

Ehrgeizige Ziele



Mazda verfolgt für seine Automobile zwei wesentliche Ziele: zum einen den Spaß am Fahren, zum anderen hervorragende Verbrauchs- und Emissionswerte. Bis 2015 soll der Verbrauch gegenüber den Werten von 2008 um 30 % reduziert werden. Um dies zu erreichen, hat Mazda das SKYACTIV-Programm aufgelegt. Es dient dazu, alle erforderlichen Komponenten für die Zielerreichung zu optimieren. dSPACE Simulatoren und die Automotive Simulation Models spielen dabei eine zentrale Rolle.



Funktionsoptimierung und -absicherung
einer Motorsteuerung für Benzinmotoren
mit einem Kompressionsverhältnis von 14:1

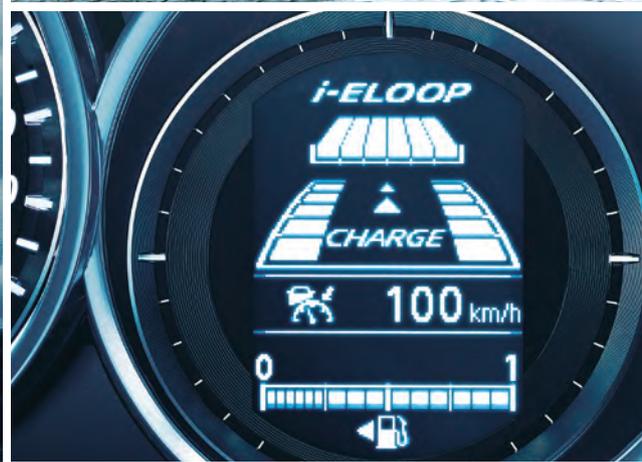




Abbildung 1: Das SKYACTIV-Konzept von Mazda dient zur Optimierung elementarer Fahrzeugkomponenten.

Visionen für Verbrennungsmotoren

Bei konventionellen Verbrennungsmotoren gehen 70 bis 80 % der im Kraftstoff enthaltenen Energie schon „verloren“, bevor sie an die Räder gelangen. Mazda nimmt sich dieser unerfreulichen Tatsache an und beabsichtigt, den Verbrennungspro-

zess effizienter zu gestalten und eine ideale Verbrennung bei höchstem Verdichtungsverhältnis zu erreichen. Bis 2015 soll die Mazda-Flotte im Vergleich zu 2008 um 30 % effizienter werden. Definiert sind diese Ziele unter anderem in SKYACTIV-G, einem Programm zur Optimierung von Benzinmotoren (Abbildung 1).

Abbildung 2: Die HIL-Simulation ist zentraler Bestandteil der Qualitätssicherung. Die MIL-Simulation eröffnet neue Möglichkeiten zur frühzeitigen Funktionsabsicherung.



Neben den Eingriffen am Motor tragen weitere verbrauchsreduzierende Maßnahmen wie i-stop (Start-Stopp-System) und i-ELOOP (kondensatorbasierte Bremsenergieerückgewinnung) zur Effizienzsteigerung bei.

Optimiertes Motormanagement

Ein hohes Kompressionsverhältnis verbessert die thermische Effizienz erheblich. Das Verdichtungsverhältnis aktueller Benzinmotoren liegt bei etwa 10:1 bis 12:1. Hebt man das Verhältnis von 10:1 auf 15:1 an, steigt der thermische Wirkungsgrad theoretisch um etwa 10 %. Einer der Gründe, warum das in der Praxis schwierig umzusetzen ist, sind Drehmomentverluste aufgrund erhöhten Klopfens. Beim Klopfen entzündet sich das Luft-Kraftstoff-Gemisch wegen der hohen Temperaturen und Drücke vorzeitig selbst. Die Optimierungen beim Verbrennungsmotor erfordern deshalb umfassende Maßnahmen beim Motormanagement. Um dies bestmöglich zu erreichen, musste die Motorsteuerungssoftware vollständig überarbeitet und um viele neue Funktionen erweitert werden. Es wurden verbesserte Regelstrategien entwickelt, um Klopfen, Klingeln bzw. möglichen Fehlzündungen zu begegnen. Dazu war eine optimale Ansteuerung eines VVT (Variable Valve Timing)-Systems für die Ansaugluft und die Abgase erforderlich.

Optimierungen im Entwicklungsprozess

Wenn die Komplexität der zu entwickelnden Funktionen steigt, muss auch der Software-Entwicklungsprozess den Entwicklungsanforderungen genügen. Bei Mazda entschied man sich daher, auf eine vollständig modellbasierte Entwicklung umzusteigen. Dies umfasst spezielle Werkzeuge, geeignete Prozesse und ein enormes Entwicklungs-Know-how. Die Vorteile werden an verschiedenen Stellen deutlich.

Modellbasierte Funktionsentwicklung und Absicherung

Für die modellbasierte Entwicklung stehen etablierte Methoden zur Absicherung der Qualität entwickelter Funktionen zur Verfügung. Gemäß dem V-Modell steht jeder Entwicklungsphase eine Testphase gegenüber. Bewährte Methoden sind beispielsweise die Hardware-in-the-Loop (HIL)- sowie Model-in-the-Loop (MIL)-Simulation (Abbildung 2). Für das SKYACTIV-Projekt wurden beide Methoden genutzt. Dabei kamen jeweils dSPACE Simulatoren, ausgestattet mit den Automotive Simulation Models (ASM), zum Einsatz. Die Testmöglichkeiten mit einem Simulator gehen jedoch deutlich weiter und können auch zur Optimierung von Funktionen genutzt werden. Um die Zielvorgaben von SKYACTIV-G umzusetzen, gab es klare Vorstellungen und Ansätze. Für das angestrebte Verdichtungsverhältnis von 14 galt es, den Zylinderfüllungsgrad zu verbessern.

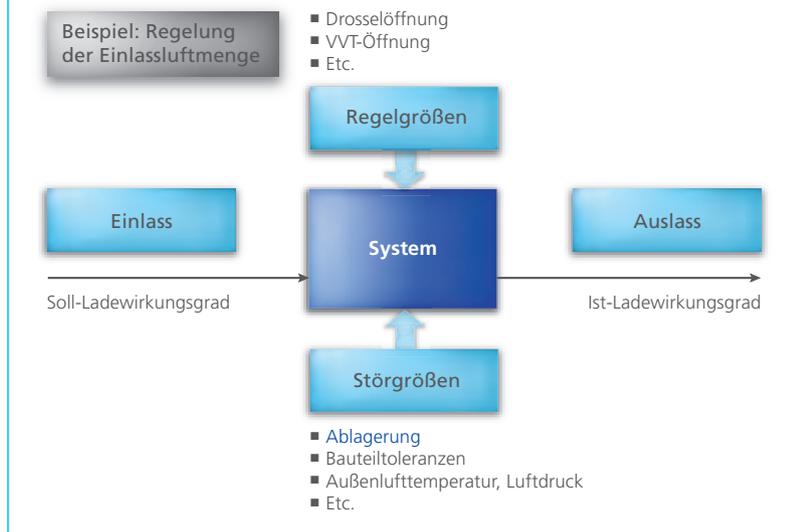


Abbildung 3: Einflussgrößen auf den Füllgrad eines Verbrennungsmotors

HIL-Simulation für die Untersuchung und Funktionsoptimierung genutzt werden kann. Ablagerungen sind Verbrennungsreste, die sich am Ventil und Ventilsitz absetzen und dort die Strömung der Gase behindern. Sie wirken sich besonders bei geringer

Ventilöffnung aus. In früheren Entwicklungen ohne den HIL-Simulator wurden diese Untersuchungen mit den realen Bauteilen im Fahrzeug durchgeführt, wobei schon die Bereitstellung der Teile und Fahrzeuge aufwendig war. Seitdem

„Da wir dSPACE Systeme schon ab dem Reglerentwurf verwenden, sind wir in der Lage, dieselben Testszenarien durchgängig während des gesamten Entwicklungsprozesses zu verwenden.“

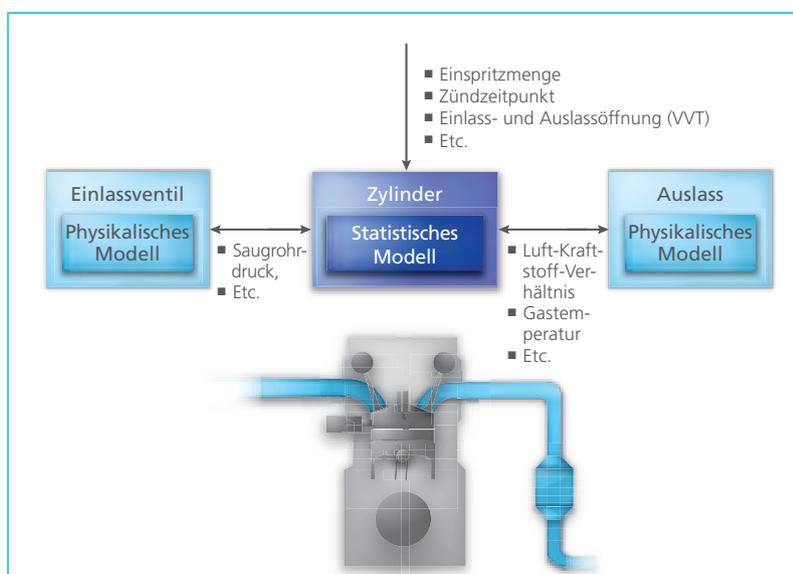
Satoshi Komori, Mazda

Die beeinflussenden Größen sind die Drosselklappe sowie die Ventilposition des VVT. Jedoch gibt es Störfaktoren, deren Einfluss man kennen und berücksichtigen muss. Dazu gehören Ablagerungen, Bauteiltoleranzen, Umgebungtemperatur und -druck (Abbildung 3).

Funktionsuntersuchung und -optimierung am HIL

Am Störfaktor Ablagerungen lässt sich exemplarisch zeigen, wie eine

Abbildung 4: Die Kombination aus physikalischen und statistischen Modellen schafft präzise Simulationsmodelle, die einfach handhabbar sind.



Fazit und Ausblick

Für das SKYACTIV-Programm setzt Mazda auf die MIL- und HIL-Simulation mit dSPACE Simulatoren und nutzte die dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) für den effizienten Aufbau. Das Testequipment wird sowohl zur Absicherung der Funktionen als auch für deren Optimierung eingesetzt. Insgesamt konnten einzelne Komponenten wie das Motorsteuergerät und der komplexe Verbund aller Elektrik/Elektronik (E/E)-Systeme bei Mazda überarbeitet sowie vollständig und umfassend abgesichert werden. Die Vorteile des HIL-Tests sind insbesondere automatisierte, reproduzierbare Testläufe. Die ersten Erfahrungen zeigen, dass frühzeitige Tests und die Wiederverwendung von Tests enormes Potential für Effizienzsteigerungen bieten. Neue Fahrzeuge wie der Mazda CX-5 und der Mazda 6 profitieren von den leistungsfähigen SKYACTIV-G-Benzinmotoren mit einem Kompressionsverhältnis von 14:1. Für zukünftige Entwicklungen werden die Testprozesse und Systeme weiter optimiert und ausgebaut. Schon jetzt ist absehbar, dass sie für die Entwicklung weiterer E/E-Systeme unverzichtbar sind und weitere Rollen im Entwicklungsprozess einnehmen werden.



Abbildung 5: Der Testplatz für SKYACTIV-G-Steuergeräte.

der HIL-Simulator zur Verfügung steht, können diese Untersuchungen per Simulation erfolgen (Abbildung 4). Das hier verwendete Streckenmodell ermöglicht es, den Massenfluss durch die Ventile und den Verbrennungsprozess im Zylinder mit hoher Genauigkeit zu simulieren. Um die Effekte der Ablagerung zu berücksichtigen, wurde zusätzlich ein neuer Modellteil im Motormodell implementiert. Aufgrund der offenen Modellstruktur lässt sich das sehr einfach umsetzen. Nun können vielfältige Untersuchungen und entsprechende Funktionsoptimierungen am Simulator vorgenommen werden (Abbildung 5). Falls erforderlich, lassen sich die Tests sogar automatisieren. Ein Vergleich zur herkömmlichen Vorgehensweise ergab, dass der Einsatz des HIL-Simulators achtmal effizienter ist. Darüber hinaus konnten am Simulator noch einige Regler-

artefakte erkannt und damit potentielle Probleme beseitigt werden. Der frühe und konsequente Einsatz der HIL-Simulation ermöglichte die zuverlässige Bestimmung des Füllgrads für verschiedene Betriebsmodi und so die Optimierung der Gesamtstrategie des Reglers. Obwohl Störgrößen wie Toleranzen und Abnutzung im Langzeittest untersucht wurden, könnte der proaktive Einsatz der HIL-Simulation schon eine Ersparnis von 2.500 Stunden in der Funktionsabsicherung für die Motorregelung bringen.

Prozessoptimierung mit Echtzeit-MIL

Eine weitere Testmethode zeigt die Flexibilität und die Testmöglichkeiten, die sich mit der Simulation ergeben. Sie basiert auf der MIL-Simulation und wurde zur Echtzeit-MIL-Simulation erweitert (Abbildung 6). Dazu

Abbildung 6: Die Stationen, auf denen Echtzeit-MIL-Simulationen durchgeführt werden.





„SKYACTIV-G stellte uns vor enorme zeitliche Herausforderungen. Die Produkte und Dienstleistungen von dSPACE unterstützen eine effiziente modellbasierte Entwicklung und halfen uns, die Hürden zu überwinden.“

Keisuke Yayoi, Mazda

wird neben dem Streckenmodell auch das Reglermodell auf dem Simulator ausgeführt. Beide bilden dort einen geschlossenen Regelkreis. Die Echtzeitfähigkeit hängt von der Prozessorleistung ab. In diesem Fall kam ein DS1006 Processor Board mit Quad-Core zum Einsatz. Ein Vorteil bei den dSPACE Produkten besteht darin, Testfälle zwischen HIL und MIL einfach wiederzuverwenden. Mit dieser Vorgehensweise wurden schnell Probleme gelöst, die im tatsächlichen Fahrzeug aufgetreten sind. Die HIL-Umgebung, die näher am Fahrzeug ist, wird verwendet, um die Probleme zu analysieren und Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Dann werden die Gegenmaßnahmen auf die Modelle übertragen, um die Auswirkungen per MIL-Simulation zu prüfen. Durch die Wiederverwendung der HIL-Testfälle konnten die Entwickler eine Reihe von Prüfprozessen sehr effizient durchführen. Um Fahrzeugprobleme zu reduzieren, untersuchen wir derzeit Möglichkeiten, MIL in frühen Stadien, also auf der linken Seite des V-Entwicklungszyklus, noch effektiver zu nutzen. ■

*Satoshi Komori,
Keisuke Yayoi,
Mazda*

Satoshi Komori

Satoshi Komori ist stellvertretender Leiter der Steuergeräte-Entwicklung für Antriebsstränge bei Mazda in Hiroshima, Japan.



Keisuke Yayoi

Keisuke Yayoi entwickelt neue Reglerkonzepte für Benzinmotoren in der Antriebsstrang-Entwicklung von Mazda in Hiroshima, Japan.



Das Mazda-Team

Mitglieder der HIL- und MIL-Teams, die an den SKYACTIV-Steuersystemen gearbeitet haben: Yoichi Teraoka, Yasuhiro Doi, Keisuke Yayoi, Satoshi Komori, Takuro Miyoshi (v.l.n.r.).

