

# Mehr Schwung, weniger Sprit

FEV Motorentechnik:  
Betriebsstrategie für  
Hybridantrieb

Elektrische Boost-  
Unterstützung

Verifikation mit  
dSPACE Simulator

Die Kombination aus einem Turbomotor und einem Elektromotor bietet dieselbe Leistung wie ein größerer Saugmotor, jedoch bei geringerem Kraftstoffverbrauch und reduzierten Schadstoffemissionen. Die FEV Motorentechnik optimiert in einem Projekt die Betriebsstrategie für die so genannten „Downsizing-Motoren“. Diese Motoren verbrauchen deutlich weniger Kraftstoff bei gleichzeitig hervorragenden Beschleunigungseigenschaften. FEV validiert die Ansteuerung mit einem Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulator von dSPACE.

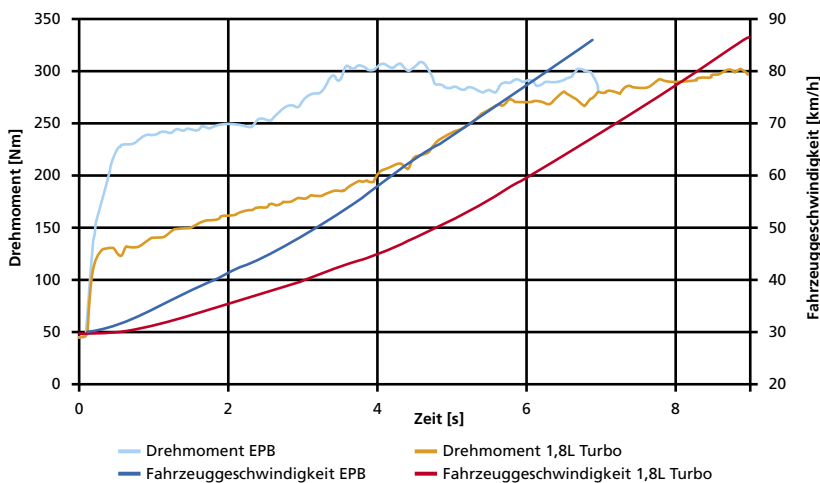
Turbomotoren haben im Vergleich zu gleich starken, frei ansaugenden Motoren bei niedrigen Drehzahlen ein geringeres Drehmoment. Kombiniert man den Turbomotor aber mit einem Elektromotor, lässt sich das dynamische Drehmomentverhalten deutlich verbessern. Da der Elektromotor bei niedrigen Drehzahlen ein hohes Drehmoment bietet, kann er das

## Downsizing

Im Zuge des Downsizings haben wir den Basismotor, einen 3,0-l-Saugmotor, durch einen 1,8-l-Turbomotor ersetzt und

*„Der Hardware-in-the-Loop-Aufbau erlaubt uns eine zeiteffiziente und somit kostensparende Optimierung der Algorithmen.“*

*Marco Jentges, FEV Motorentechnik GmbH,  
Aachen*



▲ *Vollastbeschleunigung von 30 km/h bis 80 km/h im dritten Gang. Vergleich Electric Power Boost (EPB) zum 1,8-l-Turbomotor.*

Drehmomentdefizit des Turbomotors ideal kompensieren. Trotz des zusätzlichen Elektromotors darf sich allerdings weder das Gesamtgewicht des Fahrzeugs noch der Platzbedarf beider Motoren ändern. Aus diesem Grund kombiniert man den Elektromotor mit einem hubraumverkleinerten Turbomotor zu einem so genannten Downsizing-Motor. Bei FEV Motorentechnik haben wir verschiedene Betriebsstrategien zur Ansteuerung dieser Downsizing-Motoren entwickelt und mit einem HIL-Simulator von dSPACE validiert. Das Ziel war, durch optimierte Ansteuerung beider Motoren vorhandene Kraftstoffeinsparpotenziale auszuschöpfen und gleichzeitig die Fahreigenschaften zu verbessern.

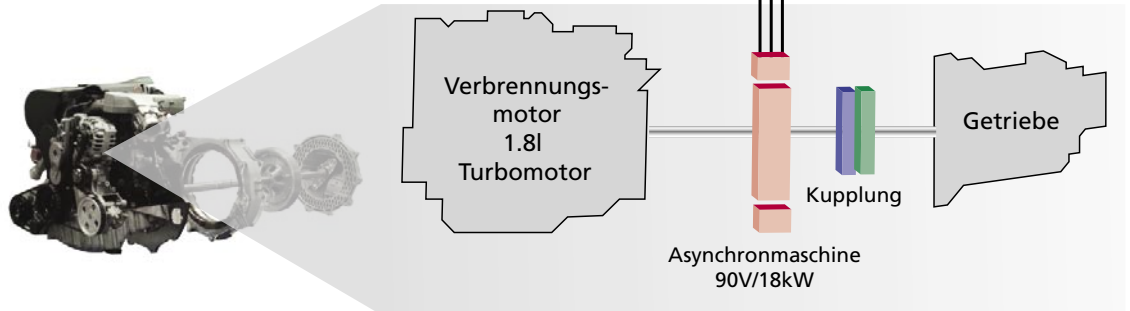
durch einen Elektromotor ergänzt. Das EPB-Fahrzeug (Electric Power Boost) der FEV Motorentechnik liefert somit die Leistung und Performance des Basisfahrzeugs mit dem größeren Motor, emittiert jedoch weniger Schadstoffe und verbraucht weniger Kraftstoff. Die elektrische Leistung dient dabei zur Erhöhung des Drehmoments beim Anfahren und Beschleunigen. Zur Energieversorgung des kleinen Elektromotors reichen Doppelschicht-Kondensatoren („Super-Caps“), denn die zusätzliche Energie wird nur kurzfristig benötigt. Die Betriebsweise des Motors konventioneller Fahrzeuge wird hauptsächlich vom Fahrer beeinflusst. Bei hybriden Antriebssträngen kommt dagegen den hinterlegten Algorithmen große Bedeutung zu. Besonders wichtig ist, dass ein optimales Fahrverhalten des Fahrzeugs erreicht wird.

## Betriebsstrategie

Die Hybridsteuerung verteilt das Fahrerwunschmoment auf die Antriebsaggregate. Sie kann je nach Ausrichtung hinsichtlich Energieverbrauch oder Beschleunigungsverhalten optimiert werden. Diese Zielgrößen lassen sich in mehrere übergeordnete Zielgrößenklassen zusammenfassen:

- Gewährleistung der Fahrbarkeit
- Minimierung des Gesamtkraftstoffverbrauchs
- Minimierung der Emissionen
- Gewährleistung der Dauerhaltbarkeit der Motorkomponenten
- Minimierung der Geräuschemissionen

Die Zielgrößen schließen sich teilweise gegenseitig aus, so dass eine Gewichtung und eine Bewertung notwendig sind. So führt ein Dauereinsatz des Elektromotors zwar zunächst zu einer emissionsfreien Fahrt, mittelfristig wird jedoch der elektrische Energiespeicher geleert. Daher darf der Schwerpunkt der Steuerung nicht allein auf Schadstoff- und Kraftstoffreduzierung liegen.



## HIL-Simulation

Obwohl nur ein Teil der Antriebsstrangkomponenten verfügbar war, konnten wir bei der FEV Motorentechnik bereits frühzeitig den Einfluss der Betriebsstrategie auf das Verhalten des Antriebsstrangs testen. Dazu wurde der HIL-Simulator von dSPACE eingesetzt. Real vorhanden waren die Motorsteuerung des Basisfahrzeugs sowie die Hybridsteuerung. Zusätzlich wurden einige Aktuatoren des Basismotors sowie das Cockpitmodul über den Motorkabelbaum auf einem Bread-Board miteinander verbunden. Kernstücke des dSPACE-Simulators sind das DS1005 PPC Board zur Berechnung der Echtzeitsimulation und das DS2210 HIL I/O Board für Simulation und Messung aller Motorsignale. Nicht real vorhandene Antriebsstrangkomponenten wurden mit MATLAB®/Simulink® modelliert und mit Real-Time Workshop auf das DS1005 heruntergeladen. Bei den Modellen handelte es sich um den Verbrennungsmotor, den Elektromotor, die Super-Cap-Einheit, die Kupplung, das Getriebe, die komplette Längsdynamik des Antriebsstrangs und den Fahrer. In mehreren Simulationsläufen wurden die zwei zentralen Zielkriterien, Verbrauchsreduktion und Fahrverhalten, untersucht.

## Ergebnis

Die Messergebnisse belegen eindrucksvoll, wie deutlich sich das EPB-Fahrzeug vom Fahrzeug ohne Elektromotor absetzen kann: Um von 30 km/h auf 80 km/h zu beschleunigen, benötigt das Fahrzeug mit dem 1,8-l-Turbomotor 8,4 Sekunden und das EPB-Fahrzeug 6,4 Sekunden. Das Basisfahrzeug mit

3,0-l-Saugmotor benötigt rund 7 Sekunden. Die Verbrauchseinsparungen des EPB-Fahrzeugs betragen im Vergleich zum 3,0-l-Saugmotor rund 24 % im NEFZ (Neuer europäischer Fahrzyklus). Der große Nutzen der Kombination von Downsizing und Hybridtechnologie ist also die deutliche Verbrauchsreduktion unter allen relevanten Fahrbedingungen mit hervorragenden Beschleunigungswerten.

Der Einsatz von dSPACE-Simulator hatte den großen Vorteil, dass wir bei der FEV Motorentechnik mit den Vergleichstests schon in einer frühen Entwicklungsphase beginnen konnten, obwohl noch nicht alle Komponenten vorhanden waren.

Marco Jentges

Elektronik und Mechatronik / Hardware-in-the-Loop

FEV Motorentechnik GmbH

Aachen, Deutschland

▲ Die Topologie des Hybridantriebsstrangs.

**Bread-Board** – Systeme, um elektronische Schaltungen unkompliziert ohne geätzte Platinen und Lötens aufzubauen.

**Super-Caps** – Doppelschichtkondensatoren mit hoher Leistungsdichte im Kurzzeitbereich.

**NEFZ (Neuer europäischer Fahrzyklus)** – Gesetzlich vorgeschriebener Fahrzyklus, um Emissions- und Verbrauchswerte zu ermitteln.