

Forschungstendenzen zur Wärmeübertragung

Vierte internationale Konferenz für Wärmeübertragung in Versailles vom 31. August bis 4. September 1970

Ende August 1970 werden sich in Versailles die Fachleute für Wärmeübertragung aus aller Welt zu ihrem vierten großen Rechenschaftsbericht über den Stand des Wissens treffen. Diese vierte Konferenz hat die folgenden Vorgänger: London, September 1951, mit einer Fortsetzung der Diskussion in Atlantic City, N. J., USA, im November 1951 (92 Arbeiten); Boulder, Col., USA, August/September 1961 mit einer Fortsetzung der Diskussion in London im Januar 1962 (142 Arbeiten); Chicago, Ill., USA, August 1966 (177 Arbeiten). Die diesjährige Konferenz ist also die erste außerhalb des englischen Sprachbereiches.

„Assembly“ und „Briefkästen“

Schon in Chicago (1966) machte sich der Wunsch nach einer stärkeren „Internationalisierung“ bemerkbar und es wurde als nützlich empfunden, eine ständige internationale Arbeitsgruppe ins Leben zu rufen, die auch zwischen den Konferenzen die Aktivitäten auf dem Gebiet der Wärmeübertragung beobachten und fördern sollte. So kam es zur Gründung der „Assembly for International Heat Transfer Conferences“, einer losen Arbeitsgemeinschaft, der zur Zeit Vertreter folgender Länder angehören: Bundesrepublik Deutschland, Canada, Frankreich, Japan, Jugoslawien, UdSSR, UK, USA.

Tafel 1: Verteilung der Beiträge und Sitzungen auf die Fachgebiete

Fachgebiet	Beiträge	Sitzungen
Wärmeleitung	27	3
Erzwungene Konvektion	87	9
Freie Konvektion	40	4
Kombinierte Wärmeübertragung	28	3
Rheologie	9	1
Sieden	89	8
Kondensieren	14	2
Strahlung	15	2
Wärmeaustauscher	19	2
Meßtechnik	17	2
Summe	345	36

Diese Assembly hat auch die Schirmherrschaft über die diesjährige Konferenz übernommen. In den vertretenen Ländern (außer Jugoslawien, das damals noch nicht Mitglied war) wurden nationale Komitees gebildet zur Verteilung des „Call for papers“ und zur Entgegennahme und Sichtung der eingegangenen Arbeiten. Die Wirksamkeit dieser Komitees, im Konferenzjargon „letter boxes“ genannt, übertraf alle Erwar-

tungen. Innerhalb weniger Monate gingen über 700 Manuskripte aus aller Welt ein. Es war kein leichter Entschluß für die Assembly, hiervon etwa 350 Arbeiten zuzulassen, also fast doppelt soviel wie für die dritte Konferenz in Chicago. Zwischen dem weltweiten Interesse an der Wärmeübertragung und der Aufnahmefähigkeit des Auditoriums mußte ein vernünftiger Ausgleich geschaffen werden. Natürlich kann der einzelne Autor nicht mehr selbst vortragen, wenn man 350 Arbeiten in 5 Tagen behandeln will. Es wurde das Rapporteur-System gewählt, das sich schon in Chicago sehr bewährt hatte.

Deutsch-französische Zusammenarbeit

Die Assembly folgte einer Einladung deutscher und französischer Fachorganisationen und wählte Paris beziehungsweise Versailles zum Tagungsort, auch im Sinne der beabsichtigten „Internationalisierung“. Die Vorbereitung wurde deutschen und französischen Komitees für das Programm, die Organisation und die Finanzen übertragen, während die von der Assembly in ihren Mitgliedsländern ins Leben gerufenen nationalen Komitees gemeinsam als internationales wissenschaftliches Komitee fungierten.

Die veranstaltenden Fachorganisationen der vierten Konferenz sind: Verfahrenstechnische Gesellschaft im VDI; DECHEMA, Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen; La Société Française des Thermiciens; La Société de Chimie Industrielle.

Die Konferenz wird vom 31. August bis 4. September 1970 im Palais des Congrès in Versailles stattfinden, wo zwei große Vortragssäle für zwei

Parallelveranstaltungen mit Simultanübersetzung zur Verfügung stehen. Konferenzsprachen sind Deutsch, Englisch und Französisch. Jede der 36 Fachsitzungen besteht aus dem Bericht des Rapporteurs von etwa 30 Minuten und der anschließenden Diskussion von etwa 60 Minuten.

Der Erfolg der Konferenz wird wesentlich von der Qualität der Berichte der Rapporteurs abhängen. Diese sollen nicht nur den Inhalt der

Tafel 2: Verteilung der Beiträge nach nationalen Sammelstellen

Land	Beiträge
USA	146
UdSSR	67
UK	49
Bundesrepublik Deutschland	30
Frankreich	23
Japan	17
Canada	13

eingereichten Arbeiten wiedergeben, sondern sollen den durch diese Arbeiten erzielten Fortschritt kritisch vor dem Hintergrund des Standes des Wissens behandeln. Sich etwa abzeichnende künftige Entwicklungen sollen dargestellt werden. Diese hohen Anforderungen können nur von einem genauen Kenner der Materie erfüllt werden. Es ist die große Chance für diese Konferenz, daß die Veranstalter die besten Fachleute aus aller Welt für jedes Teilgebiet als Rapporteurs gewinnen konnten. Ihre Berichte werden zusammengefaßt ein anspruchsvolles Lehrbuch für die gesamte Wärmeübertragung darstellen.

Zur Vorbereitung der Diskussion erhält jeder Teilnehmer bei rechtzeitiger Anmeldung (Programm und Formulare sind erhältlich beim Verein Deutscher Ingenieure, Kennwort IKW, Postfach 1139, 4 Düsseldorf 1, oder bei Congrès Service, 1 Rue Lefebvre, F 75 Paris 9^e) die gesamten Beiträge im vollen Text, die 7 Bände mit etwa 4000 Seiten ausmachen. Ein achter Band, der ebenfalls vor der Konferenz verteilt wird, enthält die Kurzfassungen in Deutsch, Englisch, Französisch und Russisch und ist vor allem zum Gebrauch während der Sitzungen gedacht. Die Berichte der Rapporteurs und die Diskussionen werden nach der Konferenz erscheinen.

Die für Versailles gewählte Form des Rapporteur-Systems ist sicher nicht die einzig mögliche, aber sie hat sich bewährt und wurde daher bevorzugt. Es werden in Versailles aber auch Formen der Kommunika-

tion diskutiert werden, die für zukünftige Konferenzen (die fünfte soll 1974 in Japan stattfinden) möglicherweise in Frage kommen. Auch sind neben den Fachsitzungen Round-Table-Gespräche vorgesehen, für die bereits mehrere Anmeldungen vorliegen, zum Beispiel über künftige Entwicklungen auf dem Gebiet der Wärmeübertragung.

Das Hauptthema der Konferenz ist in 10 Fachgebiete unterteilt. Tafel 1 zeigt die auf jedes Gebiet entfallende Zahl der Beiträge und Sitzungen.

Man kann daraus deutlich einige Schwerpunkte ablesen. Besonders auffällig ist die hohe Beteiligung an den Siedevorgängen, die wohl auch durch die Reaktortechnik mit ihrem extrem hohen Forschungsaufwand bedingt sein dürfte. Obwohl dieses Gebiet seit mehreren Jahrzehnten intensiv bearbeitet wird, hält das Interesse unvermindert an. Daß auch für das Gebiet „Erzwungene Konvektion“ eine beträchtliche Zahl von Arbeiten eingereicht wurde, liegt an seinem weiten Umfang. Hierzu gehören laminare und turbulente Grenzschichtströmungen, Kanalströmungen ohne und mit Einbauten, Einfluß von Rauigkeiten, supersonische und hypersonische Strömungen, Umströmung einzelner Körper und Strömung durch Rohrbündel sowie der Einfluß von Pulsationen und die magnetohydrodynamische Strömung. Das Interesse an Problemen der freien Konvektion schließlich dürfte auch mit Fragen der Raumfahrt zusammenhängen (Schichtenbildung in Brennstoffbehältern bei geringer Schwerebeschleunigung), aber auch Probleme des Bauwesens (Wärmedämmung durch Hohlräume) und der Geowissenschaften (rotierende Systeme) sind beteiligt. Jede einzelne Fachsitzung trägt neben dem Haupttitel noch einen speziellen Untertitel, um die Orientierung zu erleichtern.

Neben der fachlichen Aufteilung der angenommenen Arbeiten ist auch noch die nach Herkunftsändern interessant. Tafel 2 zeigt die von den einzelnen „Briefkästen“ herrührenden Beiträge. Dabei ist allerdings zu beachten, daß es sich nicht nur um Arbeiten des betreffenden Landes handelt. So gingen bei der Sammelstelle in der Bundesrepublik Deutschland auch Manuskripte aus mehreren Ländern Südosteuropas ein, ferner aus Polen, der VAR, Indien und Pakistan. Trotzdem gibt die Zusammenstellung wohl ein zutreffendes Bild von der Aktivität auf dem Gebiet der Wärmeübertragung in den einzelnen Ländern.

Tafel 3 zeigt noch die Aufteilung der Konferenzbeiträge nach ihrer Herkunft aus Instituten der Universitäten, aus außeruniversitären For-

schungsanstalten und wissenschaftlichen Akademien und aus Forschungsstellen der Industrie. Hierbei wird der bedeutende Anteil der Universitäts- und Hochschulforschung sichtbar. Es wird damit wieder einmal deutlich, daß von den Instituten der Universität ein ununterbrochener Strom von neuen ingenieurwissenschaftlichen Erkenntnissen ausgeht, der auch die mehr anwendungsorientierte Industrieforschung, vor allem aber die Entwicklung neuer Verfahren und Apparate speist. Zum Anteil der Akademien muß bemerkt werden, daß alle sowjetrussischen Beiträge unter dem Titel der Akademie der Wissenschaften eingereicht wurden.

„Teichhautkochen“

Den Autoren war aufgegeben worden, die Zusammenfassung ihrer Arbeiten in den vier Sprachen Deutsch, Englisch, Französisch und Russisch einzureichen. Das bereitete offensichtlich erhebliche Übertragungsschwierigkeiten, wie die nachfolgenden Proben aus der deutschen Fassung zeigen, die dem Leser nicht vorenthalten seien:

Studie auf das Kochen an diskreten Orten vermittelt hierbei angestellten allerlei Experimenten:

Abstrahiertes: Die Forschung wurde unter einem Druck von 245 bar vorgenommen. Versuchslich wird vorgewiesen über Phänomene und Verhältnisse in Röhren bei durchgeführter unbeständiger gezwungen gestrudelten Zweiphasenzwingeströmung in anderen Umständen und bei anfänglicher Blasenlosmache mit mäßiger Unterhitze. Vergleichsweise dieserhalb wurden Ergebnisse offenbart über ungleich gewichtigeres Sieden im Teichhautkochen auf künstlich gekratztem hitziger Oberfläche mit genauen Messung über die überlaufende Wärme direkt unterhalb derselben und an der Haut.

In dem Blinddarm wird vorgebracht mit einem drittenmachtgleichung die Zusammenbündelung der vielen Versuchen. Besondere Glaubwürdigkeit ist erklärt mit Hilfe von genau erlundenen Prophezeiungen, welche besonders die Wahrscheinlichkeit der versuchten Messungen befriedigend bestimmen.

Problem der Übersetzung

Diese Proben mit einigen überraschenden Formulierungen sind hier nicht wiedergegeben, um sich über die Autoren lustig zu machen, die sich offenbar viel Mühe gegeben haben. Es soll vielmehr darzulegen werden, wie problematisch eine sprachlich und fachlich korrekte

Übersetzung sein kann. Dem Fachmann ist klar geworden, daß es sich meist um allzu wörtliche Übersetzungen handelt. Aus dem pool film Boiling, dem Filmsieden bei freier Konvektion, wurde das Teichhautkochen, aus dem appendix der Blinddarm und die third power equation, die Gleichung dritten Grades, wurde zur drittenmachtgleichung. Der Text wurde, so weit irgend möglich, vor dem Ausdrucken sprachlich geglättet.

Den dem Fachgebiet Fernerstehenden wird es überraschen, daß es für ein solches „Spezialgebiet“ wie die Wärmeübertragung eine internationale Konferenz gibt und daß sich zu ihrer Betreuung eine internationale Assembly gebildet hat. Man darf aber nicht übersehen, daß die Wärmeübertragung für viele andere Bereiche eine Basiswissenschaft ist und daß häufig die Wärmezu- oder -abfuhr und die damit verbundene Temperaturkontrolle der geschwindigkeitsbestimmende Teilvorgang ist. Das gilt für die Belastung eines Lagers oder einer Brennkammer, für die Leistung einer Verbrennungskraftmaschine oder eines elektrischen Generators, Transformators oder Gleichrichters, aber auch für die Zerspanungsleistung einer Werkzeugmaschine und die Geschwindigkeit eines Überschallflugzeuges.

Enge Bindungen zur Verfahrenstechnik

Zur Verfahrenstechnik bestehen seit langem enge Beziehungen. Das ist deswegen nicht überraschend, weil bei vielen Unit Operations Vorgänge der Wärmeübertragung und der damit eng verbundenen Stoffübertragung eine besondere Rolle spielen. So hat die verfahrenstechnische Forschung als Schrittmacher gedient, weil sie eine tiefere Einsicht in die Elementarvorgänge verlangte. Es ist daher auch nicht Zufall, daß zum Beispiel in den USA die Entwicklung der Lehre von der Wärmeübertragung über längere Zeit eng mit der American Society for Chemical Engineers verbunden war. Auch in der Bundesrepublik Deutschland gehört der Fachausschuß „Wärme- und Stoffübertragung“ zur Verfahrenstechnischen Gesellschaft.

Eine besondere Förderung erfuhr dieses Gebiet durch die hervorragenden technischen Entwicklungen unserer Tage, insbesondere die Raumfahrt und die Kerntechnik. Das Wiedereintrittsproblem von Satelliten ist im wesentlichen ein solches der Wärmeübertragung, das bekanntlich durch die Ablationskühlung zufriedenstellend gelöst wurde. Die Wärmeabfuhr aus dem Core ist auch der Engpaß bei der Auslegung von Kernreaktoren. Der Zwang, hierbei wegen der besonderen Betriebsbedingungen genauer rechnen zu müssen als bei den meisten übrigen technischen Prozessen, erforderte eine sehr aufwendige theoretische und experimentelle Forschung in allen Industrieländern, die das Gebiet Wärmeübertragung stark gefördert hat. Die hierbei gewonne-

Tafel 3: Verteilung der Beiträge nach Forschungsstellen

Herkunft	Beiträge
Universitäten	157
Forschungsanstalten und Akademien	116
Industrie	31
Universitäten u. Forschungsanstalten	15
Forschungsanstalten und Industrie	5
Universitäten und Industrie	21

nen neuen Erkenntnisse wirken sich auch auf die übrige Technik aus; man denke nur an das burn-out-Problem und die Technologie flüssiger Metalle. Diese Entwicklung ist noch in vollem Gange und ihre Folgen lassen sich kaum abschätzen.

In letzter Zeit beobachtet man, daß Fachleute für Wärmeübertragung ihre Mitarbeit auf Fachbereichen anbieten, mit denen Ingenieure bisher wenig zu tun hatten. Hierzu gehören Biologie und Medizin. Die Übertragung von Wärme innerhalb eines lebenden Systems und an die Umgebung wird heute auch von Seiten der Ingenieure untersucht. Luft- und Raumfahrtmedizin haben zu dieser Zusammenarbeit entscheidend beigetragen. Temperaturverteilungen als Hilfsmittel der Diagnostik und programmierte Temperaturregelungen bei der medizinischen Technik gehören zu diesem Arbeitsgebiet. Auch zu den Geowissenschaften bahnen sich Möglichkeiten einer Zusammenarbeit an. Die Konvektion in der Atmosphäre und im Weltmeer haben enge Beziehungen zur Wärmeübertragung und es erscheint trotz der vielen Einflußgrößen nicht aussichtslos, im Modellversuch einige grundsätzliche Beziehungen zu klären. Der ungewöhnliche Modellmaßstab und der Zwang, auf vollständige Abbildung zu verzichten, sind dem Ingenieur wohlvertraut. Auch die Untersuchung der Konvektion in der bodennahen Luftschicht, der Einfluß überstabiler Schichtung infolge Temperaturinversion, die als Sperrschicht den Austausch mit der Frischluft in großen Höhen verhindert (Smogbildung), gehören zu diesem Bereich.

Diese vielfältigen Aufgaben auf konventionellen und neuartigen Gebieten stellen an theoretische Methoden und experimentelle Techniken hohe Anforderungen. Der Einsatz von Rechenautomaten ermöglicht heute theoretische Lösungen auch sehr komplexer Probleme, an die man noch vor wenigen Jahrzehnten nicht zu denken gewagt hätte. Auch die Experimentiertechnik hat mit der Entwicklung empfindlicherer und schreibender Temperaturmeßgeräte bedeutende Fortschritte gemacht. Zu den klassischen experimentellen Methoden gesellen sich heute auch die optischen, die als Schatten-, Schlieren- oder Interferenzverfahren arbeiten.

Man kann aber einen Interferenzkomparator nicht nur als Gerät zur Visualisierung, sondern auch als Analogrechner ansehen, der unter Benutzung des Phasenkontrasts zwischen Meß- und Vergleichsstrahl ein getreues Bild eines Temperaturfeldes aufzeichnet unter Berücksichtigung aller Randbedingungen. In Bild 1 ist ein Vergleich zweier Interferogramme unterschiedlicher Grashof-Zahl (oben) mit dem digital

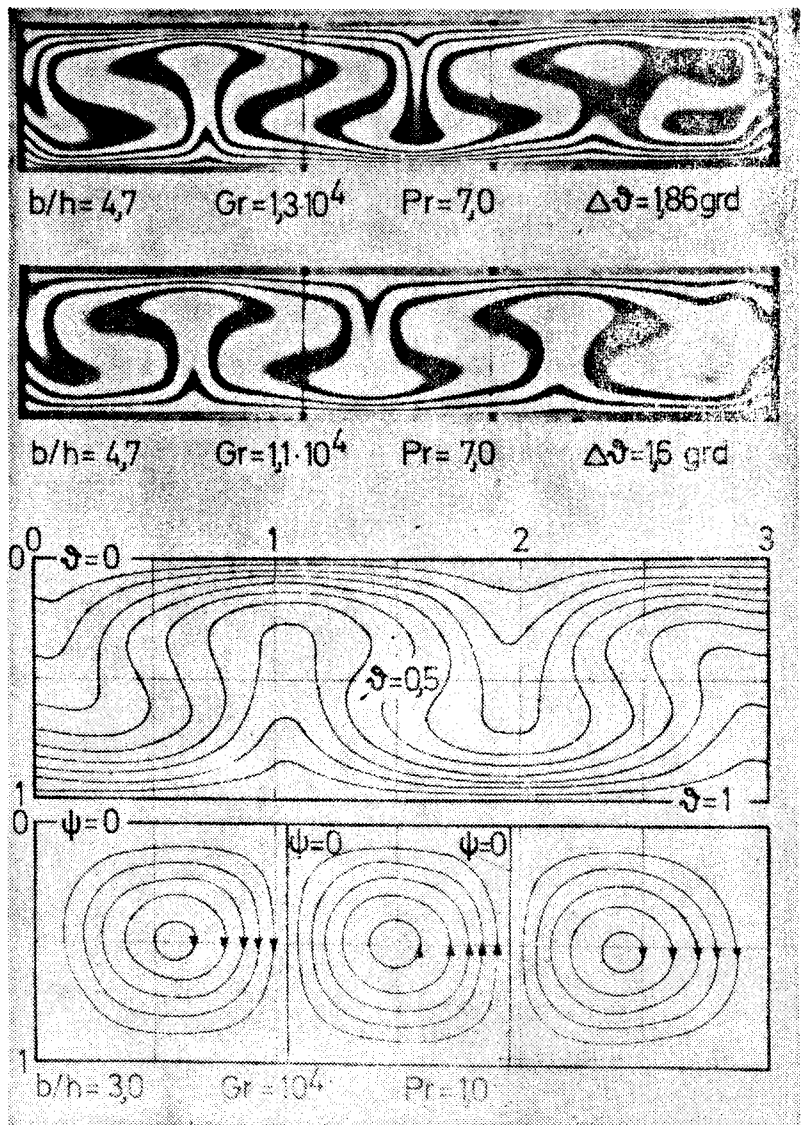


Bild 1: Freie Konvektion in der waagrechten, von unten beheizten Schicht. Vergleich der analogen (oben) mit der digitalen (unten) Darstellung des Isothermenfeldes (Erläuterung im Beitrag). Foto: Verfasser

berechneten Isothermenfeld (unten) dargestellt. Ganz unten ist noch das Feld der Stromlinien wiedergegeben.

Es handelt sich um den senkrechten Schnitt durch eine horizontale von unten beheizte und von oben gekühlte Schicht, in der sich erfahrungsgemäß oberhalb einer kritischen Temperaturdifferenz eine Konvektionsbewegung einstellt, die im dreidimensionalen Fall aus typischen, meist sechseckigen Zellen, den sogenannten Bénard-Zellen, besteht. In Bild 1 ist der zweidimensionale Fall wiedergegeben. Das Interferogramm stammt von U. Grigull und W. Hauf, München, die digitale Berechnung führte S. W. Churchill, University of Pennsylvania, Philadelphia, Pa., USA, durch, der diese Ergebnisse auf der Dritten Inter-

nationalen Konferenz für Wärmeübertragung (Chicago 1966) präsentierte. Die Übereinstimmung ist bemerkenswert gut, wenn man noch berücksichtigt, daß die Interferenzaufnahme in Wasser (Prandtl-Zahl $Pr \approx 7$) gemacht wurde und die Berechnung für Gase ($Pr \approx 1$) gilt. Dieser Vergleich mag als Beispiel für viele andere Anwendungen optischer Verfahren dienen.

So sei abschließend festgestellt, daß die Fachleute für Wärmeübertragung sich gegenüber den gegenwärtigen und den künftigen Anforderungen wohl gerüstet fühlen. Die Vierte Internationale Konferenz wird darüber Rechenschaft ablegen und die Maßstäbe setzen für die künftige weltweite Zusammenarbeit.

U. Grigull