

## Neues aus Forschung und Entwicklung

Aktivitäten auf dem Gebiet der Stoffdatenforschung ausgeweitet

## STOFFDATENKOMPETENZ AM LTT-ERLANGEN

— Eine bislang zur Vorhersage von Stoffdaten von Kältemittelgemischen mit definierter Zusammensetzung erfolgreich angewandte Berechnungsmethode konnte nun auch für beliebige Mischungsverhältnisse bestätigt werden. Den Untersuchungsgegenstand hierfür bildete ein binäres Kältemittelgemisch aus R143a und R125, für welches Temperaturleitfähigkeit und Schallgeschwindigkeit auf Siede- und Taulinie über einen weiten Konzentrationsbereich mit der Dynamischen Lichtstreuung (DLS) bestimmt wurden. Die Modelldaten der

Berechnungsmethode zeigen im Vergleich zu den experimentellen Werten Abweichungen auf, die innerhalb der kombinierten Unsicherheiten der eingehenden Reinstoffdaten liegen. Somit ist es mit der am LTT-Erlangen entwickelten Berechnungsmethode möglich, Gemischstoffdaten für die technische Praxis mit ausreichender Genauigkeit vorherzusagen. Zwar wird zum erfolgreichen Einsatz der Berechnungsmethode die Information über die kritische Temperatur des Gemisches benötigt, jedoch gelingt im Vergleich zu bislang bekann-

ten Berechnungsmethoden die Gewinnung der Gemischstoffdaten ohne anzupassende Parameter ausschließlich mit Kenntnis der Reinstoffdaten.

Mit Aufnahme der aus der Oberflächenlichtstreuung (Surface Light Scattering, SLS) für die Viskosität von Toluol gewonnenen Ergebnisse als Primärdaten für einen zukünftig verbesserten Viskositätsstandard kommt den am LTT-Erlangen geleisteten Forschungsarbeiten besondere Anerkennung zu. Diese führten dazu, Handhabung, Genauigkeit (Fortsetzung auf Seite 2) »

Erstmals Verdampfungskühlung in Sprays gemessen

## VERDAMPFUNGSKÜHLUNG

— In modernen Verbrennungsmotoren werden aufgrund neuartiger Verbrennungsstrategien, wie der Ladungsschichtung, bei der die Einspritzung sehr kurz vor der Zündung der Ladungswolke erfolgt, sehr hohe Anforderungen an die Verdampfungs- und Mischkinetik der Flüssigphase in der Gasphase gestellt. Die numerische Modellierung kann zurzeit nur einzelne Vorgänge aus die-

ser komplexen Prozesskette herausgreifen und verlässlich nachbilden, so dass experimentelle Untersuchungen zur Charakterisierung dieser Vorgänge von wesentlicher Bedeutung sind.

Am LTT wurden in der Vergangenheit unterschiedlichste optische Messverfahren zur Untersuchung der Einspritzung, Zerstäubung, Verdampfung (Fortsetzung auf Seite 3) »



Neues aus Forschung und Entwicklung

Fortsetzung von Seite 1

Aktivitäten auf dem Gebiet der Stoffdatenforschung ausgeweitet

Die seit Lehrstuhlgründung bestehenden Aktivitäten auf dem Gebiet der Stoffdatenforschung wurden insbesondere in den beiden zurückliegenden Jahren intensiviert, was sich in den zahlreichen Vorhaben und deren Erfolgen widerspiegelt.

INFORMATIONEN

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

	Temperaturleitfähigkeit	Wärmeleitfähigkeit	Viskosität	Diffusionskoeffizient
Genauigkeit	1 %	5 %	1 %	1 ... 5 %
Messbereich	0 bis $0,1 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$	0,05 bis 1 $\text{W/mK}$	$\mu\text{Pas} \dots \text{mPas}$	0 bis $0,1 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$
Temperaturbereich	0 bis 400 °C	20 bis 80 °C	-40 bis 100 °C	-40 bis 100 °C
Druckbereich	bis 100 bar	-	bis 50 bar	bis 50 bar

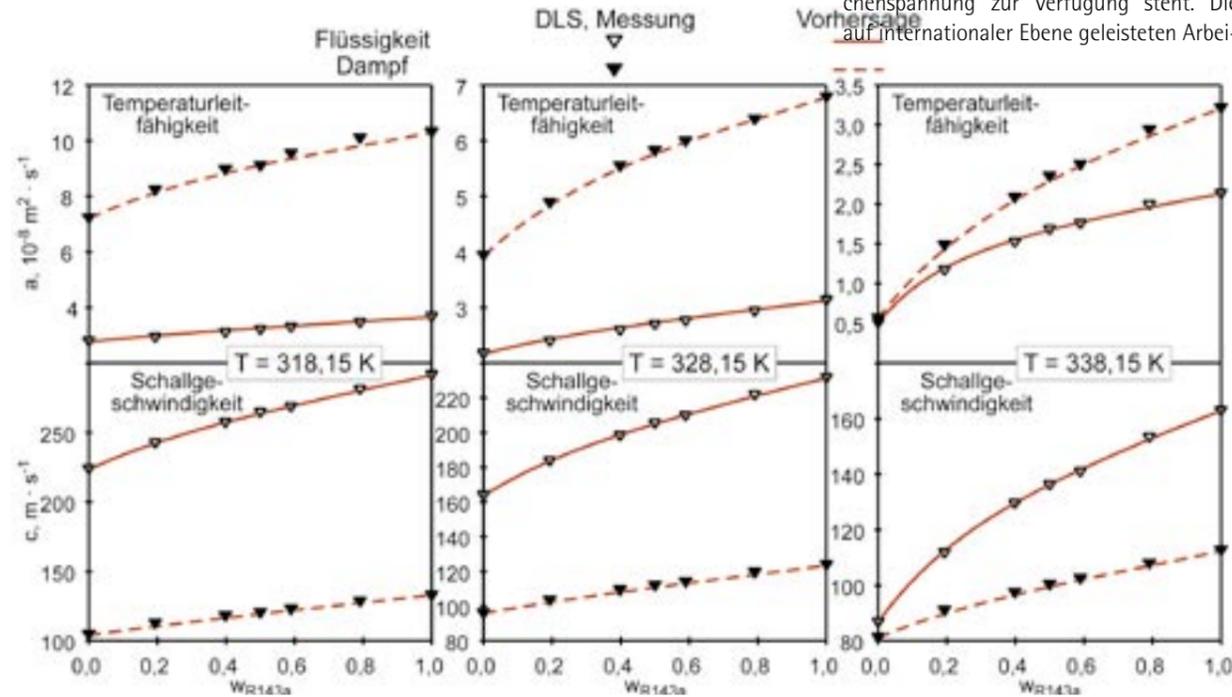
	Oberflächenspannung	Schallgeschwindigkeit	Dichte	Brechungsindex
Genauigkeit	1 %	0,5 %	$5 \times 10^4 \text{ g/cm}^3$	0,0002 nD
Messbereich	0 bis 100 $\text{mN/m}$	0 bis 1200 $\text{m/s}$	0 bis 3 $\text{g/cm}^3$	1,3 bis 1,7 nD
Temperaturbereich	-40 bis 100 °C	0 bis 400 °C	-40 bis 150 °C	0 bis 80 °C
Druckbereich	bis 50 bar	bis 100 bar	bis 50 bar	-

Zustandsbereiche und Messgenauigkeiten der am LTT-Erlangen bestimmbaren thermophysikalischen Eigenschaften

— Eine bislang zur Vorhersage von Stoffdaten von Kältemittelgemischen mit definierter Zusammensetzung erfolgreich angewandte Berechnungsmethode konnte nun auch für beliebige Mischungsverhältnisse bestätigt werden. Den Untersuchungsgegenstand hierfür bildete ein binäres Kältemittelgemisch aus R143a und R125, für welches Temperaturleitfähigkeit und Schallgeschwindigkeit auf Siede- und Taulinie über einen weiten Konzentrationsbereich mit der Dynamischen Lichtstreuung (DLS) bestimmt wurden. Die Modelldaten der Berechnungsmethode zeigen im Vergleich zu den experimentellen Werten Abwei-

chungen auf, die innerhalb der kombinierten Unsicherheiten der eingehenden Reinstoffdaten liegen. Somit ist es mit der am LTT-Erlangen entwickelten Berechnungsmethode möglich, Gemischstoffdaten für die technische Praxis mit ausreichender Genauigkeit vorherzusagen. Zwar wird zum erfolgreichen Einsatz der Berechnungsmethode die Information über die kritische Temperatur des Gemisches benötigt, jedoch gelingt im Vergleich zu bislang bekannten Berechnungsmethoden die Gewinnung der Gemischstoffdaten ohne anzupassende Parameter ausschließlich mit Kenntnis der Reinstoffdaten.

Mit Aufnahme der aus der Oberflächenlichtstreuung (Surface Light Scattering, SLS) für die Viskosität von Toluol gewonnenen Ergebnisse als Primärdaten für einen zukünftig verbesserten Viskositätsstandard kommt den am LTT-Erlangen geleisteten Forschungsarbeiten besondere Anerkennung zu. Diese führten dazu, Handhabung, Genauigkeit (Fortsetzung auf Seite 2) und Einsatzbereich der SLS-Methode derart zu verbessern bzw. zu erweitern, so dass heute mit dieser eine moderne, hochpräzise Analysenmethode sowohl für die wissenschaftliche als auch für die industrielle Bestimmung von Viskosität und Oberflächenspannung zur Verfügung steht. Die auf internationaler Ebene geleisteten Arbei-



Bestätigung der einfachen Berechnungsmethode über einen weiten Zusammensetzungsbereich

Neues aus Forschung und Entwicklung

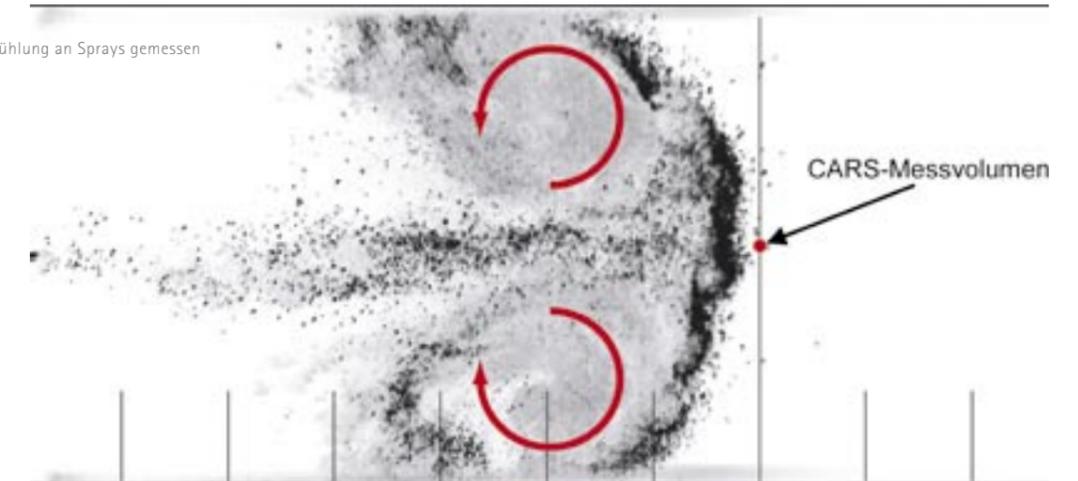
Fortsetzung von Seite 1

Erstmals Verdampfungskühlung an Sprays gemessen

INFORMATIONEN

Dipl.-Ing. Markus Weigl  
Durchwahl 85 29773  
mw@litt.uni-erlangen.de

Abbildung 1: Streulichtaufnahme des Isooktan-Sprays 4ms nach Einspritzbeginn. Die durchgezogene Linie entspricht einer Entfernung von 70 mm vom Düsenaustritt.



— In modernen Verbrennungsmotoren werden aufgrund neuartiger Verbrennungsstrategien, wie der Ladungsschichtung, bei der die Einspritzung sehr kurz vor der Zündung der Ladungswolke erfolgt, sehr hohe Anforderungen an die Verdampfungs- und Mischkinetik der Flüssigphase in der Gasphase gestellt. Die numerische Modellierung kann zurzeit nur einzelne Vorgänge aus dieser komplexen Prozesskette herausgreifen und verlässlich nachbilden, so dass experimentelle Untersuchungen zur Charakterisierung dieser Vorgänge von wesentlicher Bedeutung sind.

Am LTT wurden in der Vergangenheit unterschiedlichste optische Messverfahren zur Untersuchung der Einspritzung, Zerstäubung, Verdampfung (Fortsetzung auf Seite 3) und Gemischbildung entwickelt und angewandt. Zu nennen sind hier z.B. die laserinduzierte (Exciplex-) Fluoreszenz (LI(E)F) zur zweidimensionalen Visualisierung von Gas- und Flüssigphase oder die Mie-Polarisationstechnik zur zweidimensionalen Bestimmung von Tropfengrößen und Tropfengrößenverteilung. Die Gasphasentemperatur in einem verdampfenden Spray, die einen wichtigen Parameter zur Analyse der Verdampfungsrate des Kraftstoffes darstellt, konnte bisher mit keiner Messtechnik erfasst werden. Durch zwei, unter Dipl. Phys. Frank Beyrau am LTT durchgeführte Diplomarbeiten konnte erstmalig eine Messtechnik bereitgestellt werden, die es ermöglicht, Abkühlungseffekte, die sich in der Gasphase eines verdampfenden Sprays ergeben, zu erfassen.

Zur Bestimmung der Gasphasentemperatur wurde die Rotations-CARS-Technik eingesetzt. Durch die Ausnutzung der Polari-

sationseigenschaften des CARS-Signals und einer spektralen Filterung in einem Doppelspektrographen konnte die Messtechnik an schwierigen, zweiphasigen Bedingungen, die in Sprays herrschen, angepasst werden. Untersucht wurde das Spray eines Zwölflochinjektors für die Benzin-Direkteinspritzung in einer luftdurchströmten Einspritzzelle bei verschiedenen Einspritzdrücken und Kraftstofftemperaturen und bei motorrelevanten Bedingungen. Abbildung 1 zeigt eine Streulichtaufnahme des Sprays 4,0 ms nach Einspritzbeginn. Das CARS-Messvolumen wurde zentral in einer Entfernung von 70 mm vom Düsenaustritt positioniert. Deutlich sind auch die rezirkulierenden äußeren Sprayarme zu sehen, die für eine Durchmischung im Zentrum des Sprays sorgen. Zu verschiedenen Zeitpunkten nach Einspritzbeginn wurden jeweils 100 Einzelpulsmessungen durchgeführt und ergeben so den zeitlichen Verlauf der Gasphasentemperatur, während das Spray am Messvolumen „vorbeizieht“. Da die Standardabweichung der Einzelpulsmessungen im Bereich von 15 K liegt, werden zur Verdeutlichung der Verdampfungskühlung

Mittelwerte verwendet. Ein solcher Verlauf aus Mittelwerten der Einzelpulsmessungen ist in Abbildung 2 dargestellt.

Vor dem Eintreffen der Sprayfront am Messvolumen zeigt sich eine konstante Temperatur, die der Temperatur der Zellenluft entspricht. Nach annähernd 4,5 ms ergibt sich ein starker Temperaturabfall zu einer um ungefähr 30 K kälteren Gasphasentemperatur. Die Abkühlung der Luft resultiert aus dem Wärmeübergang an die Flüssigkeitsphase des verwendeten Kraftstoffes Isooktan zur Aufheizung und Verdampfung. Die gleiche Abkühlung für die unterschiedlichen Kraftstofftemperaturen weist auf eine sich einstellende Sättigung an Kraftstoff in der die Tropfen umgebenden Gasphase hin, die eine weitere Verdampfung und somit eine weitere Abkühlung verhindert. Nach Erreichen einer Minimaltemperatur zeigen beide Betriebspunkte einen Anstieg der Temperatur, der für den Fall des stärker vorgewärmten Kraftstoffes deutlich schneller erfolgt. Zur Untersuchung dieser Phänomene wurden zahlreiche Versuche mit der Mie-Streulichttechnik zur Sprayvisualisierung und der Pha-

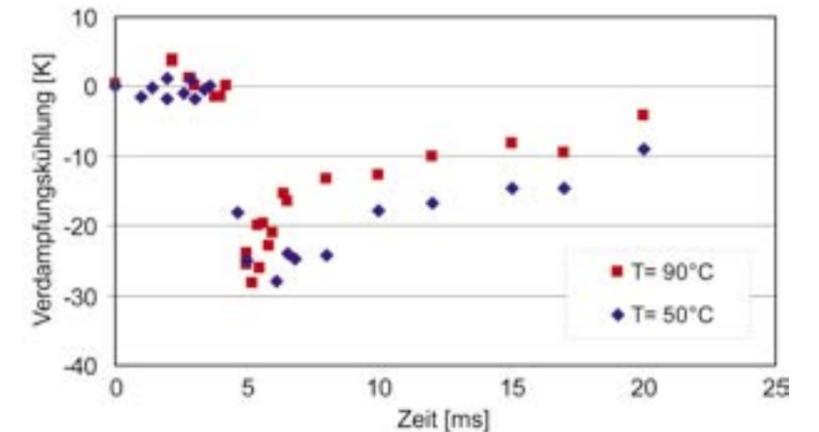


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Abkühlung der Gasphase bei einer Variation der Kraftstofftemperatur und einem Kraftstoffdruck von 8 MPa

## IMPRESSUM

Redaktion & Layout:  
Dipl.-Ing. Liv Diezel  
Tel. +49-9131-85 29 763  
lId@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:  
1500 Exemplare

## Unter uns » Weihnachtsfeier



Wie jedes Jahr konnte auch dieses mal am 10. Dezember 2004 mit unserer Weihnachtsfeier am LTT das vergangene Jahr Revue passieren und in feierlichem Ausklang der Abend in gemeinsamer Runde genossen werden.

Neben der traditionsgemäßen Weihnachtsgeschichte und der musikalischen Umrahmung durch die Weihnachtsband wurde Prof. Leipertz mit einer besonderen Ehrendoktorhut gekrönt. 30 Promotionen der vergangenen Jahre, die damit nicht nur in besonderer Erinnerung der Promovenden bleiben sollen. Neben gutem Wein, einem festlichen Büffet, Plaudereien und vielen lieben Gästen war es ein schöner Abend in vorweihnachtlicher Stimmung und freudiger Einstimmung auf die Feiertage. ➔

## Personalien » Promotionen

Herr Dipl.-Ing. **Jan Egermann** promovierte am 11. Oktober 2004 mit dem Thema „Einsatz der linearen Ramanstreuung zur Analyse der Gemischbildung direkteinspritzender Ottomotoren“. ➔

Am 2. November 2004 konnte Herr Dipl.-Ing. **Wolfgang Ipp** mit dem Thema „Analyse der Kraftstoffverteilung bei der Benzindirekteinspritzung (BDI) mit laseroptischen Messverfahren“ erfolgreich seine Promotion abschließen. ➔

## Personalien » Jubiläum

Am 1. Oktober 2004 feierte Ralf Lindner seine 10jährige Tätigkeit am LTT. Herzlichen Glückwunsch! ➔

## Personalien » Neue Mitarbeiter

Nach erfolgreichem Abschluss seiner Diplomarbeit mit dem Thema „Einsatz laserbasierter Mess-techniken zur Untersuchung der Verbrennung in einem PKW DI Motor“ wird



Dipl.-Ing. **Peter Koch** in der Arbeitsgruppe Technische Verbrennung und Motorenentwicklung unter der Leitung von Dr.-Ing. Wolfgang Ipp seine Tätigkeit beginnen. Als leidenschaftlicher Hobbyfußballer möchte er mit der LTT-Mannschaft beim alljährlichen CBI-Fußballturnier einen der vorderen Ränge belegen. ➔

Seit Juli 2004 ist **Johannes Weber** am LTT als Zivildienstleistender im Bereich Umweltschutz mit der Thematik chemische und physikalische Methoden der Wasserranalyse tätig. Nach seiner Verlängerung bis zum April 2005 möchte er mit einem Studium für Chemie- und Bioingenieurwesen in Erlangen beginnen. ➔

## Personalien » Auszeichnungen

Für seine Diplomarbeit „Charakterisierung der Benzindirekteinspritzung anhand von Gasphasentemperatur und Tropfengröße“ wurde Herr Dipl.-Ing. **Markus Weigl** mit einem **Hermann-Appel-Preis 2004** ausgezeichnet. Herr Weigl erhielt den 2. Preis im Fachgebiet Motor-/Antriebsentwicklung. Diese Auszeichnung ist mit einem Preisgeld in Höhe von 3000 Euro dotiert und wurde Herrn Weigl am 18. November 2004 in Berlin übergeben. ➔

Gemeinsam mit dem  
HAUS DER TECHNIK e.V., Essen

## VII. Tagung 2005

MOTORISCHE  
VERBRENNUNG

aktuelle Probleme  
und moderne Lösungsansätze

15. / 16. März 2005  
im Haus der Technik  
München