

# Strategischer Einsatz von HIL und SIL

- **dSPACE Simulator fest in den Entwicklungsprozess bei Audi integriert**
- **Regler-Applikation und -Parametrierung in der Simulation**
- **Optimaler Mix aus Simulation und Fahrversuch**

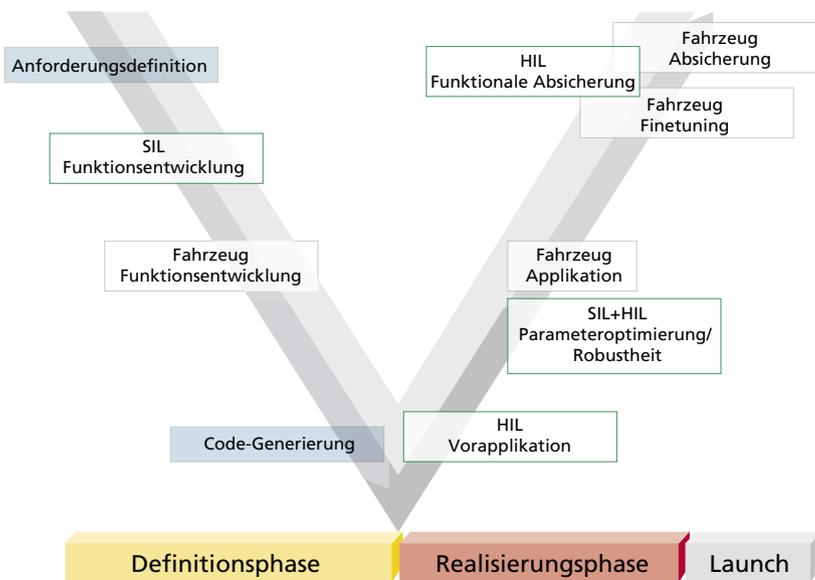
HIL (Hardware-in-the-Loop)- und SIL (Software-in-the-Loop)-Simulationen sind feste Bestandteile von Steuergeräte- und Software-Tests. Ein neues Anwendungsfeld ist die Applikation und Parametrierung eines Fahrzeugstabilitätsreglers in der Simulation. Ein solches virtuelles Applikationsverfahren erfordert weitaus genauere Modelle, neue methodische Ansätze zur Optimierung der Fahrdynamik und wirft darüber hinaus Fragestellungen zum Entwicklungsprozess auf.

Für die Fahrdynamikreglerentwicklung hat die AUDI AG einen Prozess entwickelt, der die HIL- und SIL-Simulation fest in die Entwicklungsprojekte integriert. Hierzu ist ein Spezialistenteam „HIL/SIL“ gebildet worden, das als Dienstleister innerhalb des Fachbereichs mit virtuellen Verfahren Entwicklungsumfänge bearbeitet.

## Ziele des Entwicklungsprozesses

Mit unserem Entwicklungsprozess möchten wir möglichst viele der unterschiedlichen Ziele aus Kunden- und Prozesssicht sowie hohe Wertschöpfung erreichen:

- Optimale Funktionsweise der Regler, zum Beispiel für einen kurzen Bremsweg
- Hohe Sicherheit der Funktionen, gesichert durch eine große Prüftiefe
- Schnelle Reaktion auf technische Änderungen durch eine modellgestützte Funktionsentwicklung und -parametrierung
- Beherrschung der Steuergeräte-Vernetzung, die durch die stetig steigende Funktionalität und die dadurch steigende Anzahl an Steuergeräten im Fahrzeug zunehmend an Bedeutung gewinnt
- Optimale Wertschöpfung durch konsequente Automatisierung zeitaufwendiger Entwicklungsumfänge



▲ *Optimaler Mix aus Simulation und Fahrversuch:  
Die frühe Verwendung von HIL- und SIL-Simulation reduziert die Fahrversuche.*

Die AUDI AG setzt dabei auf Simulatoren von dSPACE. Die Aufgaben des Teams „HIL/SIL“ umfassen die fahrzeugspezifische Parametrierung verschiedener Funktionen der Fahrdynamikregelung sowie die Neuentwicklung von Bremssystemen und Stabilitätsfunktionen im Steuergeräte-Verbund.

Ein hohes Systemverständnis ist die Basis für das Erreichen dieser Ziele. Unterstützend ist dabei der frühe Einsatz von HIL- und SIL-Simulationen. So ist es möglich, die Versuchsträger deutlich zielgerichteter einzusetzen. Die Faktoren Methodik, Modellgüte und Prozess sind dabei gleichermaßen relevant für die Ausnutzung der Potenziale der Simulation.

## Methodik

Zur Verbesserung der Methodik arbeiten wir an der Objektivierung der fahrdynamischen Größen. Hierzu wurde ein Gütebewertungsverfahren (GBV) eingeführt. Wir haben objektive Eigenschaften zur Beurteilung der Fahrdynamik definiert, die es ermöglichen, verschiedene Reglerabstimmungen auf einer rein phänomenologischen Ebene miteinander zu vergleichen. Diese fahrdynamischen Gütekriterien

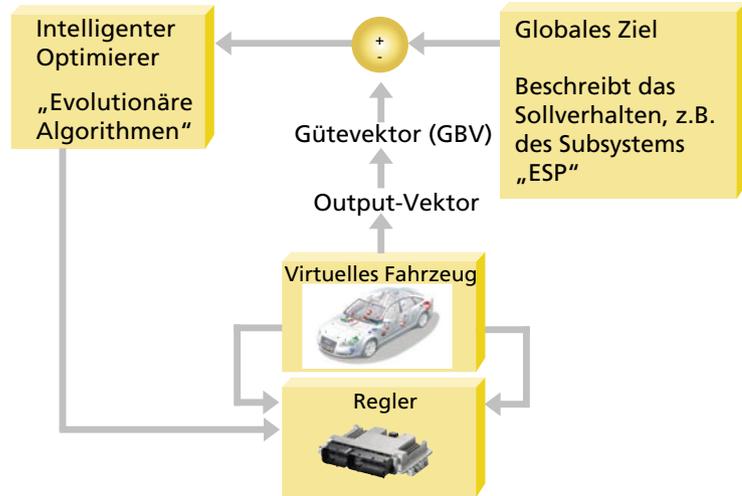
werden zu aufgabenspezifischen Gütevektoren zusammengefasst. Mit Hilfe dieser Gütevektoren lässt sich eine automatisierte Optimierung der Reglerparameter innerhalb der Simulation realisieren. Dieses Optimierungsverfahren kann sowohl am HIL- als auch am SIL-System von dSPACE eingesetzt werden.

### Modellgüte

Abhängig von den jeweiligen Aufgaben wie Funktionsentwicklung, Vorparametrierung, Optimierung oder funktionalen Software-Tests bestehen unterschiedlich hohe Anforderungen an die Modellgüte.

Hierzu haben wir vier Modellklassen eingeführt und die zur Erreichung der klassenspezifischen Modellgüte notwendigen Schritte definiert. Beginnend mit einem um Ziel-daten erweiterten Vorgängermodell, entsteht in mehreren Schritten schließlich ein vollständig validiertes Modell für konkrete Versuchsträger.

Um eine hohe Modellgüte zu erreichen, teilen wir das gesamte fahrdynamische Modell des Fahrzeugs zunächst in Modellmodule auf. Die Parameter dieser Module werden von den Prüfständen und den Simulationsergebnissen des jeweilig zuständigen Fachbereichs abgeleitet, so dass die Module einzeln validiert und geprüft werden können. Aus diesen Modulen entstehen wie mit einem Baukasten die Varianten einer Baureihe. Über Messdaten, die aus Fahrmanövern mit Versuchsträgern gewonnen werden, wird das Gesamtmodell speziell dieser Variante validiert. Dies stellt

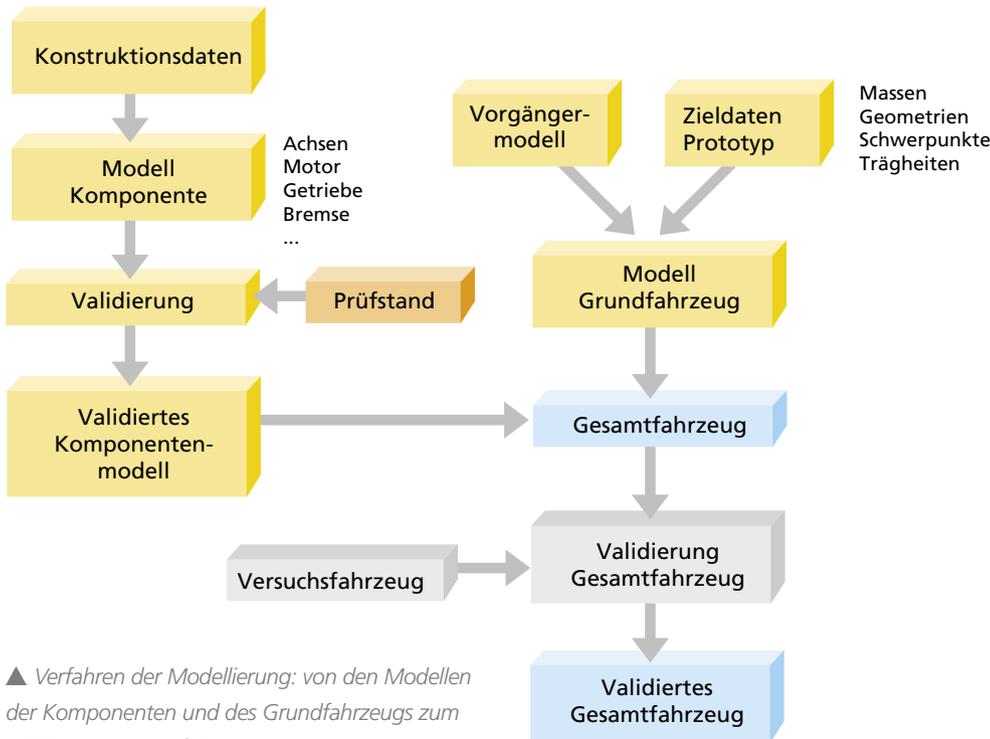


▲ *Objektivierung der Fahrdynamik für eine bessere Methodik.*

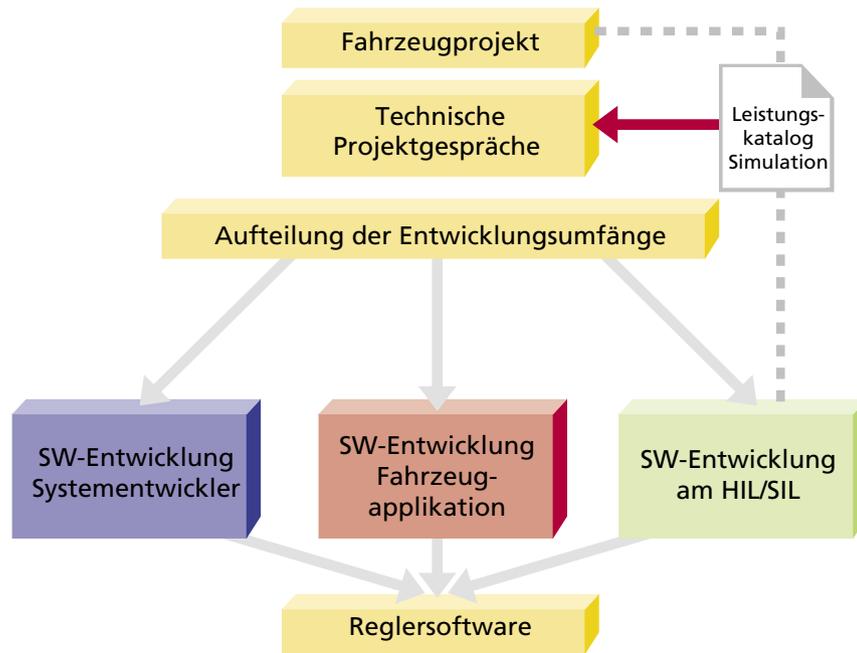
die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen Simulation und Fahrversuch sicher.

### Prozessintegration

Kern der Integration der Simulationsumfänge im Fahrzeugentwicklungsprozess ist unser Leistungskatalog Simulation. Auf Basis dieses Leistungskatalogs können die Funktionsverantwortlichen in den technischen Projektgesprächen definierte Simulationsumfänge beauftragen.



▲ *Verfahren der Modellierung: von den Modellen der Komponenten und des Grundfahrzeugs zum validierten Gesamtfahrzeug.*



▲ Prozessablauf: Integration der HIL- und SIL-Simulation.

Der Leistungskatalog beschreibt hierbei genau die zu leistenden Umfänge, die erreichbare Simulationsgüte und die hierzu notwendige Modellklasse. Zwei Aspekte waren für die Einführung des Katalogs prägend:

- Eine stabile Planungsbasis im Fahrzeugprojekt
- Methodenentwicklung und Modellierungsumfänge können erheblich bedarfsorientierter als bisher durchgeführt werden

### Fazit

HIL und SIL zeigen ein erhebliches Potenzial bei der Applikation, Optimierung und Absicherung von Fahrdynamikregelungen. Dabei ist die automatisierte Parametrierung bereits mit echtzeitfähigen Modellen möglich. Notwendig hierfür ist die Objektivierung der Fahrdynamik, die

*„Viele Entwicklungsaufgaben lassen sich in der HIL- und SIL-Simulation erheblich schneller als im Fahrzeug durchführen. So sparen wir viel Zeit.“*

*Jörg Pfau*

Prozessdurchgängigkeit sowie die Modulstruktur des Modells. Basierend auf dem Leistungskatalog, konnten wir die HIL- und SIL-Simulation im Fahrzeugprojekt etab-

lieren. Dies ist unser Beitrag zur Erzielung eines optimalen Entwicklungsmix aus Simulation und Fahrversuch, mit dem die jeweiligen Stärken der Werkzeuge Simulator und Fahrzeug voll zur Geltung kommen. Durch konsequente Weiterentwicklung der Erfolgsfaktoren Methodik, Modellgüte und Prozess arbeiten wir an einer kontinuierlichen Verschiebung des Mix in Richtung Simulation.

*Jörg Pfau*

*Entwicklung StabilitätsRegelSysteme*

*Teamkoordination HIL/SIL Simulation*

*AUDI AG*

*Ingolstadt, Deutschland*

### Glossar

**Objektivierung** – Beschreibung von subjektiv empfundenem Fahrverhalten durch objektiv messbare physikalische Größen.

**Gütevektor** – Vektorielle Zusammenfassung von Gütekriterien.

**Phänomenologisch** – hier: Untersuchung des Fahrzeugverhaltens, das letztlich für die Interaktion Fahrer/Fahrzeug relevant ist.