

# Unter Hochdruck

Gasmotoren können einen erheblichen Beitrag dazu leisten, die Klimaziele zu erreichen, wenn es gelingt, Methanschupf zu vermeiden. In einem FVV-Projekt untersuchen Forscher aus Zürich und München daher ein neues Gas-Diesel-Brennverfahren.

**Gas-Diesel-Brennverfahren** // Nur selten bietet sich in der Motorenentwicklung die Möglichkeit, mit einem einzigen Verfahren große Mengen CO<sub>2</sub> einsparen zu können. Gasmotoren haben das Potenzial dazu: Ließe sich ein ähnlicher Einblas- und Verbrennungsprozess wie in einem Dieselmotor realisieren, würde ein Gasmotor insgesamt etwa ein Drittel weniger CO<sub>2</sub> pro Kilowattstunde mechanischer Energie emittieren. Zusätzlich könnte man die Leistung steigern, da der dieselähnliche Prozess naturgemäß nicht durch unkontrollierte Selbstzündung limitiert ist. Doch der Konjunktiv ist angebracht. Denn aufgrund der Komplexität des Verfahrens lässt sich eine Hochdruck-Gaseinblasung für Gasmotoren nicht leicht zur kommerziellen Reife bringen.

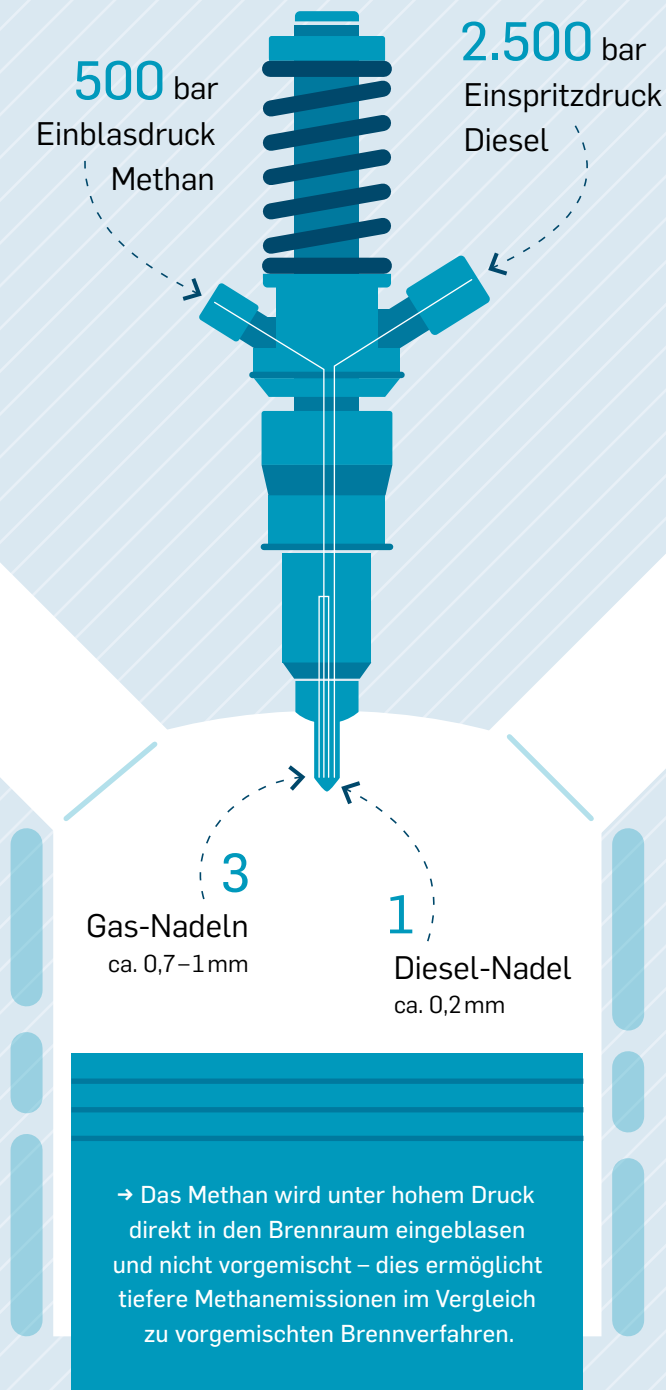
Während Gasmotoren im Pkw üblicherweise auf Basis von Ottomotoren realisiert werden, eignet sich für Groß- und Stationärmotoren ein dieselähnlicher Prozess – damit kann ein Wirkungsgrad von annähernd

50 Prozent erreicht werden. Ein weiterer Vorteil eines dieselähnlichen Verfahrens ist, dass im Gegensatz zum ottomotorischen Prozess kaum unverbranntes Methan entsteht. Dessen Entweichen in die Atmosphäre muss unbedingt verhindert werden, da Methan als Treibhausgas die 30-fache Wirkung von CO<sub>2</sub> entfaltet.

Doch noch fehlt es an grundlegendem Verständnis für den Einblas-, Zünd- und Verbrennungsablauf. Im kürzlich abgeschlossenen FVV-Projekt zu einem Gas-Diesel-Brennverfahren entwickelten Forscher der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich und der Universität der Bundeswehr in München gemeinsam Simulationsmethoden und validierten sie in Experimenten.

»Unsere Aufgabe war, experimentell und numerisch herauszufinden, was im Brennraum genau passiert, wie sich der Gasstrahl ausbreitet, sich mit Luft vermischt, zündet und ob Methan am Düsenaustritt kondensiert«, erklärt

## Geschickt kombiniert: Direkteinspritzung von Diesel und Methan



Prof. Dr. Konstantinos Boulouchos, Leiter des Laboratoriums für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme (LAV) an der ETH Zürich. In Zusammenarbeit mit der Universität der Bundeswehr in München galt es, die entwickelten Strömungssimulationswerkzeuge zu validieren, um vorhersagen zu können, wie ein Hochdruck-Einblasverfahren in Gasmotoren realisiert werden kann.

Am Institut für Energietechnik der ETH Zürich bieten mehrere Versuchsträger die Möglichkeit, motorähnliche Bedingungen zu schaffen. In einer beheizten Konstantvolumenkammer lassen sich annähernd Temperaturen und Drücke simulieren, wie sie in einem Dieselmotor vorkommen. Der Projektpartner Woodward L'Orange aus Stuttgart stellte Prototypen von Injektoren zur Verfügung. Diese unterscheiden sich deutlich von denen eines Dieselmotors. Grundsätzlich sei die Gestaltung der Düse bei Gas wesentlich einfacher, da es keine Kavitationsphänomene gibt. »Da aber beim Gas-Diesel-Brennverfahren das Methan durch einen weiteren Dieselinjektor gezündet wird, der in einem Gehäuse mit den Gasdüsen integriert ist, wird der Injektor insgesamt relativ komplex«, berichtet Dr. Michael Willmann, Leiter der Vorentwicklung bei Woodward L'Orange und Projektleiter des FVV-Forschungsvorhabens. Die während des Projekts gewonnenen Simulationsergebnisse fließen nun in die Auslegungsmodelle ein und ermöglichen es, künftige Injektoren nach diesem Funktionsprinzip noch besser auszulegen und die Verbrennungsergebnisse besser zu verstehen.

Die Forscher in Zürich und München experimentierten mit verschiedenen Einblasdrücken und -dauern sowie Verdichtungsverhältnissen. »Das Besondere an der Kammer ist, dass wir einen optischen Zugang haben, mit dem wir unter anderem die Gasausbreitung im Brennraum beobachten können«, sagt Professor Boulouchos. Dafür wandten die Forscher verschiedene Verfahren an. Mit dem Schlierenverfahren lässt sich erkennen, wie weit der Gasstrahl eindringt und wie sich das Gas im Brennraum verteilt. Dieses qualitative Verfahren beruht auf dem Dichtegradienten des Arbeitsmediums – das Gas hat eine andere Dichte als die Luft und die Ausbreitung des Gasstrahls wird so sichtbar.

Ein laserbasiertes Messverfahren brauchen die Experten, um die Konzentration des Methans innerhalb des Gasstrahls quantitativ zu erfassen. Angeregt vom Laser, fluoresziert das Methan und das Signal wird von einer Kamera mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung aufgenommen. Zusätzlich wurde mit dem Mie-Messverfahren, das Streulicht von Tröpfchen detektiert, untersucht, ob Methan kondensiert. An der Universität der Bundeswehr in München sind dazu vorab umfangreiche Simulationen durchgeführt worden. Hier zeigte sich, dass unter bestimmten Bedingungen wie niedrigem Druck und geringer Temperatur Methan zu Flüssigkeit kondensieren kann. »Aber würde das auch in einem Motor passieren?«, fragt Professor Boulouchos und ergänzt sogleich, dass bei Versuchen in der Konstantvolumenkammer unter realitätsnahen Bedingungen keine

→ Allein durch den Umstieg von flüssigem Kraftstoff auf Methan wird CO<sub>2</sub> eingespart.

– 25 %  
CO<sub>2</sub>-Emissionen

→ Wird zusätzlich das thermodynamische Potenzial des Diesels genutzt erreichen Gasmotoren deutlich höhere Wirkungsgrade.

bis zu 50 %  
Wirkungsgrad

## Projektdaten

→ »Gas-Diesel-Brennverfahren [1236]: Vertiefung des Verständnisses zu Eindringverhalten und Zündung von Hochdruck-Gasstrahlen in Gas-Diesel-Brennverfahren «

### → PROJEKTFÖRDERUNG

347.520 Euro // FV

### → PLANUNGSGRUPPE

PG 3 ›Selbstzündung‹

### → PROJEKTLEITUNG

Dr. Michael Willmann, Woodward L'Orange

### → FORSCHUNGSSTELLEN

Institut für Energietechnik (IET),  
Laboratorium für Aerothermochemie und  
Verbrennungssysteme (LAV), ETH Zürich  
// Institut für Thermodynamik, Universität  
der Bundeswehr München



Tröpfchenbildung mehr auftrat. »Damit war die Frage beantwortet: Für Motoranwendungen ist keine Kondensation zu erwarten«, so Boulouchos.

An der Universität der Bundeswehr in München simulierten die Experten den Ablauf in der Düse bis zum düsen-nahen Bereich im Brennraum. Dort treten Überschallströmungen auf, wenn das Gas mit bis zu 500 bar eingblasen wird und der Gegendruck im Zylinder nur 100 bar beträgt. Zusätzlich verhält sich das Methan unter diesen Bedingungen nicht als Idealsondern als Realgas, was neue Simulationsmodelle erfordert. Die ETH Zürich war einerseits für das Experiment und andererseits für die Modellierung der Zündung zuständig. Methan ist zündunwillig und benötigt eine zusätzliche Zündquelle. Die klassische Zündkerze eignet sich jedoch kaum, da bei den extrem hohen Gasgeschwindigkeiten der Funke nicht lange genug lebendig gehalten werden kann. »Die Fragestellung für ein künftiges Forschungsprojekt lautet also, wie man das Gas am besten zündet«, sagt Boulouchos. //