AUSGABE 12
AUGUST 2003

Newsletter des
Lehrstuhls für
Technische
Thermodynamik

LTT ERLANGEN aktuell

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

TECHNISCHE FAKULTÄT

Neues aus Forschung und Entwicklung

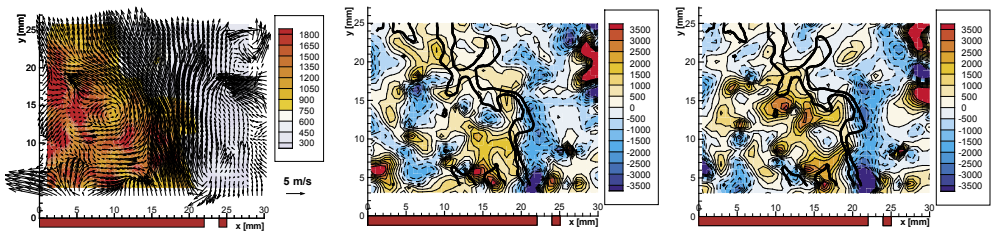
Direkte Bestimmung turbulenter Flüsse in Verbrennungsfeldern

TURBULENTE FLÜSSE IN VERBRENNUNGSFELDERN

|– Eine Berechnung, wie auch ein gezieltes A-priori-Design neuer Verbrennungsverfahren mittels numerischer Simulation kann immer nur so gut sein wie die dafür eingesetzten Modelle. Hier verspricht man sich vor allem von korrelierten Messungen der momentanen Flammen- und Strömungsstrukturen neue Erkenntnisse und detaillierte Aussagen zur Beschreibung auch komplexer turbulenter Flammen. Von besonderem Interesse ist dabei eine simultane Erfassung der Strömungsgeschwindigkeiten zusammen mit der Temperatur, da mittels der zusätzlichen Information über die korrelierte Temperatur eine dichtegewichtete Beschreibung charakteristischer Strömungsparameter und ihre Wechselwirkung mit der Flamme erfolgen kann. Gerade von diesen dichtegewichteten Größen verspricht man sich deutliche Verbesserungen numerischer Simulationsmodelle.

Ziel eines am LTT durchgeführten und von der DFG geförderten 4-jährigen Forschungsvorhabens war daher, die Grundlagen für eine simultane Messung der momentanen Geschwindigkeits- und Temperaturfelder mittels kombinierter Anwendung von gefilterter Rayleigh-Streulichttechniken (FRS-Thermometrie) und Particle Image Velocimetry (PIV) zu erarbeiten. Über diese gemeinsame Anwendung beider Techniken wurde bereits berichtet (**LTT *aktuell*** Nr. 7, Oktober 2000).

Diese neue Simultanmesstechnik zur Bestimmung von Temperatur und Geschwindigkeit wurde nun erstmals erfolgreich in turbulenten Flammen angewendet. Die Messung der momentanen Temperaturstruktur in (*Fortsetzung auf Seite 2*) »



S2 #24: u_{exit} = 5,5 m/s, Φ = 0,7

Exemplarische Einzelschussaufnahmen einer staukörperstabilisierten Methan/Luft-Flamme (S2: u_{exit} = 5,5 m/s, Φ = 0,7). Simultanes Temperatur- und Geschwindigkeitsfeld (Links; Rot-Weiß-Skala: Temperatur [K]), sowie Scherung ε_{12}; (Mitte) und Wirbelstärke ω_{12} (Rechts; beide: Rot-Blau-Skala [s^{-1}] gestrichelt := negative Werte) mit überlagerter Flammenkontur bei 600 und 1200 K (Dicke Linie)

Verbesserung des motorischen Verbrennungsprozesses durch

FLASH-BOILING

|– Sprayuntersuchungen haben gezeigt, dass die Kraftstofftemperatur einen wesentlichen Einfluß auf die Strahlausbreitung und Verdampfung bei Sprays in der Benzindirekteinspritzung hat. Dies zeigt sich besonders bei vorgeheizten Kraftstoffen, die in eine Niederdruckumgebung eingespritzt werden. Diese Bedingungen treten in Motoren mit Benzindirekteinspritzung auf, wenn die Einspritzung im angedrosselten Homogenbetrieb erfolgt.

Untersucht wurden drei Einkomponentenkraftstoffe mit unterschiedlichen Siedepunkten (n-Hexan: T_b = 339 K, iso-Oktan: T_b = 372 K, n-Oktan: T_b = 398 K) und ein nicht-aromatischer Mehrkomponentenkraftstoff (MKSt) (T_b = 303 K – 473 K) unter Variation der Injektortemperatur. Die Untersuchungen fanden in einer optisch zugänglichen Einspritzkammer an einem Hochdruck-Drallinjektor statt unter Verwendung der laserinduzierten (Exciplex-) Fluoreszenz (LI(E)F).

Die Abbildungen (Seite 7) zeigen einen Vergleich von Spraybildern der vier verwendeten Ersatzkraftstoffe, aufgenommen mit einer intensivierten CCD-Kamera zu unterschiedlichen Injektortemperaturen. Dargestellt sind (*Fortsetzung auf Seite 7*) »

Neues aus Forschung und Entwicklung

Fortsetzung von Seite 1

„Direkte Bestimmung turbulenter Flüsse in Verbrennungsfeldern"

Simultane Anwendung der gefilterten Rayleigh-Streulicht-Thermometrie (FRS) und der Particle Image Velocimetry (PIV)

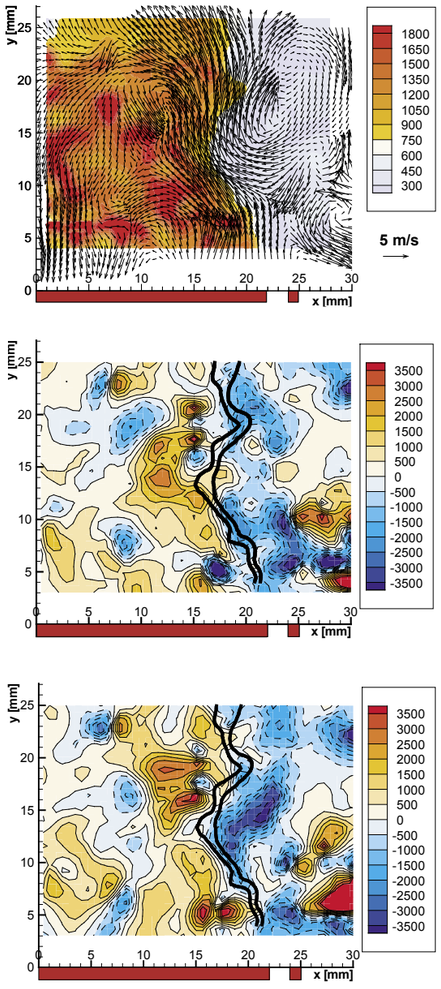
Autor: Dipl.-Ing. Dieter Most

INFORMATIONEN

PD Dr. Friedrich Dinkelacker
Durchwahl 85 29782
fdi@ltt.uni-erlangen.de

S2 #08: u_{exit} = 5,5 m/s, Φ = 0,7

Exemplarische Einzelschussaufnahmen einer staukörperstabilisierten Methan/Luft-Flamme (S2: u_{exit} = 5,5 m/s, Φ = 0,7). Simultanes Temperatur- und Geschwindigkeitsfeld (Oben; Rot-Weiß-Skala: Temperatur [K]), sowie Scherung ε_{12}: (Mitte) und Wirbelstärke ω_{12} (Unten; beide: Rot-Blau-Skala [s^{-1}] gestrichelt := negative Werte) mit überlagerter Flammenkontur bei 600 und 1200 K (Dicke Linie)



Verbindung mit der simultanen Visualisierung des Strömungsfeldes erlaubt nicht nur eine direkte Beobachtung des Einflusses von transienten, kohärenten Wirbelstrukturen und Scherraten auf die lokale Flammenstruktur, sondern ermöglicht auch eine mit dem lokalen Reaktionsfortschritt der Flamme korrelierte Auswertung charakteristischer Strömungsparameter. Mittels der so erhaltenen korrelierten Datensätze momentaner Temperatur- und Geschwindigkeitsfelder ist ferner eine direkte Bestimmung des dichtegemittelten turbulenten Fluxes möglich.

Dabei zeigt sich, dass in der hochturbulenten staukörperstabilisierten Flamme gleichzeitig gradientengerichtete, als auch gegen den Gradienten gerichtete turbulente Transportprozesse in nächster Nähe zueinander auftreten. Ist mit globalen Turbulenz- und Reaktionsparametern keine Korrelation erkennbar, ist diese bei Betrachtung lokaler Größen gegeben. Je nach Verhältnis von lokaler Wärmefreisetzung zur Turbulenzenergie wird dabei der gegen den Gradienten gerichtete Transport verstärkt bzw. geschwächt. Die Berücksichtigung der lokalen Reaktionsorte sowie der momentanen Orte der Wärmefreisetzung ist daher wichtiger Bestandteil bei der Vorhersage des turbulenten Transportverhaltens. Die Ergebnisse unterstreichen damit die Bedeutung der Einbindung einer differenzierten Betrachtung räumlich fluktuierender Reaktionsorte und Strömungswege bei der numerischen Simulation komplexer turbulenter Flammen. ¬

Internationale Kooperationen

|– Ende Januar besuchte **Prof. Mishra** vom Indien Institute of Technology in Guwahati den LTT und hielt einen Vortrag zu seinem Arbeitsgebiet im LTT-Seminar. ¬

|– Besuch der **ECONOS 2003 in Besancon.** Im Rahmen der European Conference on Nonlinear Optical Spectroscopy (ECONOS) waren im März 2003 **Dipl.-Phys. Frank Beyrau**, **Dipl.-Ing. Andreas Bräuer**, **Dipl.-Ing. Anna Malarski** und **Dr.-Ing. Thomas Seeger** zu Besuch in der Université de Franche-Comté in Besancon. In mehreren Beiträgen wurden auf dieser internationalen Konferenz die aktuellen Arbeiten des LTTs auf dem Gebiet der nichtlinearen Ramanspektroskopie vorgestellt und mit anderen europäischen Fachleuten diskutiert. ¬

|– Im Rahmen einer bayerisch-slowenischen Kooperation war im April 2003 Herr **Prof. Marcic** von der Universität Maribor/Slowenien für zwei Wochen am LTT. Ziel dieser Zusammenarbeit ist die Entwicklung und Erprobung eines Berechnungsprogrammes zur Bestimmung der Einspritzstrahlparameter von Common-Rail-Diesel-Einspritzsystemen auf Grundlage von Messungen, die am LTT durchgeführt werden. ¬

|– Der **Dozent Dr.-Ing. Rayko Danailov Stanev** von der Universität für Chemische Technologie und Metallurgie in Sofia/Bulgarien war im Mai 2003 für eine Woche im Rahmen eines ERASMUS/SOKRATES-Programmes am LTT, um Ausbildung und Forschung auf den Gebieten der Wärmetechnik und Verbrennung zwischen Erlangen und Sofia zu koordinieren bzw. zu verbessern. ¬

|– Auf der diesjährigen European Conference on Nonlinear Optical Spectroscopy (ECONOS 2003), die vom 30. März bis 1. April 2003 in Besancon/Frankreich stattfand, wurde Herr **Dr.-Ing. Thomas Seeger** in das Steering Committee der jährlich stattfindenden Konferenz gewählt. Weiterhin wurde beschlossen, die nächste Veranstaltung im Frühjahr 2004 in Erlangen durchzuführen. ¬

|– Am 30. Juni 2003 war **Mr. Akihiko Kakuho** vom Nissan Research Center für einen Tag am LTT und berichtete im LTT-Seminar über „In-cylinder measurement techniques applied to the development of DI gasoline engines". ¬

Internationale Kooperationen

Fortsetzung von Seite 1

„Verbesserung des Verbrennungsprozesses durch Flash-Boiling" Einfluß der Injektortemperatur auf die Sprayausbreitung und Verdampfung bei der Benzindirekteinspritzung.

INFORMATIONEN

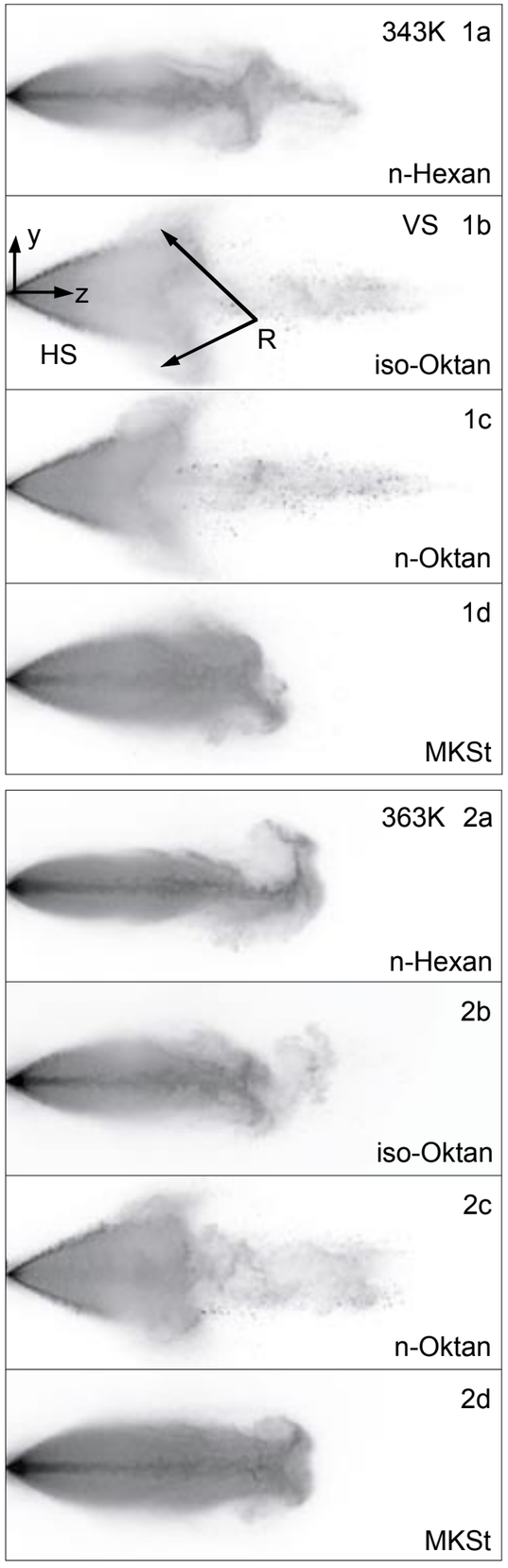
Dipl.-Ing. Ingo Schmitz
Durchwahl 85 29782
is@ltt.uni-erlangen.de

Einzelschussaufnahmen zu einem Aufnahmezeitpunkt von 1,0 ms nach sichtbarem Einspritzbeginn. Die Versuchsbedingungen waren $p_{Kraftstoff}$ = 8 MPa, p_{Kammer} = 50 kPa, T_{Kammer} = 323 K und Δt = 1,5 ms.

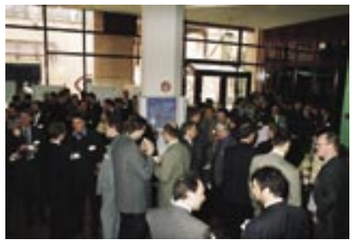
Die Bilder 1a – d der Abbildung zeigen den Sprayzerfall für die Injektortemperatur 343 K. Das Spray bei 1b und 1c kann eindeutig in die Bereiche Vorstrahl (VS), Hauptstrahl (HS) und dem Rezirkulationsgebiet (R) unterteilt werden. Der Vorstrahl zeigt eine schlechte Zerstäubung mit einigen großen Tropfen, im Gegensatz hierzu besitzt der Hauptstrahl eine annähernd homogene Kraftstoffverteilung. Nahe der Düse ist ein Bereich mit hoher Kraftstoffkonzentration erkennbar. n-Hexan (1a) und MKSt (1d) zeigen eine unterschiedliche Spraystruktur gegenüber iso-Oktan (1b) und n-Oktan (1c). Die Hohlkegelstruktur kollabiert zu einem Vollkegel. Dieser Effekt kann auf das Flash-Boiling der Leichtersiederkomponenten zurückgeführt werden. Die Siedetemperatur von n-Hexan liegt unterhalb von 343 K und offensichtlich besteht der Mehrkomponentenkraftstoff aus Komponenten, deren Siedepunkte ebenfalls unterhalb 343 K liegen. Kleine Tropfen folgen der vom Spray induzierten Luftströmung in das Sprayzentrum. Weiter ist in den Bildern 1a und 1d eine zentrale Dampfspur im Spray erkennbar.

Wird die Injektortemperatur um 20 K gesteigert, zeigt iso-Oktan (T_b = 372 K) ebenfalls Flash-Boiling mit einer zentralen Dampfspur. Zusätzlich ist eine Verbreiterung des Vorstrahls bei n-Oktan in y-Richtung erkennbar, wenn die Bilder 1c und 2c verglichen werden. Ebenso nimmt die Anzahl an großen Tropfen in diesem Bereich ab.

Die Untersuchungen zeigen, dass niedrigsiedende Kraftstoffkomponenten den Sprayzerfall durch Flash-Boiling stark beeinflussen, während Höhersiederkomponenten einen Einfluß auf die Sprayausbreitung, wie die Entwicklung des Kegelwinkels und der Eindringtiefe des Hauptstrahls, haben. Prinzipiell ist festzustellen, dass Flash-Boiling zu einer verbesserten Kraftstoffzerstäubung und Verdampfung führt und somit den Verbrennungsprozess unterstützt. ¬

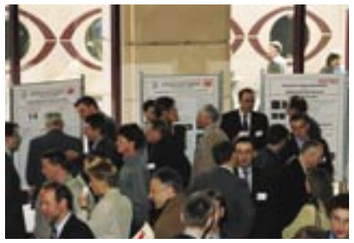


Abbildungen 1a - 1d: Sprayzerfall für die Injektortemperatur 343 K
Abbildungen 2a - 2d: Sprayzerfall für die Injektortemperatur 363 K



von Herrn Dr. rer. nat. B. Block, Volkswagen AG, mit dem Thema „Optische Detektion der Verbrennung des voreingespritzten Kraftstoffs in einem direkteinspritzenden Dieselmotor" gewählt, der auf der nächsten Veranstaltung im März 2005 prämiert werden wird.

Die bei den Teilnehmern parallel zur Wahl des besten Vortrags erneut durchgeführte Befragung zur Gesamtveranstaltung hat wieder gezeigt, dass die gewählte Struktur - eine große Informationsdichte mit vielen, relativ kurzen Beiträgen (ein Hauptvortrag je Sitzung von 30 Minuten und mehrere folgende mit jeweils 20 Minuten inklusive Diskussion) ohne Parallelsitzung und mit Postersession eine weiterhin hohe Akzeptanz findet und eine erfolgreiche Fortführung der Veranstaltungsreihe erwarten lässt. ¬



Tagung im Haus der Technik e. V., München, 18./19. März 2003

Mit 200 Teilnehmern aus Industrie, Behörden und Forschungseinrichtungen wurde nun zum sechsten Male unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. A. Leipertz am 18./19. März 2003 gemeinsam mit dem Haus-der-Technik, Essen, - dieses Jahr in München - die alle zwei Jahre stattfindende internationale Tagung „Motorische Verbrennung - Aktuelle Probleme und moderne Lösungsansätze" durchgeführt.

Aktuelle Probleme und moderne Lösungsansätze

MOTORISCHE VERBRENNUNG

|– Mit sehr guter industrieller Akzeptanz, ausgiebigen Diskussionsphasen und einem hohen Diskussionsniveau wurde die diesjährige Tagung „Motorische Verbrennung - Aktuelle Probleme und moderne Lösungsansätze" am 18./19. März gemeinsam mit dem Haus-der-Technik, Essen - dieses Jahr in München - durchgeführt. 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 42 Beiträge präsentiert zu den Themen

- **Dieselmotor I und II (Vorsitz Dr. Anisits, ehemals BMW Motoren GmbH Steyr und Prof. Eichlseder, TU Graz)** mit Schwerpunkten im Einfluss der Hochdruckeinspritzdüsen auf Gemischbildung und Verbrennung und der Wirkung von Einspritzstrategien, Parametervariationen und der homogenen Dieselverbrennung,

- **Ottomotor I und II (Vorsitz Prof. Spicher, U Karlsruhe und Dr. Kreuter, META)** mit Benzindirekteinspritzung, Variablem Ventiltrieb und kontrollierter Selbstzündung,

- **Gasmotor (Vorsitz Dipl.-Ing. Dingel, IAV)** mit Erdgas- und Wasserstoffmotor,

- **Motorische Partikel (Vorsitz Prof. Boulouchos, ETH Zürich)** mit Fragen zur Bildung, Emission und Abgasnachbehandlung, gleichzeitig aber auch übergeordnetes Querschnittsthema in den anderen Sitzungen der Veranstaltung,

- **Mess- und Prüfstandstechnik (Vorsitz Prof. Leipertz, U Erlangen)** mit Schwerpunkten in der Lasermesstechnik, der Flammendiagnostik und der Rußmesstechnik und

- **Modellierung und Simulation (Vorsitz Prof. Merker, U Hannover)** für Teilprozesse der otto- und dieselmotorischen Verbrennung, des Erdgasmotors und von Teilsystemen bzw. des Gesamtsystems.

Alle wichtigen und derzeit aktuellen Aspekte der aufgezeigten Problematik, von den Einzelprozessen der Brennverfahrensentwicklung, ihrer meßtechnischen Erfassung und modellhaften bzw. simulationstechnischen Bearbeitung bis hin zur Abgasreinigung wurden von kompetenten Vertretern aus Industrie und Forschungseinrichtungen in den 36 mündlichen Präsentationen und sechs Posterbeiträgen vorgestellt und diskutiert.
Als Referenten und Co-Referenten waren vertreten aus der Automobilindustrie Mitarbeiter der Unternehmen AUDI AG, BMW AG, Caterpillar GmbH, DaimlerChrysler AG, Ford AG, GM Opel Powertrain GmbH, Hatz GmbH, MAN Nutzfahrzeuge AG und Volkswagen AG, von den Zuliefer- und Messtechnikunternehmen die Firmen AVL List GmbH, Bosch GmbH, Delphi Coop./Luxemburg, ESYTEC GmbH, EilringKlinger GmbH, FEV GmbH, Mann + Hummel GmbH, META GmbH, NGK Europe GmbH und Siemens VDO Automotive AG und von den einschlägigen privaten und öffentlichen Messtechnik- und Forschungseinrichtungen Mitarbeiter von EMPA Dübendorf/Schweiz, Engineering Center Steyr GmbH St. Valentin/Österreich,

ETH Zürich/Schweiz, IAV Berlin, Institute of Petroleum Processing Krakau/Polen, Instituto Motori Neapel/Italien, Institut Physikalische Hochtechnologie Jena, Montan Universität Leoben/Österreich, RWTH Aachen, RWTÜV Fahrzeug GmbH, TU Graz, Universität Erlangen, Universität Hannover, Universität Heidelberg, Universität Karlsruhe, Universität Rostock und Universität Stuttgart.

Aufgrund der Komplexität aktueller Problemstellungen ist die Notwendigkeit breit angelegter Kooperationen gegeben, was sich in einer Großzahl von gemeinsamen Beiträgen aus mehreren Unternehmen und Forschungseinrichtungen widerspiegelte.

Zu Beginn der Veranstaltung wurde zum zweiten Male der von den Teilnehmern auf der letzten Veranstaltung im Jahre 2001 gewählte **„Bester Vortrag“** prämiert. Urkunde und Prämie (Gutschein zur kostenlosen Teilnahme an den folgenden drei Veranstaltungen) wurden von Herrn Prof. Leipertz ausgehändigt an Herrn Dr.-Ing. G. König (als einen der Coautoren) in Vertretung von

Herrn Dr.-Ing. V. Schwarz,
DaimlerChrysler AG, Stuttgart

für seinen in 2001 gehaltenen Vortrag

„Einfluß von Einspritzverlaufsteuerung und Form der Einspritzdruckverlaufs auf Gemischbildung, Verbrennung und Schadstoffbildung bei Heavy-Duty Dieselmotoren“,

an dessen Entstehung die Coautoren Dr.-Ing. G. König, Dipl.-Ing. M. Blessing und Dipl.-Ing. R. Busch beteiligt waren, denen zwischenzeitlich ebenfalls eine entsprechende Urkunde zugeschickt worden ist. Auf der diesjährigen Veranstaltung wurde von den Teilnehmern zum Abschluss der Tagung der Vortrag

IMPRESSUM

Redaktion & Layout:
Dipl.-Ing. Liv Diezel
Tel. +49-9131-85 29 771
lld@ltt.uni-erlangen.de

Sekretariat:
Tel. +49-9131-85 29 900
Fax +49-9131-85 29 901
sek@ltt.uni-erlangen.de

Verantwortlich für den Inhalt:
Prof. Dr.-Ing. A. Leipertz

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik
Am Weichselgarten 8
91058 Erlangen

Auflage:
1000 Exemplare

Personalia » Neue Mitarbeiter

M.Sc. **Naresh Kumar Aluri** verstärkt zum 1. April 2003 nach Abschluss seines Masterstudiums in Erlangen die LTT-Numerikgruppe um Priv.-Doz. Dinkelacker. ¬

Frisch ausgezeichnet mit dem VDI-Preis für seine Diplomarbeit zur Bestimmung der Gasphasentemperatur in verdampfenden Kraftstoffsprays beginnt Dipl.-Ing. **Andreas Bräuer** zum 1. September seine Tätigkeit in der LTT-Arbeitsgruppe „Motorische Verbrennung" um Oberingenieur Ipp. Neben seiner Leidenschaft zum Angeln wird er alle Anstrengungen unternehmen, sich dem LTT-internen Biketeam anschließen zu dürfen. ¬

Dipl.-Ing. **Sebastian Pfadler** beschäftigte sich während seiner Diplomarbeit am LTT mit Stereo-PIV in Flammen und wird ab dem 15. September 2003 auf dem Gebiet der mehrdimensionalen Strömungs- und Verbrennungsmessungen (PIV) um Priv.-Doz. Dinkelacker tätig sein. ¬

Die gelernte Chemikantin Dipl.-Ing. **Anna Malarski** hat im Rahmen ihrer Studien- und Diplomarbeit am LTT eine neues laserbasiertes Messverfahren zur simultanen Konzentrations- und Temperaturmessung in rußenden Flammen entwickelt. Als Mitglied der neuen Arbeitsgruppe „Bio- und Medizintechnik" wechselt sie von der nichtlinearen zur linearen Ramanspektroskopie, die sie zur zweidimensionalen Visualisierung von turbulenten Mischungsprozessen einsetzen möchte. Ihre Freizeit verbringt sie am liebsten in der Aikido-Trainingsgruppe des Hochschulsports. ¬

Personalia » Mitarbeiterwechsel

Dipl.-Ing. **Corren Heimgärtner** wechselte zum 1. Januar 2003 zur Robert Bosch GmbH ins Technische Zentrum nach Schwieberdingen bei Stuttgart. Er ist dort im Unternehmensbereich Gasoline Systems in der Vorentwicklung (GS/EVP) tätig. Er beschäftigt sich dort mit der Entwicklung neuer Brennverfahren und Komponenten für Ottomotoren.

Dipl.-Ing. **Wolfgang Timm** verließ zum 1. Februar 2003 den LTT, um seine im Rahmen seiner Promotion ausgebauten Programmiererfahrungen bei der Fa. Fluent in Darmstadt industriell nutzen zu können.

Dipl.-Ing. **Dieter Most** wechselte am 1. Mai 2003 zur Firma Webasto Thermosysteme in Stockdorf bei München in die Entwicklung von Verbrennungssystemen.

Unser Zivildienstleistender **Matthias Singer** verließ den LTT am 30. April 2003, um sein Studium zu beginnen. Neuer Zivi ist seit 1. Mai 2003 **Ralf Frisch**.

Personalia » Auszeichnungen

Dipl.-Ing. **Andreas Bräuer** wurde am 4. Juli 2003 für seine am LTT durchgeführte Diplomarbeit und seine hervorragenden Studienleistungen der VDI-Preis 2003 des VDI-Bezirksvereins Nürnberg verliehen.

Einladung zum Kurzlehrgang

VERBRENNUNGSTECHNIK

16. Februar bis 19. Februar 2004
Universität Erlangen

Auskünfte über unser Sekretariat.

Personalia » Promotionen

Dipl.-Ing. **Wolfgang Timm** promovierte am 24. März 2003 mit dem Thema „Modellierung des Wärmeübergangs auf der Kühlstrecke von Warmwalzstraßen".
Mit dieser Arbeit konnte am LTT ein kleines Jubiläum gefeiert werden - die 25. Promotion wurde erfolgreich abgeschlosssen!

Personalia » Messeteilnahmen

Der LTT nahm aktiv mit eigenen Ausstellungsständen an den folgenden Messen teil:
Hannover Messe 2003
(7. April bis 12. April 2003) auf dem Gemeinschaftsstand Bayerns
SENSOR & TEST 2003 in Nürnberg
(13. Mai bis 15. Mai 2003)
ACHEMA 2003 in Frankfurt
(19. Mai bis 24. Mai 2003)

ESYTEC

IHR PARTNER FÜR DEN TECHNOLOGIETRANSFER VOM LTT IN IHR UNTERNEHMEN

Spezialentwicklungen, Auftragsmessungen, Vertrieb von Messsystemen und Komponenten Schulung und Fortbildung

Energie- und Systemtechnik GmbH
Telefon: 09131-9959700 · Telefax: 09131-9959703
http://www.esytec.de · eMail: info@esytec.de