



Abbildung: Katrin Binner

Turbulenzen um die Flamme

Optimierte Verbrennungsverfahren sollen für mehr Effizienz und weniger Emissionen sorgen. Die Experten vom Fachgebiet Reaktive Strömungen und Messtechnik erforschen hierfür die Grundlagen.

— Von Jutta Witte

Die Flamme, die waagrecht in den Versuchstand schießt, ist rund einen Meter lang und hat eine Besonderheit: Sie entzündet sich auf einer stabilen Höhe immer wieder selbst. Diesen Effekt, der bei Dieselmotoren erwünscht ist, aber etwa bei Flugzeugtriebwerken zu Problemen führen kann, untersucht Felix Eitel in einer Maschinenhalle der TU Darmstadt. „Mich interessiert vor allem, wie die Strömungseigenschaften der Luft die Selbstzündung beeinflussen“, erklärt der Doktorand. „Diesen turbulenten Prozess im Labor zu simulieren ist sehr schwierig“.

Mit einer übergroßen Mikrowelle erhitzt der Wissenschaftler die aus einem Glasrohr strömende Luft auf rund 11.000 Grad. Aus einer kleinen Lanze mitten im Rohr tritt der Treibstoff hinzu und verbindet sich mit der heißen Luft. Mit einer Hochgeschwindigkeitskamera kann Eitel nun festhalten, was in der Fackel passiert und mit Hilfe eines Laserlichtbandes untersuchen, wie sich die am Verbrennungsprozess beteiligten Moleküle verhalten. Bis zu vierzig Messungen pro Sekunde sind so möglich. Eitels Versuchstand ist einer von zehn, die das Fachgebiet Reaktive Strömungen und Messtechnik derzeit in Betrieb hat. „Unsere Aufgabe ist es, ein grundlegendes Verständnis über die einzelnen Phänomene und ihre Wechselwirkungen zu erlangen“, erklärt Fachgebietsleiter Andreas Dreizler. Ziel sei es, die Entwicklung neuer Methoden voran zu treiben, die langfristig zu Verbesserungen der Verbrennungstechnologie führen sollen. Noch immer basieren nach Angaben des Experten 80 Prozent der Verbrennungsprozesse in der Industrie, in der Energieversorgung und im Straßenverkehr auf fossilen Energieträgern.

Die Steigerung der Effizienz und die Minimierung des Schadstoffausstoßes sind vor allem mit Blick auf die Energiewende die vordringlichen Aufgaben im Bereich der klassischen Verbrennungsverfahren. Diese anhand verschiedener Messparameter so präzise wie möglich zu analysieren und am Ende belastbares Datenmaterial für die Entwicklung mathematischer Simulationsmodelle zu liefern ist die Herausforderung, vor der Dreizler und seine 22 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tagtäglich stehen.

Denn eine genaue Prognose, wie die Wechselwirkung zwischen den sich stets ändernden turbulenten Strömungen mit ihren vielen kleinen Wirbeln, und den chemischen Reaktionen, die während einer Verbrennung ablaufen, jeweils aussieht, ist eigentlich nicht möglich. „Wir wissen, dass ähnlich wie beim Wetter kleinste Veränderungen der Rahmenbedingungen große Auswirkungen haben können“, erklärt Leibniz-Preisträger Dreizler. „Aber dennoch stehen wir immer wieder vor einem deterministischen Chaos.“ Mit ihren Versuchen können die Wissenschaftler immer nur einen „Teil der Realität“ erforschen und hieraus empirische Regeln oder Tendenzen ableiten. Einer davon ist die so genannte Flamme-Wand-Reaktion. Was dies in der Praxis ist, lässt sich am Phänomen des Kaltstarts erläutern. Die Abgaswolken, die im Winter morgens aus Auspuffen qualmen, entstehen, wenn in den ersten Sekunden des Starts der Katalysator noch nicht richtig läuft und die Flamme im Motor auf die kalte Wand des Brennraums trifft. Die Wand entzieht der Flamme die Wärme bis sie erlischt; die Reaktion bricht ab. Dies ist ineffizient und erhöht die Konzentration der Schadstoffe Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoff.

Vor allem die Bestimmung des Kohlenmonoxid-Anteils im Brennraum ist wichtig, weil dieser Aufschluss darüber gibt, ob der Verbrennungs-

prozess abgeschlossen ist, beziehungsweise wie weit er fortgeschritten ist. „Je weniger CO desto besser“, sagt Christopher Jainki. 30 Prozent des Kohlenmonoxids gehen nach seinen Angaben auf die Reaktion der Flamme an der Wand zurück. An seinem Versuchstand verfolgt der 28jährige die Flamme auf ihrem Weg durch den Brennraum in einem Wandabstand von zwei Zentimetern bis zu zehn μm , misst dabei Temperatur und CO-Konzentration gleichzeitig und beobachtet, wie beide sich mit der geringer werdenden Entfernung zur Wand verändern.

Bei beiden Messungen kommen laserdiagnostische Verfahren zum Einsatz, die ihren Ursprung in der Spektroskopie haben, den zu untersuchenden Brennprozess im Gegensatz zu Sensoren

nur wenig stören und eine zeitlich und räumlich deutlich bessere Auflösung ermöglichen. So werden etwa die Kohlenstoffmoleküle, die der Strömung folgen, auf ein höheres Energieniveau gebracht. Beim Absinken dieses Niveaus senden sie binnen Nanosekunden Licht aus und lassen so Rückschlüsse auf ihre Konzentration zu. Pro Versuchsreihe

nimmt Jainki rund vierzig Messpunkte in unterschiedlichen Konfigurationen unter die Lupe. Zehn Messungen pro Sekunde liefert sein Versuchstand.

Um den Faktor zwei, wissen die Experten mittlerweile, erhöht sich die CO-Konzentration an der Wand des Brennraums im Vergleich zu einer ungestörten Flamme. „Bis wir genügend valide Messdaten haben, kann es manchmal Jahre dauern“, berichtet Dreizler. Bei der Optimierung von Verbrennungsprozessen ist sein Team die erste Adresse. Die von den Verbrennungsspezialisten erhobenen Daten bilden die Grundlage für die Arbeit der Mathematiker, die zum Beispiel am Center of Smart Interfaces der TU Darmstadt die Simulationen für die numerische Strömungsmechanik entwickeln.

„Wir wollen alle Phänomene und Wechselwirkungen des Verbrennungsprozesses grundlegend verstehen.“

Ausgezeichneter Verbrennungsforscher:
Leibniz-Preisträger Prof. Andreas Dreizler.

Das Fachgebiet Reaktive Strömungen und Messtechnik (Teil des Center of Smart Interfaces) ist an Verbundprojekten beteiligt:

- Sonderforschungsbereich Transregio 75: Tropfendynamische Prozesse unter extremen Bedingungen
- Sonderforschungsbereich Transregio 129: Oxyflame – Entwicklung von Methoden und Modellen zur Beschreibung der Reaktion fester Brennstoffe in einer Oxyfuel Atmosphäre
- Paketvorhaben der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG): Modellierung, Simulation und experimentelle Untersuchung von turbulenten vorgemischten Flammen und geschichteten Vormischflammen unter technisch relevanten Bedingungen
- Verbundprojekt der DFG und Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV): Numerische Simulation und Validierung der Selbstzündung und Verbrennung
- AG Turbo 2020: Vom Bundeswirtschaftsministerium gefördertes Teilverbundprojekt Verbrennung
- Verbundvorhaben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung: Innovative Extinktionsphotometrie zur Charakterisierung eines mehrkomponenten-Aerosols und zur Feuchtemessung

Neben der Entwicklung von Messdaten für die Verbesserung der klassischen Verbrennungsprozesse kommen mit der Energiewende nun auch neue Aufgaben auf die Verbrennungswissenschaft zu. So können etwa Brennstoffe aus Biomasse ein völlig anderes Vergasungsverhalten aufweisen. Im Methangas, das aus überschüssigen regenerativen Energien gebildet und gespeichert wird, kann eine Erhöhung des Wasserstoffgehalts zu einer anderen Flammendynamik führen. „Wir haben es hier mit neuen Eigenschaften zu tun, die die Stabilität der Flamme beeinflussen“, sagt Dreizler. Fortschritte in der Verbrennungstechnologie sind für ihn auch Teil der Lösung, wenn es darum geht, die Schwankungen in der Erzeugung von Wind- und Sonnenenergie auszugleichen, Verbrennungssysteme also im Rahmen des Lastmanagements schneller und flexibler geregelt werden müssen. Nicht zuletzt ergeben sich nach seiner Überzeugung auch „hochspannende“ Fragen zwischen Verbrennungs- und Materialforschung: „Denn das, was verbrennungstechnisch möglich ist, scheidet am Ende vielleicht an den Komponenten und ihrer Lebensdauer.“

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Historikerin.

Informationen

Fachgebiet Reaktive Strömungen und Messtechnik

Prof. Dr. Andreas Dreizler

Alarich-Weiss-Str. 10; 64287 Darmstadt

Telefon: 06151/16-6610

E-Mail: dreizler@csi.tu-darmstadt.de