

BMW: Seriencode für dezentralen Regler

- **Neue Dämpferregelung der BMW Group**
- **Einsatz von TargetLink im automatisierten Entwicklungsprozess**
- **Zeitersparnis und Qualitätszuwachs erreicht**

Aktive Fahrwerke schaffen es, den Fahrkomfort deutlich zu erhöhen, indem sie beispielsweise Aufbaubewegungen eines Fahrzeugs zuverlässig dämpfen. Die BMW Group hat eine neue Dämpferregelung zur dynamischen Stabilisierung entwickelt, die auf einem dezentralen Regler aus Satelliten und einem zentralen Steuergerät basiert. In einem weitgehend automatisierten Entwicklungsprozess wurde mit TargetLink für das umfangreiche Funktionsmodell Seriencode generiert. Weitere mit FlexRay ausgestattete Entwicklungswerkzeuge waren im Einsatz.

Fahrwerkregelsystem

Geregelte Dämpfersysteme sorgen situationsabhängig für eine ideale Kombination aus Komfort und Fahrsicherheit moderner Automobile. Konventionelle Fahrwerke erlauben nur einen Kompromiss zwischen beiden Eigenschaften.



▲ *Moderne Dämpferregelungen von BMW sorgen für Komfort und Fahrsicherheit.*

Die neue Dämpferregelung der BMW Group hält Bewegungen des Fahrzeugaufbaus, Radlastschwankungen und Störeinflüsse unter Kontrolle. Das aufwendige Regelsystem besteht aus mehreren Sensoren, Aktoren und insgesamt fünf Steuergeräten.

Dezentraler Regler

Der Regler wurde als ein System bestehend aus intelligenten Satelliten und einem zentralen Steuergerät ausgelegt. Die im Bereich der vier Radaufhängungen positionierten Satelliten kommunizieren über den FlexRay-Bus mit dem zentralen Steuergerät. Im Steuergerät werden die mit verschiedenen Sensoren erfassten Fahrzeugzustände ausgewertet und eine übergeordnete Regelstrategie berechnet. Die Satelliten übernehmen die Ansteuerung

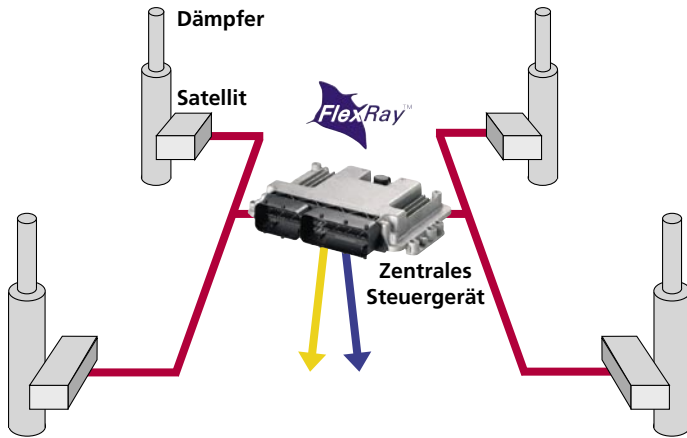
der aktiven Dämpfer. In die Regelung gehen zusätzlich eine Vielzahl im Fahrzeug erfasster Betriebsdaten ein. Der dezentrale Regleransatz erlaubt es, mit systemübergreifenden Regelmodellen zu arbeiten, die dann auf die verschiedenen Steuergeräte partitioniert werden können. Vorteil hier: alle Regelalgorithmen werden in einem einzigen Simulink®-Modell erstellt und können so gesamthaft simuliert werden.

Toolkette und Prozesse

Die Gestaltung des Softwareentwicklungsprozesses geschah aufgrund verschiedener Anforderungen: Unter anderem sollte die Entwicklung mehrerer Systeme in einem Modell unterstützt werden. Rapid Prototyping, Codegenerierung und Hardware-in-the-Loop (HiL)-Simulation sollten aus demselben Modell bedient werden, und Modellkonvertierung und Codegenerierung sollten durchgängig automatisiert und versionierbar sein.

Die Tools Simulink® und TargetLink wurden in eine weitgehend automatisierte Toolkette zur Modellkonvertierung und Codegenerierung integriert. Eine Ablaufsteuerung mit eigener Bedienoberfläche automatisiert verschiedene Arbeitsschritte, erleichtert das Datenhandling und ermöglicht eine modulare Versionierung und Verwaltung. Das Modell wurde aus über 50 Subsystemen aufgebaut. Die

„Auf Basis des Seriencode-Generators TargetLink haben wir einen automatisierten, durchgängigen Entwicklungsprozess realisiert und dadurch eine höhere Effizienz in der Entwicklung erreicht.“
Tobias Schmid



▲ Das Regelsystem ist dezentral ausgelegt. Die intelligenten Satelliten kommunizieren über den FlexRay-Bus mit einem zentralen Steuergerät.

Subsysteme können unter der Bedienoberfläche einzeln selektiert, versioniert und dann mithilfe von TargetLink in Produktionscode übersetzt werden. Das Ziel, die Modellierung zu vereinfachen, Tests leichter zu reproduzieren und den gesamten Prozess besonders durchgängig zu gestalten, konnte so umgesetzt werden. Die Toolkette erfüllt die Anforderungen des BMW-Entwicklungsprozesses.

Prototyping und Implementierung

Die mit Simulink entwickelten Funktionsalgorithmen wurden zunächst mit einer am FlexRay-Bus angeschlossenen dSPACE AutoBox im Fahrzeug getestet. Das getestete Modell wurde dann direkt für die Seriene-Code-Generierung und Implementierung verwendet. Zur Vor-

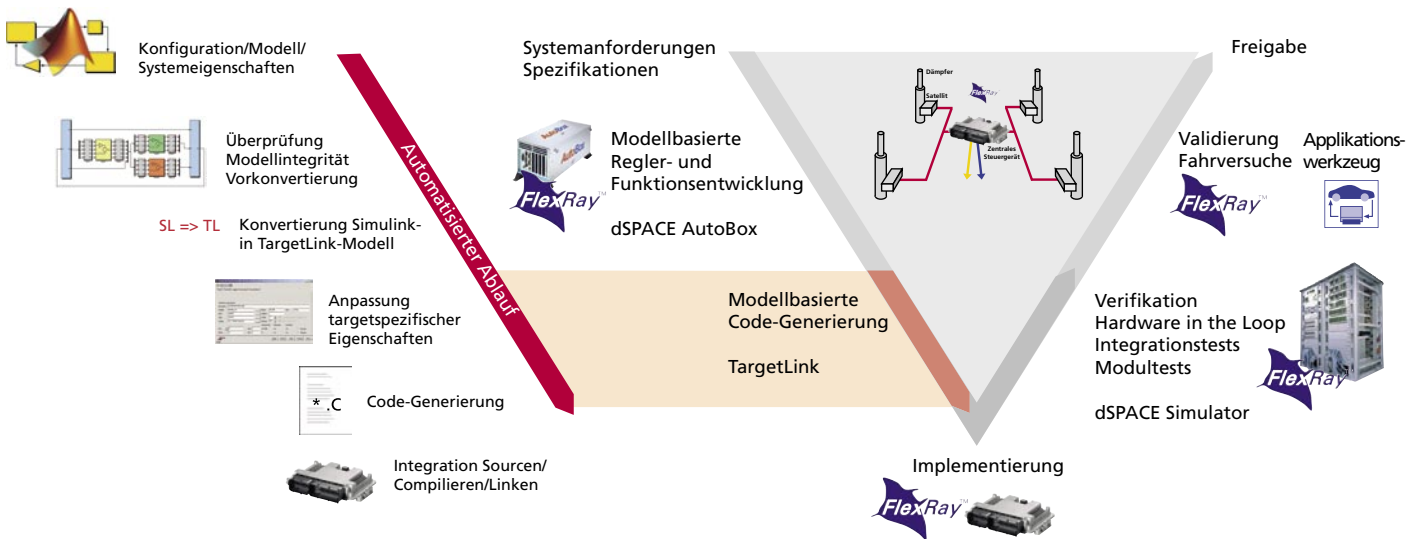
bereitung der Implementierung auf den Zielprozessoren wurde eine Model-in-the-Loop (MIL)-Referenzsimulation der wesentlichen Funktionseinheiten erstellt und im nächsten Schritt mit TargetLink-Code im Software-in-the-Loop (SIL)-Verfahren verglichen. Hierbei konnten beispielsweise Festkommaeffekte der Satelliten erkannt und abgestellt werden. Eine besondere Herausforderung bestand darin, dass die Satelliten mit Festkommaprozessoren vom Typ Star 12 (HC12S) und das zentrale Steuergerät mit dem Fließ-

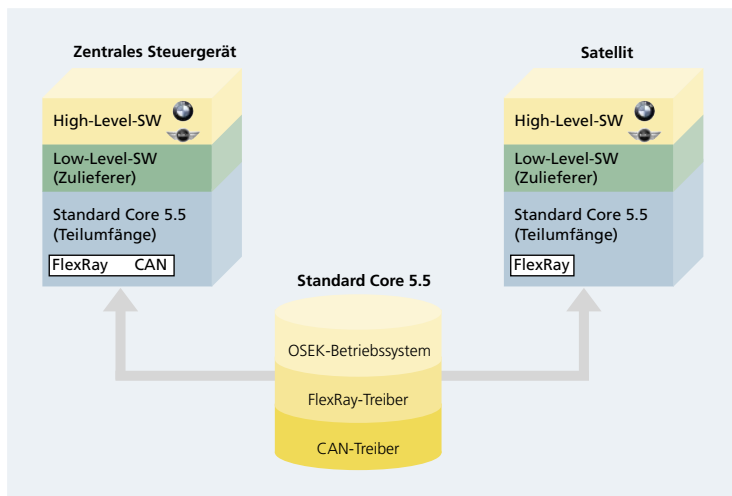
kommprozessor MPC565 ausgestattet waren, was bei der Generierung von Seriene-Code aus einem Modell besondere Methoden erfordert.

Per Processor-in-the-Loop (PIL)-Simulation wurden die Algorithmen und der Ressourcenbedarf direkt auf den Zielprozessoren überprüft, bevor die Steuergeräte bedatet wurden. Das ist besonders vorteilhaft, um Probleme bei der Speicherverwaltung und den Ausführungszeiten schon während früher Entwicklungsphasen zu erkennen. Die Auswertung wird mit entsprechenden Diagnosefunktionen von TargetLink direkt unterstützt.

Der für die verschiedenen Subsysteme erzeugte TargetLink-Code wurde in die BMW Standard Core Software integriert. Die BMW Standard Core Software umfasste Low-Level-Funktionen verschiedener Zulieferer, Treiber für FlexRay und CAN sowie ein OSEK-Betriebssystem. Das gesamte Funktionsmodell war aus 12.000 Blöcken modelliert, aus denen 100 KB Code für den zentralen Regler und je 11 KB Code pro Satellit generiert wurden.

▼ Der Entwicklungsprozess folgt dem V-Zyklus und ist stellenweise automatisiert. Die eingesetzten Entwicklungswerkzeuge verfügen über FlexRay-Schnittstellen.





Die realisierte Toolkette mit ihren weitgehend automatisierten Abläufen sorgt für hohe Durchgängigkeit im Prozess und eine sehr gute Reproduzierbarkeit. Daraus ergaben sich eine deutliche Zeitersparnis bei der Reglerentwicklung und ein Qualitätszuwachs für den erstellten Code. Die Entwicklung und die Applizierung von Regelsystemen werden so maßgeblich erleichtert.

Die Entwicklungswerkzeuge von dSPACE haben sich dabei von der Prototyping-Phase über die Implementierung bis hin zum Freigabetest der Steuergeräte bewährt. Gerade der Einsatz des brandneuen Bussystems FlexRay erfordert leistungsfähige, gut aufeinander abgestimmte Tools, die uns dSPACE zur Verfügung stellen konnte.

Projektstatus und Ausblick

Derzeit wird das System im Fahrzeug getestet und der generierte Code appliziert. Parallel dazu wird der Entwicklungsprozess verbessert. Weitere Tests (Code Coverage, statischer Codecheck) werden integriert und das Datenhandling sowie der Datenaustausch verbessert. Darüber hinaus wird eine Methode entwickelt, mit der bereits ermittelte Skalierungsinformationen bei der Konvertierung von Simulink in TargetLink wieder mit einfließen können. Auf dieser Basis sind weitere Serienprojekte mit TargetLink geplant.

*Florian Büttner,
Tobias Schmid
Abteilung EF-63 Elektronik Fahrwerk
BMW AG*

▲ Die zu implementierenden Komponenten bestehen aus Betriebssystem der BMW Group, Low-Level-Software der Steuergeräte-Zulieferer und der von BMW generierten High-Level-Software.

Verifikation und Validierung der Reglerfunktionen

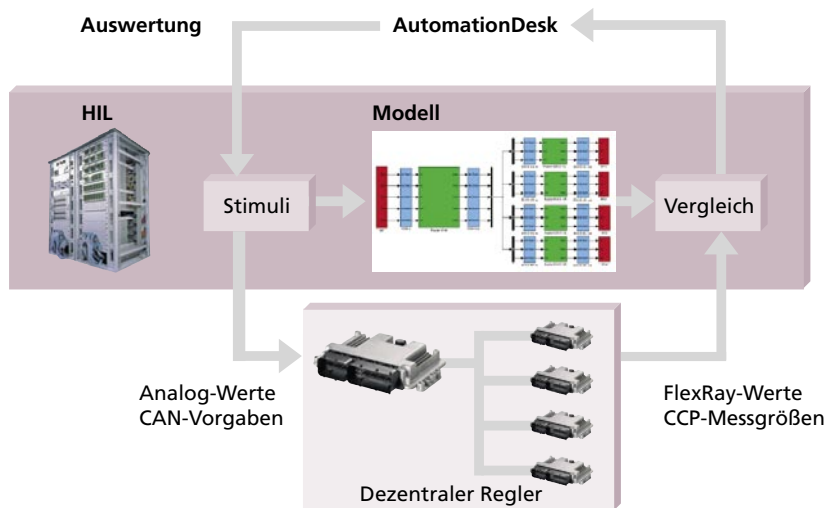
In einer Hardware-in-the-Loop-Testumgebung basierend auf einem Verbundsystem aus dSPACE-Simulatoren wurden die Steuergeräte getestet. Angefangen bei Komponententests der einzelnen Steuergeräte bis hin zum Verbundtest

„Mit TargetLink konnten wir für das systemübergreifende Funktionsmodell unseres dezentralen Reglers serienreifen Code generieren, der den hohen Ansprüchen der BMW Group genügt.“
Florian Büttner

konnte das System vollständig simuliert und Fehlersimulationsprüfungen unterzogen werden. Anschließend wurde mit AutomationDesk eine Validierung der Dämpferregelung gegenüber dem Funktionsmodell durchgeführt. Basierend auf denselben Stimuli wurde ein Vergleich der Modellsimulation (MIL) mit den Ergebnissen des realen Systems (HIL) vorgenommen.

Resultate

Mit der implementierten Dämpferregelung gelingt der BMW Group eine signifikante Verbesserung von Fahrkomfort und Fahrsicherheit. Beispielsweise ließen sich bei gleicher Fahrsituation die Aufbaubewegungen gegenüber dem Vorgängersystem deutlich reduzieren.



▲ Nach Implementierung der Software wird das Verhalten des Systems in einer HIL-Umgebung mit der Simulation des Funktionsmodells verglichen, um die Reglerfunktionen zu validieren.