



Aufbau einer Werkzeugkette  
für die Entwicklung einer  
Brennstoffzellenregelung

# Zellen- revolution

Bei der Erforschung von Brennstoffzellen für den Einsatz im Fahrzeug hat Ford in den vergangenen 20 Jahren einen reichen Erfahrungsschatz aufgebaut. Die Forscher haben zahlreiche Konzepte sowohl im Labor als auch auf der Straße erprobt. Dank dieser kontinuierlichen Entwicklungsarbeit nähert sich die Technologie nun ihrer kommerziellen Nutzung.



### Brennstoffzellensysteme und Regelung

Brennstoffzellen wandeln chemische Energie direkt in elektrische Energie um. Als Reaktionspartner kommen in der Regel Wasserstoff und Sauerstoff zum Einsatz. Die frei werdenen Elektronen lassen sich z.B. für einen Elektromotor als Fahrzeugantrieb nutzen. Eine elektronische Regelung sorgt für die effiziente Zuführung der Reaktionspartner in die Zelle. Die Regelung überwacht und steuert u.a. Strömungsgeschwindigkeit, Sättigung und Druck.

### Herausforderungen an das Regelsystem

Frühe Brennstoffzellen-Fahrzeuge wie der Prototyp „P2000“ besaßen Standard-ECUs, deren I/O speziell auf den Einsatz mit der Brennstoffzelle zugeschnitten war. Diese Architektur ließ wenig Raum zum Experimentieren. Als Ford begann, Regelalgorithmen für Brennstoffzellen intern zu entwickeln, machten die Randbedingungen (u.a. Zeitvorgaben, Ressourcen, Logistik und Budget) den Wechsel von einer Standard-ECU hin zu einem flexiblen Rapid-Prototyping-System notwendig. Das System musste in der Lage sein, die Vielzahl von Ventilen zu steuern, die für die Zufuhr von Sauerstoff, Luft und Wasser innerhalb der Brennstoff-

zelle zuständig sind. Gleichzeitig war eine hohe Anpassungsfähigkeit und Modularität unverzichtbar, denn die I/O-Anforderungen können sich während der Entwicklung elektronischer Systeme jederzeit schnell ändern. Eine weitere Herausforderung war die gleichzeitig vorgesehene Einführung einer rein modellbasierten Arbeitsweise.

### Ultimative Flexibilität durch Rapid Control Prototyping

Ford entschied sich für ein Rapid-Control-Prototyping (RCP)-System, bestehend aus einer dSPACE Micro-AutoBox® II und der dSPACE RapidPro Power Unit sowie Simulink® von MathWorks (Abbildung 1). Ausschlaggebend für diese Entscheidung waren die positiven Erfahrungen mit dSPACE RCP-Systemen in verschiedenen Unternehmensbereichen von Ford. Dieses System bietet die gewünschte Flexibilität, denn es lässt sich durch Hinzufügen zusätzlicher I/O- und Schnittstellen-Module, Power Units und Signalkonditionierungseinheiten ganz nach Bedarf an die Erfordernisse der Brennstoffzellenregelung anpassen.

### Nutzen von RapidPro im Projekt

Die Signale der Sensorik und Aktuatorik der Brennstoffzelle ließen sich direkt mit den RapidPro-Standard-

*Das Ford Konzeptfahrzeug REFL3X führt ein elektrisches Antriebssystem ein.*



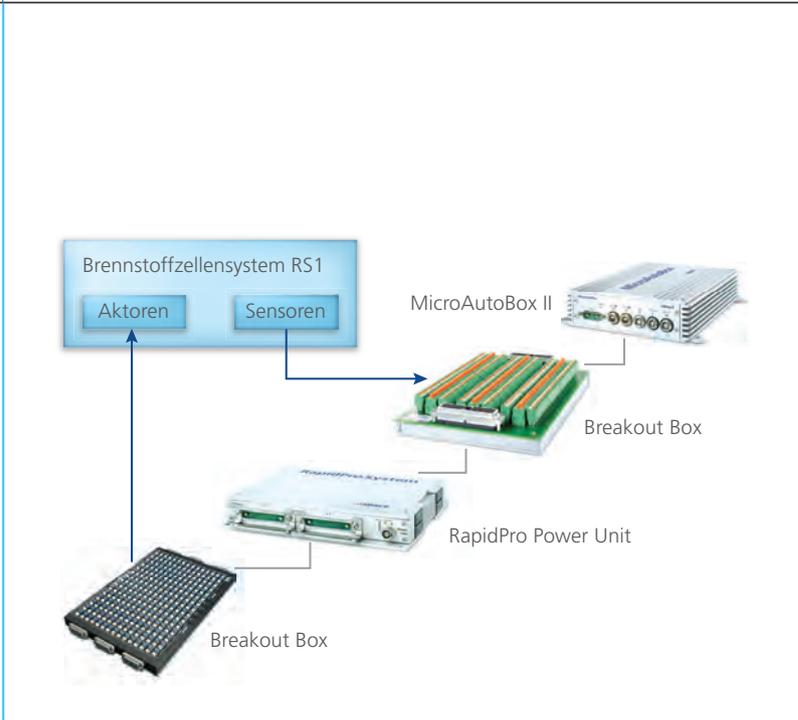


Abbildung 1: Schnittstelle zwischen RapidPro Power Unit und der MicroAutoBox II.

„Die Ingenieure von dSPACE standen uns von Projektbeginn bis zur detaillierten Implementierung stets mit Rat und Tat zur Seite.“

Kurt Osborne, Ford

modulen verarbeiten, die auch in regulären Verbrennungsmotoranwendungen verwendet werden. Für einen Großteil der Aktorik kamen Low-Side-Treibermodule (LSD) zum

Einsatz. Die elektronische Drosselklappe im Lufterlasssystem wurde mit einem Full-Bridge-Treibermodul (FBD) angesteuert. Da die Brennstoffzelle mit zwei verschiedenen Versor-

gungsspannungen betrieben wird, war der Split-Voltage-Bus von RapidPro besonders nützlich: Zwei getrennte Stromschienen speisen die jeweiligen Versorgungseinheiten (Abbildung 2). Dies sind nur einige der Vorteile von Rapid-Prototyping-Systemen. Sie sollen exemplarisch den Erfahrungsschatz und die Raffinesse der dSPACE Ingenieure verdeutlichen, die Ford von Projektbeginn bis zur detaillierten Implementierung stets mit Rat und Tat zur Seite standen.

**Komfortable Konfiguration**

Die Bedienung und Konfiguration der RapidPro Power Unit für die jeweilige Anwendung geschieht mit Hilfe der Software ConfigurationDesk, die hierfür eine grafische, intuitive Bedienoberfläche bietet. Beispielsweise lassen sich den angeschlossenen Aktoren und Sensoren Kanalnamen zuweisen und für jeden Kanal Einstellungen vornehmen. Es ist jederzeit möglich, eine Kanalliste zu exportieren, die auch die Steckplätze der Module sowie die Kanalnamen samt den zugewiesenen Pins enthält. Mit ConfigurationDesk gestalten sich alle Konfigurations- und Dokumentationsaufgaben sehr einfach.

**Diagnose**

Die RapidPro Power Unit stellt mit Hilfe der Diagnosefunktionen per SPI (Serial Peripheral Interface) Daten bereit, die sofort in ConfigurationDesk überwacht werden können. Noch wertvoller ist es jedoch, diese Daten an den zeitlichen Verlauf anderer Systemereignisse zu koppeln und damit besser nachverfolgbar zu machen. Dazu stehen RTI-Blocksets für Simulink zur Verfügung, um beispielsweise I/O-Kanäle abzufragen. Die erfassten Daten werden dann mit ControlDesk weiter bearbeitet. Um die Diagnoseinformationen in anderen Testsystemreglern zu nutzen, wurden sie erneut per CAN-Botschaften übertragen.

Abbildung 2: Zwei Stromschienen in RapidPro erlauben eine doppelte, unabhängige Stromversorgung.

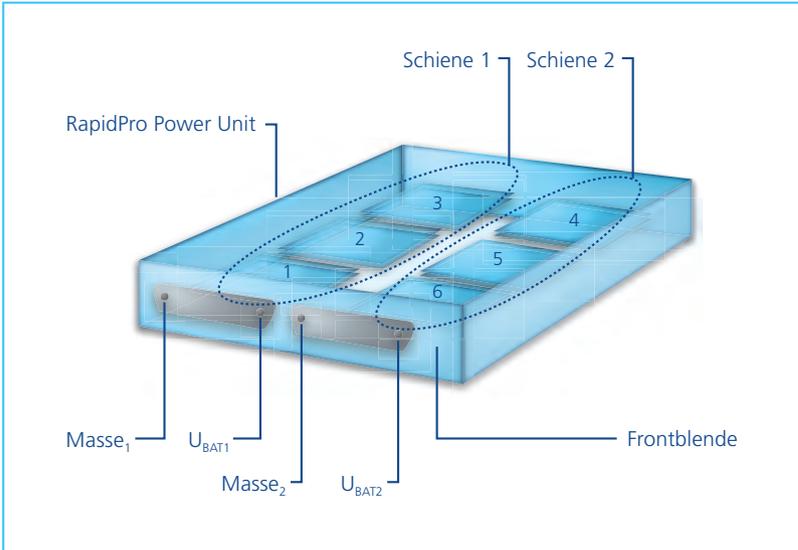




Abbildung 3: Laboraufbau des Brennstoffzellensystems mit MicroAutoBox und RapidPro.

### Bewertung und Ausblick

Die RCP-Systeme MicroAutoBox und RapidPro haben sich für die Regelung von Brennstoffzellensystemen in der Forschungs- und Entwicklungsphase bei Ford als überaus nützlich erwiesen (Abbildung 3). Alle spezifizierten Funktionen ließen sich im Brennstoffzellensystem realisieren, was nicht zuletzt den aufeinander abgestimmten Werkzeugen zuzuschreiben ist. Die RapidPro Power Unit erfüllt alle Anforderungen an eine flexible und rekonfigurierbare Leistungsstufe. Die RapidPro-Systeme machen es möglich, dass ein kleines Team mit begrenztem Budget die Implementierung und den Test neuer Brennstoffzellenkonzepte realisieren kann; denn es entfällt die aufwendige Beschäftigung mit technischen Optimierungsdetails, wie sie bei Verwendung von Steuergeräten nötig wäre. Der Wechsel auf die neue Standardwerkzeugkette verlief überraschend einfach.

In naher Zukunft wird das System Validierungstests unter Frostbedingungen durchlaufen. Sollte sich dabei zeigen, dass Zusatzkomponenten oder neue Strategien notwendig werden, wird die Konfigurierbarkeit der RapidPro Unit die schnelle Inte-

gration dieser Komponenten in das Regelsystem erlauben.

Einer der nächsten Schritte ist der Einbau des Brennstoffzellensystems in ein Demofahrzeug. Hierbei lässt sich die RapidPro Power Unit unmittelbar weiterverwenden. Die RapidPro Unit ist dank kurzer Bootzeiten schnell einsatzbereit und dadurch kompatibel mit Fahrzeuganwendun-

gen. Darüber hinaus kann die RapidPro Power Unit mit Hilfe der MicroAutoBox deaktiviert werden, um Energie zu sparen und so den Energieverbrauch insgesamt zu verbessern. ■

*Kurt Osborne  
Dr. Miloš Milačić  
Ford Motor Company*

#### *Kurt Osborne*

*Kurt Osborne ist Spezialist für Brennstoffzellentechnik und leitet weltweit den modellbasierten Reglerentwurf des Brennstoffzellensystems bei Ford Motor Company in Dearborn (MI), USA.*



#### *Dr. Miloš Milačić*

*Dr. Miloš Milačić ist verantwortlich für die Entwicklung und die Implementierung der Regelalgorithmen des Brennstoffzellensystems bei Ford Motor Company in Dearborn (MI), USA.*

