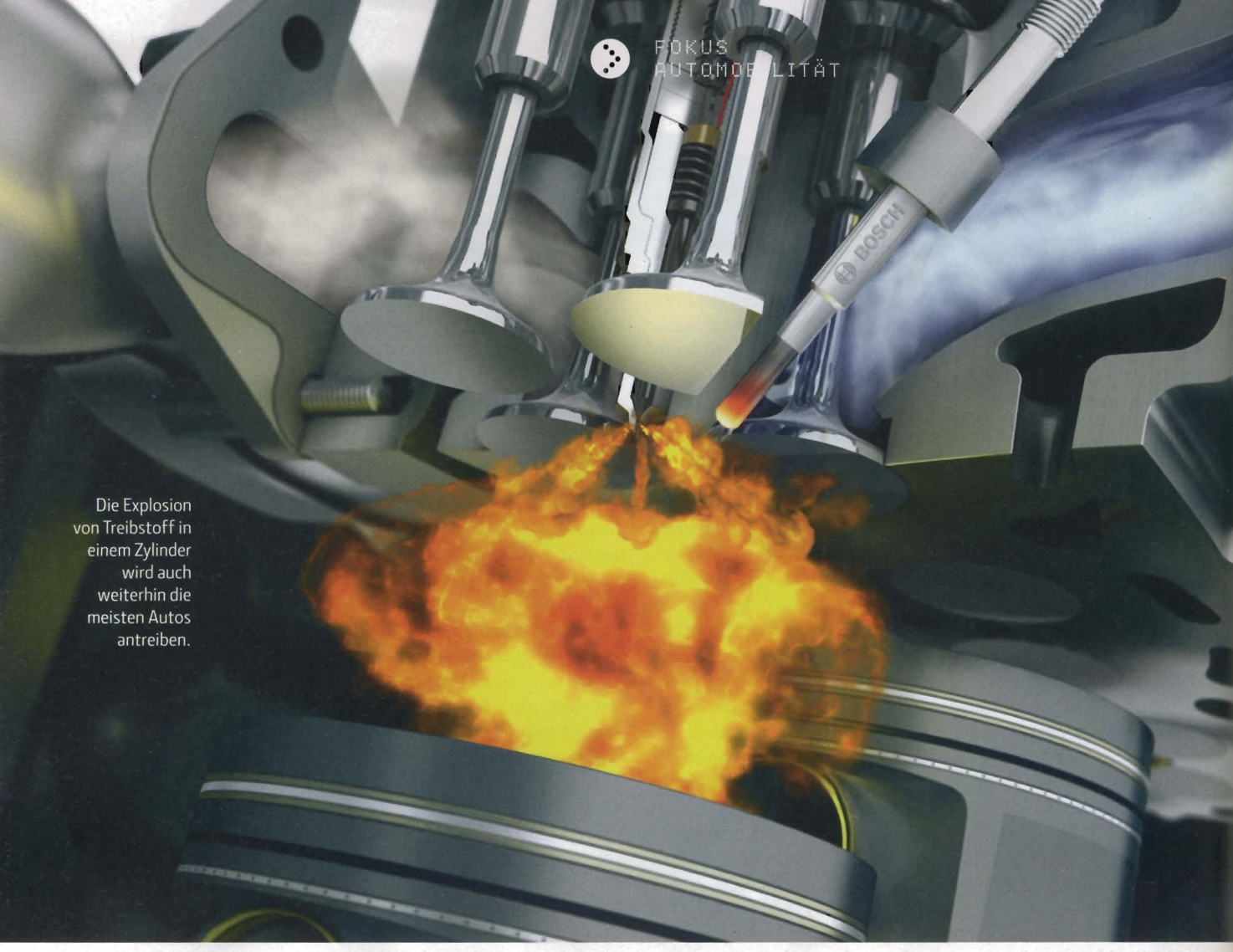


Die Explosion von Treibstoff in einem Zylinder wird auch weiterhin die meisten Autos antreiben.

NICHT AUSGEBRANNT

In Verbrennungsmaschinen steckt noch viel Entwicklungspotenzial – Otto- und Dieselmotoren können noch weitaus sauberer und sparsamer werden.

VON DENIS DILBA

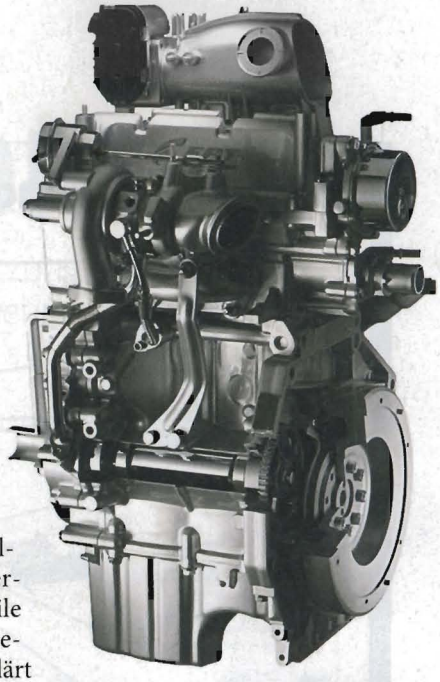
Zwei Zylinder auf gerade einmal 31 Zentimetern Länge, 875 Kubikzentimeter Hubraum und 85 Kilogramm Gewicht bringen 86 PS (63 kW) bei einem Normverbrauch von rund vier Litern Benzin auf 100 Kilometer – so sieht sie nach Meinung von insgesamt 76 Motor-Journalisten aus, die „Engine of the Year" des Jahres 2011. Der 875er TwinAir aus dem Fiat 500 räumte außerdem auf der diesjährigen Fachmesse Engine Expo in Stuttgart gleich in drei weiteren Kategorien ab: als bester neuer, bester kleinster und als grünster Verbrenner. Der Schrumpfmotor aus Turin kommt als erster seit rund 40 Jahren Pause wieder mit nur zwei Zylindern aus und bildet damit derzeit die Speerspitze des seit einigen Jahren anhaltenden Trends zum sogenannten Downsizing. So nennt die Autoindustrie die Entwicklung von Motoren mit kleinen Hubräumen, die durch verminderte Reibungs- und Wärmeverluste deutlich höhere Wirkungsgrade und Leistungen versprechen und so Kraftstoffverbrauch und Emissionen senken.

„Der Zweizylinder hört sich zwar eher nach einem Motorrad an, fährt sich aber überzeugend", sagt Stefan Pischinger, Leiter des Lehrstuhls für Verbrennungskraftmaschinen an der RWTH Aachen und Chef der FEV Motorentechnik. Vor allem aber sei er ein gutes Beispiel für das Potenzial, das nach wie vor im Verbrennungsmotor steckt. „Reizt man das gesamte Technologie-Spektrum aus und entwickelt konsequent weiter", urteilt der Experte, „kann man im Vergleich zu herkömmlichen Motoren 30 bis 35 Prozent Verbrauch und CO_2-Emissionen einsparen."

Daran führt auch kein Weg vorbei. Denn trotz Elektroautos oder anderer alternativer Antriebssysteme, so schätzen Hersteller und Experten einvernehmlich, wird der Verbrennungsmotor

Grafiken: Bosch, Fiat, Hüttlin

bis ungefähr 2030 die dominante Antriebsquelle für die Mobilität bleiben. Aber ohne wesentliche Verbesserungen von Diesel- und Ottomotor wird kein Hersteller die künftigen EU-Vorgaben bezüglich der CO_2-Emissionen einhalten können. 2009 emittierte ein durchschnittlicher Pkw 146 Gramm Kohlendioxid pro Kilometer. Bis 2015 muss der Wert auf 130 Gramm sinken, 2020 auf 95 Gramm und 2025 schließlich auf 75 Gramm.



Der 875er TwinAir aus dem Fiat 500, ein Zweizylinder-Turbo-Benziner, wurde zur „Engine of the Year 2011" gewählt.

Bosch prognostiziert für das Jahr 2020 einen Weltmarkt von jährlich 103 Millionen Pkw und leichten Nutzfahrzeugen. „In 100 Millionen davon wird ein Verbrennungsmotor zum Einsatz kommen", sagt Rolf Leonhard, Bereichsvorstand Entwicklung Diesel Systems bei Bosch. „Allerdings in den unterschiedlichsten Formen, etwa als konventioneller Verbrenner, klassischer Hybrid oder als Plug-in-Hybrid, um Elektroautos langstreckentauglich zu machen." Schon die Bandbreite der verschiedenen Varianten zeige die Herausforderung, vor der die Entwickler stehen, sagt Christian Beidl, Leiter des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen an der Technischen Universität Darmstadt: „Einen Königsweg gibt es im Motorenbau leider nicht, das ist alles mühsame Detailarbeit." Es gehe weniger darum, eine einzelne Technologie auszubauen, als vielmehr ein intelligentes Paket aus mehreren Lösungen zusammenzustellen.

Dabei müssen die Automobilbauer grundsätzlich mit dem Zielkonflikt zwischen dem Wunsch nach mehr Effizienz und der Forderung nach geringeren Emissionen umgehen. Denn effizientere Motoren haben eine höhere Verbrennungstemperatur und produzieren damit mehr giftige Stickoxide (NO_x). „Downsizing macht am meisten Sinn, wenn die kleineren Motoren mit Turboladern, Direkteinspritzung und einer variablen Ventilsteuerung arbeiten", sagt Beidl. Ziel der kleineren Motoren ist nämlich grundsätzlich, die Verluste an der Drosselklappe zu minimieren und damit den Spritverbrauch zu drücken. Über dieses Bauteil im Ansaugtrakt wird je nach Gaspedalstellung die Luftzufuhr in die Zylinder gesteuert. Grob gilt dabei: Je geöffneter sie ist, desto weniger Verluste treten auf. Downsizing-Motoren machen sich das zunutze. In einem Verbrennungsmotor mit kleinem Hubraum wird bei gleicher Luftzufuhr die Drosselklappe im Vergleich zu größeren Motoren weiter geöffnet, und es entstehen weniger Drosselverluste. „Allein durch diese Maßnahme lassen sich im europäischen Fahrzyklus bis zu 15 Prozent Kraftstoff einsparen", sagt Beidl.

Ohne Turbolader ergeben sich allerdings bei einem solchen Simpel-Downsizing auch herbe Leistungsverluste. Die Direkteinspritzung sorgt jedoch für weitere Verbrauchsverbesserungen. Anders als bei der Saugrohreinspritzung, bei der sich das Luft-Kraftstoff-Gemisch im Ansaugtrakt noch vor den Einlassventilen bildet und so an den Wänden aufheizt, kühlt direkt in den Brennraum eingespritztes Benzin die Ladung. „So kann man das Gemisch höher verdichten, bekommt somit eine höhere Leistung und gleichzeitig eine geringere Neigung zu unkontrollierten Verbrennungen, dem sogenannten Klopfen", erklärt Pischinger.

Die Drosselverluste sind bei Downsizing-Motoren zwar kleiner, aber immer noch vorhanden. Diese gehen die Motorenentwickler mit einer variablen Ventilsteuerung an. Bei einem herkömmlichen Motor sind feste Ventilöffnungszeiten vorgegeben, und die Gemischmenge, die in den Zylinder eintritt, wird über die Stellung der Drosselklappe reguliert. „Bei der variablen Ventilsteuerung schließen, vereinfacht gesagt, die Ventile vorzeitig, wenn genug Gemisch im Zylinder ist", erklärt Pischinger. Der Vorgang sei quasi verlustfrei. Während andere Hersteller die Öffnungszeiten der Ein- und Auslassventile über Nockenwellen verstellen lassen, setzt Fiat in seinem Zweizylinder dazu auf der Einlassseite nur noch ein elektrohydraulisches Steuersystem ein. Die Lösung sei laut Hersteller noch genauer und feinfühliger.

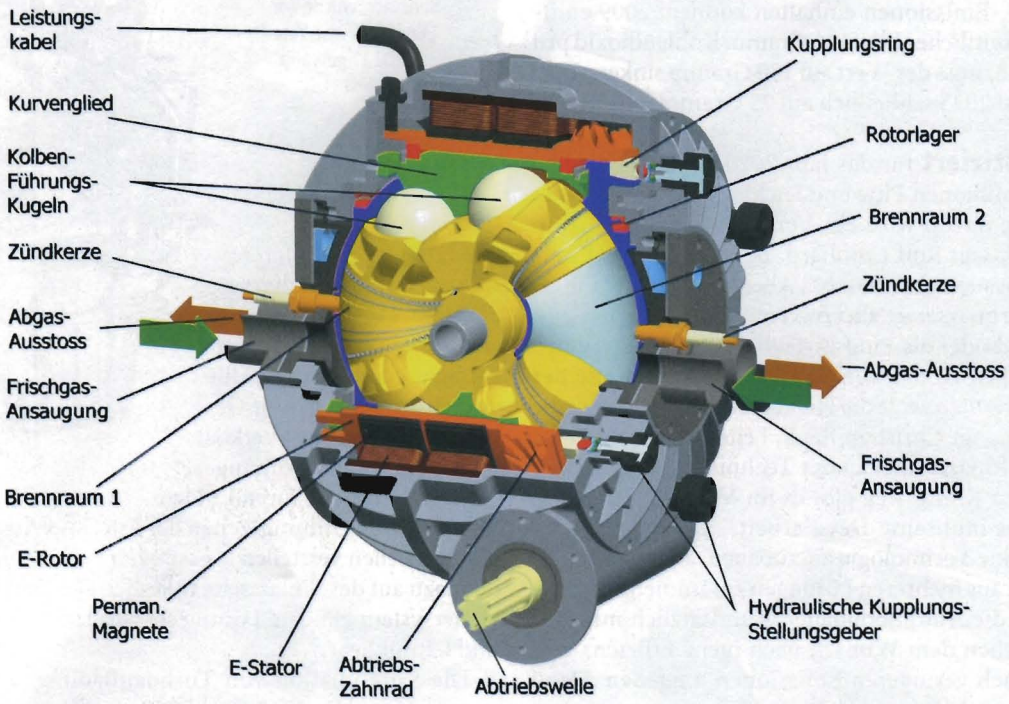
Die Kombination von Turboaufladung, variabler Ventilsteuerung und Downsizing ist derzeit einer der größten Trends. So stellen auch Ford und die Hyundai Kia Automotive Group auf der diesjährigen Internationalen Automobil-Ausstellung (IAA) jeweils einen neuen Hochleistungs-Dreizylindermotor vor. Und Daimler bietet seit 2010 erstmals in der Firmengeschichte die S-Klasse mit einem Vierzylinder-Diesel an. Der „S 250 CDI Blue Efficiency" hat einen Hubraum von 2,2 Litern, 204 PS (150 KW) und einen Verbrauch von 5,7 Litern auf 100 Kilometer. Dank Downsizing und einer zweistufigen Turboaufladung bringt der Motor deutlich mehr Leistung als die Sechszylinder-Diesel der S-Klasse-Modelle der neunziger Jahre (150 PS/110 kW).

„Insgesamt werden Downsizing-Motoren allmählich die größeren Verwandten verdrängen", sagt Beidl.

Günstiger seien diese Motoren allerdings nicht, meint er. Denn Downsizing bedeutet vor allem auch steigende Komplexität und durch einen höheren Entwicklungsaufwand auch steigende Kosten. Die Grenze des Machbaren liege bei einer Leistung von 130 bis 140 Kilowatt pro Liter Hubvolumen. Derzeit habe man 100 Kilowatt in Serie.

Bei der Weiterentwicklung der Motoren wird laut Stefan Pischinger auch die variable Verdichtung eine entscheidende Rolle spielen (siehe TR 9/2009). Das Verdichtungsverhältnis, also wie stark der Kolben das Luft-Kraftstoff-Gemisch im Zylinder zusammendrückt, bevor es gezündet wird, ist bis heute aufgrund der Motorkonstruktion fest vorgegeben. Mittelklassewagen mit Ottomotor wie der VW Golf haben Werte um 10:1. Während dieses Verhältnis bei Vollgas gefragt ist, damit die Ladung nicht unkontrolliert zündet, fährt ein Motor im Teillastbetrieb – etwa im klassischen Stadtverkehr – am spritsparendsten mit Werten um 16:1. „Eine verstellbare variable Verdichtung löst dieses Dilemma und harmoniert sehr gut mit Downsizing-Motoren", sagt Pischinger, der seit Jahren an der Technologie forscht.

Hüttlin-Kugelmotor



Wie man auch ganz ohne Downsizing gute Verbrauchswerte erzielen kann, wird Mazda auf der IAA präsentieren. Ihr sogenannter Skyactiv-Benziner hat einen Hubraum von zwei Litern und ist mit einem Verhältnis von 14:1 von Grund auf sehr hoch verdichtet. „Unser neuer Ottomotor spart so bis zu 15 Prozent Sprit", sagt Mazda-Sprecher Jochen Münzinger.

Beim Dieselmotor liegen die Verdichtungsverhältnisse grundsätzlich höher als bei Ottomotoren. Weil dadurch auch der Stickstoffausstoß steigt, ging Mazda beim Skyactiv-Diesel den entgegengesetzten Weg als bei ihrem Benziner und senkte das Verhältnis von den üblichen 17:1 auf 14:1. Da der Motor bei solch niedrigen Werten normalerweise ein schlechtes Kaltstart- und Kaltlaufverhalten zeigt, setzten die Hersteller spezielle Keramikglühkerzen und variable Auslassventile ein. Wegen der geringeren Kräfte, die auf den Mazda-Diesel wirken, konnte das Aggregat aber insgesamt deutlich leichter und reibungsärmer ausgelegt werden. Resultat: 20 Prozent weniger Kraftstoffdurst bei nahezu null NO_x-Emissionen.

Auch ganz neue exotische Prinzipien lassen immer öfter mit Traumwerten für Verbrauch und Emissionen von sich hören. „Die Scuderi Engine drückt den Verbrauch um 35 Prozent und kommt dabei ohne Katalysator aus", sagt Michael Eisenbeis, Europa-Direktor der Scuderi Group mit Sitz in Frankfurt am Main. Der Basismotor, von dem verschiedene Varianten in Entwicklung sind, teilt die vier Arbeitstakte eines Zylinders auf je zwei Zylinderpaare auf. Darin saugt ein Zylinder nur an und verdichtet, der andere zündet und stößt aus. Beide sind über einen Überströmkanal miteinander verbunden, wodurch Drücke von 50 Bar in der Brennkammer erreicht werden – ein herkömmlicher Benziner kommt auf drei Bar. Der Kraftstoff wird dabei erst gezündet, nachdem der Kolben den höchsten Punkt, den sogenannten oberen Totpunkt, erreicht hat. Normale Benziner zünden noch in der Aufwärtsbewegung – der Kolben muss dann eine kleine Wegstrecke gegen den Verbrennungsdruck arbeiten.

Scuderi spricht selbst von „der bedeutendsten Neuerung des Ottomotors seit seiner Erfindung". Derzeit verhandele man mit einigen Herstellern bereits auf Vorstandsebene über eine mögliche Lizenzierung, sagt Eisenbeis. Solche Gespräche seien auch bei ihm „sehr konkret", sagt Herbert Hüttlin, Erfinder des Hüttlin-Kugelmotors (siehe Grafik oben). In dem exotischen Aggregat bewegen sich die Kolben nicht auf und ab wie in klassischen Verbrennern – sie drehen sich in einem kugelförmigen Alu-Gehäuse permanent kreisförmig um eine Achse. Dabei wird wie sonst auch Kraftstoff angesaugt, verdichtet, gezündet und wieder ausgestoßen. Abgesehen von 30 Prozent weniger Benzindurst und besten Emissionswerten punkte der Motor vor allem durch seine einfache Bauweise: Im Gegensatz zu einem Vierzylinder-Ottomotor mit rund 240 Komponenten besteht der Kugelmotor aus lediglich 63 Bauteilen.

„Gegen die etablierten Motoren wird es jedes alternative Antriebskonzept schwer haben", sagt Thomas Schlick, Automobilexperte bei der Unternehmensberatung Roland Berger Strategy Consultants. Vor allem neue und teure Produktionsabläufe erschwerten eine Markteinführung. Ganz chancenlos sehe er die Newcomer aber nicht. „Die Neuentwicklungen machen den konventionellen Otto- und Dieselmotoren in jedem Fall Konkurrenz – und die spornt zu weiteren Höchstleistungen an."