

ENTWICKELN VON REGLERKONZEPTEN MIT KOSTENGÜNSTIGER RAPID-PROTOTYPING-LÖSUNG

## Beschleunigte Turboladerentwicklung mit **CANape**

Turbolader verhelfen insbesondere Motoren mit vergleichsweise kleinen Volumina zu beachtlichem Drehmomentaufbau und hoher Fahrdynamik. Die Aufladesysteme erfordern eine flexible Anpassung an die Motordrehzahl und den momentanen Leistungsbedarf. Für den Automobilzulieferer Borg-Warner Turbo Systems erschließt sich erhebliches Rationalisierungspotenzial bei der Entwicklung von Demonstrationsfahrzeugen und beim Hardware-Equipment für On-Road-Dauerauftests durch den Einsatz des Software-Tools CANape.

**D**as 'Aufladen' von Verbrennungsmotoren ist eine Schlüsseltechnologie, um Forderungen nach geringem Verbrauch, niedrigen Schadstoffemissionen sowie langlebiger Qualität bei gleichzeitiger Verbesserung der Fahrdynamik gerecht zu werden. Heute sind im Pkw-Bereich 98% der Dieselfahrzeuge mit Turboladern

ausgestattet, bei Lkw circa 80%. Auch beim Ottomotor wird mit der Einführung der Direkteinspritzung die Turboaufladung zur Effizienzsteigerung immer häufiger eingesetzt, obwohl die deutlich höheren Abgastemperaturen die Verwendung höherwertiger teurerer Werkstoffe unabdingbar macht.

Bei hoher Leistungsabgabe des Motors kann die Turbine bei den Abgastemperaturen eines Ottomotors von bis zu 1050 °C weißglühend heiß werden. Gleichzeitig erreichen die Ladedrehzahlen Werte von typischen 220.000 U/min, bei kleinen Turboladern z. B. für den Smart sogar 300.000 U/min. Die Herausforderungen bei der Entwicklung von Turboladern liegen demnach in den Bereichen Werkstofftechnik, Kühlung, Lagerung und dem hochpräzisen Fertigen/Wuchten der rotierenden Komponenten.

Die Firma BorgWarner Turbo Systems mit Hauptsitz in Kirchheimbolanden, Rheinland-Pfalz, zählt zu den renommiertesten Herstellern von Turboladern und verfügt über das derzeit weltweit modernste Entwicklungszentrum für Turbolader. Neben verschiedenen Standard-Baureihen für Diesel- und Ottomotoren finden sich im Produktprogramm modernste Entwicklungen mit mehrstufig geregelten Aufladesystemen sowie dem eBooster-Konzept.

### Vom 'Turboloch' zur geregelten Aufladung

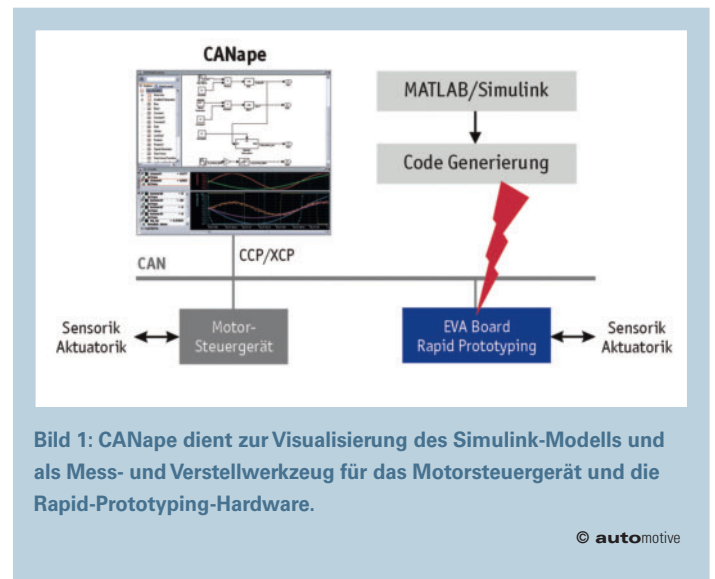
Prinzipbedingt schließen sich bei einfachen Turboladerkonstruktionen ein hohes Anfahrtdrehmoment und eine hohe Maximalleistung gegenseitig aus. D. h. entweder man baut ein kompaktes System mit hohem Ladedruck bei niedrigen Drehzahlen oder konstruiert ein für hohe Drehzahlen optimiertes großes System, das im unteren Bereich die gewünschte Dynamik vermissen lässt, wobei man dann vom Turboloch spricht.

Im Lauf der Zeit wurden erweiterte Aufladekonzepte entwickelt, um dieses Handicap zu eliminieren, z. B. der mit einem Bypassventil ausgestattete Wastegate-Lader oder die heute als Standard geltende variable Turbinengeometrie (VTG). Deren verstellbare Leitschaufeln sind flexibel an den Abgasstrom anpassbar. Zu den neuesten Entwicklungen zählen die zweistufig geregelte Aufladung mit zwei Aufladesystemen in Reihe und der eBooster, bei dem ein elektrisch angetriebener Strömungsverdichter den Turbolader unterstützt.

### Turbolader erhöhen Komplexität der Motorsteuerung

Je ausgefeilter die Konstruktionen zur Ladedruckregelung werden, desto höhere Anforderungen stellen sich an die Turboladerregelung. So müssen zusätzlich Turboladerdrehzahlen, Abgasgegendrücke sowie unterlagerte Größen wie z. B. Winkel bzw. Positionen der Stellglieder sensorisch erfasst und im Steuergerät verarbeitet werden. Die Aktuatorik am Turbolader besteht aus elektrisch oder pneumatisch betriebenen Komponenten zur Verstellung der Leitschaufeln oder zum Ansteuern von Klappen und Ventilen.

Die Regelung des Turboladers ist ein integraler Bestandteil der Motorsteuerung und fällt somit in den Verantwortungsbereich des Automobilherstellers. Angesichts der steigenden Komplexität sind die OEMs bei der Realisierung der Ladesystemsteuerung allerdings auf die Unterstützung des Turboladerherstellers angewiesen. BorgWarner entwirft in der Entwicklungsphase mit Hilfe des Programmpaketes Matlab/Simulink passende Reglerkonzepte, die den Kunden an Prüfständen oder Testfahrzeugen zur Verfügung gestellt werden.

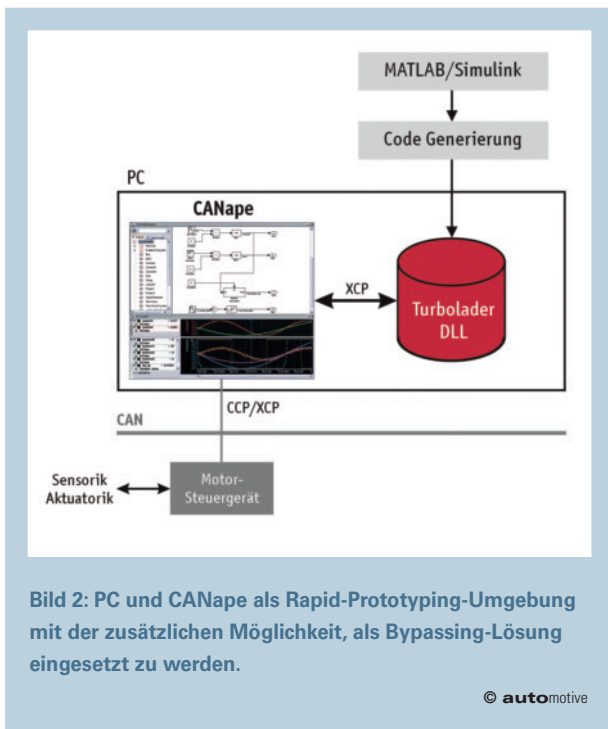


**Bild 1: CANape dient zur Visualisierung des Simulink-Modells und als Mess- und Verstellwerkzeug für das Motorsteuergerät und die Rapid-Prototyping-Hardware.**

© automotive

### Effizient am visualisierten Modell arbeiten

Beim Applizieren der Prototypen am Motor bzw. Fahrzeug leistet das Mess-, Kalibrier- und Diagnose-Tool CANape von Vector Informatik wertvolle Dienste. CANape ist ein leistungsfähiges ASAM-konformes Werkzeug für alle Aufga-



**Bild 2: PC und CANape als Rapid-Prototyping-Umgebung mit der zusätzlichen Möglichkeit, als Bypassing-Lösung eingesetzt zu werden.**

ben rund um die Steuergeräte-Applikation. Über physikalische Schnittstellen wie CAN, FlexRay oder LIN und die standardisierten Mess- und Kalibrierprotokolle CCP (CAN Calibration Protocol) bzw. XCP (Universal Measurement and Calibration Protocol) lassen sich Parameter während der Laufzeit von einem PC aus messen und zur Laufzeit verstellen. Bei BorgWarner profitiert man besonders von der Fähigkeit in CANape die Matlab/Simulink-Modelle zu visualisieren. Ohne langwieriges Suchen in der Dokumentation erkennt der Anwender direkt aus dem visualisierten Modell heraus, welche Parameter für die gewünschten Veränderungen anzupassen sind. Suchfunktionen führen zügig zu Variablen und unterstützen das komfortable Navigieren durch die Ebenen des Modells.

Im Serienbetrieb läuft die Turboladeranwendung im Motorsteuergerät ab. Hier wird auch die Sensorik und Aktuatorik angeschlossen. Um nun während der Entwicklung flexibel unterschiedliche Softwarestände testen zu können, lagert man die Turboladerapplikation auf eine Rapid-Prototyping-Hardware aus. Sie besteht aus Evaluationsboards mit integrierter Leistungselektronik für die Ansteuerung der Aktuatorik. Dabei kommt gegebenenfalls auch eine andere Aktor-/Sensor-Kombination als im Serienfahrzeug zum Einsatz (Bild 1). Zu den Aufgaben von CANape gehören hier sowohl das Applizieren des Motorsteuergeräts und der Rapid-Prototyping-Hardware als auch die Visualisierung des Simulink-Modells. So schließt CANape die Lücke zwischen der grafischen Darstellung des Modells, in der man die Zusammenhänge der Größen erkennt, und der A2L-basierten Applikation der Anwendung. Die bei der Optimierung der Turboladeranwendung entstehenden Parameterdateien lassen sich aus CANape heraus exportieren und in Matlab/Simulink wieder einlesen. Da sich dieser Aufbau sowohl für Prüfstände als auch für Testfahrzeuge eignet, setzt ihn BorgWarner auch bei On-Road-Dauerlauftests ein.

## CANape als Rapid-Prototyping-Plattform

Um eine noch effizientere Lösung zu schaffen, testet BorgWarner jetzt CANape in Verbindung mit dem PC als Rapid-Prototyping-Plattform. Dabei bedient sich das System einer aus dem Simulink-Modell generierten DLL, die im CANape-Kontext läuft. Das mit CANape mitgelieferte Matlab-Integrationspaket stellt ein CANape-Target zur Verfügung, über das der Anwender aus dem Real-Time-Workshop heraus seinen CANape-spezifischen Code generiert. Mit der Generierung erhält die DLL ein XCP-Interface, so dass der Anwender messend und verstellend auf die DLL zugreifen kann, als ob es auf einer Rapid-Prototyping-Plattform läuft (Bild 2). In Verbindung mit dem ohnehin vorhandenen PC ersetzt CANape so die Prototyping-Hardware. Kommt in der Kommunikation zum Steuergerät das XCP-Protokoll zum Einsatz, ist CANape auch gleichzeitig als Bypassing-Koordinator einsetzbar. Über das Tool werden Daten des Steuergeräts in Echtzeit gemessen, an das compilierte DLL-Modell der Turboladersteuerung weitergeleitet, dort berechnet und zurück in das Motorsteuergerät geschrieben. Der große Vorteil bei diesem Bypassing-Verfahren besteht darin, dass sich die DLL genau wie ein reales Steuergerät applizieren lässt. Parameteränderungen werden sofort wirksam, ohne den Umweg über eine Anpassung in Simulink mit anschließender Neugenerierung des Codes.

Diese Applikationen zeigen, welche Möglichkeiten leistungsfähige Entwicklungs- und Diagnosesoftware in der Praxis bieten kann. CANape macht einen Teil des Hardware-Equipments überflüssig, spart Lizenzen der Modellierungssoftware und beschleunigt spürbar den Entwicklungsfortschritt durch weniger Compilerläufe. Die Applikationsingenieure bei BorgWarner profitieren von der Visualisierung des Simulink-Modells, einschließlich aller für sie wichtigen Parameter. Dabei stellen auch gehobene Echtzeitanforderungen kein Problem dar, auf PC-Plattformen sind Bypassing-Zykluszeiten von bis zu 2 ms möglich. (oe)



**Dipl.-Ing. (FH) Gerd Spinner** ist bei BorgWarner Turbo Systems Engineering GmbH im Bereich der Produktentwicklung tätig.  
E-Mail: gspinner@borgwarner.com



**Dipl.-Ing. Andreas Patzer** ist bei der Vector Informatik GmbH Business Development Manager in der Produktlinie „Measurement and Calibration“.  
E-Mail: andreas.patzer@vector-informatik.de