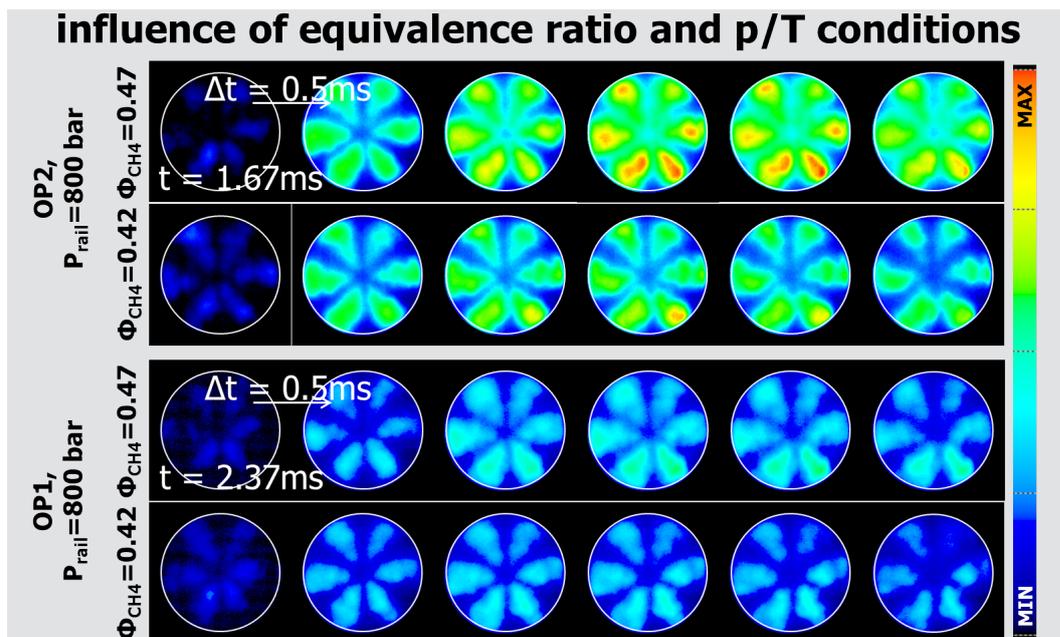


Forschungsreport Verbrennung

Wirkungsgrad erhöhen, Gasmotoren optimieren, Biotreibstoffe erproben – das sind drei wichtige Trends in der aktuellen Schweizer Verbrennungsforschung. Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen orientieren sich in ihrer Arbeit neben den internationalen Standards massgeblich an den Langfristzielen der Energiestrategie 2050 des Bundesrats. Die Industrie leistet einen wichtigen Beitrag zu den teilweise auch grenzüberschreitenden Forschungsaktivitäten.



Messergebnisse aus der Doktorarbeit von Stéfanie Schlatter, Verbrennungsforscherin an der ETH Zürich, zum Thema Piloteinspritzung. Abbildung: Schlatter/LAV

Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)

Die Erforschung von Verbrennungsmotoren hat in der Schweiz einen angestammten Platz. Dies nicht nur an den akademischen Forschungsinstituten, sondern auch in der Industrieforschung. Etwa beim Baumaschinenhersteller Liebherr Machines, der im fribourgeoischen Bulle seit den 1980er Jahren Dieselmotoren bis ca. 1000 kW Leistung für die Bagger und Kräne aus eigener Produktion herstellt. In der F&E-Abteilung in Bulle werden nach Auskunft von Stephan Haas die

Motoren heute für neue Anforderungen ausgelegt mit dem Ziel, auch externe Abnehmer beliefern zu können. Zudem weitet Liebherr Machines das Sortiment auf Gasmotoren aus, denen im Zuge der Neuausrichtung der Energiepolitik in der Schweiz und international sowie der zunehmenden Verfügbarkeit von Erdgas (Stichwort: Schiefergas) eine wachsende Bedeutung vorausgesagt wird.

Zu diesem Trend gesellt sich eine zweite Entwicklung. Von ihr berichtet Peter Krähenbühl, Leiter Technologie Entwicklung bei der FTP Motorenforschung AG, dem Entwicklungs-

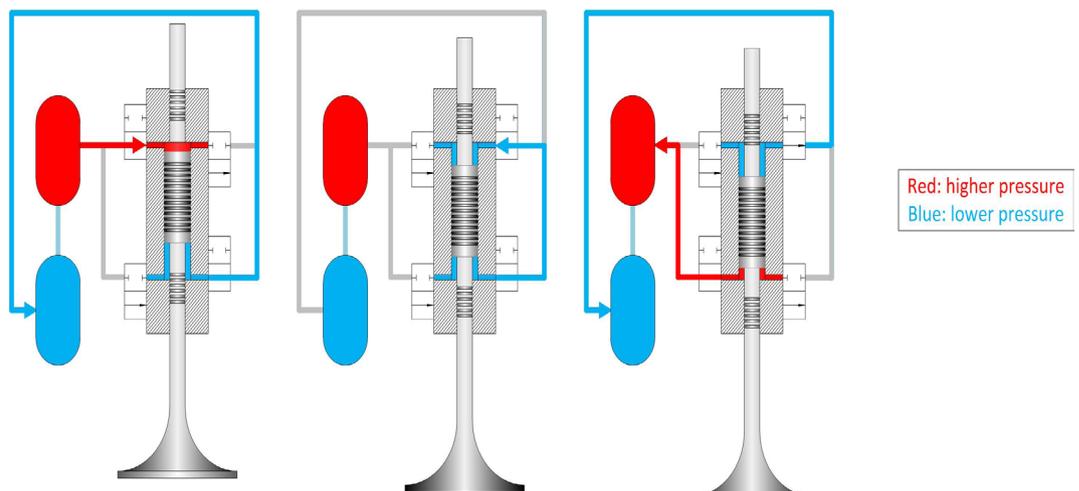
zentrum von Industriedieselmotoren in Arbon (TG). Mit der EU-Schadstoffnorm Euro VI seien die Emissionen heute auf einem so tiefen Niveau angelangt, dass regulatorische Vorgaben nicht mehr länger als Technologietreiber wirksam seien. Krähenbühl spricht von einem „Paradigmenwechsel“. Der Fokus der Industrieforschung habe sich unterdessen auf die Erhöhung des Wirkungsgrads verschoben. So wird heute daran gearbeitet, den Wirkungsgrad von Lkw-Motoren – aktuell bei 44,4 % – bis im Jahr 2020 auf rund 50 % anzuheben. Dafür müssen der Verbrennungsvorgang optimiert, Reibungs- und Wärmeverluste vermindert sowie die Abgaswärme genutzt werden.

Im Dienst energiepolitischer Zielsetzungen

Neben Liebherr und FTP waren mit Alstom und Wärtsilä Schweiz zwei weitere prominente Industrieunternehmen an der Tagung 'Verbrennungsforschung in der Schweiz' vertreten, die im November 2013 an der ETH Zürich stattfand. Die vom Bundesamt für Energie (BFE), dem ETH-Labor für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme (LAV) sowie vom Labor für Verbrennungsforschung des Paul Scherrer Instituts (PSI) organisierte Ta-

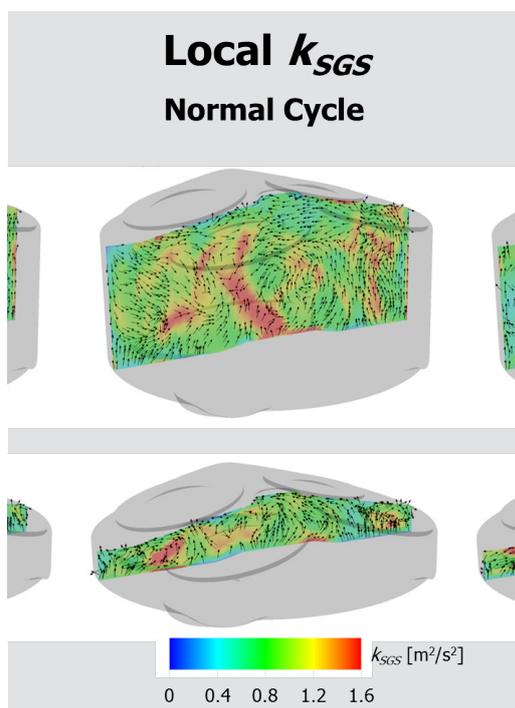
gung griff aktuelle Entwicklungstrends in der Schweizer Verbrennungsforschung auf. Auch diese Forschung orientiert sich heute massgeblich an energiepolitischen Zielen, wie Rolf Schmitz, Leiter der Sektion Energieforschung im BFE, in Zürich ausführte. Gemäss diesen Zielen könnten in den Energiesystemen der Zukunft vermehrt Gasmotoren zum Einsatz kommen, und angestrebt ist eine weitere Erhöhung des Wirkungsgrads. Ein zentrales Anliegen des Energieforschungskonzepts des Bundes 2013 – 2016 ist ein reduzierter Treibstoffverbrauch durch effiziente Mobilität und fortschrittliche Antriebstechnik. Darüber hinaus ist die Substitution fossiler Treibstoffe ein weiterer wichtiger Punkt, wobei die Voraussetzung erfüllt sein muss, dass nachhaltige biogene Treibstoffe oder Treibstoffe aus erneuerbaren Energien wirtschaftlich verfügbar sind.

Am Beispiel von Ethanol untersucht LAV-Doktorand Karel Steurs das Klopfverhalten Ethanol-betriebener Motoren. Ethanol kommt schon heute mehr und mehr bei Otto-Motoren zum Einsatz. Bei einer Oktanzahl von 107 – 108 lässt sich der Treibstoff hoch verdichten. Das schafft die Voraussetzung für einen hohen Wirkungsgrad. Einen anderen



Empa-Forscher arbeiten zur Zeit an einem hydraulischen Ventiltrieb mit der Bezeichnung EVA. Die Illustration veranschaulicht das Funktionsprinzip: Rot ist ein hohes Druckniveau, blau ein tiefes. Das Ventil wird mit dem hohen Druck beschleunigt (links), es lässt sich eine ballistische Phase einschalten (Mitte), und das Ventil wird mit dem hohen Druck wieder abgebremst (rechts). Durch diese Schaltung lässt sich die kinetische Energie des Ventils beim Abbremsvorgang rekuperieren. Illustration: Empa

Ansatz zur Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren verfolgt Patrik Soltic. Er hat mit seinen Forscherkollegen von der Empa einen neuartigen Mechanismus entwickelt, der die Ein- und Auslassventile nicht mehr mechanisch über die Nockenwelle steuert, sondern hydraulisch. Ziel ist, die Zufuhr des Brennstoffgemischs in den Brennraum und das Ausströmen der Abgase aus dem Brennraum von Zyklus zu Zyklus flexibel regeln zu können. Die Idee ist nicht neu. Für solche hy-



ETH-Forscher untersuchen mit den Simulationswerkzeugen LES und DNS die minimalen Schwankungen zwischen den einzelnen Verbrennungszyklen, beispielsweise im Strömungsverhalten. Illustration: Koch/LAV

draulischen Systeme wurden schon mehrere Hundert Patente angemeldet. Das System der Empa arbeitet laut Soltic nun aber erstmals so energiearm, dass ein marktfähiges System in Sicht ist. Mit Blick auf eine spätere Kommerzialisierung durch einen Industriepartner baut die Empa zur Zeit ein Funktionsmuster, mit dem die Forscher auch die noch bestehenden Probleme wie der Dichtigkeit der Ventile in den Griff bekommen wollen.

Grundlagenforschung rund um Gasturbinen und -motoren

Grosses Forscherinteresse ziehen aktuell alle Themen rund um die Weiterentwicklung der Gasturbinen und Gasmotoren auf sich. Gasturbinen könnten in Zukunft in Gaskombikraftwerken und Gasmotoren in Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen einen Beitrag zur Schweizer Energieversorgung leisten. „Gasturbinen werden als das flexible Element in der Energieproduktion gesehen“, sagt Dr. Salvatore Daniele, Forscher an der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) in Windisch. Sie sollen mit unterschiedlichen Brennstoffen betrieben werden können (Fuel-Flex), aber auch flexibel in Teillast betrieben werden können (Load-Flex). Mit diesem Ziel erforscht Daniele am COBRA-Prüfstand an der FHNW die 'gestufte Verbrennung' in einer Gasturbine mit zwei Brennkammern. „Unser System erreicht das Load-Flex-Ziel, aber auch die Emissionsziele. Nun arbeiten wir an Fuel-Flex, an der Verbesserung der zweiten Brennkammer und der Modellierung mit CFD (computational fluid dynamics)“, zieht Daniele Zwischenbilanz. Yu-Chun Lin untersucht am PSI, mit welcher Geschwindigkeit die Flamme beim Verbrennungsprozess den Brennstoff umsetzt, und dies speziell für wasserstoffhaltige Brenngasgemische, aber auch für Biogas/Erdgas und Methan. Auch hier handelt es sich um Grundlagenwissen, das künftig unter anderem helfen könnte, Brenner so auslegen, dass bei den unterschiedlichen Brennstoffen kein Flammenrückschlag erfolgt. „Das sind wichtige Forschungsansätze, denn mit der Klimathematik treten Brenngase mit Anteilen von Wasserstoff, bei deren Verbrennung weniger CO_2 entsteht, immer stärker in den Fokus“, sagt Peter Jansohn, Leiter der Verbrennungsforschung am PSI.

Rund um die Gasmotoren betreiben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler heute eine breite Palette von Grundlagenforschung, zum Zündvorgang und zum Verbrennungsprozess im Brennraum, dem Herzstück des Verbrennungsmotors, aber auch zur Variabilität zwischen den einzelnen Verbrennungs-

zyklen. LAV-Doktorandin Stéfanie Schlatter untersucht die Piloteinspritzung, bei der das Gasgemisch nicht von einer Zündkerze gezündet, sondern ein Dieselstrahl in die Brennkammer eingespritzt wird, der das Gas-Luft-Gemisch durch Selbstzündung (analog zum Dieselmotor) zur Reaktion bringt. Diese Technologie – früher sprach man von Zündstrahlmotoren – könnte einen Weg ebnen, Gasmotoren künftig mit verschiedenen Brennstoffen bzw. Brennstoffen verschiedener Qualität betreiben zu können. Jann Koch und Martin Schmitt – wie Schlatter Doktoranden am LAV – setzen die Simulationswerkzeuge LES (Large Eddy Simulation) und DNS (Direct Numerical Simulation) ein, um die minimalen Schwankungen zwischen den einzelnen Verbrennungszyklen (etwa im Strömungsverhalten) beschreiben zu können. Dies könnte der-einst helfen, die Schwankungen zu verringern und damit kloppfreien und emissionsarmen Gasmotoren der nächsten Generation den Weg zu ebnen.

Forschen über Grenzen hinweg

Eine vielfältige Verbrennungsforschung ist in einer Zeit, in der fossile Brennstoffe am politischen Pranger stehen, nicht mehr selbstverständlich. Dietmar Goericke, Geschäftsführer der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) in Frankfurt, einem Netzwerk der Motoren- und Turbinenforschung, brachte das Dilemma an der Zürcher Verbrennungstagung auf den Punkt: „Glückliche Schweiz, hier gibt es noch Verbrennungsforschung – bei uns gibt es nur noch Elektromotoren“, sagte Goericke mit Blick auf Deutschland mit einem Schuss Sarkasmus. Ganz so perspektivenlos ist die Situation für die Forschung aber auch in Deutschland nicht. Immerhin stehen dem Netzwerk 15 Mio. EUR Fördergelder pro Jahr zur Verfü-

gung. 250 Wissenschaftler arbeiten zur Zeit an 122 Forschungsprojekten. Von der Förderung der FVV profitiert seit längerem auch die Schweiz: In den letzten 15 Jahren führte die Vereinigung 14 Projekte mit einem Volumen von 3,4 Mio. EUR in der Schweiz durch, vorwiegend mit der ETH Zürich.

Auch bei der FVV bilden die Kraftstoffe der Zukunft ein zentrales Thema. Mit einer Meta-studie klärt die Vereinigung den F+E-Bedarf in diesem Bereich ab. Themen sind dabei laut Goericke Methanschlepp und Effizienzpotenzial von komprimiertem Erdgas (Compressed Natural Gas, CNG), Optionen, Potenzial, Grenzen der Beimischung von Dimethylether (DME) als Dieseladditiv, oder die Reinwasserstoffnutzung in Gasturbinen und Gasmotoren. Prof. Konstantinos Boulouchos, Leiter des LAV an der ETH Zürich, lobt die deutsche Förderinitiative in zweierlei Hinsicht: Sie enthalte die Möglichkeit, Projekte bzw. Ergebnisse einer Reihe von Industriepartnern vorzustellen. Zudem sei sie ein wirksames Instrument zur Förderung des Forschernachwuchses.

- » Weitere Informationen zur Tagung 'Verbrennungsforschung in der Schweiz' vom 6. November 2013: <http://www.lav.ethz.ch/news/Konferenzmappe.pdf>
- » Auskünfte zur Schweizer Verbrennungsforschung erteilt Stephan Renz, Leiter des BFE-Forschungsprogramms 'Verbrennung': [renz.btr\[at\]swissonline.ch](mailto:renz.btr[at]swissonline.ch)
- » Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Verbrennung finden Sie unter folgendem Link: www.bfe.admin.ch/CT/verbrennung

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH- 3063 Ittigen, Postadresse: CH-3003 Bern
Telefon +41 (0)31 322 56 11, Fax +41 (0)31 323 25 00
[cleantech\[at\]bfe.admin.ch](mailto:cleantech[at]bfe.admin.ch), www.bfe.admin.ch