

TEC INFO

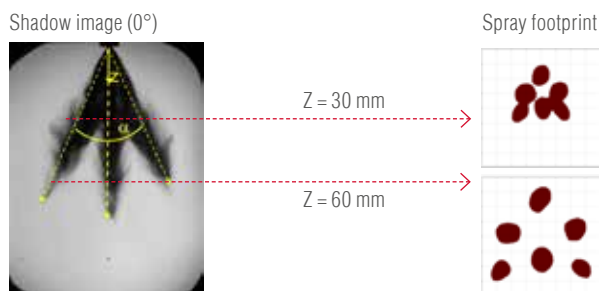
Injector Spray Investigations



» FEV AERODYNAMICS AND FLOW ANALYSIS

FEV TEST BENCHES FOR EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF INJECTORS AND SPRAY CHARACTERISTICS

In order to reduce pollutant emissions and further improve the efficiency of future engines, state-of-the-art 3D CFD simulations are necessary. Due to the large number of combustion technologies ((ultra) lean-burn, active and passive pre-chamber, (ultra) diluted etc.), that have to be re-evaluated for each application predictive modelling of injection and mixture formation is becoming increasingly important. Stationary injector tests, presented below, are necessary to set up and calibrate these models.



If many design variants need to be evaluated during the development of the combustion process, or if the current state of simulation technology reaches its limits, the non-fired single cylinder engine is the most effective tool to cover the realistic flow and mixture formation behavior and provide an early configuration assessment.

FEV operates a low pressure chamber (LPC) as well as a high pressure high temperature chamber (HPHTC) to analyze and evaluate all kind of injectors by means of optical measurement approaches.

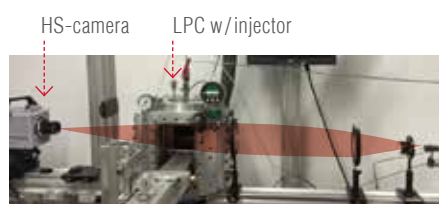
These experimental facilities, allow a variation of several boundary conditions, like back- or rail pressures, injection timings, fuel types as well as the surrounding air or gas temperature quickly and efficiently, in order to cover typical engine related load conditions within a steady-state regime.

The left hand sided figure shows a high speed shadowgraph measurement result acquired in the LPC. Using digital image processing tools and statistical analysis, the following spray specifications can be determined:

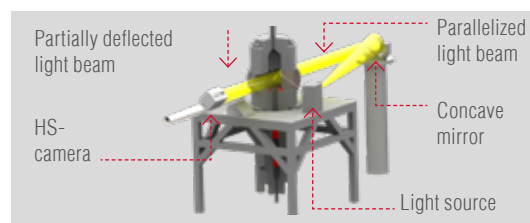
- Penetration depth
- Spray cone angle
- Spray footprint
- Shot-to-shot Fluctuations
- Average liquid & gaseous fuel distribution

To investigate a gaseous injection, like e.g. CNG, two imaging techniques can be applied: The mass density can be quantified by means of planar LIF measurements. For this purpose, a tracer (e.g. acetone) is induced to the specimen. In order to cover the highly dynamic effects of gaseous injection, high speed Schlieren imaging can be applied to capture the density gradients of the mixture at high temporal and spatial resolution.

Low pressure chamber



High pressure chamber



Non-fired SCE



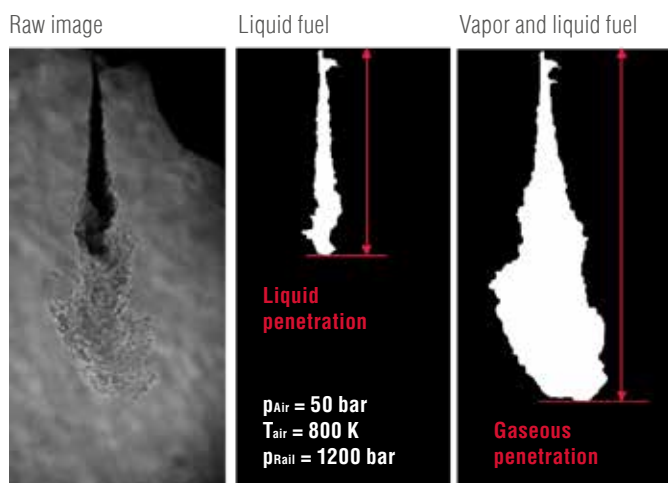
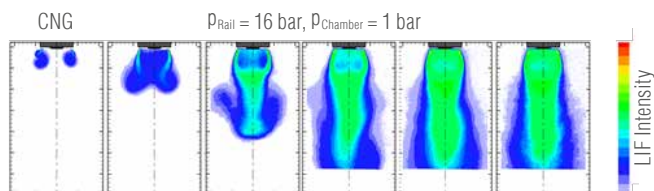
TEC INFO

Injector Spray Investigations



» FEV AERODYNAMICS AND FLOW ANALYSIS

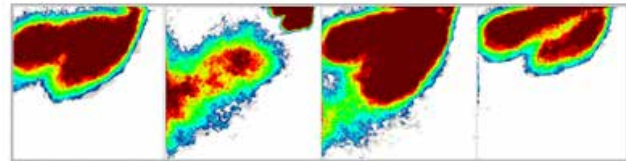
Using the HPHTC, a wide range in temperature (up to 1000 K) and backpressure (145 bar) can be set to simulate even full load passenger car operating conditions. By using an additional nitrogen compressor unit an external EGR rate of up to 50 % can be used to consider an even more realistic ignition and combustion behavior. Three optical windows, perpendicularly arranged, allow the investigation of the spray simultaneously with several optical techniques. The figure on the right hand side illustrates a single injection analysis by means of high speed Schlieren technique enabling separation of liquid penetration depth and gaseous expansion. Applying statistical analysis on the measured data allows quantification of the penetration depth as a function of injection time. Here, of course liquid and gaseous phase are analyzed separately. Simultaneously the liquid fuel can also be quantified with high speed Mie scatter imaging methods. Since the diesel related injection is usually coupled with a following ignition, combustion and emission process with the triple optical access it is possible to cover the typical phenomena of flame soot and OH* radiation by multiple simultaneous high speed imaging techniques.



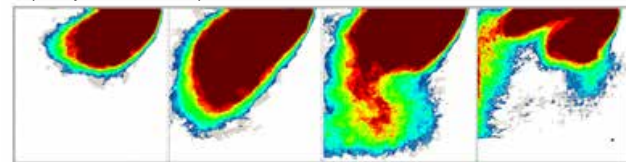
Beside the generic test facilities an optical single cylinder engine (SCE) furthermore enables evaluation of compression, piston movement, charge motion, changes in valve timing and the impact of transient flow

phenomena to the spray. The mixture formation can be optimized e.g. by the multiple injection strategies and has been widely investigated to simultaneously reduce diesel NOx and soot emissions. The influence on exhaust particles need to be known and controlled to meet modern emission standards. The prediction of this behavior on basis of

Triple injection @ Idle operation



Triple injection @ LET operation



physical characteristics is currently not state of the art. Therefore, FEV operates a fired and a non-fired single cylinder engine with optical access to analyze phenomena within the combustion chamber by means of optical diagnostics.

The investigations can be carried out at various load conditions in naturally aspirated and boosted operation. The injection strategy can be optimized in combination with numerical 3D-CD. The figure on the top hand side illustrates statistical results (liquid fuel probability) from high speed Mie scatter imaging for an example with triple injection in two different operating points. Beside the evaporation and fuel homogenization behavior effects of piston and liner wetting can be evaluated qualitatively.

We are confident to provide an evaluation of injectors perfectly suited to your needs. Please feel free to contact us to discuss your specific task.

Measurement technologies

- HS-Mie scattering (HS-laser/HS-camera)
- LS-Mie scattering (WL-source)
- HS-shadowgraphy (WL-source/HS-camera)
- HS-schlieren imaging
- LIF (laser/IRO/camera)
- UV- & VIS Imaging

TEC INFO

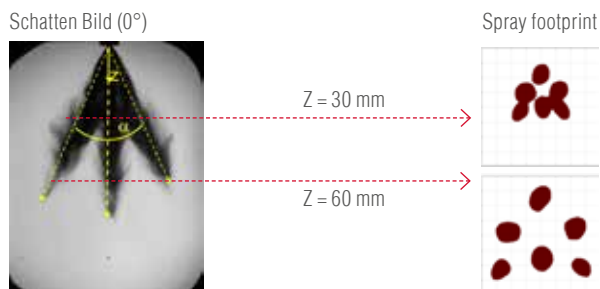
Injektor Spray Untersuchungen



» FEV AERODYNAMIK UND STRÖMUNGSANALYSE

FEV PRÜFSTÄNDE ZUR EXPERIMENTELLEN UNTERSUCHUNG VON INJEKTOREN UND SPRAY EIGENSCHAFTEN

Um die Emissionen künftiger Verbrennungsmotoren zu reduzieren und den Wirkungsgrad zu steigern, sind 3D CFD Simulationen unerlässlich. Durch die steigende Anzahl an Verbrennungstechnologien ((Ultra) mager, aktive oder passive Vorkammer, (Ultra) verdünnt etc.), welche für sämtliche Applikationen (Benzin, Diesel, CNG, Mild Hybrid, Plug-In Hybrid, Range Extender, etc.) bewertet werden müssen, bekommt die prädiktive Modellierung von Injektoren und Gemischbildung eine stetig stärkere Relevanz. Die unten gezeigten stationären Injektor-Untersuchungen sind notwendig, um die Modelle aufzusetzen und zu kalibrieren.



Wenn viele Design-Varianten während der Entwicklung des Brennverfahrens bewertet werden sollen oder die aktuelle CFD Technologie an ihre Grenzen stößt, ist ein nicht gefeuerter optischer Einzylinder Motor das effektivste Werkzeug, um realistische Strömungsbedingungen und Gemischungsverhalten in einem frühen Entwicklungsstadium zu untersuchen.

FEV betreibt eine Niederdruckkammer (LPC) und eine Hochtemperatur Hochdruck-Kammer (HPHTC) um sämtliche Injektor-Typen mittels optischer Messverfahren zu analysieren und zu bewerten. Diese Prüfstände erlauben eine schnelle und effiziente Variation diverser Randbedingungen wie Gegen- oder Kraftstoffdruck, Einspritzdauer, Kraftstofftyp und Luft- bzw. Gastemperatur (HPHTC) um typische motorspezifische Betriebsbereiche unter stationären Bedingungen zu simulieren.

Das Bild auf der linken Seite zeigt die Ergebnisse von Hochgeschwindigkeits (HS) Shadowgraphy Messungen, welche in der LPC durchgeführt wurden. Mittels digitaler Bildverarbeitung und statistischer Analyse können die folgenden Spray-Eigenschaften bestimmt werden:

- Eindringtiefe
- Winkel des Sprühkegels
- Footprint
- Shot-to-shot Fluktuationen
- Gemittelte Verteilung von flüssigem und gasförmigem Kraftstoff

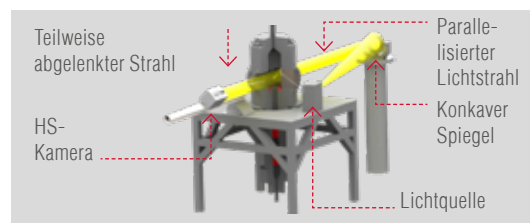
Zur Untersuchung von Gasen wie CNG können zwei bildgebende Verfahren angewandt werden. Die Massendichte wird mittels planarer LIF Messungen ermittelt. Hierzu wird ein Tracer (bspw. Aceton) beigegeben. Wenn hoch dynamische Effekte während der Einspritzung des Gases wie Dichte-Gradienten des Gemisches mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung erfasst werden sollen, nutzt man das HS Schlieren Verfahren.

In der HPHTC können Temperatur und Gegendruck über einen weiten Bereich (1000 K/145 bar) variiert und somit nahezu der gesamte Lastbereich eines PKW simuliert werden. Mittels externen Stickstoffkom-

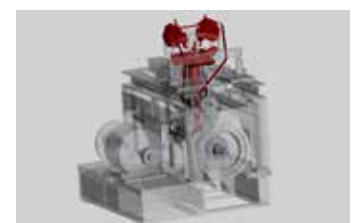
LPC



HPHTC



Ungefeuerter SCE



TEC INFO

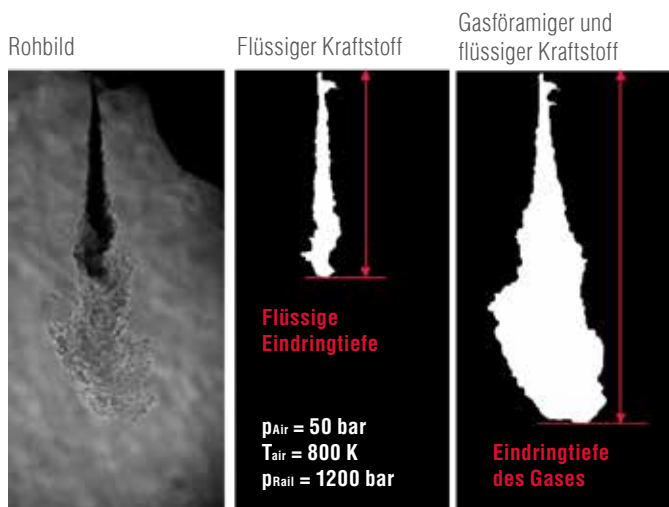
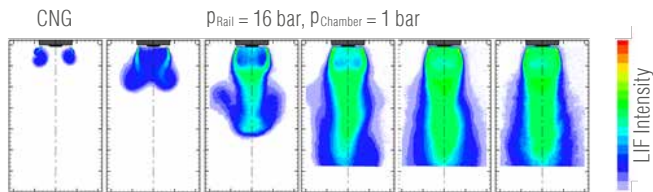
Injektor Spray Untersuchungen



» FEV AERODYNAMIK UND STRÖMUNGSANALYSE

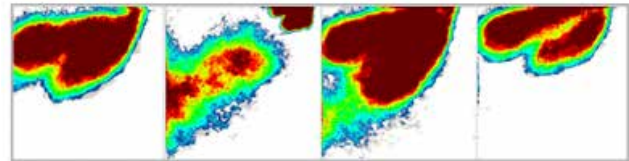
pressoren können AGR-Raten von bis zu 50% eingestellt werden. Somit wird das Zünd- und Verbrennungsverhalten noch realitätsnaher abgebildet. Drei Fenster, welche rechteckig über den Umfang angeordnet sind, ermöglichen die simultane optische Untersuchung des Sprays mit unterschiedlichen Messverfahren. Das Bild auf der rechten Seite zeigt die Ergebnisse einer Einzelspritzung mittels HS-Schlieren und die Bewertung der flüssigen Eindringtiefe sowie dem Expansionsverhalten der Gasphase. Die Quantifizierung der zeitlich aufgelösten Eindringtiefe erreicht man durch statistische Analyse der Messdaten. Hier werden flüssige und gasförmige Phase natürlich getrennt betrachtet. Simultan kann der flüssige Kraftstoff mit der MIE Streulicht Methode analysiert werden. Da die Diesel-Einspritzung üblicherweise mit folgender Zündung, Verbrennung und respektive Emission gekoppelt ist, erlauben die drei optischen Zugänge hier sämtliche typischen Phänomene wie Ruß oder OH* Strahlung simultan in einer Messung zu erfassen.

Neben den generischen Prüfständen eröffnet der optische Einzylinder Motor die Untersuchung von Kompression, Kolbenbewegung, Ladungsbewegung, Steuerzeitenverstellung und den Einfluss transienter Strömungsphänomene auf das Spray.

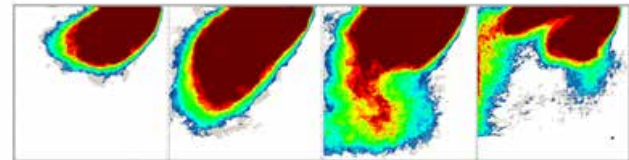


Die Gemischbildung kann bspw. mit Mehrfach-Einspritz-Strategien optimiert werden. FEV hat hier weitreichende Untersuchungen durchgeführt, um simultan NOx und Ruß Emissionen von Diesel-Motoren zu reduzieren. Der Einfluss auf die Abgaspartikel muss hier ebenfalls berücksichtigt und kontrolliert werden, um heutige Standards zu erfüllen.

Dreifach-Einspritzung @ Leerlauf



Dreifach-Einspritzung @ LET



Die Vorhersage dieses Verhaltens auf physikalischer Basis ist derzeit noch kein Stand der Technik. Daher betreibt FEV gefeuerte und nicht gefeuerte Einzylinder Motoren mit optischer Zugänglichkeit welche die Analyse dieser Phänomene mit optischen Messprinzipien ermöglichen. Es können Untersuchungen für eine Vielzahl an Lastpunkten sowohl saugend als auch im aufgeladenen Betrieb durchgeführt und in Kombination mit numerischen CMD Prozessen optimiert werden. Das Bild auf der rechten Seite illustriert die statistischen Ergebnisse (Wahrscheinlichkeit von flüssigem Kraftstoff) von MIE Streulicht Messungen anhand des Beispiels einer Dreifach-Einspritzung in zwei Betriebspunkten. Neben dem Verdampfungs- und Kraftstoff-Homogenisierungsverhalten können auch Effekte des Kolbens oder von Wandbenetzung qualitativ bewertet werden. Wir sind zuversichtlich Ihnen Injektor-Untersuchungen anbieten zu können, welche optimal auf Ihre Bedürfnisse zugeschnitten sind. Kontaktieren Sie uns gerne, um spezifische Aufgabenstellungen zu besprechen.

Messtechniken

- HS-MIE Streulicht (HS-Laser / HS-Kamera)
- LS- MIE Streulicht (Weißlichtquelle)
- HS-Shadowgraphy (Weißlichtquelle/HS-Kamera)
- HS-Schlieren Visualisierung
- LIF (Laser/IRO/Kamera)
- UV- & VIS Visualisierung