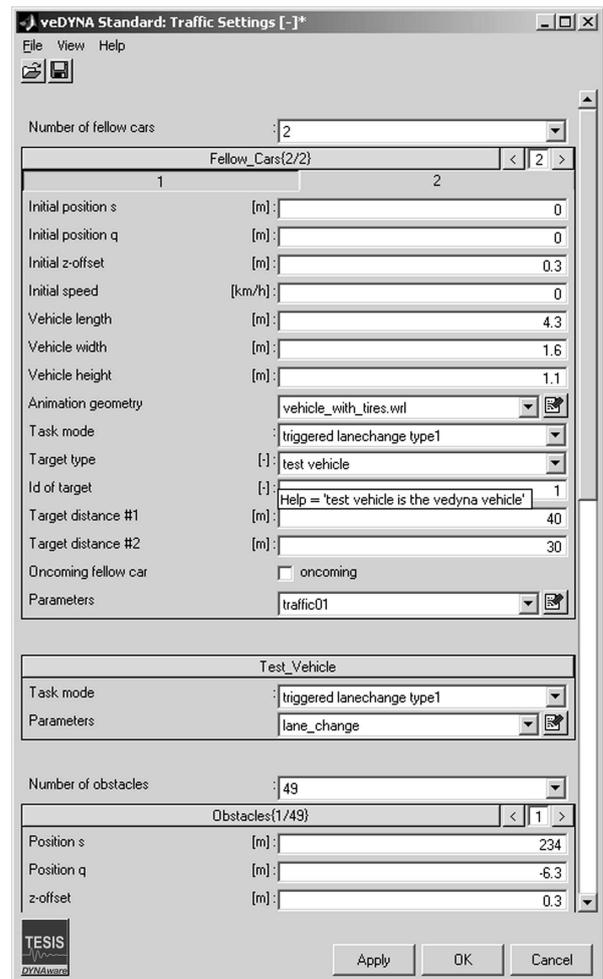


Abbildung 5: Bedienoberfläche für benutzerdefinierte Verkehrsszenarien

Editor auch, bis zu 64 Hindernisse in der virtuellen Szene zu platzieren. Position, Orientierung, und Dimension sind hier die wichtigsten Parameter. Daneben kann der Szenario Editor die zur 3D-Animation mit DYNAAanimation notwendigen VRML-Geometrien in der passenden Größe erzeugen. Quader, Zylinder, Kegel(-stumpf) sind als Basisformen enthalten.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Das Traffic Modul der TESIS DYNAAware ist ein echtzeitfähiges Modul zur Simulation der Verkehrsumwelt. Neben den mitgelieferten Szenarien können, mit Hilfe des Szenario Editors, Verkehrssituationen aufgebaut werden, die sich in der Regel auf ein bestimmtes Fahrzeug, das veDYNA Testfahrzeug konzentrieren. Zielsetzung ist Funktionsentwicklung und Test von Regel-, Warn- und Sicherheitssystemen, mit denen das Testfahrzeug ausgestattet ist. Das Traffic Modul bietet eine für diese Aufgabe maßgeschneiderte Lösung, die sich sehr gut in die vorhandene Produktstruktur der TESIS DYNAAware integriert und insbesondere die Schnittstellen zum Advanced Driver ausnützt. Die offene Struktur erlaubt es, die virtuelle Testumgebung effizient einzusetzen, um anwenderspezifische Simulationsaufgaben zu lösen. Zur Anbindung weiterer Komponenten, insbesondere von hochintegrierten Sicherheitssystemen, sind zusätzliche Sensormodelle, wie Videosensoren, notwendig.

## Literatur

- [1] Robert Bosch GmbH: *Combined Active and Passive Safety (CAPS) von Bosch. Mehr Sicherheit beim Autofahren durch die Vernetzung bestehender Sicherheitssysteme*, <http://www.bosch-presse.de/TBWebDB/de-DE/Presstext.cfm?CFID=1354040&CFTOKEN=&ID=2441>
- [2] Continental Automotive Systems: *APIA: Active Passive Integration Approach*, [http://www.conti-online.com/generator/www/de/de/cas/cas/themen/projekte/apia\\_1003\\_de.html](http://www.conti-online.com/generator/www/de/de/cas/cas/themen/projekte/apia_1003_de.html)
- [3] Delphi: *ISS Strategy Helps Delphi Lead Safety Innovations*, <http://www.delphi.com/news/pressReleases/pr54394-09072005>, 2005.
- [4] C. Domsch, D. Neunzig: *Werkzeuge und Testverfahren zur Entwicklung und Analyse von ACC-Systemen*, 9. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 2000.
- [5] S. Spry, J.K. Hedrick, et.al.: *Sensing and Control Issues in Intelligent Cruise Control*, PATH Conference Model-Based Integration of Embedded Software, Berkeley (CA), 25. October 2002.
- [6] J. Hildebecher, G. Kühnle, H. Olbrich: *Weitsichtig, Long-Range-Radar-Sensor für Fahrerassistenz-Systeme*, Elektronik automotive, 06/2004.
- [7] TESIS DYNAAware GmbH: *Traffic User Manual, veDYNA User Manual*, München, 1996–2005.
- [8] G.R. Widmann, M.K. Daniels, et.al.: *Comparison of Lidar-Based and Radar-Based Adaptive Cruise Control Systems*, SAE Technical Paper 2000-01-0345.