

Prof. **Marcic** von der Universität Maribor/Slovenien war im April 2002 für zwei Wochen am LTT als Gastwissenschaftler tätig (Bayerisch-Slovenische Kooperation, Thematik Stoffdatenforschung und Die-seleinspritzung).

Die Professoren **Stankov** (TU Sofia, Bulgarien) und **Ilic** (Uni Nis, Serbien) weilten für eine Woche im Juni am LTT im Rahmen eines DAAD-Projektes zur Entwicklung numerischer Berechnungsmethoden in Wärmeübergangs- und Verbrennungsprozessen.

Deputy Director **A. K. Jain**, Indian Institute of Petroleum, Dehradun ist während der Monate Mai und Juni 2002 mit der Thematik Strömungsvisualisierung und Rußdiagnostik am LTT tätig gewesen.



Prof. **Leipertz** war als externer Gutachter beteiligt am Promotionsverfahren von M.Sc. Axelsson am Lund Institute of Technology, Schweden (Januar 2002).

## ESYTEC ANZEIGE

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: 091 31-995 97 00  
Telefax: 091 31-995 97 03  
http://www.esytec.de  
eMail: info@esytec.de

## LTT aktuell Unter uns

Zum feierlichen Abschluss des Jahres 2001 verteilte der Nikolaus auf unserer Weihnachtsfeier viele Geschenke für die kleinen Gäste, und die Weihnachtsband umrahmte die Feierlichkeit musikalisch. Prof. Leipertz ehrte drei Mitarbeiter mit einer Dankesurkunde für Ihr besonderes Engagement in unterschiedlichen Arbeitsgebieten.



## Berufung

Prof. Dr.-Ing. **Stefan Will**, C3-Professor am LTT, erhielt einen Ruf auf eine C4-Professur an der Universität Bremen. Er trat die Leitung des Fachgebietes Technische Thermodynamik zum 1. Februar 2002 an.

## Auszeichnung

Für seine Diplomarbeit „Konzeption, Aufbau und Anwendung eines Messsystems zur Rußcharakterisierung mit der Laserinduzierten Glühetechnik bei Parabelflügen“ wurde Herr Dipl.-Ing. **Roland Sommer** mit dem Förderpreis 2002 des Zentrums für Angewandte Raumfahrt und Mikrogravitation (ZARM) an der Universität Bremen ausgezeichnet. Die Auszeichnung ist mit einem Preisgeld in Höhe von 1000 Euro dotiert und wurde Herrn Sommer am 26. Juli 2002 in Bremen übergeben.

Einladung zur Vortragseinreichung  
VI. Internationale Tagung

## MOTORISCHE VERBRENNUNG

Aktuelle Probleme  
und moderne Lösungsansätze

18. bis 19. März 2003  
Haus der Technik, München

Deadline für Abstracts bei Prof. Leipertz:  
31. August 2002

Details sind im Sekretariat des Lehrstuhls für  
Technische Thermodynamik erhältlich.

## LTT aktuell Personalie

Herr Prof. Dr.-Ing. **Alfred Leipertz** wurde für weitere drei Jahre in den Fachausschuss für Partikelmesstechnik der Gesellschaft für Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC) des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) berufen.

Weiterhin wurde er in Würdigung seiner Aktivitäten im Subcommittee „Transport Properties“ im März 2002 zum Fellow der International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) ernannt.

## Promotionen

Dipl.-Phys. **Andreas Fröba**, promovierte am 11. Januar 2002 mit dem Thema „Simultane Bestimmung von Viskosität und Oberflächenspannung transparenter Fluide mittels Oberflächenlichtstreuung“.

## Mitarbeiterwechsel

Dipl.-Phys. **Jörg Reimann**, wechselte im Februar 2002 an den Lehrstuhl für Technische Thermodynamik der Universität Bremen, um die Arbeitsgruppe unter der Leitung von Prof. Will zu unterstützen.

## IMPRESSUM

### Herausgeber:

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik  
Am Weichselgarten 8  
D-91058 Erlangen-Tennenlohe

### Verantwortlich für den Inhalt:

Prof. Dr.-Ing. A. Leipertz

### Redaktion Dipl.-Ing. (FH) Liv Diezel

### Sekretariat:

Telefon +49-91 31-852 99 00  
Telefax +49-91 31-852 99 01  
eMail: sek@litt.uni-erlangen.de  
http://www.litt.uni-erlangen.de

**Auflage:** 1000 Exemplare

# LTT aktuell

Newsletter des Lehrstuhls für Technische Thermodynamik

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

TECHNISCHE  
FAKULTÄT

Ausgabe Nr. 10 Juli 2002

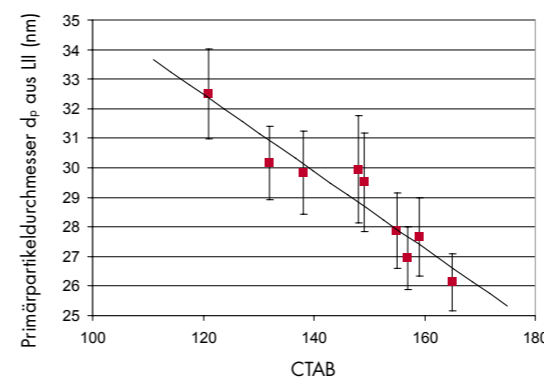
## LTT aktuell Neues aus Forschung & Entwicklung

In-situ-Messung von Primärteilchengrößen bei der Herstellung von Industrierußen

## Industrieruße

Bei der Produktion von Industrierußen spielt die Überwachung der Primärteilchengröße eine bedeutende Rolle, da sie die Produkteigenschaften entscheidend bestimmt und dementsprechend spezifiziert wird. Für die Prozesskontrolle und -steuerung ist eine schnelle Information über diese Größe unbedingt notwendig.

Eine Online-Messmethode steht jedoch noch nicht zur Verfügung; es müssen zeit- und arbeitsaufwändige Laboranalysen durchgeführt werden.



In einem Kooperationsprojekt des LTT, der ESYTEC Energie- und Systemtechnik GmbH und der Degussa AG sollte deshalb geprüft werden, ob die zeitaufgelöste laserinduzierte Glühetechnik - Tlme REsolved Laser Induced Incandescence (TIRE-LII)-, zur Online-Bestimmung der Primärteilchengrößen von Industrierußen während des Produktionsprozesses geeignet ist.

Während mehrerer Messphasen konnte die Messtechnik direkt an Produktions- und Versuchsreaktoren der Degussa appliziert werden und es konnten die Primärteilchengrößen online bestimmt werden.

Das Messprinzip basiert auf der Aufheizung von Rußpartikeln bis zu ihrer Verdampfungstemperatur mit einem hochenergetischen Laserpuls und der Analyse der emittierten Schwarzkörperstrahlung. Die Abkühlung der Teilchen nach dem

Laserpuls ist bestimmt durch die spezifische Oberfläche, d.h. die Primärteilchengröße, die somit aus der LII-Signalabfallrate abgeleitet werden kann. Die Technik wird bereits vielfältig eingesetzt, u.a. in einem kompakten Sensor zur Abgascharakterisierung oder für Grundlagenuntersuchungen zur Rußbildung.

Es wurde eine experimentelle Anordnung speziell für den Einsatz in der großtechnischen Umgebung und für die besonderen optischen Gegebenheiten der Industriereaktoren konzipiert und vor Ort in Betrieb genommen. Damit konnten online und in-situ Primärteilchengrößen gemessen werden. Es zeigte sich, dass mit der LII-Messtechnik phasenweise Variationen der Betriebsparameter des Reaktors und die daraus resultierenden Änderungen der Teilchengröße online zu detektieren waren. Weiterhin wurde eine Korrelation der LII-Ergebnisse mit Resultaten konventioneller Labordiagnostik (CTAB [Hexadecyltrimethylammoniumbromid]-Wert - ein Maß für die Partikeloberfläche) gefunden (siehe Abbildung).

Fortsetzung auf Seite 2

## LTT aktuell Neues aus Forschung & Entwicklung

Hochtemperatur-Diesel-Einspritzkammer ausgeliefert

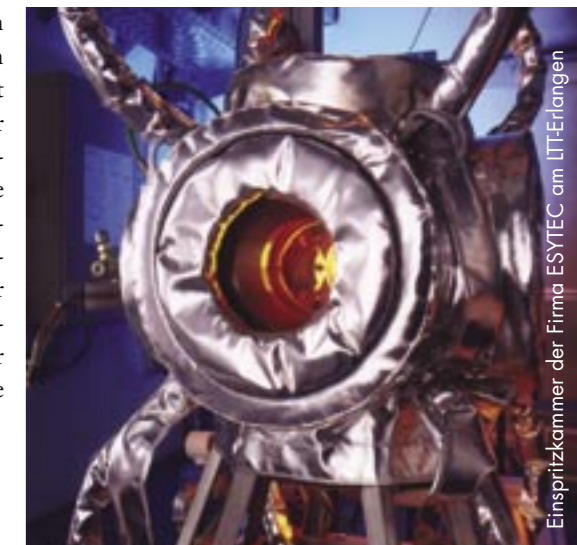
## Ganz schön heiss

Die Firma ESYTEC Energie- und Systemtechnik GmbH lieferte einen weiteren kompletten Prüfstand zur optischen Untersuchung von Diesel-Injektoren an einen deutschen Automobilhersteller. Mit Betriebsbedingungen von 550 °C und 60 bar setzt ESYTEC hier neue Maßstäbe auf dem Gebiet der optischen Einspritzzellen, die mit kontinuierlicher Luft-/Stickstoffspülung arbeiten.

Mit dem im Rahmen einer Kooperation zwischen ESYTEC und LTT konzipierten und aufgebauten Prüfstand kann das Sprayausbreitungs- und Verdampfungsverhalten von Diesel-Einspritzdüsen unter definierten Randbedingungen optisch analysiert werden. Neben den Parametern des Einspritzsystems selbst können hier die Injektortemperatur, der Kammerdruck und die Kammertemperatur vollvariabel eingestellt werden. Die Gesamtheit der Informationen aus optischen und konventionellen Messverfahren verbessern das Verständnis komplexer Zerstäubungs- und Verdampfungsvorgänge und bilden die Grundlage für die Wahl der Startbedingungen und die

Validierung der Ergebnisse in der Simulationsrechnung. Ein ähnliches System, allerdings für geringere Temperatur-

Fortsetzung auf Seite 3



Einspritzkammer der Firma ESYTEC am LTT-Erlangen

Fortsetzung von Seite 1 „Industrieruße“  
Die Fehlerbalken resultieren aus den Standardabweichungen der Mittelwerte. Es ist zu beachten, dass die Größe der Standardabweichung durch Schwankungen der Partikelgröße, d.h. unter anderem durch die Reaktorfluktuationen bestimmt wird und nicht eine Eigenschaft der Messtechnik ist, wie in Laboruntersuchungen an stationären Objekten bereits zweifelsfrei gezeigt wurde. Die Untersuchungen haben die Anwendbarkeit der laserinduzierten Glühtechnik zur Online-Charakterisierung von Industrierußen bewiesen, was sowohl die prinzi-

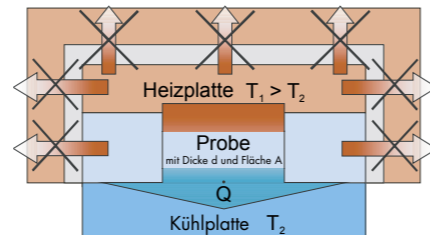
pielle Applikation der Messtechnik in einer großtechnischen Umgebung als auch die erfolgreiche In-situ-Messung von Primärteilchengrößen von Industrierußen betrifft. Insbesondere bei den Untersuchungen mit zum Teil nur kleinen Parametervariationen wurde deutlich, dass LII ein sehr gutes Werkzeug zur direkten Prozesskontrolle ohne Zeitverzug darstellt. Änderungen der Primärpartikelgröße bzw. Störungen im Prozess können mit LII-Messungen praktisch sofort erfasst werden.



Infos: Dipl.-Phys. Stefan Dankers  
Durchwahl 85 29767 · dan@litt.uni-erlangen.de

und muss nicht mittels einer Referenzprobe kalibriert werden. Die Apparatur eignet sich sowohl für den industriellen Einsatz als auch im Laborbetrieb bei der Material- und Stoffdatenforschung. Möglich ist die Untersuchung von Materialien mit

$$\text{Führung des Wärmestroms } \dot{Q} = -\lambda \frac{A}{d} [T_2 - T_1]$$



Wärmeleitfähigkeiten von 10 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> bis zu 0,01 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> über einen Temperaturbereich von -40 °C bis +120 °C bei Drücken bis zu 50 bar. Bei einem vollständig automatisierten Messbetrieb ist mit der Apparatur

**Spezifikationen**

- Messbereich: 0,01 - 10 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>
- Temperaturbereich: -40 bis +120 °C
- Druck: bis zu 50 bar
- Probendurchmesser: 85 mm
- Probendicke: 0,5 bis 5 mm
- Messgenauigkeit: besser als 3 % erreichbar

**Vorteile**

- Großes Anwendungsspektrum Flüssigkeiten, Pasten, Schüttgüter und Festkörper
- Vollautomatisierte Steuerung Meßprogrammvorgabe, Erfassung von Temperaturkennfeldern
- Kompakte Konstruktion benutzerfreundlich bei Wartungs- und Reinigungsarbeiten
- Kostengünstige Messung

eine Messgenauigkeit von besser als 3 % erreichbar. Ein weiteres positives Merkmal stellt die einfache Handhabung bei der Befüllung wie auch bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten dar.



Ansprechpartner: Dr.-Ing. Andreas P. Fröba  
Durchwahl 85 29789 · apf@litt.uni-erlangen.de



Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Kamil Krzeminski  
Durchwahl 85 29781 · krzk@litt.uni-erlangen.de

LTT aktuell Neues aus Forschung & Entwicklung

Stoffdaten und Messtechnik

## Wärmeleitfähigkeitsmessgerät

In Kooperation mit der Firma ESYTEC wurde am LTT ein Messgerät mit hoher Sensitivität und Genauigkeit entwickelt, mit dem die Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten, Pasten, Schüttgütern und Festkörpern nach dem Prinzip der stationären Plattenapparatur kostengünstig bestimmt werden kann.

Die Auslegung von Apparaten und Prozessabläufen in der Wärme-, Chemie- und Verfahrenstechnik erfordert die genaue Kenntnis von Stoffdaten. Dadurch können Fehldimensionierungen bei der Planung von Anlagen vermieden und durch die Auswahl geeigneter Arbeitsstoffe diese effektiv eingesetzt

und Stoffübertragungsprozessen zum Ausdruck. Darüber hinaus besitzt die Kenntnis der Wärmeleitfähigkeit auch bei der Materialforschung praktische Bedeutung. So z.B. bei der Entwicklung neuer Isolationsmaterialien und Baustoffe.

Am Lehrstuhl für Technische Thermodynamik wurde ein Wärmeleitfähigkeitsmessgerät nach dem Prinzip der stationären Plattenapparatur entwickelt, bei dem die Probe zwischen zwei thermostatisierten Platten eingebracht wird. Der Wärmestrom, der durch die Probe fließt, wird aus der elektrischen Leistungsaufnahme der Heizplatte bestimmt.

Um Wärmeleckströme auszuschließen, ist die zu bilanzierende Heizplatte von einer speziellen Guard-Anordnung gegen die Umgebung

abgeschirmt. Somit kann das Messgerät direkt zur absoluten Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit eingesetzt werden



bzw. Energie und Kosten eingespart werden. Die Bedeutung der im Mittelpunkt dieser Messtechnik stehenden Stoffgröße Wärmeleitfähigkeit kommt in der technischen Praxis des Ingenieurs bei der Auslegung von Wärme-

Fortsetzung von Seite 1 „Ganz schön heiss“ und Druckbereiche wurde von ESYTEC bereits einige Monate zuvor vorgestellt. (LTT aktuell Ausgabe Nr. 8)

Das Herzstück der Anlage ist ein kontinuierlich durchströmter optisch zugänglicher Druckbehälter. Dabei handelt es sich um einen würfelförmigen Edelstahlblock, an dessen oberen Ecken sich die Luftaustrittsöffnungen befinden. Alle sechs identisch ausgeführten Seiten des Würfels gestatten wahlweise den Einbau von Einspritzventil mit Bauteiltemperaturkonditionierung, Fensterträgern oder Blindflanschen (z.B. ausgerüstet mit Prallplatten oder Kolbenmuldenformen), ohne dabei Modifikationen an der Luft/Stickstoff-Versorgung des Behälters vornehmen zu müssen. Mit wenigen Handgriffen kann somit der Injektor an verschiedenen Positionen eingebaut werden und von bis zu fünf Seiten gleichzeitig die Sprayausbreitung beobachtet werden. Zusätzlich ist die Behälterwand über zwei getrennte Heiz-



Weitere Infos: Dipl.-Ing. Wolfgang Ipp  
Durchwahl 85 29773 · wi@litt.uni-erlangen.de



Weitere Infos: Dipl.-Ing. (FH) Ralf Lindner  
Durchwahl 85 29772 · rl@litt.uni-erlangen.de

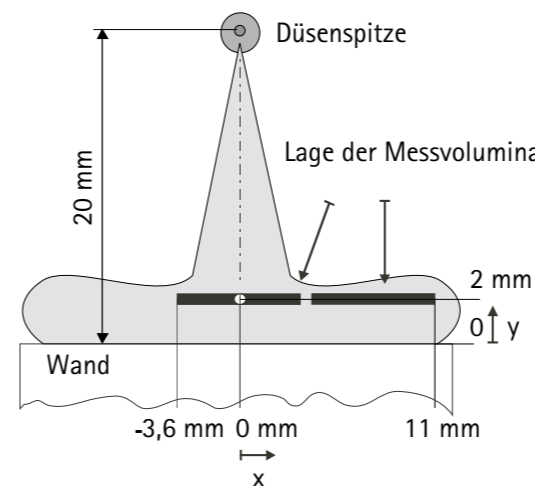
LTT aktuell Neues aus Forschung & Entwicklung

Untersuchungen des Wandeinflusses auf die dieselmotorische Gemischbildung

## Ramantechnik

In einem von der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) geförderten Projekt wurde der Wandeinfluss auf die dieselmotorische Gemischbildung untersucht. Erstmals wurde hierbei auch die spontane Ramanstreuung zur Untersuchung des lokalen Luft/Kraftstoffverhältnisses in unmittelbarer Wandnähe eingesetzt, um quantitative Aussagen zur Güte der Gemischbildung treffen zu können.

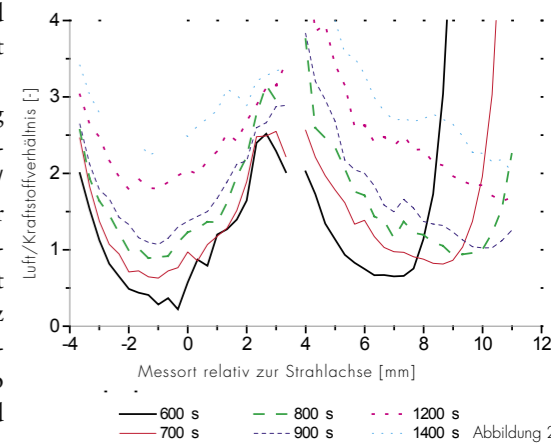
Während es bei Nutzfahrzeugmotoren selbst unter Kaltstartbedingungen aufgrund des großen Abstandes zwischen dem Injektor und der Zylinderwand



kaum zum Wandkontakt des flüssigen Kraftstoffs kommt, kann dieser im PKW-Bereich nicht immer vermieden werden. Gerade beim Kaltstart oder im Teillastbetrieb mit niedriger Aufladung und somit geringer Luftdichte im oberen Totpunkt ist die Eindringtiefe des flüssigen Kraftstoffs oft größer als der zur Verfügung stehende Raum zum Muldenrand, so dass die Strahl-Wand-Interaktion wesentlich mit zur Gemischbildung beitragen kann. Die nachfolgenden Ergebnisse sollen deshalb zeigen, dass auch zur Untersuchung dieses Phänomens die Raman-Messtechnik einen wesentlichen Beitrag leisten kann.

Abbildung 1

Raman-Messungen wurden sowohl innerhalb des Einspritzstrahles direkt über dem Auftreffpunkt des Sprays als auch versetzt



dazu im Bereich des sich bildenden Wandwirbels durchgeführt. In Abbildung 1 sind die Lage und die Abmessungen der Raman-Messvolumina schematisch dargestellt. Abbildung 2 zeigt exemplarisch für einen Untersuchungspunkt mit 800 bar Raildruck die zeitliche Entwicklung der mittleren Luft/Kraftstoffverhältnisse als Funktion des Abstandes vom Auftreffpunkt des Sprays. Direkt in der Nähe der Strahlachse können nur geringe Unterschiede in den ermittelten λ-Werten registriert werden. In Richtung des Sprayrandes hingegen beobachtet man zu beiden Seiten des Spraystrahls ein starkes Ansteigen der λ-Werte als Folge der Vermischung des Kraftstoffdampfes mit der umgebenden Luft. Bewegt man sich weiter in Richtung des sich ausbreitenden Wall-Jets, so beobachtet man ein Gebiet zwischen dem Auftreffpunkt und dem Wandwirbelbereich, in dem zu allen Zeitpunkten nur sehr wenig Kraftstoffdampf detektiert werden kann. Auch die fortschreitende Ausbreitung des sich bildenden Wandwirbels kann in den Messergebnissen nachvollzogen werden. Der sehr steile Anstieg des Luft/Kraftstoffverhältnisses am rechten Bildrand markiert dabei die vorderste Wirbelgrenze. Die fettesten λ-Werte innerhalb des Wall-Jet-Bereiches werden unmittelbar in der Wirbelspitze beobachtet. Vergleicht man für einen Beobachtungszeitpunkt die gemessenen λ-Werte im Strahlkern und im Wall-Jet miteinander, so findet man insbesondere zu den frühen Zeitpunkten im Wall-Jet signifikant magerere λ-Werte, als Folge des zusätzlichen Lufteintrages in den Wandwirbel.



Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Jan Egermann  
Durchwahl 85 29775 · je@litt.uni-erlangen.de