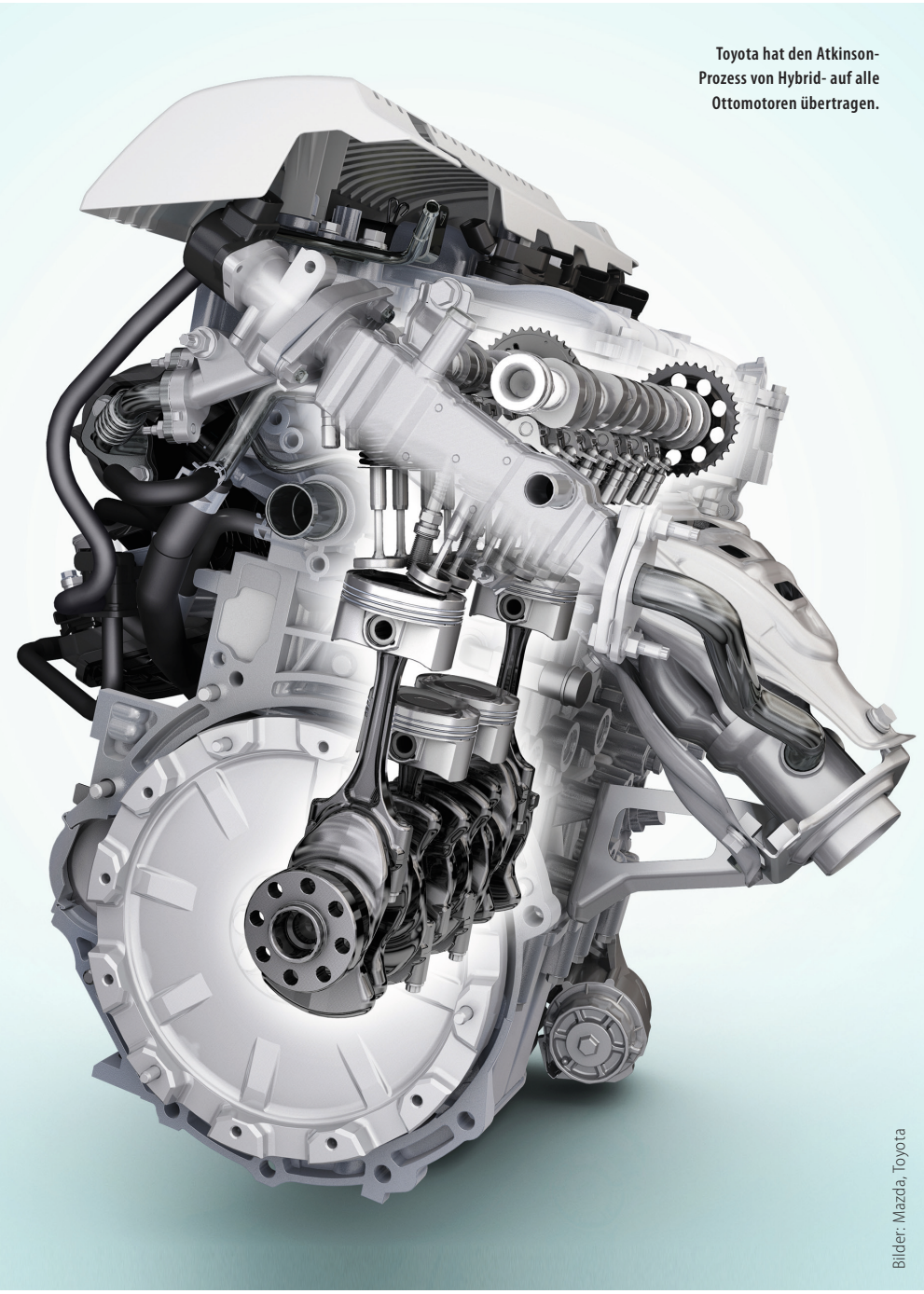
Verbesserung des thermodynamischen Wirkungsgrads

Prozessordnung

Maßnahmen zur Verbesserung des thermodynamischen Wirkungsgrads sind nötig, um Verbrennungsmotoren fit für die Zukunft zu machen. Von Otto abweichende Kreisprozesse sind deshalb auf dem Vormarsch. Bei Toyota kommen Ottomotoren mit abgeleitetem Atkinson-Prozess nun nicht mehr nur Hybrid-, sondern allen Fahrzeugen zugute.



Toyota hat den Atkinson-Prozess von Hybrid- auf alle Ottomotoren übertragen.

Bilder: Mazda, Toyota

Der ursprünglich von James Atkinson patentierte Motor besitzt eine Kurbelwelle mit Zusatzmechanik. Sie realisiert unterschiedliche Hübe und somit Volumina für Ansaugen/Verdichten einerseits (kürzer) und Expandieren/Ausstoßen andererseits (länger). Vorteil: Durch die längere Expansion des Gases wirkt dieses auch länger auf den Kolben und entspannt weiter als beim Kreisprozess nach Nikolaus Otto. Der thermodynamische Wirkungsgrad steigt, während die Abgastemperatur sinkt. Nachteil: Der kürzere Saughub reduziert die Zylinderfüllung, was niedrigere Werte für Drehmoment und Leistung zur Folge hat.

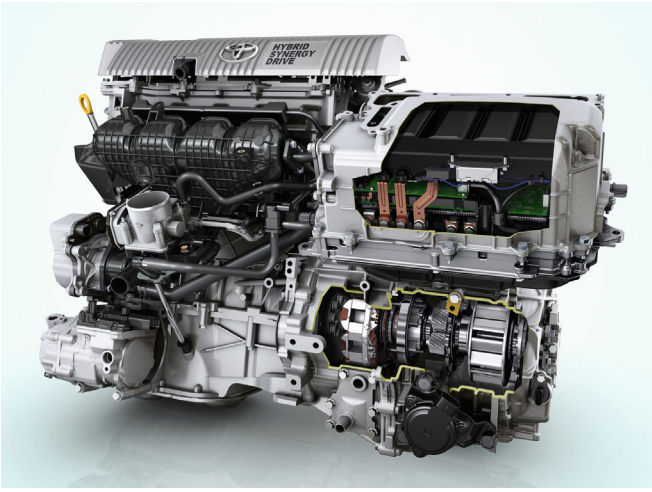
► **Atkinson-Prozess:** unterschiedliche Volumina für Ansaugen/Verdichten und Expandieren/Ausstoßen

Weil der Aufwand für die Zusatzmechanik recht hoch ist, es sich um bewegte Massen (Laufzeug) handelt und man mit der Variierung der Ventilsteuerung vergleichbare Effekte erzielt, spricht man bei heutigen Anwendungen vom „abgeleiteten Atkinson-Prozess“.

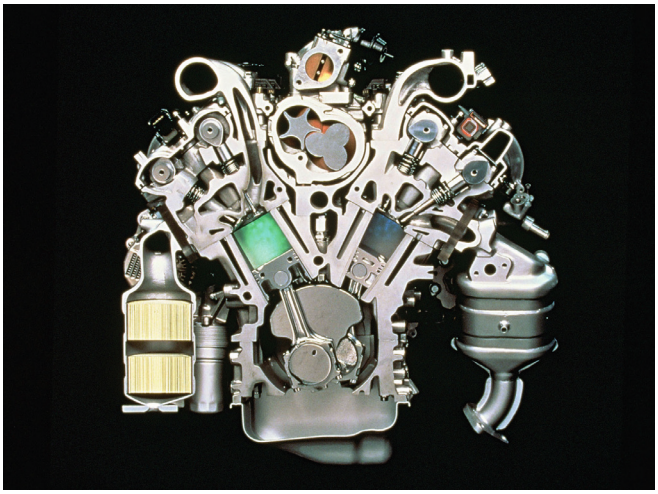
Hoher Wirkungsgrad: 38 Prozent

Ein Anwender des abgeleiteten Atkinson-Kreisprozesses ist Toyota. Zunächst nur für hybridisierte Ottomotoren gedacht, kommt diese Entwicklung ab sofort und sukzessive auch Nicht-Hybriden zugute. „Bis 2015 werden weltweit insgesamt 14 neue Triebwerksvarianten eingeführt“, erklärt Dirk Breuer, Technik-Pressesprecher des Toyota-Importeurs.

Bezüglich dieser neuen Ottomotoren ist bei Toyota von einem „außergewöhnlich hohen thermischen Wirkungsgrad“ die Rede: 38 Prozent. Beim Dieselmotor



Bisher blieb der Kreisprozess nach James Atkinson Hybridantrieben vorbehalten.



Schnitt durch den aufgeladenen Miller-Motor des Mazda Xedos 9 aus den 1990ern

liegt er nur zwei Prozentpunkte darüber. Wörtlich: „Der Kraftstoffverbrauch sinkt dadurch um zehn, in der Spitze sogar um 30 Prozent gegenüber aktuellen Fahrzeugen gemäß dem japanischen Fahrzyklus." Und das steckt dahinter: Die Einlassventile schließen vergleichsweise sehr spät, somit beginnt die Verdichtung erst weit nach UT. Dabei wird die theoretische Verdichtung nicht erreicht; real variiert die Verdichtung deutlich darunter.

Auf niedrige Drehzahlen beschränkt

Die Auslassventile schließen ebenfalls sehr spät, allerdings bleibt diese Vorgehensweise vergleichsweise niedrigen Drehzahlen vorbehalten. Beim 1,8-Liter-Vierzylinder des Prius liegt die Grenze bei 4.000 (Generation 1), 4.500 (Generation 2) oder 5.200/min (Generation 3). Weil bei der neuen Ottomotorengeneration von Toyota die Maximaldrehzahl jenseits von 6.000/min liegt, ist zu vermuten, dass auch hier bei höheren Drehzahlen wieder auf konventionelle Steuerzeiten zurückgeschaltet wird.

Wegen des anfangs erwähnten Nachteils, niedrigere Werte für Drehmoment und Leistung, kamen Motoren mit abgeleitetem Atkinson-Prozess bisher nur bei Hybridfahrzeugen von Toyota zum Einsatz, wo der E-Motor das Manko kompensiert. Alternative Möglichkeiten der Kompensation: Aufladung oder Kopplung mit stufenlosem Getriebe.

Um den abgewandelten Atkinson-Kreisprozess auch bei nicht hybridisierten Saugmotoren nutzen zu können, hat der Automobilhersteller noch einiges mehr unternehmen müssen. Dirk Breuer erklärt alle Maßnahmen: „Ergänzt um eine wassergekühlte und sorgfältig geregelte Abgasrückführung, kann der Motor mit einer weiter geöffneten Drosselklappe betrieben werden. So arbeitet der Motor häufiger im Bereich des besten thermischen Wirkungsgrads. Die neue Form des Einlasskanals erzeugt eine beschleunigte, nach unten fallende Strömung im Zylinder, wodurch das Kraftstoff-Luft-Gemisch nun vertikal statt horizontal und mit höherer Geschwindigkeit in den Zylinder strömt. Die bessere Durchmischung sorgt für eine schnellere Flammgeschwindigkeit bei der Verbrennung. Gepaart mit verbesserter Kühlwasserführung für Zylinder und Brennraum, kann die Klopfneigung trotz des hohen Verdichtungsverhältnisses verringert werden. Auslasskanäle und Abgaskrümmer wurden ebenfalls für verbesserten Gasdurchsatz angepasst. Abgerundet wird das Paket mit Reduzierung der inneren Reibung. Dabei reicht das Spektrum von speziellen Beschichtungen für Kolben, Kolbenringe und Gleitlager über verringerte Ölpumpenfördermenge bis hin zum leichter laufenden Keilrippenriemen für den Nebenaggregateantrieb."

► **Atkinson-Prozess bei Toyota:** für die Adaption an konventionelle Motoren weitere Maßnahmen nötig

Ebenfalls interessant erscheint dieses Detail: Das Ansaugrohr erstreckt sich praktisch parallel zum Motorblock. „Von dort erhält es die nötige Wärme, um das Kraftstoff-Luft-Gemisch, welches bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens aus dem Zylinder gepumpt wird, an der Kondensation zu hindern", so Dirk Breuer.

Kreisprozess nach Ralph Miller

Ähnlich, aber nicht identisch, gestaltet sich der Kreisprozess nach Ralph Miller. Verglichen mit dem Otto-Kreisprozess, schließt hier das Einlassventil sehr früh während des Saughubs. Auch damit wird die Luftlademenge verkleinert, was bei gleich bleibendem Verdichtungsdruck und Expansionsverhältnis die Steigerung des thermodynamischen Wirkungsgrads mit sich bringt. Ebenfalls wird die Abgastemperatur reduziert und damit die Integration von Aufladung erleichtert, die, wie schon beim Atkinson-Kreisprozess, die Verminderung von Drehmoment und Leistung kompensieren kann.

Verwirrend wirkt die gelegentliche Verwechslung dieser beiden vom Otto-Kreisprozess abweichenden Prozesse. So haben auch die aktuellen Ottomotoren von Mazda, geführt unter „Skyactive", nur wenig mit Miller zu tun.

In Deutschland angekommen

Fest steht aber, dass Maßnahmen, die den thermodynamischen Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren anheben, nötig sind, um diese fit für die Zukunft zu machen, was das diesjährige Wiener Motorensymposium erneut bestätigte (vgl. Artikel ab Seite 10). Inzwischen sind von Otto abweichende Kreisprozesse auch bei deutschen Autobauern angekommen. So nutzt der Mercedes-Benz S400 Hybrid den Atkinson-Prozess. *Peter Diehl*