

Neuere Entwicklungen in der Wasserdampfforschung

Die 11th International Conference on the Properties of Steam (11th ICPS) (Internationale Konferenz über die Eigenschaften des Wasserdampfs) fand unter der Ägide der International Association for the Properties of Steam (IAPS) vom 4. bis 8. September 1989 in Prag statt. Das deutsche Nationale Komitee zur IAPS ist zugleich der VDI-Ausschuß „Wasserdampfforschung“, der zur VDI-Gesellschaft „Energietechnik“ gehört. Über Verlauf und wichtige Beschlüsse der Konferenz sowie über den Stand der Wasserdampfforschung wird im folgenden berichtet*).

U. Grigull, München

Die Prager Konferenz war zugleich eine Jubiläumssitzung für 60 Jahre internationaler Zusammenarbeit in der Erforschung der Eigenschaften von Wasser und Dampf, die mit der „Ersten Dampftafelkonferenz“ 1929 in London begann. Mitveranstalter und Förderer der Prager Konferenz waren die Tschechoslovakische Akademie der Wissenschaften, die Karls-Universität in Prag und die Škoda-Werke in Pilsen. Die Konferenz wurde geleitet vom derzeitigen Präsidenten der IAPS, Professor Ing. M. Pichal, DrSc., Direktor des Instituts für Thermomechanik der Tschechoslovakischen Akademie der Wissenschaften. Konferenzsekretär war Ing. O. Šifner, CSc., der demselben Institut angehört. Es waren mit Gästen 126 Personen aus 14 Ländern anwesend, davon 20 aus der Bundesrepublik Deutschland. Das wissenschaftliche Programm umfaßte 10 Vorträge auf Einladung, dazu zwei Vorträge auf der Eröffnungssitzung sowie 65 Vorträge auf Anmeldung.

In Anbetracht des 60jährigen Jubiläums der Wasserdampfforschung war aus Beständen Prager Bibliotheken eine umfangreiche Ausstellung alter und neuer Wasserdampftafeln vorbereitet. Die älteste ausgestellte Dampftafel stammte von Franz Ritter von Schwind, k.k. Bergrat, publiziert 1856 von der k.k. Hof- und Staatsdruckerei in Wien.

Bevor über die Konferenz berichtet wird, sei zum Verständnis kurz auf die Arbeitsweise von IAPS eingegangen.

Arbeitsgruppen der IAPS

Die fachliche Arbeit der IAPS wird in zwei Arbeitsgruppen geleistet, von denen die Arbeitsgruppe A, geleitet von Frau J.M.H. Levelt Sengers (Gaithersburg, MD), sich mit den Zustandsgrößen von Wasser und wäßrigen Lösungen beschäftigt, die Arbeitsgruppe B, geleitet von Frau O. Martynova (Moskau) und A. Bursik (Mannheim), mit der chemischen Thermodynamik der Kreisläufe in Kraftwerken (Kreislaufchemie). Aktuelle Arbeitsgebiete der beiden Gruppen sind:

Arbeitsgruppe A: Dielektrizitätskonstante und Brechzahl von Wasser und Dampf, Löslichkeit von Gasen in Wasser bei hohen Temperaturen, Schmelzkurven der verschiedenen Arten von Eis,

Arbeitsgruppe B: Thermodynamik der Lösungen von Ammoniumsalzen, Wechselwirkungen zwischen Anionen und Eisenoxid, Löslichkeit von Spinellen, Wasserchemie von Kupfer, Löslichkeit von Magnetit.

Weiterhin besteht die Arbeitsgruppe „Industrielle Berechnungen“ (als subcommittee), geleitet von B. Rukes (Erlangen), die vor allem die Belange der Kraftwerksindustrie hinsichtlich Bereich, Genauigkeit und Rechenzeit der IAPS-Formulationen geltend macht und künftige Möglichkeiten erörtert.

Wissenschaftliches Programm der Konferenz

Die vom Programmkomitee zur 11. ICPS angenommenen Arbeiten wurden in 11 Fachgruppen geordnet, die zugleich das gesamte Arbeitsgebiet der IAPS kennzeichnen. Die Verteilung der Schwerpunkte lassen sich aus der Zahl der Vorträge erkennen, die in die nach-

stehende Zusammenstellung aufgenommen sind:

Modellrechnungen mit dem Computer . . .	8
Chemische und Phasengleichgewichte . . .	10
Kritisches Verhalten	9
Metastabile Zustände und Keimbildung . .	3
Kreislaufchemie	6
Lösungen	5
Zweiphasenströmung	3
Industrielle Berechnungen	10
Korrosion	5
Thermophysikalische Stoffgrößen	11
Verschiedenes (Strukturtheorien)	5

Die Beteiligung der einzelnen Länder geht aus folgender Zusammenstellung hervor, in der die Zahl der Teilnehmer und (in Klammern) die Zahl der anwesenden Autoren und Koautoren aus dem betreffenden Land aufgeführt sind (Mehrfachnennungen eingeschlossen):

Mitgliedländer der IAPS

Canada	4 (4)
ČSSR	17 (10)
Bundesrepublik Deutschland	13 (12)
Frankreich	3 (3)
Japan	12 (12)
USSR	26 (25)
United Kingdom	5 (3)
USA	14 (13)
Argentinien (beigeordnetes Mitglied)	2 (2)

Gastländer

Dänemark	2 (1)
Deutsche Demokratische Republik	3 (3)
Finnland	1 (1)
Italien	2 (0)
Polen	1 (0)

Alle auf der 11. ICPS gehaltenen Vorträge werden in den „Proceedings“ veröffentlicht, die Mitte 1990 erscheinen sollen und den Teilnehmern zugestellt werden.

Formulationen

Das Computerzeitalter brach für die IAPS 1963 an, als auf der 6. ICPS in New York beschlossen wurde, die Dampftafeln durch Sätze von Gleichungen, sogenannte Formulationen zu ersetzen. Damals entstanden die 1967 IFC Formulation for Industrial Use und die 1968 IFC Formulation for Scientific and General Use. Die erstgenannte besteht heute noch, die zweite wurde durch die IAPS Formulation 1984 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for Scientific and General Use ersetzt. Fortschritte in der numerischen Mathematik begünstigen das Erscheinen weiterer Formulationen (auf

* Vgl. frühere Berichte in BWK 36 (1984) Nr. 12, S. 527/528, BWK 38 (1986) Nr. 12, S. 547/548 und BWK 40 (1988) Nr. 12, S. 499/500.

der 11. ICPS in Prag befaßten sich 15 Vorträge mit verschiedenen Aspekten der Formulationen), so daß zwangsläufig auch über mögliche Änderungen der beiden anerkannten Formulationen gesprochen wurde. In Prag herrschte Einvernehmen darüber, keine der inzwischen entwickelten Formulationen zu wählen, sondern zunächst die Anforderungen und Erwartungen an künftige Formulationen zu definieren, um damit die „equation makers“ zu veranlassen, Formulationen „nach Maß“ aufzustellen. Nur auf diese Weise ließen sich auch die erheblichen Kosten verantworten, die jede Änderung einer Formulation für den Benutzer mit sich bringt. Da nach den bestehenden Regeln der IAPS eine anerkannte Formulation nur auf einer ICPS geändert werden kann, also frühestens etwa 1994, braucht nichts überstürzt zu werden. Für die beiden anerkannten Formulationen ergeben sich ganz verschiedene Anforderungen; die 1967 eingeführte Trennung, die damals sehr umstritten war, hat sich voll bewährt.

Eine neue *wissenschaftliche* Formulation muß, wie auch ihre Vorgänger, innerhalb der Toleranzen der Rahmentafeln (skeleton tables) liegen. Ihre ersten und zweiten Ableitungen müssen stetig sein, wie und wo es die thermodynamische Konsistenz verlangt. Die Gleichung muß mit der neuen Internationalen Temperaturskala von 1990 übereinstimmen, die mit der Kurzbezeichnung ITS 90 am 1. Januar 1990 gültig wird. Darüber hinaus wünschte man sich eine korrekte Wiedergabe des kritischen Verhaltens (etwa durch Skalengesetze) und der metastabilen Bereiche an den Schmelz- und Sättigungslinien. Die Gleichung sollte im Druckwasserbereich bis zu den Schmelzlinien und bis zu 250000 bar gültig bleiben und möglichst auch den Dissoziationsbereich (den Plasmazustand) enthalten. Eine solche Formulation, die weit über die Berechnung von Kraftwerkskreisläufen hinausgeht, stellt eine formelle Dokumentation unseres Wissens über die „ordinary water substance“ dar. Sie kann auch als Muttergleichung für weitere Formulationen mit geringerem Geltungsbereich oder auch für empirische Beziehungen ohne thermodynamische Konsistenz dienen. Ob und wie sie verwirklicht werden kann, bleibt zunächst offen.

Die *industrielle* Formulation von 1967 erfüllt die Wünsche der Benutzer, was Genauigkeit und Geltungsbereich betrifft, man wünscht sich aber kürzere Rechenzeiten. Die Rechenzeiten werden vor allem durch die notwendigen Iterationen heraufgesetzt. Wie R.C. Spencer (früher General Electric, Schenectady, N.Y.) in Prag berichtete, muß die Formulation durchschnittlich 7055 mal aufgerufen

werden, um 300 Einzelgrößen zu berechnen, selbst wenn man nur 9 Iterationen annimmt, um einen Zustandspunkt aufzusuchen. Man kommt ohne Iterationen aus, wenn man empirische Beziehungen für die gerade verlangten Wertetripel anwendet, also etwa $T(p, h)$ für die Turbine oder $p(u, v)$ für Sicherheitsrechnungen. So verfährt man heute bereits bei internen Rechnungen und wendet die 1967 IFC Formulation für Garantierechnungen an. Ob man hieraus eine Empfehlung für eine neue Industriegleichung ableiten kann, bleibt abzuwarten. Zunächst bereitet man eine weltweite Befragung der einschlägigen Industrie vor nach dem erwünschten Geltungsbereich einer möglichen neuen Industriegleichung und nach der Frequenz der Aufrufe der thermodynamischen Größen bei der Kreislaufberechnung.

Verlautbarungen und Richtlinien der IAPS

Das für die Öffentlichkeit bestimmte Ergebnis der IAPS-Arbeit wird in Verlautbarungen (releases) zusammengefaßt. Vor kurzem wurden noch IAPS-Richtlinien (guidelines) eingeführt, die oft einen Auszug einer längeren Veröffentlichung eines Autors darstellen. Folgende Verlautbarungen sind z.Zt. beim Executive Secretary erhältlich:

- The 1967 IFC Formulation for Industrial Use,
- Surface Tension of Water Substance (Jan. 26, 1976),
- Static Dielectric Constant of Water Substance (Sept. 1977),
- Ion Product of Water Substance (May 1980),
- 1983 IAPS Statement, Values of Temperature, Pressure and Density of Ordinary and Heavy Water Substances at their Respective Critical Points (May 1983),
- Viscosity and Thermal Conductivity of Heavy Water Substance (Febr. 14, 1984),
- The IAPS Formulation 1984 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for Scientific and General Use (Dec. 17, 1984),
- IAPS Formulation 1984 for the Thermodynamic Properties of Heavy Water Substance (Dec. 30, 1984),
- IAPS Formulation 1985 for the Viscosity of Ordinary Water Substance (Nov. 18, 1985),
- IAPS Formulation 1985 for the Thermal Conductivity of Ordinary Water Substance (Nov. 18, 1985),
- IAPS Skeleton Tables 1985 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance (Nov. 18, 1985),
- Surface Tension of Heavy Water Substance (D₂O) (September 1985),
- Saturation Properties of Ordinary Water Substance (September 1986) (rev.

Nov. 24. 1986) (supplementary release).

In Kürze werden erscheinen:

- Solubility of Magnetite (guideline),
- Electrical Conductance of Liquid and Dense Supercritical Water from 0 °C to 800 °C, and Pressures up to 1000 MPa (guideline),
- Release on the Pressure along the Melting and the Sublimation Curve of Ordinary Water Substance.

Ehrungen

Auf der Prager Konferenz wurde drei Mitarbeitern der IAPS die Ehrenmitgliedschaft (honorary fellowship) verliehen:

- Dr. H.G. White, Jr. (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD), der als Executive Secretary die Arbeit der IAPS seit 1975 mit großem Engagement betreut und damit wesentlich zu deren erfolgreicher Entwicklung beigetragen hat,
- Dr. K.R. Schmidt (Erlangen, früher Lahmeyer International), der lange Zeit als „Co-chairperson“ die Arbeitsgruppe B geleitet hat und der die IAPS schon sehr früh auf die Bedeutung der Kreislaufchemie hinwies,
- Dr. R.C. Spencer (früher General Electric, Schenectady, N.Y.), der der Gruppe „Industrielle Berechnungen“ über lange Zeit vorstand und die Belange der Kraftwerksindustrie sehr erfolgreich vertreten konnte.

Formalien

Da Dr. White von seiner Position zurückgetreten war, wurde Dr. B. Dooley (Electric Power Research Institute, Epr) zum neuen Executive Secretary gewählt (3412 Hillview Avenue, Palo Alto, California 94303). - Der Name IAPS wurde geändert, um neben dem „Dampf“ auch das „Wasser“ im Namen zu führen und heißt jetzt „International Association for the Properties of Water and Steam“. Die Abkürzung lautet IAPWS, was man (nach Meinung unserer amerikanischen Kollegen) genau so wie IAPS aussprechen sollte. Aus der ICPS wurde die ICPWS, die „International Conference on the Properties of Water and Steam“. - Die 12. ICPWS soll nach 4 bis 5 Jahren in Nordamerika stattfinden; ob in Canada oder USA soll bis Mitte 1990 geklärt werden. - Die EC-Sitzung 1990 wird in Buenos Aires vom 17. bis 21. September abgehalten werden, die EC-Sitzung 1991 voraussichtlich in Japan. - Zum weiteren beigeordneten Mitglied (associate member) wurde Dänemark (nach Argentinien) aufgenommen. - Ein Vorschlag, eine weitere Arbeitsgruppe einzurichten, wurde in Prag

nicht abschließend diskutiert, ist aber wegen der vorgeschlagenen Arbeitsverteilung interessant:

● mögliche Arbeitsgruppe A:

Wissenschaftliche Formulation, „schnelle“ Bereichsgleichungen für industrielle Berechnungen (gemeinsam mit dem vorhandenen subcommittee), metastabile Zustände, Transport-, elektrische, Oberflächen- und optische Zustandsgrößen,

● mögliche Arbeitsgruppe B:

Zustandsgleichungen und Excessgrößen für starke Elektrolyte, Excessgrößen für schwache Elektrolyte, Löslichkeit und Verteilung von Gasen, Dampf als Lösungsmittel,

● mögliche Arbeitsgruppe C:

Löslichkeit von Spinellen und Wechselwirkung zwischen Metallen und Anionen, Korrosion und Redoxsysteme, Regelung und Überwachung in der Kreislaufchemie.

Es wurde auch vorgeschlagen, statt der Arbeitsgruppen Projektgruppen (task groups) einzuführen, um spezielle Probleme eingehender diskutieren zu können. Auch darüber sollte auf der EC-Sitzung 1990 gesprochen werden.

Exkursion zu den Škoda-Werken

Einen Nachmittag waren die Konferenzteilnehmer Gäste der Škoda-Werke in Pilsen. Škoda ist der größte Industrie-

konzern in der ČSSR mit rund 78000 Mitarbeitern, davon rund 40000 in Pilsen. Aus der breiten Angebotspalette wurde die Montage der Druckbehälter für Druckwasserreaktoren und die Montage der Dampfturbinen gezeigt. Škoda bietet Druckwasserreaktoren für 400 MW und für 1000 MW an. Die Kapazität der Fabrik ist auf 3 bis 4 Reaktoren im Jahr ausgelegt. Ein für Polen bestimmter 400 MW-Reaktor ist fertiggestellt und wartet auf Abholung, ein für Bulgarien bestimmter Reaktor gleichen Typs wurde gerade montiert. Man erwartet die Bestellung von fünf weiteren Reaktoren des 1000 MW-Typs.

BWK 304