

# Doppelt stark mit Hybridantrieb

## ■ HIL-Simulation eines Hybridantriebs

## ■ Spezielle Hardware für die PWM-Vermessung

## ■ Durchlaufzeit 7 Mikrosekunden

Steigende Benzinpreise und verschärfte Emissionsrichtlinien stellen Automobilhersteller vor neue Herausforderungen. Viele sehen die Lösung in beiden Fällen in einem Hybridfahrzeug. Die Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor reduziert Kraftstoffverbrauch und Schadstoffausstoß und verbessert gleichzeitig den Fahrspaß. Besonders in Asien und den USA steigt das Interesse an dieser alternativen Antriebsart. Zum Testen der Motorsteuergeräte werden spezielle dSPACE-Karten in Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulatoren eingesetzt, wobei dSPACE von seiner langjährigen Erfahrung bei der Simulation von Elektroantrieben profitiert.

### Überblick Hybridantriebe

In den meisten Fahrzeugen mit Hybridantrieb wird ein Verbrennungsmotor mit einem oder mehreren Elektromotoren kombiniert, um die Stärken beider Antriebe zu nutzen. Ein Elektromotor hat den Vorteil, dass er aus dem Stand heraus mit sehr hohem Drehmoment beschleunigen kann. Während des Bremsvorgangs sowie bei Fahrten mit dem Verbrennungsmotor arbeitet der Elektromotor als Generator und lädt den Akkumulator wieder auf. Ein Verbrennungsmotor hat üblicherweise nur in einem eingeschränkten Drehzahlbereich einen guten Wirkungsgrad. Durch das Zusammenspiel der beiden Systeme steht über einen großen Drehzahlbereich ein hohes Drehmoment zur Verfügung, wobei zusätzlich Treibstoffverbrauch verringert und Schadstoffemissionen reduziert werden. Deswegen sorgt in HEVs (Hybrid Electric Vehicle) bei Fahrten mit hoher Geschwindigkeit, also auf Autobahnen oder Landstraßen, der Verbrennungsmotor

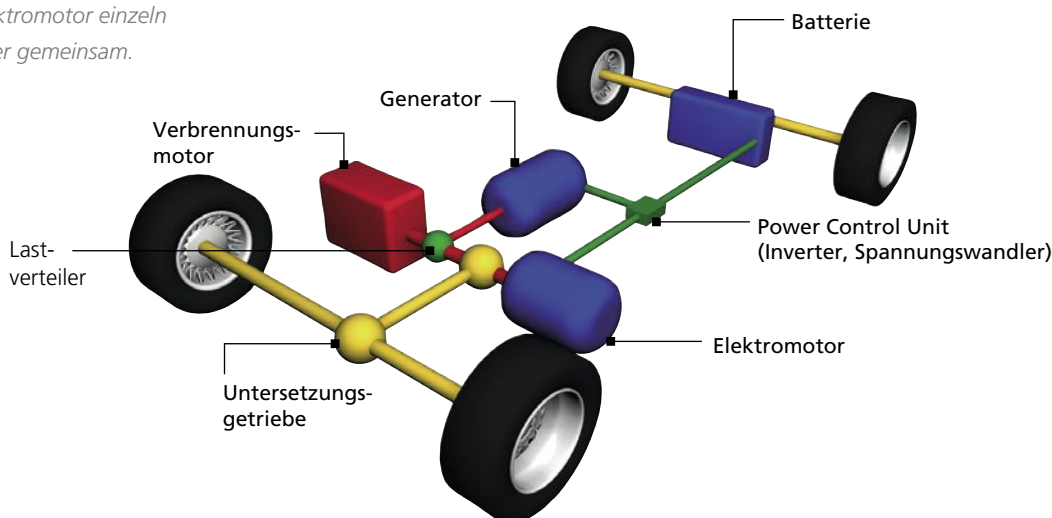
für den notwendigen Vortrieb. Während der Beschleunigungsphase bietet der Elektromotor ein zusätzliches Antriebsmoment. In der Stadt, wo sich Anfahren und Bremsen ständig abwechseln, wird automatisch auf den Elektromotor umgeschaltet, der über den Akkumulator gespeist wird.

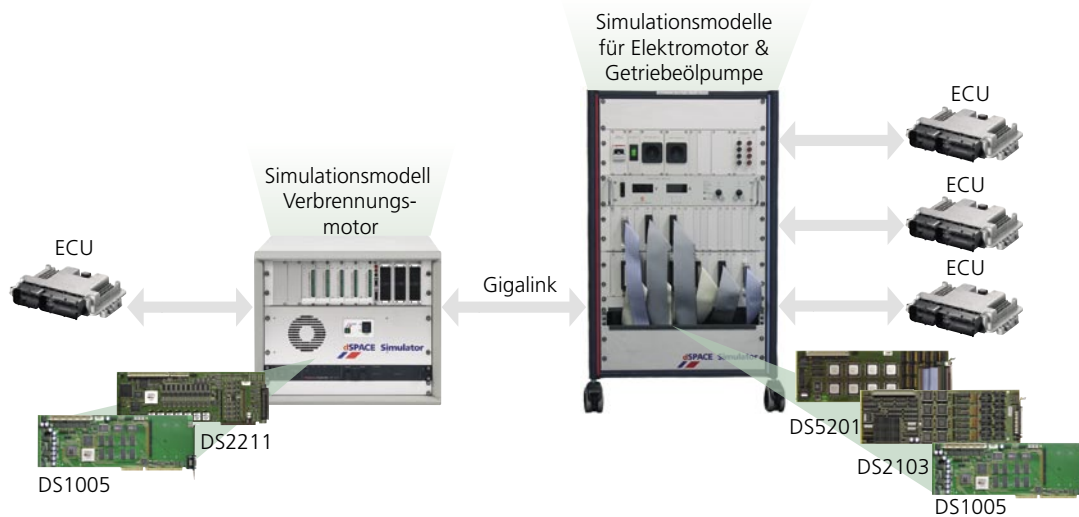
### Hardware-in-the-Loop-Simulation

Eine typische Kundenanwendung ist eine kombinierte Verbrennungsmotor- und Elektromotorsimulation, um die Längsdynamik eines Hybridantriebs nachzubilden. Für beide Motoren wird dabei aus den Steuergerätesignalen jeweils das entwickelte Moment errechnet, die dann über ein Getriebemodell miteinander zu einem Antriebsmoment gekoppelt werden. Diese lose Kopplung hat den Vorteil, dass die Berechnung der Teilmodelle in separaten Tasks ausgeführt wird und somit die Echtzeitbedingungen für die jeweiligen Steuergeräte unab-

hängig voneinander realisiert werden können. Elektromotoren agieren weitaus schneller als konventionelle Verbrennungsmotoren und können innerhalb weniger Millisekunden 90% ihres maximalen Drehmoments erreichen, wofür eine hohe Abtastrate erforderlich ist. Typische Steuergeräte für elektrische Maschinen arbeiten daher mit Zykluszeiten von ca. 60 bis 200 Mikrosekunden. Die erreichte

▼ Bei diesem Hybridantrieb arbeiten Verbrennungs- und Elektromotor einzeln oder gemeinsam.





▲ Kundenspezifischer Aufbau der dSPACE-Simulatoren zur Simulation des Verbrennungs- und Elektromotors.

Durchlaufzeit auf einem DS1005 PPC Board für die Simulation des Elektromotors und der zugehörigen I/O-Signale liegt bei üblicherweise 7 Mikrosekunden. Diese wird unter anderem durch das für diesen Einsatzbereich optimierte DS5201 IGBT Pulse Measurement (Insulated Gate Bipolar Transistor) Board erreicht. Es vermisst die PWM (Pulsweitenmodulation)-Ansteuersignale der elektrischen Maschinen mit einer Auflösung von 25 Nanosekunden. Die Karte verfügt über 64 Kanäle auf denen parallel Eingangssignale gemessen und mittels FPGA (Field Programmable Gate Array) ausgewertet werden können. Der Motorwinkel und die benötigten Stromwerte werden im Elektromotormodell ermittelt und über das DS2103 Multi-Channel D/A Board an die Steuergeräte zurückgespeist. Anders als bei den Simulatoren für Verbrennungsmotoren werden bei der Simulation von Elektromotoren die Signale nicht an den tatsächlichen Anschlüssen der Antriebselektronik abgenommen, sondern die Regelschleife wird über die Ansteuersignale der Leistungselektronik geschlossen.

Zukünftig wird die weiterführende Nachbildung von 3-phasigen Elektromotoren durch die Simulation induktiver Lasten ermöglicht. Die induktive Last wird durch spezielle Motorlastsimulationshardware mit integriertem Analogrechner abgebildet. Dabei beschränkt sich die Simulation von elektrischen Antrieben nicht nur auf den automotiven Einsatz, siehe auch dSPACE NEWS, Herbst 1997.

### Ein typisches Kundenprojekt

In einem konkreten Kundenprojekt wurde ein Multiprozessorsystem aufgebaut, in dem zwei Simulatoren gekoppelt wurden. In dem ersten wird die Simulation des Verbren-

nungsmotors und des Getriebes auf einem DS1005 PPC Board durchgeführt. Die erforderlichen Ein- und Ausgänge werden durch ein DS2211 HIL I/O Board mit integrierter Signalkonditionierung zur Verfügung gestellt (Abtastzeit 1 Millisekunde). Die elektrischen Komponenten des Hybridantriebs werden in dem zweiten Simulator nachgebildet. Sie bestehen aus den Simulationsmodellen für zwei Elektromotoren und einer elektrisch betriebenen Getriebeölpumpe. Die Elektromotor-Steuergeräte arbeiten mit einer Zykluszeit von 125 Mikrosekunden, so dass es bei einer Durchlaufzeit von 7 Mikrosekunden kein Problem ist, alle Elektromaschinen auf einer Prozessorkarte zu berechnen. Bei den Elektromotoren handelt es sich um permanent erregte Synchronmaschinen (PSM). Sie arbeiten in einem komplexen Zusammenspiel, welches durch das Antriebsmanagement koordiniert wird. Auch bei diesem System erfolgt eine Kopplung der Simulationssysteme des Verbrennungsmotors und des Elektroantriebs durch die Berechnung des resultierenden Gesamtantriebsmoments.

### Glossar

**IGBT** (Insulated Gate Bipolar Transistor) – Leistungshalbleiter für mittlere Leistungen.

**FPGA** (Field Programmable Gate Array) – Frei programmierbare Logikschaltkreise.

**Gigalink** – Hochgeschwindigkeitsverbindungen über Glasfaserkabel mit 1,25 Gbit/s Übertragungsrate.