

nur einer Laseranregung zu detektieren. Es werden keine Zusatzstoffe wie Tracer oder Indikatoren benötigt.
Aufgrund der hier gemachten Überlegungen ist ein 2D aufgelöster Einsatz der linearen Raman-Streuung im Brennraum eines Wasserstoffmotors möglich.

4. Referenzen:

- [1] A. C. Eckbreth, "Laser Diagnostics for Combustion Temperature and Species", Gordon & Breach, Amsterdam (1996)
- [2] C. Schulz, V. Sick, "Tracer-LIF diagnostics: quantitative measurement of fuel concentration, temperature and fuel/air ratio in practical combustion systems", Prog. Energy Combust. Sci. **31**, 75-121 (2005)
- [3] N. P. Tait, D. A. Greenhalgh, "2D Laser induced fluorescence imaging of parent fuel fraction in nonpremixed combustion", Proc. Combust. Inst. **24**, 1621-1628 (1992)
- [4] F. Beyrau, A. Brüder, M. C. Weigl, M. Löffler, A. Leipertz, „Laseroptische Methoden zur Messung der Luftzahl und AGR-Rate“, Motorische Verbrennung – Aktuelle Probleme und moderne Lösungsansätze (VIII. Tagung), Prof. Dr.-Ing. A. Leipertz (Hrsg), BEV-Heft 7.1, ESYTEC GmbH, Erlangen, 2007, S. 193 – 207
- [5] A. Brauer, P. Koch, M. Weigl, T. Blotvogel, H. Kremer, M. Hartmann, A. Leipertz; Optical Measurement Techniques for the Investigation of Mixture Formation and Combustion in Hydrogen Internal Combustion Engines", Proc 1st International Symposium on Hydrogen Internal Combustion Engines" September 28 – 29, Graz/Österreich (2006)

Zweidimensionale Quantifizierung von Kraftstoff-Luft-Verhältnissen bei der Diesel-Direkteinspritzung unter motorähnlichen Bedingungen

Two-dimensional Quantification of Fuel-Air-Ratios of Direct Diesel Injection under Engine-like Conditions

Dipl.-Ing. U. Leidenberger, Dipl.-Ing. C. Härtl, Dr. M. Schäfer und
Prof. Dr.-Ing. D. Brüggemann
Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT),
Bayreuth Engine Research Center (BERC), Universität Bayreuth

Kurzfassung / Abstract

Die Untersuchung von innermotorischen Gemischbildungsvorgängen war und ist ein wichtiger Bestandteil der Forschung für die Motorenentwicklung. Zur Quantifizierung der Gemischbildung zu wird ein Exciplexsystem (TMPD/Naphthalin) kalibriert, um es in der motorischen Anwendung zu übertragen. Die Kalibrierung findet in einer Hochtemperatur-Hochdruckzelle statt und bestimmt den Einfluss von Druck, Konzentration, Laserenergie, Temperatur, Kohlendioxid, Helium und Sauerstoff auf das System. Besonders starken Einfluss zeigen die Laserenergie, die Temperatur und der Sauerstoff. Die angewandten Messungen finden unter motorähnlichen Bedingungen an einem Einzylinder-Einhub-Triebwerk statt und zeigen gute Ergebnisse.

The examination of in-cylinder mixture formation has always played an important role in engine research. For a quantification of the mixture formation, an exciplex-system of TMPD and Naphthalene is calibrated and transferred to engine application. The calibration is carried out in a high-temperature high-pressure cell to examine the influence of pressure, concentration, laser energy, temperature, carbon dioxide, helium and oxygen. Here the laser energy, temperature and oxygen show to be most important. With good results, the applied measurements are carried out in a Rapid Compression Machine under engine-like conditions.

1. Einleitung

Die Anwendung von Lasermessverfahren auf innermotorische Gemischbildungs- und Verbrennungsvorgänge bietet durch gezielte Visualisierung und Messung die Möglichkeit, verbrennungs- und emissionsrelevante Schlüsselkomponenten in hoher örtlicher und zeitlicher Auflösung darzustellen. Von besonderer Relevanz ist dabei das örtliche Kraftstoff-Luft-Verhältnis im Brennraum. Im Besonderen bei der dieselmotorischen Direkteinspritzung führen fette Gemischbereiche und unverdampfte Kraftstofftröpfchen zu erhöhter Rußbildung bei der Verbrennung. Die Messung von Lambda-Werten und Orten mit unverdampftem Kraftstoff kann somit helfen, die Ursachen der innermotorischen Schadstoffentstehung zeit- und ortsauflösend zu lokalisieren.

Bei unseren Forschungsarbeiten wurde gezielt der Einsatz der Laserinduzierten Exciplex-Fluoreszenz (LIEF) an einer Schnellen Kompressionsmaschine erprobt. Mit der LIEF lässt sich nicht nur simultan die Konzentration des Kraftstoffes in der Flüssig- und der Dampfphase beobachten, sondern auch das Kraftstoff-Luft-Verhältnis quantifizieren. Die schnelle Kompressionsmaschine erlaubt darüber hinaus eine Variation der für die Verdampfung und Gemischbildung wichtigen Parameter, die für jeden Kolbenhub geändert werden können.

2. Laserinduzierte Exciplex-Fluoreszenz (LIEF)

Bei der laserinduzierten Exciplex-Fluoreszenz handelt es sich um eine Erweiterung der laserinduzierten Fluoreszenz. Der Unterschied besteht in der Zugabe spezifischer Tracerpaare, die chemisch so abgestimmt sind, dass mit einer Anregungswellenlänge zeitgleich zwei phasenspezifische (Dampf- und Flüssigphase), spektral trennbare Fluoreszenzspektren erzeugt werden können.

2.1 Prinzip der LIEF

Ein Tracersystem für die LIEF besteht im Normalfall aus zwei organischen Komponenten. Mindestens eine Komponente (das Monomer M) muss die Eigenschaft besitzen, im angeregten Zustand (M^*) mit der zweiten Komponente (dem Quencher Q) einen angeregten Komplex ($M+Q^*$), also einen Exciplex (Excited State Complex), zu formen. Durch die Bildung des Komplexes wird die Energie um den Betrag der Bindungsenergie (Δh) erniedrigt (siehe Abbildung 1). Dies führt dann im Falle einer Fluoreszenz zu einer Rotverschiebung im Vergleich zur Fluoreszenz des angeregten Monomers. Bei größeren Bindungsenergien sind die meist viele Nanometer breiten Fluoreszenzspektren von Monomer und Exciplex spektral trennbar. Um mit der LIEF eine Phasentrennung zu beobachten, muss die Exciplexbildung bevorzugt nur in einer Phase stattfinden. Durch die stark erhöhte Dichte in der Flüssigphase kommt es hier durch die kürzere mittlere freie Weglänge und die damit erhöhte Stoßwahrscheinlichkeit der Moleküle zur vermehrten Komplexbildung. Zudem wird der oft polare Komplex durch die Polarität des verwendeten Kraftstoffs in der Flüssigphase stabilisiert [1].

2.2 Das System TMPD/Naphthalin

Für unsere Untersuchungen wurden die Tracer Naphthalin und N, N, N', N'-Tetramethyl-p-Phenylendiamin (TMPD) ausgewählt. Sie eignen sich aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften besonders gut in Kombination mit dem nicht fluoreszierenden Dieselsatzkraftstoff n-Dodekan. Die Untersuchungen anderer Autoren haben gezeigt, dass sich dieses System neben wenigen anderen Kombinationen gut für Untersuchungen im dieselmotorischen Bereich eignet [2]. Die Daten und die Massenanteile der einzelnen Komponenten können Tabelle 1 entnommen werden.

Komponente	Siedetemperatur [°C]	Dampfdruck [mbar]
Dodekan (89%)	216,3	0,095
TMPD (1%)	255	----
Naphthalin (10%)	218	0,066

Tabelle 1: Daten des Kraftstoff-Tracer-Systems

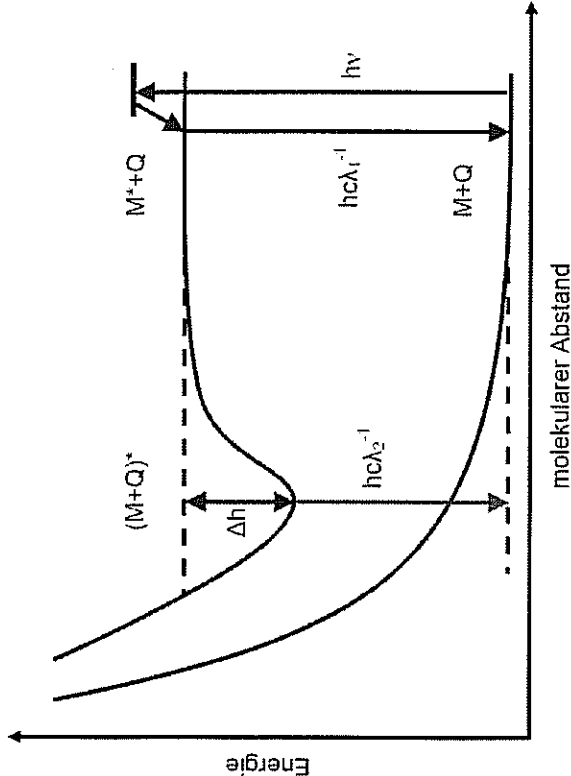


Abbildung 1: Energieniveaus von Monomer und Exciplex

Aus physikalischer Sicht eignet sich die starke Rotverschiebung des Exciplexsystems TMPD/Naphthalin gut für eine überscheidungsarme spektrale Trennung von Flüssig- und Gasphase. Die Peaks der breibündigen Fluoreszenzen liegen ca. 90 nm auseinander [3]. Eine zusätzliche Überschneidung mit der Monomerfluoreszenz von Naphthalin erfüllt. Alle möglichen Übergänge mit der zentralen Wellenlänge der jeweiligen Emissionsspektren sind in Abbildung 2 dargestellt. Durch die Wahl der Laseranregungswellenlänge von 355 nm (frequenzverdreifachter Nd:YAG) kommt es nicht zur Absorption durch Naphthalinmoleküle. Mit der in 3.1 beschriebenen Filteranordnung können nach eigenen Messungen bis zu 16 % der Gasphasenfluoreszenz aus der Fluoreszenz des flüssigphasen-spezifischen Exciplexes kommen. Dieser Effekt verliert bei der Anwendung stark an Einfluss, da die Fluoreszenz der Gasphase bereits kurz nach SOI außerhalb der zentralen Strahlkeulen erheblich stärkere Signale liefert als die Flüssigphasen-Fluoreszenz.

2.3 Kalibrierung des Exciplexsystems

Das verwendete Exciplexsystem der in Tabelle 1 gezeigten Zusammensetzung wurde mit einer Kalibrierzelle der Firma Esytec bis 50 bar und 500 °C kalibriert. Die bisher untersuchten Abhängigkeiten sind in Tabelle 2 dargestellt. Bis auf die Untersuchungen zum Sauerstoffquenchung wurden alle Versuche in Stickstoffatmosphäre durchgeführt. Im Rahmen dieses Beitrags wird nur zusammenfassend auf die entscheidenden gemessenen Merkmale eingegangen.

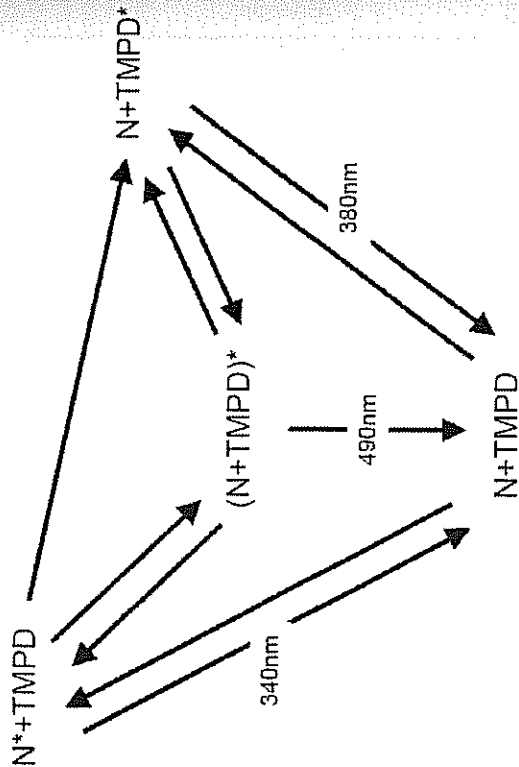


Abbildung 2: Mögliche Energieübergänge im System Naphthalin/TMPD

Versuch	Temperatur [°C]	Beobachtung
Druckvariation	300 °C - 500 °C	Keine Abhängigkeit
Konzentrationsvariation	300 °C	Linearer Anstieg
Energievariation Laser	300 °C	Linear bis „Grenzleistung“, dann in die Sättigung
Temperaturquenchung	300 °C - 500 °C	Linearer Abfall
CO ₂ -Quenchung	300 °C - 500 °C	Keine Abhängigkeit
He-Quenchung	300 °C - 500 °C	Keine Abhängigkeit
O ₂ -Quenchung	300 °C - 500 °C	Starke Abhängigkeit

Tabelle 2: Untersuchungen am Exciplexsystem

Laserleistung

Mit steigender Laserleistung steigt bei konstanter Konzentration auch die Intensität der Fluoreszenz. Bei den Messungen verlief der Anstieg der Fluoreszenzintensität bis zu einer Flächenleistung von 3 mJ/cm^2 linear. Danach zeigten die Messwerte eine Annäherung an einen Sättigungswert, der bei einer Konzentration von $0,3 \text{ \%}$ Exciplex im Kammervolumen und einer Intensität von 10 mJ/cm^2 erreicht wird.

Temperatur

Die schrittweise Erhöhung der Temperatur hat bei den Experimenten zu einer linearen Abnahme der Fluoreszenzintensität geführt. Dieses Ergebnis wird bereits von anderen Autoren berichtet [4, 5]. Einer der vermuteten Effekte ist eine erhöhte Stofflöschung (Kollisionsquenchung) angeregter Moleküle, da die Stoffwahrscheinlichkeiten mit der steigenden Temperatur zunimmt. Dies müsste aber auch bedeuten, dass ein Druckeinfluss zu erwarten ist, der in den Messungen nicht festgestellt werden konnte. Zu dieser

Themenstellung müssen noch weitere grundlegende Untersuchungen folgen, die den Temperatureffekt auf das Exciplexsystem erklären.

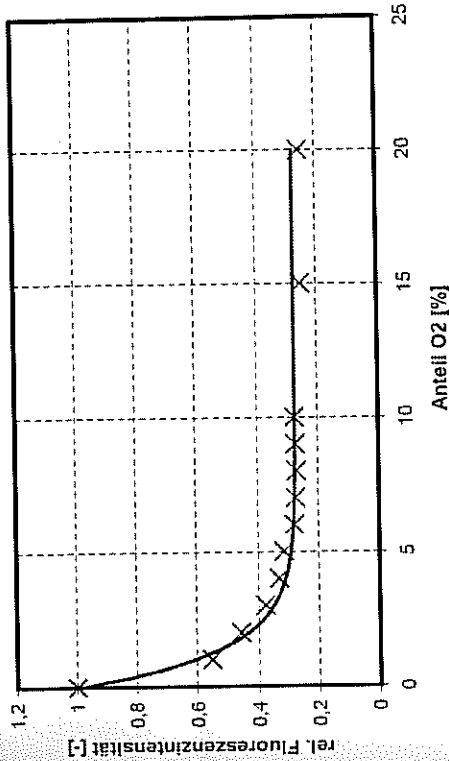


Abbildung 3: Fluoreszenzsignal in Abhängigkeit des Sauerstoffanteils

Sauerstoff

Der Einfluss von Sauerstoff auf das Fluoreszenzsignal wurde für eine Quantifizierung bisher noch unzureichend untersucht. Deshalb sind bei Temperaturen zwischen 300 °C und 500 °C in mehreren Messreihen die Fluoreszenzintensitäten aufgezeichnet worden. Der Sauerstoffanteil wurde dabei zwischen 0 \% und 20 \% erhöht. Neben dem oben beschriebenen Temperatureinfluss stellte sich ab 6 \% Sauerstoff ein Plateauwert in der Fluoreszenzintensität ein. Die Fluoreszenzabnahme mit erhöhtem Sauerstoffanteil kann bei allen Messreihen durch eine Funktion beschrieben werden, wie sie in Abbildung 3 dargestellt ist.

3. Messtechnische Anwendung

Um eine sinnvolle 2-D Messtechnik zur Quantifizierung von Kraftstoff-Luft-Verhältnissen zu entwickeln, muss diese unter motorischen Bedingungen einsetzbar sein.

Als Messobjekt wurde deshalb ein Einzylinder-Einhub-Triebwerk der Firma Testem eingesetzt. Wie ein Transporentmotor besitzt diese schnelle Kompressionsmaschine (engl.: RCM – Rapid Compression Machine) eine gute optische Zugänglichkeit. Ein motorischer Hub kann im Bereich $\pm 60 \text{ °KW}$ bei variabler Drehzahl identisch wieder gegeben werden, wobei viele motorische Parameter (z.B. Drallgeschwindigkeit, Ladedruck, AGR, Ladelufttemperatur, etc.) drehzahlunabhängig variierbar sind. Die RCM arbeitet durch einen mitbewegten Massenausgleich weitestgehend erschütterungsfrei und erreicht sehr gut reproduzierbare Messaufnahmen. [6, 7, 8]

3.1 Messaufbau

Zur Injektion des Exciplexgemisches ist an der RCM ein Common-Rail-System der Firma Siemens VDO installiert. Es besteht aus einer Radialkolbenpumpe, einem Rail und einem PCR-2-Injektor mit einer 6-Loch-Düse, die einen Strahlwinkel von 60° aufweist.

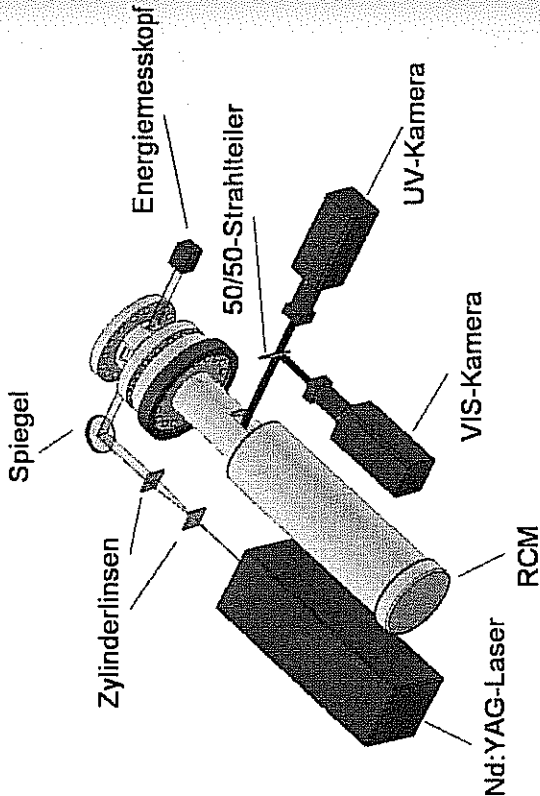


Abbildung 4: Messaufbau für Aufnahmen der LIEF

Wie in Abbildung 4 gezeigt, wird für die Experimente der Laserstrahl eines frequenzverdreiften Nd:YAG-Lasers (Quanta Ray PRO-Series, Spectra-Physics) über ein Zylinderteleskop zu einem Lichtblatt geformt. Das Lichtblatt wird parallel zum Zylinderkopf durch die RCM geleitet, wobei die Entfernung zum Zylinderkopf und der Injektorstipitze zwischen 1 und 20 mm eingestellt werden kann.

Das Streulicht und das Fluoreszenzsignal werden über ein transparentes Kolbenfenster und einen Spiegel seitlich aus der RCM gelenkt (siehe Abbildung 5). Nach der Streulichtunterdrückung durch einen Notch-Filter teilt ein Strahlteiler das Signal (50/50), um das Licht zu gleichen Teilen auf die beiden bildverstärkten CCD-Kameras (Princeton Instruments) zu verteilen. Als Objektive kommen ein Cosina 100 mm (1:3.5) für die Flüssigphasendetektion und ein Halle UV-Objektiv mit 100 mm (1:2) für die Detektion der Gasphase zum Einsatz.

Vor den Kameras befinden sich Interferenzfilter, um das spezifische Fluoreszenzsignal der Gasphase bzw. das der Flüssigphase herauszufiltern (siehe Abbildung 6). Die Interferenzfilter liegen bei zentralen Wellenlängen von 390 nm mit 10 nm Halbwertsbreite (Gasphase) und 550 nm mit 20 nm Halbwertsbreite. Überschneidungen (Crosstalk) werden dadurch größtenteils vermieden. Eventuell vorhandenes schwaches Fremdlicht hat bei einer Belichtungszeit von 100 ns keinen entscheidenden Einfluss.

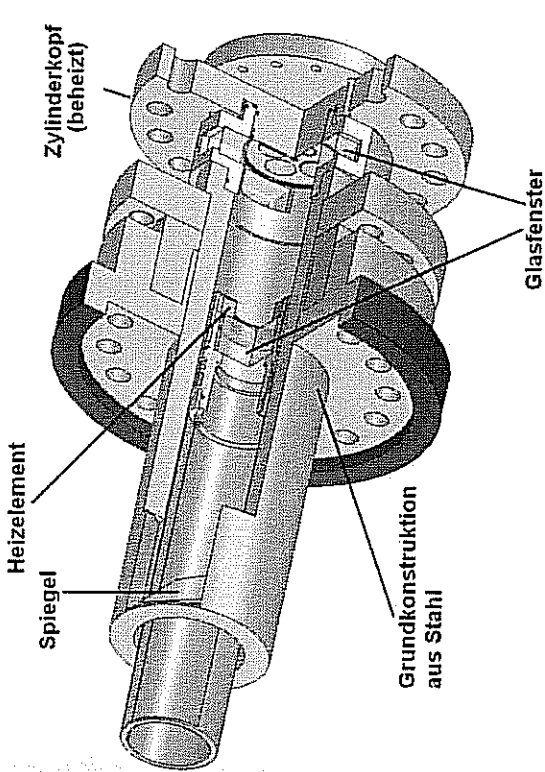


Abbildung 5: Schnitt durch eine vereinfachte Zeichnung der RCM (ohne Antriebseinheit)

3.2 Versuchsdurchführung

Für die Messungen wurde ein Betriebspunkt bei 1500 U/min ausgewählt (siehe Tabelle 3). Um zu gewährleisten, dass keine Fluoreszenzstörung auftritt, wird mit einer Laserenergie von 10 mJ gemessen. Die Energie des 10 ns langen Pulses ist ausreichend für eine Detektion der Fluoreszenzsignale mit gutem Signal-zu-Rausch-Verhältnis (1:100). Die RCM fungiert bei den Experimenten als primäres Steuerelement, indem bei einer vorgegebenen Winkelstellung ein TTL-Signal an einen Pulsgenerator gegeben wird. Dieser steuert dann in zeitlich genauer Abstimmung die Einspritzung, die Ansteuerung des Lasers und die Öffnung der Gates am System Kamera/Bildverstärker. Das Laserlicht ist auf einen Abstand von 10 mm zum Zylinderkopf justiert. Der Laserpuls zur Fluoreszenzanregung kann zu einem beliebigen Zeitpunkt während der Einspritzung ins Messvolumen eingekoppelt werden. Damit können Aufnahmen zu verschiedenen Zeitpunkten nach SOI durchgeführt und der gesamte Gemischbildungsvorgang aufgezeichnet werden.

Betriebspunkt LIEF-Messungen	
Umdrehungen [U/min]	1500
Einspritzung [°KW v.OT]	14
Kompression	16:1
Einspritzdruck [bar]	1600
Einspritzdauer [µs]	300

Tabelle 3: Versuchsdaten für die LIEF-Messungen

Die Rohdaten der Fluoreszenz-Aufnahmen werden gemittelt und anschließend im Rechner auf Hintergrundsignal, Laserintensität, Laserprofil und Crosstalk korrigiert. Um die Unsicherheit einer Temperaturausgleichsrechnung zu umgehen, werden Kalibrierbilder mit homogener Kraftstoffverteilung zum selben Zeitpunkt aufgenommen, zu dem die Messungen stattfinden. Die Kalibrierbilder sind bei bekannter Kraftstoff-Luft-Verteilung aufgenommen und werden in der Auswertung zur Berechnung der lokalen λ -Werte herangezogen.

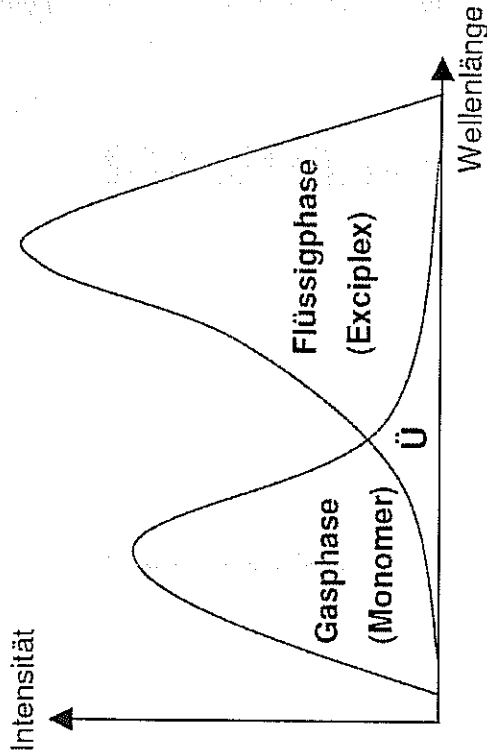


Abbildung 6: Qualitative Fluoreszenzspektren mit Kennzeichnung der verwendeten Interferenzfilter zur spektralen Trennung der Fluoreszenzsignale

3.3 Ergebnisse in Stickstoffatmosphäre

Die Ergebnisse in Stickstoffatmosphäre sind relativ einfach zu erzielen. Sauerstoff als starker Quencher muss bei den Experimenten nicht in Betracht gezogen werden. Der Einfluss der Temperatur entfällt aufgrund der vorher aufgenommenen Kalibrierbilder.

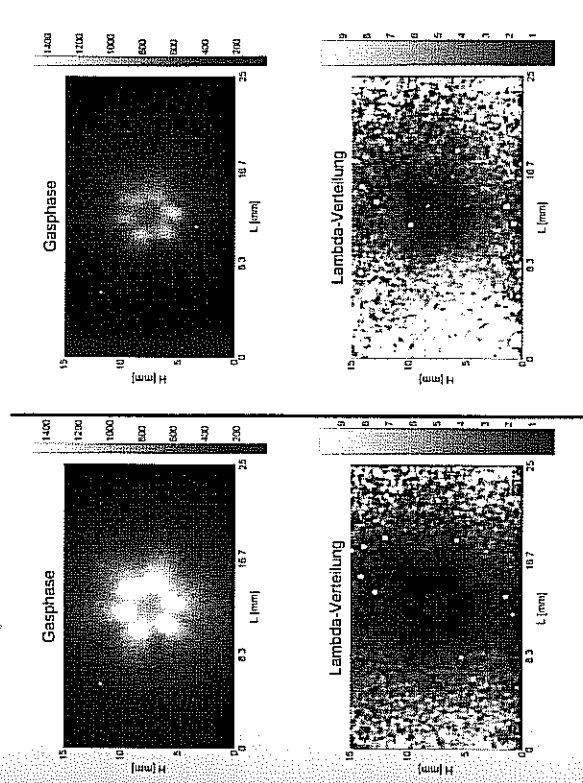
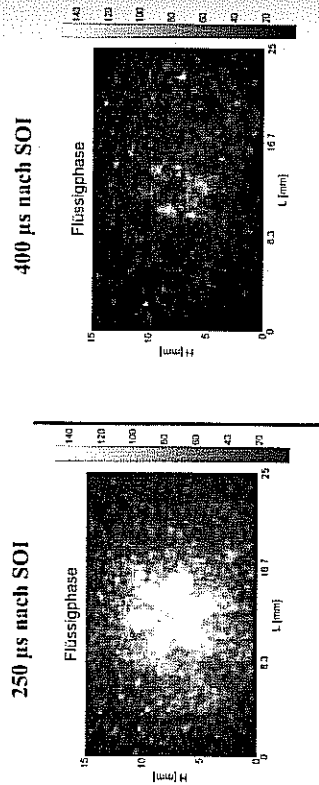


Abbildung 7: LIEF-Aufnahmen und errechnete Lambda-Verteilung; Links: 230 µs nach SOI; Rechts: kurz nach Ende der Einspritzung (400 µs)

In Abbildung 7 sind zwei Aufnahmezeitpunkte dargestellt. Die linke Reihe ist 230 µs nach SOI aufgenommen. Dieser Zeitpunkt befindet sich innerhalb der Einspritzung, was durch die ausgeprägte Flüssigphase und die sehr starke Gasphase bestätigt wird. Zum Zeitpunkt 400 µs nach SOI zeigt die Flüssigphasenaufnahme durch die gerade noch vorhandenen Einzeltröpfchen, dass die Einspritzung bereits beendet ist. Die Gasphase ist deutlich abgeschwächt, zeigt aber noch durchaus intensive Gebiete im Bereich der Strahlkeulen. Die Lambda-Verteilung ist zu diesem Zeitpunkt in der Messebene wieder magerer, da sich diese noch über der Kolbenmulde befindet.

Um die Richtigkeit der berechneten Lambda-Verteilung zu bestätigen, wurden Versuche mit simultanen Raman-Messungen durchgeführt. Die Versuche zeigten gute Übereinstimmung.

3.4 Ergebnisse in Luft

Mit dem starken Quenchen durch Sauerstoffatome sind Aufnahmen in sauerstoffhaltiger Atmosphäre erheblich schwerer zu bewerten. Durch das in 2.3 präsentierte Ergebnis über den Einfluss von Sauerstoff auf die Fluoreszenzintensität kann unter bestimmten Voraussetzungen eine Quantifizierung erfolgen. Hat eine Atmosphäre an jedem Ort des Messvolumens über 6 % Sauerstoff, kann davon ausgegangen werden, dass die Fluoreszenz an allen Punkten im Messvolumen gleichermaßen geschwächt ist.

Die Aufnahmen in Abbildung 8 wurden ebenfalls im oben beschriebenen Betriebspunkt aufgenommen. Die Atmosphäre besteht dabei aus Luft mit 40 % N_2 zur Simulation von AGIR. Der Sauerstoffanteil ist somit noch deutlich über 6 %. Die Kalibrierbilder zur Berechnung der Lambda-Verteilungen sind ebenfalls in der gleichen Atmosphäre zusammengefasst aufgenommen.

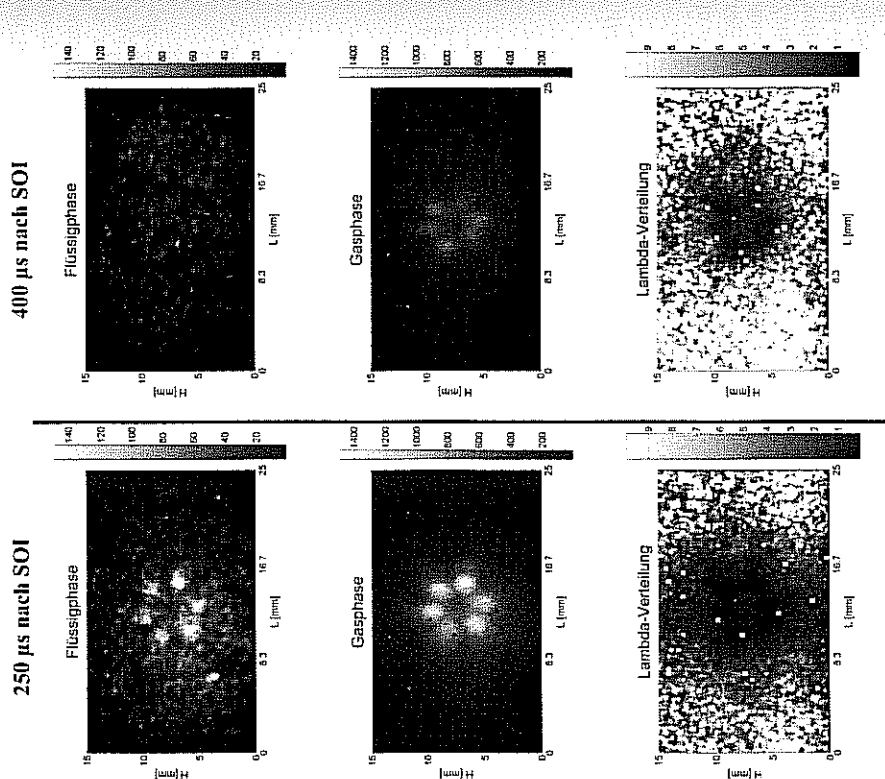


Abbildung 8: LIEF-Aufnahmen (Luft mit 40 % AGR) und errechnete Lambda-Verteilung; Links: 250 µs nach SOI; Rechts: kurz nach Ende der Einspritzung (400 µs)

Bei den in Abbildung 8 dargestellten Ergebnissen werden sehr ähnliche räumliche Lambda-Verteilungen erzielt, wie sie in Abbildung 7 bereits berechnet worden sind. Bei genauerem Vergleichen fällt auf, dass der homogene Bereich der Abbildungen sehr gut übereinstimmt. Nur im Bereich des dünnen Sprays, also im Übergang von Orten der fetten und Orten der sehr mageren Gemischzusammensetzung, variieren die berechneten Ergebnisse zwischen sauerstoffhaltiger und sauerstoffloser Atmosphäre. Diese Bereiche sollen in zukünftiger Forschung genauer betrachtet und untersucht werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Ein für laserinduzierte Fluoreszenz geeignetes Exciplexsystem aus TMPD/Naphthalin und dem Diesel-Ersatzkraftstoff n-Dodekan wurde grundlegend kalibriert und unter motorähnlichen Bedingungen angewandt und überprüft.

Bei den Kalibrierungen an einer Hochtemperatur-Hochdruckzelle wurden die Abhängigkeiten von Druck, Konzentration, Laserenergie, Temperatur, Kohlendioxid, Helium und Sauerstoff untersucht. Es konnte ein linearer Anstieg der Fluoreszenz mit der Konzentration und ein linearer Abfall der Fluoreszenz mit der Temperatur beobachtet werden. Eine steigende Laserenergie erzeugt bis zu einer Grenzzintensität ebenfalls ein linear steigendes Fluoreszenzsignal. Wie erwartet tritt Sauerstoff als einzige der untersuchten gasförmigen Komponenten als starker Quencher auf. Alle anderen Untersuchungsvarianten zeigten keinen Einfluss.

Die Anwendung zeigt, dass in Stickstoff gute Ergebnisse erzielt werden. Bei den Untersuchungen mit Sauerstoff liegen in Teilbereichen gute Ergebnisse vor. Im Bereich des dünnen Sprays zeigen sich Abweichungen, die weitergehend untersucht werden sollen.

5. Danksagung

Dank gilt der Firma Siemens VDO für die Bereitstellung aller Common-Rail Komponenten (Pumpe, Rail, PCR 2 Injektor) und einer Labor-Endstufe für die Ansteuerung der Piezo-Injektoren.

6. Referenzliste

- [1] T. Müller:
Lasertiagnostische Verfahren zur Spray- und Gemischbildungsanalyse;
Universität Bielefeld (2002)
- [2] F. Person; M. Försth; A. Rosén:
A Survey of Model Fuel Mixtures Suitable for Exciplex-Spectroscopy for Liquid/Vapor Visualisation;
ILASS-Europe 2002, Zaragoza (2002)
- [3] L. A. Melton:
Vapor/Liquid Visualisation in Fuel Sprays;
20th Symposium of Combustion 1984, S. 1283-1290. The Combustion Institute
- [4] J. Senda; M. Kobayashi; Y. Tanabe; H. Fujimoto:
Visualisation and quantitative analysis of the fuel vapor concentration in diesel Spray;
JSAE Review 15, S. 149-156 (1994)
- [5] T. Kim; J. B. Ghandhi
Quantitative 2-D Fuel Vapor Concentration Measurements in an Evaporating Diesel Spray using the Exciplex Fluorescence Method;
SAE Paper 2001-01-3495 (2001)

- [6] S. M. Eisen:
Visualisierung der dieselmotorischen Verbrennung in einer schnellen Kompressionsmaschine;
Dissertation, Technische Universität München (2003)
- [7] B. Ofner:
Dieselmotorische Kraftstoffzersetzung und Gemischbildung mit Common-Rail Einspritzsystemen;
Dissertation, Technische Universität München (2001)
- [8] M. Schäfer, C. Hütt, D. Brüggemann:
Flexibler Einsatz einer schnellen Kompressionsmaschine zur optischen Untersuchung motorischer Prozesse
VII. Tagung Motorische Verbrennung, HdT e.V., Essen, 2005

Faseroptischer Zündkerzensensor zur innermotorischen Messung von Kraftstoff- und Restgasdichte

Fiber Optics Spark Plug Sensor for In-Cylinder Measurements of Fuel and Residual Gas Concentrations

Dipl.-Phys. T. Berg, Dr. O. Thiele, Dr. H. Voges
LaVision GmbH, Göttingen

Dr. V. Beushausen
Laser-Laboratorium Göttingen e.V.

Kurzfassung

Der faseroptische Zündkerzensensor als Brennraumsonde erweitert die innermotorische Sensorik um die in-situ Gasanalytik. Speziell für die Motorentwicklung im Bereich Direkteinspritzung liefert der Zündkerzensensor in Echtzeit und kurbelwinkelaufgelöst den kompletten zeitlichen Verlauf der innermotorischen Gemischbildung über den gesamten Motorzyklus und über hunderte von Zyklen hintereinander. Mit Hilfe der Infrarot Absorptionsspektroskopie werden Kraftstoff- und Restgasdichte gemessen.

1. Einleitung

Für die Entwicklung und Optimierung aktueller motorischer Brennverfahren werden immer ausgefeiltere Analysewerkzeuge benötigt, die Messdaten direkt aus dem Brennraum von laufenden Motoren aufzeichnen können. Neben dem Temperatur- und Druckverlauf erlaubt die zeitaufgelöste Gemischbildung im Zylinder eine detaillierte Aussage über die Zündfähigkeit des Gasgemisches. Der hier vorgestellte faseroptische Brennraumsonde ermöglicht eine kurbelwinkelaufgelöste Messung der Kraftstoff- und Restgaskonzentration direkt im Brennraum von Verbrennungsmotoren. Der Sensor bringt Licht in die „black-box“ Motor und erlaubt damit Einblicke in die Abläufe im Brennraum selbst. So können die Auswirkungen unterschiedlicher Einspritzbedingungen auf die Gemischaufbereitung am Zündort direkt in Echtzeit verfolgt und notwendige Korrekturen unmittelbar vorgenommen werden. Dadurch werden Optimierungsschritte und die damit verbundenen teuren Prüfstandszeiten deutlich verkürzt.

Etablierte optische Brennraum-Messtechniken in der Motorenentwicklung setzen auf modifizierte Transparenzmotoren, meist unter Verwendung von Ersatzkraftstoffen. So werden z. B. mit der Laserinduzierten Fluoreszenz (LIF) Gemischbildungs- und Verbrennungsprozesse flächig und hoch zeitaufgelöst visualisiert [1], [2]. Die innermotorische Gasbewegung wird mit der Particle Image Velocimetry (PIV) Methode [3] und die lokale Rußbildung mit der Laserinduzierten Inkandescenz (LII) [4] abgebildet. Im Gegensatz zu den vorgenannten bildgebenden Techniken kann der hier vorgestellte Brennraumsonde aufgrund seiner Bauform in mit Realkraftstoffen betriebenen Serienmotoren eingesetzt werden.