

Sándor Dóbé:

## Über Tódor Kármáns Arbeiten auf dem Gebiet der Verbrennungsforschung

Es ist allgemein bekannt, daß die Verwendung des Feuers die älteste Technologie der Menschheit und auch heute noch eines der wichtigsten Mittel zur Energieproduktion darstellt. Das Verbrennen bedeutet - allgemein formuliert - einen wärmeproduzierenden chemischen Prozeß in einem strömenden Medium, was bei den in der Praxis vorkommenden Fällen eine komplizierte Erscheinung ist. Somit ist verständlich, daß ihre wissenschaftliche Beschreibung und Analyse eine wirklich interdisziplinäre Forschungsaufgabe darstellt. Unter den verschiedensten Wissenschaftsgebieten kommt der Hydrodynamik eine besondere Rolle zu, also dem Gebiet, auf dem Tódor Kármán seine wichtigsten wissenschaftlichen Ergebnisse erzielen konnte. So ist offensichtlich, daß die Arbeit von Tódor Kármán, eben durch seine hydrodynamischen Forschungen, zumindest indirekt mit der Verbrennungsforschung in Zusammenhang steht. Es gibt allerdings auch eine direkte Verbindung, die außer Experten nur wenigen bekannt ist: Kármán beschäftigte sich mit konkreten Verbrennungsforschungen, spielte sogar eine bedeutende Rolle bei der Ausarbeitung der grundlegenden Zusammenhänge der Verbrennungstheorie.

In Kármáns Leben gab es eine Periode von 6-8 Jahren, während der er intensiv auf dem Gebiet der Verbrennungsforschung arbeitete. Die in Strahltriebwerken von Düsenflugzeugen beobachtbaren Instabilitätsprobleme führten Kármán - mit seinen Worten - "in die mystische Welt des Verbrennens". Dies war ein völlig neues Gebiet für ihn. Trotzdem übernahm er es, in den Jahren 1950-51 einen verbrennungstheoretischen Kurs an der Pariser Sorbonne zu halten, da - wie er in seiner biographischen Schrift bemerkte - die beste, gründlichste Methode, etwas zu erlernen, der Versuch sei, das entsprechende Thema zu lehren. Denkt man darüber nach, so wird man feststellen, wieviel Wahrheit in dieser Feststellung enthalten ist! Sehr wichtig war das Auftreten Kármáns auf den verbrennungswissenschaftlichen Weltkonferenzen in den 50-er Jahren. Im Jahre 1958 erschien unter dem Titel "Fundamentals of Gas Dynamics" eine Arbeit von großer Bedeutung, in der er sich in einem längeren Kapitel mit der Verbrennungstheorie - oder wie Kármán sie nannte: mit der "Aerothermochemie" - beschäftigte. Mit der Bezeichnung versuchte Kármán auf eine wirklich exakte Verbrennungstheorie hinzuweisen, in der die Aerodynamik, die Thermodynamik und die Reaktionskinetik gleichsam bedeutend sind.

Die Ausarbeitung der Grundlagen der Verbrennungstheorie geschah im Zusammenhang mit den laminaren Flammen in den 40-er und 50-er Jahren. Es ging, genauer gesagt, um die sogenannten vorgemischten laminaren Flammen konstanten Drucks, und die theoretischen Arbeiten richteten sich in erster Linie auf das Berechnen der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer laminaren Flamme. Die exakte Formulierung des Problems, das Aufstellen eines Systems von Differentialgleichungen und die Analyse ihrer Lösungsmöglichkeiten waren die Aufgaben, denen sich die großen Klassiker der Verbrennungstheorie, unter ihnen Tódor Kármán, mit Erfolg stellten.

Mit dem Titel "Über die gegenwärtige Situation der Theorie von der laminaren Flammenausbreitung" hielt Kármán im Jahre 1956 auf dem "6th International Symposium on Combustion" an der Yale Universität einen bedeutsamen, auch seither noch oft zitierten Vortrag. Im einleitenden Teil seines Vortrages, bzw. der daraus entstandenen wissenschaftlichen Mitteilung umriß Kármán das physikalische Bild der Ausbreitung von laminaren Flammen. Dabei zeigte er, daß die Flammenfront die sich vor ihr befindende Gasmischung durch Wärmeleitung und Diffusion entzündet, weswegen also beide Transportprozesse bei der Beschreibung der Erscheinung Beachtung finden müssen. Er schrieb das Differentialgleichungssystem auf, für dessen Lösung er eine von ihm als "semi-

analytisch" bezeichnete Methode vorschlug. Diese beruhte auf der Voraussetzung, daß die Temperatur der sich auf der heißen Seite der Flammenfront befindenden dünnen Zone und die dortige Konzentration in erster Linie die Ausbreitungsgeschwindigkeit bestimmen. Einen ähnlichen mathematischen Zusammenhang für die Ausbreitungsgeschwindigkeit leiteten auch andere Forscher der Epoche her, so der Amerikaner Lewis und die sowjetischen Forscher Semjonow und Zeldowitsch, doch die Darstellung Kármáns war systematischer. Sagen wir es so: sie entsprach eher der physikalischen Anschauungsweise. Die Konferenz war ein allen lange in Erinnerung bleibender Ort hitziger wissenschaftlicher Zusammenstöße zwischen den großen Vertretern der Verbrennungstheorie: nach Zeugnis des Protokolls war die Diskussion "Interesse erregend und provokativ", einer ihrer Hauptteilnehmer war Theodore von Kármán, der Vorsitzende des wissenschaftlichen Beratergremiums der NATO (Advisory Group for Aerospace Research and Development).

Kármán verglich seine theoretischen Ergebnisse mit experimentell gewonnenen Daten, wie z. B. im Fall des von Flammenercheinungen begleiteten thermischen Zerfalls von Ozon. Die von ihm berechnete lineare Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flamme deckte sich gut mit den experimentell bestimmten Daten. Bei seinen Universitätsvorlesungen verwendete Kármán ständig seine neuesten Forschungsergebnisse. Dies wird auch durch das Titelbild deutlich, auf dem an der Tafel hinter dem Katheder die Struktur einer Vorlesung zur Ozonflamme zu erkennen ist.

Der bedeutende Einfluß, den Tódor Kármán auf die Verbrennungstheorie ausgeübt hat, seine Rolle als Begründer einer Schule, wird schon dadurch deutlich, daß Forman A. Williams, der Autor der bekanntesten verbrennungstheoretischen Arbeit, sein Buch Tódor Kármán widmete. In diesem Zusammenhang soll hier abschließend eine Anekdote stehen:

Williams war eine Zeit lang Schüler, dann Mitarbeiter von Kármán. Gegen Ende der 50-er Jahre geschah es, daß Williams, der hoffnungsvolle junge Forscher an die Tür zu Kármáns Büro klopfte, um ihm seine theoretischen Ergebnisse hinsichtlich des Verbrennens von Öltröpfen in einem Raum reduzierter Gravitation zu zeigen. Er war kaum bei der Hälfte seines Vortrages angelangt, als er feststellte, daß Kármán eingeschlafen war. Williams - ein höflicher Mensch - beendete seinen Vortrag und weckte Kármán dann durch diskretes Räuspern. Kármán lobte den jungen Mann, wies auf einige Mängel der Herleitungen hin und machte Vorschläge zur weiteren Arbeit. Für den 80-jährigen Kármán waren einige Minuten ausreichend, um die Problematik zu durchschauen, wonach er sich entschied, bis zum Ende der Erklärungen noch ein wenig zu schlafen. All dies kann in den jetzt erschienenen Memoiren von Professor Williams nachgelesen werden. Es wird übrigens gesagt, daß jemand, der mindestens 10 Minuten mit Kármán sprach, mit Sicherheit eine ähnliche Geschichte erzählen kann, was Kármáns allgemein bekannte, besonders vielseitige Persönlichkeit zeigt.

*Sándor Dóbe*

*Privatdozent, Zentrales Forschungsinstitut für Chemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Reaktionskinetische Abteilung,  
Vorsitzender der Ungarischen Verbrennungstheoretischen Kommission*