



EMISSIONEN REDUZIEREN

Design im Grenzbereich: CO₂-Potentiale konventioneller Technologien beim Otto- und Dieselmotor



Inhalt

- Emissionen reduzieren - Design im Grenzbereich 1
- Potential eines variablen Verdichtungsverhältnisses für moderne Pkw-Dieselmotoren in Bezug auf CO₂- und Rußemissionen 4
- Fahrzeug-NVH-Entwicklung mithilfe des Virtual Powertrain Swap-Verfahrens 5
- Untersuchung von Diesel- und Erdgasverbrennung in einem Dual-Fuel-Konzept und als Mittel zum Erzielen der RCCI-Verbrennung 6
- Thermomanagement von Hybrid- und Elektrofahrzeugen 7
- Der neue 3-Zylinder PSA Peugeot-Citroën Puretech 1.2 e.THP 8
- Der Erdgasmotor im Nutzfahrzeug als Dieselmotor-Derivat 11
- End-to-End-Validierung von Infotainment- & Telematiksystemen 11

Ziel bei der Antriebstrangentwicklung ist es, durch möglichst kostengünstige Ansätze die zukünftigen Zielwerte bei Leistung, Kraftstoffverbrauch und Abgasemissionen zu erreichen. Für ein Fahrzeug der Kompaktklasse kann durch Downsizing auf ein 1,0 l 3-Zylinder Aggregat, einer konsequenten grenznahen Auslegung mit Hilfe von Simulation und Sondermesstechnik und Brennverfahrensoptimierung eine Verbesserung um ca. 28 % und damit eine Unterschreitung der für 2020 diskutierten CO₂-Grenzwerte erzielt werden. Mit Hilfe alternativer Kraftstoffe, insbesondere von Erdgas, kann in Kombination mit einer relativ einfachen Motorarchitektur ein Niveau von 70 g CO₂/km erreicht werden. Abb. 1 zeigt die Potentiale zur Reduktion der CO₂-Emissionen mit Hilfe konventioneller Technologien beim Otto- und beim Dieselmotor.

Potentiale in der Mechanikentwicklung

Für die Auslegung von Motorkomponenten kommen unterschiedliche Simulationswerkzeuge zum Einsatz. FEV ist mit langjähriger Erfahrung in der Kombination von Simulation und Versuch in der Lage, eine hohe Vorhersagegüte der Simulationswerkzeuge darzustellen. Für eine grenznahe Auslegung der Kurbelwelle verwendet

Zum Geleit

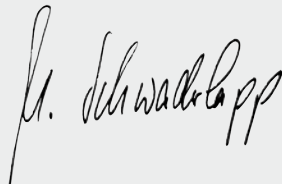


Liebe Leserinnen und Leser,

die Automobilindustrie ist der Innovationsmotor für viele technische Entwicklungen. So bringt beispielsweise die wachsende Elektromobilität einen Schub für die Batterieentwicklung. Gleichzeitig beflügelt die Notwendigkeit der CO₂-Reduktion die Evolution der vorhandenen Technik zur Nutzung weiterer Potenziale. In dieser Spectrum-Ausgabe gehen wir deshalb an die Grenzen der konstruktiven Auslegung. Jenseits dieser Grenzen stehen konstruktive Lösungen für die variable Verdichtung im Fokus, ebenso wie die Nutzung von Erdgas als Kraftstoff im Nutzfahrzeug-Dieselmotor. Auch in Sachen Verkehrstelematiksysteme und Fahrzeug-Fahrzeugkommunikation (Car2Car) – zwei brandaktuelle Themen, die einen gänzlich anderen Weg zur CO₂-Reduktion beschreiten – bietet FEV Lösungen an.

Gleich welche Technologien die Zukunft bestimmen werden, die Entwicklung bleibt spannend. Die große Variantenvielfalt und Modularität bei den Fahrzeugplattformen und Antriebssträngen erfordert neue Methoden zur Integration von Antriebssträngen in Fahrzeugen. Besonders die virtuelle Integration ist dabei ein aktuelles Thema, welches in einem weiteren Beitrag behandelt wird.

Wir freuen uns darauf, Sie mit diesen Entwicklungen zu unterstützen!

Ihr


Dr. Markus Schwaderlapp
 Geschäftsführer FEV GmbH

FEV 3-dimensionale, dynamische Mehrkörpersimulationen unter Einbindung flexibler Strukturen mit Hilfe der kommerziellen Software FEV Virtual Engine®.

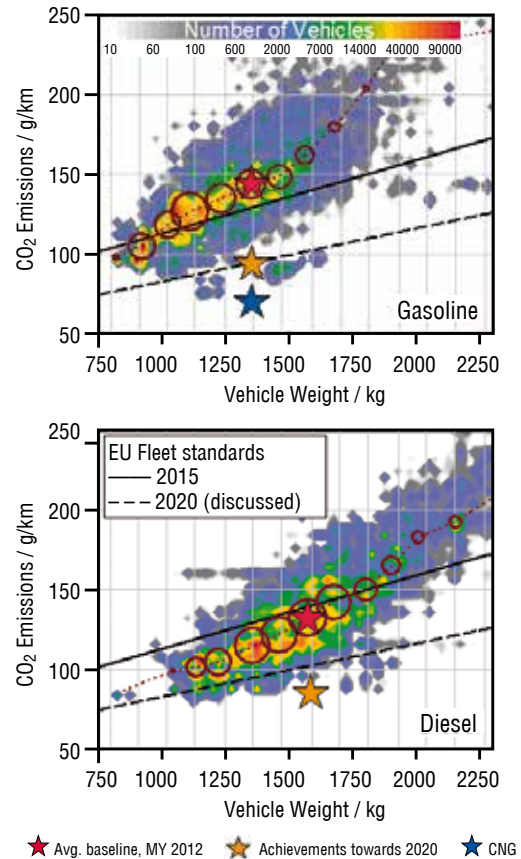


Abb. 1: CO₂-Emissionen-Reduktionspotential von Otto- und Dieselmotoren

Mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen in einer Hohlkehle zwischen Lagerzapfen und Kurbelwange kann das reale Biege- und Torsionsverhalten der Kurbelwelle im gefeuerten Motorbetrieb erfasst und so die exzellente Korrelation zwischen Messung und Simulation verifiziert werden (Abb. 2). Mit Hilfe des validierten Simulationsmodells und unter Einbeziehung des Rollierprozesses in die Berechnung ist es möglich, bei einem 3-Zylindermotor eine Reibungsreduktion der Kurbelwelle von bis zu 40 % zu erreichen.

Weitere Beispiele für grenznahe Auslegungen finden sich bei der Simulation und Spezialmesstechnik zur Bestimmung der Kolbenringdynamik zur Reduktion der Tangentialkräfte und Ringhöhen: Bei der Reduzierung der Bauteilbelastungen ist für zukünftige Motoren mit hohen spezifischen Leistungen besonders der Zylinderkopf betroffen. Speziell beim Dieselmotor führt das Downsizing durch kleine Bohrungsdurchmesser zu Herausforderungen im Bereich Injektor, Ein- und Auslasskanäle und Kühlwassermantel. Detaillierte CAE-Arbeiten in Form von CFD, FEM und TMF ermöglichen eine grenznahe Konstruktion des Zylinderkopfs hinsichtlich Gewicht und Dauerhaltbarkeit.



Potentiale in der Thermodynamik

Downsizing erfordert beim Ottomotor eine Absenkung des Verdichtungsverhältnisses. Die daraus resultierende Reduktion des inneren Wirkungsgrades kann im Verbrauchszyklus durch Reduktion der Ladungswechsel- und Reibungsverluste teilweise kompensiert werden. Diese Strategie lässt sich bis zu einer spezifischen Leistung von ca. 120 kW/l durch optimierte Ladungsbewegung und Gemischbildung für eine erhöhte Verbrennungsstabilität und verminderte Vorentflammungs- bzw. Klopfneigung nutzen.

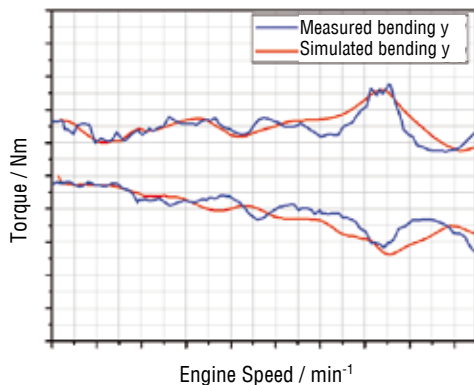
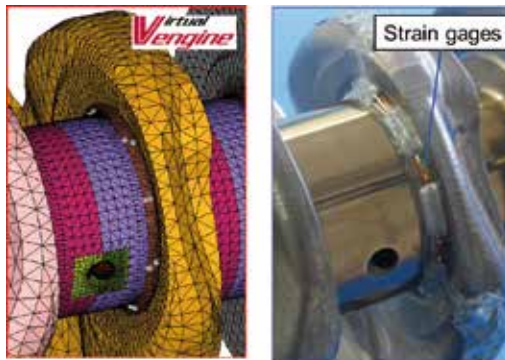


Abb. 2: Prozess zur grenznahen Dimensionierung von Kurbelwellen mittels dynamischer 3D-Simulation mit FEV Virtual Engine® (oben links) und spezieller dynamischer Kurbelwellen-Belastungsmessung (oben rechts), sowie Vergleich von Messung und Simulation (unten)

Darüber hinaus dominieren die Verbrauchsnachteile durch sinkendes Verdichtungsverhältnis. Deshalb muss es für zukünftige, auch auf die Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP) fokussierende Entwicklungen das Ziel sein, in der ottomotorischen Brennverfahrensentwicklung insbesondere den Grundwirkungsgrad des offenen Vergleichsprozesses zu erhöhen. Dies kann z.B. durch eine Verlängerung der Expansion (Atkinson-Verfahren oder Miller-Verfahren mit frühem oder spätem Schließen der Einlassventile) oder durch Erhöhung des geometrischen Verdichtungsverhältnisses bei gleichzeitiger Anpassung der Stoffwerte und Reduktion der Wandwärmeverluste durch die Nutzung gekühlter externer Abgasrückführung erzielt

werden (Abb. 3, oben). Eine weitere Reduktion der Klopfneigung bei Volllast und hoher Teillast ermöglicht die zusätzliche Einspritzung von Kondenswasser aus der Klimaanlage.

Für den Dieselmotor zeigen sich deutliche Potentiale hinsichtlich des Verbrauchs durch die Verwendung eines variablen Verdichtungsverhältnisses (VCR). So lässt sich gegenüber einer Basis-Konfiguration mit Verdichtungsverhältnis 15:0 im Teillastbetrieb mit einem Verdichtungsverhältnis von 17:0 ein deutlicher Verbrauchsvorteil durch Erhöhung von Brennraumdruck und -temperatur zum Einspritzzeitpunkt erzielen. Für einen höheren Teillastpunkt ist dagegen ein abgesenktes Verdichtungsverhältnis von 13,7:1 mit ca. 250 bar höherem Einspritzdruck notwendig, um den Verbrauchs-Emissions-Trade-off bei gleichen NO_x-Emissionen zu optimieren (Abb. 3, unten).

Baumgarten@fev.de

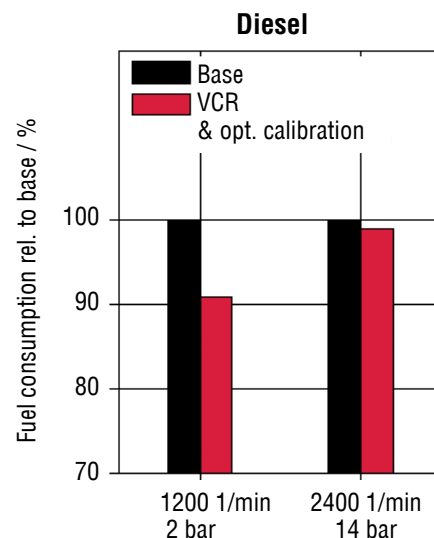
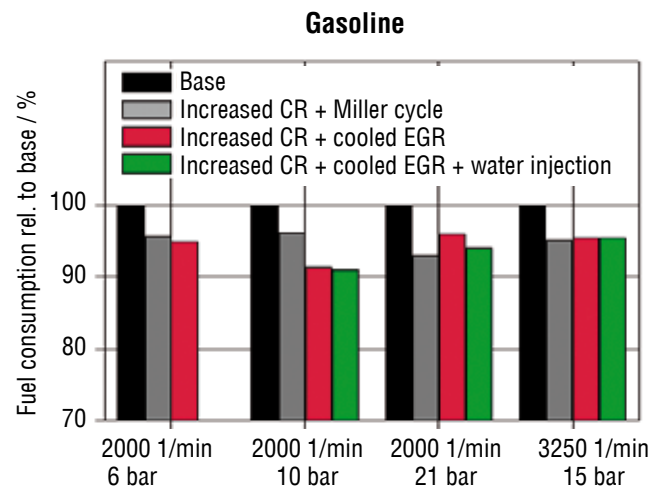


Abb. 3: Thermodynamik - Potentiale beim Otto- und Dieselmotor

Potential eines variablen Verdichtungsverhältnisses für moderne Pkw-Dieselmotoren in Bezug auf CO₂- und Rußemissionen

Die Auslegung des Verdichtungsverhältnisses moderner Pkw-Dieselmotoren orientiert sich primär an den CO₂- und Schadstoff-Emissionen für Pkw-Dieselmotoren. Ein hohes Verdichtungsverhältnis verbessert die Kaltlaufeigenschaften, senkt HC- und CO-Emissionen und ist aus thermodynamischer Sicht vorteilhaft zu bewerten. Es führt jedoch zu hohen Zylinderspitzen drücken und -temperaturen im oberen Lastbereich. Hohe Zylinderdrücke verlangen nach hochwertigen Materialien oder größer dimensionierten Lagern, die wiederum höhere Reibverluste bedingen. Zudem führen die hohen Spitzentemperaturen zu gesteigerten NO_x-Bildungsraten. Vor diesem Hintergrund galt es daher zu beantworten, ob ein variables Verdichtungsverhältnis trotz gesteigerter mechanischer Komplexität in Summe Vorteile hinsichtlich der Erfüllung zukünftiger CO₂-Ziele offeriert. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, wobei aus Komplexitäts- und Kostengründen für diese Untersuchungen ein 2-Punkt-System gewählt wurde, dessen Mechanismus in Abb. 4 gezeigt ist.

bringt das Umschalten auf ein geringeres Verdichtungsverhältnis in hohen Lastbereichen insbesondere in Bezug auf PM-Emissionen deutliche Vorteile. Auf Basis dieser Ergebnisse erfolgte eine Potentialabschätzung für den Fahrzyklus mit unterschiedlichen Umschaltstrategien zwischen hohem und niedrigem Verdichtungsverhältnis. Die durch die VCR-Strategien ermöglichten CO₂- und Rußeinsparpotentiale unter Einhaltung der EU-6-NO_x-Grenzwerte sind in Abb. 5 aufgezeigt.

Zur abschließenden Bewertung dieses Ansatzes wurden die (CO₂-)Emissionen, Motorleistung und Kosten von verschiedenen Konfigurationen betrachtet. Die Mehrkosten für die VCR-Funktionalität fallen durch den Aufwand für die Mechanik trotz der Einsparungen beim Grundmotor durch reduzierte mechanische Belastung und reduzierte Edelmetallbelastung des DOC höher aus. Die VCR-Technologie bietet aber Potentiale auf der Verbrauchsseite und ermöglicht eine erhebliche Reduktion der NO_x-Rohemissionen, insbesondere im „Off-Cycle“-Bereich. Mit abgeschätzten Zusatzkosten von etwa 200 € nur für die VCR-Mechanik ohne Gegenrechnung des Einsparpotentials an anderer Stelle ergibt sich hinsichtlich Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der zukünftigen Grenzkosten von 95 € je eingespartem gCO₂/km ein rechnerisches Mindesteinsparpotential von 2,1 g/km. Die diesem Beitrag zu Grunde liegenden Untersuchungen weisen auf ein Potential im Bereich von 5-6 g/km ohne Berücksichtigung der NO_x-Absenkungen im „Off-Cycle“-Bereich hin und untermauern damit die Attraktivität der VCR-Technologie für zukünftige Dieselmotorgenerationen.

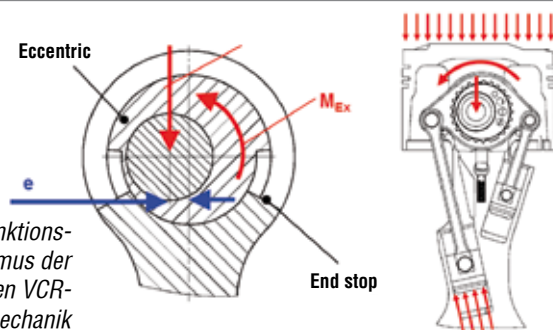


Abb. 4: Funktionsmechanismus der 2-stufigen VCR-Verstellmechanik

Im Zuge der Brennverfahrensentwicklung resultiert aus der konstruktiven Umsetzung eine besondere Herausforderung, da sich bei der gewählten Variation von $\epsilon=13,7:1$ bis $17:1$ über eine Verstellung der Pleuellänge und der damit verbundenen Änderung des Quetschspalts (von 0.78 auf 2.2 mm) wesentliche Parameter der Verbrennungsauslegung verändern. Zur detaillierten Bewertung der neuen Brennraumgeometrie wurden 3D-CFD-Simulationen durchgeführt. Innerhalb der gegebenen Freiheitsgrade hinsichtlich Muldengeometrie, Drallintensität und Einspritzstrahlage konnte ein ausgewogenes, leistungsfähiges Brennverfahren definiert werden.

Die experimentellen Untersuchungen wurden an einem modernen 1-Zyl. Motor mit 390 cm³ Hubvolumen durchgeführt und umfassten weite Bereiche des Kennfeldes vom Leerlauf- bis zum Vollastbetrieb. Im Niedriglastbereich erwies sich der Betrieb mit höherem Verdichtungsverhältnis als deutlich überlegen. Dagegen

Koerfer@fev.com

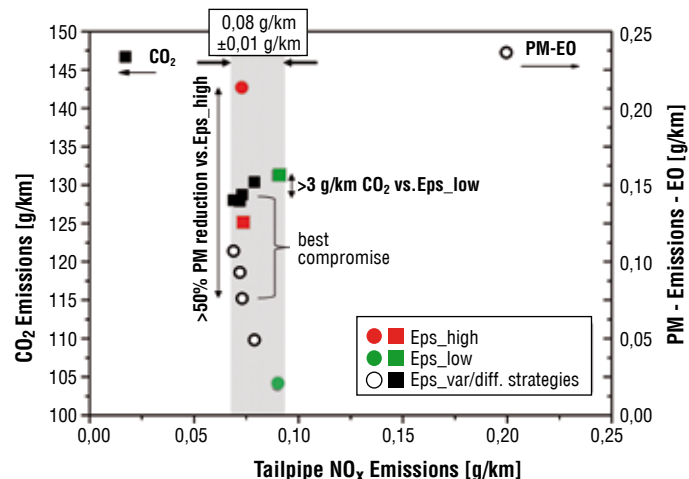


Abb. 5: Potential eines VCR-Systems bzgl. CO₂ bzw. PM-Emissionen für ein Mittelklassefahrzeug (SMK 1470-1590 kg) im NEFZ-Zyklus bei vergleichbaren NO_x-Emissionen (0,08 ± 0,01 g/km)



Fahrzeug-NVH-Entwicklung mithilfe des Virtual Powertrain Swap-Verfahrens

Die Erfüllung der Kundenwünsche bei Fahrzeugoptimierungen erfordert eine ausgereifte NVH-Methodologie. Die Fahrzeuginnengeräuschsimulation (Vehicle Interior Noise Simulation, VINS) der FEV bietet eine Methode zur vollständigen Charakterisierung der Beiträge von Quelle (Antriebsstrangeräusch und -schwingungen) und Pfad (Fahrzeug-Luft- und Körperschall-Übertragungsfunktionen) zur Gesamtfahrzeuggeräuschqualität. Dies erleichtert die NVH-Entwicklung von Antriebsstrang und Fahrzeug zur Bestimmung der optimalen Elemente für die gewünschte Innengeräuschqualität. Im Gegensatz zur herkömmlichen Geräuschübertragungspfad-Analyse (Transfer Path Analysis, TPA) ist der auf dem Zeitbereich basierende VINS-Prozess (Abb. 7) gut geeignet, um vom Antriebsstrang ausgehende Fahrzeuginnengeräusche sowohl unter stationären als auch unter transienten Bedingungen zu simulieren. Ein weiteres Merkmal des VINS-Verfahrens ist die logische Definition der Charakteristiken der Quelle (Antriebsstrang) im Vergleich

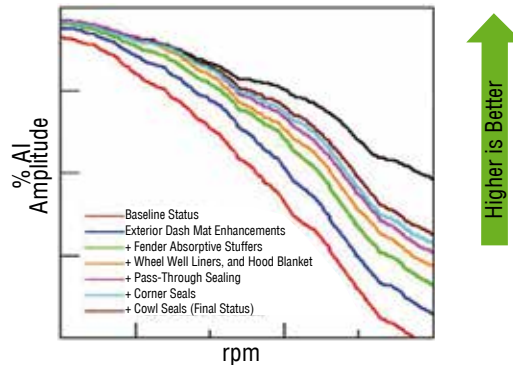


Abb. 8: Simulierter AI für untersuchte Elemente

mithilfe einer VINS-Analyse des Zielfahrzeugs erzeugt. Als Ausgangspunkt wurden die bekannten Geräuschübertragungsfunktionen von dem Fahrzeug mit Ottomotor verwendet. Für jedes Schallpaketelement sowie geeignete Kombinationen derartiger Elemente wurden aktualisierte Luftschallübertragungsfunktionen gemessen. Unter Verwendung dieser aktualisierten Schallübertragungsfunktions-Informationen wurde das Innengeräusch simuliert und relativ zu den Baseline- und Ziel-Innengeräuschsignaturen beurteilt. Anhand dieser Informationen wurden die Elemente priorisiert um einen Vorschlag für ein realisierbares Dieselfahrzeug-Akustikpaket zu erstellen. Abb. 8 zeigt die Artikulationsindex (AI)-Metrik für verschiedene Schallpaketkombinationen des zu entwickelnden Dieselfahrzeugs. Da Zeitbereichsinformationen gespeichert wurden, konnten andere erweiterte Soundqualitätmetriken sowie subjektive Beurteilungen eingesetzt werden um die NVH-Ziele des Fahrzeugprogramms zu erfüllen. Vorteile sind:

- Bewertung vor der Verfügbarkeit von Prototypen des Dieselmotor-Entwicklungsfahrzeugs,
- Höhere Effizienz, da für die Iterationen keine Betriebsdaten erforderlich waren,
- Bessere Reproduzierbarkeit durch Verwendung eines einzigen Quelldatensatzes.

Ein virtueller Tausch kann auch durchgeführt werden, um den Beitrag von Antriebsstrang und Fahrzeug zu störenden Geräuschen festzustellen:

- Antriebsstrang-NVH-Vergleich: Unter Verwendung von Übertragungsfunktionsdaten von einem einzigen Fahrzeug können beide Antriebsstränge virtuell im gleichen Fahrzeug installiert werden. Dadurch ergibt sich ein relevanter Vergleich der Antriebsstrangs-Quelldifferenzen für die Gesamt-NVH-Leistung.
- Fahrzeug-NVH-Vergleich: Mit einem einzigen Quelldatensatz kann der gleiche Antriebsstrang in jedem Fahrzeug installiert werden. Dies eliminiert Reproduzierbarkeitsprobleme und erleichtert den Vergleich der Fahrzeugreaktionen auf bestimmte Eingaben.

Govindswamy@fev.com, Tousignant@fev.com

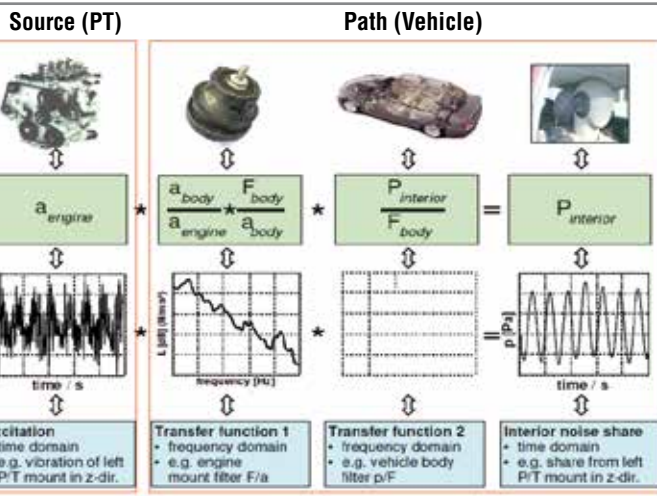


Abb. 7: Prozessübersicht

zum Pfad (Fahrzeug). Dieser Aspekt ist insbesondere relevant bei der Durchführung eines virtuellen Antriebsstrangtausches (Virtual Powertrain Swap). Damit ist die Methode gemeint das Antriebsstrangeräusch der Quelle von Fahrzeug A (z. B. dem Zielfahrzeug) virtuell auf Fahrzeug B (z. B. das Entwicklungsfahrzeug) zu übertragen, um Geräuschsignaturen für Antriebsstrang-Fahrzeug-Kombinationen herzustellen, die in der Realität noch nicht existieren.

Der virtuelle Antriebsstrangtausch wird an einer Fallstudie eines Fahrzeuges mit Dieselmotor illustriert. Die Dieselfahrzeugvariante sollte aus dem vorhandenen serienfahrzeug mit Benzinmotor entwickelt werden. Am Anfang war es wichtig, das Akustikpaket für die zu entwickelnde Dieselfahrzeugvariante zu definieren. Dafür wurde der Dieselmotor virtuell in dem Benzinfahrzeug „installiert“ und anschließend die VINS-Analyse durchgeführt. Dabei wurden NVH-Daten für den geplanten Diesel-Antriebsstrang

Untersuchung von Diesel- und Erdgasverbrennung in einem Dual-Fuel-Konzept und als Mittel zum Erzielen der RCCI-Verbrennung

In den letzten Jahren konnte auf dem Markt für schwere Nutzfahrzeuge ein starker Zuwachs bei der Anwendung von Dual-Fuel-Technologien beobachtet werden. Dies war insbesondere durch die Verfügbarkeit von kostengünstigem Erdgas motiviert. Es sind zahlreiche Forschungsarbeiten durchgeführt worden, um das Verbrennungsverhalten von Dual-Fuel-Diesel-/CNG-Motoren zu verstehen. Eine große Schwierigkeit beim Dual-Fuel-Betrieb ist die Herausforderung, einen hohen Grad bei der CNG-Substitution bereitzustellen. Dies trifft insbesondere bei niedrigen und mittleren Lasten aufgrund von niedrigem Motorwirkungsgrad und hohen Konzentrationen der CO- und HC-Emissionen zu. Bei höheren Lasten stellen Spitzendrücke und Abgastemperaturen einen limitierenden Faktor beim Erreichen einer höheren CNG-Substitution dar.

In diesem Zusammenhang hat FEV das Verbrennungsverhalten schwerer Nutzfahrzeugdieselmotoren beim Betrieb mit CNG untersucht. Die Untersuchungen wurden an einem Nutzfahrzeugdieselmotor der Klasse 8 durchgeführt, der die US2010-Emissionsvorschriften und OBD-Bestimmungen erfüllt. CNG wurde an einem einzelnen Punkt im Saugrohr mithilfe von mehreren Gasinjektoren mit einer hausintern entwickelten Steuerstrategie eingebracht. Bei der Studie wurde festgestellt, dass zur Maximierung der CNG-Substitution unter Erfüllung der US2010-Emissionsnormen eine selektive Verbrennungsstrategie implementiert werden musste. Als ein Ergebnis dieser Studie wurde ein in Abb. 9 dargestelltes Substitutions- und Verbrennungsstrategiekennefeld für den Dual-Fuel-Betrieb erstellt.

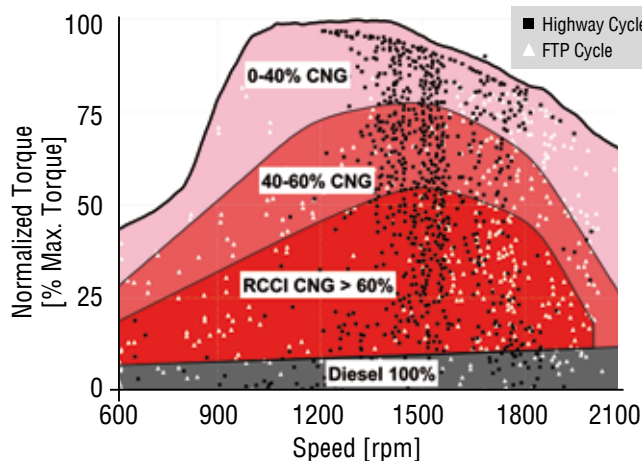


Abb. 9: Substitutionskennefeld

Bei Teillast konnte eine hohe CNG-Substitution mit sehr niedrigen NO_x- und Partikelemissionen durch Anwendung eines RCCI-Verbrennungskonzepts erzielt werden. Beim 6,0 bar-BMEP-Lastpunkt wurde ein Maximum von 50 % indiziertem thermischem Nettowirkungsgrad zusammen mit einer Reduzierung von sowohl NO_x- als auch Partikelemissionen von 70 % beobachtet (siehe Tabelle 1). Im Durchschnitt konnte das Programm eine CNG-Substitution von bis zu 65 % verglichen mit dem Betriebskennefeld (unter Verwendung der in Abb. 9 skizzierten Substitutions- und Verbrennungsstrategie) demonstrieren, während eine Reduzierung von 43 % bei den NO_x-Emissionen und 68 % beim Partikelaustritt erzielt wurde.

Parameter	Base	RCCI
Speed [rpm]	1500	
BMEP [bar]	6	
Substitution[%]	0	60
Main Timing bTDC [°CA]	7.5	65.2
NO _x [g/KW-hr]	2.78	0.23
SMOKE [FSN]	0.24	0.03
BSC [g/KW-hr]	0.29	0.22

Tabelle 1: Basis vergl. mit RCCI-Verbrennungsleistung bei 6,0 bar BMEP

Zukünftige Herausforderungen liegen in der Realisierung dieser Reduzierungen sowohl bezüglich von Kraftstoffkosten als auch Emissionen während des transienten Betriebs. Die Regulierung zwischen den verschiedenen Verbrennungsstrategien verlangt eine sehr genaue Steuerung der Verbrennung, da signifikante Änderungen an Dieselinjektionsereignissen und CNG-Substitutionskonzentrationen mit dem Wechsel unter den verschiedenen Verbrennungsregimes verbunden sind. Ein Konzept, das diese Bemühungen unterstützen kann, ist die Implementierung eines modellbasierten Steuergeräts unter Verwendung von Echtzeitfeedback aus einem Zylinderdrucksensor zusammen mit Einlass- und Abgasrandbedingungen zur genauen Steuerung der Verbrennungsphasenregelung.

FEV untersucht weiterhin Entwicklungsmöglichkeiten bei Dual-Fuel-Motoren, um die Branche ideal auf die Nutzung eines reichlich vorhandenen und kostengünstigen Kraftstoffs vorzubereiten.



Thermomanagement von Hybrid- und Elektrofahrzeugen



Bei elektrifizierten Fahrzeugkonzepten stellt das Thermomanagement im Hinblick auf die spezifischen thermischen Eigenschaften der Elektrokomponenten eine große Herausforderung dar. Im Vergleich zum Verbrennungsmotor besitzen die elektrischen Komponenten einen sehr hohen Wirkungsgrad. Dies führt a priori zu deutlich geringerer Abwärme. Weiterhin sind die Grenztemperaturen der elektrischen Komponenten im Vergleich zu denen von Verbrennungsmotoren deutlich niedriger und es müssen mehrere, mindestens zwei Temperaturbereiche mit den Kühlkreisläufen des Fahrzeugs abgedeckt werden. Die besondere Aufgabe bei elektrifizierten Fahrzeugen besteht darin, zum einen - oftmals bei unveränderter Fahrzeugarchitektur - ein komplexeres Thermomanagement zu integrieren, zum anderen weiterhin die Anforderungen hinsichtlich Fahrkomfort und Betriebssicherheit auch bei extremen klimatischen Bedingungen zu erfüllen.

Um diese komplexen Fragestellungen zu beantworten hat die FEV einen virtuellen Entwicklungsprozess zur Kühlsystementwicklung erarbeitet, mit welchem bei Verkürzung der Entwicklungszeit ein solches komplexes Thermomanagementsystem hinsichtlich Effizienz, Komfort und Einhaltung thermischer Maximalwerte definiert, ausgelegt und optimiert werden kann. Er basiert auf einer Kombination aus ein- und dreidimensionaler Strömungssimulation und gliedert sich in die folgenden Punkte:

- Layoutkonzept der Kühlkreisläufe
- Abschätzung der Wärmeströme und des Kühlleistungs- und Heizleistungsbedarfs
- 1D Auslegung des externen Kühlsystems

- 3D CFD-Simulation der Motorraumdurchströmung
- Virtuelle Analyse und Optimierung des Thermomanagements

Ein möglicher Weg zur Nutzung der Verlustleistung von E-Fahrzeugen ist der Einsatz von fluidischen Heizflächen. Diese werden in der Kabinenperipherie angebracht und versorgen die Insassen mit Strahlungswärme. Die Vorteile dieser Maßnahme sind, dass zum Erreichen des gleichen Komforts im Innenraum geringere Temperaturen erforderlich sind und weniger Heizleistung für eine Wohlfühltemperatur benötigt wird. Zum anderen können die Flächen an heißen Tagen auch zur Kühlung genutzt werden. Herausforderungen entstehen durch die Integration, Sicherheit und Gewichtsreduktion der Flächenheizungen.

Die Komplexität eines konzeptionellen Layouts der Kühlkreisläufe für ein Hybridfahrzeug ist deshalb besonders hoch, da die Betriebstemperaturen der Komponenten in mehreren Bereichen liegen, z.B.:

- Verbrennungsmotor/Range Extender: 90 - 120 °C
- Elektrische/elektronische Komponenten: 50 - 70 °C
- Lithium-Ionen-Batterie: 20 - 40 °C

Ziel ist es bei unveränderter Fahrzeugarchitektur die Verlustleistungen der E-Komponenten zu nutzen und ein intelligentes Thermomanagement zu etablieren. Der vorgestellte virtuelle Entwicklungsprozess leistet hierzu wertvolle Beiträge.

Wolff@fev.com

Der neue 3-Zylinder PSA Peugeot-Citroën Puretech 1.2 e.THP

„Ein Durchbruch bei Kraftstoffverbrauch und Fahrverhalten.“

Die Entwickler von PSA sind von der Effizienz der neuen Motoren überzeugt.

Denis Fourchon,
Chief Engineer
PureTech 1.2 e.THP

Philippe Souhaite,
Senior Expert Gasoline
Powertrains

Patrice Marez,
Powertrain System
Design Director



Um PSA's Verpflichtung zur Reduzierung der CO₂-Emissionen seiner europäischen Flotte auf 95 g/km bis 2020 zu erfüllen, hat PSA eine neue modulare Familie aus 3-Zylinder-Ottomotoren entwickelt. Diese Puretech genannte Familie besteht aus 1,0L- und 1,2L-Saugmotoren mit Einlasskanaleinspritzung (PFI), die den Leistungsbereich von 50 kW bis 60 kW abdecken, sowie 1,2L-Turbomotoren mit Direkteinspritzung (DI), die den Leistungsbereich von 80 kW bis 96 kW abdecken. Der neue Puretech 1,2L-Turbo-DI-Motor ist das beste Beispiel für die Downsizing-Strategie von PSA Peugeot Citroën. Seine Volllastcharakteristik mit einer maximalen Leistung von 96 kW, einem Spitzendrehmoment von 230 Nm, hohem Drehmoment bei niedriger Drehzahl und eine Kraftstoffverbesserung von 21% im Peugeot 308 im Vergleich zum 1,6-Valvetronic-Saugmotor, den er ersetzt, stellen ein perfektes Gleichgewicht aus Kraftstoffverbrauch und Fahrvergnügen dar. Er

stellt neue Maßstäbe für Mainstream Pkws hinsichtlich des spezifischen Drehmoment (192 Nm/L) und der spezifischen Leistung (80 kW/L) auf. FEV hat mit Mechaniktests und Verfahrensuntersuchungen zur Entwicklung beigetragen.

Basismotor

Die wichtigsten Merkmale sind:

- Verstärkter Grundmotor wegen der hohen spezifischen Leistung und insbesondere des hohen spezifischen Drehmoments
- Wassergekühlter integrierter Krümmer zur Reduzierung der Einlassturbulentemperatur und des Bauraumbedarfs
- Optimierte Reibungsverluste: - 35 % verglichen mit dem ersetzten 1,6-Saugmotor
- Optimiertes NVH
- Hocheffiziente Verbrennungs- und Luftpfadsysteme

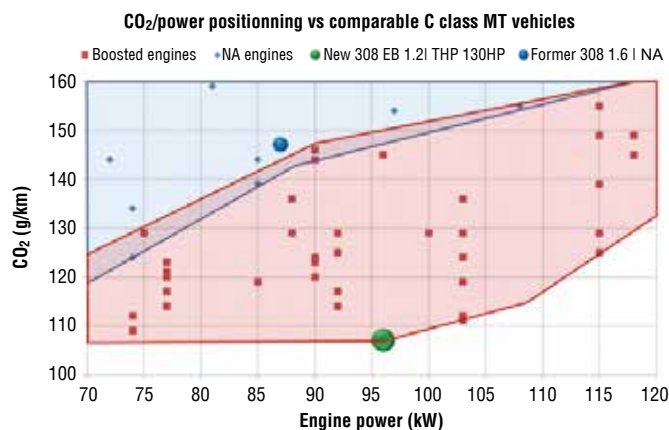
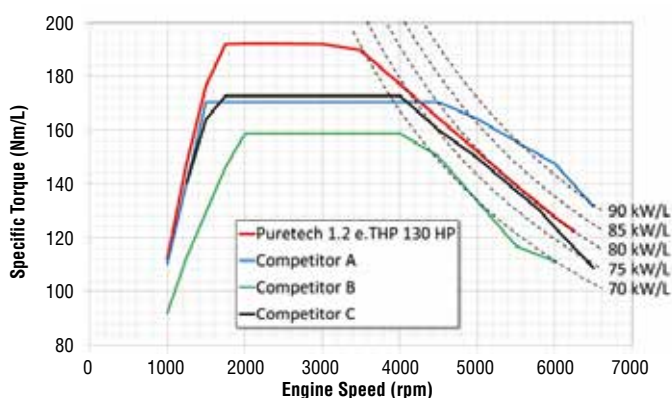


Abb. 10: Volllastcharakteristik und CO₂/Leistung im Vergleich zu den besten Mitbewerbern



Die wichtigsten Motormerkmale sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt:

Hauptmerkmale	1,2 L e. THP 110 PS	1,2 L eTHP 130 PS
Bauform	3 Zylinder	
Emissionsstufe	Euro 6.1	
CO ₂ – Emissionen im NEDC (im 308)	102 g/km	107 g/km
Nennleistung	81 kw/110 PS @ 5500 U/min	96kw/ 130HP @ 5500 U/min
Max. Drehmoment	205 Nm @ 1500 U/min	230Nm @ 1750 U/min
Kraftstoffsystem	Direkteinspritzung mit zentraler Lage der lasergebohrten 5-Loch-Injektoren, 200 bar, Mehrfacheinspritzung (bis zu 3 pro Zyklus)	
Aufladesystem	Single-Scroll-Turbolader: max. Ladedruck 2,4 bar, max. Drehzahl 270 000 1/min	
Elektrisches System	Intelligente Generator- und Verbraucherregelung, Batterielastoptimierung, Stopp-Start-System	
Hubraum	1199 cm ³	
Verdichtungsverhältnis	10,5	
Bohrung/Hub	75 mm / 90,5 mm (mit 7,5 mm Kurbelwellenversatz)	
Zylinderblock	Aluminium-Vakuumpressguss mit zusätzlicher Wärmebehandlung, eingegossene aluminiumbeschichtete Liner	
Kurbelwelle/ Pleuelstange	Eisenkurbelwelle T42 und M42, Pleuelstange aus hochfestem Stahl 38MnSiV4	
Massenausgleich	Einzelne gegenläufig drehende Ausgleichswelle, Antrieb über Zahnradpaar mit entkoppeltem Zahnrad auf der Ausgleichswelle, TSD-Riemenscheibe mit hoher Massenträgheit	
Ölpumpe	Sensorgeregelte Ölpumpe	
Zylinderkopf	Sandgussverfahren, an Luft ausgelagert. Aluminiumlegierung: AS7 CU 0,5 Mg 0,3 / Wärmebehandlung: T7. Integrierter Abgaskrümmen mit optimierter Kühlung	
Steuer- und Ventiltrieb	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Nockenwellen, Riemen-in-Öl-Antrieb • Ein- und Auslass - VVT mit großem Verstellwinkel: EVÖ = -30 / 40°KW; AVÖ = -35 / 35°KW (@ 1 mm Hub) • mechanische Tassenstößel (mit DLC - Beschichtung) • 4 Ventile pro Zylinder, Schaftdurchmesser 5,2 mm, natriumgekühlte Auslassventile 	
Kistenmaß	637 X 595,5 X 687 (LxBxH)	
Gewicht nach PSA-Prozedur ohne Öl	80,5 kg	
Kraftstoff	RON 91-98	

Verbrennungs- und Luftpfadsystem

Die größte Herausforderung bestand darin, das erforderliche Vollastverhalten für einen Kraftstoffverbrauchsvorteil durch Downsizing und Downspeeding zusammen mit einem guten Fahrverhalten und zugleich einen guten Teillast-Motorwirkungsgrad in einem großen Betriebsbereich, um den bestmöglichen Kraftstoffverbrauch bei allen Fahrbedingungen zu gewährleisten zu erreichen. Die wichtigsten Merkmale des Verbrennungs- und Luftpfadsystems sind in Abb. 11 dargestellt:

- Einstufiger Turbolader mit Luft-Luft Ladeluftkühler
- Direkteinspritzung mit zentraler Injektorlage, bis zu 200 bar Einspritzdruck und Mehrfacheinspritzung
- Variable Einlass- und Auslassventilsteuerung für Kraftstoffverbrauchs- und Leistungsoptimierung
- Relativ hohes Verdichtungsverhältnis (10,5) angesichts des hohen spezifischen Drehmoments
- Niedriges Bohrung / Hub-Verhältnis (0,83)
- Starke Tumblebewegung, generiert durch die Einlasskanalform und unterstützt durch Formoptimierung von Brennraum und Pleuelboden
- Hochenergie-Zündsystem
- Effiziente Zylinderkopfkühlung zur Limitierung abnormaler Verbrennung
- Integrierter wassergekühlter Abgaskrümmen zur Einhaltung der maximalen Einlassturbulentemperatur von 980°C ohne wesentliche Gemischanreicherung

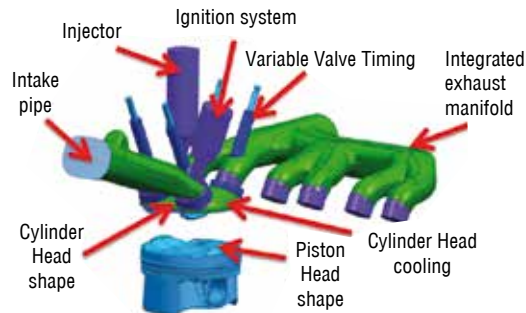


Abb. 11: Brennverfahrenssystemübersicht

Es wurden intensive CFD-Untersuchungen durchgeführt, um die verschiedenen möglichen Konfigurationen bezüglich Gemischaufbereitung (einschließlich Spray-Wandaufprall), Ladungsbewegung, Verbrennungsprozess und Robustheit gegenüber Klopfen und

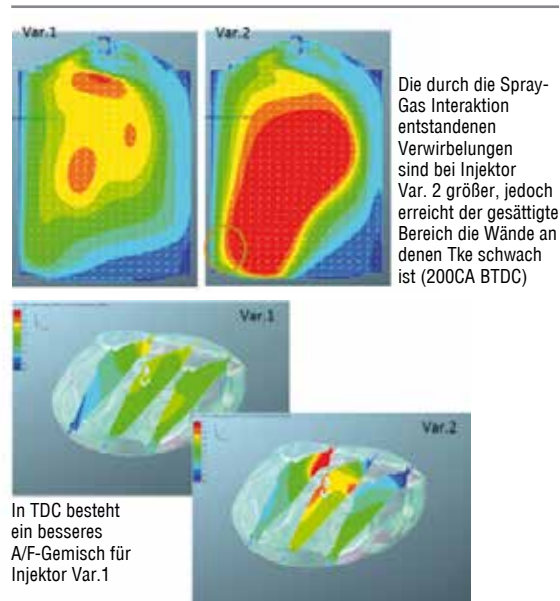


Abb. 12: Gemischaufbereitung - typisches CFD-Ergebnis

Selbstzündung zu bewerten. Zu den berücksichtigten Parametern gehörten die Geometrie der Einlasskanäle, die Injektoreigenschaften (Anzahl der Löcher, Ausrichtung, Tröpfchengröße usw.) und Brennraumform (Kolbenboden, Brennraumdach usw.). Abb. 12 zeigt beispielhafte CFD-Ergebnisse, die zum Vergleich der Injektoren benutzt wurden. Ausgewählte Konfigurationen wurden anschließend am Motor zur Feinoptimierung und Konvergenz für den besten Trade-Off zwischen Volllastverhalten (Leistung, Vermeidung abnormaler Verbrennung), Kraftstoffverbrauch, Emissionen, Ölverdünung, Verbrennungsstabilität und der Vermeidung der Bildung von Ablagerungen an Injektoren und Zündkerzen geprüft. Besondere Aufmerksamkeit wurde dabei auf Systemrobustheit gegen abnormale Verbrennung (Klopfen und Vorentflammung) gelegt. Folgende Maßnahmen dienen der Vermeidung:

- Optimierte Kühlung im Auslassventilbereich (Wassermantel, Wasserbrücke zwischen den Ventilen, natriumgekühlte Ventile, optimiertes Ventilsitzmaterial)
- Optimiertes Injektorspray und Mehrfacheinspritzstrategien (bis zu 3 Einspritzungen bei hoher Last)
- Abgasrückführung durch duale variable Ventilsteuerung
- Implementierung von Motorschutzstrategien in das Motorsteuergerät

Die zwei Nockenwellenversteller werden benutzt, um

- den Kraftstoffverbrauch durch Reduzierung von Pump- und thermischen Verlusten bei Teillast durch eine Kombination des „Atkinson-Zyklus“ (spätes Schließen von Ein- und Auslassventil - siehe Abb. 13) und Ventilüberschneidungsoptimierung zu verbessern;
- die Volllast zu verbessern, inklusive spülender Verbrennung bei niedrigen Motordrehzahlen.

Diese Steuerzeitenstrategien gekoppelt mit einer ausgeprägten Tumblebewegung ermöglichten bis zu 35 % Abgasrückführung bei Teillast und entdrosseltem

Betrieb in einem großen Betriebsbereich. Abb. 14 zeigt das resultierende Kennfeld für den spezifischen Kraftstoffverbrauch (BSFC), in dem die Drehzahl-Last-Kollektive für verschiedene Fahrprofile wie die Fahrzyklen des NEDC, des zukünftigen WLTC und typische Autobahnfahrten dargestellt sind.

Folgende Punkte sind erwähnenswert:

- Ein minimaler BSFC-Wert von 237 g/kWh vergleichbar mit modernsten Saugmotoren bei gleichem Hubraum
- Der große Kennfeldbereich mit BSFC-Werten unter 240 g/kWh ermöglicht einen nahezu optimalen Kraftstoffverbrauch bei den meisten Fahrbedingungen, ohne zu hohe Übersetzungsverhältnisse zu erfordern.

In Verbindung mit den Effekten von Downsizing und Downspeeding, die die hohe spezifische Leistung ermöglicht, und der Stop-Start-Funktionalität, trägt dieses BSFC-Kennfeld zu einer Verbesserung der CO₂-Emissionen von 21 % verglichen mit dem früheren 1.6-Saugmotor-Antriebsstrang bei.

Schlussfolgerung

Der neue EB TURBO Puretech 1,2L-3-Zylinder-Motor bietet eine ausgezeichnete Leistung und hervorragendes Fahrvergnügen bei stark reduzierten CO₂-Emissionen. Gleichzeitig wurde ein hoher Grad gemeinsamer Bauteilkomponenten und Fertigungsverfahren mit den Saugmotorversionen erhalten. Bemerkenswert ist unter anderem der große Betriebsbereich mit niedrigem BSFC, der Kraftstoffverbrauchseinsparungen in einem umfassenden Spektrum von Fahrprofilen gewährleistet. Die neue modulare Familie aus 3-Zylinder-PFI-Saugmotor und TGD I EB PureTech von 50 kW bis 100 kW wird ein breites Spektrum der weltweiten Pkw-Anwendungen von PSA abdecken sowie zukünftige Vorschriften und Kundenerwartungen erfüllen.

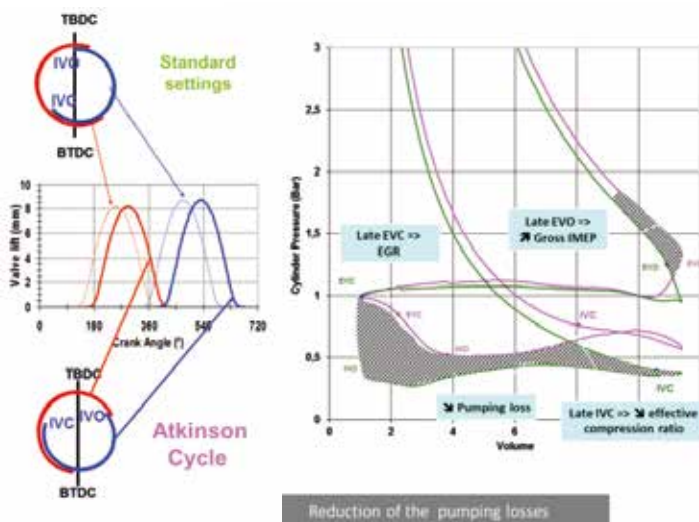


Abb. 13: Atkinson-Verfahren

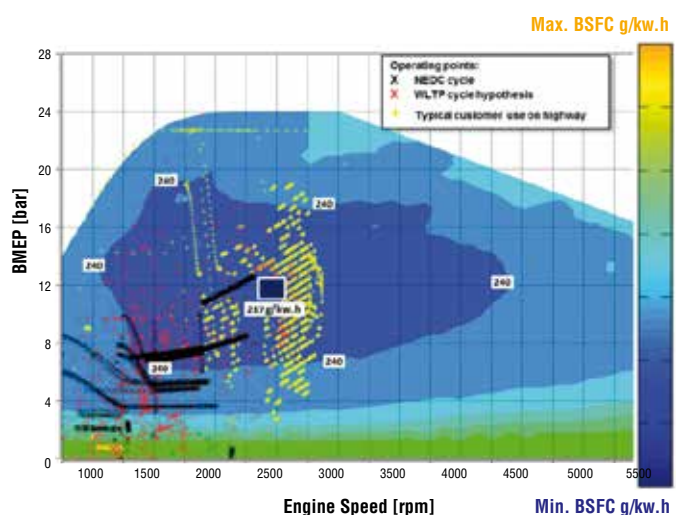


Abb. 14: BSFC-Kennfeld



Der Erdgasmotor im Nutzfahrzeug als Dieselmotor-Derivat

Getrieben durch die hohe Verfügbarkeit des Primärenergieträgers, seine gute Eignung für ottomotorische Brennverfahren und das günstige H/C-Verhältnis gewinnen erdgasbetriebene Fahrzeuge auch im Nutzfahrzeugsektor zunehmend an Attraktivität. Neben den Betriebskosten, die im Wesentlichen vom Kraftstoffpreis bestimmt werden, sind gesetzliche Regelungen sowie die derzeit noch unzureichende Erdgas-Infrastruktur wichtige Faktoren, die den Einsatz und die Konzeption der Motoren bestimmen.

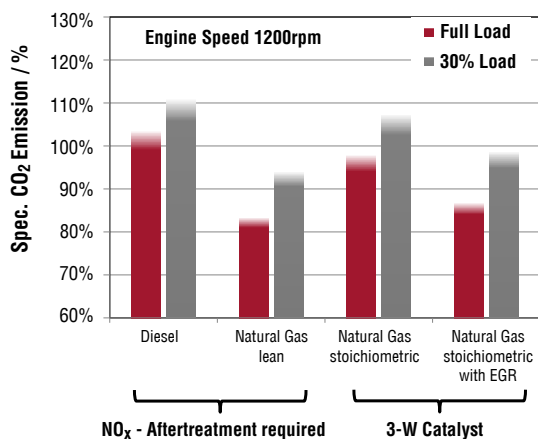


Abb. 6: CO₂-Emissionen von Nfz-Brennverfahrenskonzepten

Im Entwicklungsprozess ergeben sich speziell bei der im Nutzfahrzeugsektor üblichen Ableitung der Erdgasvariante von einem Basis-Dieselmotor vielschichtige Herausforderungen. Grundsätzliches Ziel ist eine möglichst hohe Anzahl von Übernahmeteilen sowie die Verbrauchs- oder Kostenoptimierung. Der Gasbetrieb bedingt unter anderem die Adaption und Optimierung von Gemischbildung und Zündung, die Applikation einer Klopfregelung und der Abgasnachbehandlung. Vor dem Hintergrund des Übergangs auf die nächste Emissionsstufe in Europa und in den USA wurden bei FEV unterschiedliche Konzepte, z.B. AGR zur Verbrauchsoptimierung im gesamten Betriebsbereich entwickelt (Abb. 6). Aus der erfolgreichen Umsetzung dieser Konzepte wurden belastbare Erfahrungen zur Beherrschung dieser Herausforderungen im Entwicklungsprozess gewonnen, von denen unsere Kunden profitieren können.

Heuser_p@fev.com

End-to-End-Validierung von Infotainment- & Telematiksystemen

Die Anforderungen an die nächste Generation der Fahrzeugelektronik stellt eine große Herausforderung an die Automobilindustrie dar. Über Telematik- und Infotainmentsysteme verschmilzt das „Ökosystem Fahrzeug“ zunehmend mit der „IT-Welt“ und nutzt z.B. cloudbasierte Dienste. Die Entwickler wetteifern um eine zuverlässige, sichere und effiziente Integration dieser Funktionen in die Fahrzeuge, aber auch die Absicherung dieser Systeme erfordert neue Methoden. Die Erfahrung zeigt, dass der Weg zum Erfolg häufig mit Schlaglöchern übersät ist. Die FEV verfolgt daher ein mehrphasiges Validierungskonzept, welches die „vernetzte“ Wertschöpfungskette (Abb. 15) berücksichtigt.

Phase 1: Systemspezifikation

Die wichtigste Basis für ein zuverlässiges System liegt bereits in einer möglichst lückenlosen und detaillierten Spezifikation des Gesamtsystems. Hierbei müssen alle Komponenten und Dienste, die für eine konkrete Funktion erforderlich sind, von Beginn an berücksichtigt werden. Neben dem eigentlichen Telematikmodul und den gewünschten Infotainmentfunktionalitäten zur Darstellung und Bedienung der Funktionen muss auch das Backend-System, die Daten-/Systemsicherheit und ggf. einzubindende Dienste Dritter berücksichtigt werden. Die erste Phase des Validierungskonzepts besteht daher in der Analyse der Systemspezifikationen, wobei neben dem OEM auch die Zulieferer und Drittanbieter einbezogen werden. Ziel dieser Analyse ist die Identifikation von Lücken und Konflikten in den Spezifikationen, um anhand der Spezifikationen den Design Verification Plan and Report (DVP&R) zu definieren. Bereits in dieser Phase werden auch die Testspezifikationen für die spätere Systemvalidierung erstellt bzw. überprüft.

Phase 2: Projektplanung

In der zweiten Phase muss sichergestellt werden, dass die Projektplanung und die definierten Prozesse eine fehlerfreie Umsetzung der Anforderungen ermöglicht. Eine Besonderheit bei der Planung vernetzter Systeme besteht darin, dass Partner aus unterschiedlichen Technologiebereichen mit zum Teil stark abweichenden Produktlebenszyklen gemeinsame Entwicklungs- und Validierungsprozesse definieren müssen. Ebenso gilt es klare Verantwortlichkeiten und Aufgaben in der Validierungskette zu definieren, was durch den DVP&R unterstützt wird. Die zwischen OEM und der klassischen Zuliefererin-



Abb. 15: „Vernetzte“ Wertschöpfungskette und Dienstleistungen der FEV

industrie etablierte Zusammenarbeit muss um die Telekommunikations- und Dienstleister erweitert werden. Im Rahmen des dreistufigen Validierungskonzeptes werden in dieser Phase sowohl die Projektstruktur und -prozesse plausibilisiert, als auch robuste Testfälle definiert, welche alle betroffenen Komponenten und Dienste abdecken.

verläufe verwendet und mit der Simulation kombiniert werden können, eignet sich das TST auch für die Reproduktion kritischer Situation aus der Fahrzeugerprobung.

Huelshorst@fev.com

Phase 3: Systemintegration und -validierung

Die Zusammenführung der Komponenten und Dienste zu dem gewünschten Gesamtsystem erfolgt schrittweise, wobei die Systemkomponenten zunächst einzeln getestet werden. Hierfür setzt die FEV auf teil-oder vollautomatisierte Testsysteme wie z.B. das Human Machine Interface Testsystem (HMIst). Das Testsystem übernimmt dabei die Systembedienung durch Simulation der Nutzereingaben (z.B. Bedienung über Touchscreen und Sprachbefehle). Die Reaktionen des HMI werden u.a. durch eine Kamera erfasst. Die einzelnen Testfälle werden automatisiert durchgeführt und ausgewertet, wobei auch die Einbindung mobiler Endgeräte berücksichtigt wird. Auch für die Validierung der Telematikeinheit findet ein automatisiertes Testsystem Verwendung. Der Telematics System Tester (TST) bietet eine komplette Simulationsumgebung für alle Eingangssignale kombiniert mit einer automatisierten Testdurchführung und -auswertung (Abb. 16). Die dritte Phase des Validierungskonzeptes wird komplettiert durch die Fahrzeugerprobung und die Überprüfung des Gesamtsystems inklusive der Backend-Systeme und Dienstleister. Da auch aufgezeichnete Signal-



Abb. 16: FEV Telematics System Tester (TST) zur Simulation vernetzter Fahrzeuganwendungen im Testlabor

Impressum

FEV GmbH
Neuenhofstraße 181
52078 Aachen · Germany
Telefon +49 241 5689-0
Fax +49 241 5689-119
E-Mail marketing@fev.com

FEV North America, Inc.
4554 Glenmeade Lane
Auburn Hills, MI 48326-1766 · USA
Telefon +1 248 373-6000
Fax +1 248 373-8084
E-Mail marketing@fev-et.com

FEV China Co., Ltd.
No. 35 Xinda Street Qixianling
High Tech Zone · 116023 Dalian · China
Telefon +86 411 8482-1688
Fax +86 411 8482-1600
E-Mail fev-china@fev.com

FEV India Pvt, Ltd.
Technical Center India
A-21, Talegaon MIDC
Tal Maval District · Pune-410507 · India
Telefon +91 2114 666-000
E-Mail fev-india@fev.com



Leserservice

Ihre Anschrift hat sich geändert? Eine Kollegin/ein Kollege soll auch regelmäßig SPECTRUM bekommen? Senden Sie Firma, Name, Anschrift per E-Mail an: spectrum@fev.com