

NEUE SPIRALLADER-GENERATION MEHR LEISTUNG BEI WENIGER VERBRAUCH

Handtmann Systemtechnik aus Biberach hat das Konzept des Spiralladers zur Aufladung und Leistungssteigerung von Ottomotoren neu aufgegriffen und komplett überarbeitet. Motorprozesssimulationen des Projektpartners Bertrandt haben im Vergleich zu anderen Aufladesystemen Vorteile des Spiralladers nachgewiesen. Im Folgenden präsentiert Handtmann den Spirallader als Lösung für Downsizing-Anwendungen. Als Einsatzbereiche eignen sich ein- und zweistufige Aufladekonzepte für Ottomotoren sowie auf geringe Abgasemissionen ausgelegte Dieselmotoren.

AUTOREN



DIPL.-ING. (FH) JÜRGEN LICHT
ist Geschäftsführer der Handtmann
Systemtechnik GmbH & Co. KG
in Biberach/Riß.



DIPL.-ING. (BA) STEPHAN WANNER
ist Leiter Vorentwicklung bei
der Handtmann Systemtechnik
GmbH & Co. KG in Biberach/Riß.



DR.-ING. OLIVER MAIWALD
ist Leiter der Abteilung Entwicklung
Antriebssysteme bei der Bertrand
Ingenieurbüro GmbH in Neckarsulm.



DIPL.-ING. (FH) JENS KEULER
ist Entwicklungsingenieur
für Motorsimulation in der Abteilung
Entwicklung Antriebssysteme bei
der Bertrand Ingenieurbüro GmbH
in Neckarsulm.

HISTORISCHE ENTWICKLUNG

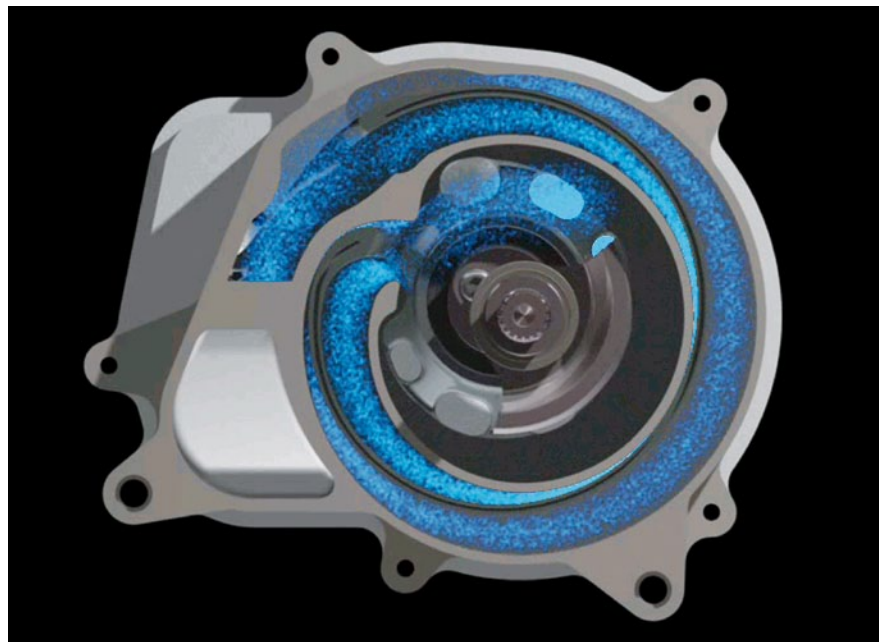
Allgemein zählt der Spirallader zur Gruppe der mechanischen Lader und arbeitet nach dem Verdrängungsprinzip. Erfunden und patentiert wurde er bereits 1905. Die komplexen Anforderungen an Fertigung und Werkstoffe verhinderten zunächst die Produktion im großen Maßstab. Erst Volkswagen griff diese Technik in den 1980er Jahren auf und brachte Fahrzeuge mit der umgangssprachlich G-Lader genannten Technik auf den Markt [1].

KONSTRUKTION UND FERTIGUNG

Handtmann Systemtechnik verfügt aufgrund der Einbindung in die Handtmann-Gruppe über eine hohe Fachkompetenz bei Aluminium- und Magnesiumdruckguss. Überdies wird der Systemgedanke durch hohe Entwicklungskompetenz und breites Fachwissen bei Montage sowie Prüfprozessen komplettiert. Ergänzend hierzu liefert die Automobilsparte von Handtmann Ansaugmodule, Abgasrückführkomponenten und weitere Anbauteile für Pkw-Motoren und bildet durch den Verbund von Guss, mechanischer Bearbeitung, Montage und Prüfung einen optimalen und wirtschaftlichen Fertigungsprozess ab [2]. Somit kann durch die bei Handtmann gegebene Fertigungstiefe eine hohe Prozesssicherheit garantiert werden.

Dieses besondere Erfahrungs- und Entwicklung-Know-how ist die Voraussetzung, um das Potenzial des Spiralladers erschließen zu können. Mit modernen Methoden wurde der sogenannte Handtmann-Spirallader (HSL), ❶, zu einem hocheffizienten Aufladesystem für die zukünftigen Anforderungen der Automobilindustrie entwickelt [3]. Ziel war es, unter Steigerung des Gesamtwirkungsgrads ein kostenoptimiertes und großserienfähiges Aufladesystem, insbesondere für Downsizingkonzepte, darzustellen. Hierbei sind Optimierung von Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emission sowie Ansprechverhalten im niedrigen Motordrehzahlbereich nur einige Parameter, die die Entwicklungsphase des HSL prägten.

Die elementarste Veränderung des HSL im Vergleich zum bisherigen G-Lader-Konzept ist der Verdränger. Die jetzt einspiralige Ausführung – vormals zweispiralig – reduziert den Bearbeitungsaufwand bedeutend. Dank einer speziellen Dichtkontur (Dichthaken) entfällt beim HSL die äußere Lauffläche und reduziert merklich die Baugröße bei vergleichbarem Fördervolumen. Eine weiterentwickelte hochwarmfeste Magnesium-Druckgusslegierung für den Verdränger verbessert die mechanischen Eigenschaften wesentlich. Ergänzend dazu sind alle gleitenden Bauteile, wie Dichtleisten und Dichtflächen, mit neuen gleit- und verschleißoptimierten Werkstoffen ausgeführt und mit Tribologiebeschichtungen versehen.



❶ Schnittdarstellung des Aufladesystems
Handtmann-Spirallader (HSL)

PRAXISVORTEILE

Im Vergleich zu einem mechanischen Schraubenlader oder einem Abgasturbolader (ATL) ermöglicht der HSL dem Verbrennungsmotor bereits ab Leerlaufdrehzahl, ein hohes Drehmoment (Low-end-Torque) bei gleichzeitig höherer Gesamteffizienz aufzubauen. Die daraus resultierende hohe Dynamik steigert das Fahrerlebnis deutlich. Dies liegt im Wesentlichen an dem insgesamt besseren isentropen Wirkungsgrad sowie einem sehr hohen Gesamtwirkungsgrad [4], ❷. Dieser beträgt beim aktuellen Entwicklungsstand über einen breiten Kennfeldbereich mehr als 70 % und liegt somit etwa 10 %-Punkte über dem Gesamtwirkungsgrad bisher bekannter Spiralladerkonzepte.

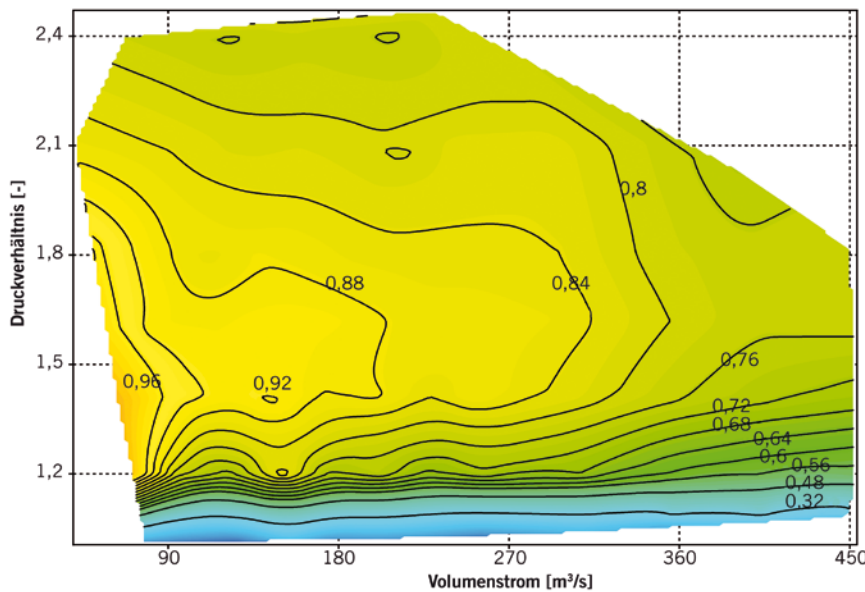
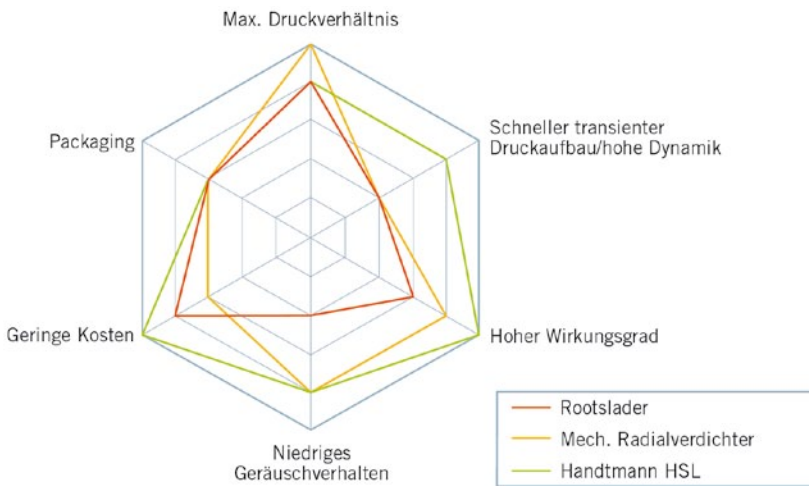
Im kundenrelevanten Fahrbetrieb wird der HSL zu großen Teilen in dessen optimalem Wirkungsgradbereich betrieben. Daraus resultieren für den Kunden messbare Kraftstoffverbrauchsvorteile. Zusätzliches Potenzial ist in Kombination mit einer längeren Getriebeübersetzung durch ein Downspeeding des Verbrennungsmotors bei dennoch guten Fahrleistungen gegeben.

Zur Minimierung der mechanischen Reibleistungsverluste des Verbrennungsmotors kann der HSL optional mit einer elektromagnetischen Kupplung ausgestattet werden. Dadurch erfolgt bei nahezu konstanter Fahrzeuggeschwindigkeit beziehungsweise geringer Motorlast eine bedarfsgerechte Steuerung der HSL-Antriebsleistung. Das geringe Massenträgheitsmoment des HSL sorgt dabei für

weitgehend unmerkliche Schaltvorgänge und spontane Reaktionen auf veränderten Leistungsbedarf. Weitere Vorteile des HSL sind:

- : vom Abgasstrom unabhängige Regelbarkeit des Ladedrucks
- : nahezu schwingungsfreier Betrieb im Ladeluftstrom erübrigt kostenintensive Maßnahmen zur Geräuschreduzierung oder -dämmung
- : Verbesserung des thermodynamischen Wirkungsgrads des Verbrennungsmotors durch positive Ladungswechselarbeit
- : hohe AGR-Verträglichkeit unterstützt innermotorische Optimierungsmaßnahmen
- : optimierte motornaher Katalysatoranordnung verspricht ein verbessertes Ansprungsverhalten durch Entfall des ATL (Enthalpiesenke)
- : durch geringeren Abgasgegendruck sinkt der benötigte Ladedruck und verringert das Klopfneigungspotenzial mit der Möglichkeit, das Verdichtungsverhältnis zu erhöhen
- : ATL-Schutzmaßnahmen wie die sogenannte Vollastanfertigung entfallen
- : kompakte Bauform und Wartungsfreiheit.

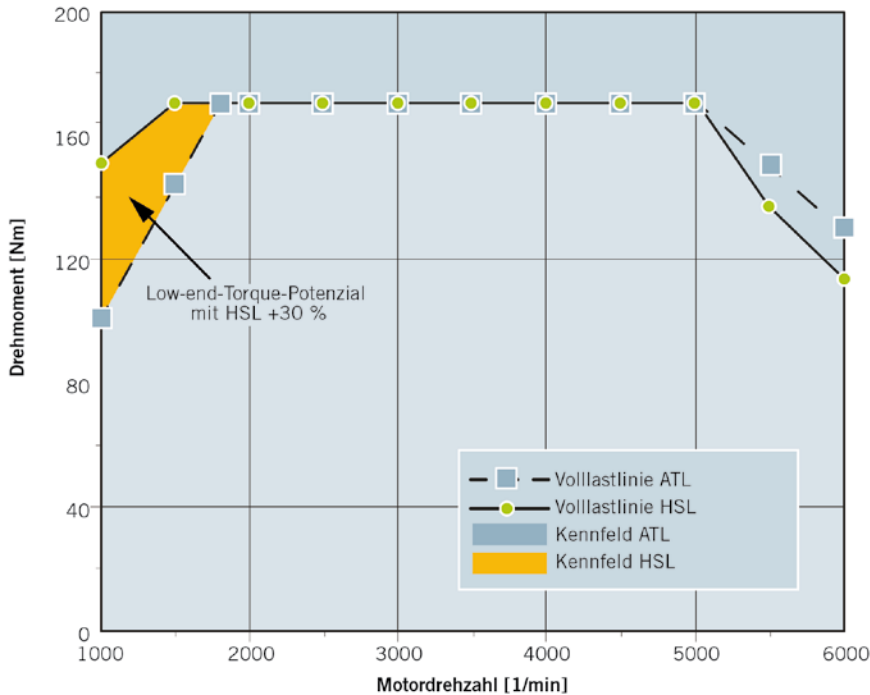
Diese und weitere Vorteile lassen sich flexibel kombinieren, sodass der HSL grundsätzlich für otto- und dieselmotorische Anwendungen geeignet ist. Zudem können am Spiralladergehäuse Halterungen für andere Motornebenaggregate angebracht werden. Grundsätzlich ist die spezifische Bauform des HSL beim Motorpackage zu berücksichtigen.



SIMULATIONSGESTÜTZTE POTENZIALBEWERTUNG

Die Bewertung der motorischen Wirkungsgradvorteile eines HSL im Vergleich zu einem Abgasturbolader erfolgte anhand von Ladungswechselsimulationen beim Entwicklungsdienstleister Bertrand am Standort Neckarsulm. Das Motormodell wurde von einem Ottomotor mit 1,0 l Hubraum abgeleitet, der normalerweise mit einem Abgasturbolader aufgeladen wird und an die spezifischen Anforderungen der Abgasturboaufladung angepasst und optimiert ist. Der hier als Referenz eingesetzte Abgasturbolader wurde so ausgewählt, dass mit über 90 kW/l eine hohe spezifische Motorleistung erreicht werden kann. Gleichzeitig wurde ab 1700/min ein sehr hohes Motordrehmoment gefordert, ❸.

❷ Vergleich ausgewählter Aufladungssysteme (oben) und HSL-Wirkungsgradkennfeld (unten)



3 Vollastlinien und Motorkennfelder eines Ottomotors mit 1,0 l Hubraum und HSL- beziehungsweise ATL-Aufladung bei einer geforderten spezifischen Leistung von 90 kW/l

simulation in der ersten Bewertung nicht berücksichtigt. Zusätzliches Potenzial bieten unter anderem [5, 8]:

- : optimierte Ventilsteuerzeiten (späteres Auslassöffnen)
- : angepasste Schwingrohrlänge und Saugvolumen des Ansaugsystems
- : optimierte Ladeluftstrecke.

Bei Anwendung des Bertrand-eigenen Simulationstools namens Virtueller Antriebsstrang zur Zyklussimulation [6] wurde deutlich, dass für ein Fahrzeug der Kompaktklasse bei unveränderter Antriebsstrangkonfiguration durch den HSL Kraftstoffverbrauchsvorteile von bis zu 3 % erreicht werden können. Erweiterte Optimierungsmaßnahmen blieben unberücksichtigt, sodass das reale Reduktionspotenzial im Zyklus, zum Beispiel bei Anwendung von Downspeeding-Maßnahmen, noch größer ausfallen dürfte. Aufgrund der Arbeitsweise ist der HSL weitgehend stabil gegen Druckschwingungen im Saugrohr und daher insbesondere für Verbren-

Damit entspricht das System dem aktuellen Stand der Technik.

Ziel der Ladungswechselsimulation war die Erstellung eines Wirkungsgradkennfelds des Motors, 4. Um einen Vergleich der unterschiedlichen Antriebsarten des Verdichters (mechanische Energie beim HSL kontra Abgasenthalpie beim ATL) darzustellen, wurde der Ladedruck beider Aufladesysteme mit einem Wastegate beziehungsweise Bypass geregelt. Die restlichen Randbedingungen blieben unverändert.

Das berechnete Differenzkennfeld des effektiven spezifischen Verbrauchs (b_e) zeigt Wirkungsgradvorteile des mit HSL aufgeladenen Ottomotors von bis zu 7 %. Eine Erklärung für den Kraftstoffverbrauchsvorteil resultiert aus der fehlenden Turbine. Durch den geringeren Abgasgedruck muss der HSL für die gleiche Motorleistung weniger Ladedruck aufbauen [7]. Der ATL hat in dieser Betrachtung zwar Vorteile durch die Nutzung der Abgasenthalpie für die Verdichtung der Ladeluft. Letztlich resultieren eindeutige Vorteile für den HSL nicht zuletzt durch den 10 bis 12 % höheren maximalen Gesamtwirkungsgrad. Optimierungsmaßnahmen zur Wirkungsgradverbesserung des Verbrennungsmotors wurden bei der Ladungswechsel-



Die Brennstoffzelle

12. Forum für Produzenten und Anwender



8.–10.10.2012 Messe Stuttgart

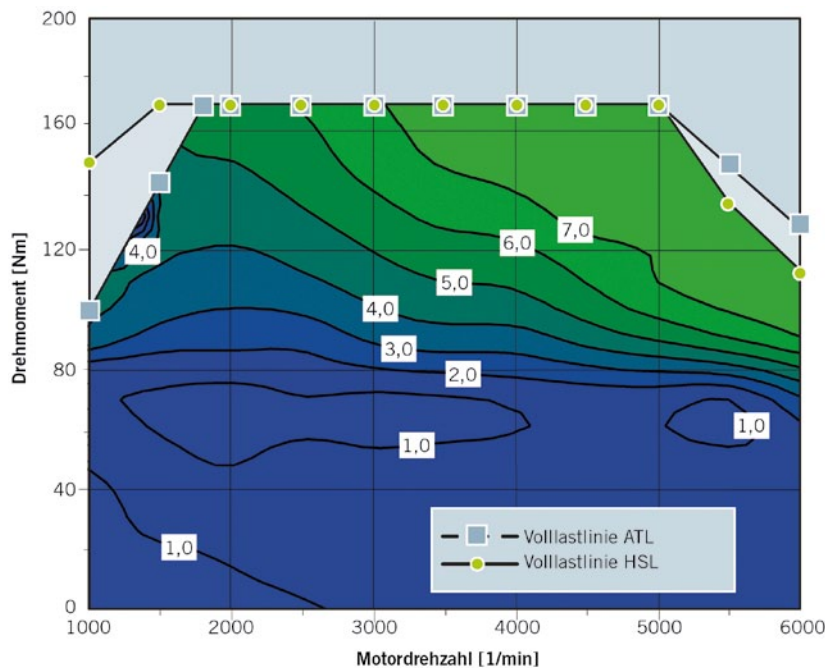
Brennstoffzelle und Batterie in mobilen und stationären Einsatzgebieten – treffen Sie die Branche
Konferenz | Messe | Begleitveranstaltungen

www.f-cell.de | www.battery-storage.de

Zusätzliche Parallelveranstaltung TECHNOLOGIETAG

Battery+Storage / f-cell in Kooperation mit





4 Prozentualer spezifischer Kraftstoffverbrauchsvorteil des HSL im Vergleich zum ATL

nungsmotoren mit nur zwei oder drei Zylindern prädestiniert.

PRÜFSTANDSERGEBNISSE

Nach den Simulationen durch Bertrand wurden mehrere Baumusterstände entwickelt und aufgebaut. Diese durchliefen umfangreiche Prüfstandsversuche, bei denen der HSL die geforderte Dauerhaltbarkeit mit ausgezeichneten Ergebnissen erfüllte. Zusätzlich wurde an einem turboaufgeladenen Ottomotor eine zweistufige Aufladung mit einem HSL dargestellt, der in Kombination mit dem Abgasturbolader den Ladedruck erzeugt. Die ursprüngliche Leistung des Ottomotors wurde um mehr als 40 % auf über 170 kW gesteigert. Das maximale Drehmoment erhöhte sich um über 100 Nm auf 365 Nm und liegt quasi ab Leerlaufdrehzahl an. Diese Werte liegen annähernd auf dem Niveau eines aktuellen 2,0-l-Ottomotors mit Turboaufladung, bei 30 % geringerem Hubraum. Entwicklungspartner bestätigten bei Fahrversuchen auf der Straße die ausgezeichnete Fahrbarkeit des Technikträgers.

EINSATZGEBIETE

Als alleiniges Aufladesystem eignet sich der HSL für kleinvolumige Downsizing-Ottomotoren, bei denen der ungünstigere

Wirkungsgrad des Abgasturboladers bei niedrigen Drehzahlen mit einer geringen Abgasenthalpie zusammentrifft. Hier bietet der HSL ein deutlich besseres Low-end-Torque-Verhalten und die Möglichkeit einer drehzahl- und somit verbrauchsenkenden Getriebeauslegung. Dank der guten Wirkungsgradcharakteristik eignet sich der HSL optimal als Booster für zweistufige Aufladesysteme in Kombination mit einem Abgasturbolader. In dieser Konfiguration ist er für Motoren mit bis zu 2,0 l Hubraum geeignet. Dabei sorgt der HSL im Vergleich zu einem mechanischen Schraubenlader bei niedrigen Drehzahlen für ein besseres Leistungs- und Drehmomentverhalten und einen deutlich geringeren Kraftstoffverbrauch. Dagegen ist mit einem ATL aufgrund des vergleichsweise breiteren Verdichterkennfelds eine höhere Endleistung realisierbar.

AUSBLICK

Ein weiteres Einsatzgebiet des HSL sind auf geringe Emissionen optimierte kleinvolumige Dieselmotoren. Handtmann hat dafür eine komplette Niederdruck-AGR-Strecke ausgelegt und mit selbstentwickelten Komponenten ausgestattet. An dieser wurde nachgewiesen, dass der HSL schon bei geringen Drehzahlen hohe Druckverhältnisse in Kombination mit einer hohen Abgasrückführtrate darstellen

kann. Durch den Entfall des Abgasturboladers kann die Abgasstrecke konsequent weiter entdrosselt werden. Im Vergleich zu einem mittels Abgasturbolader aufgeladenen Dieselmotor sind bei niedrigen Drehzahlen letztlich deutlich geringere Stickoxid- und Partikelemissionen realisierbar, insbesondere in den Beschleunigungsphasen. Diese Anwendung testet Handtmann derzeit mit einem kleinvolumigen Seriedieselmotor auf dem Motorprüfstand. Wie bei Ottomotoren erreicht der HSL bei Dieselmotoren ein besseres Low-end-Torque-Verhalten, wodurch längere und verbrauchsoptimale Getriebeübersetzungen ermöglicht werden.

FAZIT

Die Aufladung mit dem HSL besitzt ein hohes Potenzial zur Reduzierung von Kraftstoffverbrauch und Abgasemissionen bei Otto- und Dieselmotoren. Zudem kann diese Technik mit Start-Stopp-Systemen und hybriden Antriebssträngen kombiniert werden. Mit modernen Entwicklungs- und Produktionsmethoden sowie dem Einsatz innovativer Werkstoffe ist es Handtmann gelungen, den Spirallader an die heutigen Anforderungen anzupassen. Sein schon bei sehr niedrigen Drehzahlen hoher Wirkungsgrad prädestiniert den HSL als Teil eines zweistufigen Aufladesystems. Aber auch eine Anwendung als Einzelsystem bei Verbrennungsmotoren mit wenig Hubraum ist erfolversprechend.

LITERATURHINWEISE

- [1] http://www.g-laderseite.de/g-lader_geschichte.php
- [2] <http://www.handtmann.de/handtmann-gruppe.html>
- [3] <http://www.ausleidenschaft.de/>
- [4] Hack, G.; Langkabel, I.: Turbo- und Kompressormotoren: Entwicklung, Technik, Typen. Stuttgart: Motorbuch, 2003
- [5] Zinner, K.: Aufladung von Verbrennungsmotoren. Berlin: Springer, 1980
- [6] Maiwald, O.; Poumbga, P.; Regeisz, R.; Rühl, M.: Simulationsumgebung zur Analyse verschiedener Hybridantriebskonfigurationen. In: ATZ 112 (2010), Nr. 1
- [7] Merker, G.; Schwarz, C.; Teichmann, R. (Hrsg.): Grundlagen Verbrennungsmotoren – Funktionsweise, Simulation, Messtechnik. Berlin/Wiesbaden: Springer, 2006
- [8] Köhler, E.; Flierl, R.: Verbrennungsmotoren – Motormechanik, Berechnung und Auslegung des Hubkolbenmotors. Wiesbaden: Vieweg & Teubner, 2006

DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.MTZonline.de

READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
order your test issue now:
springervieweg-service@springer.com



Weltweit serienmäßig!

Fuel Filtration

Air Filtration

Oil Filtration

POWER + PASSION

Filtration made by MANN+HUMMEL

Mit unseren innovativen Systemlösungen rund um die Filtration schützen wir die Motoren der Zukunft. Weltweit – maßgeschneidert nach den Wünschen unserer Kunden.

Als langjähriger Entwicklungspartner und Serienlieferant der internationalen Automobilindustrie finden wir seit über 70 Jahren die besten Lösungen für unsere Kunden. Filtration ist unsere Kernkompetenz. Zu einer Komplettlösung gehören darüber hinaus auch System- und Kunststoffkompetenz, sowie die Fähigkeit Projekte und Produkte professionell, zuverlässig und weltweit nach einheitlichen Standards zu managen und zu produzieren.

Besuchen Sie uns auf der IAA Nutzfahrzeuge 2012 in Hannover, Halle 13, Stand E55.



www.mann-hummel.com