



Herausforderung Hybridantrieb

Neue Teststrategien für die Simulation von komplexen Hybridfahrzeugsystemen

Das Testen im Automotive-Bereich ist schon heute eine Wissenschaft für sich, und die Anforderungen werden mit der kommenden Norm ISO 26262 nicht geringer. Der Aufwand ist sowohl für klassische Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren als auch für Elektrofahrzeuge enorm, aber Hybridfahrzeuge stellen alle bisher gekannten Testanforderungen in den Schatten.

Warum ist das so und wie kann man damit umgehen?

Von Frank Langner und Jürgen Meyer

Die Entwicklung von Hybridantrieben stellt die Testprozesse bei den Herstellern vor neue Herausforderungen. Die Kombination zweier unterschiedlicher Antriebsarten – Elektromotor und Verbrennungsmotor – in einem Fahrzeug erzeugt eine Vielzahl neuer Betriebszustände und Fehlerquellen, die durch entsprechende Tests abgesichert werden müssen. Dies beginnt bei den unterschiedlichen Energielieferanten – Kraftstoff, Batterie, Speicherkondensatoren – und geht über die Absicherung der Antriebsstränge mit mechanischen und elektrischen Systemen zur Überwachung, Fehlerbehandlung und Notabschaltung bis hin zur Inte-

gration der Systeme zu einer homogenen Einheit hinsichtlich Beschleunigung, Drehzahl und Fahrgefühl.

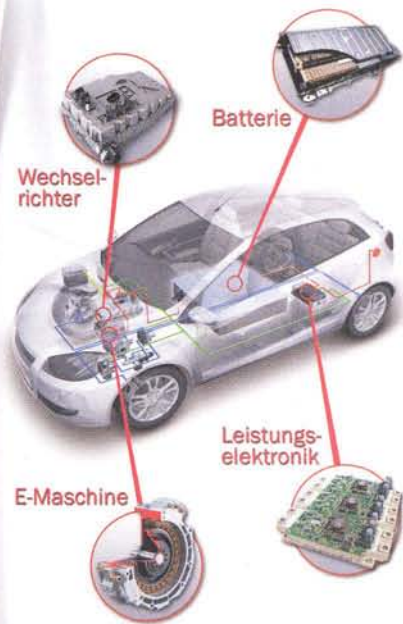
Entscheidend für die kosteneffiziente Integration in ein bestehendes Fahrzeugkonzept ist die Art der Hybridisierung: seriell, parallel, E-Maschine für kombinierten Motor-/Generatorbetrieb oder Generator und Elektromotor separiert. Für die Auswahl des Antriebskonzeptes wählt der Hersteller Kriterien anhand von Emissionen, optimierten Betriebspunkten und Kennlinien, die wiederum in unterschiedliche Ansteuerungen münden. Ein Knackpunkt ist beispielsweise das Thema der Bremsen. Beim herkömmlichen System arbeiten hydraulische

Bremse und Antrieb gegeneinander mit Kopplung der Kräfte an der Brems Scheibe. Dabei wird das Bremsmoment verzögert aufgebaut – abhängig vom Pedaldruck über den Bremskraftverstärker und das hydraulische System bis hin zur mechanischen Bewegung und dem Erreichen der maximalen Bremskraft an der Brems Scheibe selbst. Im Vergleich dazu kann das maximale Bremsmoment über den Elektromotor direkt an der Antriebswelle schlagartig eingestellt werden. Bei einem ungünstigen Wechsel der elektrischen Maschine in den Generatorbetrieb kann dies in einer fahrdynamisch anspruchsvollen Situation dramatische Auswirkungen auf die Kontrollierbarkeit des Fahrzeuges haben.

■ Kritisches Szenario: Kolonnenfahrt auf nasser, abschüssiger Straße

Wie komplex die Testsituationen werden können, zeigt das folgende Beispiel: Lkw auf nasser Straße mit Gefälle in einer Kolonne auf der Autobahn. Der Lkw brems ohne Einsatz der hydraulischen Bremsen auf niedriger Stufe mit Retarder (Annahme: hydrodynamischer Retarder mit Öl), also direkt an der Motorwelle, die

Durchgängige Prüftechnik für den elektrifizierten Antriebsstrang



Testen • Validieren • Prüfen

- **Batterie:**
Zell-, Modul- & Pack-Tester
HiL-Testumgebung für BMS
- **Wechselrichter:**
Batterie- & Maschinen-Emulatoren
- **E-Maschine:**
Batterie-Emulatoren
- **Leistungselektronik:**
AC- & DC-Emulatoren

Wir entwickeln individuell auf Ihre Wünsche zugeschnittene Testumgebungen, damit Sie ihre Produkte schnell auf den Markt einführen können. Dabei greifen wir auf die Erfahrung aus zahlreichen, erfolgreichen Projekten zurück - und das seit 10 Jahren.

2011
www.elektroniknet.de
500T
www.scienlab.de
sales@scienlab.de

ein. Je nach Systemauslegung wird zudem die E-Maschine sofort wieder in den Generatorbetrieb kommandiert, um das Bordnetz bei großen Strombelastungen (z.B. durch ABS oder elektrische Lenkunterstützung) zu stützen. Bleibt der Lkw jetzt beherrschbar?

Hier greifen mehrere Regelkreise ineinander. Die Fehlererkennung muss deshalb noch viel stärker als bei einem konventionellen Fahrzeug im Entwicklungsprozess über Funktions- und Integrationstest von Steuergeräten durch Software-in-the-Loop- (SiL) und Hardware-in-the-Loop-Verfahren (HiL) ansetzen. HiL-Tests und Maschinenprüfstände für E-Antriebe sind aber im Vergleich zu denen für konventionelle Steuergeräte komplexer und sogar gefährlicher, da die Leistungsbauteile mit hohen Spannungen versorgt werden müssen. Im Zuge der Integration der Hybridkomponenten ist zudem der Leistungsteil zur Ansteuerung des Elektromotors standardmäßig zusammen mit der Regelelektronik in einem Steuergerät verbaut.

Für einen klassischen HiL-Test müssten daher am Testsystem reale Hochspannungen anliegen und große Ströme fließen. Für die dynamischen Regelungstests müsste dieses System schnell Leistungen im zwei- bis dreistelligen Kilowattbereich bereitstellen können. Die Abführung der durch Verlustleistung erzeugten Wärme wäre nur über ein leistungsfähiges Kühlsystem zu gewährleisten. Zusätzlich

E-Maschine arbeitet im Generatorbetrieb und speist dabei elektrische Energie in die Hybridbatterie, deren Ladezustand fast voll ist (Bild 1). Plötzlich schert ein Pkw ein und zwingt den Fahrer zum schnellen Bremsen. Wie reagiert das Fahrzeug jetzt? Angenommen, die hydraulische Bremse wird aktiviert und der Retarder auf maximale Stufe eingestellt. Gleichzeitig muss die E-Maschine aber die Rekuperation abbrechen, weil der Ladezustand der Batterie gerade auf 100 Prozent angestiegen ist. Unmittelbar darauf greift das ABS wegen der nasen Fahrbahn in den Bremsvorgang

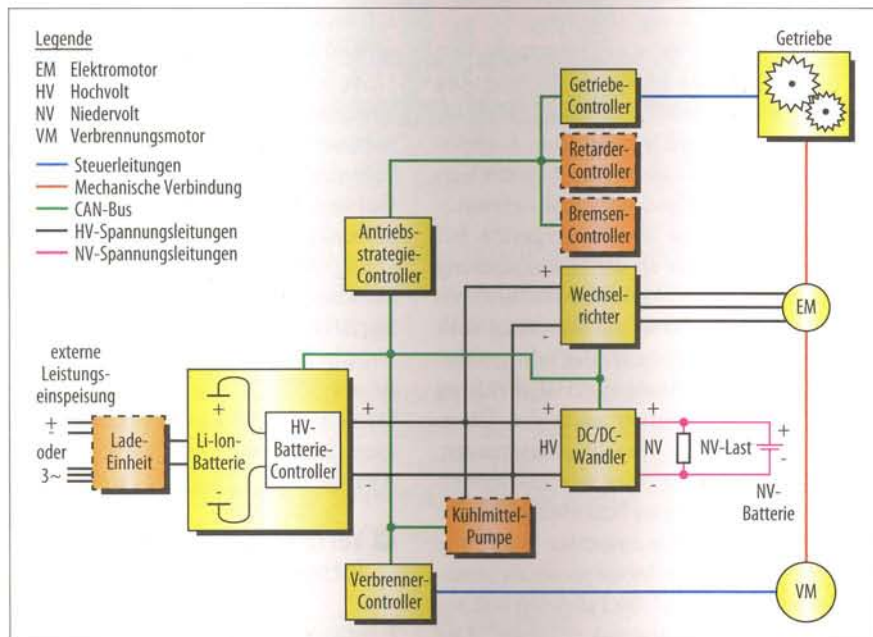


Bild 1. Schematische Systemübersicht relevanter Elektronikkomponenten in einem Hybridfahrzeug.

zu diesen technischen Besonderheiten wären am Prüfstand und im Testprozess spezielle Sicherheitsmaßnahmen zu treffen, um die Tester vor hohen Spannungen und Strömen zu schützen. Insgesamt ein recht hoher Aufwand und neue Risiken.

Simulation ermöglicht Verzicht auf Hochspannung

Eine der Teststrategien, die Berner & Mattner gemeinsam mit den Testern der Automobilhersteller entwickelt hat, basiert darauf, die originale Leistungselektronik zu zerlegen. Hierzu greift man an geeigneten Stellen innerhalb des Steuergerätes die für die Regelung wichtigen Signale für Strom

und Sicherheitsmechanismen systematisch zu testen.

Entscheidend ist die Qualität des Simulationsmodells

Entscheidend für die Aussagequalität dieser HiL-Tests ist damit das Simulationsmodell. Die Qualität des Modells hängt von der detaillierten Simulation von Motor und Sensoren ab. Berner & Mattner greift dabei auf langjährige Erfahrung bei der modellbasierten Entwicklung zurück. Aufgrund der Vielzahl der Abhängigkeiten kommt der Klassifikationsbaumeditor CTE XL zur Ermittlung der erforderlichen Testfälle zum Einsatz. Dieser erleichtert es auch, unnötige Dopplungen zu

tungsschaltern oder fehlerhafte Messelektronik im Steuergerät, d.h. alle Arten von Bauteilausfällen oder falsche Bauteilauslegung, können eine Vielzahl von schwer einzugrenzenden Folgefehlern verursachen. Die entsprechend notwendigen intrusiven Tests sind nur an aufgebrochenen Steuergeräten möglich. Mit HiL-Testreihen können systematisch und exakt reproduzierbar umfassend Fehler eingespeist und regressiv abgetestet werden.

Startstrategie für Verbrennungs- und Elektromotor

Die energie-einsparenden Potentiale kann ein Hybridfahrzeug nur dann verwirklichen, wenn eine Vielzahl unterschiedlicher Szenarien simuliert wurde, um festzulegen, wann welcher Antrieb gestartet wird. Auch müssen Testreihen zu verschiedenen Parametern durchgeführt werden, wie Temperaturen der E-Maschine, Ladezustände der Batterien oder die eintretenden Lastmomente von der Straße. In der Initialisierungsphase vor einem Verbrennungsmotorstart werden zahlreiche Informationen beider Antriebsvarianten herangezogen, um den optimalen Start zu vollziehen. Des Weiteren müssen kurzfristige Änderungen der Betriebs- und Umgebungsbedingungen einberechnet werden, wenn der E-Motor nicht das erforderliche Drehmoment für den Startvorgang des Verbrenners leisten kann und der Ritzelstarter als Rückfall-Lösung einspringen muss.

Zu diesen Grundkonstellationen kommen im Fahrbetrieb Variationen parametrierbaren Fahrverhaltens (z.B. Fahrmodi Sport, Komfort, Stop-and-Go) und zu berücksichtigende Konfigurationen. Zur deutlichen Vereinfachung der Handhabung zahlreicher Funktionskonfigurationen in Test und Spezifikation trägt das Werkzeug Meran von Berner & Mattner bei. Meran ist als Werkzeug auf IBM Rational Doors abgestimmt und senkt durch die spezifische Integration das Risiko von Analyse- und Spezifikationsfehlern.

Vorteile von Integrations-HiL-Tests

Hardware-in-the-Loop-Tests sind geeignet, um die komplexen Interaktio-

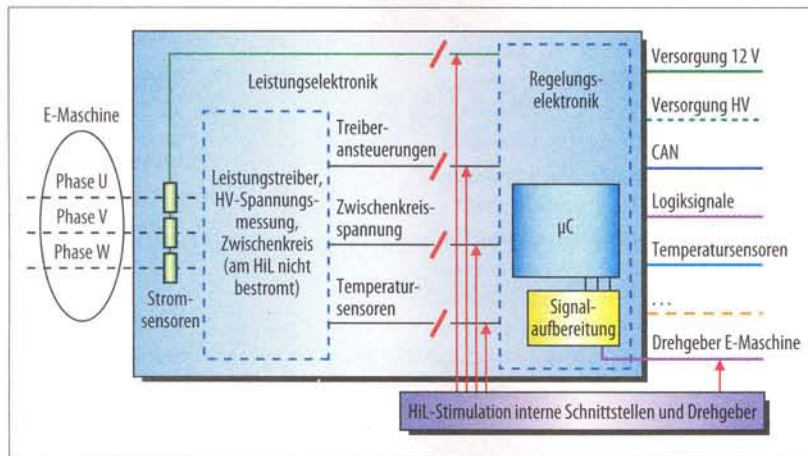


Bild 2. Stimulation der steuergeräte-internen Schnittstellen an einem HiL-Prüfsystem.

und Spannung ab – noch vor den Hochvolt-Leistungsbauteilen. So kann der Einsatz von Hochspannung und hohen Strömen beim Test umgangen werden. Die Tester werden nicht gefährdet, und beim Aufbau des Testsystems entfallen teure Komponenten wie Netzumrichter, Kühlung und Lastapparate.

Stattdessen werden die Hochspannungs- und Strommessenheiten über entsprechend schnelle Simulationsmodelle und Hardware zur Signalanpassung stimuliert (Bild 2). Für den Steuergeräteprozessor und die Software ist diese Manipulation unerheblich und vom realen Anwendungsfall nicht zu unterscheiden. So können nahezu alle vorkommenden Testszenarien und Schnittstellentests für das E-Antriebssteuergerät am HiL-Testsystem durchgeführt werden. Auch Fehler am Hochvoltsystem lassen sich so gefahrlos simulieren, um Fehlerqualifizie-

erkennen und schnell die wesentlichen Testkombinationen für eine optimierte Testabdeckung zu ermitteln.

Unterschiedliche Gruppen von Tests sind zu beachten. Zunächst die nach ISO 26262 mit hohem Gefährdungspotential eingestuften Komponenten und Funktionen, etwa das Verhalten von Hardware- und Software-Schnittstellen der Steuergeräte bei Fehlern. Tests an der Hochspannung an Batterie, E-Maschine und anderen Aggregaten sind am Fahrzeug sehr stark eingeschränkt oder sehr gefährlich. Hier erlaubt die HiL-Prüfung in der Simulation auch die Überschreitung von Spezifikationsgrenzen. Nicht-intrusive Tests, wie fehlerbehaftete Signale eines Positionsgebers der E-Maschine einzuspeisen oder eine unterbrochene Motorphase zu simulieren, sind auch im Fahrzeug und am Maschinenprüfstand möglich. Der Ausfall von bzw. Kurzschluss an Leis-

nen der Elektronikbauteile und der Leistungselektronik durchzuspielen. Dabei sind alle angreifbaren Schnittstellen im Steuergerät testbar, also auch Teilfunktionen absicherbar. Die Fehlersuche gestaltet sich dadurch einfacher. Es können auch Garantiekennlinien überprüft werden, nach denen entsprechende Funktionen der Leistungselektronik implementiert wurden, und das bis an die Grenzen von Strom/Spannung und Drehzahl, die in den realen Tests an Fahrzeugen oder Maschinenprüfständen bei Parametrierungsfehlern auch zu Bauteilschäden führen können.

Durch die einfache Parameteranpassung zur Optimierung und die konstante Reproduzierbarkeit können Fahrprofile zur Ermittlung der Verbrauchsoptimierung schon in frühen Entwicklungsphasen simuliert werden. Dabei werden alle beteiligten Komponenten der Antriebsstränge berücksichtigt. Eine umfassende HiL-Teststrategie hilft nicht nur durch frühe Identifikation von Fehlern bei

der Verringerung von Entwicklungskosten, sie verringert auch den Aufwand mit gefährlichen Hochspannungstests und ermöglicht automatisierte Testreihen zu Konfigurationsvarianten.

Frühzeitig eingesetzt, erlauben HiL-Tests die konsequente Verfolgung der Verbrauchsziele von Hybridfahrzeugen – angefangen von der Konzeptphase bis zu Kontrollfahrten nach deren Serieneinführung. *sj*



**Dipl.-Ing. (FH)
Frank Langner**

studierte Elektro- und Informationstechnik an der Hochschule Darmstadt. Seit 2003 verantwortet er bei Berner & Mattner verschiedene Projekte speziell im Bereich Test und HiL-Testsysteme. Zudem leitet er den Arbeitskreis E-Mobilität.



Dipl.-Ing. Jürgen Meyer

studierte Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Karlsruhe und der TU München. Seit 2003 leitet er den Geschäftsbereich Automotive bei Berner & Mattner und ist verantwortlich für die Produktentwicklung und alle Dienstleistungen im Umfeld Software- und Systementwicklung.

wireless**CONGRESS**
2011 systems & applications

SAVE THE DATE!

9. - 10. NOVEMBER 2011

Wireless-Technologien werden immer leistungsfähiger aber auch komplexer:

Ob im Industrie-, Consumer-, Kommunikations- oder Computer-Sektor. Eine Vielfalt an unterschiedlichen Anwendungen, Zielrichtungen, Märkten und Standards kennzeichnet das Innovations-Geschehen. Um dem hohen Informationsbedarf für Fachleute gerecht zu werden, veranstalten das Fachmedium Elektronik, die electronica und der ZVEI den **8. Wireless Congress: Systems & Applications** am 9. - 10. November 2011 in München.

Detaillierte Informationen erhalten Sie unter
www.wireless-congress.com

Themenschwerpunkte:

- ZigBee: Chips und System-Anwendungen
- Bluetooth: neue Applikationen
- Wireless Automation und M2M: Komponenten, Module, Systeme
- Wireless-Sensornetzwerke
- Embedded Wireless
- SRD- / ISM-Funk: industrieller Einsatz
- Software Defined Radio: Grundlagen, Entwicklungstrends
- Interoperabilität und Koexistenz von Wireless-Netzwerken
- NFC / RFID: neue Anwendungen
- 3G / 4G / LTE: Mobile Telephony
- WLANs: neue Technologien, Standards und Applikationen
- Powermanagement, Energy Harvesting
- Automotive Wireless
- Location Services
- Health und Medical Wireless Applications