

Newsletter des Lehrstuhls für Technische Thermodynamik



Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Neues aus Forschung und Entwicklung

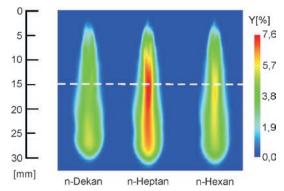
Einfluss der Siedeklassen von Mehrkomponentenkraftstoffen auf die Dampfverteilung

## BENZINVERDAMPFUNG WEITER DURCHLEUCHTET

motorischer Einspritz- und Verbrennungs-Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen von modernen Verbrennungsmotoren. Diesbezüglich bieten insbesondere die strahlgeführten Verfahren unter den verschiedenen ottomotorischen Verbrennungskonzepten der Direkteinspritzung ein sehr hohes Potential. Dieses Verfahren ist jedoch durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet, welches durch die gesetzlich verordnete Zumischung von biogenen Anteilen (z.B. Bioethanol) zu fossilen Ottokraftstoffen mit stark unterschiedlichen Kraftstoffeigenschaften noch vergrößert wird.

— Die Entwicklung und Optimierung Ein dabei bisher nur unvollständig verstandener Teilaspekt ist die Verdampfung prozesse nimmt eine Schlüsselrolle ein des Benzins, welches aus mehr als 200 bei der gleichzeitigen Reduzierung des einzelnen Komponenten besteht. Hinsichtlich des Einflusses von Leicht- und Schwersiedern auf das Verdampfungsverhalten für Einspritzbedingungen mit Ladungsschichtung findet man widersprüchliche Aussagen, ob eine Entmischung der Komponenten im Tropfen auftreten kann, was zu einer Schichtung der Dampfkomponenten in der Umgebung führen würde. Dies hat einen großen Einfluss auf die lokale Luftzahl im Zündkerzenbereich und kann daher die Entflammbarkeit des Kratfstoffs drastisch verändern.

(Fortsetzung auf Seite 2)



Planare Dampfkomponentenverteilungen (Massenbruch Y) des 3-Komponentenkraftstoffs (1.000 µs nach Einspritzbeginn)

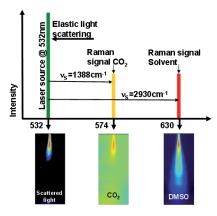
"Tailor Made Particles" dank gezielter Analyse der Prozessbedingungen im SAS Prozess

# EIN EINBLICK IN DIE PARTIKELHERSTELLUNG IM SUPERCRITICAL ANTISOLVENT PROZESS (SAS)

auch SAS-Prozess genannt (nach dem Englischen supercritical antisolvent), ist besonders für die Erzeugung feiner Pulver geeignet. Ein in einem organischen Lösemittel (Solvent) gelöster Wertstoff wird hierbei in überkritisches CO<sub>2</sub> eingedüst, welches als Antisolvent wirkt. Während Solvent und Antisolvent gut ineinander löslich sind, ist der Wertstoff im Solvent/ Antisolvent-Gemisch nahezu unlöslich. Die somit während der Eindüsung schlagartig erzeugte Übersättigung des Wertstoffs wird durch Partikelbildung kompensiert. Eine

 Der überkritische Antisolvent Prozess, Vielzahl von Wertstoffen wurde bislang mit dem SAS-Verfahren unter Verwendung verschiedenster Lösemittel pulverisiert. Anwendungsbeispiele sind Pharmazeutika, Sprengstoffe, Halbleitermaterialien, Farbstoffe und viele mehr. Wichtige Partikeleigenschaften wie Größe, Größenverteilung und Morphologie können im SAS-Prozess durch eine Veränderung der Betriebsparameter wie beispielsweise der Wertstoffkonzentration, des Solvent/Antisolvent-Verhältnisses, des Drucks und der Temperatur variiert werden.

(Fortsetzung auf Seite 10)



Getrennt detektierbare Signale des Versuchsaufbaus

#### Neues aus Forschung und Entwicklung

Fortsetzung von Seite 1

Benzinverdampfung weiter durchleuchtet

#### INFORMATIONEN

Dr.-Ing. Lars Zigan Durchwahl 85 29770 Lars.Zigan@cbi.uni-erlangen.de

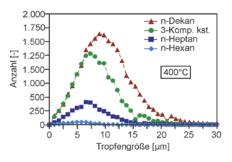
Als Extremfälle werden momentan die gleichzeitige Verdampfung der Kraftstoffkomponenten und die fraktionierte Verdampfung diskutiert. Kommt es zu einer Entmischung der Kraftstoffbestandteile, so verdampfen zunächst die leichtflüchtigen Fraktionen und mischen sich mit der Frischluft. Schwersiedende Bestandteile bleiben länger im Tropfen zurück und bestimmen so die Eindringtiefe der Flüssigphase in den Brennraum.

Um das Ausbreitungsverhalten diskreter dampfförmiger Kraftstoffkomponenten im Brennraum zu charakterisieren, wurden optische Messtechniken und numerische Simulationen eingesetzt. Als Kraftstoffe wurden n-Alkane gewählt, da diese zu einem großen Anteil im Ottokraftstoff enthalten sind, aber auch einen breiten Bereich der Viskosität, Dichte, Oberflächenspannung und Dampfdruck abbilden. Ein 3-Komponentengemisch aus n-Hexan (35 Vol.-%, Siedepunkt 66 °C), n-Heptan (45 Vol.-%, Siedepunkt 99 °C) und n-Dekan (20 Vol.-%, Siedepunkt 174 °C) konnte als einfacher Modellkraftstoff für Benzin qualifiziert werden. Dieser kann die wesentlichen Sprayprozesse eines Ottokraftstoffs wie Zerstäubung, Tropfendispersion und Verdampfung exakt nachbilden.

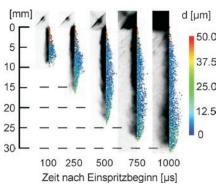
Die Sprays wurden in einer optisch zugänglichen Einspritzkammer unter hohem Gegendruck (15 bar) und hoher Umgebungstemperatur (400 °C) untersucht. Das Spray einer Mehrlochdüse (Einspritzdruck 100 bar) wurde mit den optischen Messtechniken Mie-Streuung und der Phasen-Doppler-Anemometrie untersucht. Zudem erfolgte die Simulation der Einspritzstrahlen mit dem 3D-Strömungslöser OpenFoam 1.5. Im Modell wurden sämtliche Sprayprozesse wie Tropfenzerfall, Kollision und turbulente Tropfendispersion berücksichtigt sowie die Verdampfung von Mehrkomponentenkraftstoffen implementiert.

Das Verdampfungsverhalten des 3-Komponentenkraftstoffs im Verhältnis zu den Einzelkomponentenkraftstoffen ist in Bild unten Mitte mit Hilfe der gemessenen Tropfengrößenverteilungen im Spray dargestellt. Hier wird deutlich, dass für den 3-Komponentenkraftstoff viel mehr Tropfen die Messebene erreichen als für den Leicht- und Mittelsieder. Die Tropfengrößenverteilung des 3-Komponentenkraftstoffs liegt zwischen n-Heptan und n-Dekan, die kleinen Tropfen bis 5,7 µm sind identisch für n-Dekan und den 3-Komponentenkraftstoff. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass womöglich die leichtflüchtigen Komponenten schneller verdampfen und n-Dekan im Tropfen zurückbleibt. Vergleicht man die abgeschätzte Verdampfungsrate des 3-Komponentenkraftstoffs und den molekularen Diffusionskoeffizienten des Gemischs, welcher die interne Mischung der Komponenten im Tropfen widerspiegelt, so ergeben sich ähnliche Zeitskalen für diese beiden Prozesse. Dies zeigt, dass der Verdampfungsvorgang zwischen den Grenzfällen der fraktionierten Verdampfung (langsame Verdampfung im Vergleich zur Mischung im Tropfen) und der gleichzeitigen Verdampfung der Komponenten (keine Entmischung im Tropfen) liegt. Tendenziell kann also eine destillationsähnliche Verdampfung der Komponenten auftreten, was nun durch numerische Simulationen dargestellt werden soll.

Der numerische Einspritzstrahl wurde mit experimentellen Ergebnissen kalibriert, siehe Bild oben. Aus der sehr ähnlichen Sprayform wird ersichtlich, dass die Sprayprozesse Zer-



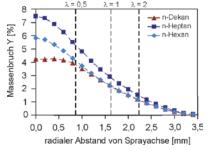
Gemessene Tropfengrößenverteilung des 3-Komponentenkraftstoffs im Vergleich zu Einzelkomponentenkraftstoffen. Messort 15 mm von der Düsenspitze



Gemessene Flüssigphasenverteilung (links) und kalibriertes Spraymodell (rechts) für n-Dekan

stäubung und Verdampfung gut nachgebildet werden können. In dem Bild auf Seite 1 oben sind die Dampfverteilungen der Einzelbestandteile des 3-Komponentengemischs in der Spraykeule dargestellt. Hier wird bereits eine Schichtung der Komponenten in axialer Richtung deutlich. Der Leichtsiederanteil verdampft früher und ist in Düsennähe und vor allem im Sprayzentrum verteilt, während hohe Dampfanteile der schwerflüchtigen Komponente hauptsächlich an der Sprayfront zu finden sind. Bei Wandkontakt des Sprays würde dies dort zu einer Anhäufung der Schwersieder mit niedrigen Oktanzahlen führen, was ungewollte Selbstzündungen an diesen heißen Flächen hervorrufen kann. Interessant ist nun auch, inwieweit sich eine Schichtung der Komponenten im Zündkerzenbereich äußert und die Zündfähigkeit beeinflusst, siehe Bild unten rechts. Auch hier zeigt sich eine Fraktionierung der Komponenten, wobei der Mittelsieder n-Heptan am weitesten in Richtung Zündkerze diffundiert und somit die lokale Luftzahl und Zündfähigkeit bestimmt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der vorgeschlagene 3-Komponentenkraftstoff einen guten Kompromiss aus realistischem Verhalten und wenigen diskreten Komponenten darstellt. Um auch zu klären, welche Kraftstoffeigenschaften die Zerstäubung dominieren, werden momentan Untersuchungen zur Düseninnenströmung und zum Stahlzerfall durchgeführt.



Radiale Dampfkomponentenverteilung im Spray des 3-Komponentenkraftstoffs, im Abstand von 15 mm von der Düsenspitze entlang einer radialen Linie

# EHRENDOKTORWÜRDE DER UNIVERSITÄT MARIBOR (SLOVENIEN) FÜR PROF. DR.-ING. ALFRED LEIPERTZ

— An ihrem DIES ACADEMICUS (19.09.2011) hat die Universität Maribor die Ehrendoktorwürde (Doctor Honoris Causa – Dr. h.c.) verliehen an Herrn Prof. Dr.-Ing. Alfred Leipertz – Inhaber des Lehrstuhls für Technische Thermodynamik unserer Universität und Koordinator der im Rahmen der deutschen Exzellenzinitiative in 2006 eingerichteten Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies – in Anerkennung seiner besonderen wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der optischen Messtechnik und seines Engagement bei der Entwicklung der Forschungsaktivitäten der Fakultät für Energietechnik, dem Wissenstransfer und der internationalen Zusammenarbeit.

Anders als an der Universität Erlangen-Nürnberg wird an der Universität Maribor die Ehrendoktorwürde auf Vorschlag einer Fakultät vom Rektor aufgrund eines Beschlusses des Senats der Universität vergeben, und nicht direkt von einer Fakultät (deshalb Verleihung am DIES ACADEMICUS).



## DR.-ING. INGO SCHMITZ GEHT NACH SIEGEN

- Dr.-Ing. Ingo Schmitz hat zum 01.11.2011 den LTT Erlangen verlassen und ist Herrn Prof. Thomas Seeger an den Lehrstuhl für Technische Thermodynamik der Universität Siegen gefolgt. Ingo Schmitz war seit Absolvierung seiner Diplomarbeit im Juli 1999 fester Bestandteil des LTT als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe "Motorische Verbrennung". Er promovierte am 07. Juli 2006 über das Thema Flash-Boiling bei der Benzindirekteinspritzung ("Untersuchungen zum Einfluss von Druck und Temperatur auf die Spraycharakteristik bei der Benzin-Direkteinspritzung") und war seit 2006 als Oberingenieur am LTT sowie seit 2007 als Mentor und Tutor im Elite-Masterprogramm "Advanced Optical Technologies" (MAOT) der Universität Erlangen-Nürnberg tätig. Dr. Schmitz war schon vor seiner Ernennung zum Oberingenieur der "Ingenieur für Alles" am LTT, der für alle Anliegen der wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter immer ein offenes Ohr hatte. Wir möchten diese öffentliche Stelle hier nutzen, ihm für seinen hohen Leistungswillen und enormen Einsatz in den vergangenen 13 Jahren zu danken. Wir wünschen ihm viel Erfolg und Glück auf allen seinen weiteren Wegen!







































## MOTORISCHE VERBRENNUNG

— Der Lehrstuhl für Technische Thermodynamik der Universität Erlangen-Nürnberg veranstaltet alle zwei Jahre zusammen mit dem Haus-der-Technik, Essen, diese Tagnung mit dem Schwerpunkt der motorischen Verbrennung. Die wissenschaftliche Leitung und Organisation lag wie immer in den Händen von Professor Dr.-Ing. Alfred Leipertz.

In acht Sitzungen und einer während der gesamten Veranstaltung parallel zu den Vorträgen laufenden Poster-Session wurden von kompetenten Vertretern aus der Automobilindustrie, deren Zulieferern und aus einschlägigen Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen insgesamt 45 Beiträge präsentiert zu folgenden Themen:

• Dieselmotor I

(Vorsitz Prof. Merker, U Hannover) mit Schwerpunkten Einspritzvorgang, Emissionsreduktion und Messtechnik

Gasmotoren

(Vorsitz Prof. Schwarz, BMW AG München) mit Gemischbildung, Zündung und Verbrennung

• Dieselmotor II

(Vorsitz Dr. Corcione, Instituto Motori, Neapel) mit Schwerpunkten Komfortsteigerung, Steuerung und Zündung

Kraftstoffe

(Vorsitz Prof. Eichelseder, TU Graz) mit Eigenschaften alternativer Kraftstoffe und Brennverfahren

- Modellierung und numerische Simulation (Vorsitz Prof. Wensing, U Erlangen) mit Spraydynamik, Emission und Verbrennung
- Ottomotor

(Vorsitz Prof. Gehringer, TU Wien) mit Messtechnik und Sprayverhalten sowie Wandbenetzung bei Direkteinspritzung

- Moderne Brennverfahren (Vorsitz Miles, PhD, Sandia, USA) mit Schwerpunkt HCCI-Motor
- und Rußbildung Einspritzung

(Vorsitz Prof. Leipertz, U Erlangen) mit Experimenten und Modellierung zu Sprayverhalten







Zu Beginn der Veranstaltung wurde zum fünften Male der von den Teilnehmern auf der letzten Veranstaltung im Jahre 2009 gewählte "Bester Vortrag" prämiert. Urkunde und Prämie (Gutschein zur kostenlosen Teilnahme an den folgenden drei Veranstaltungen) wurden von Herrn Prof. Leipertz ausgehändigt an

#### Herrn Professor M. Gavaises,

City University London

#### "Advances in cavitation research in fuel injection systems"

Wie auch in den vergangenen Jahren stieß die Veranstaltung wieder auf großen Zuspruch unter den Teilnehmern. Es hat sich wieder gezeigt, dass die gewählte Struktur – eine große Informationsdichte mit vielen, relativ kurzen Beiträgen ohne Parallelsitzung und mit durchgehender Postersession weiterhin eine hohe Akzeptanz findet und eine erfolgreiche Fortführung der Veranstaltungsreihe in den Folgejahren erwarten lässt.

Der zur Veranstaltung herausgegebene Tagungsband beinhaltet auf fast 600 Druckseiten alle Beiträge und ist zu beziehen über die Firma

ESYTEC GmbH, Am Weichselgarten 6 in 91058 Erlangen

Informationen zu folgenden Tagungen sind auf der Homepage des LTT-Erlangen unter http://www.ltt.uni-erlangen.de abrufbar.













































# YOUNG RESEARCHER AWARD NEUER KOOPERATIONSPARTNER













#### Erlanger Exzellenz-Graduiertenschule vergibt Nachwuchspreis in Höhe von 100.000 Euro an Optik-Forscher

- Die Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies (SAOT) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg verlieh am 20. Mai 2011 bereits zum vierten mal den mit 100.000 Euro dotierten Young Researcher Award in Advanced Optical Technologies, einen Forschungspreis für Nachwuchswissenschaftler. Preisträger ist der Wissenschaftler Prof. Zeev Zalevsky, PhD, von der Bar-Ilan Universität in Israel. Der Rektor der Universität Erlangen-Nürnberg, Prof. Dr. Karl-Dieter Grüske, übergab den Preis bei einer Feierstunde in der Aula des Erlanger Schlosses. Prof. Dr. Wolfgang Sander vom Max-Born-Institut in Berlin und Vorsitzender der Deutschen Physikalischen Gesellschaft sprach als Festredner über "European Research Activities on High Power Attosecond Lasers". Die Laudatio wurde vom Sprecher der SAOT, Prof. Dr. Alfred Leipertz, gehalten.

Mit dem SAOT-Forschungspreis ehrt die Erlanger Graduiertenschule den 40-jährigen Forscher für seine zahlreichen exzellenten Beiträge im Bereich der optischen Technologien.

Zeev Zalevsky ist Professor an der Bar-llan Universität in Israel. Der Schwerpunkt seiner Forschung richtet sich auf die Verbesserung der örtlichen Auflösung bildgebender Messverfahren, insbesonder im Hinblick auf biomedizinische Anwendungen. Darüber hinaus beschäftigt er sich hauptsächlich mit Nanophotonik, Siliziumphotonik und optischen Elementen zur Laserstrahlformung durch gezielte Lichtbeugung sowie mit Lichtleitern. Außerdem ist er Editor mehrerer Fachzeitschriften auf dem Gebiet der optischen Technologien.



#### SAOT geht Kooperation mit Russischem Institut MIET zur Förderung des Double-Degree-Abkommens ein

-Vom 10.-14. Oktober 2011 fand in Erlangen die 7. Russian Bavarian Conference on Biomedical Engineering statt, auf der mehrere Beiträge von SAOT-Mitgliedern vorgestellt wurden und an deren Organisation und Durchführung auch der SAOT-Kooperationspartner "MIET" (National Research University for Electronic Technology Moscow) beteiligt war. Der SAOT-MIET-Kooperationsvertrag war im Sommer von dem MIET- Vizepräsidenten Prof. Umnyashkin - auf dem Foto in der Mitte und dem SAOT-Koordinator Prof. Leipertz - auf dem Foto links unterzeichnet worden. Auf dem während der Konferenz aufgenommenen Foto ist rechts der Principal Inverstigator der SAOT und derzeitige Vizepräsident für Forschung der Universität Erlangen-Nürnberg, Prof. Hornegger, abgebildet. Die Kooperation MIET-SAOT soll unter anderem mit einem Duoble-Degree-Abkommen zur gleichzeitigen Erlangung eines Doktorgrades an beiden Universitäten fortgesetzt werden.

# graduate school in advanced optical technologies

# T 12. INTERNATIONALER WORKSHOP

on Optical Metrology: "Optical Engine Diagnostics"



#### Internationale Experten zu Gast in Erlangen

- Am 28. und 29. März 2011 fand der zwölfte internationale Workshop der SAOT in Erlangen statt, diesmal auf dem Gebiet der optischen Messtechnik. Unter dem zentralen Thema "Optical Engine Diagnostics" wurden verschiedene optische Messmethoden zur Untersuchung von Prozessen in Verbrennungsmotoren vorgestellt. Wie auch bei vorangegangenen Workshops konnten wieder zahlreiche internationale Kapazitäten auf ihrem Fachgebiet für interessante und richtungsweisende Vorträge gewonnen werden. Neben den Fachvorträgen wurden den Teilnehmern eine Führung durch die Labore des LTT sowie des LTT-Prüfzentrums in Nürnberg geboten. Zur Auflockerung der Veranstaltung wurden unterhaltsame Abendprogramme in Erlangen und Nürnberg durchgeführt.

Die Themen waren im Einzelnen:

#### Zigan, Lars - University of Erlangen-Nuremberg, Germany: "Analysis of Fuel Property Effects on Jet Breakup of a DISI Injector by Microscopic Mie Imaging"

#### Wang, Jin - Argonne National Laboratories, USA: "Visualizing Near-Nozzle Morphology of Diesel and Gasoline Sprays using Ultrafast X-ray Microimaging"

#### Gavaises, Manolis - City University London, UK: "Transient and Mean Cavitation Structures in Diesel Injectors"

#### Lai, Ming-Chia - Wayne State University, Detroit, USA: "Spray Visualization of Automotive Injectors and their Implication to Design Improvement"

#### Hardalupas, Yannis - Imperial College London, UK: "Optical connectivity technique for studies of primary atomisation of liquid jets"

#### Corcione, Felice - CNR-Instituto Motori, Naples, Italy: "Optical Investigation of Premixed Low-temperature Combustion of Fuel Blends in Compression Ignition Engines"

Miles, Paul - Sandia National Laboratories, Livermore, USA: "Spectrally-resolved Multi-photon CO and UHC LIF Diagnostics in Engines"

#### Sick, Volker - University of Michigan, Ann Arbor, USA: "Proper Orthogonal Decomposition Analysis of High-Speed Imaging Data for IC Engine Research"

Peterson, Benjamin - Sandia National Laboratories, USA: "Jet and Engine Flow Studies Applying Ruby and Rare Earth Phosphor Particles"

#### Lutz, Michael - ESYTEC GmbH, Erlangen, Germany: "The LTT High-Temperature/High-Pressure Injection and Combustion Chamber"

#### Graham Wigley - Loughborough University, UK: "Design Criteria for the Lotus Optical Engine"

#### Graham Wigley - Loughborough University, UK:

"Image Processing and Phase Doppler Data Analysis Techniques for Understanding the Interaction of Multiple Transient Sprays" ¬



























Wissenschaft für Nachtaktive: Samstag, 22. Oktober 2011

Die Lange Nacht der Wissenschaften in Nürnberg / Fürth / Erlangen am LTT-Erlangen unter dem Motto "Messen mit Lasern im Alltag der Thermodynamik"

### DIE LANGE NACHT DER WISSENSCHAFTEN 2011





- Fragen, Staunen und Wissenschaft hautnah erleben: Das konnten wissbegierige Nachtaktive am Samstag, 22. Oktober 2011, von 18.00 bis 1.00 Uhr im Großraum Nürnberg-Fürth-Erlangen. Bei der fünften Langen Nacht der Wissenschaften seit 2003 konnten sich Erwachsene und Kinder in den wissenschaftlichen Einrichtungen der Region über aktuelle Forschung informieren. Auch der LTT-Erlangen beteiligte sich wieder an dem Großereignis in Erlangen und konnte die Besucher in anschaulichen Versuchen mit moderner, optischer Messtechnik in aktuellen Forschungsgebieten der Thermodynamik begeistern. Diese erstreckten sich von der Motormesstechnik und der Strömungs- und Verbrennungsforschung über die Wärme- und Energietechnik bis hin zur Stoffdatenforschung.

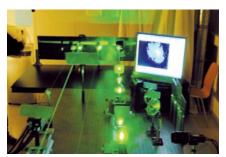
Die vorgestellten Versuche waren im Einzelnen:

- Wechselwirkung von Licht mit Materie
- Alkoholdetektion in der Atemluft
- Strömungsfeld eines Haartrockners
- Ausbreitung eines Haarsprays
- Gläserner Motor
- Zähmung eines Feuers
- Warum Whiskey die Kehle gut ölt

Auch die traditionelle Cocktailbar war ein gut besuchter Anlaufpunkt, wo man zusammen mit den Forschern nicht nur den Wissensdurst stillen konnte. Das große Interesse am Angebot des LTT-Erlangen zeigte sich auch in der Besucherzahl, die mit 450 erneut über dem Durchschnitt aller angebotenen Veranstaltungen lag

















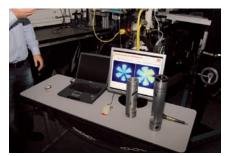




Die Lange Nacht der Wissenschaften in Nürnberg / Fürth / Erlangen am LTT-Erlangen unter dem Motto "Messen mit Lasern im Alltag der Thermodynamik"



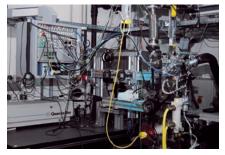
















# PROFESSOR STEFAN WILL ZUM 1. MÄRZ 2012 NEUER ORDINARIUS AM LTT

|- Am 1. März 2012 wird Herr Prof. Dr.-lng. Stefan Will, seit 2002 Leiter des Fachgebietes Technische Thermodynamik an der Universität Bremen, in einer vorgezogenen Regelung der Nachfolge von Prof. Alfred Leipertz zunächst in einer zeitweiligen Parallelbesetzung als Ordinarius für Technische Thermodynamik an der Universität Erlangen-Nürnberg seinen Dienst antreten. Herr Prof. Will ist mit dem LTT Erlangen gut vertraut, da er vor seinem Weggang nach Bremen im Jahr 2002 bereits über zehn Jahre am LTT tätig war. Die Mitarbeiter des LTT freuen sich, dass mit ihm eine international anerkannte Persönlichkeit den LTT leiten wird und so die Qualität der wissenschaftlichen Arbeit am LTT und die Ausbildung in der Thermodynamik in Erlangen weiterhin auf hohem Niveau gewährleistet sein werden. Herr Prof. Will wird in der nächsten Ausgabe der LTT-Aktuell ausführlicher vorgestelltwerden.



#### Neues aus Forschung und Entwicklung

Fortsetzung von Seite 1

Ein Einblick in die Partikelherstellung im Supercritical Antisolvent Prozess (SAS)

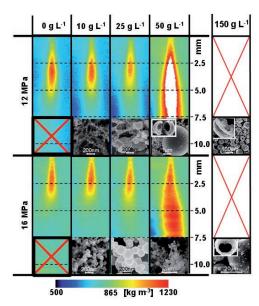
#### INFORMATIONEN

Dr.-Ing. Andreas Bräuer Durchwahl 85 29783 ab@ltt.uni-erlangen.de

Die SAOT Arbeitsgruppe Applied Raman Scattering Laboratory, in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Prozessmaschinen und Anlagentechnik (iPAT), forscht bereits seit einigen Jahren federführend an der Entschlüsselung und Modellbildung der entscheidenden Einzelschritte der Partikelbildung im SAS Prozess. Da der untersuchte Prozess allerdings ein Hochdrucksprühprozess ist, bei dem ein Behälterdruck bis zu 30 MPa vorliegt, ist eine visuelle Beobachtung nur durch entsprechende apparative Vorkehrungen möglich. Der Hochdruckbehälter ist daher mit drei optischen Zugängen versehen, um verschiedenste (laser-) optische In-situ-Untersuchungen durchführen zu können.

Die über die letzten Jahre hinweg entwickelte und verfeinerte kombinierte Anwendung elastischer und inelastischer Streulichtmesstechniken (Raman Imaging) erlaubt einen berührungslosen Einblick in die komplexen und hochdynamischen Teilprozesse der Partikelbildung im SAS Prozess (Abbildung Seite 1 unten). Neueste Erkenntnisse aus diesen Messungen ermöglichen eine gezielte Korrelation der generierten Partikelmorphologie mit den entscheidenden Teilschritten des Partikelentstehungsmechanismus (Abbildung oben). Dies ist in dieser umfassenden Art und Weise, nach unserem Wissen, keiner anderen Forschungsgruppe auf dem Gebiet der überkritischen Partikeltechnologie möglich und zeigt somit die einzigartigen Möglichkeiten auf, welche diese Messtechnik bietet.

So konnte unter anderem gezeigt werden, dass die generierte Partikelmorphologie durch zwei konkurrierende Zeitskalen maßgeblich beeinflusst wird. Diese Zeitskalen sind die Zeit für den Abbau der flüssig/fluid Grenzfläche der eingedüsten Lösung (Solvent und Wertstoff) sowie die Zeit der Partikelbildung (Ausfallen des Wertstoffs). Je nach eingestellten Betriebsbedingungen kommt es zur Partikelbildung in einem einphasigen überkritischen Gemisch, in einem Zweiphasengebiet kurzer Lebenszeit oder einem Zweiphasengebiet langer Lebenszeit. Im ersteren Falle ist die Zeit des Grenzflächenabbaus kürzer als die Zeit bis zum Beginn der Partikelbildung und die Partikel fallen in einer einphasigen überkritischen Mischung als Nanopartikel aus. Wenn sich die Länge der beiden konkurrierenden Zeiten nicht wesentlich unterscheidet, kommt es zur Bildung von Mikropartikeln, welche aus den noch kurzzeitig vorhandenen Tropfen entstehen. Hohlkugeln werden generiert, wenn

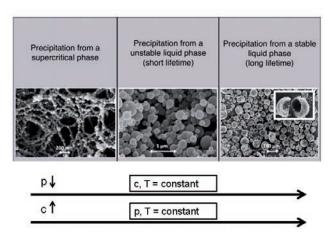


Korrelation von erzeugten Partikelmorphologien und partiellen Dichteverteilungen von  ${\rm CO}_2$  im Behälter während der Eindüsung

die flüssige Phase eine lange Lebenszeit hat und die Partikelbildung bereits beginnt, obwohl die Flüssigphase noch nicht abgebaut ist. Die Hohlkugeln verbleiben somit als "Skelett" der Tropfen.

Der Abbau der Grenzfläche kann über die Messung der partiellen Dichteverteilung von  $\mathrm{CO}_2$  bestimmt werden. Dabei verwendet man die Annahme, dass bei Mischungen von organischen Lösungsmitteln und  $\mathrm{CO}_2$  bei erhöhtem Druck die partielle Dichte von  $\mathrm{CO}_2$  in der flüssigen Phase höher ist als die partielle Dichte von  $\mathrm{CO}_2$  in der Gasphase. Die Zeit der Partikelbildung kann über die Detektion von elastischem Streulicht, welches an Phasengrenzen auftritt, bestimmt werden (Abbildung oben).

Durch die Kombination von mittels Rasterelektronenmikroskopie analysierten Partikeln mit den Ergebnissen der Gemischbildungsanalyse ist es möglich, ein umfassendes Zeitskalenmodell aufzustellen (Abbildung unten). Durch dieses Modell kann das in der Literatur bereits vorhandene, auf dem binären Phasengleichgewicht von Lösemittel und Antisolvent beruhende rein empirische Modell der Partikelbildung im SAS-Prozess um wesentliche Faktoren erweitert werden. Die Produktion von "Tailor Made Particles" mittels des Supercritical Antisolvent Prozess ist anhand dieser neuen Erkenntnisse und des aufgestellten Modells somit möglich.



SAS Zeitskalenmodel und Einfluss der Betriebsbedingungen auf die generierten Partikelmorphololgien

#### Master of Science- und Diplomarbeiten

Seit der Ausgabe 25 (Februar 2011) der LTTaktuell abgeschlossene Diplom- und Masterarbeiten am LTT-Erlangen:

- |— Dipl.-Ing. **Johannes Hackner** Mixing Measurements at Gas Turbine Combustion systems Using Laser-Induced Fluorescence (22.02.2011) in Kooperation mit Siemens AG ¬
- |- Dipl.-Ing. **Simon Kobler** Optische Untersuchung von Sprayverbrennungs prozessen (10.03.2011)
- |—Dipl.-Ing. **Sebastian Henkel** A Parametric Study about the Effect of Fractal-Grid generated Turbulence on the Structure of Premixed Flames (20.03.2011) in Kooperation mit dem Imperial College London
- Dipl.-Ing. **Dominik Müller** Untersuchung des Einflusses der Ladungsbewegung auf Gemischbildung und Verbrennung bei DI-Ottomotoren unter Einsatz optischer Messtechnik (30.03.2011)
- I—Dipl.-Ing. **Stephan Witting** Wärmeübertrager aus Kunststoffrohren (PE-Xa) zur Temperierung von Verkehrsflächen thermische und mechanische Wechselwirkung zwischen Rohr und Baukörper (30.05.2011) in Kooperation mit Rehau AG&Co
- |— Dipl.-Ing. Florian Mehringer Untersuchung von Partikelfiltern als Abgasnachbehandlungskonzept zur Partikelreduktion von Ottomotoren (01.06.2011) in Kooperation mit der BMW Group
- Dipl.-Ing. **Thomas Gallinger** Experimentelle Bestätigung der Übersättigung mittels elastischer und inelastischer Streulichtvorgänge zur Entschlüsselung des Partikelentstehungsprozesses im SAS-Verfahren (14.06.2011)
- Dipl.-Ing. **Michael Dlugosch** Entwicklung eines Modells zur Eiseneintragsberechnung aus dem Wasserabscheider-Zwischenüberhitzer in den Wasser-Dampf-Kreislauf eines Dampfkraftwerkes (28.07.2011) in Kooperation mit Areva NP
- Dipl.-Ing. **Bernhard Herrmann** Entwicklung einer Auswahlroutine für die Bestimmung des getrimmten Mittelwertes zur optimierten Charakterisierung der Wärmefreisetzungsrate in laminaren Flammen (29.07.2011)

- |- Dipl.-Ing. **Lisa Hopf** Determination of Mutual Diffusivities for Ionic Liquid Solvent Mixtures by DLS with Simultaneous Concentration Measurements by Raman Scattering (01.08.2011)
- |— Dipl.-Ing. **Thomas Koller** Molecular simulation and experimental investigation of imidazolium based tetracyanoborate ionic liquids: Thermodynamic and transport properties (01.08.2011) in Kooperation mit dem Petroleum Institute Abu Dhabi
- |— Dipl.-Ing. **Raik Prüller** FIRE-verbrennungsrechnung mit Vergleich von empirisch aufgesetztem Spray und Nozzle Flow File (29.08.2011) in Kooperation mit MAN AG
- |- Dipl.-Ing. **Martin Krämer** Experimentelle Rußdiagnostik im Dieselverfahren unter Anwendung optischer Messtechniken (29.08.2011)
- Dipl.-Ing. **Benedikt Kirchdorfer** Schwingdrahtviskosimeter mit integriertem Einsenkkörper-Dichtemessverfahren Messprinzip und Optimierung für korrosive Fluide sowie experimentelle Untersuchungen an n- und Isobutan (01.09.2011)
- |- Dipl.-Ing. **Simone Hürner** Numerische Simulation des Druckverlustes und des Wärmeüberganges auf strukturierten Oberflächen (01.09.2011) in Kooperation mit den Wieland-Werken AG
- |- Dipl.-Ing. **Andreas Kögler** Untersuchung verfahrenstechnischer Prozesse mittels Streulichttechniken (07.09.2011)
- |- Dipl.-Ing. **Richard Frisch** Speisewasserpumpenantriebskonzepte in Dampfkraftwerken (08.09.2011) in Kooperation mit Siemens AG
- |- Dipl.-Ing. **Heiko Krauß** Untersuchung des Einflusses eines 1-ATL-Konzeptes auf die motorischen Kennwerte eines V8 Gasstationärmotors (08.09.2011)
- |— Dipl.-Ing. **Bernhard Seubert** Optimierung eines Konzeptes zur autarken Meerwasserentsalzung unter Nutzung von Solarthermie, ORC- und MVC-Verfahren (30.09.2011)

#### Personalia » Auszeichnungen

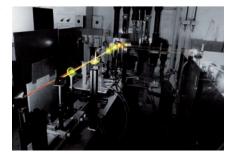
|- Der Student Award 2010 in Advanced Optical Technologies für das Topic "Optical Metrologie" der Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies ging an Dipl.-Ing. Kristina Noack für eine Veröffentlichung ihrer Forschungsarbeiten in der Zeitschrift Physical Chemistry Chemical Physics im Jahre 2010



I—Der Best-Poster-Award 2011 wurde beim Jahrestreffen des Fachausschusses Hochdruckverfahrenstechnik am 10.–11. März in Maribor, Slowenien, an den in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Prozessmesstechnik des LTT um Dr.–Ing. Andreas Bräuer entstandenen Beitrag von Dipl.– Ing. Matthias Rossmann verliehen.



I—Bei dem jährlich stattfindenden Foto-Wettbewerb des Department CBI der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg konnte Dipl.-Ing. Sascha Engel mit seiner Aufnahme eines CARS-Messaufbaus inklusive Laserstrahlen aus einem Labor am LTT den mit 400.-EUR dotierten ersten Preis gewinnen.



#### **IMPRESSUM**

Tel. +49-9131-8529779

Tel. +49-9131-85 29900 den Inhalt: Fax +49-9131-85 29901 Prof. Dr.-Ing. A. Leipertz

Verantwortlich für

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik Am Weichselgarten 8 91058 Erlangen

1000 Exemplare

#### Personalia » Auszeichnungen

|- Das gemeinsam mit Kollegen anderer Forschungseinrichtungen (Sandia National Laboratories & University of Aberdeen) von Yi Gao, M.Sc., und Prof Dr.-Ing. Thomas Seeger verfasste und auf dem 33rd International Symposium on Combustion in Beijing im August 2010 präsentierte Paper "Picosecond time.resolved pure-rotational coherent anti-Stokes Raman spectroscopy in sooting flames" wurde vom Symposium. Programmkomitee im März 2011 als das "Distinquished Paper on Diagnostics" gewählt und ausgezeichnet und wird damit als Kandidat für den Silver Medal Award des Combustion Institute nominiert.

Am 20. Oktober 2011 wurde der **STAEDTLER-Promotionspreis** 2010 Herrn Dr.-Ing. Michael Rausch für seine herausragende Doktorarbeit "Grundlegende Untersuchungen zur Ursache von Tropfenkondensation an durch lonenimplantation modifizierten Metalloberflächen" in einer Feierstunde bei den STAEDTLER-Werken in Nürnberg verliehen.

#### Personalia » Promotionen

— Dipl.-Ing. (FH) Oliver Böcker promovierte am 14. April 2011 mit dem Thema "Thermodynamische Entwicklung und Analyse einer nach den Anforderungen der Kreisprozessabschnitte gestalteten Hubkolbenbrennkraftmaschine".

#### Personalia » Promotionen

- |- Am 18. April 2011 konnte Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. (FH) Achim Gotterbarm seine Promotion mit dem Thema "Untersuchung des Wärmeübergangs und des Bündeleffekts an Rippenrohren mittels numerischer Strömungssimulation" erfolgreich abschließen.
- Mit dem Thema "Automatisierte Plattenapparatur zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Fluiden und Feststoffen" konnte am 28. Juli 2011 Dipl.-Ing. Kamil Krzeminski seine Promotion erfolgreich abschließen.
- Dipl.-Ing. Micha G. Löffler schloß am 14. Juni 2011 seine Promotion mit dem Thema "Entwicklung einer planaren Lasermesstechnik zur simultanen Temperatur- und Konzentrationsmessung bei Gemischbildungsprozessen im Ottomotor" erfolgreich ab.
- -Am 08. Juli 2011 promovierte Lars Zigan, M. Sc., mit dem Thema "Laserdiagnostische und numerische Untersuchungen zum Einfluss der Kraftstoffzusammensetzung auf die Sprayausbildung bei der Benzindirekteinspritzung".
- |- Dipl.-Ing. Andreas Birkigt konnte am 27. Oktober 2011 seine Promotion mit dem Thema "Analyse von Vorentflammungsphänomenen an hoch aufgeladenen Ottomotoren mit Direkteinspritzung" erfolgreich abschließen.

## KURZLEHRGANG VERBRENNUNGSTECHNIK

Vom 13. bis 16. März 2012 findet nun zum siebten Mal der Kurzlehrgang "Grundlagen und moderne Anwendungen der Verbrennungstechnik" an der Universität Erlangen-Nürnberg statt. Die Veranstaltung gibt einen Überblick zu den Themengebieten Grundlagen der Verbrennung, Technische Verbrennungssysteme, Messtechnische Entwicklungen und Einsatz der Numerischen Simulation.

Der Kurzlehrgang richtet sich insbesondere an wissenschaftliche und technische Mitarbeiter sowie Doktoranden, aber auch erfahrene Praktiker von Firmen aus der Energie- und Umweltwirtschaft sowie der Luftfahrt-, Automobil-, Chemie-, Verfahrenstechnik und Maschinenbauindustrie, die mehr über die Grundlagen und Methoden der Verbrennungstechnik lernen möchten bzw. ihr Wissen insbesondere in den Bereichen numerische Verbrennungstechnik und Laserdiagnostik vertiefen wollen. Wir laden Sie und Ihre Kolleginnen und Kollegen gerne zu diesem Lehrgang ein.

Lehrgangsleitung:

Prof. Dr.-Ing. A. Leipertz und Dr.-Ing. L. Zigan

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik & Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies, Universität Erlangen-Nürnberg

Prof. Dr. F. Dinkelacker

Institut für Technische Verbrennung (ITV), Leibniz Universität Hannover

Weitere Informationen unter: www.ltt.uni-erlangen.de









