

Gesucht: katalytische Wirkung im Brennraum

Der Ausstoss von nicht verbranntem Methan wird bei Erdgasmotoren mit einem Katalysator vermindert. Empa-Forscher haben versucht, diese Katalyse bereits im Brennraum zu ermöglichen. Ein unvorhergesehener Speichereffekt in der aufgetragenen Beschichtung hat dies zunächst erschwert. Deshalb geht die Suche nach geeigneteren Materialien nun weiter.



An der Empa wurden die Kolben durch den im Vakuum ausgeführten Sputtering-Prozess mit Platin beschichtet.

Erdgas-Motoren für Personewagen schneiden im Vergleich zu Diesel- und Benzinantrieben bei den Emissionswerten am besten ab. So liegt der Ausstoss von CO₂ bei Erdgas gegenüber Benzin um gegen 25 % tiefer. Bei den für die Ozonbildung verantwortlichen Stickoxiden (NO_x) und den Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen erreichen Erdgasantriebe ebenfalls bessere Resultate. Diese Erkenntnisse hat die Empa in Dübendorf durch kontinuierliche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gewonnen und sich als Kompetenzzentrum für innovative Fahrzeugantriebe etabliert. Dazu gehören auch Katalysatoren, mit denen sich die Forschenden ebenfalls intensiv befassen.

Katalyse bereits im Brennraum beginnen

Christian Bach, Leiter der Abteilung Verbrennungsmotoren, erläutert die entsprechenden Forschungsarbeiten: «In Ergänzung zu unseren Motorenprojekten haben wir auch neuartige Katalysator-Konzepte entwickelt.

Beispielsweise konnten wir eine besondere Trägerstruktur realisieren, mit welcher die Durchströmung vereinheitlicht und damit die Querschnittsfläche besser ausgenutzt werden kann.» Bei diesen Arbeiten zur Verbesserung von Katalysatoren hat sich insbesondere für Erdgasmotoren, aber auch in geringerem Umfang für Benzinmotoren gezeigt, dass die Reduktion von Methan höchst anspruchsvoll ist. Dieser Kohlenwasserstoff, wesentlicher Bestandteil von Erdgas, ist ausserordentlich stabil, wird im Zylinderraum nicht vollständig verbrannt und bereitet dem Katalysator Mühe. Patrik Soltic, Empa-Forscher und Projektleiter, meint: «Bei Gasmotoren würde eine bereits im Brennraum ermöglichte Reduktion eine bedeutende Entlastung für den nachgeschalteten Katalysator bringen. Diese Idee haben wir zunächst intern diskutiert, bis wir im 2009 mit konkreten Berechnungen und Tests beginnen konnten. Das Projekt wurde dann auch vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützt.»

Vielfältige Motivation für die Forschung

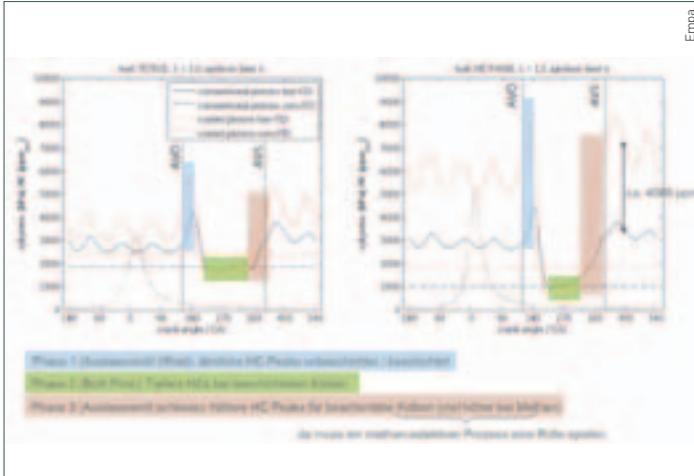
Zum einen werden die Methan-Emissionen in der EU immer stärker limitiert und somit der Druck auf die Autohersteller erhöht. Zum andern haben die Forschenden bei der Methan-Konversion im Katalysator beim stöchiometrischen Verhältnis von Lambda 1 einen Knick bei der Umwandlungseffizienz beobachtet, welche die Motivation für eine mögliche Katalyse im Brennraum unterstützt.

Der Grund für den Methan-Ausstoss eines Erdgas-Motors liegt vor allem in der unvollständigen Verbrennung im Brennraum. Als physikalisches Phänomen gilt die Tatsache, dass die Flamme in einer Distanz von 0,04 – 0,2 mm von einer Wand verlöscht. Gleiches gilt für Nischen im Brennraum wie sie bei den Ventilen und im Ringspaltbereich des Kolbens vorhanden sind. Da das Gemisch in diesen Löschzonen unverbrannt und damit vergleichsweise kalt ist, entstehen so relativ hohe Massen-Emissionen von unverbranntem Treibstoff. «Als grundsätzliche Idee haben wir eine katalytische Beschichtung der Kolbenfläche vorgesehen», sagt Patrik Soltic. «Da diese Kolbenfläche jedoch normalerweise nur eine Temperatur von 150 – 200 °C erreicht, was für die katalytische Wirkung zu tief ist, mussten wir eine Wärmeisolationsschicht anbringen und wählten dafür das für so genannte, Thermal Barrier Coatings' in Gasturbinen etablierte Material Zirkonoxid.» Damit erreicht man eine Oberflächentemperatur des aufgetragenen und als eigentlicher Katalysator wirkenden Platins von ca. 300 °C. Bei der Testvorbereitung wurden zunächst eine Vertiefung auf der Kolbenfläche

und eine darin liegende Binde-schicht auf dem Aluminium angebracht. Darauf konnte das für thermische Beschichtungen spezialisierte Unternehmen Nova Swiss AG in Effretikon das Zirkonoxid spritzen. Nach dem Abschleifen dieser Schicht auf 0,6 mm Dicke folgte an der Empa das im Vakuum durchgeführte Sputtering der Platin-Schicht mit nur ca. 20 Nanometer Dicke. Diese entspricht etwa 1 % der typischerweise auf dem Katalysator befindlichen Edelmetall-beladung.

Test erbringen zuerst das Gegenteil

Die Tests erfolgten auf einem der Motorenprüfstände an der Empa. Im Einsatz stand ein 4-Zylinder-Motor mit 2 Liter Hubraum. In den Auslasskanälen von Zylinder 1 und 3 wurden sehr schnell reagierende Sensoren für die Messung von Kohlewasserstoff-Emissionen angebracht, die eine exakte Bestimmung der Konzentrationen mit einer zeitlichen Auflösung im Millisekundenbereich ermöglichten. Untersucht wurde der Betrieb sowohl mit Benzin als auch mit Erdgas bzw. reinem Methan. Die gewählte Drehzahl lag bei 2500 Umdrehungen pro Minute. Das Treibstoff-Luft-Verhältnis war mit Lambda 0.9, 1.0 und 1.1 gewählt worden. Patrik Soltic: «Neben der katalytischen Wirkung interessierte natürlich auch die Beständigkeit der gewählten Beschichtung, denn ein partielles Abplatzen hätte fatale Schäden im Brennraum und im Auslassbereich hervorrufen können. Mit Genug-tuung konnten wir nach den gesamthaft 28 Stunden dauern-den Versuchen feststellen, dass die Beschichtungen keine Beschädigungen aufwiesen.»



Während beim Hauptteil des Ausstosses eine katalytische Wirkung nachgewiesen werden kann, ergeben sich vor dem Schliessen des Auslassventils deutlich erhöhte Werte für die Methan-Emissionen.

Die Resultate der Tests haben aber schliesslich zu erstaunlichen Erkenntnissen geführt. Der Wirkungsgrad konnte im Benzinbetrieb erhöht werden, nicht aber beim Methanbetrieb. Die Auswirkungen der Isolation bzw. Beschichtung auf die CO und NOx-Emissionen waren unbedeutend. Die Methan-Emissionen hingegen nahmen durch die Beschichtung leider zu statt ab, dies sowohl beim Benzin- als auch beim Methanbetrieb. «Eigentlich wollten wir ja das Gegenteil erreichen, eine Reduktion durch die katalytische Schicht auf den Kolben, doch messen mussten wir dann eine Erhöhung», äussert sich Patrik Soltic zu seiner Überraschung.

Beschichtung speichert Methan

Durch die präzise Analyse des gesamten Zykluses mit Ein- und Auslassprozess sowie der eigentlichen Verbrennung wurde beim Betrieb der beschichteten Kolben ersichtlich, dass der Hauptteil des Abgasausflusses zwar tiefere Methan-Werte aufwies, vor dem Schliessen des Auslassventils jedoch ein Maximum erreicht wird. Die poröse Zirkonoxidschicht hat offenbar während des Druckanstiegs im Brennraum Methan adsorbiert und somit als Zwischenspeicher gewirkt. Beim Ausstossen und der damit verbundenen Druckreduktion im Brennraum wurde das gespeicherte Methan wieder desorbiert und konnte auf diese Weise als neuer Spitzenwert im Auslass erfasst

werden. Diese Tatsache wurde an der Empa auch durch eine nachträgliche Adsorptionsmessung des verwendeten Schichtmaterials bestätigt. Die beobachtete Wirkungsgraderhöhung im Benzinbetrieb ist allerdings ein erfreuliches Indiz dafür, dass die Flamme tatsächlich bis näher an den Kolben gebrannt haben muss und dadurch mehr Gemisch umgesetzt werden konnte. Die Beschichtung widersteht zwar der mechanischen und thermischen Belastung im Motorenbetrieb und hat keinen wesentlichen Einfluss auf die verschiedenen Parameter, bietet aber in dieser Form auch keine zusätzliche katalytische Wirkung. Patrik Soltic: «Die internationale Literatur weist bei Zirkonoxid auf eine gewisse katalytische Wirkung im motorischen Einsatz hin, erwähnt aber die Adsorption von Methan in der porösen Oberfläche nicht. Deshalb gehen wir heute davon aus, dass wir eine alternative Isolationsschicht mit geschlossener Oberfläche suchen müssen, auf welcher das Platin aufgebracht werden kann. So könnten wir das Eindringen und die damit erzeugte Zwischenspeicherung unterbinden.»

Weitere Perspektiven sind vorhanden

Weil Platin als bewährtes Katalysator-Element gilt, werden die Empa-Forscher auch weiterhin dieses einsetzen. Mit der nun im Gang befindlichen Suche nach Alternativen für die Wärme-

isolationsschicht liegt der Fokus auf einer gasdichten Oberfläche. Ob dies beispielsweise keramische Materialien sein könnten, bei welchen möglicherweise Ausdehnungseffekte beherrscht werden müssten, ist offen. Christian Bach ergänzt: «Wohl haben wir mit der gewählten Beschichtung unser angestrebtes Ziel für den konventionellen Erdgas-Motor im ersten Schritt noch nicht erreicht. Jedoch wurden die hier gewonnenen Erkenntnisse für den Einsatz in künftigen Brennverfahren, beispielsweise der homogenen Selbstzündung (HCCI), wie sie vielerorts studiert wird, bereits sehr positiv aufgenommen.» Im Weiteren ist davon auszugehen, dass auch für stationäre Motoren, wie sie bei der Wärme-Kraft-Kopplung (Blockheizkraftwerke) genutzt werden, in Zukunft höhere Anforderungen an die Emissionsreduktion, also auch für tiefere Methan-Werte, gestellt werden. Dann sind Ideen wie die Katalyse im Brennraum wertvoll. Mit den bei stationärem Einsatz veränderten technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen ergeben sich auch unterschiedliche Voraussetzungen für die Forschung und Entwicklung. Und mit den gemachten Erfahrungen sowie mit konstruktiven Vorschlägen für alternative Materialien werden die Empa-Forscher bald auch Kontakt mit Kolbenherstellern aufnehmen. 

Jürg Wellstein

Unsere Lehrgänge

Automation, Energie und Umwelt
Informatik, Logistik, Management
Prozesse, Technik

Dietikon, Emmenbrücke, Olten, Lachen,
Sargans, Winterthur, Zollikofen

www.sfb.ch
Tel. 0848 80 00 84



Höhere Fachschule

sfb

Bildungszentrum für
Technologie und Management