

Research Info

<http://researchinfo.bosch.com>

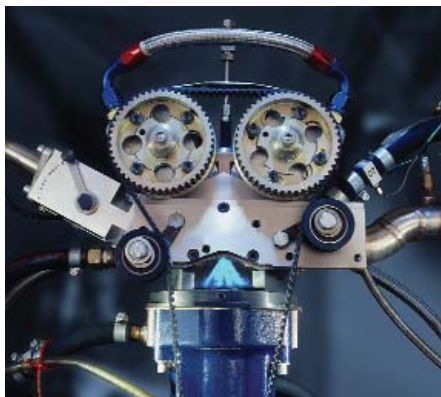
Neues aus Forschung und Entwicklung | Ausgabe 02 | 2005



BOSCH
Technik fürs Leben

Ideale Verbrennung, minimale Emission

Das Kürzel heißt HCCI und soll einmal die Autobranche revolutionieren. Mit der „Homogeneous Charge Compression Ignition“ genannten Technik wollen Bosch-Forscher die Vorteile von Otto- und Dieselmotor in einem System vereinen: geringe Emissionen und geringen Verbrauch.



Die Verteilung des Kraftstoffs im Brennraum verfolgen die Forscher im Transparentmotor.

Verbrauch und Emissionen des Motors werden unmittelbar durch die Verbrennung beeinflusst: Ein Kraftstoff, der nicht vollständig verbrennt, wird offensichtlich nicht ideal genutzt. Unverbrannte Kohlenwasserstoff-Reste bleiben als Schadstoffe übrig. Bei der Direkteinspritzung von Benzin oder Diesel wird der Kraftstoff möglichst fein zerstäubt, um gut zu verbrennen. Das ist der eine Teil der Geschichte, der andere: Die Art der Verbrennung bestimmt die Schadstoffe. Brennt der Einspritzstrahl wie eine Fackel ab, entstehen in den heißen Randbereichen Stickoxide, in kälteren Zonen Ruß. Dieser inhomogene Ablauf stört. Die Forscher bei Bosch

suchen also nach Verfahren, um die Verbrennung möglichst homogen, also gleichmäßig ablaufen zu lassen.

Dies könnte dann so geschehen: Das Einspritzsystem spritzt eine Dosis Benzin oder Diesel in den Zylinder, in einem kurzen Moment des Innehaltens vermischen sich Kraftstoff und Luft im gesamten Brennraum möglichst gleichmäßig, der Kolben komprimiert das Gemisch, Temperatur und Druck steigen bis es sich quasi gleichmäßig entzündet. Keine Flammenfront, keine Stickoxide, kein Ruß.

So die Theorie, die sich an der rauen Realität messen lassen muss. Schließlich ist das Gesamtsystem Einspritzung, Motor und dessen Steuerung äußerst komplex. Daher müssen die Bosch-Forscher auch an allen Stellgrößen drehen, um ein optimales Verbrauchs- und Emissionsresultat zu erzielen. In Experiment und Simulation suchen sie nach guten Brennraumgeometrien, die das Homogenisieren und das Verbrennen unterstützen. Sie fragen nach dem optimalen Zündzeitpunkt innerhalb eines Zylinderzyklus. Auch das Luftmanagement, also Dosierung und Mischung von kalter Frischluft und heißer Abgasluft, kann positive Wirkung auf Verbrennungsgeschwindigkeit und Schadstoffreduktion haben.

Dadurch, so hoffen die Forscher, können auch zukünftige gesetzliche Verschärfungen der Emissionswerte ohne teure Abgasnachbehandlung wie etwa ein Katalysator für Stickoxide erreicht werden. Denn je aufwändiger die Nachbehandlung der Rohemissionen des Motors, desto größer die Gefahr, dass damit auch der Kraftstoffverbrauch ansteigt.

Editorial

Neue Brennverfahren



Dr. Martin Knopf
Abteilungsleiter
Motorsteuersysteme
Zentralbereich
Forschung und
Vorausentwicklung

Das Bestreben, Abgasgrenzwerte und CO₂-Emissionen von Fahrzeugen weiter zu senken, ist Konsens, mündet aber in einen Zielkonflikt: Sinkt das eine, steigt unweigerlich das andere an. Mit der absehbaren Verschärfung im Jahr 2010 (Euro 5) ist dieser Zielkonflikt aber nicht mehr ohne weiteres mit einer Zunahme der Dieselflotte zu lösen. Gerade eine aufwändige Abgasnachbehandlung kann zu höheren CO₂-Emissionen und Verbräuchen führen.

Es gilt, die mit dem dieselmotorischen Brennverfahren erreichten CO₂-Werte auch bei Euro 5 zu halten und alle innermotorischen Maßnahmen zur Entschärfung des Zielkonflikts auszureizen, da sie eine Kosten treibende Abgasnachbehandlung reduzieren.

So bietet die kontrollierte Selbstzündung (HCCI) für den Ottomotor eine Wirkungsgradsteigerung und damit geringere CO₂-Emissionen und Verbräuche. Der Diesel profitiert indes von den geringeren Rohemissionen. Das neue Brennverfahren macht es möglich, im Teillast-Betrieb des Motors zukünftige Stickoxid-Grenzwerte ohne aufwändige Abgasnachbehandlung einzuhalten.



Kraftstoffe

Potenzial: Qualität und Zusammensetzung des Kraftstoffs beeinflussen die Emissionen. Ein optimaler Mix verringert die Schadstoff-Emissionen.

Herausforderung: Neue Kraftstoffe müssen hinsichtlich ihrer Materialverträglichkeit bewertet werden. Das Brennverfahren muss auf die physikalischen Eigenschaften wie etwa die Siedekurve abgestimmt werden.

Einspritzung

Potenzial: Je präziser die Ansteuerung des Injektors und je feiner die Zerstäubung durch die Einspritzdüse, desto besser die Gemischaufbereitung. Kraftstoffe brennen dann mit weniger Emissionen ab.

Herausforderung: Höhere Drücke bedeuten feinere und bessere Zerstäubung. Auch das Material muss da mithalten (zukünftig 2300 bar bei Dieseldirekteinspritzung, 200 bar bei Benzindirekteinspritzung).

Luftmanagement

Potenzial: Durch eine flexible Ventilsteuerung kann die Luftzufuhr aktiv geregelt werden. Mit der richtigen Menge Frischluft oder über Abgasrückführung werden die thermodynamischen Abläufe im Brennraum optimal eingestellt, z.B. in Richtung geringer Stickoxid-Emission.

Herausforderung: Die optimale Zumessung von Luft und Restgas wird über die Kenntnis von vereinfachten kalorischen Modellen geregelt.

So bekommt der Motor seine Emissionen geregelt

Aktuelle Motoren arbeiten mit Flammenfronten: Entzündet sich das Kraftstoff-Luft-Gemisch im Benziner oder Diesel, so wälzt sich eine Flammenfront durch den Brennraum. Die unschöne Folge: Die ungleichmäßige Verbrennung produziert viel Abgas, das gereinigt werden muss. Nun wollen Bosch-Forscher mit dem neuen HCCI-Verfahren dieses „Abfackeln“ zumindest im Teillastbereich abschaffen.

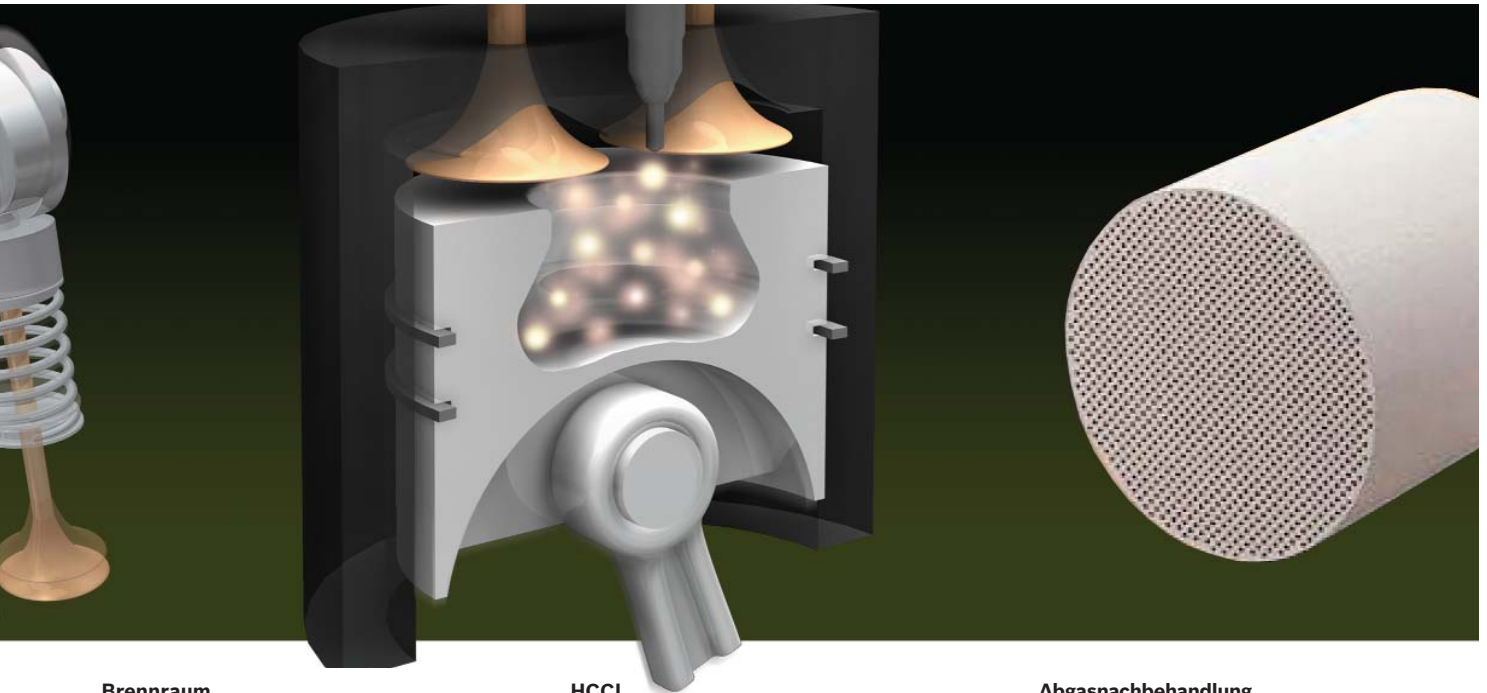
Der gesamte Verbrennungsprozess soll möglichst gleichförmig im Zylinderraum ablaufen. In den Motoren der Zukunft läuft dann die Kraftstoffverbrennung ohne sichtbare Flamme ab. Die Verbrennung findet an jedem Ort innerhalb des Brennraums gleichzeitig statt. Resultat: geringere Emissionen an Ruß und Stickoxiden. Im Prinzip ließe sich dies mit der bläulichen Flamme eines Gasofens vergleichen, die emissionsärmer brennt als ein rußender Kerzen-doht. Diesem Idealzustand wollen sich die Bosch-Forscher aus zwei Richtun-

gen nähern: von Diesel- und Benzin-Seite.

Für beide Motorkonzepte gilt es das Gesamtsystem zu optimieren. Bislang werden die Betriebszustände von Otto- oder Dieselmotor in einer Vielzahl von Kennlinienfeldern festgehalten. Drückt der Fahrer aufs Gas, so schaut die Gerätesoftware in diesen Diagrammen und Tabellen nach und stellt Zündung, Luftmenge und Einspritzung auf den geforderten Betriebspunkt des Motors ein.

Das HCCI-Verfahren geht einen Schritt weiter: Der Motor regelt sich

und seine Emissionen über einen Brennraum-Drucksensor selbst. Das homogene Abbrennen des Sprits kann nämlich nicht einfach eingestellt werden, weil sich jede HCCI-Verbrennung von der nächstfolgenden statistisch unterscheidet. Mit einem Sensor im Brennraum, der beispielsweise auf Glühstift und Zündkerze aufgebracht ist, werden die Betriebszustände im Brennraum erfasst. Als geeignetes Maß hat sich der Verbrennungsdruckverlauf erwiesen. Über den gemessenen Innendruck im Brennraum wird das Luftmanagement gesteuert: Die richtige Mischung von Frischluft und zurückgeführtem Abgas ist entscheidend. Das kann mit einer externen Abgasrückführung beziehungsweise in Kombination mit einer internen Abgasrückführung durch variable Ventilsteuerung erreicht werden. Dies setzt einerseits die Verbrennungstemperatur herunter – Stickoxide werden vermieden. Andererseits sind hohe Kompressionsendtem-



Brennraum

Potenzial: Die Geometrie des Brennraums muss garantieren, dass sich Luft und verdampfter Kraftstoff je nach Verbrennungsstrategie gut miteinander mischen.

Herausforderung: Eine einzige Geometrie für beliebig viele Betriebszustände (von Teillast bis Volllast), da muss ein guter Kompromiss gefunden werden.

peraturen für einen günstigeren Verbrauch nötig. Über den Sensor wird ein optimaler Kompromiss für die jeweilige Fahrsituation eingeregelt.

Zusätzlich zum Drucksignal können zum Gesamttiming eines Zylindertakts auch Temperatur- oder Klopfensensoren beitragen. Insbesondere die Ottomotor-Variante darf nicht in Richtung unkontrolliertem Klopfen abdriften, das den Motor schädigen könnte.

Prinzipiell funktioniert das HCCI-Verfahren nur bei moderaten Drehzahlen im Teillastbereich. Dies liegt an den Homogenisierungszeiträumen, die sich zwischen 50 und 120 Millisekunden pro Takt bewegen. Mit hochlaufenden Drehzahlen wird das Zeitfenster kleiner bis keine Homogenisierung mehr möglich ist. Da sich der meiste Verkehr im sogenannten NEFZ-Zyklus zur Emissionsbewertung bewegt, ist es das Ziel, mit homogenen Brennverfahren gerade diesen Bereich vollständig abzudecken. Fährt der Fahrer, etwa beim harten

HCCI

Potenzial: Die „Homogeneous Charge Compression Ignition“ bringt beim Diesel geringere Emissionen, beim Benziner geringeren Verbrauch – beide Motorkonzepte wachsen zusammen.

Herausforderung: Der HCCI-Betrieb des Motors ist nur in Teilen des Kennfeldes möglich. Dieser Teilbereich soll durch alle technischen Tricks möglichst weit ausgedehnt werden.

Beschleunigen im kleinen Gang, aus der Ideallinie heraus, so springt der HCCI-Motor in den Betriebsmodus eines heutigen Verbrennungsmotors zurück. Zukünftige Motordesigns müssen also beide Betriebszustände erlauben: HCCI bei kleinen und mittleren Lastansprüchen, konventionelle Verbrennung bei Volllast.

Die Forscher bei Bosch arbeiten daran, einen möglichst weiten Lastbereich mit dem HCCI-Verfahren abzudecken. Die Konzeptentwicklung ist noch nicht abgeschlossen. Sie umfasst die Ladungszusammensetzung und Landungsbewegung, Einspritztiming und Aufladestrategie, Brennraumform und aktive Verbrennungsregelung. Erste Prototypen sind schon in der Erprobung. Bis zur Markteinführung sind noch viele technische Hürden zu überwinden. Außerdem muss sich das HCCI-Verfahren beim Ottomotor an künftigen Systemen wie zum Beispiel der elektrohydraulischen Ventilsteuerung (EHVS) messen.

Abgasnachbehandlung

Potenzial: Partikelfilter und Katalysatoren reduzieren Schadstoffe. Optimal eingestellt, kann die Auspuffluft sauberer sein als die angesaugte Stadtluft.

Herausforderung: Jede Abgasnachbehandlung beeinflusst das gesamte Motormanagement, beispielsweise durch erforderliche Dosierstrategien, die die Regeneration der Nachbehandlungssysteme optimal einstellen.

Die große Zahl sich gegenseitig beeinflussender Parameter ist für die Ingenieure eine Herausforderung, gleichzeitig bringt die Vielzahl der Stellgrößen aber die entscheidende Flexibilität für eine optimale Lösung. Denn durch eine geeignete Abstimmung von Kraftstoffen, Einspritzsystem, Luftmanagement und Abgasnachbehandlung sollten sich immer ausreichend stabile Betriebszustände einstellen lassen, die aktuelle gesetzliche oder selbst gesteckte Emissions- und Verbrauchsziele erreichen lassen.

Anspruch von Bosch ist es, durch innermotorische Maßnahmen die Rohemissionen des Motors schon soweit zu senken, dass beispielsweise weitere Reinigungsschritte möglichst wirtschaftlich ausfallen.

Da Partikelfilter beim Diesel künftig zum Standard gezählt werden, kann etwa das Brennverfahren auf eine geringst mögliche Stickoxid-Emission eingestellt werden.

Synthetische Kraftstoffe im Tank

Mit synthetischen Dieselkraftstoffen lassen sich die Ruß- und Kohlenwasserstoffemissionen von Autos um rund 40 Prozent reduzieren. Kohlenmonoxid sinkt um 90 Prozent. Wie Bosch-Forscher bei Tests herausfanden, bleiben alle anderen Emissionswerte hingegen nahezu unverändert.

Betriebsstoffanalytik: abgestimmte Kraftstoffe für moderne Motoren und Einspritzsysteme.



Die Forscher betanken dazu ein Standard-Dieselauto mit einem synthetischen Kraftstoff, der als GTL bezeichnet wird. GTL ist das Kürzel für Gas-to-Liquid und bedeutet, dass Erdgas über eine chemische Synthese zu einem Dieselkraftstoff aufbereitet wird. Schwefel und aromatische Kohlenwasserstoffe sind gar nicht erst enthalten. Analog zum Ausgangsstoff Erdgas kann auch Biomasse (Biomass-to-Liquid, BTL) oder Kohle (Coal-to-Liquid, CTL) in synthetischen Diesel verwandelt werden. Der Ausgangsstoff wird in Synthesegas, ein Gemisch aus H_2 und CO , überführt und über die so genannte Fischer-Tropsch-Synthese zum Kraftstoff umgewandelt. Letztlich soll man dem Kraftstoff nicht mehr anmerken, ob er aus Erdgas, Biomasse oder Kohle stammt.

Im GTL-Fahrtst zeigte sich auch, dass die so genannte Ruß/Stickoxid-Abhängigkeit günstiger ist als bei Standard-Diesel; wird nämlich die Rußemission durch die Motorsteuerung reduziert, steigt die NO_x -Emission, und umgekehrt. Ein Dilemma. Der maximale Vorteil lässt sich erreichen, wenn GTL in Kombination mit einem Rußpartikelfilter eingesetzt wird.

Langzeitverhalten

Das Augenmerk der Forscher liegt darauf, inwieweit bestehende Motorkonzepte, ob Otto- oder Dieselmotor, mit alternativen Kraftstoffen zurecht kommen, wie die Emissionen aussehen und ob Langzeiteffekte wie Verschleiß auftreten. Dabei haben sie alle Optionen im Blick, vom Bioethanol für den Ottomotor, dem

Biodiesel für den Selbstzünder bis hin zum BTL. Denn Biokraftstoffe sind im Kommen. Nicht nur wegen der Endlichkeit fossilen Öls sind sie ein Gebot der Stunde, auch der europäische Gesetzgeber favorisiert sie. Richtlinie ist, dass die biogenen Kraftstoffe bis 2010 rund sechs Prozent am Gesamtkraftstoffverbrauch ausmachen sollen. Tendenz: weiter steigend. Die Forscher analysieren genau, welche Auswirkungen die neuen Kraftstoffe auf Material, Funktion und Lebensdauer der Bauteile haben. Biodiesel aus Raps zeigt beispielsweise Alterungseffekte, eignet sich also besser für ständig bewegte Flottenfahrzeuge als für den Zweitwagen, der auch mal für längere Zeit in der Garage steht.

Ablagerungen

Abhängig von ihrer Zusammensetzung können Kraftstoffe innerhalb der Komponenten Beläge bilden. Wo und wie kritisch diese sind, wird detailliert geprüft. Die synthetischen Kraftstoffe müssen in Zukunft auf ihre thermischen und energetischen Eigenschaften genauer untersucht werden, da diese in den komplexen Einspritzsystemen eine große Rolle spielen.

Auch moderne Brennverfahren können von den synthetischen Kraftstoffen profitieren. Dabei sind ein langer Zündverzug bei gleichzeitig hoher Durchbrenngeschwindigkeit wünschenswert. Auf diese Weise könnte etwa das HCCI-Verfahren, das nur in einem eingeschränkten Teillastbereich gefahren wird, auf weitere Betriebszustände ausgedehnt werden.

In Kürze

Preiswürdiger Direktstart

Ausschalten und Anlassen des Motors vor Ampeln oder im Stau könnte in Zukunft ohne Anlasser noch komfortabler werden. Durch eine geschickte Abstimmung von Motorsteuerung, Einspritzung und Zündung hat Bosch-Forscher André Kulzer gezeigt, dass ein Direktstart bei der Benzindirekteinspritzung ganz ohne Anlasser möglich ist. Wird keine Leistung abgefragt, schaltet sich der Motor aus. Binnen Bruchteilen von Sekunden ist er reaktiviert. Vier Prozent Kraftstoff könnte dies bei üblichen Fahrten einsparen, freut sich das Magazin „Technology Review“ (4/2005). Für seine Arbeit erhielt Kulzer im Juli den Forschungspreis 2004 des Stuttgarter Forums Auto und Umwelt.

Termin

31. Januar bis 2. Februar 2006

Auf der Veranstaltung „Abgastech-nik“ des Car Training Instituts in Neckarsulm referiert Dr. Frank Weberbauer über das „Homogene Diesel-Brennverfahren – Thermodynamische Potentialanalyse“.

Herausgeber

Robert Bosch GmbH, Stuttgart

Verantwortlich für den Inhalt

Dr. Klaus Dieterich
Leiter des Zentralbereichs
Forschung und Voraentwicklung

Redaktionelle Bearbeitung, Gestaltung

Konradin Relations GmbH
Leinfelden-Echterdingen

Inhaltliche Anfragen zu dieser Ausgabe

Robert Bosch GmbH
Dr. Martin Knopf
CR/AEE
Postfach 30 02 40
70442 Stuttgart
Telefon: 0711 811-1513
Telefax: 0711 811-1600

Andere Anfragen

Bosch-Research-Info@de.bosch.com