

Hardware-in-the-Loop bei Audi-Antriebssträngen

Neue Technologien im Bereich Fahrzeugelektronik sind in Serienfahrzeugen nur dann einsetzbar, wenn sie auch in hohen Stückzahlen zuverlässig arbeiten. Durch steigenden Zeitdruck, strengere Vorgaben und immer komplexere Technik kann der dadurch entstehende Testaufwand kaum noch bewältigt werden. Es besteht die Gefahr, dass man neue Technologien nicht einsetzen kann, weil sie nicht systematisch getestet werden konnten. Um diesem Problem zu begegnen, setzt Audi im Bereich Antriebsstrang einen neuartigen Simulationsprüfstand ein, der hinsichtlich Topologie, Variantensteuerung und Bedienung neue Möglichkeiten eröffnet.



1 Einführung

Seit die ersten Hardware-in-the-Loop (HIL) Simulatoren vor etwa 10 bis 15 Jahren gebaut wurden, hat sich die HIL-Simulation zu einer Standardtechnik beim Test von elektronischen Steuergeräten entwickelt. HIL-Simulatoren mit speziell angepasster Hardware zum Anschluss der Steuergeräte sowie ausgereiften Modellen, die auf schnellen Prozessoren berechnet werden, werden schon lange erfolgreich eingesetzt. Die Steuergeräte haben sich jedoch technologisch weiterentwickelt:

- Die Zahl der Steuergeräte nimmt zu. In modernen Fahrzeugen sind bis zu 70 Steuergeräte für Antriebsstrang und Komfortbereich verbaut. Das wird hauptsächlich durch den Einsatz von Bussystemen ermöglicht, die nicht den enormen, sonst anfallenden Verdrahtungsaufwand erfordern.
- Die Zahl der Steuergerätevarianten nimmt zu, da die Komplexität der Funktionen eine bessere Adaption der Software auf die Modellvariante verlangt.
- Einzelne Funktionen sind auf mehrere Steuergeräte verteilt oder erfordern ein Zusammenwirken mehrerer Steuergeräte, zum Beispiel mittels CAN-Kommunikation. Ein Beispiel ist die Antriebsschlupfregelung.
- Der Einfluss mehrerer Steuergeräte auf das Fahrzeug ist dynamisch nicht entkoppelt.
- Es werden auch sicherheitskritische Funktionen elektronisch realisiert (x-by-wire), beziehungsweise Funktionen, bei denen ein unkritisches Verhalten auch in Grenzsituationen nachgewiesen werden muss (zum Beispiel ACC).

Diese Entwicklungen stellen Hersteller und Anwender von HIL-Simulatoren vor neue Herausforderungen. Audi hat in Zusammenarbeit mit dSpace einen Simulationsprüfstand für vernetzte Elektroniksysteme im Antriebsstrang (SPEA) entwickelt. Der Simulationsprüfstand ist als flexibles, erweiterbares Netzwerk von einzelnen Simulatoren konzipiert, das schrittweise erweitert werden kann. Im ersten Schritt wurden Motor-, ESP-, Getriebe- und Luftfedersteuergeräte in mehreren Varianten angeschlossen. Hinzu kam ein Simulations-Cockpit, das zur Bedienung von SPEA durch den Anwender dient. Dieses Simulations-Cockpit enthält weitere Steuergeräte, wie zum Beispiel Kombi-Instrument und ACC.

2 Technischer Aufbau

2.1 Dynamisches Modell des Fahrzeugs

Das Grundkonzept des SPEA-Simulationsprüfstandes besteht aus einzelnen HIL-Si-

mulatoren, die zu einem modularen Netzwerk verbunden werden, **Bild 1**. Das hat folgende Vorteile:

- Einzelne Komponenten können ohne großen Verdrahtungsaufwand hinzugefügt oder entfernt werden. Das bedeutet auch, dass SPEA leicht auf weitere Steuergeräte erweitert werden kann.
- Die Einzelkomponenten können mit einem geeigneten Modell auch als „Stand-Alone“-HIL-Simulatoren betrieben werden. Umgekehrt können einzelne Prüfstände mit relativ geringem Aufwand für den Anschluss an SPEA umgerüstet werden.
- Die Verfügbarkeit ist hoch, da die Entfernung einer Einheit (zum Beispiel wegen Verdrahtungsarbeiten) nicht den Ausfall des ganzen Prüfstandes bedeutet.
- Die Inbetriebnahme und Fehlersuche wird dadurch wesentlich erleichtert.

Im allereinfachsten Fall entsteht ein HIL-Netzwerk, in dem die Prozessoren zweier Simulator-Einheiten über eine schnelle, echtzeitfähige Datenleitung (Gigalink) verbunden werden. Die Verbindungen beider Einheiten zu ihrem Host-Rechner werden in einem Knoten (MultiLink-Panel) zusammengeführt, so dass nur noch ein Bedien- und Projektierungsrechner nötig ist. Von diesem Rechner erfolgt dann die Bedienung und der Download, so dass Entwickler und Anwender den Verbund genauso programmieren und bedienen können wie einen einzelnen HIL-Simulator. Ausgehend von dieser einfachen Anordnung kann das Netzwerk vor allem um direkte Verbindungen zwischen den Steuergeräten erweitert werden (CAN, direkte Verdrahtung einzelner Signale, Busse zu Simulationszwecken).

Die Zentraleinheit kann als zentraler Signalverteiler betrachtet werden, der zudem noch Anschlussmöglichkeiten für ein externes Fahrzeugcockpit und Mini-Cockpit (Potibox) bietet. Damit ergibt sich folgender Aufbau:

- Eine Zentraleinheit enthält drei Echtzeit-Prozessoren, die das vollständige Fahrzeugmodell rechnen. Ausserdem können einfache Software-Emulationen der beteiligten Steuergeräte gerechnet werden.
- Die beteiligten HIL-Simulatoren werden als I/O-Einheiten an die Zentraleinheit angeschlossen. Sie haben ihren eigenen Echtzeit-Prozessor, auf dem im wesentlichen nur die Skalierung der I/O-Signale berechnet wird.
- Jede Einheit ist über das Multi-Link-Panel an den zentralen Bedien- und Projektierungsrechner (Host) angeschlossen.
- Der Austausch von Modelldaten zwischen I/O-Einheit und Zentraleinheit erfolgt über die Gigalink-Schnittstelle im Zeitraster der Grundabtastzeit des Gesamtsystems.

Die Autoren



Adrian James ist Teamleiter in der Abteilung für Antriebsstrang-Elektronik der Audi AG Ingolstadt, Bereich Elektronik-Entwicklung.



Matthias Rudolph ist Teamleiter in der Abteilung Gesamtfahrzeug-Entwicklung der Audi AG, Ingolstadt.



Jürgen Gehring ist Senior Application Engineer im Projektzentrum München der dSpace GmbH.



Thomas Pöhlmann ist im Technischen Marketing bei dSpace, Paderborn, für Produktinformationen zuständig.

- Ein Kabelstrang, der Signal-Bus, fasst direkte Verbindungen zwischen verschiedenen Komponenten her: Steuergeräte, CAN-Bus-Komponenten, Signale zwischen Simulations-Cockpit und dem restlichen Netzwerk. Die Pins des Signalbusses stehen jeder Netzwerkkomponente zur Verfügung.
- Die Stromversorgung (Batteriespannung) der Komponenten wird zentral gesteuert.

Beim Simulationsprüfstand SPEA war es wichtig, die Modularität auch auf der Softwareseite zu gewährleisten. Daher wurde das dynamische Modell des Fahrzeugs (Fahrndynamik, Motor und Getriebe) nicht auf die einzelnen HIL-Simulatoren verteilt, sondern vollständig von der Zentraleinheit berechnet, **Bild 2**. Die Zentraleinheit stellt dann Daten für alle weiteren angeschlossenen Einheiten zu Verfügung.

Die Zentraleinheit kann vollständig ohne angeschlossene Steuergeräte betrieben werden. Sie ist ein virtuelles Fahrzeug, an dem Fahrmanöver durchgeführt werden können oder die Auswirkung einzelner Funktionen softwaremäßig getestet werden kann. Jede beliebige Kombination von angeschlossenen HIL-Simulatoren und Steuergeräten wird somit möglich. Dabei erlaubt es bereits die standardmäßige Systemsoftware, dass die Konfiguration des Netzwerkes auch ohne erneutes Kompilieren des Modells geändert werden kann.

2.2 Bedienung des Simulationsprüfstands

Das Modell setzt sich im wesentlichen aus den Echtzeitmodellen en-Dyna und ve-Dy-

2.1 Hardwarekonzept für modulare HIL-Netzwerke

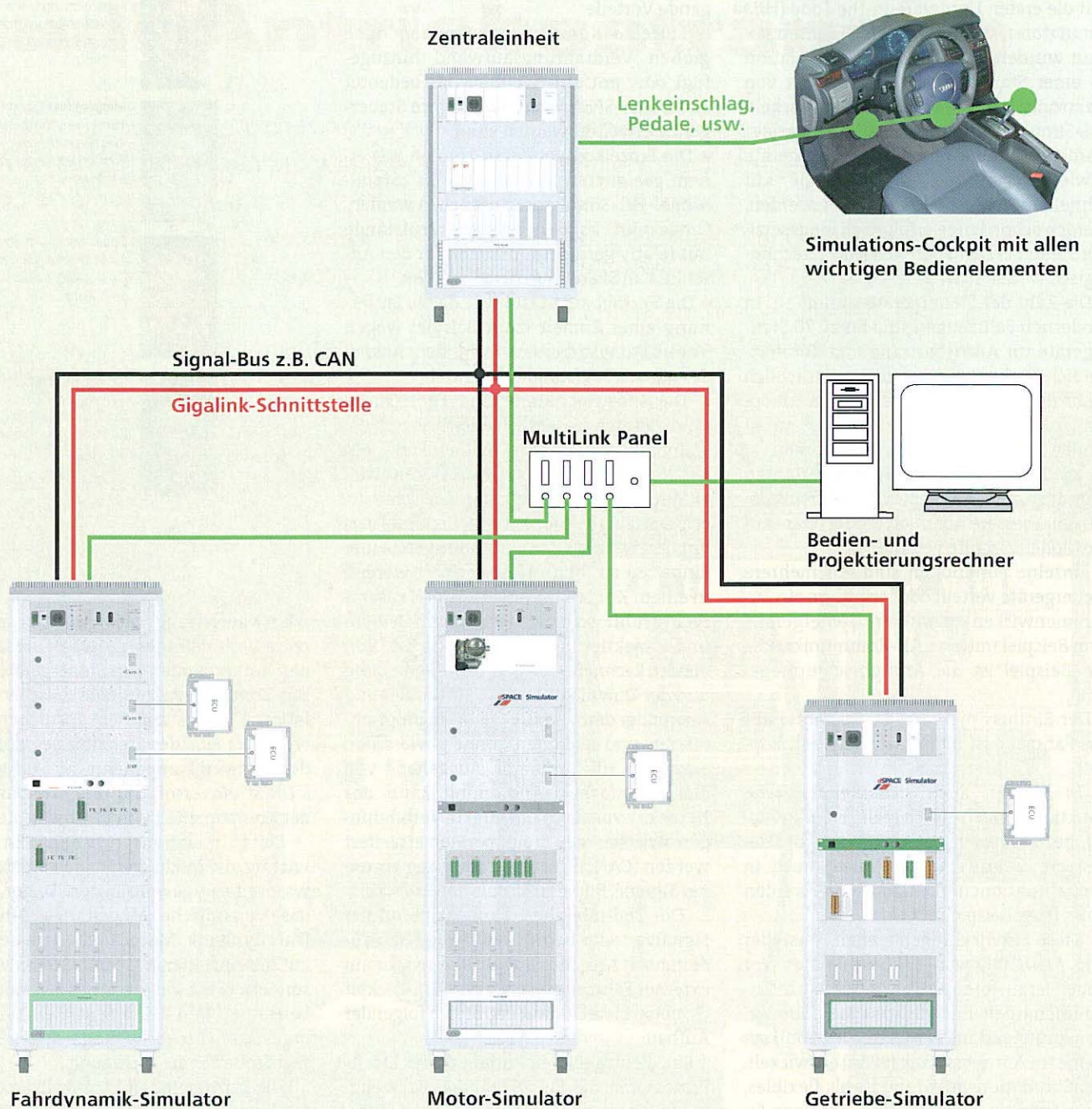


Bild 1: Hardwarekonzept des Simulationsprüfstandes SPEA: einzelne Komponenten können mit minimalem Verdrahtungsaufwand hinzugefügt oder entfernt werden

Figure 1: Hardware design of the SPEA simulation test bench: Individual components can be added or removed with a minimum of rewiring

na der Firma Tesis Dynaware zusammen. Dies sind Matlab/Simulink-basierte Modelle, die von Tesis Dynaware auf die Anforderungen von Audi abgestimmt und parametrisiert wurden. Die Aufteilung von Motor-, Getriebe- und Fahrwerkmodell erfolgt wie im Bild 2 gezeigt auf die drei Prozessoren

der Zentraleinheit. Auf der Zentraleinheit befinden sich neben den Modellkomponenten noch Software-Emulationen der angeschlossenen Steuergeräte. Damit kann die Zentraleinheit auch alleine oder mit einer beliebigen Kombination angeschlossener Steuergeräte betrieben werden.

Auf den I/O-Einheiten (Fahrtdynamik, Motor, Getriebe) werden die Programme zur Aufbereitung und Skalierung der I/O-Größen, das CAN-Gateway und Funktionen für Inbetriebnahme und Test berechnet. Hier finden sich auch die Eingriffsmöglichkeiten für die Testautomatisierung. Die I/O-

2.1 Dynamisches Modell des Fahrzeugs

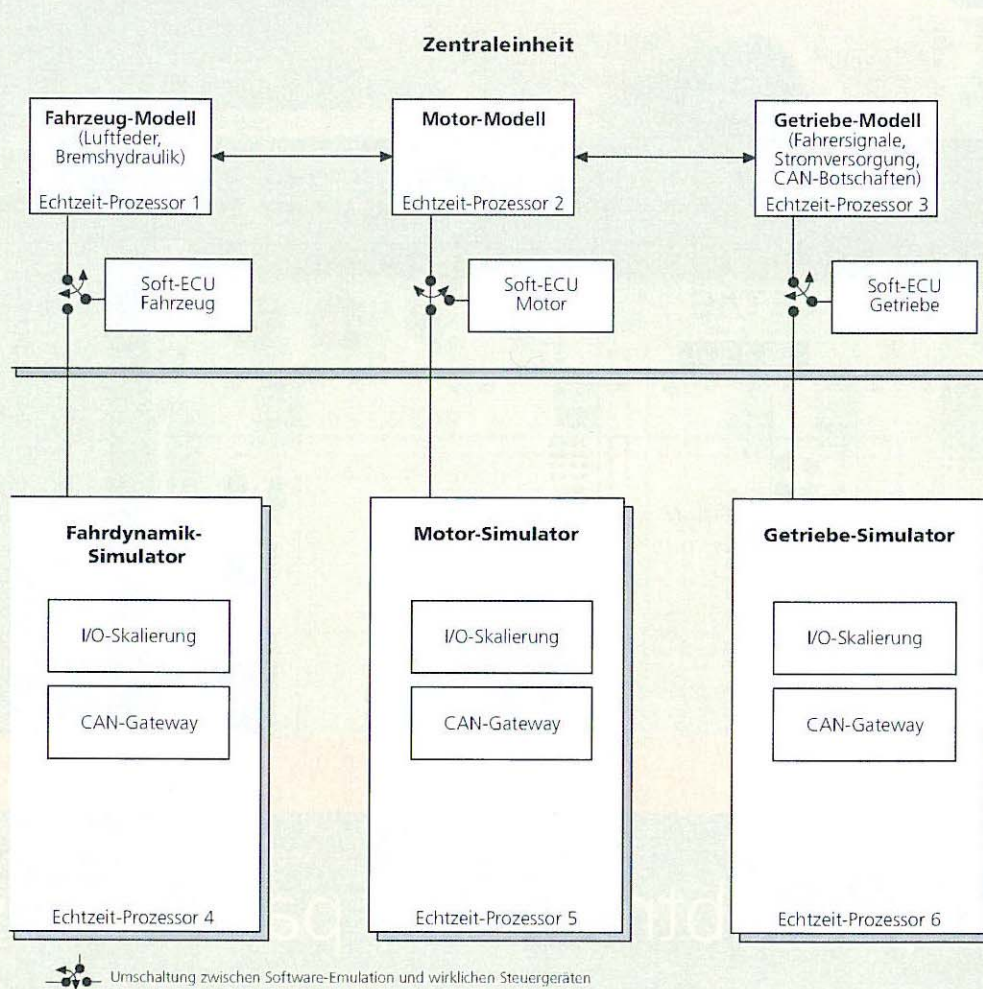


Bild 2: Modularität auch auf der Software-Seite: durch das dynamische Echtzeitmodell kann jeder Simulator separat betrieben werden
Figure 2: Modularity also on the software side: By means of the dynamic real-time model, each simulator can be run separately

2.2 Bedienung des Simulationsprüfstands



Bild 3: Bedienung des Simulationsprüfstands, entweder von einem Simulations-Cockpit (nicht im Bild) mit realen Bedienelementen oder vom PC aus (ControlDesk/MotionDesk)

Figure 3: Operating the simulation test bench, either from a simulation cockpit (not shown) with real controls or from a PC (ControlDesk/MotionDesk)

Programme sind so gestaltet, dass jede I/O-Einheit für sich genommen lauffähig ist. Mit der Motoreinheit lassen sich beispielsweise auch schon Zünd- und Einspritzimpulse simulieren.

2.3 Variantensteuerung

Der Simulationsprüfstand soll natürlich nicht nur für ein spezielles Audi-Modell zugeschnitten sein, sondern Tests für eine Vielzahl von Modellvarianten erlauben. Daher wurde hoher Wert darauf gelegt, schnell zwischen Varianten umschalten zu können. Über ein GUI, das dem Konfigurator für Audi-Fahrzeuge auf der Audi-Homepage nachempfunden wurde, ist es möglich, neue Parametersätze in den Matlab-Workspace und auf den Echtzeitprozessor zu laden. Da die Parametrierung des Modells über Matlab-Workspace-Parameter beibehalten werden konnte, ist bei der Auswahl einer neuen Variante also kein erneuer-

tes Kompilieren und Downloaden des Modells auf die Echtzeitprozessoren notwendig. Daher erfolgt die Variantensteuerung sowohl auf der Zentraleinheit als auch auf den I/O-Einheiten online.

2.4 3D-Online-Animation

Bediener und Anwender sollten den Simulationsprüfstand so intuitiv und einfach wie möglich bedienen können, bestenfalls in einer fahrzeugähnlichen Umgebung. Andererseits muss der Bediener natürlich auch Zugriff auf alle vorhandenen Daten haben und die ständig neuen Testaufgaben flexibel und in kürzester Zeit umsetzen können. SPEA kann daher einerseits über Bediengeräte (Simulations-Cockpit oder Potibox) bedient werden wie ein reales Fahrzeug, bietet aber auch die für HIL-Prüfstände typischen Zugänge mittels Software. Der aktuelle Fahrzeugzustand wird nicht nur über frei konfigurierbare Anzeigeelemente (ControlDesk von dSpace) sondern auch über eine 3D-Darstellung (MotionDesk von dSpace, **Bild 4**) und akustisch über das Motorgeräusch zurückgemeldet. Die Zugriffsmöglichkeit auf alle Variablen und Parameter des Gesamtmodells ist standardmäßig in der Systemsoftware implementiert, so dass hierfür kein gesonderter Aufwand notwendig war.

3 Anwendung

3.1 Motivation

Kraftfahrzeuge haben sich in den letzten 10 Jahren rapide weiterentwickelt, immer mit dem Ziel, den Kundenansprüchen näher zu kommen. Die Sicherheits- und Komfortausstattung sowie die immer strengereren Abgasnormen haben zu höherer Komplexität der Technik, aber auch höherem Gewicht geführt. Trotzdem verfügt eine moderne Limousine über fahrdynamische Eigenschaften, die vor einigen Jahren nur in reinen Sportwagen zu finden waren. Das Fahrzeug muss jederzeit stabil, sicher und komfortabel bleiben, zugleich darf dem Fahrer kein besonderes Können abverlangt werden. Die Verantwortung dafür wird zunehmend dem Fahrzeug und der Elektronik abgetreten und damit dem Automobilhersteller und seinen Lieferanten.

Um einen Vergleich mit der Flugzeugindustrie heranzuziehen: die technischen Anforderungen an zukünftige Systeme für Antriebsstrangmanagement und Fahrdynamikregelung sind durchaus mit denen eines Jets zu vergleichen, in manchen Bereichen sogar höher. Die Systemverfügbarkeit muss sehr hoch sein. Wegen der sehr viel größeren Stückzahlen dürfen Fehler deutlich seltener auftreten als bei Flugzeugen, bei ungleich geringeren Kosten. Die Tech-

nik muss für den Kunden bezahlbar bleiben und gleichzeitig in jeder Werkstatt gewartet werden können. Die Reaktion auf einen Fehler muss sofort erfolgen und für den Fahrer nachvollziehbar und gefahrlos sein. Für die Entwicklung solcher Systeme muss der Hersteller gut gewappnet sein.

Elektronische Drosselklappenbetätigung (E-Gas), Antriebsschlupfregelung (ASR) und das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) haben dem Fahrer das Leben erleichtert und in manchen Fällen gerettet. In Zukunft wird die Fahrzeugelektronik sogar die Verantwortung für die Fahrzeugbewegung in Notsituationen komplett übernehmen. Der Hersteller muss daher die je-

derzeit korrekte Funktion dieser Systeme garantieren.

Zukünftige Audi-Modelle, die derzeit in Entwicklung sind, bauen auf bewährter Technik auf, müssen aber trotzdem allen zukünftigen Anforderungen gerecht werden und werden deshalb permanent weiterentwickelt. In einem zunehmend stark vernetzten Fahrzeug muss jede Neuerung erst auf ihre Auswirkung auf das Netzwerk im Fahrzeug untersucht und danach durch Integrationstests geprüft werden. Im Antriebsstrang und in der Fahrwerkssteuerung gibt es heute keine Steuergeräte mehr, die nicht über das Netzwerk Sensorwerte oder Zustandsinformationen erhal-

2.4 3D-Online-Animation

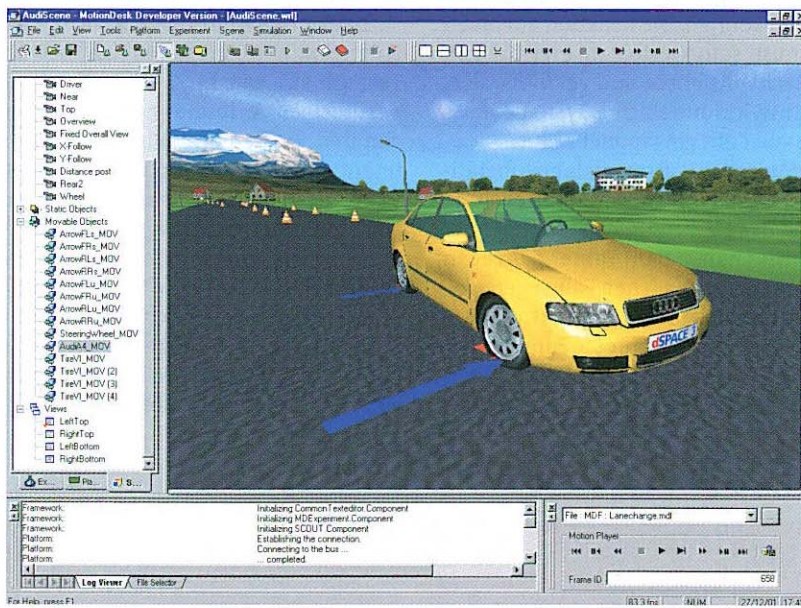


Bild 4: 3D-Online-Animation mit MotionDesk macht die Simulationsergebnisse erheblich transparenter. Durch Bedienung mittels Lenkrad und Motorgeräusche ist der Eindruck eines virtuellen Fahrzeugs vervollständigt
Figure 4: 3-D online animation with MotionDesk makes simulation results considerably more transparent. The use of a steering-wheel and the engine noises makes the impression of a virtual vehicle complete

ten – typischerweise in Form eines Abgriffs am Antriebs-CAN-Bus. Solche Informationen konnten bei früheren Entwicklungen, zum Beispiel dem Audi A4 (B6), an Einzeltestplätzen, das heißt einzelnen HIL-Simulatoren, mit vertretbarem Aufwand simuliert werden. Die einzelnen Steuergeräte konnten einzeln überprüft und freigegeben werden.

Zunehmend werden aber nicht nur Informationen übermittelt, sondern Funktionen über mehrere Steuergeräte oder Systeme verteilt. In diesen Fällen müssen die Steuergeräte aktivere und anspruchsvollere Aufgaben meistern. In diesen Fällen bleibt keine Alternative zum Verbundtest, das heißt, die betroffenen Steuergeräte müssen gemeinsam und vernetzt überprüft werden. Ein solcher Verbundtest kann entweder an einem repräsentativen Versuchsfahrzeug (Prototyp) oder an einem Echtzeit-Simulationsprüfstand wie SPEA durchgeführt werden. Verbundtests an Prototypen haben mehrere Nachteile: Prototypen sind in der Regel sehr teuer und wartungsintensiv, dadurch ist ihre Verfügbarkeit relativ gering. Hinzu kommt die hohe Variantenvielfalt im Antriebsstrang (Motortyp, Getriebeart), so dass die Zahl der für einen Verbundtest geeigneten Fahrzeuge noch geringer wird. Außerdem unterliegen

Prototypen Einschränkungen aufgrund von Geheimhaltung, und ein systematischer Test bei kritischen Fahrmanövern ist aufgrund der Gefahr für Mensch und Fahrzeug kaum möglich.

Echtzeit-Simulationsprüfstände wie SPEA vermeiden solche Nachteile. Es darf dabei aber nicht vergessen werden, dass eine Simulation nur bedingt vergleichbar mit einem echten Fahrzeug ist. Es bleiben viele Entwicklungs- und Prüfaufgaben übrig, die nur mit Versuchsfahrzeugen zu bewältigen sind. SPEA bietet jedoch für eine Vielzahl von Fällen eine realistische Echtzeit-Simulationsumgebung für die Inbetriebnahme und Überprüfung von vernetzter Elektronik. Zum Beispiel werden neue vernetzte Systeme vor Aufbau der ersten Prototypen am Simulationsprüfstand SPEA in Betrieb genommen, was zu einem effizienteren Erstaufbau von solchen Fahrzeugen und letztendlich zu einer höheren Fahrzeugverfügbarkeit führt.

3.2 Anwendungsbeispiele

3.2.1 Adaptive Cruise Control

Bei Adaptive Cruise Control (ACC) handelt es sich um ein System zur Regelung des Abstandes zum Vordermann. Das zum System gehörende Steuergerät verfügt selber über

keine Aktoren, sondern fordert eine Beschleunigung oder Verzögerung über mehrere CAN-Busse an. Auch die Verbindung zwischen ACC-Steuergerät und Bedienteil/Anzeige erfolgt über Bussysteme.

Die vom ACC-Steuergerät ausgelöste Aktion wird von der Motorsteuerung oder vom ESP-Steuergerät ausgeführt. Mit SPEA werden zwei Begleitfahrzeuge simuliert, deren Fahrgeschwindigkeit und Fahrspur einstellbar sind. Für den Betrieb am SPEA wurde ein spezielles ACC-Steuergerät zur Verfügung gestellt, das eine Einspeisung von relativen Positionsdaten über eine eigene CAN-Schnittstelle ermöglicht. Somit kann der Abstandsregler mit Daten der virtuellen Begleitfahrzeuge überprüft werden. Das Verhalten des Systems bei auftretenden Fehlern, zum Beispiel Signalausfällen oder Fehlanpassung, sowie die Anzeige im Kombiinstrument können somit ebenfalls bequem überprüft und bewertet werden, was im realen Fahrzeug nur mit sehr großem Aufwand möglich wäre.

3.2.2 Anlassersteuerung

Der Anlasser wird in Zukunft intelligenter angesteuert werden. Zum Schutz des Anlassers sowie als Komfortverbesserung wird der Anlasser zukünftig über Relais vom Motorsteuergerät angesteuert. Über mehrere Busse müssen dazu Informationen vom Fahrberechtigungssystem, vom Getriebesteuergerät und vom elektronischen Zündschloss herangezogen werden. Eine auf den ersten Blick einfache Funktion wird dadurch komplexer, dass die Eigendiagnose im Fehlerfall schnell und sicher anspringen muss, ansonsten das Anlassen aber nie verhindern darf. Am SPEA sind alle beteiligten Komponenten – mit Ausnahme des Anlassers selbst – real vorhanden. Durch die Simulation des Anlassers und die vielen Eingriffsmöglichkeiten am Simulationsprüfstand ist es möglich, die Anlasserdrehzahl, die Anzieh- und Abfallzeiten der Relais sowie Fehler in der Vernetzung und im einzelnen Steuergeräte bequem zu manipulieren beziehungsweise zu erzeugen. Somit wird eine bislang praktisch unmögliche Prüftiefe erreicht.

3.3 Weitere Anwendungsgebiete

SPEA wird hauptsächlich für die Inbetriebnahme neuer vernetzter Funktionen und Systeme eingesetzt. Auch schon während der Entwicklung solcher Funktionen und Systeme können Iterationsschleifen zur Überprüfung durchlaufen werden.

Der Einsatz der Testautomatisierung wird am Simulationsprüfstand SPEA zunehmend an Bedeutung gewinnen. SPEA eignet sich auch sehr gut für angrenzende

Aufgaben, beispielsweise die Überprüfung von produktionsrelevanten Vorgängen wie Bandende-Programmierung oder Sonderfunktionen für fabrikneue Fahrzeuge. Auch die Entwicklung von Kundendiensttester und deren Software wird vom SPEA profitieren können.

SPEA wird in Zukunft nicht nur als Tool für die Systemintegration fungieren, sondern auch als Plattform für den Entwurf von komplett neuen Funktionalitäten. Zu dem virtuellen Antriebsstrang kann beispielsweise auch ein virtuelles Antriebsstrangmanagement oder ein anderes Bedienkonzept für die Geschwindigkeitsregelanlage schnell, effektiv und mit einer hohen Detaillierung entworfen werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

SPEA bietet den Ingenieuren eine Testumgebung, mit der sie Antriebsstrangsysteme für mehrere Fahrzeugvarianten systematisch testen und neue Prototypen entwickeln und prüfen können. SPEA bietet gleichzeitig hohe Komplexität und Flexibilität, vor allem hinsichtlich der Ausführung und Einordnung der Simulationsergebnis-

se. Gleichzeitig erlaubt das modulare System eine Überarbeitung der einzelnen Einheiten ohne Ausfall des Gesamtsystems und ein kurzfristiges Umschalten der Fahrzeugvariante.

Durch die möglichst einfach gehaltene Bedienung bleiben Einarbeitungszeiten gering und die eigentliche Entwicklungsaufgabe steht im Vordergrund. Bereits in den ersten drei Einsatzmonaten konnten mit SPEA mehrere Software- und Hardwarefehler in einer frühen Entwicklungsphase gefunden werden und damit Kosten eingespart werden. Hinzu kamen viele Tests, die ohne ein System dieser Art überhaupt nicht möglich sind. Damit ist SPEA zu einem sehr wichtigen Baustein für alle Entwicklungs- und Testaufgaben im Bereich Antriebsstrang geworden und wird auch bei zukünftigen Audi-Modellen eine Schlüsselrolle einnehmen.

Literaturhinweise

- [1] Hanselmann, H.: Advances in Desktop Hardware-in-the-Loop Simulation. SAE Paper 970932, 1997
- [2] Kiffmeier, U.; Otterbach R.; Schütte H.: Real-Time Simulation of a 3-D Vehicle Dynamics Model on the DEC Alpha Processor. 15th I-

MACS World Congress '97, Berlin, August 24-29, 1997

- [3] Boot, R.; Richert, J.; Schütte, H.: Automated Test of ECUs in a Hardware-in-the-Loop Simulation Environment. CACSD, Kona, Hawaii, August 22-27, 1999
- [4] Michalsky, Th.; Büdenbender, M.: Testing Transmission ECUs With Integrated Sensors. Auto Technology, Volume No. 1, pp. 62-65, June 2001
- [5] Schütte, H.; Plöger, M.; Diekstatt, K.; Wältermann, P.; Michalsky, Th.: Testsysteme im Steuergeräte-Entwicklungsprozess. Automotive Electronics, pp. 16-21, March, 2001
- [6] Chucholowski, C.; Wolter, Th.-M.: Use of multi-step solvers for external models in veDyna. ATZ 7-8/2001
- [7] Wolter, Th.-M.: Driver Modeling for Motor Sport. Automotive Engineering Partners, 6/2001
- [8] dSpace GmbH: dSpace Simulator, dSpace Engine Simulator, dSpace Vehicle Dynamics Simulator. Product Information. 2001. dSpace GmbH, Paderborn

For an English version of this article, see **ATZ worldwide**.
For information on subscriptions, just call us or send an email or fax.



ATZ

Vieweg Verlag, Postfach 1546, D-65172 Wiesbaden
Hotline 06 11778 78 151, Fax 06 11778 78 423
email: vieweg.service@bertelsmann.de