

# Hybrid-Antrieb erfahrbar gemacht

- **MAGNA STEYR  
stattet SUV mit  
Hybrid-Antrieb aus**
- **Hybrid-Demo-  
Fahrzeug  
mit dSPACE-  
Prototyping-  
System**
- **MicroAutoBox  
und RapidPro  
steuern Hybrid-  
Komponenten**

Die Integration von Komponenten in einem hybriden Fahrzeugantriebsstrang erfordert weitreichende Eingriffe in Elektronik und Mechanik, um eine globale Optimierung aller Systeme durch eine Hybrid-Fahrstrategie zu ermöglichen. MAGNA STEYR realisierte zusammen mit Kooperationspartnern auf Basis eines dSPACE-Prototyping-Systems (MicroAutoBox plus RapidPro) die Steuerung und Vernetzung neuer Hybrid-Komponenten in einem Serienfahrzeug. Das Hybrid-Demo-Fahrzeug HySUV (Mercedes M-Klasse) mit dem dSPACE-Prototyping-System als zentrale Antriebsstrangsteuerung macht den Hybridantrieb erfahrbar und dient MAGNA STEYR sowie den Partnern als Plattform für weitere Optimierungen hinsichtlich Fahrverhalten, Verbrauch und Emissionen.

## Antriebssysteme für die Zukunft

Die Kombination aus Verbrennungsmotor und elektrischem Antrieb in einem Fahrzeug ermöglicht es, durch Ausnutzung optimaler Betriebsbereiche der jeweiligen Antriebsart den Verbrauch, die Dynamik und das Emissionsverhalten des Fahrzeugs im Vergleich zu einem rein verbrennungsmotorisch betriebenen Fahrzeug deutlich zu verbessern. MAGNA STEYR entwickelt dafür gemeinsam

mit MAGNA POWERTRAIN und Siemens VDO, gestützt auf wissenschaftliche Ergebnisse aus dem Kompetenznetzwerk „Fahrzeugantriebe der Zukunft“ K-net KFZ, modulare Hybridantriebssysteme. Mit Unterstützung der OEMs werden bei MAGNA entwickelte Hybridkomponenten im Antriebsstrang von Prototypen integriert und vernetzt, um Optimierungspotentiale hinsichtlich Verbrauch, Dynamik und Emissionen zu untersuchen. Die Steuerung und

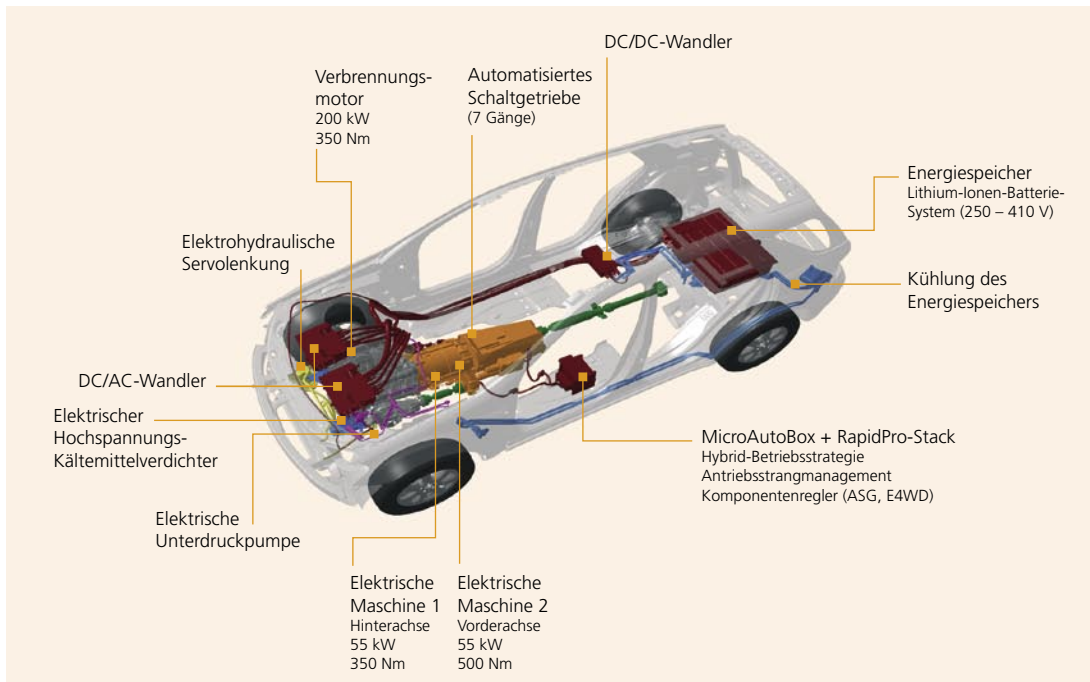
Vernetzung der neuen Komponenten im Antriebsstrang auf Basis einer zentralen Hybrid-Fahrstrategie wird mit dem dSPACE-Prototyping-System (MicroAutoBox plus RapidPro) umgesetzt. Realisiert hat MAGNA STEYR dies im Hybrid-Demo-Fahrzeug HySUV (Mercedes M-Klasse).

## Hybrid-Komponenten

Im Demofahrzeug HySUV wurden Automat- und Verteilergetriebe eines ML350 (Mercedes M-Klasse) durch ein automatisiertes Schaltgetriebe (ASG) und ein Hybridmodul (E4WD-Modul) ersetzt. Auf diese Weise wird ein Vollhybrid-Antriebsstrang mit elektrischem Allradantrieb realisiert. Der Verbrennungsmotor wirkt dabei gemeinsam mit einer elektrischen Antriebsmaschine auf die Hinterachse, während die Vorderachse ausschließlich elektrisch angetrieben wird. Kern des modularisierten Antriebsstrangkonzpts ist das



▲ Hybrid-Fahrspaß mit dem Demo-Fahrzeug HySUV (modifizierter Mercedes ML350): Auf einem Display im Inneren können Fahrer und Fahrgäste während der Fahrt live beobachten, wie der Momentenfluss über die drei Antriebsaggregate gesteuert wird.



◀ Alle Komponenten des Hybrid-Antriebsstrangs werden im Demo-Fahrzeug über das dSPACE-Prototyping-System (MicroAutoBox plus RapidPro-Hardware) gesteuert.

E4WD-Modul von MAGNA, das aus zwei elektrischen Maschinen mit je 55 kW und vier hydraulisch betätigten Lamellenkupplungen zur Steuerung des Momentenflusses besteht. Als Energiespeicher dient ein bei MAGNA STEYR entwickeltes 70 kW / 360 V-Lithiumionen-Batteriesystem. Die Nebenaggregate des Verbrennungsmotors werden für den rein elektrischen Fahrbetrieb durch elektrisch betriebene Komponenten ersetzt.

### Auswahl der Prototyping-Hardware

Unser Ziel war es, alle Komponenten des Hybrid-Antriebsstrangs mit nur einem Prototyping-System zu steuern. Deshalb waren die Anforderungen sowohl an Rechenleistung als auch an Hardwareschnittstellen entsprechend hoch. Die eingesetzte MicroAutoBox ist bei MAGNA STEYR zu einem Standardwerkzeug avanciert, mit dem verschiedenste Anwendungen aus dem Antriebsstrang effektiv zu Prototypen umgesetzt werden. Hauseigene Treiberhardware steht für die geforderte umfangreiche Signalkonditionierungs-I/O und die Leistungstreiber nicht zur Verfügung. Eigenbau oder Fremdbeauftragung bieten sich erst bei größeren Stückzahlen und entsprechender Vorbereitungszeit an. Bei MAGNA STEYR setzen wir deshalb zusätzlich zur MicroAutoBox das RapidPro-System ein, eine frei konfigurierbare, erweiterbare Treiber-Hardware-Lösung, die unsere Anforderungen voll erfüllt. Die Flexibilität durch software- und hardwarekonfigurierbare Eingangsbeschaltung der Signal-I/O ist insbesondere in frühen Phasen einer Prototypentwicklung von Vorteil, wo Sensorik und Aktuatorik noch nicht vollständig definiert sind. Die erprobte Hardware von RapidPro bietet zusammen mit den

„Die MicroAutoBox ist bei MAGNA STEYR zu einem Standardwerkzeug avanciert, mit dem verschiedenste Anwendungen aus dem Antriebsstrang effektiv zu Prototypen umgesetzt werden.“

**Dipl.-Ing. Theodor Schöberl, MAGNA STEYR  
Fahrzeugtechnik AG & Co KG**

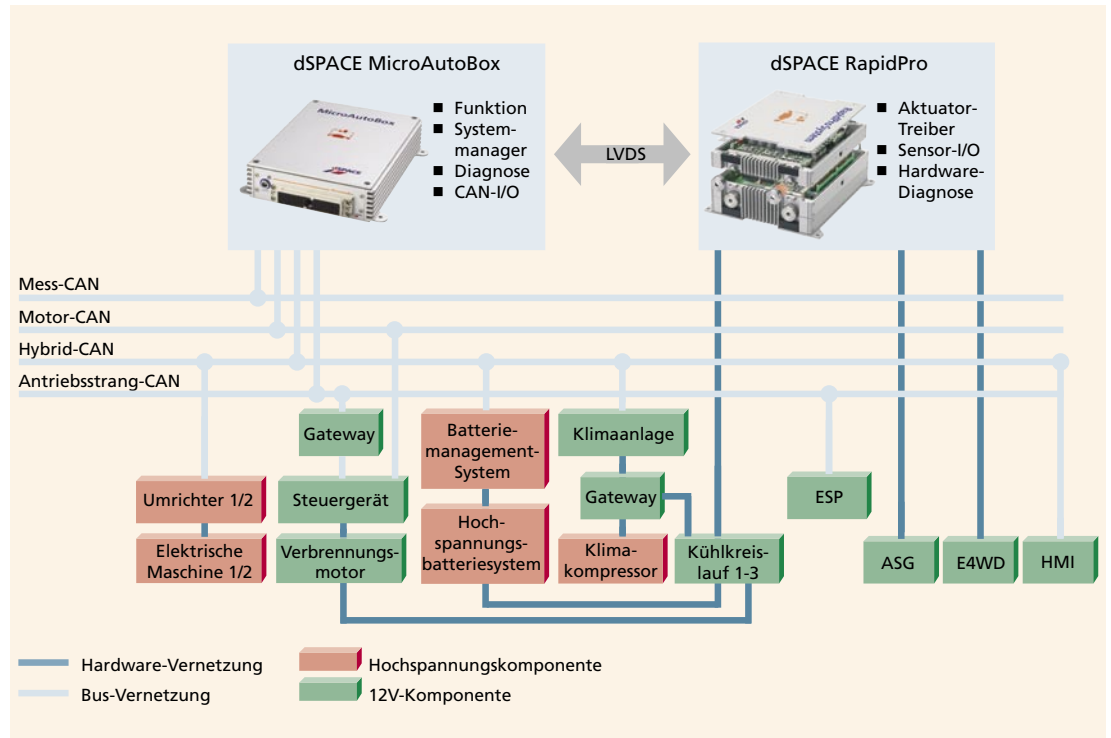
in die Funktionssoftware integrierbaren Diagnosebausteinen die nötige Sicherheit, um sich intensiv den zentralen Themen der Funktionsentwicklung widmen zu können. MAGNA STEYR setzt für das Demofahrzeug HySUV einen Stack aus drei RapidPro-Power-Units und einer RapidPro-Control-Unit (MPC565) ein.

### RapidPro-Systemdaten

- 13 über PWM-Signale gesteuerte Ventile mit PWM-synchroner Strommessung
- 4 PWM-gesteuerte Pumpen
- 12 Digitaleingänge für Druck-, Weg- und Drehzahlmessung
- 8 Analogeingänge für Temperatur- und Druckmessung

### Durchgängiger Entwicklungsprozess

Die Funktions- und Softwareentwicklung wird von Anfang an vor dem Hintergrund eines möglichst nahtlosen Übergangs in die Serienentwicklung und damit in die Seriene-Generierung betrachtet.



▲ Systemarchitektur: Vernetzung des dSPACE-Prototyping-Systems im Fahrzeug.

Wir bei MAGNA STEYR verwenden für die Serien-code-Generierung dSPACE TargetLink. Die daraus resultierenden Anforderungen werden bereits im Konfigurationsmanagement berücksichtigt und gehen über die Designphase bis hin zu Modellierungsrichtlinien und Modellbibliotheken. Die Simulink®/Stateflow®-Entwicklungsumgebung wurde dahingehend erweitert, dass eine Modularisierung über mehrere Hierarchieebenen zur Bearbeitung durch Entwicklungsteams möglich wird. Damit wird auch eine Variantenverwaltung für Simulation, Rapid Prototyping, Seriercode bzw. Prüfstandsbetrieb ermöglicht.

### Die Funktionsentwicklung

Der modulare Aufbau der Antriebsstrangkomponenten spiegelt sich im Software-Design wider. Sowohl die Skalierbarkeit für eine Vielzahl möglicher hybrider Antriebsstrangkonfigurationen als auch Aspekte kundenspezifischer Funktionsumfänge in Serienprojekten sind hier berücksichtigt. Die Steuerungssoftware umfasst Funktionen und Schnittstellen des gesamten Momentenpfads im Antriebsstrang, von der Erfassung des Fahrerwunsches über Betriebspunktwahl der Antriebskomponenten, traktionsoptimierte Verteilung des Antriebsmoments bis hin zur Komponentenregelung von Kupplungen, automatisiertem Schaltgetriebe und Nebenaggregaten. Hinzu kommen zentrale Funktionen

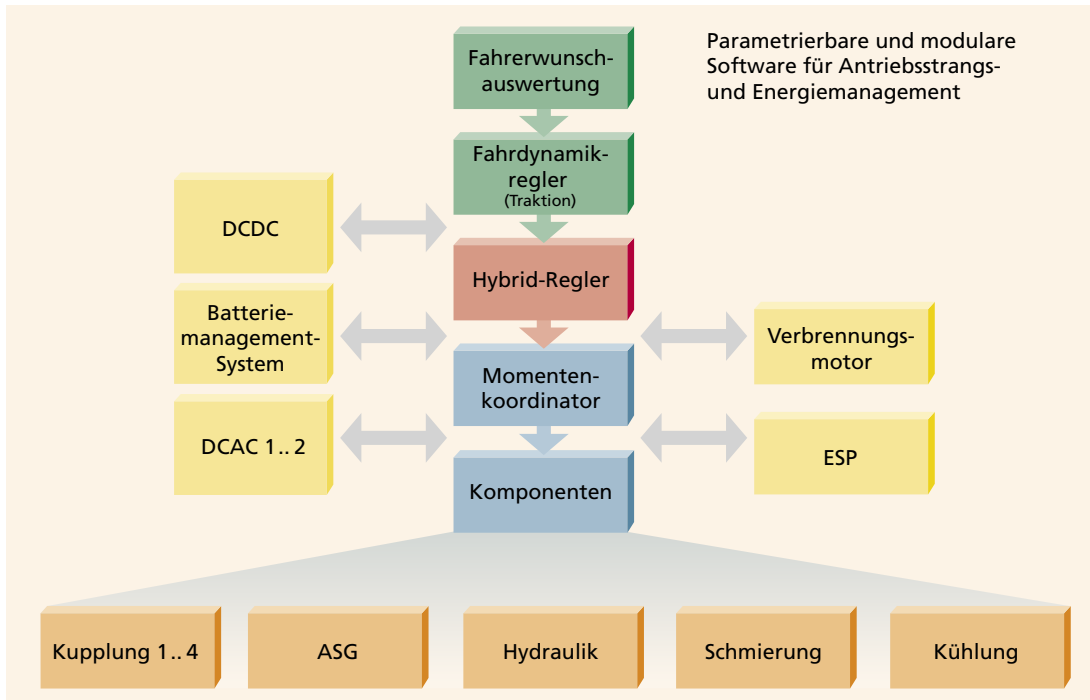
zur Steuerung der Betriebszustände der Komponenten im Antriebsstrang sowie Erfassung und Auswertung diagnoserelevanter Informationen aus der Funktionssoftware und dem RapidPro-Stack.

### Softwarekomponenten

- **Fahrerwunschermittlung:** Ermittlung des Fahrerwunschemoments aus dem Fahrpedal, Bremspedal und Gangwahlhebel
- **Fahrdynamikregler:** Traktionsoptimierte Verteilung des Fahrerwunschemoments auf die Achsen unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit
- **Hybrid-Regler:** Ermittlung von Momentenverteilung und Sollgang unter Berücksichtigung von Gesamtwirkungsgrad, Dynamikanforderung, Batterieladestatus, Komfort und thermischen Randbedingungen
- **Momenten Koordinator:** Management der Konfigurationen und Steuerung der transienten Vorgänge im Antriebsstrang
- **Komponentensteuerung:** Komponentenregelung im automatisierten Schaltgetriebe und E4WD-Modul

### Komponententest

Hardwarenahe Funktionen wie Komponentenregelungen und Getriebesteuerung werden bereits in frühen



▲ Eine Vielzahl von Softwarekomponenten sorgt dafür, dass der über Fahrpedal, Bremspedal und Gangwahlhebel ermittelte Fahrerwunsch in jeder Fahrsituation optimal durch den Hybridantrieb umgesetzt wird.

Projektphasen mit der Prototyping-Hardware an den Komponenten getestet und optimiert. Der Hybrid-Regler als Kern der Fahrstrategie kann erst in einem funktions-tüchtigen Fahrzeug erprobt werden. Um diese Funktion jedoch bereits in frühen Projektphasen abzusichern, muss eine Simulationsumgebung entwickelt werden. Hierzu wurden von uns Modelle des Antriebsstrangs und der Hybridkomponenten, die bei Projektbeginn zur Bewertung von Konzepten dienen, adaptiert. Mit Hilfe eines parametrierbaren Fahrermodells ist es möglich, verschiedene Fahrprofile zur Beurteilung des Fahrverhaltens bei Anfahrmanövern, im Zug-, Schubbetrieb und beim Gangwechsel zu realisieren und das Systemverhalten in Grenzsituationen zu untersuchen. Das so entstandene Modell ist zusammen mit dem Hybrid-Regler auf der MicroAutoBox lauffähig, womit man Effekte der Codegenerierung und Laufzeiteigenschaften bereits früh untersuchen kann.

### Optimierungsschritte

Die aufwendigen Berechnungen für die Vielzahl verschiedener, parallel zu berechnender Antriebsstrangkonfigurationen im Hybrid-Regler verlangen beträchtliche Rechenleistung. Trotz der Implementierung eines Multitaskingsystems zur gezielten Ressourcenverteilung führte das umfangreiche Modell die MicroAutoBox während der Integrationsphase bis an die Grenzen ihrer Rechen-

leistung. Über Untersuchungen des Ressourcenverbrauchs und über Code-Reviews konnten wir jedoch die Laufzeitfresser im Modell identifizieren. In der Folge mussten zusätzlich zu den gewählten Optimierungseinstellungen im Codegenerator (Real-Time Workshop®) auch Modellierungsmaßnahmen zur Steigerung der Codeeffizienz durchgeführt werden.

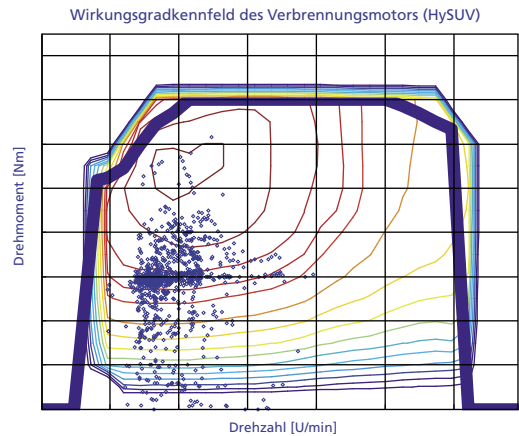
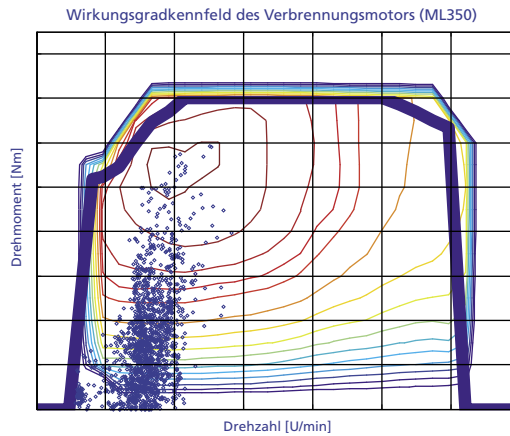
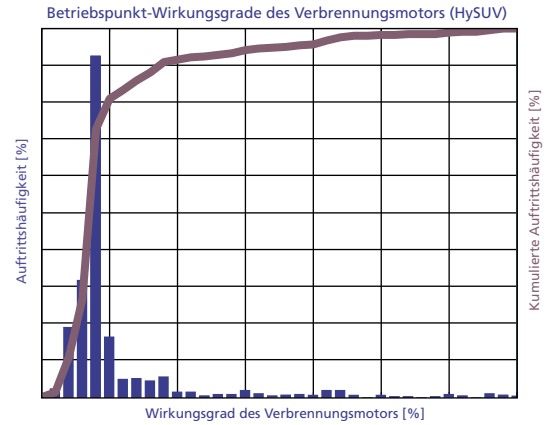
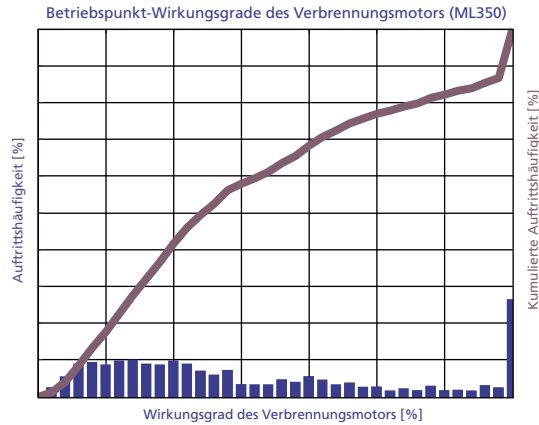
### Aktuelle Modelldaten

- 44.000 Blöcke
- 257.000 Zeilen generierter C-Code (Real-Time Workshop®)
- Codegenerierungszeit: 1 h 40 min auf einem Core 2 Duo 2,67 GHz; 4 GB RAM
- 4,5 MB MicroAutoBox-Applikation
- 4 Tasks mit 95 % CPU-Last auf der MicroAutoBox

### Inbetriebnahme im Fahrzeug

Die Inbetriebnahme im Fahrzeug erfolgte schrittweise. Bereits in der Basisabstimmung zeigt sich der positive Einfluss der Betriebsstrategie auf die Betriebspunktverteilung des Verbrennungsmotors. Bereiche mit niedrigem Wirkungsgrad werden von der Betriebsstrategie durch rein elektrischen Betrieb oder Lastpunktanhebung des Verbrennungsmotors ersetzt. Ein aktueller Schwerpunkt der





▲ Kundennahe Vergleichsfahrten zeigen den positiven Einfluss der Betriebsstrategie in der Betriebspunktverteilung des Verbrennungsmotors. Betriebspunkte mit niedrigem Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors werden durch elektrischen Betrieb oder Lastpunktanhebung des Verbrennungsmotors ersetzt. Ergebnis: eine deutliche Verschiebung der Betriebspunkte hin zum optimalen Betriebsbereich des Verbrennungsmotors.

Inbetriebnahme liegt bei den Anfahrstrategien und beim Boostbetrieb. Unterstützung erhält die Fahrzeugentwicklung durch die Simulation des Hybrid-Reglers auf Basis adaptierter Simulationsmodelle und realer Messwerte.

### Wie geht es weiter?

Nach erfolgreicher Implementierung der Funktionssoftware und deren Test befinden wir uns nun in der Fahrversuchsphase mit dem Ziel weiterer Optimierungen. Das erprobte, modulare dSPACE-Prototyping-System gibt uns dabei die notwendige Sicherheit und Flexibilität. Zu unseren geplanten Aktivitäten gehören:

- Untersuchung und Optimierung dynamischer Vorgänge im Antriebsstrang
- Erweiterung des Antriebsstrangmodells zur Untersuchung dynamischer Vorgänge und Weiterentwicklung des Traktionsreglers in der Simulation

- Optimierung der Betriebsstrategie hinsichtlich Performance, Verbrauch und Emissionen
- Erweiterte Integration des Bremssystems in die Betriebsstrategie zur optimalen Rückgewinnung der Bremsenergie
- Die Lithiumionen-Batterie wird bei MAGNA STEYR zur Serienreife entwickelt. Für die Funktionssoftwareentwicklung des Batteriemanagementsystems kommt TargetLink zum Einsatz.

*Dipl.-Ing. Theodor Schöberl*  
*Dipl.-Ing. Franz-Gunnar Grein*  
*Abt. Antriebsstrang- und Fahrwerkregelsysteme*  
*MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & Co KG*  
*Graz, Österreich*