



# Weniger ist mehr

Dieselmotorsteuerung reduziert Emissionen unter den Grenzwert der Abgasnorm

ISUZU entwickelt für seine Dieselmotoren eine nockenwellenlose, hydraulische Ventilsteuerung, um die Emissionen und den Kraftstoffverbrauch deutlich zu reduzieren. Ein wichtiges Ziel ist es, die Grenzwerte der japanischen Abgasnorm zur Langzeitreduzierung von Emissionen zu unterschreiten. Der prototypisch entwickelte Regler muss eine Vielzahl von Ventilen und Aktoren ansteuern und hohe Rechenleistungen erbringen.



### Verringerung des Schadstoffausstoßes

Zusammen mit dem National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan, beteiligte sich ISUZU von 2004 bis 2009 an einem Projekt zur Entwicklung neuer Fahrzeugtechnologien zur Verringerung des Schadstoffausstoßes, ausgeschrieben von der japanischen Organisation für neue Energien und industrielle Technologieentwicklung (NEDO). Ziel des Projekts ist die Reduzierung der Emissionswerte für Stickoxide auf 0,2 g/kWh und für Feinstaub auf 0,01 g/kWh. Damit liegen sie deutlich unter den Werten, die die neue japanische Abgasnorm zur Langzeitreduzierung von Emissionen fordert. Gleichzeitig soll der Kraftstoffverbrauch um 10 % des derzeitigen Durchschnittsverbrauchs gesenkt werden (Abbildung 1).

### Das Motorkonzept

Um die angestrebten Zielwerte und Vorgaben zu erreichen, setzte ISUZU auf ein neues Dieselmotorkonzept ohne Nockenwellen. Das Herzstück des Konzepts ist die hydraulische Ventilansteuerung, um die Beziehung zwischen Abgas- und Kraftstoffreduzierung zu optimieren. Die größte Herausforderung für dieses Konzept besteht darin, gleichzeitig die Abgase und den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren. Erreicht wird das insbesondere durch die Verbesserung der Austauschbeziehung zwischen Stickoxiden und Kraftstoffverbrauch.

### Anforderungen an das Regelsystem

Im hydraulischen System für die Ventilansteuerung bewirkt das Einlassen der Aktorflüssigkeit mit hohem Druck das Öffnen des Ventils. Wird die Flüssigkeit abgelassen, schließt

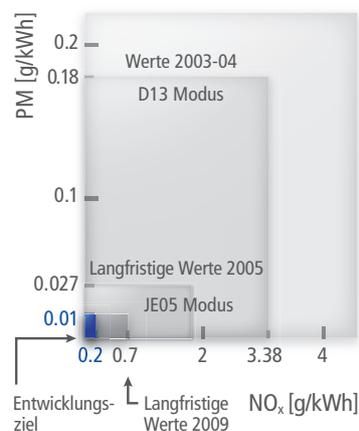
es sich wieder. Durch Steuern der Ein- und Auslasszeiten sowie der Menge der Flüssigkeit erreichen die Ein- und Auslassventile beliebige Öffnungs- und Schließzeiten sowie jegliche Ventilhübe (Abbildung 2). Für jedes Ventil sind zwei Aktoren zum Ein- und Auslassen der Flüssigkeit notwendig. Eingesetzt wird das System für einen großen 6-Zylinder-Reihen-Dieselmotor, so dass insgesamt 24 Ein- und Auslassventile und 48 Aktoren erforderlich sind. Da die Steuerung auch die Kraftstoffeinspritzung und die Luftzufuhr umfasst, benötigt das System Treiberkapazität für insgesamt 56 Aktoren. Die Regler und Treiber müssen dabei folgende Aufgaben übernehmen:

- Ausgabe schneller, präziser Ansteuerungsimpulse, synchron mit dem Nockenwinkel
- Regelung der Ströme sowie der Spitzen- und Haltezeiten

### Aufbau des Regelsystems

Um alle 56 Aktoren zuverlässig zu steuern und die Regler flexibel ändern zu können, fiel die Wahl auf ein Rapid-Control-Prototyping (RCP)-System basierend auf modularer dSPACE Hardware zusammen mit dSPACE RapidPro. Der Regler wird auf der

Abbildung 1: Neue japanische Abgasnorm zur Langzeitreduzierung von Emissionen.



„Zukünftig wird man beim Entwickeln von präzisen, vielseitigen Steuerungen vor großen Herausforderungen stehen. Da die dSPACE Produkte hochgradig erweiterbar und flexibel sind, erwarten wir diesbezüglich keine Probleme.“

Kikitaro Udagawa, ISUZU Advanced Engineering Center

Abbildung 2: Öffnungs- und Schließverhalten der Ein-/Auslassventile in herkömmlichen Nockenantrieben (links) und im hydraulischen Camless-System (rechts).

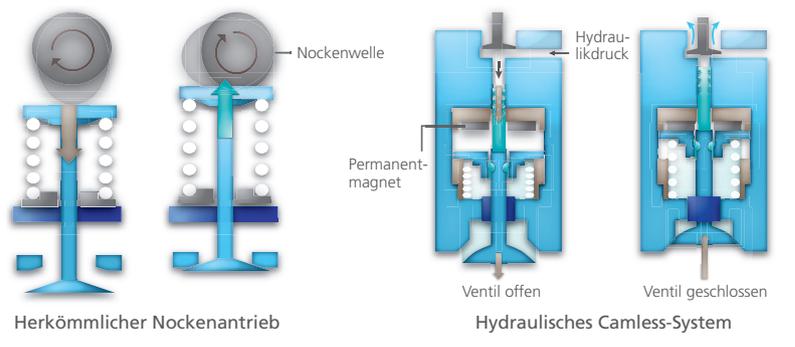
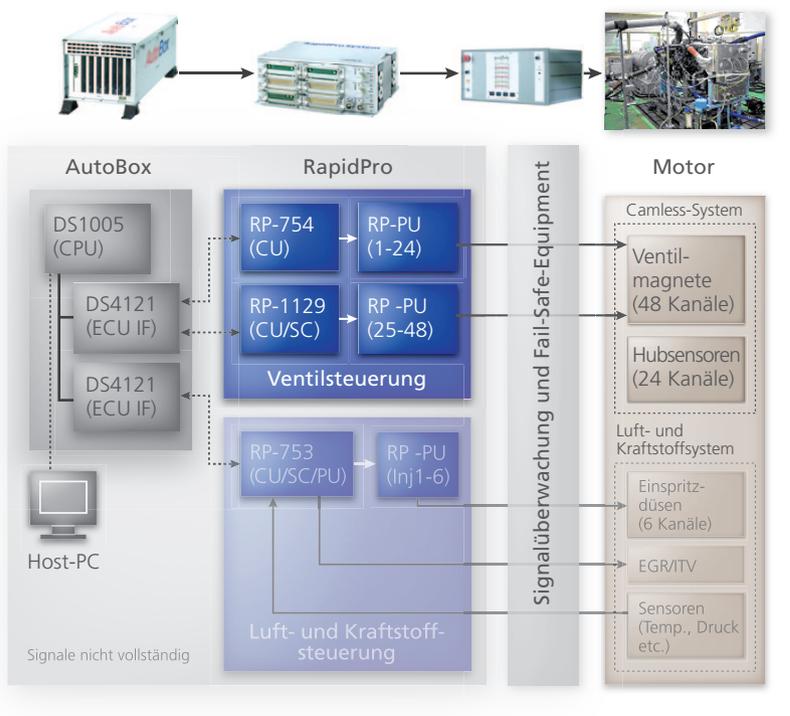


Abbildung 3: Aufbau des Regelsystems.



Prozessorkarte DS1005 der modularen Hardware ausgeführt; die drei Rapid-Pro Units dienen als Treiber für die Steuerung der Ein- und Auslassventile sowie der Luft- und Kraftstoffzufuhr (Abbildung 3).

**Besondere Schutzmaßnahmen**

Eine Besonderheit des nockenwellenlosen Systems (Camless-System) besteht darin, dass die Ventilhubhöhe prinzipiell unabhängig von den Kolbenhubhöhen sind. Dadurch kann es bei Abweichungen in der Steuerung oder fehlerhaften Instruktionen passieren, dass Ventile und Kolben kollidieren, was zu schweren Beschädigungen am Motor führen kann. Daher ist es wichtig, dass die Software der Steuerung fehlerfrei arbeitet; zudem müssen Schutzmaßnahmen für den Motor greifen, falls es zu Fehlern in der Steuerung kommt. Dieses führt zu folgenden grundsätzlichen Anforderungen an das Regelsystem:

- **Präzise Signalverarbeitung**  
Schnelle, präzise Signalmessung sowie Ansteuerung der Aktoren durch das RCP-System
- **Maßnahmen zum Schutz des Motors bei fehlerhafter Steuerung**  
Softwarebasierte Überwachungsfunktion, die bei Steuerungsabweichungen eingreift. Zum Schutz des Motors durch Not-Schließen der Ein- und Auslassventile wird ein ausfallsicheres Gerät hinzugefügt.
- **Zuverlässigkeit der Steuerungsschicht**  
Einsatz von Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulation, um den nockenwellenlosen Motor zu simulieren und die Reglersoftware ohne realen Motor zu testen. Um den realen Motorbetrieb weiter zu verifizieren, werden die Steuerung und das im Motor verbaute Nockenwellensystem für den Ventilhub und weitere Prüfstandtests eingesetzt.

### Rolle der dSPACE Produkte bei der Problemlösung

Die Steuerung für die zu entwickelnde nockenwellenlose Ventilsteuerung muss sehr leistungsstark sein und absolut zuverlässig arbeiten. Da sich das System noch in der Entwicklung befindet, unterliegen Aktoren und Sensoren der Steuerung sowie die Konfiguration der Treiber-Hardware Änderungen, sobald das Modell, die Spezifikationen des Motors oder die seiner Komponenten überarbeitet werden. Um flexibel auf diese Art der Strukturänderungen im Modell und der Hardware reagieren zu können, sind flexible dSPACE Produkte notwendig und keine intern entwickelten Regler und Treiber.

### Bewertung der dSPACE Produkte nach der Entwicklung

Die Hardware (DS1005, RapidPro) ist sehr zuverlässig und flexibel genug, um geänderte Anforderungen der Rechenleistung oder der I/O-Spezifikationen schnell umzusetzen. Zudem sind die Experimentiersoftware dSPACE ControlDesk® und die anderen Entwicklungswerkzeuge grafisch aufgebaut und intuitiv bedienbar, so dass Parameter einfach visualisiert werden und auch Erstanwender die Tools leicht bedienen können. Zuverlässigkeit, Bedienbarkeit und Flexibilität der Entwicklungswerkzeuge sind kennzeichnend für dSPACE. Die dSPACE Produkte steuern das nockenwellenlose System auf hohem Niveau und übernehmen die exakte und schnelle Steuerung der in diesem Fall außergewöhnlich hohen Zahl an Aktoren.

### Ergebnisse und Ausblick

Der Motortest mit dem nockenwellenlosen System zeigte, dass der Kraftstoffverbrauch im stationären Betrieb bei gleichzeitig niedrigen Emissionswerten deutlich verringert werden kann. Darüber hinaus führten Erkenntnisse aus dem teilweise transienten Betrieb zu neuen Ideen für eine stabile Ventilsteuerung.

„dSPACE RapidPro erlaubt I/O mit fast jedem Signaltyp, zudem reduzieren sich Zeit und Aufwand für den Entwurf und den Aufbau externer Schnittstellenkreise.“

*Ryo Kitabatake, ISUZU Advanced Engineering Center*

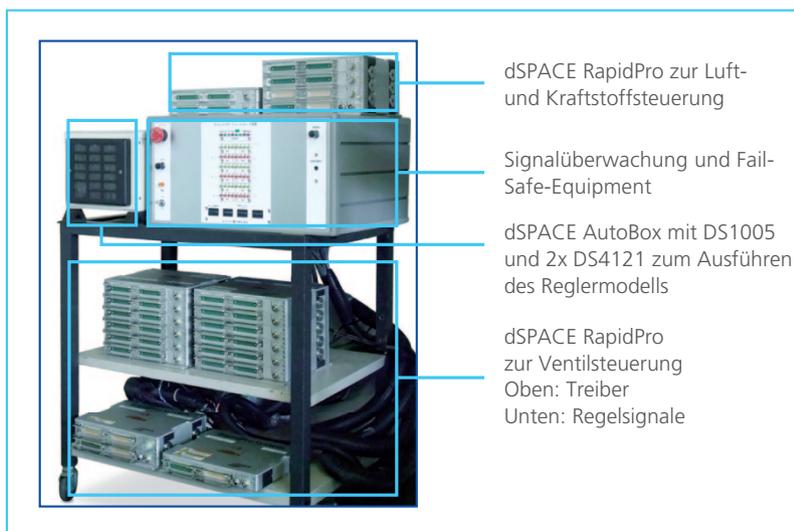


Abbildung 4: Der Prüfstand mit dSPACE Hardware. Teilweise wurde die Verkabelung für das Foto entfernt.

Diese Ideen werden mit der nächsten Generation der Motorsteuerung umgesetzt. Sie besteht aus einer Mehrprozessorkonfiguration und enthält ein DS1005 sowie das DS1006 Processor Board für die modellbasierte Steuerung. Die beiden

Prozessoren sind über Gigalink verbunden und bieten so noch mehr Rechenleistung für die erweiterte Reglersoftware. ■

*Kikutaro Udagawa  
Ryo Kitabatake  
ISUZU ADVANCED ENGINEERING CENTER, LTD.*

#### *Kikutaro Udagawa*

*Kikutaro Udagawa ist Senior Research Engineer im 3<sup>rd</sup> Engine Research Department am ISUZU Advanced Engineering Center, Kanagawa, Japan.*



#### *Ryo Kitabatake*

*Ryo Kitabatake ist Senior Research Engineer im 1<sup>st</sup> Engine Research Department am ISUZU Advanced Engineering Center, Kanagawa, Japan.*

