

Innovative Ventiltriebssysteme

Im Verlauf der letzten 10 Jahre haben Ottomotoren und Dieselmotoren recht unterschiedliche Entwicklungen erfahren. Eine dramatische Evolution hat vor allem der Dieselmotor hinter sich.

Hierbei hat er in seinem Leistungsvermögen fast zum Ottomotor aufgeschlossen. So liegt er im Drehmoment mittlerweile deutlich vorne. Speziell der für den Fahrereindruck wichtige Drehmomentverlauf bei niedrigen Drehzahlen führt zu einem von den meisten Fahrern als angenehm empfundenen Fahrverhalten.

Die dieselmotorischen Vorteile im Kraftstoffverbrauch sind trotz der leistungssteigernden Entwicklungsschritte unverändert geblieben.

Trotzdem hat auch der Ottomotor eine starke Lobby, die aufgrund seiner Vorteile in Bezug auf

- Emissionsverhalten,
- Produktionskosten/Profit und
- Akustik/Komfort

die Weiterentwicklung neuer Technologien zur Optimierung von

- Kraftstoffverbrauch,
- Mitteldruck bei niedrigen Drehzahlen sowie
- Emissionen

in hohem Maße forciert.

Neben der Direkteinspritzung und dem Downsizing stellt vor allem der variable Ventiltrieb das größte, durch eine Einzelmaßnahme erzielbare Potenzial in Bezug auf den Kraftstoffverbrauch beim Ottomotor dar. Hierbei haben letztgenannte Technologien den Vorteil gegenüber der Direkteinspritzung, dass konventionelle Abgasnachbehandlungsverfahren genutzt werden können und keine Abhängigkeit von der Kraftstoffqualität besteht. Somit sind diese Technologien weltweit einsetzbar.

In den letzten Jahren haben sich verschiedene neue Möglichkeiten zur Darstellung eines variablen Ventiltriebes etabliert.

Besuchen Sie unseren Stand beim
SAE World-Congress
4.-7. März 2002 in Detroit

INHALT

Seite 1 Innovative Ventiltriebssysteme

Seite 4 Turbomotoren mit Benzindirekteinspritzung

Seite 5 Intelligenter Antriebsstrang

Seite 7 Fahrzeugphysik/Akustik

Seite 8 NVH Troubleshooting

ZUM GELEIT



Liebe Leserinnen
und Leser,

diese Ausgabe des
Spectrums erscheint
zeitgleich mit dem
Beginn des SAE
Kongresses 2002 in
Detroit, Michigan.

Auch in diesem Jahr wird FEV diesen internationalen Kongress mit Veröffentlichungen, Fachvorträgen und einer Ausstellung unterstützen. Unser Messestand wird eine Auswahl kostenoptimierter Technologien zur Reduzierung von Kraftstoffverbrauch und Emissionen zeigen.

Selbstverständlich ist die FEV als Entwickler innovativer Technologien bestens bekannt, aber der Schwerpunkt unserer täglichen Arbeit liegt auf dem Seriengeschäft. Hierzu gehört die Serienentwicklung kompletter Motorenfamilien und die Fahrzeugapplikation (inkl. OBD) bis zum SOP. Alle Serienentwicklungen unterliegen strengsten, qualitätssichernden Abläufen wie z.B. SIX-SIGMA.

Mit Beginn des Jahres 2002 ist die internationale Automobilindustrie mit dem rückläufigen Wirtschaftswachstum konfrontiert. Hierdurch lastet ein enormer Kostendruck auf der Zulieferindustrie. Die FEV stellt sich der Herausforderung der Kostenreduzierung unserer Dienstleistung und unserer Mess- und Prüftechnik ohne Einbußen an Qualität und Zuverlässigkeit. Durch die konsequente Nutzung unserer analytischen Methodiken, unserer Sondermesstechnik und durch den Einsatz innovativster Technologien werden wir beide Ziele erreichen.

Sie sind herzlich eingeladen, all dieses am Stand 1411 zu erleben.

Mit freundlichen Grüßen

Ihr

Gary Rogers
President und CEO, FEV Engine Technology, Inc.

Fortsetzung Titelseite

Der Grad der Variabilität ist bei den unterschiedlichen Lösungen das Hauptunterscheidungskriterium. Diese werden im Folgenden näher beschrieben.

Der erste Schritt in Richtung eines variablen Ventiltriebes besteht in der Applikation einer Nockenwellenverstellung für die Ein- und Auslassnockenwelle. Das Potenzial dieser Maßnahme liegt im Vergleich zu einem Basismotor (2,0l, 4-Zyl., 4V DOHC-Ventiltrieb) bei etwa 4% Verbesserung im Kraftstoffverbrauch, geringeren Emissionen sowie einem erhöhten Mitteldruck im gesamten Drehzahlband. Die Systemkosten der Doppelnockenwellenverstellung liegen in dem betrachteten Fall bei etwa 100 EUR.

Die nächste Stufe der Variabilität liegt in der Darstellung einer Zylinderabschaltung (ZAS), wobei hier der Focus im Wesentlichen auf der Reduzierung des Kraftstoffverbrauches liegt. Prinzipbedingt ist diese Maßnahme vorrangig für Motoren mit großer Zylinderzahl geeignet. Die FEV entwickelt derzeit einen abschaltbaren Rollenschlepphebel mit ruhendem hydraulischen Ventilspielausgleich (HVA). Dieser eignet sich für alle entsprechenden Rollenschlepphebelventiltriebe, wobei Abstände zwischen Ventilachse und HVA von unter 35 mm realisierbar sind. Verglichen mit dem Basismotor ist mit dieser Maßnahme eine Verbrauchsreduzierung von 8% realistisch. Diese Verbesserung ist primär eine Folge der entfallenden Ladungswechselarbeit bei den abgeschalteten Zylindern und der Verschiebung des Lastpunktes bei den verbleibenden Zylindern. Auf Leistung und Drehmoment hat diese Maßnahme keinen positiven Einfluss. Die Systemkosten der Zylinderabschaltung liegen bei etwa 125 EUR.

Eine erheblich größere Innovation stellt der vollvariable Ventiltrieb dar. Hierbei sind zwei Prinzipien zu unterscheiden, die beide bei der FEV in Entwicklung sind:

- Mechanisch variabler Ventiltrieb (MVVT)
- Elektromechanischer Ventiltrieb (EMVT)

Der MVVT hat auf der Einlassseite gerade in der jüngsten Vergangenheit eine starke Dynamik in der Entwicklung erfahren. Der Serienanlauf der Valvetronic Motoren bei BMW hat die Aktivitäten auf diesem Arbeitsgebiet nochmals verstärkt.

Gemeinsam mit einem großen Automobilzulieferer hat die FEV einen mechanisch variablen Ventiltrieb in Entwicklung, der allen seriengerechten Ansprüchen bei optimaler Variabilität gerecht wird. Die Mechanik zur Darstellung der Variabilität wird parallel auf Basis eines Rollenschlepp-/kipphebels als auch unter Berücksichtigung eines Tassenstößels differenziert untersucht. Der Ventilhub lässt sich in den Bereichen



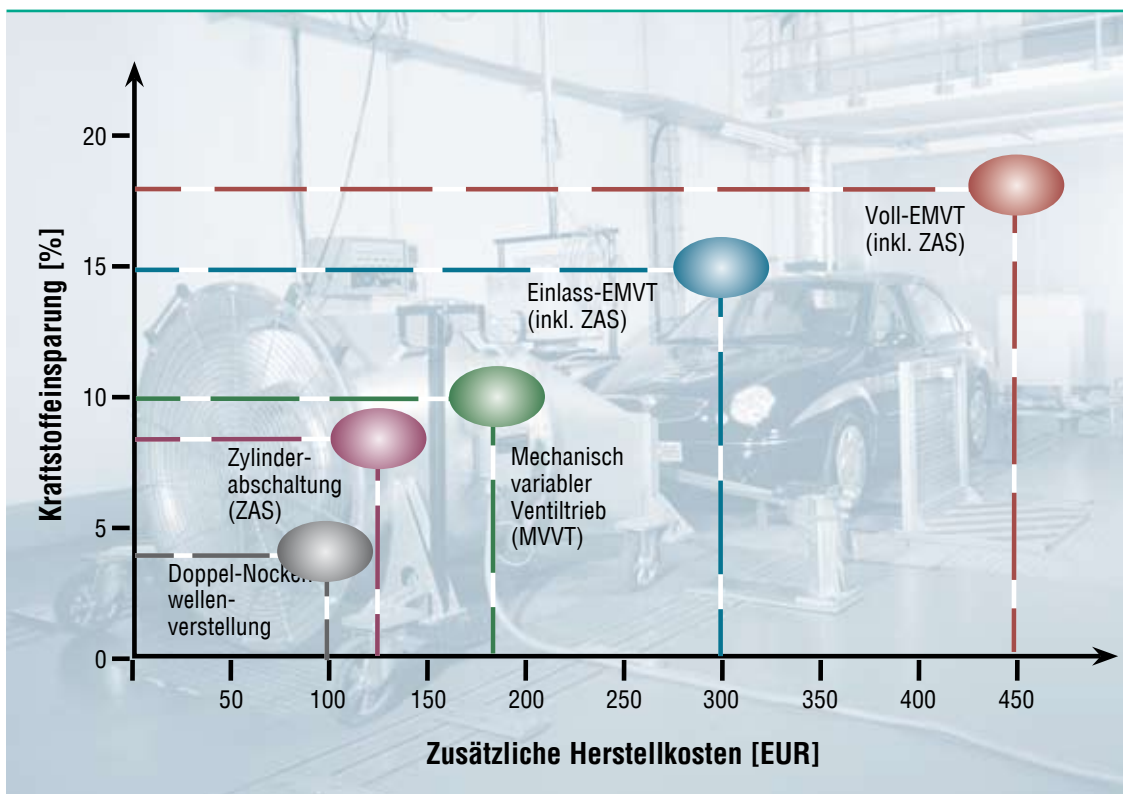
von 11 mm bis auf Nullhub stufenlos variieren, wobei gleichzeitig die Erhebungsdauer in den thermodynamisch sinnvollen Grenzen verringert werden kann. Die thermodynamischen Grundlagenuntersuchungen am EMVT fließen in vollem Maße in die Arbeit am MVVT ein. Verglichen mit dem Basismotor liegt das Verbrauchspotential des MVVT bei über 10%. Hinzu kommt ein deutlich verbessertes Emissionsverhalten sowie ein optimierter Drehmomentverlauf bei niedrigen Drehzahlen, verursacht durch eine bessere Füllung. Die Zusatzkosten des MVVT liegen für den betrachteten Motor bei etwa 170 EUR.

Die maximale Funktionalität stellt der elektromechanische Ventiltrieb für die Ein- und Auslassseite dar. Dieser kombiniert die drosselfreie Laststeuerung mit

Auslassseite kombiniert, ergeben sich mit Werten von etwa 15% annähernd die gleichen Verbrauchspotentiale wie bei einem ein- und auslassseitigen EMVT, wobei Nachteile in den Rohemissionen zu berücksichtigen sind. Die Zusatzkosten liegen für diese Konstellation bei ca. 300 EUR.

Die Entwicklungsprozesse der erwähnten Ventiltriebssysteme werden bei der FEV durch den effizienten Einsatz moderner Simulationswerkzeuge und statistischer Versuchsplanung getragen und beschleunigt.

Hierbei werden sowohl speziell entwickelte Programme als auch kundenkompatible Software eingesetzt, sodass das Simultaneous Engineering mit dem OEM optimal umgesetzt werden kann. Das Know-How in



der Option einer Zylinderabschaltung (fest oder rotierend) und einer Ventilabschaltung. Aufgrund der systemimmanenten Funktionalitäten ist das Potential in Bezug auf den Kraftstoffverbrauch unter allen bekannten Systemen mit 18% am größten. Die Zusatzkosten des Voll-EMVT liegen für den betrachteten Motor bei etwa 450 EUR, wobei der Entfall von verschiedenen Bauteilen (Nockenwelle, Steuertrieb, etc.) berücksichtigt wurde. Einen guten Kompromiss in Bezug auf das Kosten/Nutzenverhältnis stellt der nur einlassseitig applizierte EMVT Ventiltrieb in Verbindung mit einem nockengesteuerten Auslassventiltrieb dar. Bei dieser Ausführungsform ist vorteilhaft, dass bei voller Variabilität auf der Einlassseite der Vorgang "Auslass öffnen", der große Kräfte bedingt, gegen die Nockenkraft erfolgen kann. Wird der Einlass-EMVT mit abschaltbaren Schleppebeln auf der

Bezug auf Konstruktion, Mechanikentwicklung, Brennvorfahrensentwicklung und Motorapplikation im Fahrzeug kommt dabei voll zum Tragen.

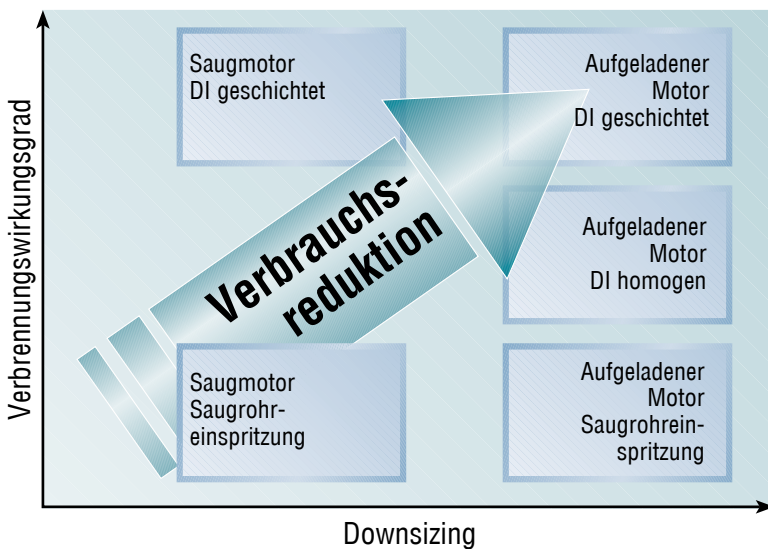
Fazit: Im Bereich der Ottomotoren mit variablem Ventiltrieb werden zur Zeit verschiedene Systeme mit unterschiedlichem Grad der Variabilität parallel entwickelt. Die Auswahl der anwendbaren Technologien richtet sich hierbei nach dem Motorkonzept, der Marktstrategie sowie weiterer Größen wie Hubvolumen, Zylinderzahl und Produktionsvolumen. Die FEV hat für alle Ventiltriebsbauformen und Variabilitäten Systeme in Entwicklung und kann bei der Darstellung eines zukunftsweisenden Motorkonzeptes mit Rat und Tat unterstützen.

Dipl.-Ing. Markus Duesmann

Turbomotoren mit Benzindirekteinspritzung

Nachdem die ottomotorische Abgasturboaufladung in der Vergangenheit vorzugsweise sportlich orientierten Fahrzeugen vorbehalten war, hat sich in den letzten Jahren ein deutlicher Trend zu ihrer Anwendung in Großserienprodukten eingestellt. Hintergrund dieser Entwicklung ist das mit der Aufladung verbundene Downsizing, mit dessen Hilfe sich die Fahrleistung eines hubraumgrößerer Motors bei geringerem Kraftstoffverbrauch darstellen lässt. Ursache hierfür ist die mit der Hubraumreduzierung verbundene Verlagerung der Betriebspunkte hin zu höheren Mitteldrücken. Die im normalen Fahrbetrieb und auch im Testzyklus vorherrschenden Betriebspunkte geringer Last werden hierdurch zu höheren Mitteldrücken und damit in Richtung kleinerer spezifischer Verbräuche verschoben.

Verbrauchs-konzepte

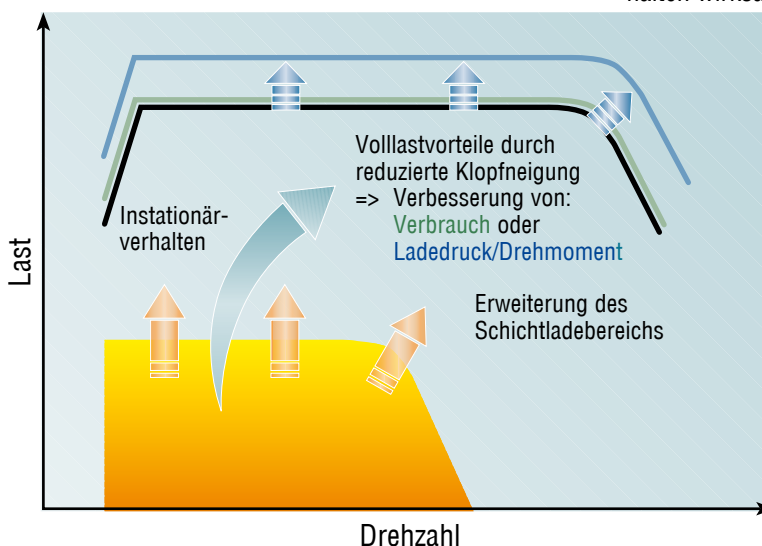


Im Bereich der Volllast weisen Turbo-Ottomotoren jedoch Wirkungsgradnachteile gegenüber dem konventionellen Saugmotor auf. Diese ergeben sich aus der Klopfbegrenzung, die bei Turbomotoren üblicherweise die Absenkung des Verdichtungsverhältnisses um 1 bis 2 Einheiten erforderlich macht. Dies wirkt sich auch auf die Effizienz im Teillastbereich aus, wodurch ein Teil der beschriebenen Downsizing-Effekte wieder aufgezehrt wird. Darüber hinaus ist es notwendig, die Abgastemperaturen an der Volllast zur Begrenzung der Turbineneintrittstemperatur durch Gemischanreicherung abzusenken. Dies wird umso kritischer als das Verdichtungsverhältnis im Interesse guter Teillastwirkungsgrade auf relativ hohem Niveau ausgelegt wird und deshalb der Klopfneigung verstärkt durch Spätzündung begegnet werden muss.

Aus diesen Gründen bleiben die mit turboaufgeladenen Ottomotoren verwirklichten Verbrauchseinsparungen gegenüber leistungs- und drehmomentgleichen Saugmotoren insbesondere im praktischen Fahrbetrieb häufig weit hinter den theoretisch erwarteten Potenzialen zurück. Die Kombination mit einer Benzindirekteinspritzung kann jedoch einen Großteil zur Lösung dieser Problematik beihelfen.

Nach den bei der FEV vorliegenden Erfahrungen kann allein mit der Anwendung der Benzindirekteinspritzung in einem $\lambda=1$ -Konzept mit homogener Gemischbildung (Einspritzung während des Ansaugtaktes) eine deutliche Verbesserung des Kraftstoffverbrauches erreicht werden. Dabei ist es möglich das Verdichtungsverhältnis gegenüber dem konventionellen Turbomotor um mehr als eine Einheit zu erhöhen. Die sich daraus ergebenden Vorteile schlagen sich im europäischen Testzyklus (NEFZ) mit einem Verbrauchsvorteil von 3-4% nieder. Dieses Motor-konzept ist auch deshalb besonders attraktiv, weil einerseits zusätzliche Vorteile der Benzindirekteinspritzung als auch ein verbessertes Lastannahmeverhalten wirksam werden und andererseits die von

Potential der Kombination Direkteinspritzung und Turboaufladung



Otto-DI-Magerkonzepten bekannten Aufwendungen für die Abgasreinigung im sauerstoffhaltigen Abgas (NO_x -Adsorber) entfallen.

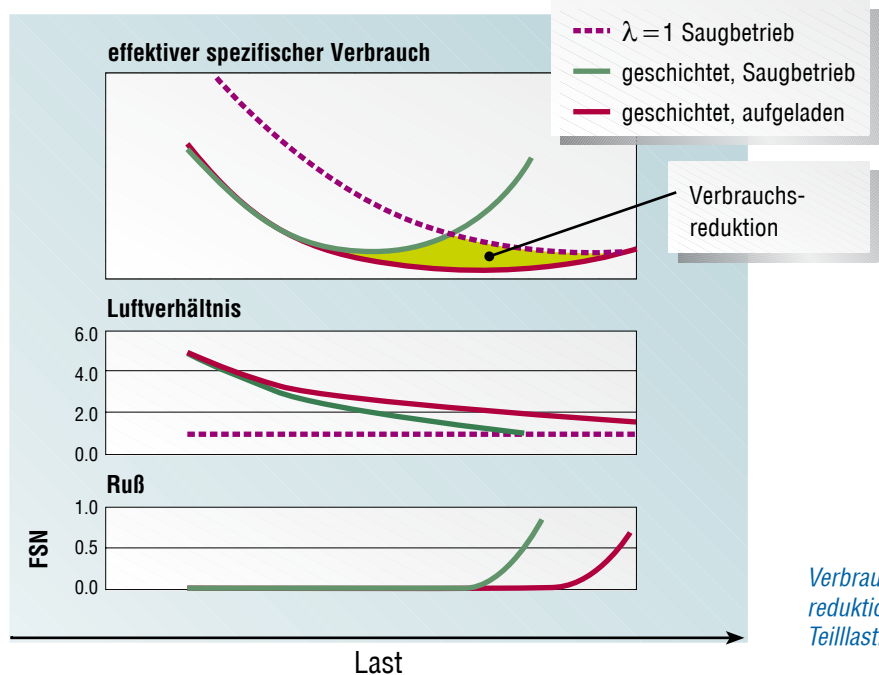
Die Kombination der Turboaufladung mit der Benzindirekteinspritzung bietet noch zusätzliche Potenziale. Ein erster Schritt ist in der mageren Abstimmung des Leerlauf- und Niedriglastbetriebs zu sehen, bei dem die NO_x -Rohemissionen so gering sind, dass zusätzliche Maßnahmen zur Abgasreinigung umgangen werden können.



Am Ende des Weges dieser neuen Motorentchnik steht jedoch die Integration eines schichtladefähigen Brennverfahrens. Versuche auf Basis des FEV-Tumble-Brennverfahrens haben gezeigt, dass sich damit der mager abstimmbare Bereich im Motorkennfeld deutlich erweitern lässt.

Abschätzungen auf der Basis von Motorprüfstandsuntersuchungen und Rechenmodellen weisen gegenüber dem aufgeladenen Saugrohreinstritzer ein Verbrauchspotenzial in der Größenordnung von 10 - 15 % aus.

Aus heutiger Sicht ist der Applikationsaufwand für einen Otto-Turbomotor mit Schichtlade-Magerverbrennung als sehr komplex einzustufen. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet modellbasierter Motorsteuerungsalgorithmen erlauben jedoch den Schluss, dass sich die Technik in einem evolutionären Prozess auf dieses Ziel hin bewegt. Vorteilhaft ist dabei, dass die einzelnen Schritte in der beschriebenen Form aufeinander aufbauen.



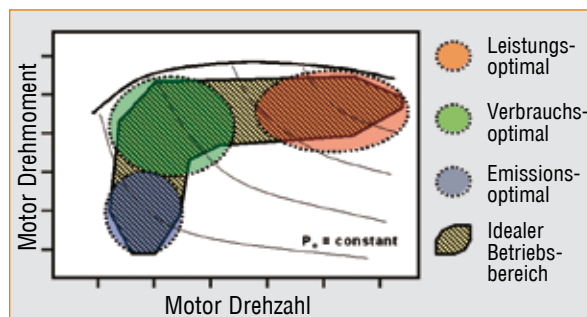
Verbrauchsreduktion im Teillastbetrieb

Es ist daher fest damit zu rechnen, dass die Kombination der heutigen Turbo-Ottomotoren mit Benzindirekteinspritzung zukünftig zum Standard avanciert. Darüber hinaus wird die Attraktivität dieses Konzeptes dazu führen, dass die Turboaufladung eine noch größere Bedeutung für die Anwendung in Fahrzeugen mit Ottomotor gewinnt.

Dr. Peter Wolters

Intelligenter Antriebsstrang (Drivetrain)

Die Erfüllung der ständig steigenden Anforderungen an Kraftfahrzeugantriebe im Hinblick auf Fahrdynamik, Komfort, geringst möglichem Kraftstoffverbrauch sowie minimaler Schadstoffemissionen unter allen Fahrzeugbetriebszuständen ist heutzutage ohne den Einsatz komplexer elektronischer Steuerungen für den Antriebsstrang undenkbar. Nach dem Einsatz der ersten Motorsteuerungen in den 70er Jahren hat die Komplexität bis heute um den Faktor 100 zugenommen. Durch die Einführung momentenbasierter Funktionsstrukturen sowie der Einführung von E-Gassystemen bei fast allen PKW in den letzten Jahren ist die Möglichkeit des Überganges auf eine intelligente vernetzte Triebstrangsteuerung geschaffen worden. Diese betrifft alle Teilsysteme, die Einfluß auf das an den Antriebsrädern zur Verfügung stehende Moment nehmen. Hier seien bei konventionellen Antrieben die Systeme Schlupfregelung, Fahrstabilitätsregelungen sowie Getriebesteuerungen genannt.



Optimale Motorbetriebszustände für die Abstimmung von Triebstrangsteuerungen

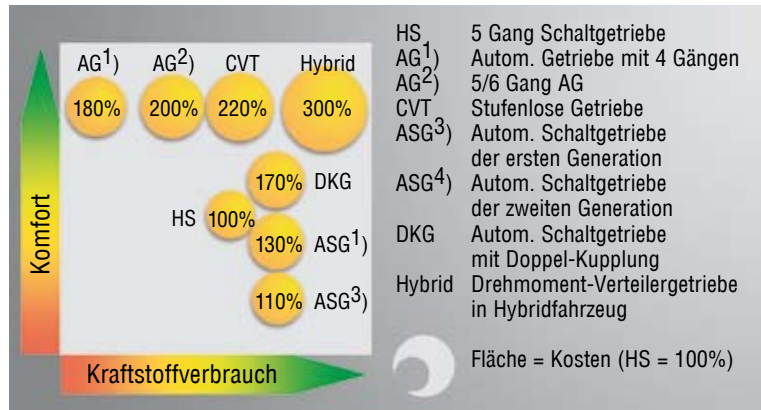
Im Hinblick auf eine weitere Minimierung des Kraftstoffverbrauches sind in der letzten Zeit die ersten automatisierten Schaltgetriebe erfolgreich im Markt eingeführt worden. Auch die bereits in Serie befindlichen Stufenautomaten werden inzwischen fast ausschließlich elektronisch gesteuert. Um gleichzeitig die Fahrdynamik sowie den Fahrkomfort bestmöglich sicherzustellen, ist ein schneller Datenaustausch über den Motorzustand sowie bei Abweichungen von Sollwerten ein direkter Eingriff in das Drehmomentverhalten des Motors unabdingbar. Zur Sicherstellung einer komfortablen und dennoch dynamischen Abstimmung insbesondere während der Getriebeschaltvorgänge bei gleichzeitiger Nutzung des Verbrauchspotentials ist eine sehr enge Zusam-

menarbeit zwischen den verantwortlichen Motorsteuerungs- und Getriebesteuerungsapplikateuren erforderlich.

Zur möglichst effizienten und technisch optimalen Lösung dieser interaktiven Aufgabe bietet die FEV im Bereich Applikation neben der bereits bewährten Dienstleistung "Applikation von Motorsteuerungen" nun auch die Anpassung von Getriebesteuerungen an. Die Applikationsverantwortlichen für Motor und Getriebe arbeiten im Rahmen eines Projektes lokal und funktional zusammen, um größtmöglichen Informationsaustausch und damit Synergie während der Triebstrangabstimmungsarbeiten zu gewährleisten. Gemeinsame Erprobungsfahrten auch unter extremen Umgebungsbedingungen gewährleisten eine unmittelbare Verifizierung des Einflusses von Änderungen an der Abstimmung der einen Steuerung auf die Wirkung der anderen Steuerung und stellen somit die einwandfreie Funktionalität der Abstimmungen unter allen kundenrelevanten Betriebszuständen sicher.

Weiterführende Gesamtfahrzeugkonzepte ergänzen den Triebstrang um zusätzliche Drehmomentquellen z.B. in Form eines Starter/Generators oder eines leistungsfähigen Elektromotors für Hybridfahrzeugan-

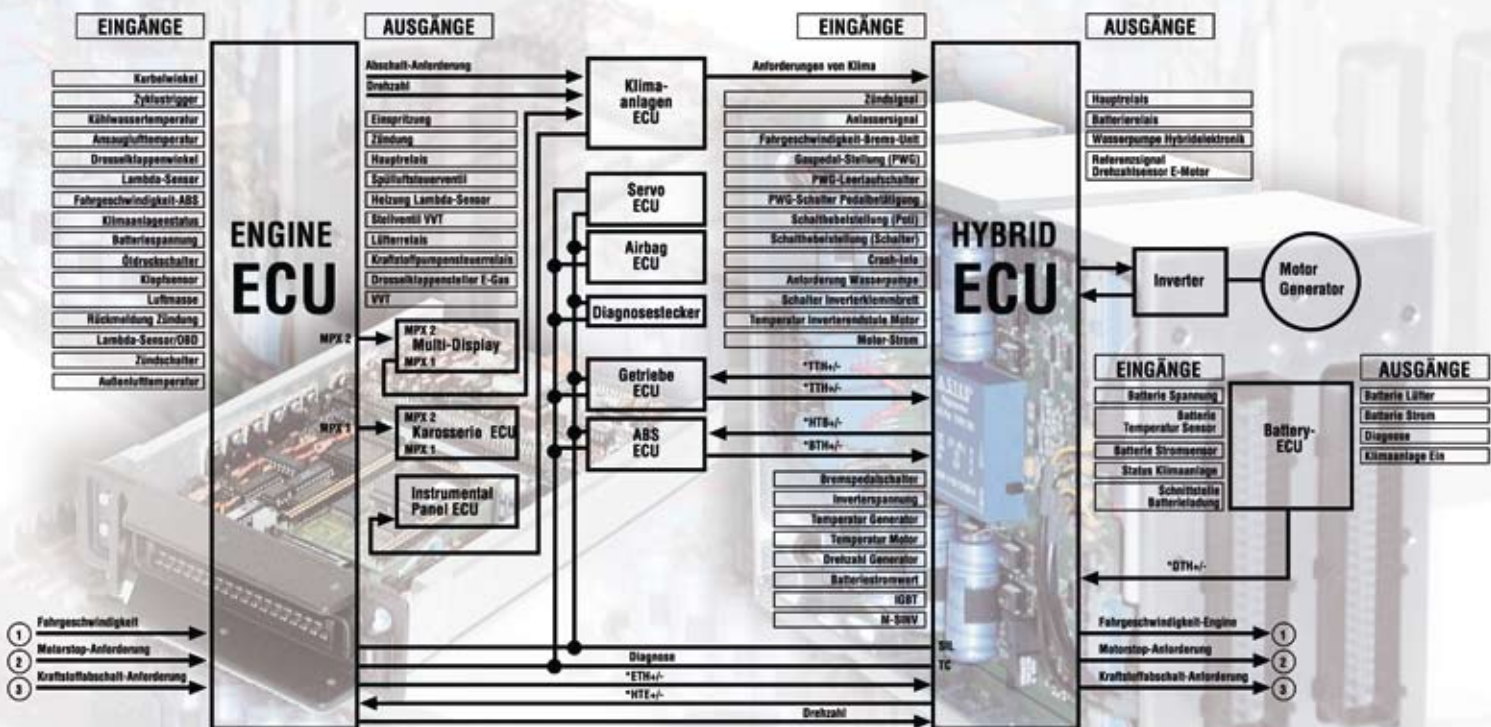
wendungen. Diese Konzepte zielen auf die Bereitstellung bestimmter technischer Merkmale wie Drehmomenterhöhung eines Downsizingkonzeptes mit Hochaufladung oder Bremsenergieerückgewinnung ab. Die hochgradige Vernetzung dieser Funktionen zum Gesamtfahrzeugmanagement einschließlich eines Energie-/Batteriemangements stellen besondere



Bewegungsmatrix zukünftiger Antriebsränge

Anforderungen an die Integration dieser Technologien ins Fahrzeug, deren Funktionsentwicklung sowie der Kalibrierung der freien Parameter der Funktionen. Die FEV als Partner des Automobilherstellers bzw. des Zulieferers unterstützt und übernimmt alle erforderlichen Tätigkeiten im Rahmen der Fahrzeuggesamtintegration.

Dipl.-Ing. Rolf Weinowski; Dipl.-Ing. Hans Kemper



System I/O-Diagramm eines Parallelhybridantriebes mit CVT-Getriebe



Fahrzeugphysik und Akustik

Der Oberbegriff Fahrzeugphysik steht für eine Reihe von Disziplinen, die bei der FEV beherrscht werden, um eine Modellreihe zu pflegen oder eine neue zu entwickeln. Wichtige Aufgabe ist es, das Antriebsaggregat ins Fahrzeug zu integrieren und dabei anspruchsvolle Zielwerte bezüglich Geräusch- und Schwingungskomfort einzuhalten.

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung konzentriert man sich bei der FEV von Anfang an bei den Entwicklungsarbeiten am Motor und seinen Nebenaggregaten auf die Luftschall- und Körperschall-Schnittstellen zum Fahrzeug. Dies bedeutet, dass die Luftschallabstrahlung des Aggregates und seine Schwingungsanregung an den Motorlagern im Entwicklungsprozess immer auch nach Fahrzeuggesichtspunkten bewertet werden. Sound Cleaning, d.h. das Eliminieren von akustischen Auffälligkeiten, gilt als wichtige Voraussetzung für erfolgreiches Sound Design.

Schwerpunkte der Fahrzeugphysik bei der FEV sind die NVH-Optimierung von Motor und Getriebe sowie der Nebenaggregate, die Verminderung der durch den Motorprozess bedingten Akustik-Anregung und das P/T Benchmarking sowie die Integration des P/T ins Fahrzeug und die gesamte Fahrzeugentwicklung im Hinblick auf Akustik und Komfort.

Heute werden bei der FEV NVH-Gesamtfahrzeugprojekte vom Prototyp bis zur Serieneinführung durchgeführt. Die Trennung der Verantwortung für Berechnung und Experiment aufzugeben ist eine wesentliche strategische Entscheidung bei der FEV, um bei den kurzen Entwicklungszeiten der Zukunft erfolgreich bestehen zu können.

Die Abteilung "Motor und Getriebe NVH Optimierung" löst die Geräusch- und Schwingungsprobleme unserer Kunden schnell und kostengünstig. Bei Motorneuentwicklungen werden bereits in der Konzeptphase Akustikberechnungen durchgeführt, deren Ergebnisse in die nächste Entwicklungsstufe einfließen. Mit speziellen Finite Elemente-Modellen ist es möglich bei der Akustikoptimierung der Zeitachse der Konstruktion zu folgen. Treten trotzdem Geräusch- oder Schwingungsprobleme auf, werden diese mit kombinierten CAE und CAT Werkzeugen gelöst. Wir haben dazu Spezialisten so zu Teams zusammengefasst, dass experimentelle und rechnerische Verfahren zur Erarbeitung von Lösungen optimal, auch in Kombination, eingesetzt werden können. Zusammen mit den FEV-eigenen Konstrukteuren oder in Kooperation mit den Zulieferern werden effiziente Lösungen für unsere Kunden gefunden.

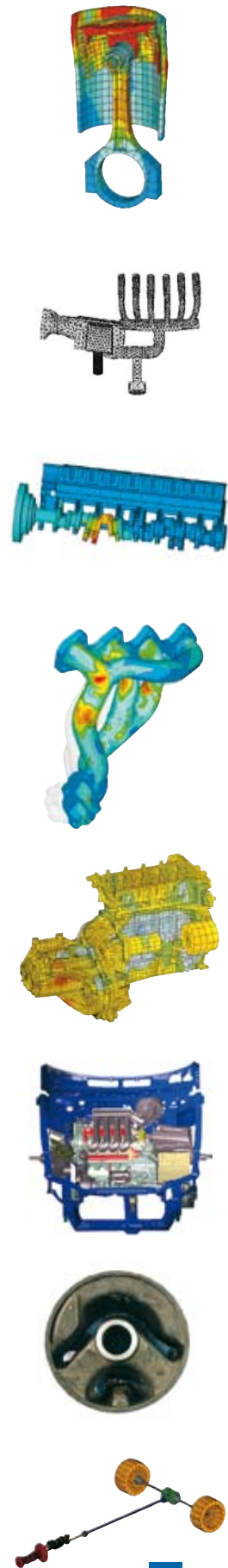
In der Abteilung "NVH Verfahrensbewertung und Aggregat Benchmarking" wird neuerdings für Bewertungen eine akustische Bauteil-FMEA verwendet. Hierzu wurde ein "Expertensystem" erstellt, um auf Basis der Benchmarking-Ergebnisse des Aggregates akustische Schwachstellen zu identifizieren. Dieses Verfahren wird ebenfalls zur Optimierung eingesetzt. Zur Akustikbewertung der motorischen Verbrennung wurden bei der FEV ein spezielles Berechnungsverfahren eingeführt, mit dem die Thermodynamikentwicklung begleitet wird. Neben der heute üblichen Abschätzung des direkten Verbrennungsgeräusches können hiermit auch Aussagen über die indirekten Verbrennungsgeräuschanteile und die Strömungsgeräusche gemacht werden. Themen wie Diesel-Kaltstart als auch Klopferkennung werden ebenfalls behandelt. Darüber hinaus wird die Fahrzeug-Emissions-Kalibrierung durch akustische Untersuchungen begleitet, um bereits frühzeitig drohende Zielkonflikte zwischen Verbrauch und Emissionen einerseits und der Fahrzeugakustik andererseits zu vermeiden.

In der Abteilung "Fahrzeug" beherrscht man ebenfalls sowohl experimentelle als auch rechnerische Methoden. Die Integration des Aggregates ins Fahrzeug stellt die Verbindung zwischen Motor- und Fahrzeugentwicklung her. Hierzu müssen im wesentlichen die Komponenten Motorlager, Antriebsstrang sowie Ansaug- und Abgasanlage ausgelegt bzw. angepasst werden. Hierbei werden auch Fragen der Thermoakustik und Kapselung des Aggregates im Fahrzeug behandelt.

Wichtiger experimenteller Baustein ist die Fahrzeugbewertung im Vergleich zum Stand der Technik. Für die rechnerischen Optimierungsaufgaben stehen verschiedene kommerzielle CAE Programme zur Verfügung. Schwerpunkte sind Akustikthemen im Zusammenhang mit dem Gesamtfahrzeug, wie z.B. Aufbau-NVH. Ferner gehören zum Arbeitsumfang die Geräusch- und Schwingungsoptimierung von Antriebsstrang- und Fahrwerkskomponenten. Darüber hinaus werden Komfortthemen wie Klima, Lüftung und Gebläsegeräusche behandelt.

Der Einsatz innovativer Methoden ermöglicht eine effiziente Optimierung des Fahrzeug-Innengeräusches. Mit der Innengeräuschsimulation können störende Geräuschkomponenten ihren Quellen und Übertragungswegen zugeordnet werden. Basierend auf simultanen Messungen der Luft- und Körperschallanregungen des Aggregates werden mit diesem bei der FEV entwickelten Werkzeug die einzelnen Anteile des Fahrzeug-Innengeräusches berechnet. Modifikationen können somit bezüglich ihres Einflusses auf das Innengeräusch vorhergesagt werden.

Bei der Optimierung des Schwingungskomforts sowie des Innen- und Außengeräusches werden





insbesondere die Finite Element Analyse (FEA), die Mehrkörpersimulation (MKS) und die Strömungsrechnung (CFD) eingesetzt. Typische Anwendungen beziehen sich auf die ansaug- und abgaseitigen Mündungsgeräusche, auf die Schallabstrahlung der Oberflächen der Abgasanlage sowie auf ihre globalen Schwingungen. Themen der Motorlagerung und des Antriebsstranges werden zeitgemäß mit CAE Unterstützung behandelt.

Die Kombination dieser vielseitigen Aktivitäten ermöglicht es, alle Anforderungen abzudecken, von der Optimierung einzelner Komponenten bis hin zur Motorenapplikation in einem neuen Fahrzeug. Das NVH Troubleshooting spielt hierbei eine wesentliche Rolle.

Dr.-Ing. Norbert Alt

NVH Troubleshooting

Die steigende Komplexität im Verbund mit verkürzten Entwicklungszeiten erhöht das Risiko einer Geräusch- bzw. Schwingungsbeanstandung gegen Ende des Entwicklungsprozesses.

Hier greift das NVH Troubleshooting zur Erarbeitung von Abhilfemaßnahmen. Aggregatgeräusch, Schwingungen und deren Anregungen werden mit speziell entwickelten Analyse- und Berechnungsmethoden identifiziert.

Bei der FEV durchgeführte Projekte des NVH-Troubleshooting zeichnen sich durch eine erfolgreiche Optimierungsstrategie aus, erprobt in vielfältigen Problemlösungen. Mittels einer NVH-Checkliste werden systematisch Ursachen ermittelt und zielführende Optimierungsmaßnahmen abgeleitet und umgesetzt. In ihr sind alle potentiellen Geräuschregungsmechanismen sowie die entsprechenden Geräuschmuster, Analysemethoden und zielführenden Abhilfemaßnahmen aufgeführt. Besondere FEV-Messverfahren sind z.B. Einsatz eines "Null-Spiel"-Kolbens, die Erfassung der Kurbelwellenverlagerungsbahn bzw. der Taumelbewegung des Schwungrades, die Analyse der Ventiltriebsdynamik, etc.

Dieser Prozess ist nur dann erfolgreich, wenn neben der Akustik auch alle weiteren Entwicklungsvorgaben (z.B. Kosten, Package, Leistungs- und Emissionsziele, etc.) in den Optimierungsprozess mit einbezogen

und berücksichtigt werden. Bei der FEV kann dies durch interdisziplinäre Projektteams und die enge Einbindung des OEM bzw. seiner Zulieferer gewährleistet werden.

Am Beginn eines jeden NVH-Troubleshooting-Projektes steht die Objektivierung des beanstandeten Geräusches hinsichtlich kritischer Betriebspunkte sowie Frequenzgehalt und Zeitstruktur (periodisch, stochastisch, impulshaltig, etc.). Im nächsten Schritt wird ein Bewertungskriterium zur Quantifizierung des Geräuschproblems erarbeitet. Dies ist hilfreich zur Definition des Optimierungszieles (Target Setting) sowie zur objektiven Bewertung von



Verbesserungsmaßnahmen. Die Quantifizierung von Problemfällen der Geräuschqualität erfordert häufig spezifische, individuelle Bewertungsparameter.

Im Rahmen der anschließenden Ursachenanalyse (Root Cause Analysis) werden experimentelle und analytische Sensitivitätsanalysen sowie Parametervariationen zur Identifikation des Anregungsmechanismus durchgeführt. Hieraus abgeleitete Alternativen zur Optimierung werden als Prototypmuster ausgeführt und im Motor- bzw. Fahrzeugversuch verifiziert. Die Entwicklung der Optimierungsmaßnahme am Aggregat kann durch flankierende Analysen im Hinblick auf das Fahrzeuginnengeräusch ("FEV-Innen-geräuschsimulation") im Sinne einer kosteneffizienten Produktoptimierung unterstützt werden.

Die FEV bietet alle Voraussetzungen für zeit- und kosteneffizientes NVH-Troubleshooting. Die Palette reicht hierbei von der Triebwerksdynamik über die Aggregatkomponenten und Getriebe bis hin zu Antriebsstrang und Fahrzeug.

Dipl.-Ing. Jakob Nehl

Troubleshooting Ölpumpengeräusch

