

# Nicht mehr zu bremsen

Optimierung von Brake-by-Wire-Systemen  
mit dSPACE-Technologie





*Die Zukunft der Bremse ist elektrisch (Brake-by-Wire-System). Ein extrem leistungsfähiger Elektromotor (im Vordergrund) ersetzt die Hydraulikzylinder, die heute die Bremsbeläge gegen die Bremsscheibe drücken.*



Continental entwickelt aktuell Brake-by-Wire-Systeme, für die unter anderem auch eine neue Bremsentechnologie auf Basis eines 12V-Bordnetzes eingesetzt werden kann. Zur Funktionsoptimierung und Konzeptabsicherung des innovativen Brake-by-Wire-Systems hat IABG ein Testsystem mit Schnittstelle zu einem Echtzeitfahrzeugmodell auf der Basis von dSPACE-Technologie für Continental entwickelt.



Das HIL-Testsystem hat sich als effizientes Entwicklungs- und Testwerkzeug im Entwicklungsprozess etabliert. Der Anwendungsschwerpunkt liegt auf der Inbetriebnahme und Funktionsabsicherung sowie auf Fail-Safe-Untersuchungen und Energiemanagementfunktionen des Bremssystems. Dabei werden auch die Vorteile der HIL-Testverfahren wie Reproduzierbarkeit, Effizienz und Kostenwirksamkeit im Vergleich zu Fahrversuchsträgern ausgenutzt.

#### Entwicklungsansatz für vollständige Brake-by-Wire-Systeme

Das elektronische Bremssystem bedient sich einer völlig neuen Bremstechnologie mit einem ebenso einfachen wie effektiven Wirkprinzip. Basierend auf konventionellen Reibbremsen kommt das System dabei völlig ohne Hydraulik aus und die Aktuatoren werden ausschließlich über elektronisch geregelte Elektromotoren betätigt. Jedes Rad hat seine eigene Kontrolleinheit. Betätigt der Autofahrer das Bremspedal, wird ein elektronisches Signal an die Radbremse geleitet. Ausgeklügelte Sensorik und Software passen die Bremsleistung am Rad optimal an unterschiedlichste Straßenverhältnisse an. Die beim Bremsvorgang zwischen Bremsbelag und Bremsscheibe entstehende Reibung erzeugt ein Drehmoment auf den Belag, was auf die Erzeugung der Zuspanskraft rückgekoppelt wird und somit eine Mitnahmekraft auf den Bremsbelag erzeugt. Die Zuspansenergie der Bremszange wird dabei

zum überwiegenden Teil aus der kinetischen Energie des Fahrzeugs gewonnen und muss somit größtenteils nicht extern durch elektrische Energie zugeführt werden.

Technisch relevant ist beim Prinzip dieses elektronischen Bremssystems vor allem der geringere Energieverbrauch gegenüber anderen Systemen. Damit ist es erstmals möglich, mit einem heute üblichen 12V-Pkw-Bordnetz zu arbeiten und dabei sehr hohe Zuspanskräfte und exzellente Regeldynamik zu erreichen. Weiterhin besitzt das System eine integrierte Parkbremsfunktion.

#### HIL-Testsystem – integrierter Baustein im Entwicklungsprozess des elektrischen Bremssystems

Das HIL-Testsystem wurde mit dem Fokus entwickelt, begleitend zur Entwicklung die Absicherung der vernetzten Systemfunktionen und der Systemkommunikation sowie weitergehende Untersuchungen durchzuführen.

In seiner Funktion als Systemteststand wird es zur Inbetriebnahme des Systemverbunds und zum Test der Systemfunktionalität eingesetzt. Untersuchung und gezielte Optimierung der Basisfunktionen und des Energiemanagements in der Backup-Ebene des Bremssystems sowie dessen Wechselwirkung mit dem simulierten Bordnetz gehören ebenfalls zum Untersuchungsumfang.

Die Komplettierung zum vollwertigen HIL-Testsystem übernimmt eine anwendungsspezifisch angepasste und erweiterte Simulationsumgebung auf Basis der dSPACE Automotive Simulation Models (ASM), die das fahrdynamische Verhalten eines virtuellen Fahrzeugs in Echtzeit simulieren. Die berechneten physikalischen Fahrzeuggrößen und Schnittgrößen des Bremssystems werden zur Ansteuerung der dynamischen Restbussimulation und der Testsystemaktuatoren genutzt. Der Schwerpunkt der Anwendungen liegt in der Inbetriebnahme und dem Test der Kommunikation zwischen den Systemkomponenten und dem Fehlerverhalten bei Ausfall von Einzelkomponenten. Hierbei ermöglicht die integrierte Fahrdynamiksimulation das systematische Testen verschiedener Fahrmanöver einschließlich fahrdynamischer Sondersituationen. Die Ergebnisse dienen so einer Absicherung des Systemverbunds in Verbindung mit dessen funktionalen Eigenschaften und Fehlerauswirkungen auf das Fahrverhalten.

*Setup des HIL-Prüfstands.*



### Aufbau und Systemarchitektur

Da das Prinzip zur Erzeugung der gewünschten Zuspännkräfte auf ein entsprechendes (Last-)Drehmoment angewiesen ist, das durch die Bremscheibe übertragen werden muss, ergibt sich auf Aktuatorebene die Aufgabe, eine geeignete Lastdarstellung für den Prüfstand unter kostengünstigen Rahmenbedingungen zu realisieren, also den Betrieb der Aktuatoren über Schwungmassenprüfstände zu vermeiden. Dies geschieht durch eine entsprechende Lastemulationsvorrichtung.

Kommunikationsarchitektur aufgebaut, die es erlaubt, bei Bedarf alle vier Radeinheiten des Brake-by-Wire-Bremssystems zu simulieren. Die Umschaltung zwischen den Radeinheiten ist durchgängig bis zum Modell in Software realisiert. Über diverse Messstellen werden mechanische, elektrische und Kommunikationsgrößen des Systemverbunds erfasst und zur nachgelagerten Auswertung im Automatisierungssystem archiviert. Kernstück der Prüfstandautomatisierung (AT) ist ein DS1005 Processor

vom Testsystem an den FlexRay-Bus wird mit dem FlexRay-Konfigurationswerkzeug von dSPACE auf der Grundlage der Netzwerkbeschreibung in Form einer FIBEX-Datei durchgeführt.

Das Fahrzeugmodell wird mit einem weiteren DS1005 berechnet, das über dSPACE GigaLink (optische Hochgeschwindigkeitsverbindung) mit der Prüfstandautomatisierung in Echtzeit verbunden ist. Die Prozesse auf der Automatisierungs- bzw. auf der Modellplattform kommunizieren in einem Raster von 1 ms. Softwareseitig stellt die HIL-Plattform eine integrierte Fahrdynamiksimulationsumgebung auf Basis der dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) zur Verfügung. Wichtige Bestandteile dieser Umgebung sind die Fahrzeug-, Fahrer- und Umgebungsmodelle sowie die zugehörigen Modellsteuerungs- und Modellparametrierungsfunktionen. Besonders hervorzuheben ist hierbei die integrierte Simulation der nicht als Echtteile verbauten Systemkomponenten. Die hierfür notwendigen Modifikationen an den Modellkomponenten des ASM Vehicle Dynamics Simulation Package ließen sich aufgrund der bis auf Simulink®-Blockebene offenen Modellstruktur optimal und schnell umsetzen.

„Die durchgängige, integrierte Entwicklungs-umgebung von dSPACE ermöglichte uns eine effiziente Projektdurchführung.

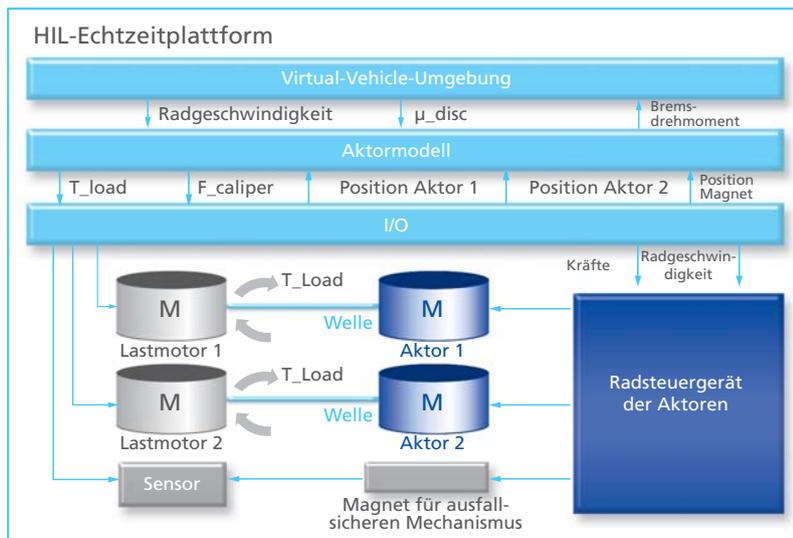
Die Unterstützung durch den Support von dSPACE war vorbildlich.“

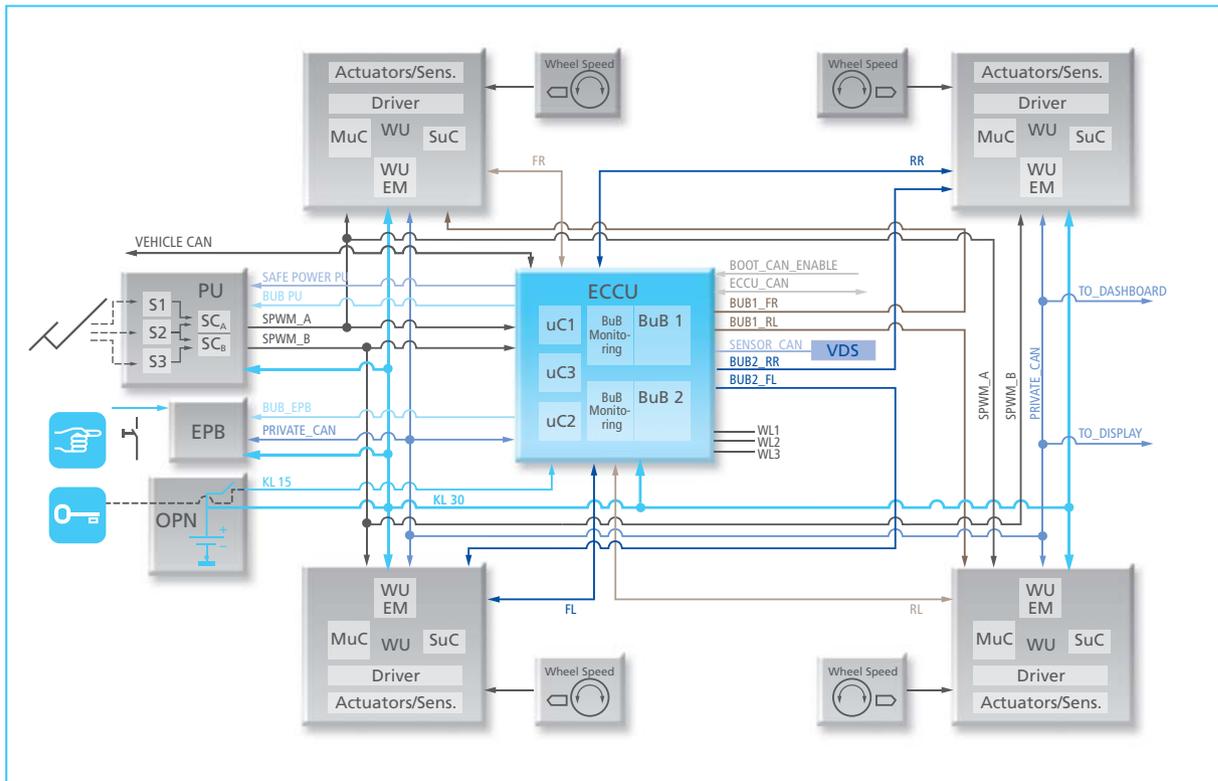
Franz Hangl, IABG

Am Prüfsystem bilden die Motoren des Aktuators die Schnittstelle zur simulierten Bremsaktuatorik. Durch eine hochdynamische Belastungseinrichtung – bestehend aus Servoantrieben – an den Motoren wird eine dynamische Simulation der realen Belastung analog zum Fahrzeug sichergestellt. Die konstruktive Ausführung der elektrischen und mechanischen Umfänge ermöglicht eine flexible Einspannung und Montage von Prototypen in verschiedenen Prüfkfigurationen. Am Testsystem ist der vollständige Kommunikationsverbund des elektrischen Bremssystems mit Pedaleinheit und der Zusatzfunktion der elektronischen Parkbremse in Form von Hardware dargestellt. Neben einer CAN-Kommunikation zum Zentralsteuergerät des Bremssystems wurde eine flexible FlexRay-

Board in Verbindung mit mehreren dSPACE-I/O-Boards. So ist neben einer CAN-Kommunikation mit den Steuergeräten auch ein komplexes FlexRay-Netzwerk mit insgesamt zwei unabhängigen Netzwerken am Teststand integriert. Die Anbindung

Lastnachbildung am Aktuator.





Systemarchitektur und Kommunikationsstruktur der elektrischen Bremse auf Basis eines 12V-Bordnetzes.

Die Automatisierungssoftware setzt auf der Entwicklungsumgebung MATLAB®/Simulink®/Stateflow® und der Experiment-Software ControlDesk von dSPACE auf. Zu den Funktionen, die auf dem AT-Echtzeitsystem realisiert sind, gehören unter anderem:

- Ereignisdiskrete Ablaufsteuerung der Prüfsystemsteuerung und der implementierten Einzeltests
- Kommunikation mit den Steuergeräten über FlexRay- und CAN-Protokolle
- Kommunikation mit HIL-Echtzeitboard via GigaLink-Schnittstelle

Neben der Basisautomatisierung stehen dem Anwender weitere Funktionalitäten zur Verfügung, unter anderem:

- Realisierung der grafischen Benutzerschnittstelle zur Bedienung und Konfiguration des Testsystems
- Ereignisgesteuerte Layout- und Experimentverwaltung
- Testautomatisierung und -verwaltung mit IABG-Softwaremodulen in Verbindung mit AutomationDesk zur Erzeugung frei konfigurierbarer Testabläufe durch den Anwender
- Automatische Auswertung und Erstellung von Testreports
- Zugriff auf ECU-Betriebszustände, Variablen und Parameter über Diagnoseschnittstelle
- Auswertungssoftware zur grafischen Darstellung von Messdaten

### Testautomatisierung und Fehlersimulation

Die Aufgabe der Testautomatisierung ist es, Einzeltests individuell zu defi-

nieren, diese koordiniert sequenziell auszuführen und im Fehlerfall die Versuchsdurchführung abzubrechen. Als Ergebnis eines jeden Tests entstehen ein automatisch generierter Testreport sowie eine Prüflaufdokumentation. Form und Inhalt des Testreports können durch den Anwender konfiguriert werden.

Am HIL-Testsystem wurde eine Testautomatisierung auf Basis von AutomationDesk entwickelt. In AutomationDesk kann der Anwender Prüfabläufe frei definieren, die anschließend von der Prüfstandautomatisierung ausgeführt werden. Damit ist es gelungen, dem Anwender ein Höchstmaß an Flexibilität in der Testspezifikation und Implementierung zu gewähren. So wurde zwischenzeitlich eine Testdatenbank

„Das von IABG basierend auf dSPACE-Komponenten aufgebaute Testsystem versetzt uns in die Lage, innovative Brake-by-Wire-Produkte zuverlässig zur Serienreife zu entwickeln.“

*Stephan Lehl, Electronic Brake Systems, Chassis & Safety, Continental AG*

mit ca. 800 Einzeltests unterschiedlicher Komplexität aufgebaut und stetig erweitert.

Durch die direkte Verbindung zum Testkonfigurations- und Managementtool, das im Entwicklungs- und Testprozess eingesetzt wird, steht eine automatisierte Umgebung zur Verfügung, mit der auf Lastenheft, Testspezifikation und Testergebnis zugegriffen werden kann.

Eine Anwendung der Testautomatisierung liegt im Einspielen von Fehlerszenarien zur Analyse des Systemverhaltens. Am Teststand können folgende Fehlertypen umgesetzt werden:

- Kabelbaumfehler
- Signalfehler
- Kommunikationsfehler an CAN und FlexRay

Die Realisierung der Kabelbaumfehler erfolgt durch eine Fehler-simulationseinheit mit Stromstärken bis zu 50 A. Diese wird über eine CAN-Schnittstelle direkt von der Automatisierung in Echtzeit angesteuert. Signalfehler (Empfindlichkeitsveränderung, Offsetdrift) und Kommunikationsfehler (Botschaftsunterbrechung, Prüfsummen) werden durch das Echtzeitsystem auf physikalische Signale geschaltet.

#### Ausbau der Testumfänge

Mit dem vorgestellten Testsystem steht Continental ein vollständig in den Entwicklungs- und Testprozess integriertes Prüfsystem zur Verfügung. Individuell grafisch programmierbare Testsequenzen erlauben umfangreiche Tests am Systemverbund und von Einzelkomponenten.

## Fazit

- IABG setzt bei komplexen Testsystemlösungen auf dSPACE-Technologie.
- Funktionsoptimierung und -absicherung für vernetzte Fahrwerksregelsysteme mit Fokus Brake-by-Wire.
- Umfangreiche Testautomatisierungslösung umgesetzt durch ControlDesk und AutomationDesk inklusive Anbindung an ein Testmanagementtool.

Durch die Anbindung an ein Testkonfigurations- und Managementtool ist die Durchgängigkeit vom Lastenheft des Gesamtsystems bis zum Einzeltest einer Softwarefunktion gegeben. Dank der stetigen Weiterentwicklung der implementierten Testfälle wird eine weitgehende Absicherung des Systemverbunds bereits am HIL-Testsystem erreicht. ■

*Franz Hangl, Prüfsysteme Automotive, IABG Ottobrunn, Deutschland  
Stephan Lehl, Electronic Brake Systems, Chassis & Safety, Continental AG, Regensburg, Deutschland*



*ControlDesk-Layout zur Steuerung des Testsystems.*