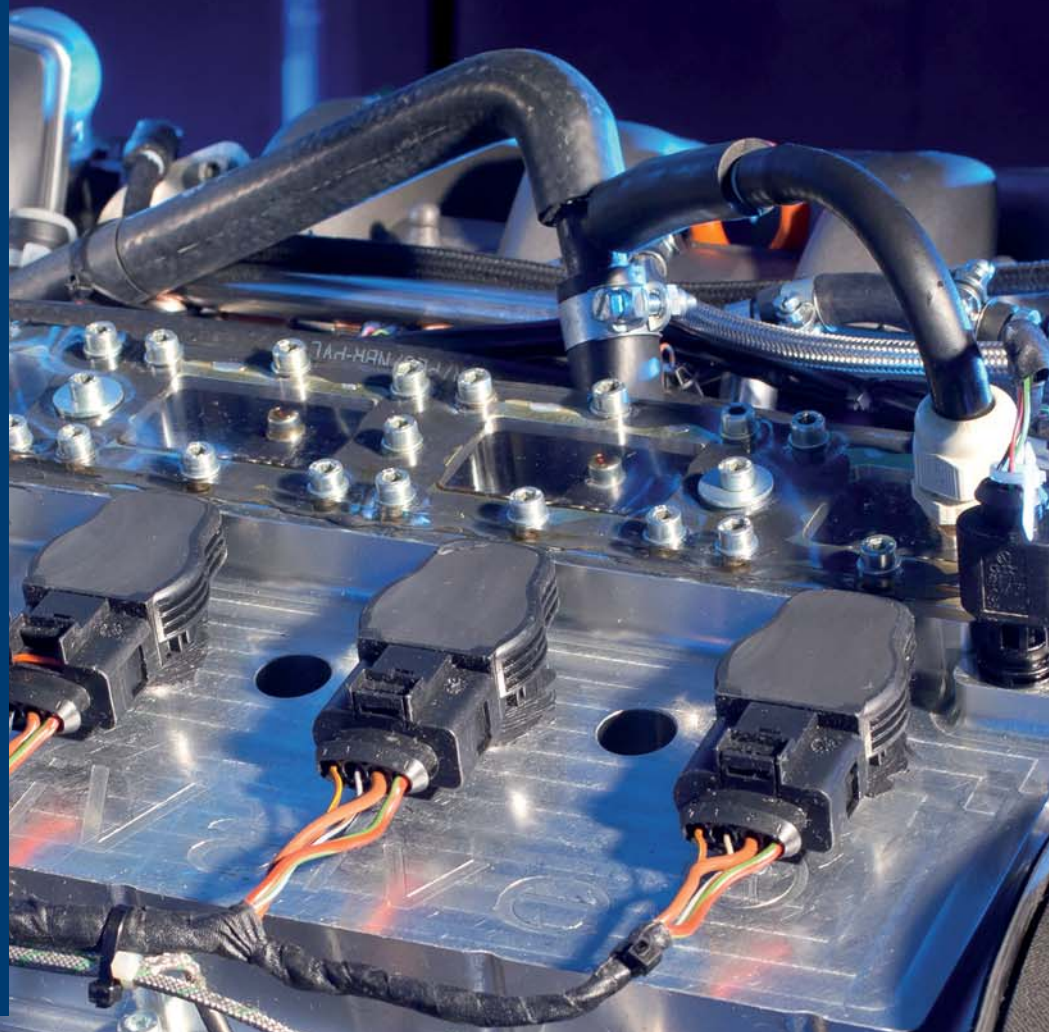


Sonderdruck/Offprint

aus/from MTZ 05|2011

Springer Automotive Media

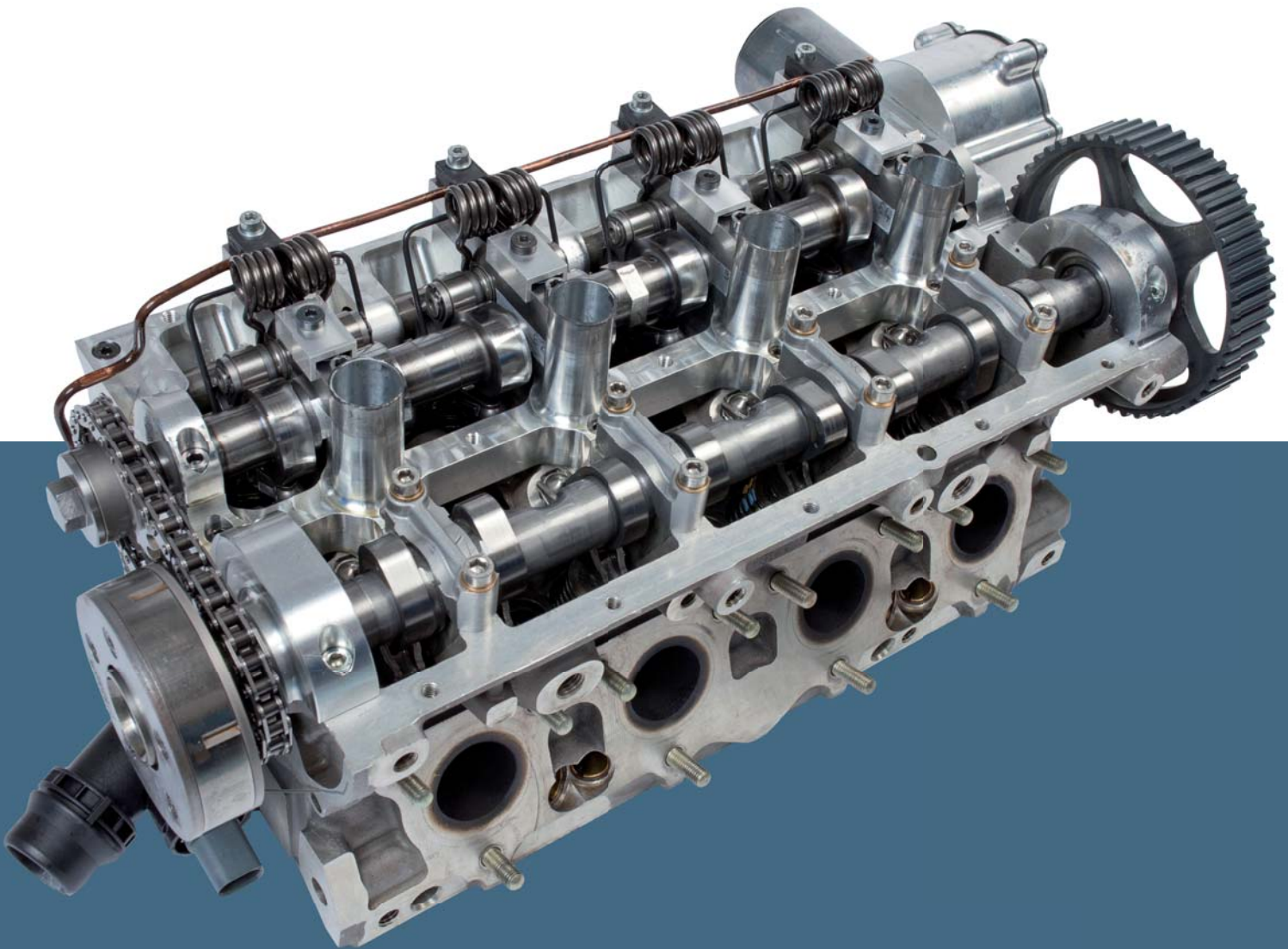
Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH



**UNIVALVE – EIN VOLLVARIABLES
MECHANISCHES VENTILTRIEBSYSTEM FÜR
ZUKÜNFTIGE VERBRENNUNGSMOTOREN**

**UNIVALVE – A FULLY VARIABLE
MECHANICAL VALVE LIFT SYSTEM FOR
FUTURE INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

UNIVALVE – EIN VOLLVARIABLES MECHANISCHES VENTILTRIEBSYSTEM FÜR ZUKÜNFTIGE VERBRENNUNGSMOTOREN



Um den Ladungswechsel und die Verbrennungsabläufe zu optimieren, müssen Leistungs-, Emissions- und vor allem Wirkungsgradpotenziale von Verbrennungsmotoren maximal ausgenutzt werden. Dieses Potenzial kann nur mit einem Ventiltrieb realisiert werden, der eine stufenlose Verstellung der Ventilsteuerzeit ermöglicht und damit eine drosselfreie Laststeuerung zulässt. Daher hat die Kolbenschmidt Pierburg AG das von der Entec Consulting GmbH konzipierte System Univalve ausgewählt und die Rechte an diesem System erworben. Gemeinsam wird nun die Entwicklung zur Serienreife vorangetrieben.

AUTOREN



PROF. DR.-ING. RUDOLF FLIERL

ist Leiter des Lehrstuhls für Verbrennungskraftmaschinen an der TU Kaiserslautern.



DIPL.-ING. STEPHAN SCHMITT

ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen an der TU Kaiserslautern.



DR.-ING. GERD KLEINERT

ist Vorsitzender des Vorstands der Kolbenschmidt Pierburg AG in Neckarsulm.



DR.-ING. HANS-JOACHIM ESCH

ist Generalbevollmächtigter Forschung und Technologie bei der Kolbenschmidt Pierburg AG in Neckarsulm.



DIPL.-ING. HEINRICH DISMON

ist Leiter Vorentwicklung bei der Kolbenschmidt Pierburg AG in Neckarsulm.

MOTIVATION

Ohne Verbrennungsmotor können die Mobilitätswünsche der Weltbevölkerung in den nächsten 50 Jahren nicht erfüllt werden. Bei einem heutigen, weltweiten Bestand von zirka 1 Milliarde Fahrzeugen beziehungsweise Verbrennungsmotoren, ist es daher zur Reduzierung der CO₂-Emissionen und zur wirtschaftlichen Nutzung dieser Fahrzeuge erforderlich, alternative Antriebskonzepte zu entwickeln und gleichzeitig alle Möglichkeiten zur Optimierung des Verbrennungsmotors uneingeschränkt voranzutreiben.

Variable und insbesondere vollvariable Ventiltriebe können nicht nur den Kraftstoffverbrauch über die Optimierung der Ladungswechselarbeit, Restgasverträglichkeit und Steuertriebreibung verbessern, sondern ebenfalls das Drehmoment und Leistungsverhalten steigern, wodurch die Verbrauchspotenziale von Downsizingkonzepten weiter erhöht werden können. Zusätzlich sind sie für die breite Nutzung neuer beziehungsweise alternativer Brennvorgänge wie HCCI Voraussetzung.

Die Kolbenschmidt Pierburg AG sieht im Technologiefeld variabler Ventiltriebe einen zukünftigen Wachstumsmarkt und hat zur Erweiterung des Produktportfolios im Luftpfad von Verbrennungsmotoren das mechanisch vollvariable Ventiltriebssystem Univalve durch eine Kooperation mit der Entec Consulting GmbH übernommen.

WIE VIEL VARIABILITÄT BRAUCHT DER VERBRENNUNGSMOTOR?

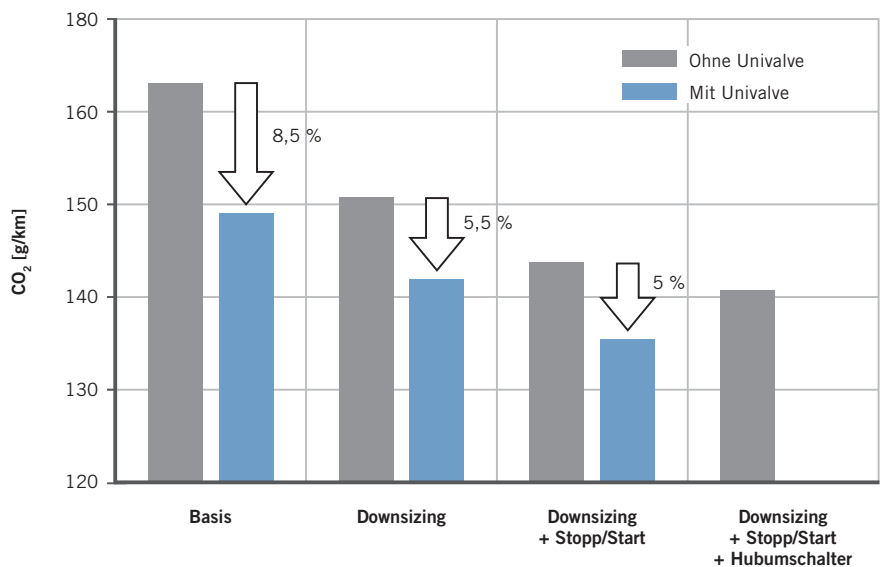
Bei Ottomotoren ist die betriebspunkt-optimierte Einstellung der Spreizung mit Nockenwellenphasenstellern etabliert. Vor allem in Japan werden seit 2005 in großer Breite zusätzlich mechanisch vollvariable Ventiltriebstechnologien eingesetzt, die auch in Europa vermehrt Anwendung finden. Im Wettbewerb dazu stehen servo-hydraulische vollvariable Systeme oder diskret arbeitende Ventilhubumschalter.

Klärungsbedarf besteht somit bezüglich der Frage, welche Konzepte den größten Nutzen bei vertretbarem technischen wie auch kommerziellen Aufwand bieten und welche Verbrauchsvorteile bei Technologiekombination mit alternativen Maßnahmen zur CO₂-Absenkung erhalten bleiben.

Zur Behandlung dieser Frage wurde auf Basis eines 1,6-l-Seriensaugmotors mit Direkteinspritzung und Doppelphasensteller eine Simulation konkurrierender Ladungswechsel-Systeme durchgeführt. Neben dem Basismotor wurde dabei auch eine leistungs-gleiche, aufgeladene Variante mit deutlich reduziertem Hubraum betrachtet. Ergänzend wird für alle Varianten der Einsatz eines Stopp/Start-Systems berücksichtigt.

Als Beurteilungskriterium wurde der CO₂-Ausstoß im neuen europäischen Fahrzyklus (NEDC) herangezogen, ①.

Die Simulation zeigt, dass ein vollvariables Ventiltriebssystem auf der Einlasseite ein CO₂-Einsparpotenzial von bis zu 8,5 %



① CO₂-Ausstoß verschiedener Technologiekombinationen im NEDC

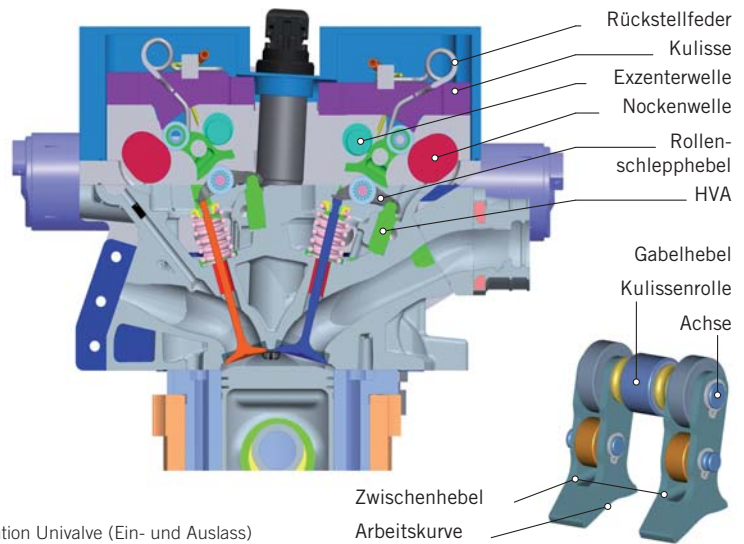
bietet. Selbst bei Einsatz an einem Downsizing-Motor mit Stopp/Start-System werden noch bis zu 5 % Einsparungen erzielt. Diskrete Ventilsteuerungssysteme auf der Einlassseite können dieses Potenzial nicht erschließen, da die Auslegung immer kompromissbehaftet ist.

UNIVALVE: AUFBAU UND FUNKTION

Univalve ist ein mechanisch vollvariables Ventiltriebssystem, welches eine stufenlose Hubvariation von Null- bis zum Maximalhub bei gleichzeitiger Änderung der Öffnungsdauer erlaubt.

Das System zeigt gegenüber einer Vielzahl an Patentanmeldungen und realisierten Systemen deutliche Vorteile bei den Herstellkosten, der Systemreibung und der Funktionalität auch im Package. Hervorzuheben ist dabei, dass zur Integration die Nockenwellenposition nur unwesentlich verändert werden muss, das System einfach und kostengünstig montiert werden kann, die Öffnungszeit bei kleinen Hüben auf bis zu 70° KW verkürzt werden kann und durch die Kipphebelgeometrie des Zwischenhebels eine hohe Drehzahlgrenze vorhanden ist.

Basis des Systems ist ein Standard-Rollenschlepphebel. Ein Zwischenhebel, des-



② Packagesituation Univalve (Ein- und Auslass)

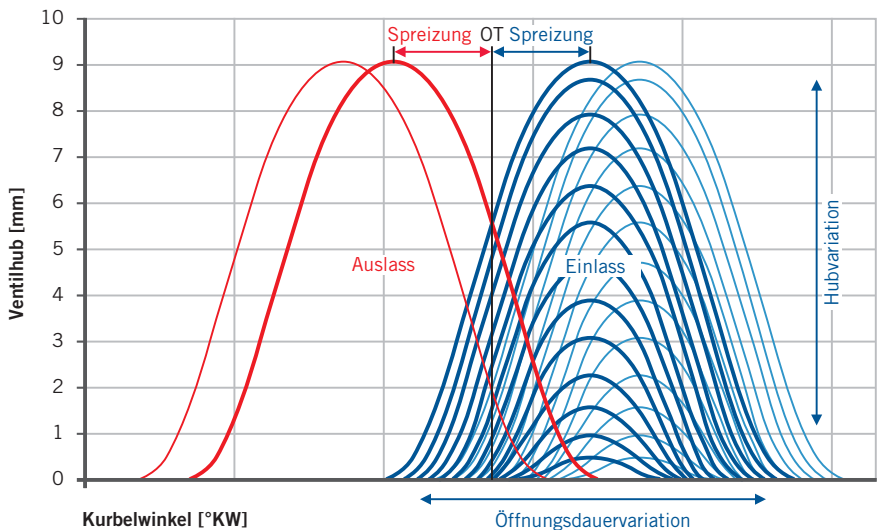
sen Position und Lage durch die Nockenkontur, eine Führungskulisse und durch die als Widerlager wirkende Exzenterwelle definiert ist, transformiert über eine Arbeitskontur die durch den ablaufenden Nocken induzierte Schwenkbewegung in die gewünschte Ventilbewegung.

Da alle Bauteile beziehungsweise Kontaktbereiche rollen- oder nadelgelagert ausgeführt sind, kann das Reibmoment bei Maximalhub auf dem Niveau typischer Systeme mit Standardrollen-Schlepphebel gehalten werden. Bei kleinen Ventilhuben und niedrigen Lasten stellen sich sogar Reibungsvorteile ein, die zusätzlich zur Entdrosselung die beobachtete Verbrauchsenkung im NEDC ermöglichen. Das günstige

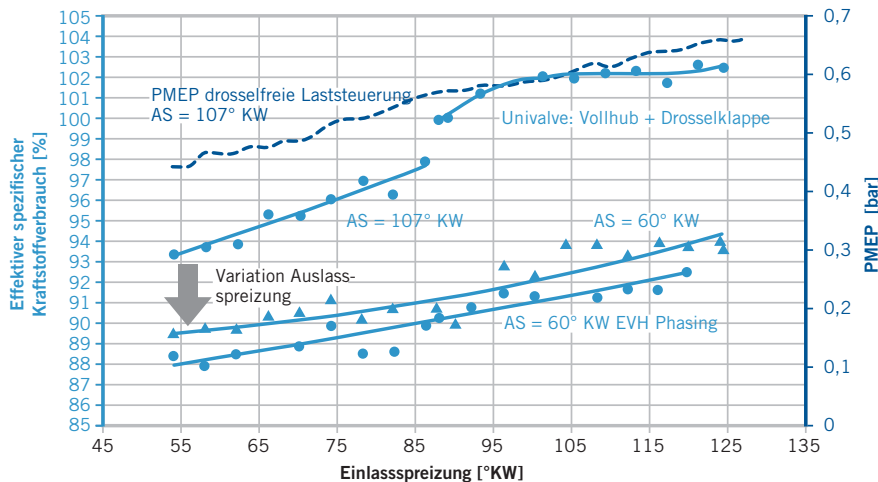
Reibverhalten prädestiniert ebenfalls den Einsatz auf der Auslassseite auch bei großen Hüben.

④ zeigt die durch Verdrehung der Exzenterwelle erzeugten Ventilhubkurven. Thermodynamisch entscheidend ist die Variation der Öffnungsdauer. Zusammen mit einem Nockenwellenphasenversteller kann die Zylinderfüllung durch die Strategie „frühes Einlassschließen“ ohne dissipative Eingriffe begrenzt werden. Die mechanisch und akustisch wichtigen Rampenbereiche bleiben für alle Hubkurven erhalten.

Zur Betätigung der Exzenterwelle kommen berührungslose, elektronisch kommutierte Elektromotoren zum Einsatz. Der



④ Ventilhubkurven



5 Teillastverbrauch am drosselfrei betriebenen aufgeladenen 2,0-l-Ottomotor: $n = 2000/\text{min}$, $p_{me} = 2 \text{ bar}$, Betrieb mit MPI + ATL

Aufbau und das Funktionsprinzip dieser Antriebe erlauben sehr hohe Leistungsdichten gepaart mit verschleißfestem Dauerbetriebsverhalten.

Ähnliche Aktuatoren finden heute schon in anderen, anspruchsvollen Bereichen, wie zum Beispiel bei Nfz-Motorkomponenten, Anwendung und sind daher kostengünstig zu realisieren. Die Closed-loop-Regelung der Aktuatorik basiert auf der Erfassung der Exzenterwellenposition mittels eines berührungslosen Sensors und nutzt zusätzlich die zum Betrieb des Aktuators ohnehin erforderlichen Lagesensoren des Rotors. Eine definierte Fail-Safe-Position der Exzenterwelle ist ebenfalls darstellbar.

ERGEBNISSE AM OTTO-TURBOMOTOR MIT DIREKTEINSPRITZUNG

Bei einem Motor mit vollvariablem Ventiltrieb wird das Drehmoment beziehungsweise die Füllung der Zylinder durch die Einstellung der Einlassventilöffnungsdauer (Steuerzeit), die Ein- und die Auslassspreizung gesteuert. Diese Parameter beeinflussen die Höhe der Ladungswechselarbeit und damit direkt den spezifischen Kraftstoffverbrauch. Dieser nimmt kontinuierlich mit frühem Schließen des Einlassventils ab, 5. Um ein sehr frühes Schließen der Einlassventile zu erreichen, muss die Steuerzeit möglichst kurz ein-

gestellt werden, was mit einem mechanischen Ventiltrieb nur bei einem kleinen Ventilhub erreicht werden kann. Bei $n = 2000/\text{min}$ und $p_{me} = 2 \text{ bar}$ beträgt der Ventilhub zirka 1,2 mm bei einer Steuerzeit von 120°KW . Die niedrigste Ladungswechselarbeit und damit der niedrigste Kraftstoffverbrauch wird bei einer Einlassspreizung von $ES = 50^\circ \text{KW}$ und einer Auslassspreizung von $AS = 60^\circ \text{KW}$ erreicht. Auch die Auslassspreizung beeinflusst die Ladungswechselarbeit beziehungsweise den Verbrauch erheblich und steuert zugleich die rückgeführte Restgasmenge, 6.

Variable Ventiltriebssysteme, die keine Möglichkeit zur Variation der Auslassspreizung vorsehen, haben damit einen erheblichen Nachteil in der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs.

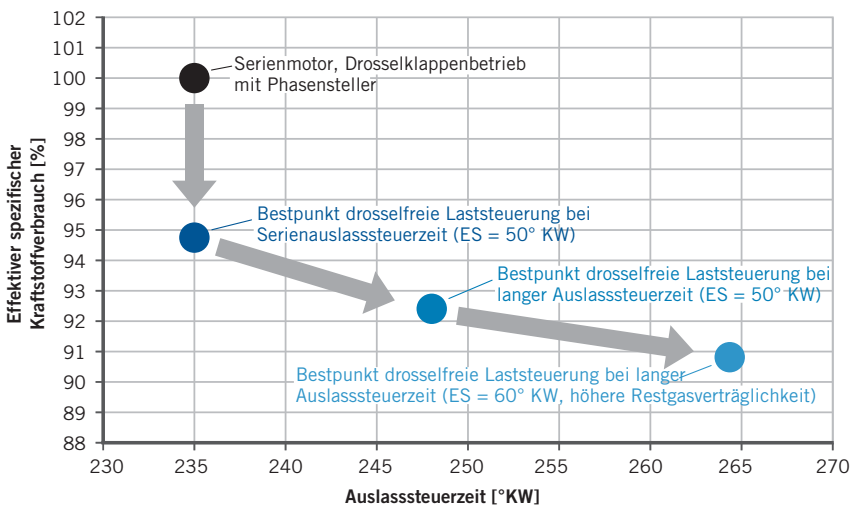
Im Betriebspunkt bei $n = 2000/\text{min}$ konnte der Kraftstoffverbrauch an einem aufgeladenen 2,0-l-Vierzylinder-Ottomotor bei drosselfreiem gegenüber gedrosseltem Betrieb mit Benzindirekteinspritzung um 9 % reduziert werden, mit einer Saugrohreinspritzung sogar um 12 % [1].

Dabei konnte die Restgasverträglichkeit durch ein Ventilhub-Phasing erfolgreich erhöht werden.

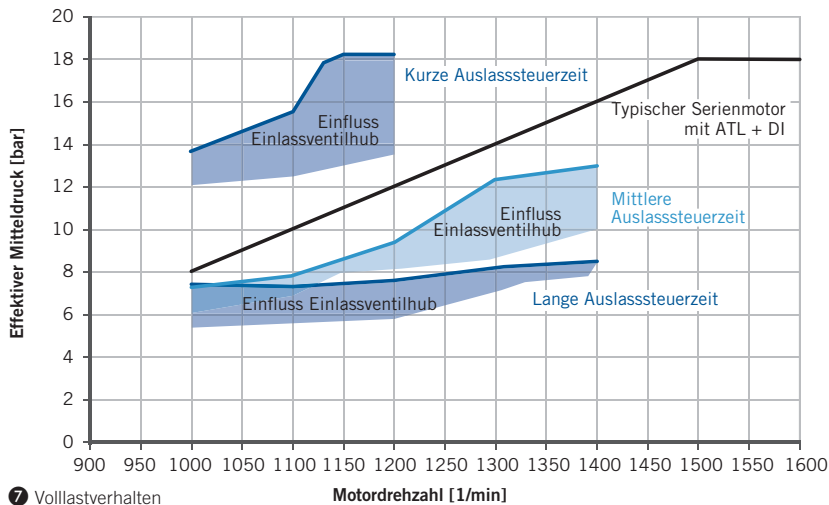
Während eine erhöhte Restgasmenge in der Teillast verbrauchssenkend wirkt, ist sie im Vollastbetrieb aufgrund des erhöhten Klopfrisikos und der verringerten Zylinderfüllung unerwünscht.

Der Ladungswechsel heutiger, hochaufgeladener Vierzylinder-Downsizing-Konzepte mit Mono-Scroll-Turbolader stellt eine Besonderheit dar. Diese Motoren sind mit kurzen Auslasssteuerzeiten versehen, um ein Übersprechen zwischen den in der Zündfolge benachbarten Zylindern zu verhindern. Dem Einsatz von Twin-Scroll-Aufladesystemen, die diese Problematik ebenfalls adressieren, stehen höhere Kosten oder die Entwicklung von integrierten Abgaskrümmern entgegen [2,3].

Für den drosselfreien Teillastbetrieb stellt diese Randbedingung eine Herausforderung dar. Eine Phasenverstellung auf der Auslassseite führt bei kurzer Auslasssteuerzeit zwar zu einer Zunahme der intern rückgeführten Restgasmenge, jedoch auch zu einem ungewünschten Anstieg der Ladungswechselarbeit infolge erhöhter Ausschleiverluste. Der Verbrauchsvorteil durch drosselfreie Laststeuerung ist dadurch begrenzt, 6.



6 Teillastverbrauch mit drosselfreier Laststeuerung und zusätzlich vollvariabler Auslassseite: $n = 2000/\text{min}$, $p_{me} = 3 \text{ bar}$, Betrieb mit DI + ATL



Einen Lösungsansatz zur Darstellung des Verbrauchsoptimums in der Teillast und eines optimierten Drehmoments im unteren Drehzahlbereich stellt der Einsatz eines mechanisch vollvariablen Ventiltriebs sowohl auf der Einlass- als auch der Auslassseite dar. Dies erlaubt zusätzlich den Auslass-Öffnungs-Zeitpunkt so zu legen, dass ein Minimum aus Expansionsverlusten und Ausschleifarbeit bei gleichzeitig restgas- und verbrauchsoptimiertem Auslass-Schließen realisiert wird. Der zusätzliche Kraftstoffverbrauchsvorteil gegenüber drosselfreiem Betrieb mit einer für Downsizing-Motoren typischen, kurzen Auslassnockenwelle liegt abhängig von Lastpunkt und Restgasverträglichkeit bei bis zu 4 %, ⑥.

Das Volllastverhalten wird, unabhängig von der Auslasssteuerzeit, durch eine Vollvariabilität auf der Einlassseite positiv beeinflusst. Die frei wählbare Einlasssteuerzeit erlaubt ein füllungsoptimales Einlass-Schließen, wodurch das Volllastdrehmoment an einem aufgeladenen Ottomotor mit Benzindirekteinspritzung im Bereich sehr niedriger Drehzahlen (ohne Durchspülen) um zirka 10 % gegenüber dem Serienmotor angehoben werden konnte [1].

In Betriebspunkten, die ein gezieltes Durchspülen (Scavenging) zulassen, wirkt eine bedarfsgerechte Verlängerung der Einlasssteuerzeiten und der damit einhergehenden Vergrößerung der Ventilüberschneidungsfläche bei gleichzeitig optimalem Einlass-Schließen überaus positiv, ⑦. Damit sind mit vollvariablem Einlassven-

tiltrieb deutliche Drehmomentsteigerungen bei tiefen Drehzahlen möglich.

Ein zusätzlich vollvariabler Auslassventiltrieb erlaubt die Anpassung der Auslassventilsteuerzeiten an den jeweiligen Betriebszustand und stellt einen großen Hebel für das Motordrehmoment dar.

Eine lange Auslasssteuerzeit, die in der Teillast aufgrund der optimierten Restgassteuerung zu einem günstigen Kraftstoffverbrauch führt, ist für das Volllastverhalten des aufgeladenen Vierzylinder-Ottomotors ungünstig, ⑧. Durch eine massive Verkürzung der Auslasssteuerzeit gegenüber heutigen Serienanwendungen, die einen erheblichen Teillastverbrauchsnachteil zeigt, wird das Volllastverhalten jedoch signifikant verbessert. Mit kurzer Auslasssteuerzeit konnte das Motordrehmoment bei $n = 1000/\text{min}$ nahezu verdoppelt werden. Bereits bei $n = 1150/\text{min}$ liegt ein effektiver Mitteldruck von $p_{me} = 18 \text{ bar}$ vor.

Die Kombination aus vollvariablem Ein- und Auslassventiltrieb ermöglicht es damit insbesondere beim aufgeladenen Vierzylindermotor, den Zielkonflikt aus günstigem Teillastverbrauch, hohem Drehmoment im unteren Drehzahlbereich bei gleichzeitig verbessertem Volllastverhalten optimal zu adressieren.

ZUSAMMENFASSUNG

Das vollvariable Ventiltriebsystem Univalve auf der Einlassseite erlaubt, den Teillastverbrauch durch drosselfreie Laststeuerung, Rei-

bungsoptimierung und gezielte Restgassteuerung um bis zu 12 % abzusenken. Ferner kann mit Univalve bei bedarfsgerechter Ausführung der Exzenterwellenkontur ein Ventilhubphasing (asymetrische Ventilhübe) zur Erzeugung von Ladungsbewegung zur weiteren Verbrauchsabsenkung erzielt werden.

Das Volllastverhalten von Downsizing-Konzepten wird durch das gezielte Einstellen von Ventilüberschneidung und füllungsoptimalem Schließen der Einlassventile durch Univalve deutlich verbessert. Das erhöhte Drehmoment im unteren Drehzahlbereich kann mittels einer Getriebeanpassung in zusätzliche Verbrauchsvorteile umgesetzt werden.

Weitere Potenziale in Teil- und Volllast können durch den Einsatz von Univalve auf der Auslassseite erschlossen werden. Hier ist insbesondere der Sonderfall des aufgeladenen Vierzylindermotors zu nennen, bei dem der Zielkonflikt zwischen günstigem Teillastverbrauch und hohem Drehmoment im unteren Drehzahlbereich erfolgreich gelöst werden kann.

Univalve stellt somit für künftige Motorenkonzepte einen wirksamen Ansatz dar, um den wachsenden Anforderungen zur Effizienzsteigerung und zur Verbesserung des Drehmomentverhaltens gerecht zu werden.

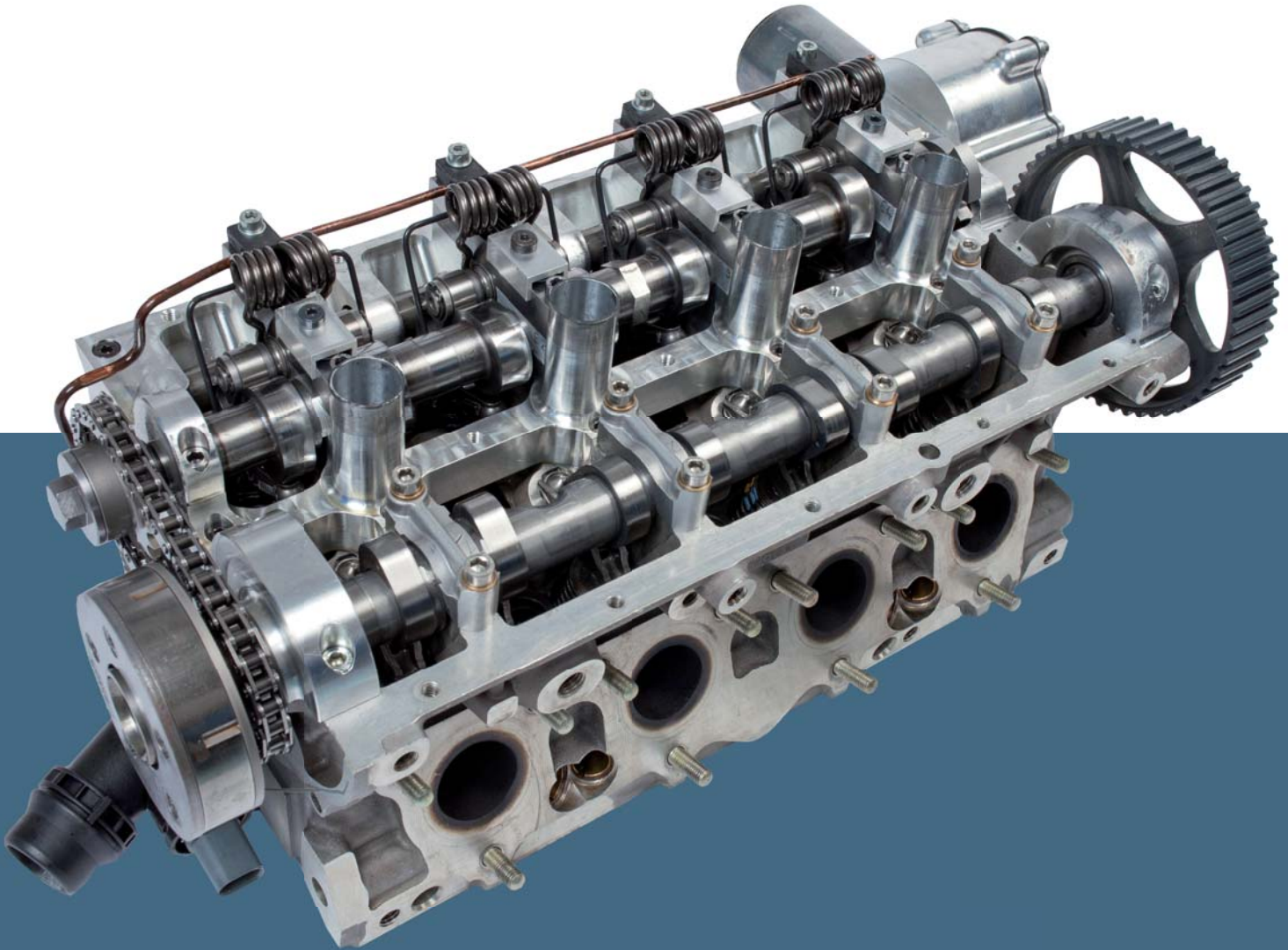
AUSBLICK: LÖSUNGEN AUS EINER HAND

Das Ventiltriebsystem Univalve ist ein neues Produkt im Portfolio der Kolben-schmidt Pierburg AG und ergänzt das bisherige Produktportfolio. Je nach Kundenwunsch ist es somit möglich, sowohl das Ventiltriebsystem Univalve als auch komplette, einbaufertige Zylinderköpfe mit dem Univalve-Ventiltrieb zu liefern.

LITERATURHINWEISE

- [1] Flierl, R.; Schmitt, S.; Paulov, M.; Hannibal, W., Kleinert, G.: Comparative Investigation of Throttle-free Load Control on a 2.0 l Four Cylinder Turbocharged Gasoline Engine with Port and Direct Fuel Injection. International SAE World Congress, Detroit, 2010
- [2] Kuhlbach, K.; Mehring, J.; Borrmann, D.; Friedfeld, R.: Zylinderkopf mit integriertem Abgaskrümmer für Downsizing-Konzepte. In: MTZ 69 (2009), Nr. 4, S. 286-293
- [3] Budack, R.; Kuhn, M.; Trost, W.; Poida, R.: Vorteile auslassseitiger Ventiltriebsvariabilität beim Turbomotor. Tagung Variable Ventilsteuerung, Essen, 2009

UNIVALVE – A FULLY VARIABLE MECHANICAL VALVE LIFT SYSTEM FOR FUTURE INTERNAL COMBUSTION ENGINES



In order to optimize the gas exchange and combustion sequences, the performance, emissions, and – above all else – the degree of effectiveness of internal combustion engines have to be fully utilized. The only way to achieve this potential is by using a valve train which enables infinitely variable adjustment of the inlet valve lift duration, thus permitting throttle-free load control. Therefore, the Kolbenschmidt Pierburg AG selected the Univalve system, developed by Entec Consulting GmbH, and recently acquired the rights to the new system. In joint effort, the Univalve system is now undergoing final development prior to full-scale serial production.

AUTHORS



PROF. DR.-ING RUDOLF FLIERL holds the Chair for Internal Combustion Automotive Engineering in the Technical University of Kaiserslautern (Germany).



DIPL.-ING. STEPHAN SCHMITT is Research Associate in the Internal Combustion Automotive Engineering Department of the Technical University of Kaiserslautern (Germany).



DR.-ING. GERD KLEINERT is Chairman of the Executive Board of Kolbenschmidt Pierburg AG in Neckarsulm (Germany).



DR.-ING. HANS-JOACHIM ESCH is Chief Technical Officer (CTO) at Kolbenschmidt Pierburg AG in Neckarsulm (Germany).



DIPL.-ING. HEINRICH DISMON is Vice President Advanced Engineering at Kolbenschmidt Pierburg AG in Neckarsulm (Germany).

MOTIVATION

Without the internal combustion engine, it will be impossible to meet the world population’s desire for mobility in the next 50 years. Given the current global inventory of something like a billion vehicles and/or internal combustion engines, alternative drive concepts will have to be developed, and every possible means of improving the internal combustion engine pursued, if a reduction in CO₂ emissions is to be achieved and maximum economic utility from these vehicles obtained.

Variable, and especially fully variable, valve trains result not just in greater fuel efficiency owing to optimized gas exchange, residual gas compatibility and primary drive friction, but also in improved torque and performance, meaning that the consumption potential of downsizing concepts can be further increased. In addition, they are a pre-requisite for the use of new and/or alternative combustion techniques such as HCCI.

Kolbenschmidt Pierburg AG sees the technology field of variable valve trains as a future growth market. Thus, in order to expand its product portfolio for the air pathway of internal combustion engines, it has acquired the fully variable mechanical valve train system Univalve under a cooperation agreement with Entec Consulting GmbH.

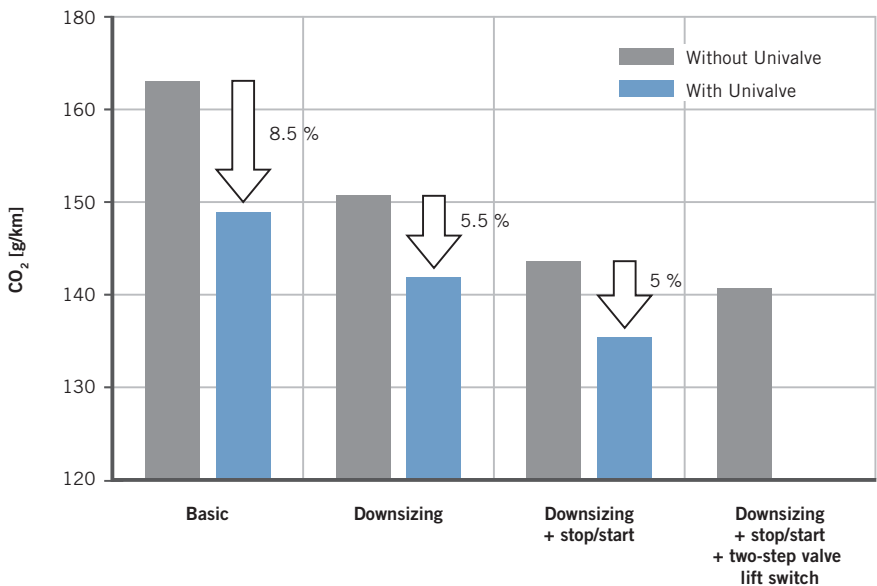
HOW MUCH VARIABILITY DOES AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE NEED?

In gasoline engines, the operating point-optimized adjustment of inlet and outlet spread is established with camphasing systems. Since 2005, especially in Japan, a broad array of additional, mechanically fully variable valve train technologies have been employed which are increasingly being used in Europe as well. Competing technologies include servo-hydraulic fully variable systems or two-step valve lift switches.

Thus the question arises as to which concept delivers the greatest utility at an acceptable level of technical and commercial effort and expense, and what fuel consumption advantages remain in technology combinations with alternative measures to reduce CO₂ emissions.

To address this question, a simulation of competing gas exchange systems was carried out on the basis of a series production level 1.6 l naturally aspirated engine with direct fuel injection and a double cam phase adjuster. Besides the basic engine, an equally powerful turbo-charged variant with significantly reduced displacement was taken into account. In addition, a stop-start system was considered for each variant.

CO₂ emissions in the new European Driving Cycle (NEDC) were selected as



1 CO₂ emissions of various technology combinations in the NEDC

the assessment criterion on basis of a vehicle in the 1300 kg weight class, ❶.

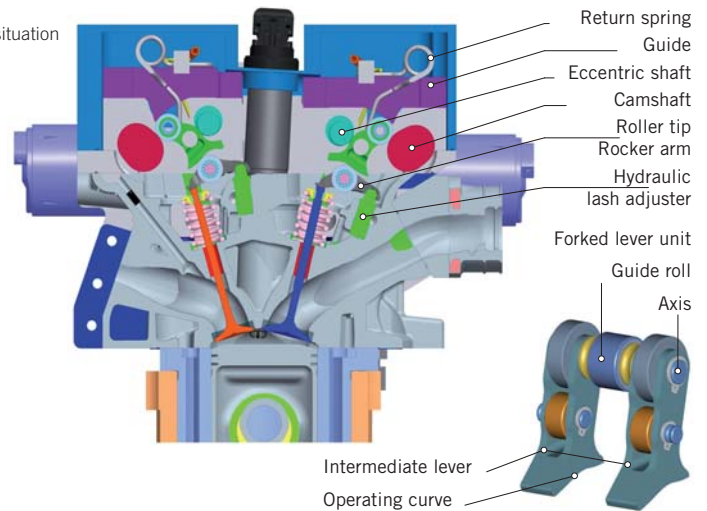
The simulation shows that a fully variable valve train system on the inlet side offers a CO₂ savings potential of up to 8.5%. Even when using a downsized engine with a start-stop system, savings of up to 5% are achieved. Step valve lift switching systems on the inlet side cannot achieve this potential since the design entails certain technical compromises.

LAYOUT AND FUNCTION OF THE UNIVALVE

The Univalve is a mechanically fully variable valve train system that enables infinitely variable lift variation from zero to maximum lift as well as simultaneous alteration of the valve lift duration.

Compared with numerous patent applications and actual systems, the Univalve displays a number of advantages with respect to production costs, system friction and functionality in the package, ❷. It should be stressed that integrating it requires only a minor shift in the position of the camshaft. The system is also cheap and easy to install. The valve lift duration at low lift levels can be shortened by up to 70° CA. Moreover, thanks to the rocker

❷ Univalve package situation (inlet and outlet)



geometry of the switching lever, a high rpm ceiling exists.

The basis of the system is a standard roller tip rocker arm. An intermediate lever, whose position is defined by the cam contour, a guide and the eccentric shaft (serving as a thrust bearing), transforms the oscillating motion induced by the retreating cam into the desired valve movement via a working contour, ❸.

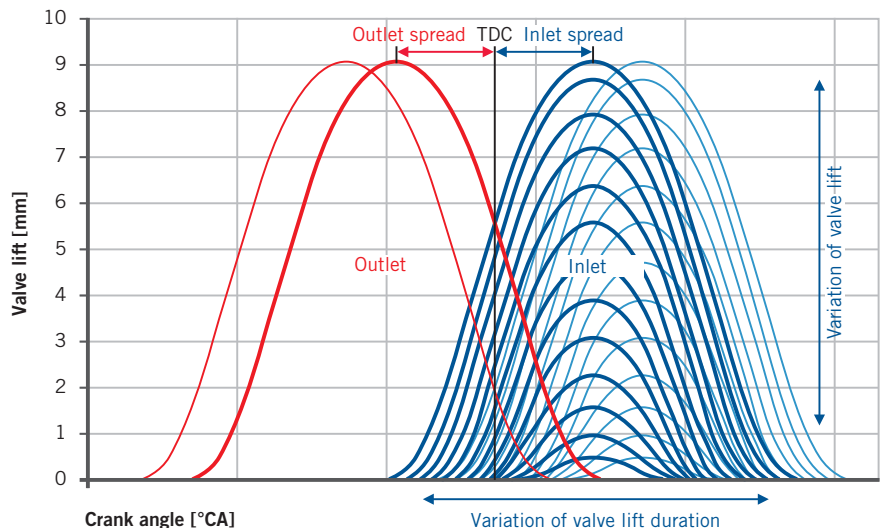
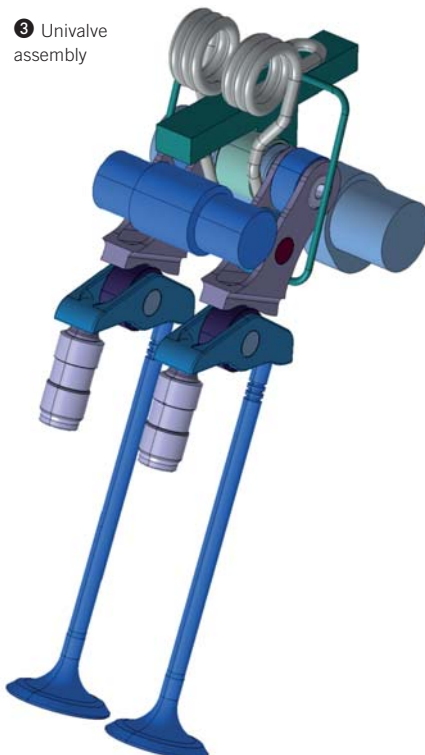
Since all of the components and contact zones are mounted on roller or needle bearings, the friction moment at maximum lift can be kept at the level of typical systems featuring standard roller tip rocker arms. At low valve lift levels and low loads, friction benefits arise which, in addition to de-throttling, enable the

reduction in fuel consumption observed in the NEDC. The favorable friction performance also makes it predestined for installation on the outlet side, even with large valve lifts.

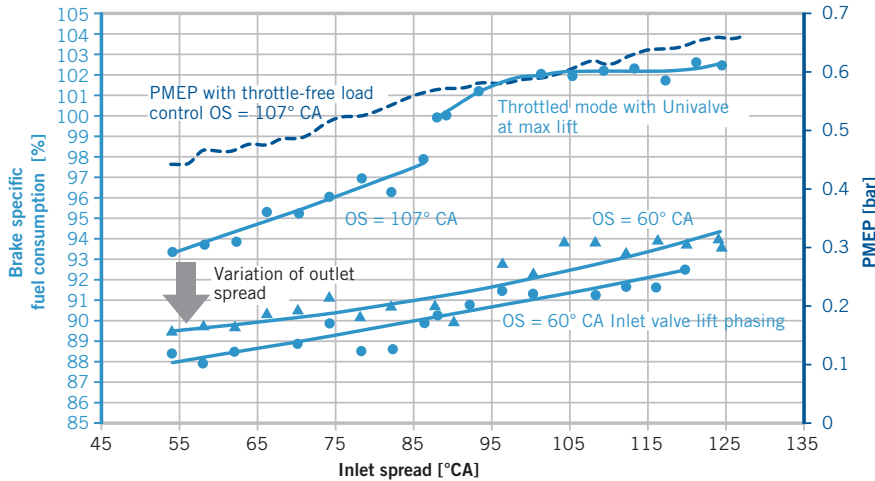
❹ depicts the valve lift curves generated by the rotation of the eccentric shaft. Thermodynamically speaking, the variation of the valve lift duration is decisive. Together with a camphasing system cylinder filling can be limited without dissipative intervention through a strategy of “early inlet valve closing”. The mechanically and acoustically important ramping zones for all lift curves are thus maintained.

Electronically commutated, non-contact electro-motors are used for actuating the eccentric shaft. The design and functional

❸ Univalve assembly



❹ Typical valve lift curves with Univalve



5 Brake specific fuel consumption at part load of a turbocharged 2.0 l gasoline engine with throttle free load control: n = 2000 rpm, pme = 2 bar; MPI + turbocharger

principle of these drives enables very high performance density coupled with strong resistance to wear during prolonged operation.

Similar actuators are already used today in demanding fields such as commercial vehicle engines, and can thus be produced inexpensively. Closed-loop control of the actuators is based on detection of the position of the eccentric shaft by a contactless sensor, and also uses the rotor's position sensors, which are in any case necessary for operating the actuator. A defined fail-safe position for the eccentric shaft is likewise achievable.

RESULTS IN A GASOLINE TURBO-POWERED ENGINE WITH DIRECT FUEL INJECTION

In an engine with fully variable valve lift system, the torque or filling of the cylinder is controlled by adjusting the inlet valve lift duration (control period), as is the inlet and outlet spread. These parameters influence the charge cycle work which has a direct influence on fuel consumption. This declines steadily when the inlet valve is closed early, 5. In order to obtain very early closure of the inlet valve, the valve lift duration has to be set for as short a time as possible, which, with a mechanical variable valve lift system, can only be achieved with a small valve lift. At n = 2000 rpm and bmep = 2 bar, the valve lift amounts to approximately 1.2 mm with a valve lift duration of 120° CA. The lowest level of

charge cycle work, and thus lowest brake specific fuel consumption, is attained with an inlet spread of IS = 50° CA and an outlet spread of OS = 60° CA. The outlet spread also substantially influences charge cycle work and fuel consumption, and also the internal residual gas fraction, 6.

Variable valve train systems that lack the ability to vary the outlet spread are thus at a substantial disadvantage when it comes to reducing fuel consumption.

At an operating point of n = 2000 rpm, it proved possible to reduce fuel consumption of 9 % in a turbocharged 2.0 l four-cylinder gasoline engine with direct injection by throttle free load control compared with a throttled engine, and by an even

more impressive 12 % with a port fuel injection engine [1].

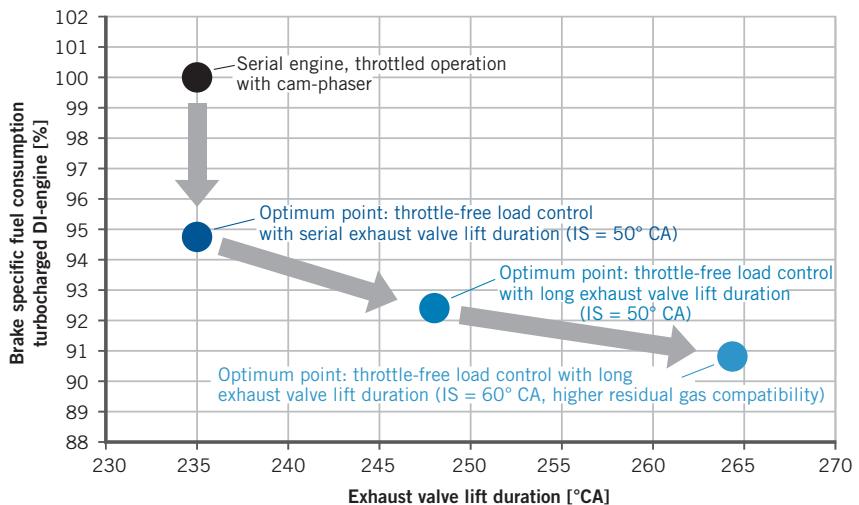
In the process, moreover, residual gas compatibility was successfully increased through an inlet valve lift phasing.

Whereas increased residual gas volume in the partial load has the effect of reducing fuel consumption, with full load operation it is undesirable owing to the increased risk of knocking and reduced cylinder filling.

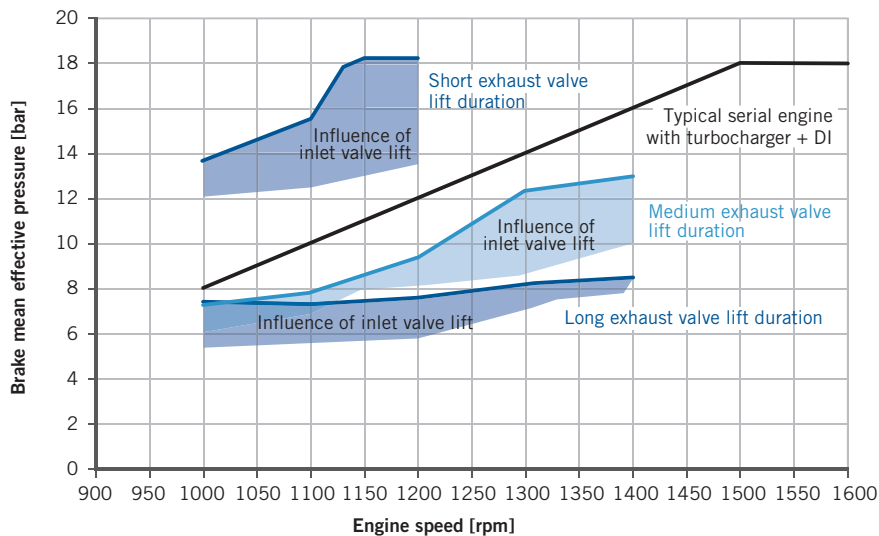
Gas exchange in modern turbocharged four-cylinder downsizing concepts with mono-scroll turbochargers constitutes something altogether different. These engines feature short exhaust valve lift duration control in order to avoid crosstalk between the neighboring cylinders in the firing order. The use of twin-scroll turbochargers, which likewise addresses this problem, is hampered by higher costs and the development of integrated exhaust manifolds [2, 3].

This parameter presents a challenge for throttle-free partial load operation. With a shorter outlet valve lift duration a cam phase adjustment on the outlet side leads to an increase of the internally residual gas fraction but it also results in an undesirable increase in charge cycle work due to higher expulsion losses. Thus, in terms of fuel consumption, the advantage due to throttle free load control is limited, 6.

Using a mechanical fully variable valve train on both the inlet and outlet sides represents a possible solution for achieving optimum fuel consumption in the partial



6 Fuel consumption at part load with throttle-free load control and additional fully variable outlet side: n = 2000 rpm, pme = 3 bar; DI + turbocharger



7 Full load performance

load along with optimum low-end torque. In addition, it makes it possible to set the outlet opening time so as to achieve minimal expansion losses and cylinder expulsion with simultaneous residual gas and consumption-optimized outlet closure. With short outlet camshafts typically found in downsized engines, the additional fuel consumption advantage compared to throttle-free operation can be as high as 4 %, depending on the load point and residual gas compatibility, ⑥.

Regardless of the outlet valve lift duration, full variability on the outlet side has a positive influence on full load performance. The freely selectable inlet valve lift duration enables filling-optimized inlet closure, which means the full load torque in a turbocharged gasoline engine with direct fuel injection in the very low rpm zone (without scavenging) can be increased by approximately 10 % compared with serial engines [1].

In operating points which enable targeted scavenging, a demand-driven prolongation of the inlet valve lift duration and the accompanying increase in the valve overlap, with simultaneous optimum inlet closure, can have a distinctly positive effect, ⑦. With fully variable inlet valve system, this enables considerable increases in torque at low rpm levels.

An additional fully variable outlet valve

lift system permits adjustment of the outlet valve lift duration to the respective operating state, and thus has a major influence on engine torque.

A long outlet valve lift duration, which in partial load leads to lower fuel consumption owing to the optimized residual gas control, is disadvantageous for full load performance of a turbocharged four-cylinder gasoline engine, ⑦.

Through a massive reduction in the outlet valve lift duration compared to current serial applications, which display a substantial disadvantage with partial load fuel consumption, full load performance can be improved significantly. With a shorter outlet valve lift duration, engine torque at $n = 1000$ rpm could be nearly doubled. Even at $n = 1150$ rpm, a brake mean effective pressure of $b_{mep} = 18$ bar is achieved.

Thus, especially with turbocharged four-cylinder engines, the combination of fully variable inlet and outlet valve lift systems offers an optimum means of addressing the conflicting goals of lower fuel consumption, high low-end torque and improved full-load performance.

SUMMARY

The Univalve fully variable valve train system on the inlet side enables a reduc-

tion of up to 12 % in partial-load fuel consumption through throttle-free load control, friction optimization and well-aimed residual gas control. Furthermore, given a demand-oriented design of the eccentric camshaft contour, the Univalve is able to provide a valve lift phasing (asymmetric valve lift) to generate charge motion for an additional reduction in fuel consumption by optimized residual gas compatibility.

The full-load performance of downsizing concepts is improved considerably through careful adjustment of the valve overlap and filling-optimized closure of the inlet valves with the Univalve. Heightened low-end torque can be transformed into additional fuel savings by additional downsizing.

Additional potential in partial and full load can be exploited by installing the Univalve on the outlet side. Meriting particular mention here is the special case of the four-cylinder turbocharged engine, in which the conflicting goals of lower partial load fuel consumption and higher low-end torque can be successfully resolved.

Univalve thus represents an effective means of meeting the requirements for greater efficiency and improved torque performance in future engine concepts.


OUTLOOK: SOLUTIONS FROM A SINGLE SOURCE

The fully variable valve train Univalve is a new product in the Kolbenschmidt Pierburg AG line-up, complementing the Group's existing portfolio. Thus, in accordance with customer requirements, it is possible to supply either the Univalve valve train system separately or together with complete, ready-to-install cylinder heads.


REFERENCES

- [1] Flierl, R.; Schmitt, S.; Paulov, M.; Hannibal, W., Kleinert, G.: Comparative Investigation of Throttle-free Load Control on a 2.0 l Four Cylinder Turbocharged Gasoline Engine with Port and Direct Fuel Injection. International SAE World Congress, Detroit, 2010
- [2] Kuhlbach, K.; Mehring, J.; Borrmann, D.; Friedfeld, R.: Zylinderkopf mit integriertem Abgaskrümmer für Downsizing-Konzepte. In: MTZ 69 (2009), No. 4, pp. 286 – 293
- [3] Budack, R.; Kuhn, M.; Trost, W.; Poida, R.: Vorteile auslassseitiger Ventiltriebsvariabilität beim Turbomotor. Tagung Variable Ventilsteuerung, Essen, 2009


KOLBENSCHMIDT PIERBURG GROUP




KS Kolbenschmidt



Pierburg




Pierburg Pump Technology



KS Aluminium-Technologie



KS Gleitlager



Motor Service

WELTWEIT PRÄSENT

An mehr als 30 Fertigungsstandorten in Europa, Nord- und Südamerika, China, Japan und Indien entwickelt und produziert die Kolbenschmidt Pierburg Gruppe Komponenten, Module und Systeme für die akute und zukünftige Motorentechnik. Innovationskraft mit 100-jähriger Erfahrung.

www.kspg.com