



# Optimieren von Getriebesteuerungen durch Fahrerassistenzsysteme

© BMW

## AUTOREN



**Dipl.-Ing. Salim Chaker**  
ist Ingenieur bei der ITI GmbH  
in Dresden.



**Dipl.-Ing. Christian Kehrer**  
ist Vertriebsmanager bei der  
ITI GmbH in Dresden.



**Dipl.-Ing. Michael Folie**  
ist Niederlassungsleiter der IPG  
Automotive GmbH in München.

Für den vollständigen Softwaretest eines Steuergeräts sind etwa zehn hoch 1000 Zustände zu berücksichtigen. Mit der Implementierung einer verteilten Simulation mittels eines Co-Simulationsansatzes bietet die ITI GmbH eine Möglichkeit, diese Herausforderung zu beherrschen.

## WACHSENDE KOMPLEXITÄT

Bei der Entwicklung moderner Getriebe im Fahrzeugbau ist – wie bei allen technischen Systemen – eine wachsende Komplexität durch immer umfangreichere Funktionen zu beobachten. Um vernetzte Funktionen zuverlässig testen und freigeben zu können, ist deren Integration in einen virtuellen Prototypen unerlässlich und inzwischen allgemeine Vorgehensweise. Besonders im Hinblick auf Fahrerassistenzsysteme, die durch eine Vielzahl von Sensoren das Fahrzeugumfeld erfassen und über ein Umfeldmodell die Umgebungsinformationen interpretieren, wird die simulative Abbildung solcher Systeme zunehmend zur Herausforderung.

Die immer vielseitigeren Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Teilsystemen über verschiedene physikalische Domänen wie Mechanik, Elektrik/Elektronik, Hydraulik, Regelungstechnik hinweg lassen sich mithilfe objektorientierter Modellierung unter Berücksichtigung dynamischer Effekte am effizientesten abbilden. Solche multiphysikalischen Modelle werden für verschiedene Szenarien wie Hybridisierung, Zylinderabschaltung oder Fahrerassistenz-Anbindung bei der Auslegung und Analyse von neuen Getrieben eingesetzt. Die optimale Ausnutzung verfügbarer Potenziale kann dabei nur durch die Verbindung von Antriebsstrangabstimmung und Betriebsstrategieoptimierung erreicht werden.

Folglich wird mittlerweile verstärkt dazu übergegangen, Fahrerassistenzsysteme dahingehend weiterzuentwickeln, sich nicht mehr nur allein um Verkehrssicherheitsaspekte zu kümmern, sondern zunehmend Aufgaben des Fahrers für ein verbrauchsfreundliches, vorausschauendes Fahren zu übernehmen. Viele Funktionen und Anwendungen sind bereits in Serie oder befinden sich in Entwicklung. Werkzeuge, die die Arbeit der Ingenieure in den Bereichen Softwareentwicklung, Applikation und Test in der virtuellen Welt erledigen können, werden dabei immer unverzichtbarer.

Für die Abbildung technischer Systeme stehen eine Vielzahl von Modellierungsarten und -ansätzen zur Verfügung. Da sich mit akausaler Modellierung die Grenzen signalflussorientierter Modelle erfahrungsgemäß leicht überwinden lassen, ist die akausale objektorientierte Modellierung mit Modelica in SimulationX für die Modellierung einer Regelstrecke Getriebe das Mittel der Wahl. Hingegen werden für die Erstellung der Getriebe-Software die signalflussorientierten Werkzeuge Matlab/Simulink und Etas Ascet benutzt.

## VIRTUELLE ENTWICKLUNGS- UND TESTUMGEBUNG FÜR SCHALTSTRATEGIEN

Ein heutiges Automatikgetriebe muss neben Anforderungen an Gewicht, Bau- und Schalthkomfort noch weitere erfüllen, zum Beispiel bezüglich Verbrauchsreduzierung. Dabei spielt das Thema Schaltstrategie eine wichtige Rolle. Wie eingangs erwähnt, können über Assistenzfunktionen wichtige Informationen aus der Umwelt erfasst, interpretiert und als Nutzinformationen an Systeme und Komponenten weitergegeben werden, **BILD 1**. Wie diese Aspekte schon in frühen Entwicklungsphasen berücksichtigt werden, zeigt das Beispiel des ZF-8HP, einem Achtgang-Automatikgetriebe der ZF Friedrichshafen AG, das aus vier Planetenradsätzen und fünf Schaltelementen (drei Lamellenkupplungen und zwei Bremsen) besteht.

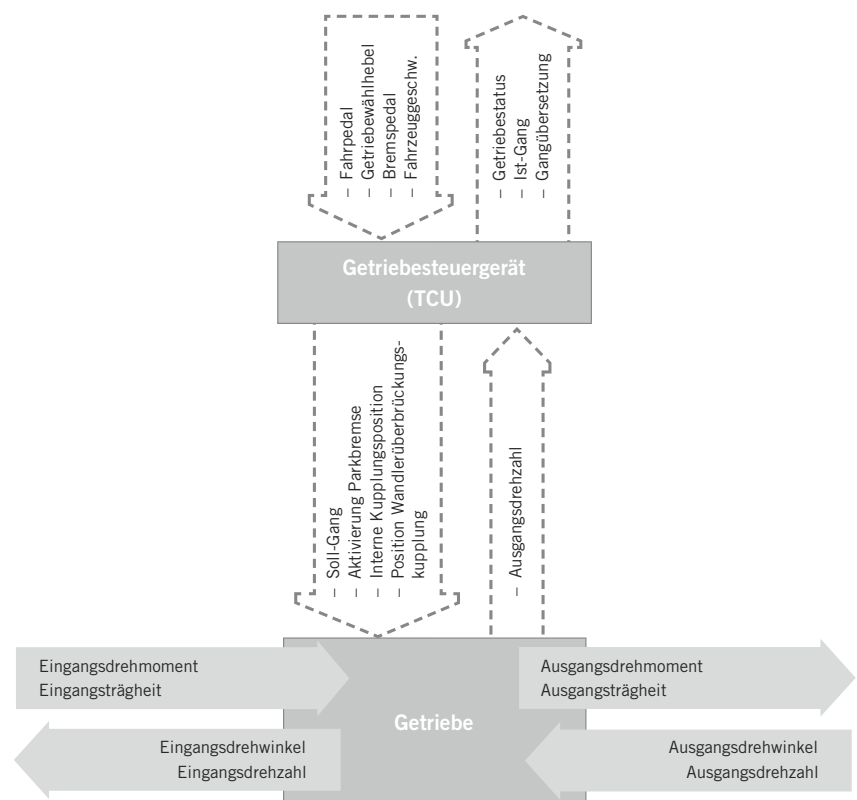
Die Wahl der Gänge erfolgt über das Öffnen und Schließen der Schaltelemente. In Abhängigkeit des eingelegten Gangs sind die Schaltelemente geöffnet oder geschlossen, sodass der Kraftfluss über die Planetengetriebe verändert und so

ein bestimmtes Übersetzungsverhältnis eingestellt wird. Ausgeführt wird dies durch eine Getriebesteuerung, die in der Modellierungsumgebung Matlab/Simulink umgesetzt wurde. Mithilfe von Elementen der 1-D-rotatorischen Mechanikbibliothek und Signalgliedern wurde das 8HP-Getriebe einschließlich der Aktuatortechnik in SimulationX abgebildet, **BILD 2**. Das Modell wurde um ein Interface erweitert, das die gleichen Ein- und Ausgänge besitzt wie das in der offenen Integrations- und Testplattform Carmaker umgesetzte Getriebe-Modell, um eine problemlose Integration zu gewährleisten. Der gewünschte Gang beziehungsweise die Gangfolge im Fall eines dynamischen Gangwechsels kann dem Mechatronikmodul Schaltlogik, **BILD 2** (links), zugewiesen werden, in dem die Steuerung für die Bremsen (A, B) und Kupplungen (C, D, E) des 8HP-Getriebes implementiert ist. Kupplungen und Bremsen sind mithilfe elastischer Reibstellen modelliert worden, die über Signale zur (De-)Aktivierung des Drehmomentflusses zwischen Antriebskomponenten durch die Steuerungseinheit verfügen. Aufgrund der guten Inter-

operabilität der Werkzeuge SimulationX und Carmaker wurde ein dualer Ansatz gewählt, der die Vorteile beider Werkzeuge vereint. Realisiert wird solch ein Simulationskonzept mittels FMI für Co-Simulation, das die Kopplung mehrerer Simulationswerkzeuge in einem Co-Simulationsverbund unterstützt.

## ABSICHERUNG UND OPTIMIERUNG VON SCHALTSTRATEGIEN IM VIRTUELLEN FAHRVERSUCH

Zunächst wird das Mechatronikmodul Schaltlogik um weitere Softwaremodule ergänzt, um zu zeigen, wie diese Funktionen im virtuellen Fahrversuch abgesichert und optimiert werden können. Dazu werden das Getriebe-Modell als Funktionelle Mock-Up-Unit (FMU) aus SimulationX und die Regelungslogik für das Getriebe als FMU aus Simulink in Carmaker integriert. Beim Exportieren wird das Modellverhalten als C-Code einschließlich des Solvers extrahiert. Die so exportierte FMU für Co-Simulation läuft in der fremden Simulationsumgebung als Slave und tauscht die berechneten Ergebnisse zu diskreten



**BILD 1** Realitätsnahe Schnittstellen der Getriebekomponenten sind für die einfache und durchgängige Integration notwendig; zusätzliche Ein- und Ausgangsgrößen sind möglich (© IPG)

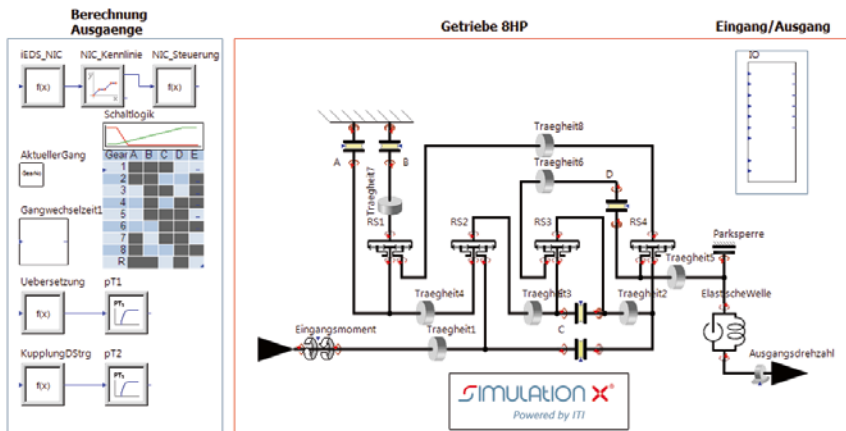


BILD 2 Screenshot eines SimulationX-Modells des Automatikgetriebes 8HP von ZF (© ITI)



BILD 3 Informationen, die durch Sensoren erfasst und an die Getriebe-Software weitergegeben werden (© IPG)

Kommunikationspunkten mit der Masterumgebung Carmaker aus. In der Zwischenzeit werden die Teilsysteme unabhängig voneinander durch ihre individuellen Löser berechnet. Der Software für die Schaltstrategie werden zusätzliche Umgebungsinformationen bereitgestellt, BILD 3.

Dabei empfängt Carmaker die Kurvenkrümmung und die Steigung aus dem Navigationssystem über das standardisierte Adasis-Protokoll. Der Abstand zum Vorderfahrzeug wird über ein Radar- oder Kameramodell erfasst. Alle sensorisch erfassten Daten werden an die Getriebe-Software weitergegeben und können nun für die Entwicklung folgender Funktionen genutzt werden, um

- Schaltvorgänge in der Kurve zu vermeiden beziehungsweise den Schaltvorgang vor der Kurve abzuschließen
- den Leerlauf bei Bergabfahrt einzulegen und somit Rollphasen zu nutzen
- die Rekuperation bei Ausrollvorgängen oder Bergabfahrten zu nutzen, damit der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug eingehalten oder die Batterie geladen wird.

Die beiden letzten Anforderungen stehen komplementär zueinander. Per Variantsimulation lassen sich verschiedene Steigungen und Abstände zum vorausfahrenden Fahrzeug generieren und die optimale Strategie zum Ein- beziehungsweise Auslegen des Gangs entwickeln.

Die Integration der Getriebestrecke und der Getriebe-Software erfolgt in MiL,

SiL, HiL und am Prüfstand in folgenden Kombinationen:

- Bei MiL sind Getriebemodell und Software als FMU in Carmaker integriert.
- Bei SiL wird die Getriebesteuerungssoftware durch einen Produktionscode ersetzt und kann als C-Code oder auch als Autosar-FMU in Carmaker integriert werden.
- In einem nächsten Schritt wird im HiL-Test die Getriebe-Software durch ein reales Bauteil, das Steuergerät, ersetzt.
- Im letzten Schritt wird am Getriebeprüfstand auch die Getriebe-FMU durch ein reales Getriebe ersetzt.

Dabei bleibt Carmaker in allen Entwicklungsstufen als Integrationswerkzeug erhalten. Die in der MiL-Phase erzeugten Testfälle sowie das Fahrzeugmodell und die Parametrierung lassen sich durchgängig in allen gezeigten Phasen verwenden. Die erzeugten Daten spiegeln eine sehr hohe Reproduzierbarkeit wider und lassen sich hervorragend für den Test als auch zur Weiterentwicklung der Getriebe-Software verwenden. Mithilfe des Getriebeprüfstands lassen sich nun auch gezielt physikalische Effekte in das Getriebemodell überführen, die bei der Entwicklung der Getriebe-Software zu einem höheren Reifegrad beitragen. Für weitergehende Untersuchungen kann auch der Fahrer einbezogen werden. Einerseits kann er die manuelle Gasse zum Beispiel für Überholvorgänge nutzen, andererseits wechselt er in den Komfort- oder Kraftstoffsparmodus. Auch diese Optionen lassen sich wieder in einer Vielzahl von Varianten unterschiedlicher Strecken und Vorderfahrzeugabstände kombinieren. Eine derart hohe Anzahl von Tests lässt sich nur sinnvoll in MiL oder SiL durchführen. Am HiL oder Getriebeprüfstand werden lediglich Lastfälle bezüglich Strom/Druck und Moment sowie bestimmte Grenzfälle der definierten Räume gefahren, um die Testanzahl zu minimieren. In allen Phasen kann ein physikalisches Motormodell mit Motorsteuerungssoftware integriert werden, um die Schaltkennlinien beziehungsweise die Momentenreduktion bei Gangwechsel zu optimieren.

Abschließend können im realen Fahrversuch die Fahrereingaben sowie Fahrzeug- und Getriebegrößen aufgezeichnet werden. Die Fahrereingaben sowie die Geschwindigkeit werden als Eingangssignale für die Simulation wieder in allen

Phasen verwendet, um die verschiedenen Simulationsrechnungen mit dem realen Fahrversuch vergleichen zu können. Nur ein sinnvoller Modellabgleich ist die Grundlage, um die Variantenrechnungen mit hoher Realitätsnähe durchführen zu können.

## ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Aufgrund der Vorteile des objektorientierten, akausalen Modellierungsansatzes werden zunehmend heterogene Domänen miteinander kombiniert und in einem einzigen Modell simuliert. Die Simulationsleistung erreicht im Fall von heterogenen Modellen die technischen Grenzen. Die Implementierung einer verteilten Simulation mithilfe des oben beschriebenen Co-Simulationsansatzes bietet eine gute Möglichkeit, diese Herausforderung zu beherrschen. Die getrennte Integration von Getriebe und

Software bietet verschiedene Vorteile, unter anderem die Reduzierung der Anzahl vorzuhaltender Varianten oder aber die schnelle, virtuelle Erprobung neuer Konzepte.

Durch den Abgleich von realem und simuliertem Fahrverhalten wird eine valide Basis für die Etablierung des virtuellen Fahrversuchs geschaffen. In der Folge lassen sich nicht nur sicherheitskritische, sondern auch wirtschaftliche und komfortrelevante Funktionen frühzeitig und effizient innerhalb einer durchgängigen Werkzeugkette testen und optimieren. So lassen sich auch kraftstoffsparende Anzeigen für den Fahrer in einem von Hand geschalteten Fahrzeug entwickeln und erproben, zum Beispiel „Fuß vom Gas“ oder „Leerlauf einlegen“. Weitere energiesparende Funktionen auf Basis von Fahrerassistenzsensoren, wie zum Beispiel eine Schilder- und Ampeldetektion als Basis für die höhere Nutzung von Roll- oder Rekuperations-

phasen, wären auf diese Weise ebenfalls realisierbar. Darüber hinaus sind weitere Schwerpunktthemen der virtuellen Erprobung und Optimierung von Betriebsstrategien für hybride und nicht-hybride Fahrzeuge – zum Beispiel Car-to-Infrastruktur oder Car-to-Car – relevant. Nicht zuletzt stellen Fahrversuche, die in der Realität nicht oder nur schwer reproduzierbar sind, ein wichtiges Feld für die virtuelle Validierung dar.



### DOWNLOAD DES BEITRAGS

[www.springerprofessional.de/ATZ](http://www.springerprofessional.de/ATZ)



### READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

order your test issue now:  
[springervieweg-service@springer.com](mailto:springervieweg-service@springer.com)

# DISCOVER BETTER DESIGNS. FASTER.

STRÖMUNG – WÄRMETRANSFER – STRUKTUR – EMAG – ELEKTROCHEMISCHE REAKTIONEN – CASTING  
OPTIMIERUNG – CHEMISCHE REAKTIONEN – VIBRO-AKUSTIK – MULTIDISZIPLINÄRE CO-SIMULATIONEN

