

Umweltschutz und Biotechnologie mit Laserlicht

J. Wolfrum, C. Schulz, H. Volpp, V. Ebert, M. Sauer,

Es gibt wenige Dinge, ohne die man sich die Existenz des Menschen nicht vorstellen könnte. Zu ihnen zählt zweifellos das Feuer. Derzeit werden jährlich fossile Energievorräte verbraucht, die sich in einer Million Jahren gebildet haben. Die hierbei entstehenden Schadstoffe, wie z.B. Schwefel- und Stickoxide, führen zu den bekannten unerwünschten Veränderungen in der Atmosphäre ("Sommersmog") und Biosphäre ("Waldsterben"). Das freigesetzte CO₂ beeinflusst den Wärmehaushalt der Erde und wird nur relativ langsam wieder aus der Atmosphäre entfernt. Trotz aller Bemühungen um alternative Energiequellen beruht zur Zeit immer noch etwa 85% der Weltenergieversorgung auf der Nutzung von Verbrennungsprozessen. Die Entwicklung umweltfreundlicher und effizienter neuer Verbrennungsverfahren kann in Zukunft jedoch kaum noch wie bisher auf überwiegend empirische Weise durch "trial and error" rasch genug vorangebracht werden. Es ist vielmehr ein radikal neuer Ansatz notwendig. Dieser besteht darin, Verbrennungsvorgänge nicht mehr summarisch zu beschreiben, sondern aus ihren mikroskopischen chemischen und physikalischen Prozessen zusammensetzen und daraus die sichtbaren Wirkungen abzuleiten. Die Feuerforschung kann besonders in Heidelberg auf eine lange Geschichte zurückblicken, die möglicherweise bis zu den Tagen des "homo heidelbergensis" von Mauer zurückreicht und in der Mitte des vorletzten Jahrhunderts durch die Entdeckung der Spektralanalyse im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen dem Chemiker Robert Wilhelm Bunsen und dem Physiker Gustav Kirchhoff in Heidelberg einen entscheidenden Impuls bekommen hat. Noch ganz unter dem Eindruck dieser neuen Entdeckung schrieb Bunsen am 15. November 1859 an seinen englischen Freund Henry Roscoe:



Robert Wilhelm Bunsen

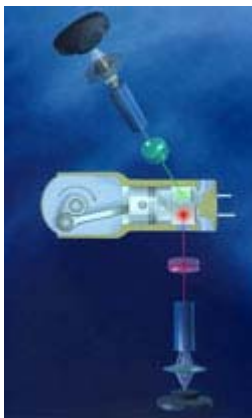
"Im Augenblick bin ich und Kirchhoff mit einer gemeinsamen Arbeit beschäftigt, die uns nicht schlafen läßt. Kirchhoff hat nämlich eine wunderschöne, ganz unerwartete Entdeckung gemacht, indem er die Ursache der dunklen Linien im Sonnenspektrum aufgefunden hat. Hierdurch ist der Weg gegeben, die stoffliche Zusammensetzung der Sonne und der Fixsterne mit derselben Sicherheit nachzuweisen, mit welcher wir Schwefelsäure, Chlor u.s.w. durch unsere Reagentien bestimmen".

Die Entwicklung leistungsfähiger Laserlichtquellen in einem weiten Wellenlängenbereich seit der Mitte des letzten Jahrhunderts hat auf dem Gebiet der berührungsfreien optischen Diagnostik zu wesentlichen Fortschritten geführt. Durch Einsatz linearer und nichtlinearer laserspektroskopischer Techniken wie laserinduzierter Fluoreszenz (LIF), kohärenter anti-Stokes-Ramanspektroskopie (CARS), Raman-, Rayleigh- und Mie-Streuung sowie abstimmbarer Infrarotlaser lassen sich wichtige Parameter in chemischen und biologischen Prozessen mit hoher zeitlicher Auflösung sowohl punktweise wie auch in mehreren

Dimensionen simultan erfassen.

Laserdiagnostik in Verbrennungsprozessen (C. Schulz)

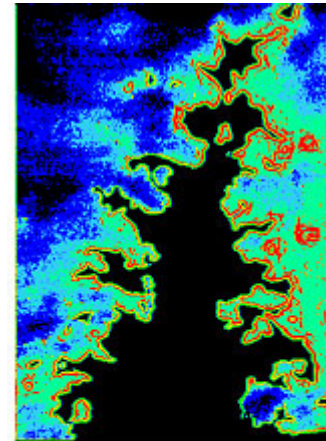
Verbrennung bildet die Grundlage für zahlreiche technische Energieumwandlungsprozesse – sei es im Bereich der Kraftwerke, der Automotoren oder der Flugzeugtriebwerke. Große Anstrengungen sind notwendig, um Prozesse mit maximaler Energieeffizienz bei minimaler Schadstofffreisetzung zu entwickeln. Dieses Ziel macht einen detaillierten „Einblick“ in den komplizierten Verbrennungsprozess nötig, bei dem viele hundert Einzelreaktionen gleichzeitig, häufig in Interaktion mit turbulenten Strömungen ablaufen.



Durch Einstrahlung von intensivem Laserlicht können in Verbrennungsprozessen Temperaturen, Konzentrationen und Geschwindigkeiten berührungslos gemessen werden. Neue Technologien erlauben inzwischen, flächenhafte, oder sogar dreidimensionale Informationen dieser Größen während des Verbrennungsvorganges zu gewinnen.

Grundlagenuntersuchungen werden in hochdefinierten Laborflammen – häufig in Kombination mit detaillierten Simulationsrechnungen ausgeführt. Zur Lösung technischer Fragestellungen bezüglich Schadstoffproduktion, Verbrennungsablauf, Sprayausbreitung und

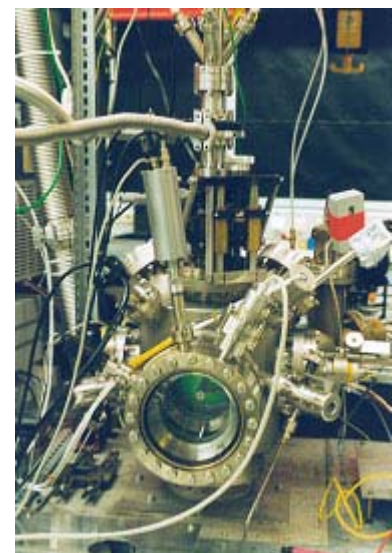
Bildung der Kraftstoff/Luft-Mischung werden laseroptische Verfahren entwickelt, die direkte Messungen z.B. in modernen seriennahen Motoren ermöglichen.



Zweidimensionale Laser-Licht-schnitt-Messung der OH-Konzentrationsverteilung in einer turbulenten Bunsenbrennerflamme (150kW)

Molekulare Reaktionskinetik (H. Volpp)

Mehr als achtzig Prozent aller industriell chemischen Prozesse enthalten katalytische Verfahrensschritte, wobei ihr Anteil an den Produktionskosten nur zwischen 0,1 - 0,2 % liegt. Die Katalysatoren bewirken dabei eine gezielte Reaktionsbeschleunigung. Dies erlaubt häufig geringere Anlagengrößen und Reaktionstemperaturen, was zu erheblichen Kosten- und Energieeinsparungen führt und damit einen positiven Einfluss auf die Umweltbilanz hat. Das Verständnis der bei den katalytischen Prozessen auf den Oberflächen ablaufenden mikroskopischen Reaktionsprozesse ist daher für die Entwicklung katalytischer Verfahren von zentraler Bedeutung. Bisher konnten katalytische Reaktionen mit verschiedenen physikalischen Methoden unter Verwendung von freien Elektronen meist nur bei niedrigen Drücken untersucht werden. Neue nichtlineare laserspektroskopische Verfahren sowie die



Rastertunnelmikroskopie ermöglichen nun eine quantitative Untersuchung von Oberflächenreaktionen unter realistischen Katalysebedingungen auf komplexen Oberflächen. Durch die Verwendung nanostrukturierter Katalysatormaterialien, die sich mittels Laserablation gezielt herstellen lassen, eröffnet sich dabei ein neuer Weg zur gezielten Optimierung katalytischer Reaktionsprozesse.

In-situ-Prozessdiagnostik und Nachweis von Spurengasen (V. Ebert)

Der Ausstieg vieler Länder aus der Kernenergienutzung wird dazu führen, dass die Dominanz fossiler Kraftwerke bei der Energieversorgung der industrialisierten Länder auf absehbare Zeit bestehen bleibt. Um so wichtiger ist es, die Kraftwerke im Hinblick auf deren Gesamteffizienz, Schadstofffreisetzung und Standzeit zu optimieren. Neue, vielversprechende, auch industriell einsetzbare Möglichkeiten bieten hier die am Institut entwickelten



Einbau einer Spezialoptik des In-situ-Diodenlaserspektrometers zum Nachweis von Wasser und Sauerstoff in einem 600 MW Kohlekraftwerk

absorptionsspektroskopischen Verfahren auf Basis von Nahinfrarot (NIR) Diodenlasern. Mit diesen z.B. aus dem CD-Spieler oder der glasfasergestützten Datenübertragung bekannten Lasern lässt sich erstmals auch in Großkraftwerken ohne die fehleranfällige Gasprobennahme und mit höherer Zeitauflösung die Chemie der Verbrennungsatmosphäre, die Gastemperatur und sogar die Verweilzeit der Gase im Reaktor bestimmen. Dies ist besonders bei der komplexen thermischen Verwertung biogener

Brennstoffe bzw. von Haus- und Sondermüll wichtig, verspricht aber auch bei der Kohle- und Gasverbrennung neue Möglichkeiten z.B. zur Minimierung von Korrosionsschäden oder beim Explosionsschutz.

NIR-Diodenlaser besitzen eine Vielzahl günstiger Eigenschaften wie die extreme spektrale Trennschärfe, hervorragenden Strahleigenschaften und geringer Energiebedarf. Sie eignen sich damit auch für den empfindlichen Nachweis von Spurengasen, was im Rahmen der Entwicklung eines tieftemperaturtauglichen (bis -100°C) Verfahrens zur Bestimmung von Wasserdampf in Aerosolen und eines besonders leichten und kompakten Spektrometers für den simultanen Nachweis von Wasser und Methan auf Stratosphärenballons gezeigt werden konnte. Beide Methoden ermöglichen damit neue Erkenntnisse bei der Untersuchung der Chemie der Atmosphäre und insbesondere bei der Entstehung des Ozonloches.

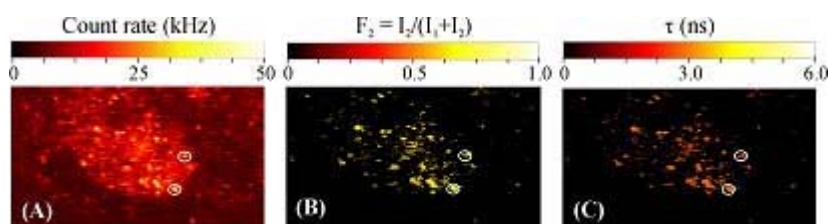


Vorbereitungen für den Start des ballongestützten In-situ-Laserspektrometers für den simultanen Nachweis von Wasser und Methan in der Stratosphäre (bis 35km).

Chemie der Atmosphäre und insbesondere

Einzelmolekül-Fluoreszenzspektroskopie (M. Sauer, D.Herten)

Die Detektion, Identifizierung, Analyse, Manipulation und Charakterisierung einzelner Moleküle mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie stellt eine große Herausforderung für die Chemie, Physik und Biologie dar. Im Vordergrund unserer Arbeiten stehen die Entwicklung neuer hochsensitiver diagnostischer Verfahren zu Früherkennung von bakteriellen und viralen Infektionen, sowie zur Verlaufskontrolle von malignen Erkrankungen. Daneben werden neue Mikroskopietechniken und Sensoren entwickelt, die es erlauben, einzelne Moleküle in lebenden Zellen zu studieren und deren Wechselwirkungen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu verfolgen. Zur Aufklärung der Struktur/Funktions-Zusammenhänge sogenannter „Biomolekularen Maschinen“ werden neuartige



Fluoreszenzbilder einzelner mRNA Moleküle in einer lebenden Zelle.

Detektionsverfahren der polarisationsmodulierten Anregung mit anschließender Koinzidenzanalyse der detektierten Photonen entwickelt, die eine genaue Aussage über die Anzahl der im Laserfokus vorhandenen Moleküle (z. B. Polymerasen

in Transkriptionszentren) und deren Abstände mit einer Auflösung von nur wenigen Nanometern ermöglichen sollen. Auf dem Bereich der Grundlagen orientierten Forschung beschäftigt sich die Gruppe in internationalen Kooperationen mit multichromophoren Systemen und den darin auftretenden Ladungs- und Energietransferprozessen.

Ansprechpartner:

Sekretariat Prof. Dr. Jürgen Wolfrum
 Physikalisch Chemisches Institut
 Im Neuenheimer Feld 253
 D-69120 Heidelberg
 Tel. +49 (0)6221 54-8463
 Fax +49 (0)6221 54-4255
 email: wolfrum@urz.uni-heidelberg.de