

## FEV/GIF-Powertrain Motor- und Getriebekompetenz für die Entwicklung zukünftiger Antriebsstränge

Besuchen Sie unseren Stand auf dem  
**11. Aachener Kolloquium**  
vom 07.10. - 09.10.2002

Antriebsstränge werden zunehmend bestimmt durch automatische und automatisierte Getriebesysteme sowie hybride Antriebstechniken mit entsprechend ansteigendem Entwicklungsanspruch.

Damit wachsen und entstehen neue Herausforderungen an die Entwickler des Motor-Getriebe-Fahrzeug-Verbundes. Im Fokus stehen hier die gestiegenen Kundenanforderungen und Vorschriften, die im Hinblick auf Verbrauch und Emissionen, Fahr-

leistungen, Fahrbarkeit und Fahrkomfort erfüllt werden müssen. Automatisierte Antriebe wie Stufenautomat, CVT-Getriebe oder automatisierte Schaltgetriebe mit/ ohne Zugkraftunterbrechung erfordern Interaktionen zwischen Motor und Getriebe und bedingen damit eine ganzheitliche Betrachtung im Antriebskonzept und der Fahrzeugapplikation. Ergänzend mit einzubeziehen sind insbesondere für zukünftige Fahrzeugkonzepte die Berücksichtigung von Bordnetzmanagement, Startergenerator und andere hybride Antriebsstrukturen sowie die Belange der Fahrdynamik- und Fahrzeugsicherheitsregelung.

Die strategische Partnerschaft von der FEV Motorentechnik GmbH und GIF Gesellschaft für Industrieforschung mbH bietet hierfür ein neues Dienstleistungsangebot aus Motor- und Getriebekompetenz für die Automobilindustrie und ihre Zulieferer. Beide Unternehmen arbeiten bei der Entwicklung von automatisierten Antriebssträngen in Kraftfahrzeugen zusammen, um damit für den gesamten Antrieb im Fahrzeug aus einer Hand kompetente Entwicklungsdienstleistungen zu gewährleisten.

### INHALT

- Seite 1** FEV/GIF Powertrain  
Motor- und Getriebekompetenz
- Seite 4** Controlled Auto Ignition
- Seite 5** Aufladesysteme für  
Downsizingmotoren
- Seite 6** Motorengeräuschprognose in der  
Brennverfahrensentwicklung
- Seite 7** DoE im Applikationsprozess
- Seite 8** Modernisierung und Erweiterung  
der Motormontage

## ZUM GELEIT



Liebe Leserinnen und Leser,

um den steigenden Anforderungen an den Antriebsstrang bezüglich Verbrauch, Dynamik und Komfort gerecht zu werden, müssen nicht nur der Motor sondern auch das Getriebe ständig weiterentwickelt werden.

Dabei etablieren sich neben den klassischen Handschalt- und Automatikgetrieben zunehmend CVT's und vor allem automatisierte Schaltgetriebe (ASG), deren Akzeptanz sich als Doppelkupplungsgetriebe ohne Zugkraftunterbrechung weiter erhöhen wird.

Neben der Entwicklung von Getriebe, Sensorik und Aktuatorik kommt vor allem der Abstimmung des Schaltvorgangs und der Schaltstrategie eine besondere Bedeutung zu. Elektronische Motor- und Getriebesteuerung als gemeinsamer Bestandteil des Fahrzeugantriebsmanagements kommunizieren über den CAN Bus und müssen durch entsprechende Software und Applikation eng aufeinander abgestimmt werden. Die Software beinhaltet dabei die Fahr- und Adaptionstrategien, die Diagnose- sowie die Sicherheitsfunktionen.

Mit der Einführung dieser Ressourcen in die Entwicklungskooperation "FEV/GIF-Powertrain" können beide Dienstleister Antriebsstrang-Entwicklungen vom Konzept über Prototypen bis hin zur Abstimmung von Fahrbarkeit, NVH und Emissionen sowie den Nachweis der Dauerlaufbefähigung quasi aus einer Hand anbieten.

Überzeugen Sie sich selbst, wir freuen uns auf Ihren Besuch.

Ihr

Prof. Dr.-Ing.  
Stefan Pischinger  
Geschäftsführender  
Gesellschafter

Fortsetzung Titelseite

Die Kooperation zielt darauf ab, langjährige Erfahrungen und Know-how in Motoren-, Getriebeentwicklung und Fahrzeugapplikation zu verbinden, wobei die Ingenieure bei ihren Entwicklungsarbeiten auf umfassende, bewährte Berechnungstools, Prüfeinrichtungen und Teststrecken für Fahrzeuge, Motoren und Getriebe zurückgreifen. Die Ergänzung von Fähigkeiten, CAE- und Prüfeinrichtungen, Messtechnik und Elektronik führen die Zusammenarbeit von FEV und GIF zum Komplettentwickler für automatisierte Antriebsstränge mit

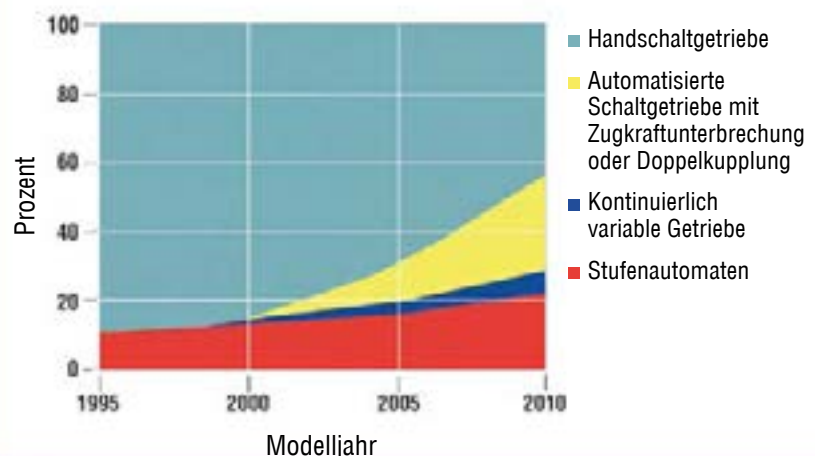
- Bereitstellung von Entwicklungskapazität (qualifizierte Personalressourcen, Entwicklungs- und Prüfeinrichtungen)
- Übernahme von Projekten in der Antriebsstrangentwicklung
- Fahrzeugintegration und Applikation.

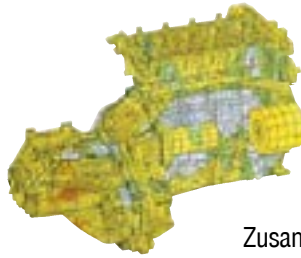
Alle im Rahmen einer Antriebsstrangentwicklung für das Fahrzeug erforderlichen Tätigkeiten werden abgedeckt. In der Triebstrangentwicklung werden für verschiedene Konzepte von automatisierten und alternativen Antrieben sowie für geeignete Regelstrategien mittels Zyklusrechnungen vergleichende und bewertende Analysen durchgeführt, mit dem Ziel, die sich ständig

### Aufgaben in der Antriebsstrangentwicklung

- Konzept/Simulation/Berechnung
- Benchmark und Bewertung
- Funktionserprobung
- Langzeiterprobung
- NVH Antriebsstrang und Fahrzeug
- Antriebsstrangkalibrierung
- Softwareentwicklung
- hybride Antriebsstrangfunktion

### Marktanteil neuer PKW-Getriebe je Modelljahr, West Europa





CAE in der Antriebsstrang-

verschärfenden Anforderungen aus Abgasgesetzgebung, Kraftstoffverbrauch und Kundenanforderung zu erfüllen.

Die Berechnung über Finite Elemente Methoden (FEM) und Mehrkörpersimulationen (MKS) ermöglicht neben der schnelleren und zielgerichteten Entwicklung der einzelnen Auslegungskriterien und Bauteilfunktionen die voraussagende Ermittlung von Systemabhängigkeiten aller Komponenten im Gesamttriebstrang, deren Schwingungsverhalten und Festigkeitsbewertung. Mit der Erfahrung aus zahlreichen Wettbewerbsbefundungen werden zum Benchmark und Assessment Untersuchungen, Analysen und Beurteilungen von Triebsträngen und Komponenten durchgeführt.

- Drehmomentmessung im Triebstrang
- kontinuierliche Fahrzeugmessung
- Motoranalyse und Untersuchung Triebstrangkomponenten
- Kompletttriebstrang- oder Fahrzeuguntersuchung
- Reibungsanalyse
- Bewertung Fahrbarkeit und Schaltqualität
- Virtuelle Kalibrierung (HIL)
- Testzyklen und Praxisuntersuchung
- Straßendauerlauf

Für die Entwicklungsarbeiten am Antriebsstrang und im Fahrzeug stehen mit den vielfältigen Prüfeinrichtungen und Untersuchungsmethoden auch Sondermesstechniken für die Funktionserprobung, Wirkungsgradmessung und Langzeitversuch an den Standorten von FEV und GIF zur Verfügung.

Dem Akustik-Engineering und der Applikation von Steuerung/Funktionskontrolle kommt bei der Antriebsstrangentwicklung besondere Bedeutung zu. Die Simulation der Antriebsstrangdynamik, die Motorlagerauslegung und die Fahrzeuginnengeräuschsimulation bilden hierbei die Grundlage für eine qualifizierte Entwicklungsarbeit zur Komponentenentwicklung im

#### Testeinrichtungen für Triebstrang und Fahrzeug

- NVH Prüfstand
  - Motor, Getriebe
  - Antriebsstrang (FWD, RWD)
- Akustikrollenprüfstand
  - Geräuschmessung der Vorbeifahrt
- Transient-Antriebsstrangprüfstand
  - Emissionskalibrierung
- Abgasrollenprüfstand und Klimaprüfstand
- Prüfstände für Funktions-, Wirkungsgrad- und Dauerlaufuntersuchung
  - Getriebe
  - Antriebsstrang (FWD, RWD, AWD)
- Teststrecke
- Flottentest
- Packaging- und Prototypwerkstatt

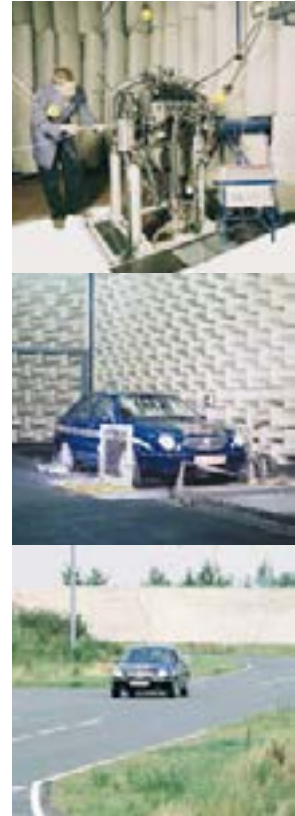
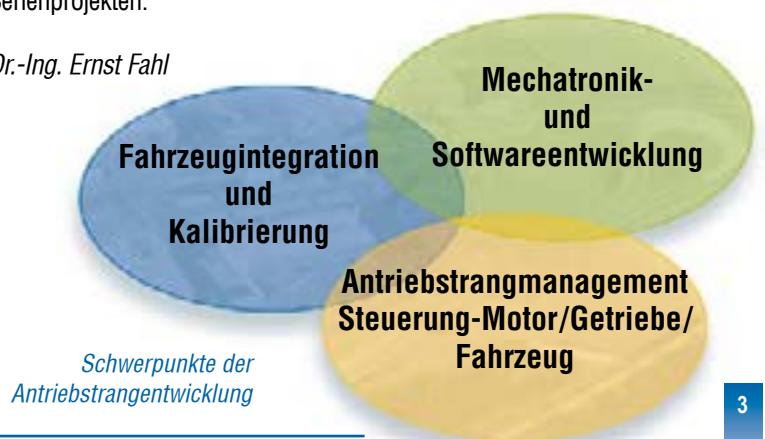
Zusammenspiel des Gesamtsystems, Strukturoptimierung sowie bezüglich Fahrzeugakustik und Fahrkomfort. Die messtechnischen Untersuchungen und Verifikationen erfolgen für den Antriebsstrang und seine Komponenten in Akustikprüfständen, für das Fahrzeug im Akustikrollenprüfstand oder mit Freifeldmessungen.

Ein Schwerpunkt der Dienstleistungen liegt im Bereich der Integration des Triebstrangs im Fahrzeug. Unter Einbezug der Entwicklung der einzelnen Komponenten/ Systeme und Mechatronik werden alle applikativen Arbeiten für den stationären und instationären Fahrbetrieb im Fahrzeugalltag mit Antriebsstrangmanagement und Softwareentwicklung durchgeführt. Die Schwerpunkte der Fahrzeugintegration und Applikation stützen sich auf die Entwicklung und Bereitstellung des Antriebsstrangmanagements und der notwendigen Softwareentwicklung.

Im typischen Fall heutiger Kalibrierungen von Antriebssträngen müssen einzelne autarke Funktionseinheiten wie Motorsteuerung, Getriebesteuerung und Fahrdynamikregelung, die teilweise mit gleicher Sensorik und Aktuatorik arbeiten über Datenleitungen kommunikationsfähig aufeinander abgestimmt werden, was sich mit zunehmender Komplexität und Vernetzung der Einzelkomponenten schwieriger gestaltet. Daher wird für zukünftige Fahrzeugsysteme die Betrachtung des gesamten Triebstrangs mit darin enthaltenen Subsystemen Motor-, Getriebe- und Fahrzeugsteuerungen immer mehr Bedeutung gewinnen, um der wachsenden Komplexität von Funktionalitäten, Integration von Steuerungsaufgaben, dem optimalen Betriebsverhalten und dem Komfortanspruch des Kunden gerecht zu werden.

Der optimale Betrieb des Motor-/Getriebeverbundes im fahrertypabhängigen Fahrverhalten unter den Anforderungen von Fahrkomfort, Fahrleistungen, Gesamtwirkungsgrad und Emissionen stellt höchste Anforderungen an die Regelstrategien von Betriebspunkten im Motorkennfeld, der Getriebeanpassung, Optimierung von Schaltabläufen, Kupplungs- und Anfahrvorgängen. Die Kooperation FEV/GIF-Powertrain bietet die umfassende Entwicklungsdienstleistung hierfür mit der Erfahrung aus vielfältigen Entwicklungs- und Serienprojekten.

Dr.-Ing. Ernst Fahl



NVH Testeinrichtungen



## Controlled Auto Ignition

Bevor Nicolaus August Otto vor über 125 Jahren seine bahnbrechende Erfindung machte, scheiterten viele seiner Bemühungen an den Folgen unkontrollierter Selbstzündungen. Seither gilt bei der Entwicklung von Ottomotoren die Vermeidung von Selbstzündungen als eines der wichtigsten Ziele. Doch in jüngster Zeit wird die Selbstzündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches als eines der vielversprechendsten

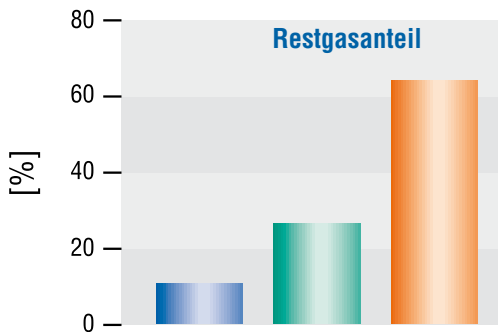
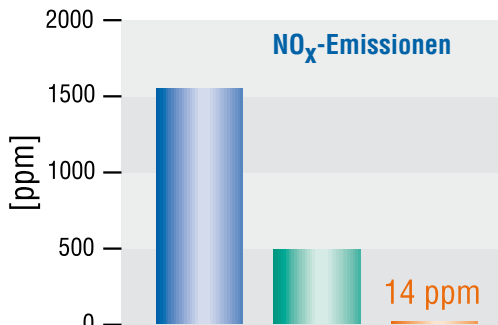
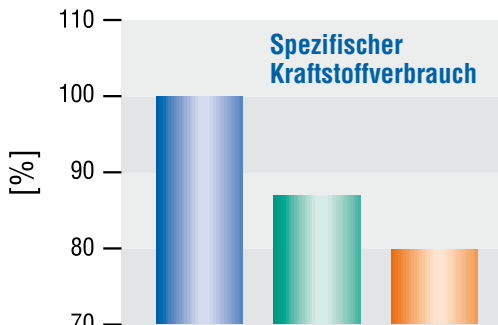
Zukunftskonzepte verfolgt und an ihrer Beherrschung und Kontrolle gearbeitet.

Dabei geht es weniger um die Selbstzündung an sich als um die damit verbundene Möglichkeit, selbst extrem verdünnte Zylinderladungen sicher zu entflammen sowie schnell und vollständig zu verbrennen. Dies wird durch eine an vielen Stellen gleichzeitig einsetzende Verbrennung des thermisch voraktivierten Gemisches erreicht. Hieraus resultiert ein entdrosselter Motorbetrieb mit niedrigen Prozesstemperaturen und extrem geringen Rohemissionen.

Im Gegensatz zum Magerbetrieb mit Schichtladung erübrigt sich dabei die aufwändige Abgasnachbehandlung mittels NO<sub>x</sub>-Adsorber-Katalysator.

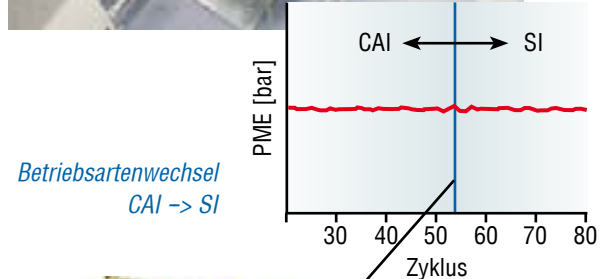
Die für eine kontrollierte Selbstzündung notwendigen Bedingungen werden vorzugsweise durch Abgasrückführung dargestellt. Heißes, rückgeführtes Abgas erhöht die Ladungstemperatur, wodurch es gegen Ende der Verdichtung zu für eine Selbstzündung ausreichenden Temperaturen kommt.

Hierbei sind Inhomogenitäten der Zylinderladung bewusst erwünscht, weil es an den Grenzschichten zwischen an Restgas reichen Zonen und Kraftstoff-Luft-Gemisch zu höheren Temperaturen kommt, als

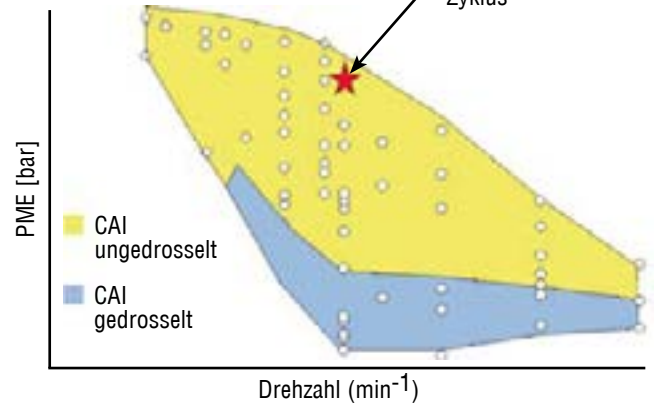


- Gedrosselter Motor
- EMVT
- EMVT CAI

Verbrauchs- und Emissionsverhalten bei 2000 1/min Teillast



Betriebsartenwechsel  
CAI → SI



dies bei vollkommener Homogenität gegeben wäre. Aus diesem Grund kommt dieser Art der Abgasrückführung eine Schlüsselrolle zu.

Die bei der FEV Motorentechnik vorliegenden Erfahrungen mit den unterschiedlichen Formen variabler Ventilsteuerung stellen eine wesentliche Voraussetzung für die erzielten Erfolge bei der Umsetzung dieses Brennverfahrens dar. Die wirkliche Herausforderung besteht jedoch in der Beherrschung dieses Verfahrens im transienten Motorbetrieb, wo der Wechsel zwischen konventionellem Betrieb und kontrollierter Selbstzündung ohne spürbar negative Auswirkungen auf das Betriebsverhalten des Motors stattfinden muss. Aufgrund der gemachten Erfahrungen muss die Forderung nach einem Ventiltriebkonzept mit zyklussynchroner Steuerung aller Ventilsteuerzeiten als sehr vorteilhaft gelten.

Im Rahmen der eigenen F&E-Aktivitäten sowie kommerzieller Projekte hat die FEV weitreichende Erfahrungen in der Applikation dieses Brennverfahrens gesammelt. Erste Messungen an einem mit vollvariabler Ventilsteuerung ausgestattetem Versuchsfahrzeug liegen bereits vor und belegen das eindrucksvolle Potenzial dieses alternativen Weges zu einem hocheffizienten, umweltfreundlichen und bezahlbaren Benzinmotor für Fahrzeugantriebe.

Dr.-Ing. Peter Wolters  
Dr.-Ing. Wolfgang Salber

## Aufladesysteme für Downsizingmotoren

Nachdem sich die Aufladung bei PKW-Dieselmotoren etabliert hat, wird sie sich auch bei Ottomotoren als verbrauchsreduzierendes "Downsizing" zunehmend durchsetzen, nicht zuletzt angetrieben durch das hohe Potenzial in Verbindung mit Benzindirekteinspritzung (siehe Spectrum Ausgabe 19). Dabei sind Abgasturbo- und mechanische Aufladung die Alternativen, die den Markt beherrschen.

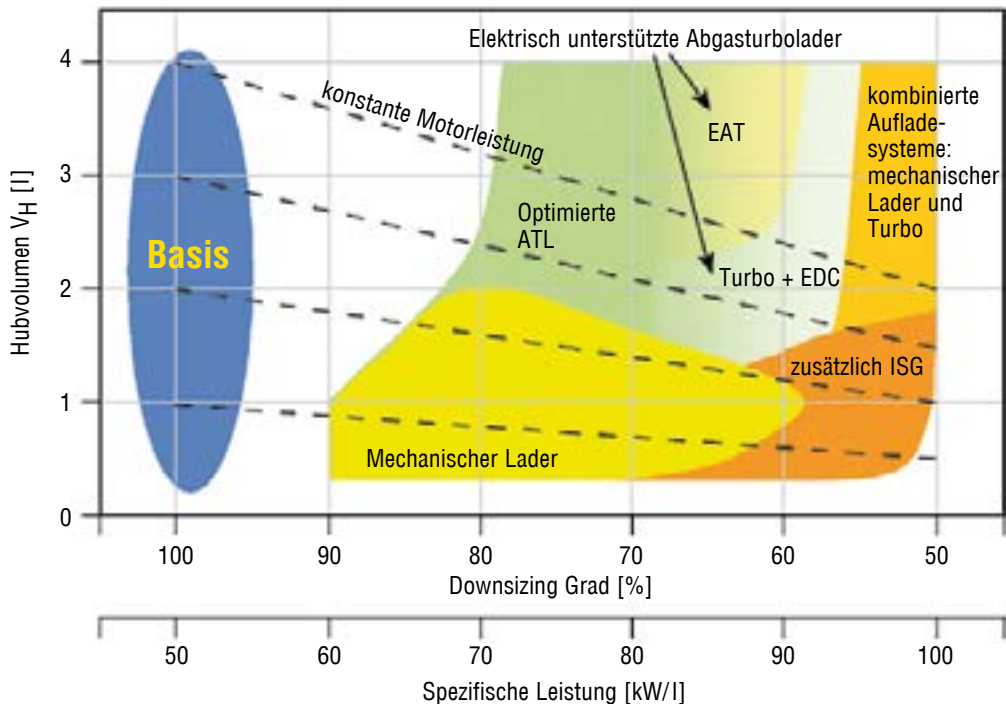
Mit der weiteren Erhöhung der spezifischen Leistung sowohl von Otto- als auch Dieselmotoren, verschärft sich bei Abgasturboaufladung aber auch die Drehmomentschwäche bei niedrigen Motordrehzahlen, bedingt durch die unterschiedliche Durchsatzcharakteristik von Motor und ATL. Während bei Diesel- bzw. DI-Ottomotoren die hohen Wärmeverluste im Abgasstrang beim Lastsprung maßgeblich den ATL-Hochlauf bestimmen, ist dies beim Homogen-Ottomotor das geringe ATL-Anfangsdrehzahlniveau.

Um der Dynamik und der Durchsatzbandbreite Rechnung zu tragen, werden daher neben der konsequenten Weiterentwicklung der VTG auch für Ottomotoren die elektrische und mechanische Zusatzaufladung zur Unterstützung diskutiert.

Die elektrische Zusatzaufladung in Form des elektrisch unterstützten ATL oder eines zusätzlichen Kompressors nutzt die Fahrzeugbatterie als Puffer. Die Entwicklung dieser Systeme konzentriert sich auf eine Leistungsaufnahme von < 2 kW bei 12 V. Schwachpunkte der elektrischen Zusatzaufladung sind die hohen Anforderungen an die Fahrzeugelektrik und die Batterie sowie die fragliche Dauervolllast. Auch begrenzt die elektromotorisch bedingte Drehzahlgrenze die minimale Baugröße.

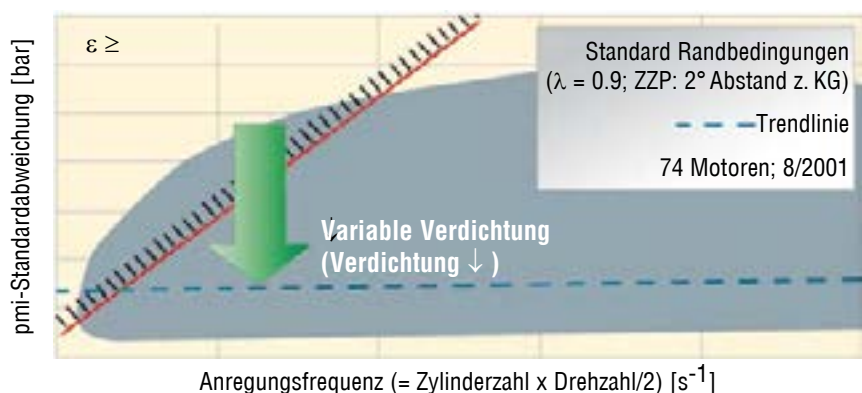
Alternativ dazu beruht die mechanische Zusatzaufladung auf einem direkt vom Motor angetriebenen Verdrängerlader. Dessen Schluckverhalten ent-

spricht dem motorischen und erlaubt hohe Ladedrücke auch bei niedrigen Drehzahlen. Mittels einer Kupplung wird dieser nur im unteren Motordrehzahlbereich aktiviert. Eine hohe Übersetzung sichert kompakte Laderbauweise, die kleinere Laderdrehzahlspanne lässt die Auslegung auf hohe Wirkungsgrade zu. Der Bauaufwand dieses Systems lässt sich durch eine günstige Bauform von Lader und Kupplung begrenzen.



Die beschriebenen Systeme werden der Abgasturboaufladung zukünftig deutliche Impulse verleihen. Allerdings muss bei Ottomotoren wegen des höheren Ladedruckangebotes der Klopfproblematik Rechnung getragen werden.

*Komfortverbesserung durch variable Verdichtung VCR*



Hier bietet der Einsatz variabler Verdichtung VCR die Möglichkeit, maximales Drehmoment mit höchsten Komfortansprüchen bei gleichzeitig guten Teillastwirkungsgraden zu vereinen.

*Komfortverbesserung bei Vollast durch variable Verdichtung VCR*

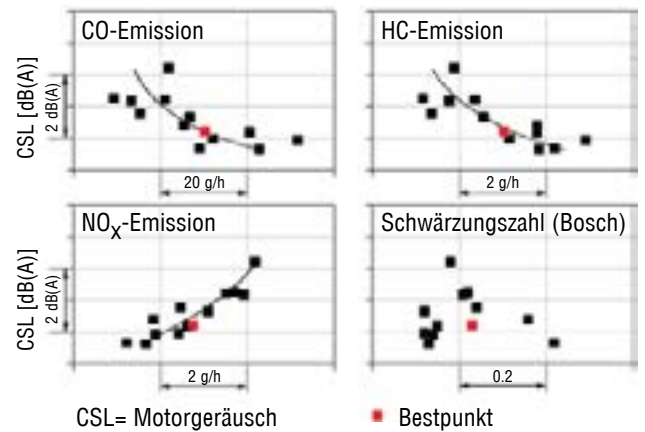
Dr.-Ing. Knut Habermann  
Dipl.-Ing. Oliver Lang

## Sparsam, sauber und leise! Motorgeräuschprognose in der Brennverfahrens- entwicklung

Mittels zylinderdruckbasierter Geräuschprognosemethoden erfolgt bei der FEV die Brennverfahrensentwicklung simultan bezüglich thermodynamischer und akustischer Zielsetzungen. Die Geräuschprognose kann umfassen:

- Motorgeräuschpegel und -spektrum
- hörbares Motorgeräusch
- hörbares Fahrzeug-Innengeräusch

Basis der Prognoseverfahren ist die Bestimmung des Motorgeräusches (Combustion Sound Level) auf der Basis von thermodynamischen Kenngrößen aus dem Indiziersystem. Der CSL setzt sich aus dem mechanischen Geräusch (inklusive Nebenaggregategeräusch) und dem lastabhängigen Verbrennungsgeräusch (VG) mit seinen Anteilen direktes & indirektes VG sowie dem Strömungsgeräusch zusammen.

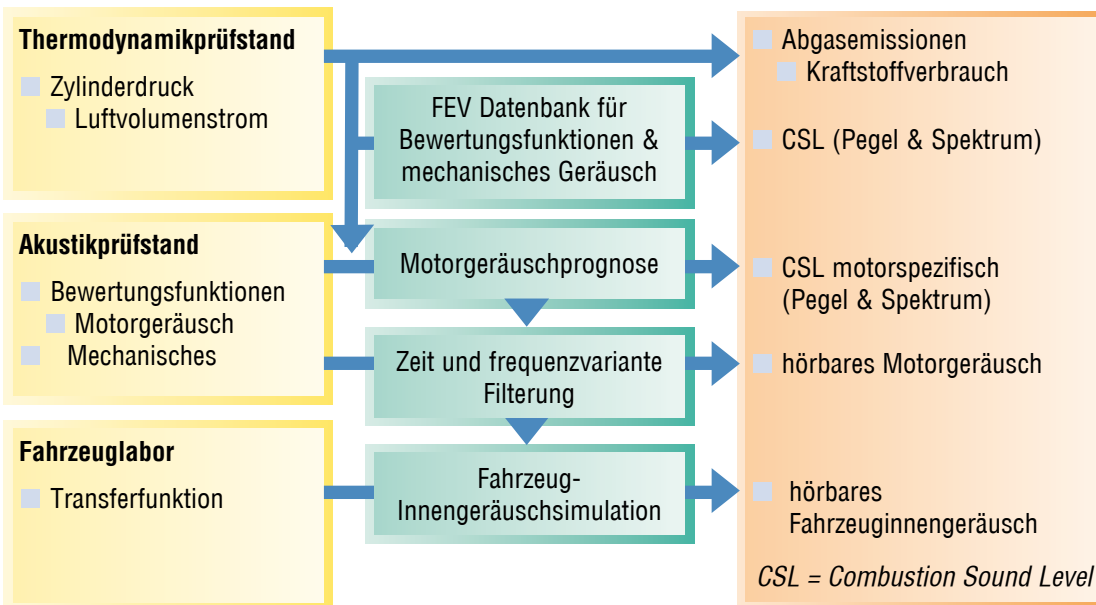


Im Bild ist exemplarisch der erzielte Bestpunkt für die Leerlauf-Optimierung im Kaltstart (<< 20°C) eines direktinspritzenden Dieselmotors gezeigt.

Zur Prognose des "hörbaren" Motorgeräusches sind Akustikmessungen am Aggregat zu Beginn der Verfahrensentwicklung erforderlich, wobei ein "grober" Kalibrationsstand ausreichend ist.

Basierend auf dem spektralen Vergleich von gemessenem "Basisgeräusch" und prognostiziertem Motorgeräusch erfolgt eine zeit- und frequenzvariante Filterung

des "Basisgeräusches". Somit können verschiedene Entwicklungsstände auch subjektiv mittels Hörvergleichen bewertet werden. Bei Kenntnis der Luftschallübertragungsfunktion des Fahrzeuges wird ebenfalls das Innengeräusch prognostiziert. Hierbei dienen die ermittelten Motorgeräusche als Eingabedaten für die FEV-Innengeräuschsimulation. Bei der FEV entwickelte, zylinderdruckbasierte Geräuschprognosemethoden unterstützen



### Zylinderdruckbasierte FEV-Geräuschprognoseverfahren

Letztere werden durch Kombination von thermodynamischen Kenngrößen mit entsprechenden Strukturbewertungsfunktionen (FEV-Datenbasis oder motorindividuell ermittelt) prognostiziert.

Mittels terzselektiver Pegeladdition der VG-Anteile und dem mechanischen Geräusch wird das Motorgesamtgeräusch (CSL) nach Pegel und Frequenzsammensetzung berechnet. Die Brennverfahrensoptimierung auf dem Thermodynamikprüfstand erfolgt somit ganzheitlich hinsichtlich Verbrauch, Emission und Motorgeräusch (CSL).

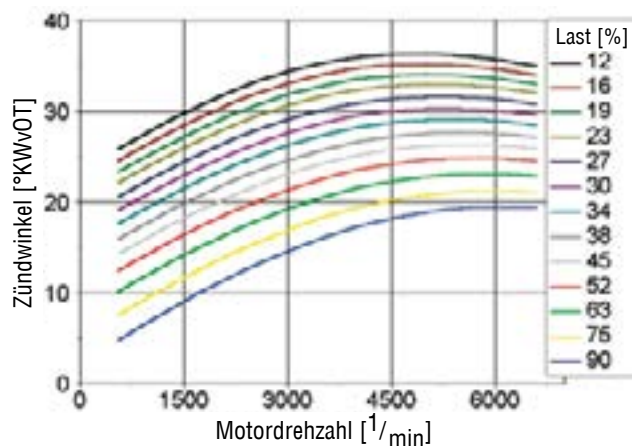
zen die Brennverfahrensentwicklung im Sinne eines ganzheitlichen Optimierungsprozesses. Akustikmessungen mit einem ersten "groben" Kalibrationsstand ermöglichen motorindividuelle Bewertungsfunktionen (alternativ FEV-Datenbank) sowie Hörvergleiche des Motorgeräusches. Somit werden bereits im frühen Entwicklungsstadium Kalibrationsänderungen hinsichtlich Geräuschpegel und -qualität bewertet. Zeit und Kosten in der Fahrzeugapplikation werden hierdurch signifikant reduziert.



## DoE im Applikationsprozess

Bei der Applikation am Stationärprüfstand werden umfangreiche Kennfelder mit den für den jeweiligen Betriebspunkt optimalen Werten bedatet. Dabei wird oft Expertenwissen eingesetzt, um gewisse Bereiche zu interpolieren. Mit zunehmender Variabilität der Motoren (z.B. kontinuierlich verstellbare Nockenwellen auf Einlass und Auslassseite beim  $\lambda = 1$  Motor oder die Vielzahl der freien Parameter beim DI-Ottomotor) ist es auch dem Experten kaum noch möglich, die besten Kombinationen vorherzusagen. Der Aufwand für eine Rastervermessung in allen Stützpunkten der Kennfelder ist zeitlich wie wirtschaftlich nicht vertretbar. Eine Möglichkeit zur Reduzierung des Versuchsaufwands ist der Einsatz der statistischen Versuchsplanung (Design of Experiments - DoE) und Regressionsanalyse.

Oft wird diese Methode eingesetzt, um in einem Betriebspunkt die optimale Kombination der verstellbaren Parameter zu ermitteln. In einem weiteren Schritt müssen aus diesen optimierten einzelnen Betriebspunkten für den gesamten Last/Drehzahlbereich gültige Kennfelder ohne zu starke Unstetigkeiten erstellt werden.

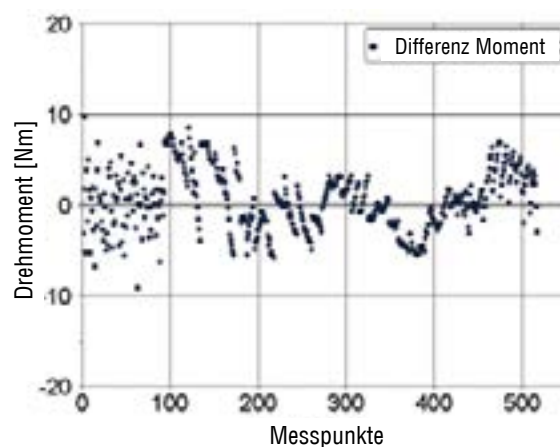


Unter bestimmten Voraussetzungen ist es aber auch möglich, direkt ganze Kennfelder mit Unterstützung von DoE zu erstellen. So konnte der Aufwand zur Ermittlung der Drehmomentdaten für eine momentenbasierte Motorsteuerung bei einem  $\lambda = 1$  Ottomotor erheblich reduziert werden.

Anhand existierender Daten konnte verifiziert werden, dass D-optimale Versuchspläne für kubische Polynome einen geeigneten Ansatz darstellen. Exemplarisch konnte nachgewiesen werden, dass sich die Vorhersage-Qualität des Modells durch die Verwendung I-optimaler Versuchspläne sogar noch etwas steigern lässt. Versuchsplanung und Regressionsanalyse mit der Erstellung der polynomialen Modelle erfolgen mit spezialisierter Software.

Die Optimierung und die Erstellung der Kennfelder werden teilautomatisiert mit Excelmakros durchgeführt. Ein so berechnetes optimales Zündkennfeld ist in der ersten Grafik dargestellt. Auch alle weiteren für die Drehmomentberechnung in der Motorsteuerung erforderlichen Kennfelder werden auf ähnliche Weise aus den erhaltenen Modellen berechnet.

Der folgende Vergleich zeigt das durch DoE am Stationärprüfstand erreichbare Potential auf: Zur Ermittlung der Momentendaten wurden früher mindestens 500 Messpunkte gefahren. Jetzt werden nur 100 Versuche mit DoE geplant, durchgeführt und wie beschrieben ausgewertet.



Die zweite Grafik zeigt die Differenz für das Drehmoment zwischen Messung und Modell. Die ersten 100 Versuche sind die, mit denen das Regressionsmodell gebildet wurde. Die anderen 420 Punkte sind Zündschleifen, die mit dem ermittelten Regressionsmodell nachgerechnet wurden. Die Abweichung ist mit unter 10 Nm gering; das maximale Moment dieses Motors lag über 400 Nm.

Neben der Ermittlung der Drehmomentdaten kann DoE in folgenden Kalibrierungsschritten über weite Kennfeldbereiche eingesetzt werden:

- Abgasrückführung
- Abgastemperaturmodell
- Ladedruckregelung
- Nockenwellensteuerung
- Übergangskompensation

Aufbauend auf den guten Erfahrungen bei der Applikation konventioneller Otto- und Dieselmotoren wird die Kalibrierung und Optimierung der einzelnen Betriebspunkte mittels DoE zunehmend bei den ottomotorischen Verbrauchskonzepten EMVT- und DI- Otto eingesetzt. Aufgrund der großen Anzahl von Optimierungsparametern (AGR, I, Einspritzzeitpunkt, Raildruck, usw.) ist hier der Einsatz von DoE besonders vorteilhaft.

Dipl.-Ing. Georg Lütkemeyer  
Dipl.-Ing. Michael Heinen

## Modernisierung und Erweiterung der Motormontage

Mit dem Ausbau der Gesamt-Motorenentwicklungsaktivitäten wurde bei der FEV in den neunziger Jahren ein eigenständiger Werkstattbereich Motormontage aufgebaut, in dem bis zu 250 Prototypmotoren pro Schicht und Jahr montiert werden konnten. Neben den für die reinen Montagetätigkeiten erforderlichen Arbeitsplatzausrüstungen, verfügte die Motormontage über ein unmittelbar angeschlossenes Teilelager sowie über Prüfeinrichtungen zur Dichtigkeitskontrolle und spezielle Reinigungseinrichtungen für Motorenteile.



Im Rahmen des Ausbauprogrammes am FEV-Hauptsitz Neuenhofstraße wurde jüngst eine komplett neue, erheblich erweiterte Motormontage in Betrieb genommen. Diese stellt nun die erforderlichen Kapazitäten für die stetig wachsende Zahl von Motoren bereit, die bei der FEV im Rahmen der verschiedensten Entwicklungsprojekte die Labor- und Prüfstandbereiche durchlaufen.

Insgesamt stehen in der neuen Motormontage zur Zeit 12 so genannte Montageinseln zur Verfügung, die arbeitsplatzseitig voneinander getrennt angeordnet sind. Zusätzlich wurde eine flexible Arbeitszonen-trennung eingebaut, die es gestattet, mehrere Montageinseln zu einer Montagezone zusammen zu fassen. Dieses Konzept gestattet es, in einem Gesamt-arbeitsbereich unterschiedliche Motoren aus verschiedenen Entwicklungsprojekten gleichzeitig zu bearbeiten, wodurch eine präzise Zuordnung der Bauteile ohne Verwechslungsgefahr sichergestellt wird.



Gleichzeitig wird durch die Arbeitszonen-trennung Geheimhaltung in den jeweiligen Projekten gewährleistet, ohne die Synergieeffekte in der Motormontage einzuschränken.

Neben der Anzahl der Montageinseln wurde das Motor-Teilelager ebenfalls in erheblichem Umfang erweitert, so dass heute auf einer Grundfläche von ca. 400 m<sup>2</sup> ein großzügig bemessenes Regallager eingerichtet werden konnte. Dieses Lager befindet sich unmittelbar über den Montageinseln und besitzt einen eigenen Kommissionierbereich, in dem die Einzelteile für die zu bauenden Motoren zusammengestellt werden. Die unmittelbare räumliche Nähe zu den Montageinseln ermöglicht es den Mitarbeitern des Montagebereiches, auf direktem, kurzem Weg angeforderte Bauteile zu beschaffen.

Ein rechnergestütztes Lagerverwaltungsprogramm hilft den Mitarbeitern, die eingelagerten bzw. ausgefassten Teile in den einzelnen Projekten zu bewahren.

In unmittelbarer räumlicher Nachbarschaft zur neu geschaffenen Motormontage befindet sich heute der Bereich Prüfstandaufbau und Inbetriebnahme, in dem die Motoren für den Prüfstandeinsatz vorbereitet werden. Somit können fertig montierte Motoren auf kürzestem Weg zu den Aufbauplätzen gebracht werden. Bei Rückfragen oder technischen Problemen können die Mitarbeiter des Prüfstandaufbaubereiches unmittelbar Kontakt zur Motormontage aufnehmen, die offenen Punkte klären.

Damit verfügt die FEV heute über einen integrierten, hocheffizienten Motormontage- und Prüfstandaufbaubereich, der für zukünftige Anforderungen ideal gerüstet ist.

*Dipl.-Ing. Peter Stommel*