

Das Extraheft für Kfz-Technik von

**auto  
motor**  
und **sport**



**Bild 1** Eine Kurbelwelle mit elektrisch betätigten Hubzapfenexzenter von Gomecsys. Das Produkt könnte in Kürze in einem Fahrzeug des PSA-Konzerns Premiere feiern

Fotos: Infiniti, MCE-5, Gomecsys, FEV Group, AVL, iwis motorsysteme, Saab

**Hintergrund** ■ Neue Motorkonzepte

## Effizienter mit variabler Verdichtung

Mit den Größen Zylinderhub und Verdichtungsraum galt das Verdichtungsverhältnis für jeden Motor geometrisch bislang als unverrückbar definiert. Das fordert Kompromisse bei Leistung und Effizienz. Die Lösung heißt: variable Verdichtung. Ein erster Motor ist bereits in Serie ...

**D**er Ansatz ist im Grunde einfach: Im Teillastbereich, wenn wenig Motorleistung abgefordert wird, lässt sich ein Motor mit möglichst hoher Verdichtung ideal effizient betreiben. Hohe Drehzahlen und hohe Lastanforderungen hingegen würden dann jedoch zur unkontrollierten Verbrennung, zum motorschädlichen

Klopfen führen. Hier wäre es, insbesondere bei hochaufgeladenen Downsizing-Motoren, zusätzlich oder anstelle zur üblichen Spät-Verstellung der Zündung günstig, auch die Verdichtung so weit abzusenken, dass die Verbrennung wieder kontrollierbar ablaufen kann. Bislang scheiterten die diversen Kons-

truktionen an mechanischen und regelungstechnischen Hemmnissen. Die Technik war zu komplex, zu schwer, zu anfällig. Mit dem neuen VC-T-Triebwerk wagt nun die Nissan-Tochter Infiniti als Erste den Schritt in ein neues Motorenzeitalter. Doch auch andere Hersteller haben bereits zukunftsweisende Konzepte parat.

### Inhalt

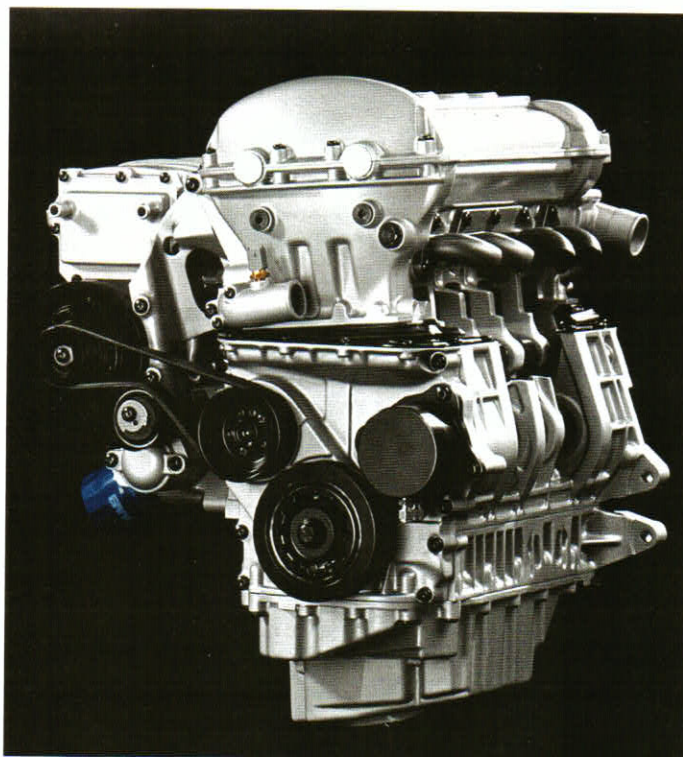
- Kurbeltriebe für variable Verdichtung..... 1
- Werkstattpraxis: Der perfekte Ölwechsel..... 6
- Motoröl-Kennzeichnung.... 9
- Digitalisierung: Das AOS-System von BMW..... 10
- Physik: Das steckt hinter VCR-Systemen ..... 14

## Konzepte für variable Verdichtung

Die Vorteile einer dynamisch-variablen Verdichtung sind den Motorenkonstruktoren schon lange bewusst. Steigende Ansprüche an Abgasarmut, Effizienz und Leistung rückten die Technologie besonders in den letzten Jahren stärker in den Fokus. Teils unbeachtet vom öffentlichen Interesse wurden in den vergangenen Jahren schon einige Versuchsmotoren mit VCR-Konzepten (Variable Combustion Ratio, variable Verdichtung) vorgestellt: Nissan/Infiniti scheint mit dem brandneuen VCT-Motor im Infiniti QX 50 die technischen Herausforderungen als Erste gemeistert zu haben.

### Saab 1,6-I-SVC

Bereits vor fast 20 Jahren zeigte der schwedische Hersteller Saab einen Versuchsmotor mit variabler Kompression. Der 1,6-Liter-Fünfzylinder-SVC-Motor (**Bild 2**) mit mechanischem Kompressor kam auf 225 PS und ein Drehmoment von 305 Newtonmetern. Die Veränderung der Verdichtung wurde durch ein einseitig gelagertes, schwenkbares Zylindergehäuse erreicht. Über eine außenliegende Hydraulik ließ sich die Kombination aus Zylinderkopf und Laufbüchsen in einer Kippbewegung relativ zur Pleuelwelle anheben. Das Verdichtungsverhältnis war so stufenlos zwischen 8:1 und 14:1 verstellbar (**Bild 3**). Probleme gab es unter anderem bei der Dämpfung, der Abdichtung und der zwingend flexiblen Abgasführung im Krümmerbereich. Der Motor kam über das Versuchsstadium nie hinaus.



**Bild 2** Saab-Versuchsmotor mit variabler Kompression. Eine Exzenterwelle variiert über ein Pleuel die Kompressionshöhe

### Mercedes 1,8-l-„Diesotto“

Auch das 2007 von Mercedes im F700-Konzeptfahrzeug vorgestellte benzinbetriebene „Diesotto“-Triebwerk (**Bild 4**) setzte neben der sonst dieseltypischen homogenen Verbrennung auf das Konzept der variablen Verdichtung. Dazu konnte auch hier der Verbund aus Laufbüchsen und Zylinderkopf relativ zur Pleuelwelle bewegt werden. Eine Mechanik im Pleuelgehäuse passte das Verdichtungsverhältnis, also die Relation zwischen Brenn-

raumvolumen vor und nach der Verdichtung, an den Betriebszustand an. Die Verdichtung lag zwischen 7:1 bei Vollast und 14:1 im Teillastbetrieb. Das hochaufgeladene 1,8-l-Downsizing-Triebwerk erreichte mit Hybridkomponenten eine Systemdauerleistung von 238 PS und beachtliche 400 Newtonmeter Drehmoment – bei einem Durchschnittsverbrauch von 5,3 l/100 km. Dazu trug allerdings im Wesentlichen das „Diesotto“-Prinzip bei: Während der Benzin-er bei Start und Vollast normal

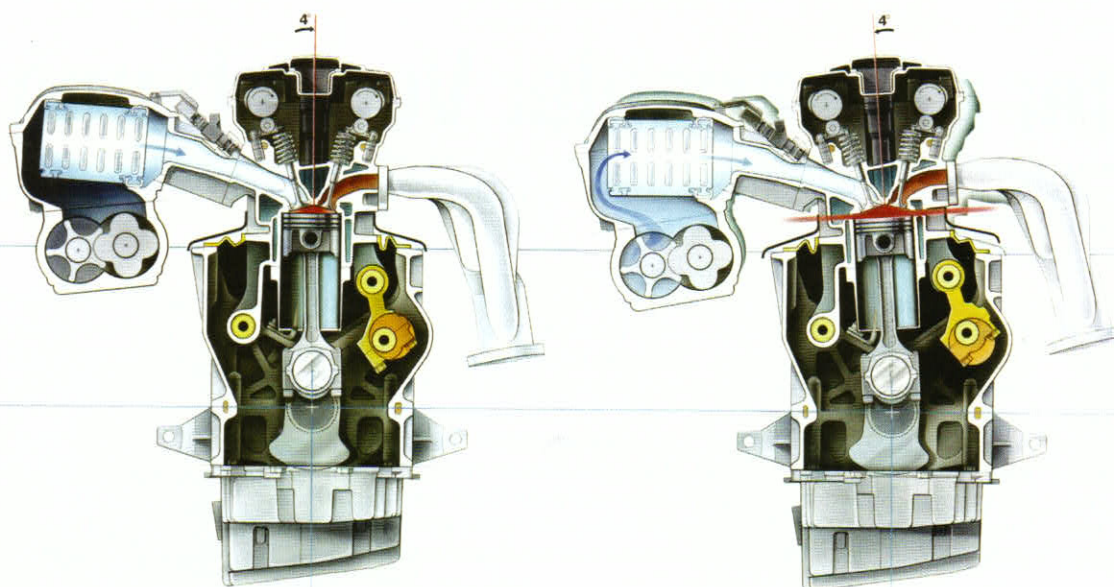
mit Zündfunken arbeitet, stellt er bei Teillast mit hoher Verdichtung auf kontrollierte Selbstzündung um.

Auch bei einigen anderen Herstellern, darunter auch der Volkswagen-Konzern, wurde eifrig an Lösungen zur veränderlichen Verdichtung geforscht, über die aber nichts Näheres zu erfahren war. Recht weit scheint hingegen die Stuttgarter Sportwagensparte des Konzerns zu sein.

### Unkonventionelle Pleueltriebe

Nahezu alle bekannten Konzepte zur Variation des Kompressionsvolumens beruhen auf einer Variation der Pleuelposition im oberen Totpunkt (OT). Um das zu erreichen, können auch unkonventionelle Pleueltriebe zum Einsatz kommen. Ein Beispiel dafür ist das beim Infiniti-Motor verwendete Konzept der mehrgliedrigen Pleuel.

Hier wird eine zum Pleuelgehäuse verlagerbare Pleuelstütze variiert, die die Pleuelkinematik des Pleueltriebes beeinflusst, wodurch das Verdichtungsverhältnis letztlich kontinuierlich verstellbar werden kann. Ähnlich wie dieses System funktioniert auch das VCR-System der Entwicklungsfirma MCE-5 (**Bild 5**). Bei diesem System wird die Pleuelkraft über eine Pleuelstange auf ein Pleuelrad übertragen, das auf einer zweiten, am Pleuelgehäuse verschiebbar angebrachten Pleuelstange abrollt. Die Verstellung dieser Pleuelstange erfolgt für jeden Zylinder durch einen parallel im Pleuelgehäuse angebrachten



**Bild 3** Die Veränderung der Verdichtung wurde bei einem Saab-Konzept durch ein einseitig gelagertes, schwenkbares Zylindergehäuse erreicht

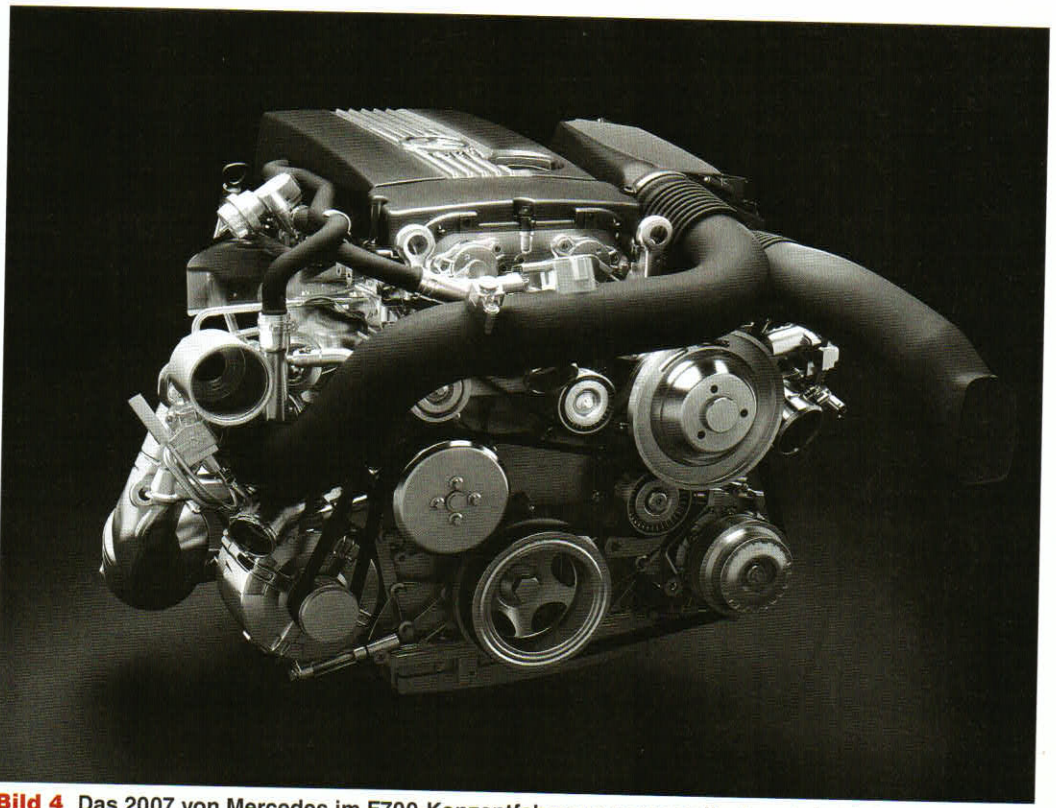
hydraulischen Nachlaufzylinder, dessen Kolben von den Reaktionskräften des Arbeitskolbens auf und ab bewegt wird. Diese Hubbewegung kann zylinderselektiv hydraulisch begrenzt und gesteuert werden, was sich somit wiederum direkt auf den Hub des Arbeitskolbens auswirkt.

Die Kraftübertragung an die ausgehende Kurbelwelle erfolgt letztlich über ein an der Drehachse des übertragenden Zahnrads angebrachtes Pleuel (Bild 6). Durch die Vertikalverstellung der kurbelgehäuseseitigen Zahnstange kann die OT-Position des Kolbens ebenso stufenlos verstellt werden. Der Vorteil dieses recht komplexen Systems ist, dass sich die Kompression quasi für jeden Zylinder separat beeinflussen lässt.

### Verstellbare Kurbelwellen

Um die Position des oberen Totpunkts zu variieren, kann neben der bereits beschriebenen Saab-Konstruktion mit schwenkbarem Zylinderkopf nach einem von FEV vorgestellten Konzept auch die Position der Kurbelwelle verändert werden. Hierzu ist die Kurbelwelle selbst in den Hauptlagern im Kurbelgehäuse exzentrisch gelagert. Die drehbar gelagerten Exzenter müssen dabei zu einer torsionssteifen Einheit verbunden werden.

Bei diesem Prinzip wird die Veränderung des oberen Totpunkts durch Verdrehen dieser Exzentereinheit erreicht. Das sich daraus ergebende Problem des nicht ortsfesten Kurbelwellenflansches muss durch eine so ge-



**Bild 4** Das 2007 von Mercedes im F700-Konzeptfahrzeug vorgestellte benzinbetriebene „Diesotto“-Triebwerk zeigte neben der VCR-Technik eine Vielzahl weiterer Innovationen

**Bild 5** Beim VCR-System von MCE-5 werden die Kolbenkräfte über Zahnstangen und ein Übertragungszahnrad übertragen



### Impressum

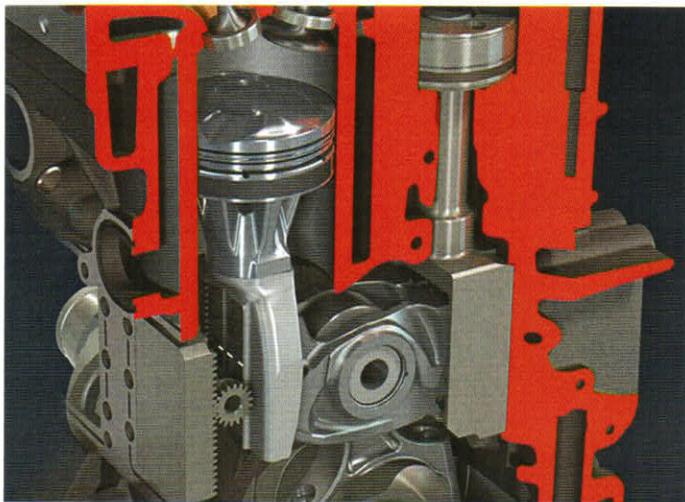
#### Schüler-Service

Directa Fachverlag, Lübecker Straße 8,  
23611 Bad Schwartau, Telefon: 0451/49999-0,  
Fax: -40, E-Mail: direkt@directa-verlag.de

#### Redaktion ams technik profi

Thiemo Fleck (Ltg.),  
tfleck@motorpresse.de  
Telefon: 07 11/182-2475, Fax: -1834  
Dipl.-Ing. (FH) Joachim Deleker,  
jdeleker@motorpresse.de  
Telefon: 07 11/182-1873, Fax: -1834  
Motor Presse Stuttgart GmbH & Co. KG,  
70162 Stuttgart

Druck: Firmengruppe APPL  
Kuncke Druck GmbH



**Bild 6** Der Vorteil des MCE-5-Systems ist, dass sich die Kompression für jeden Zylinder separat beeinflussen lässt

nannte Parallelkurbelkupplung ausgeglichen werden.

Mit etwas höherem technischem Aufwand kann, um die OT-Lage zu verändern, auch an den Hubzapfen der Kurbelwelle angesetzt werden. So sind aktuell bei der holländischen Firma Gomecsys verstellbare Kurbelwellen im Versuch, bei denen die drehbaren Exzenter nicht um die Hauptlager, sondern um jeden einzelnen Hubzapfen (**Bilder 1 und 7**) angebracht sind. Sie werden von Zahnrädern synchronisiert und sollen mit halber Kurbelwellendrehzahl gegenläufig drehen. Über Zahnräder und durch die

Hub- und Lagerzapfen verlegte Wellen können die Exzenter durch einen elektrischen Stellmotor stufenlos verdreht werden, wodurch sich der wirksame Kurbelradius zu den Totpunkttagen des Kolbens verändert (**Bild 8**). Der Kompressions- und der Expansionshub können so unterschiedlich lang ausgelegt sein, was den Motorwirkungsgrad weiter verbessern könnte.

#### Längenvariable Pleuel

Im dritten Ansatz kann auch direkt die geometrische Länge des Pleuels verändert werden: Die vom Entwicklungsdienstleister



**Bild 9** den Verspleueln FEV wird exzentriert um den Kolben angeordnet. Auge hydraulisch angesteuert.

FEV (**Bild 9**) patentierte Lösung ermöglicht die Einstellung von zwei diskreten Verdichtungsstufen und kann somit ohne aufwendige Änderungen am Grundmotor kostengünstig in ein bestehendes Motorkonzept integriert werden. Hierzu wird ein Exzenter zur Aufnahme des Kolbenbolzens im kleinen Pleuelauge schwenkbar integriert. Die auf den Kolben wirkenden Gas- und Massenkräfte führen im Betrieb zu einem auf den Exzenter wirkenden (Verdreh-)Moment. Hydraulikzylinder dienen als Abstützmechanismus und werden über die Ölversorgung in der Kurbelwelle gezielt

angesteuert. Zur Serienfertigung besteht eine Entwicklungskooperation zwischen FEV und dem Zulieferer Hilite (**Bild 10**).

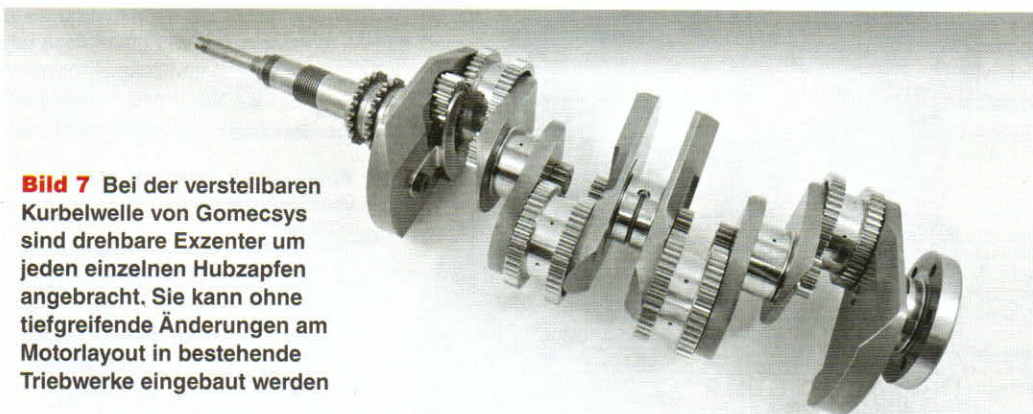
Wie beim längenveränderbaren FEV-Pleuel setzt auch die Konstruktion des österreichischen Unternehmens AVL auf in Pleuel integrierte Hydraulik. Hier wird der Pleuelschaft selbst zu doppelt wirkenden Hydraulikzylinder. Der Verbrennungsdruck wird in der langen Position komplett vom Ölvolumen getragen bei hohen Lasten in kurzer Stellung hingegen über den metallischen Anschlag (**Bild 11**).

Über die Veränderung der Versorgungsöldrucks gesteuert kann das Verstellpleuel in zwei verschiedenen Arbeitslängen betrieben werden. Zur schnellen Umschaltung des Systems machen sich die Techniker zusätzlich die Gas- und Massenkräfte im Kolbenrieb zunutze. Mit dem System soll eine Verdichtungsvariation um bis zu sechs Einheiten möglich sein.

#### Infiniti VC-T im Detail

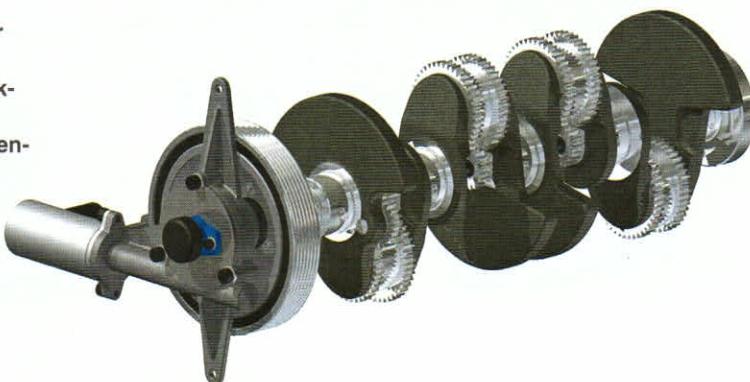
Das neue Infiniti-VC-T-Triebwerk ist mit über 300 neuen Patenten das Ergebnis einer ganz tiefen Ingenieurs-Trickkiste. Neben dem verstellbaren Hub wartet der Motor noch mit einer variablen Ventilsteuerung für Ein- und Auslass, Turboaufladung sowie Direkteinspritzung auf.

Im Infiniti QX 50 wird die Hubhöhe der Pleuel durch ein Multilink-System (**Bild 12**) gesteuert, das über eine Steuerwelle unten im Pleuelgehäuse de-



**Bild 7** Bei der verstellbaren Kurbelwelle von Gomecsys sind drehbare Exzenter um jeden einzelnen Hubzapfen angebracht. Sie können ohne tiefgreifende Änderungen am Motorlayout in bestehende Triebwerke eingebaut werden

**Bild 8** Die Exzenter der Gomecsys-Kurbelwelle können durch einen elektrischen Stellmotor mit Schneckengetriebe stufenlos verdreht werden. Die Verstellung von maximaler bis minimaler Kompression (14:1 bis 11:1) dauert 0,2 Sekunden





**Bild 10** Für hydraulisch längenverstellbare Pleuel soll eine Serienproduktion bereits angelaufen sein

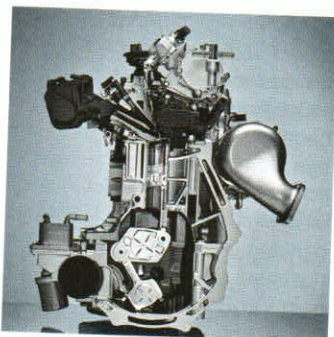
Anlenkpunkt des Arbeitskolbenpleuels **3** verschieben kann. Die Verstellung durch Exzenter erfolgt stufenlos, der Antrieb der Pleuel erfolgt letztlich über eine Pleuelschwinge **1**, die arbeitseits über den entsprechenden Pleuel angetrieben wird, sich andererseits über einen zweiten Pleuel auf dem exzentrisch gelagerten Pleueltrieb, der Pleueltrieb, abstützt. Der Antrieb zur letztlich kraftabgebenden Pleueltrieb erfolgt hier direkt durch die Pleuelschwinge **1**.

**Bild 12** Beim Infiniti VC-T-Motor im QX 50 wird die Hubhöhe der Pleuel durch ein Multi-Link-System gesteuert, das über eine Pleueltrieb den Anlenkpunkt des Arbeitskolbenpleuels verschiebt

Für den präzisen, spielfreien und dennoch elastischen Antrieb der Pleueltrieb kommt ein Pleueltrieb (Harmonic Drive) zum Einsatz. Diese Pleueltrieb zeichnen sich durch kompakte Bauform und Wartungsfreiheit aus. Pleueltrieb werden unter anderem auch für Pleueltrieb in Kraftfahrzeugen oder zum Nachführen von Pleuelantennen eingesetzt.

Das neue Pleuelkonzept hat sich Nissan bereits 2001 und 2008 in den USA patentrechtlich schützen lassen. Die Pleuelvariation reicht von 8:1 bis 14:1. Das bedeutet eine Pleueländerung von sechs Millimetern, der Pleuelraum liegt somit zwischen 1970 und 1997 cm<sup>3</sup>.

Im bislang nur in Übersee lieferbaren Infiniti QX 50 erreicht der VC-T-Motor 272 PS und 390 Nm Drehmoment (**Bild 13**). Gegenüber dem Vorgängertriebwerk, einem 3,5-Liter-V6, sollen hier bis zu 27 Prozent Kraftstoffsparsparnis möglich sein. Die Markteinführung des QX50 ist in Euro-



**Bild 13** Der Infiniti VC-T-Motor leistet mit aufwendiger Pleueltriebkinematik und Turbo rund 272 PS

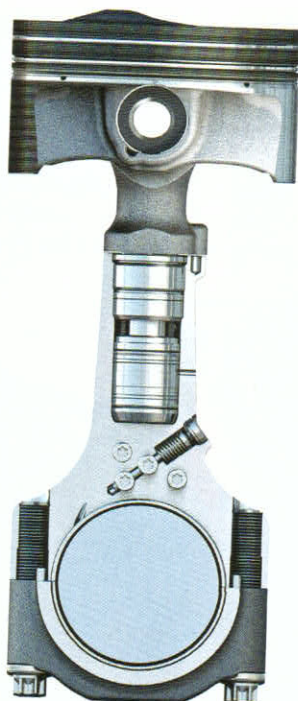
pa für 2019 vorgesehen. Bei guter Akzeptanz kann man davon ausgehen, dass die Pleueltechnik auf weitere Modelle der Renault-Nissan-Infiniti-Gruppe übertragen wird.

#### Ausblick

Zusammen mit flankierenden Maßnahmen kann die Pleuel-Technik geeignet sein, den bis 2020 geforderten Auflagen in Sachen Pleuel und Abgasarmut Rechnung zu tragen. Mit weiteren Serienanläufen in Pleuelmotoren, flankiert von optimierter Pleuelaufladungs-, Downsizing- und Pleuel-

pleueltechnologie, wird in den nächsten Jahren zu rechnen sein. Auch beim Pleuelmotor sehen die Pleuelentwickler Potenzial für diese Pleueltechnik. In Verbindung mit neuen Pleuelgeometrien sind auch hier nochmals deutliche Pleuelverbesserungen zu erwarten. Durch Pleuelanpassung des Pleuelverhältnisses wäre zudem die Pleuelverwendung unterschiedlicher Pleuelkraftstoffe denkbar, genauso wie etwa extremes Downsizing mit Pleuelhochaufladung oder aber Pleuelmotoren mit Pleuelkontrollierter Pleuelzündung.

*Thiemo Fleck*



**Bild 11** Bei den Pleuel von AVL-iwis stützt sich der Pleuel in Position „lang“ komplett auf dem Pleuelvolumen des integrierten Pleuelzylinders ab

