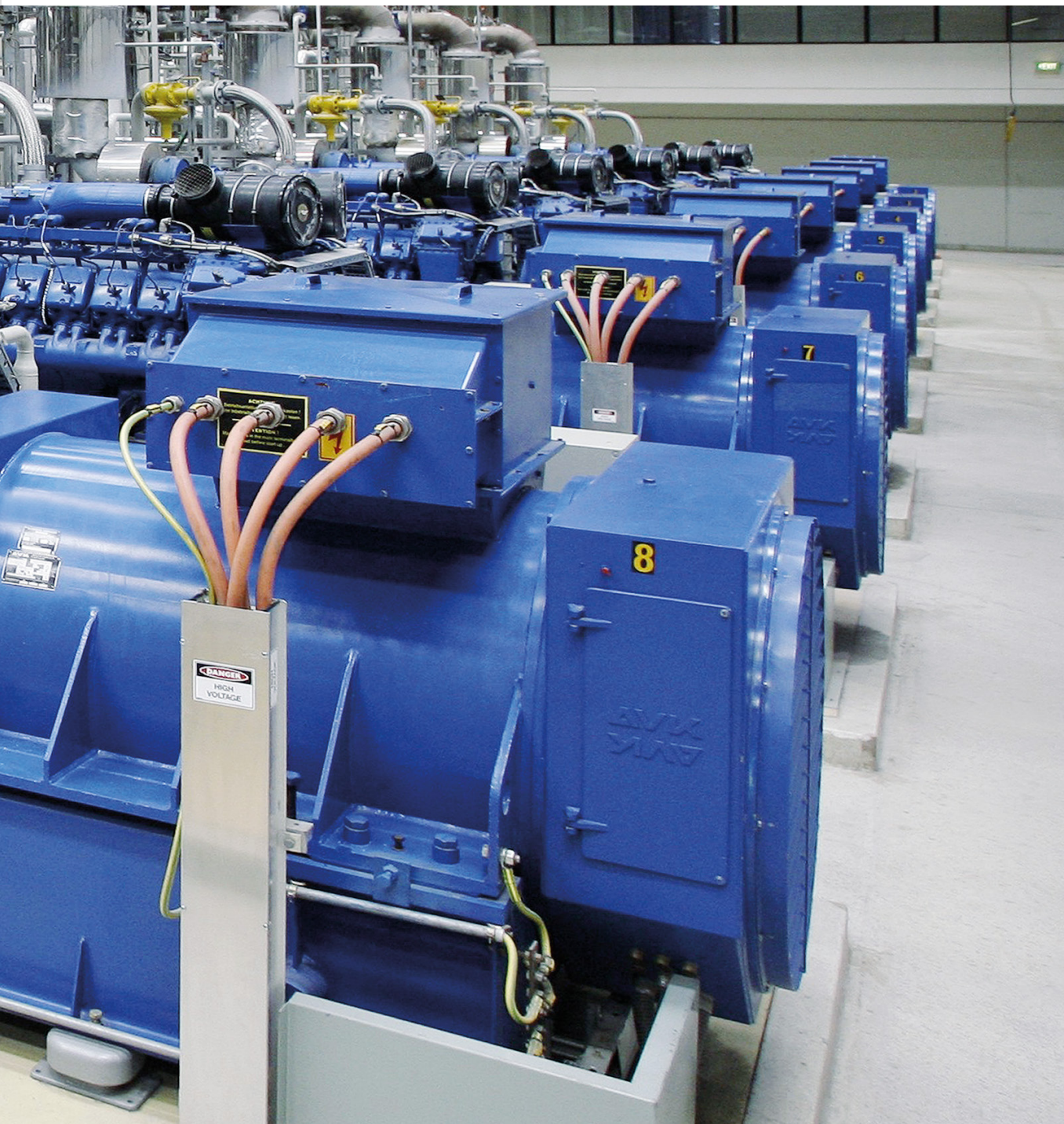




Steuerung von Hochleistungs-
gasmotoren zur Energieversorgung

Leistungs- träger

Eines steht fest: Wer einen großen Hochleistungsgasmotor mit entsprechendem Generator hochfährt, ist mit einer elektrischen Leistung von beispielsweise rund 4.500 kW augenblicklich der bestmotorisierte Mitarbeiter vor Ort. Solch leistungsfähige Aggregate dienen vor allem der stationären Strom- und Wärmeerzeugung. Mit einer neuen, selbstentwickelten Steuerung will Caterpillar Energy Solutions insbesondere die Effizienz, Dynamik und Wartungsfreundlichkeit zukünftiger Anlagen absichern.



Für Anlagen zur dezentralen Energieerzeugung gibt es zahlreiche Einsatzfelder. Als unabhängige Stromerzeuger (Independent Power Producers, IPP) können sie einerseits eine flexible und leistungsfähige Versorgung dort sicherstellen, wo lagebedingt überhaupt keine sonstige Stromversorgung vorhanden ist, zum Beispiel in abgelegenen Gebieten zur Rohstoffförderung oder für kaum erschlossene Siedlungen, oder wo vorhandene Strukturen aus verschiedensten Gründen nicht kosteneffizient nutzbar sind. In der Industrie und der Landwirtschaft fallen zudem oft brennbare Gase als Nebenprodukt an, so dass es sich durchaus lohnt, diese Gase sowohl für die eigene Energieversorgung als auch für die gewinnbringende Einspeisung des erzeugten Stromes in öffentliche Netze oder für den direkten Weiterverkauf, zum Beispiel an benachbarte Fabriken, zu nutzen. Zur ergänzenden Spitzenlastabdeckung für das öffentliche Stromnetz eignen sich die Anlagen bestehend aus Gasmotoren mit Gene-

ratoren ebenfalls hervorragend. Außerdem dienen die Aggregate zusätzlich auch der Erzeugung von Prozesswärme (Warmwasser oder Wasserdampf) und teilweise der direkten Abgasnutzung (CO₂-Düngung in Gewächshäusern).

Komplettanlagen für die Strom- und Wärmeerzeugung

Caterpillar Energy Solutions GmbH ist einer der weltweit führenden Anbieter hocheffizienter und umweltfreundlicher Komplettanlagen zur dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung. Das Angebot unter den Marken Cat und MWM umfasst Gasmotoren, kundenspezifische Kraftwerkslösungen, schlüsselfertige Komplettsysteme, Container-Blockheizkraftwerke sowie flexible Modular Power Plants für den schnellen, wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Einsatz vor Ort. Dabei bietet das Unternehmen umfassende Beratung, Design, Engineering für den Aufbau und die Inbetriebnahme einer Anlage sowie weltweiten Service (Kundendienst, Wartung und Instandhaltung).

Anforderungen an den Betrieb eines Gasaggregats

Gerade wer abseits der öffentlichen Netze auf selbst erzeugten Strom angewiesen ist, stellt naturgemäß besonders hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Anlage. Während im Netzparallelbetrieb immer noch das Verbundnetz alternativ genutzt werden kann, steigt in einem Inselnetz die Abhängigkeit von den wenigen vorhandenen Stromerzeugern eines kleinen Gebietes, und bisweilen hängt die Versorgung an nur wenigen Gasmotoren. Aber auch für die Spitzenlastabdeckung im öffentlichen Netz muss die geforderte Leistung sicher und schnell abrufbar sein, gleiches gilt für die Wärmeerzeugung. Zuverlässigkeit, Effizienz und Dynamik sind also oberstes Gebot. Alle Faktoren hängen wiederum eng zusammen mit dem Thema Wartung. Diese sollte möglichst selten stattfinden müssen, mit kurzen Betriebsunterbrechungen und geringen Kosten. Neben der Weiterentwicklung der Motormechanik zur Minimierung des Schmierölverbrauchs wird innerhalb der Steuerungsentwicklung an Methoden zur Reduzierung des Wartungsaufwandes gearbeitet. Hier wird deutlich, dass nicht nur mechanische Faktoren eine Rolle spielen, sondern dass eine hochentwickelte elektronische Anlagensteuerung unumgänglich zur Erfüllung der Anforderungen ist.

Auf dem Weg zur neuen Anlagensteuerung

Um zukünftige Anlagen mit Hilfe der neuen elektronischen Steuerung noch effizienter, dynamischer und wartungsfreundlicher zu machen und um diese Entwicklung für das gesamte Produktportfolio selbst vorantreiben zu können, hat sich Caterpillar Energy Solutions dafür entschieden, bisher von Zulieferern entwickelte Steuerungen in zukünftigen Anlagen durch selbst entwickelte

Gasaggregate zur Stromerzeugung.



Quelle: © Caterpillar Energy Solutions

Steuerungen zu ersetzen. Dieses Vorhaben war, anders als bei Herstellern herkömmlicher Verbrennungsmotoren, zum Beispiel für Pkws, mit einigen zusätzlichen Herausforderungen verbunden. Kosten, Größe und Bauzeit eines einzelnen Hochleistungsgasmotors sind erheblich, und es gibt zahlreiche Produktvarianten, so dass spezielle Testprototypen in der Regel nicht möglich sind. Somit hatte das Entwicklungsteam stets das Risiko vor Augen, dass es bei Tests in Grenzbereichen, bei hohen Belastungen in Folge von intensiven Tests des Anlauf-, Stopp- und Notstoppverhaltens oder auch bei Fehlern in der zu testenden Steuerung zu gravierenden Beschädigungen eines realen Aggregats kommen könnte, und damit zu extrem hohen Kosten und zu Projektverzögerungen. Außerdem sollten Tests bereits vor Verfügbarkeit des realen Motors stattfinden können. Deshalb war es umso wichtiger, die Motorsteuerung vor einer Anwendung am realen Aggregat in der Offline-Funktionsentwicklung (Software-in-the-Loop, SIL) und an einem Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulator zu testen, auch im Anlagenverbund mit einem HIL-System der übergeordneten Steuerung. Ziel war es außerdem, die HIL-Simulationsumgebung aufgrund der Produktvariantenvielfalt flexibel und skalierbar zu gestalten und sie außerdem zu einem elementaren Bestandteil zukünftiger Software-Freigabeprozesse zu machen, da aufgrund der zahlreichen Produktvarianten >>

Motorspezifika

- Zylinder: 8 - 20
- Leistungsbereich typischerweise von 400 - 4.500 kW_{el}
- Alle Gasarten: Erdgas, Deponiegas, Klärgas, Grubengas, Kokereigas, Biogas
- „Klassische“ Motorsteuerung (z. B. Drosselklappe) plus Prozessleittechnik (z. B. für Kühlung, Gasdruck, Netzphasen)
- Anwendung von speziellen Notfallstrategien (z. B. Motorstopp)



Quelle: © Caterpillar Energy Solutions

Die hohe Anzahl der anzusteuern Zylinder erforderte ein besonders effizientes Simulationsmodell für die SIL- und HIL-Tests.

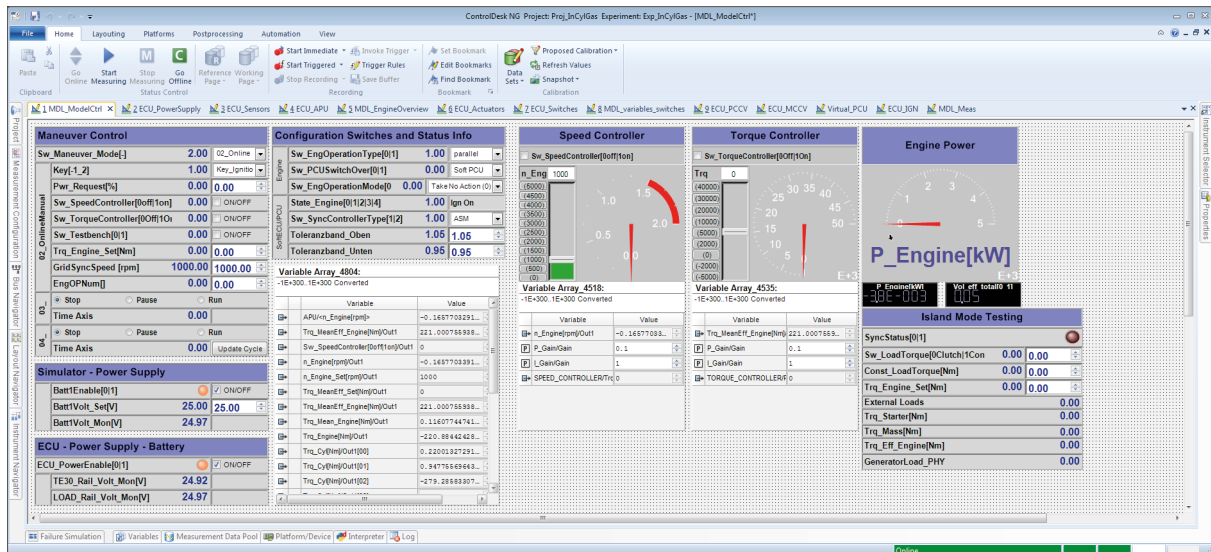


Quelle: © Caterpillar Energy Solutions

Ralph Staudt (links) und Sreenivasa Ravipati (rechts) von Caterpillar Energy Solutions führten mit einem dSPACE Simulator umfangreiche HIL-Tests der Motorsteuerung durch.

„dSPACE als Lieferant von Werkzeugen und Engineering-Leistungen war für uns zentraler Ansprechpartner für zahlreiche Detailfragen rund um unser HIL-System, von der Simulatorspezifikation bis hin zur Closed-Loop-Inbetriebnahme mit realem Steuergerät. Dadurch konnten wir das Projekt deutlich beschleunigen.“

Magnus Euler, Caterpillar Energy Solutions



Experiment-Steuerung mit ControlDesk Next Generation.

eine weitergehende Unabhängigkeit von Tests an realen Aggregaten geschaffen werden soll.

Anforderungen an das Simulationsmodell

Um einen Gasmotor für die Steuergeräteentwicklung zu simulieren, bedarf es eines Simulationsmodells, das die spezifischen Motorcharakteristiken hinreichend gut nachbildet. Umfang und Güte der Simulation müssen das Steuergerät für den Anwendungsfall zufriedenstellen und in allen Arbeitspunkten mit plausiblen Werten versorgen. Infrage kamen insbesondere Modelle, die sich schon im Industrieinsatz bewährt hatten und sich leicht an die speziellen Eigenschaften von Gasmotoren anpassen lassen. Daher entstanden folgende Anforderungen an das benötigte Motormodell:

- Offenheit, damit Anpassungen für den Einsatz des Motors im Energieversorgungsbereich möglich werden
- Hohe Recheneffizienz für Echtzeitsimulationen mit bis zu 24 Zylindern
- Hohe Detailgüte, um eine potentielle Zylinderdrucksensorik ausreichend bedienen zu können
- Flexible Parametrierbarkeit des Modells auf Simulationsdaten mit einer begrenzten Anzahl an Lastpunkten

dSPACE ASM für Gasmotoren

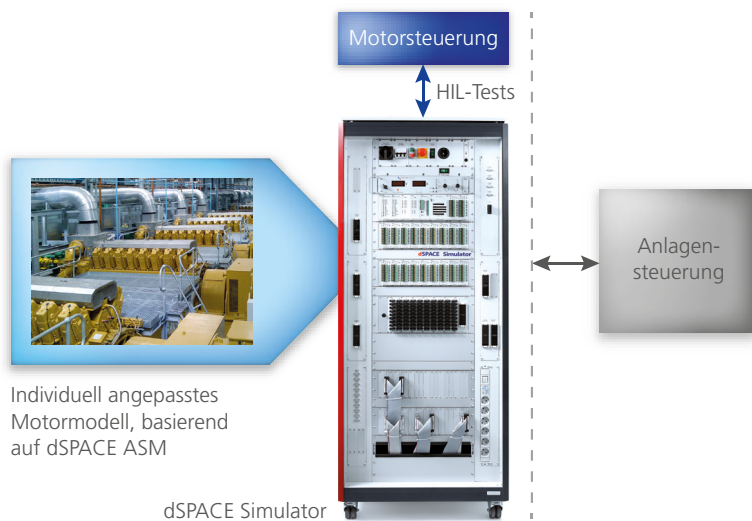
Mit Unterstützung durch die dSPACE Engineering Services konnte das ursprünglich automotiv Modell ASM Gasoline Engine InCylinder – ein offenes, granulares Simulink®-Modell – als Grundmodell so für Caterpillar Energy Solutions ange-

passt werden, dass es sich für die Simulation von Gasmotoren eignet. Das Modell wurde in mehreren Schritten angepasst:

- Teilweise Wiederverwendung von ASM-Bibliotheksblöcken zur Anpassung des Grundmodells an das tatsächliche Motorschema, zum Beispiel Ladeluftkühler und Ventile. Hier entstand nur wenig Aufwand, denn das verwendete ASM-Modell ist bereits vorparametriert für eine Motortopologie mit Doppelturbolader und V-Motorarchitektur
- Umstrukturierung des automotiven Verbrennungsmotormodells gemäß den Anforderungen der Energieversorgungstechnik
- Änderung der physikalischen, chemischen und thermischen Parametrierung des Grundmodells

„Mit dem für unsere Anforderungen umgebauten Modell ASM Gasoline Engine InCylinder gelang eine genügend realitätsnahe und dennoch echtzeitfähige Simulation des Gasmotors.“

Magnus Euler, Caterpillar Energy Solutions



Individuell angepasstes
Motormodell, basierend
auf dSPACE ASM

dSPACE Simulator

Mit einem dSPACE Simulator und einem umgebauten ASM-Modell (basierend auf Gasoline Engine InCylinder) konnte Caterpillar Energy Solutions frühe HIL-Tests der Motorsteuerung unabhängig von einem realen Aggregat durchführen.

- Automatische Parameter-Optimierung mittels Messwertanalysen, um die Simulationsergebnisse zu verbessern
- Validierung des Modells mittels ASM Testbench während der Offline-Simulation

Prüfung der neuen Motorsteuerung

Die von Caterpillar Energy Solutions selbst entwickelte Anlagen- und Motorsteuerung musste im Hinblick auf verschiedenste Fragestellungen geprüft werden. Beispielsweise musste das Verhalten der Steuerung und des Motors vor, während und nach der Synchronisierung mit der Netzphase getestet werden (inklusive Anlauf-, Stopp- und Notstopverhalten), um einen reibungslosen Betrieb innerhalb eines Stromnetzes zu gewährleisten. Als Testverfahren wurden sowohl Offline-Funktionstests per SIL-Simulation als auch Steuergerätestests mit dem HIL-Simulator angewendet.

Dabei konnte das speziell aufbereitete ASM-Modell durchgängig eingesetzt werden.

HIL-Testsystem

Für die HIL-Tests kam ein dSPACE Simulator Full-Size zum Einsatz, ausgestattet mit zwei Expansion Boxes, die jeweils ein DS1006-basiertes System mit umfangreicher I/O enthielten. Damit ließen sich leistungsfähige Multicore- und Multiprozessor-Einsätze durchführen, insbesondere, um für verbesserte Simulationszeiten das ASM-Modell getrennt von der I/O rechnen zu lassen. Zusätzlich enthielt der dSPACE Simulator entsprechende Module für Signalkonditionierung, elektrische Fehlereinspeisung, Strommessungen und Lastsimulationen. Es wurden Echtlasten eingesetzt, zum Beispiel Injektoren, Drosselklappen und Wastegate-Ventile. Es bestand eine Anbindung an das übergeordnete HIL-System der Anlagensteuerung. Alle Simulationenaufgaben wurden mit der Experimentier-Software ControlDesk Next Generation durchgeführt. ■

Magnus Euler,
Caterpillar Energy Solutions GmbH

Fazit

Durch die neue von Caterpillar Energy Solutions selbst entwickelte Anlagen- und Motorsteuerung wurde die Basis für zukünftig noch weiter erhöhte Effizienz, Dynamik und Wartungsfreundlichkeit der Cat- und MWM-Produkte gelegt. Signifikant zum Projekterfolg und zur Projektgeschwindigkeit trug bei, dass zentrale Werkzeuge sowie Engineering- und Beratungsleistungen aus einer Hand von dSPACE bereitgestellt wurden. Durch die Vorverlagerung zahlreicher Tests auf die SIL- und HIL-Simulation konnte bereits vor Verfügbarkeit realer Motoren intensiv entwickelt und später der teure, reale Motor geschont werden, was zu deutlichen Zeitvorteilen führte. Mit den dSPACE Werkzeugen wurde so eine Entwicklungsumgebung für Motorsteuerungen des gesamten Produktportfolios und für Motoren unterschiedlichster Zylinderanzahl geschaffen. ASM wird aktuell schon in weiteren Motorentwicklungsprojekten verwendet.

Magnus Euler

Magnus Euler ist Leiter der Motorsteuerung im Bereich Elektrotechnik der Caterpillar Energy Solutions GmbH in Mannheim, Deutschland.

