

DK 536.71 (100)

Stand der internationalen Wasserdampfforschung

Von U. Grigull, J. Bach und M. Reimann, München*)

Die Aufstellung und internationale Anerkennung von Formulationen für die Eigenschaften des Wasserdampfs

Die 6. Internationale Wasserdampfkonzferenz 1963

Die „6th International Conference on the Properties of Steam“ (ICPS), die 1963 in New York stattfand, hatte erstmals die Notwendigkeit von Zustandsgleichungen betont, die für die Berechnung von Dampfkraftanlagen mittels elektronischer Rechenanlagen geeignet sind [1]. Zur Aufstellung solcher Zustandsgleichungen, Formulationen genannt, wurde ein „International Formulation Committee“ (IFC) eingesetzt, das aus Mitarbeitern folgender Länder bestand: Bundesrepublik Deutschland (BRD), Tschechoslowakei (CSSR), Japan, Vereinigtes Königreich (UK), Amerika (USA), Sowjetunion (UdSSR). Außerdem wurde eine Arbeitsgruppe für Transportgrößen aus Vertretern der Länder BRD, UK, USA und UdSSR gebildet, die nach Klärung einiger Unstimmigkeiten ein Jahr später erstmals Rahmentafeln und Interpolationsgleichungen für die Viskosität und die Wärmeleitfähigkeit des Wasserdampfs ausarbeitete. Die Rahmentafeln wurden von der Konferenz schriftlich angenommen [2].

Erste IFC-Sitzung in Prag, März 1965

Nach dem Beschluß der 6. ICPS sollten die vom International Formulation Committee (IFC) aufzustellenden Formulationen thermodynamisch konsistent sein. Die mit ihrer Hilfe berechneten Werte für das spezifische Volumen und die spezifische Enthalpie sollten innerhalb der Toleranzen der Rahmentafeln von 1963 liegen.

Auf der ersten Sitzung 1965 wurden Gleichungssätze der BRD und der CSSR vorgelegt [3; 4]. Das IFC war der Ansicht, daß eine Formulation aus mehreren Unter-Formulationen, die verschiedene Unter-Bereiche umfaßten, bestehen könnte. Für diese Übergänge zwischen zwei Bereichen beschloß es sehr strenge Kriterien, um glatte Übergänge zu erhalten. Die Formulation sollte in einem „Statement“ dargestellt werden, ein weiterer Bericht sollte die Nachprüfung an allen Rahmentafelpunkten sowie die Unstetigkeiten an den Bereichsgrenzen enthalten.

Das IFC erkannte damals, daß der Auftrag der Vollkonferenz nur mit einer Aufgabenteilung zu erfüllen war: Die eine Aufgabe bestand darin, eine Formulation zu entwickeln, die die Größen des Wasserdampfs so genau wie möglich darstellen sollte ohne Rücksicht auf Komplexität und Abhängigkeiten sowie Konstantenzahl und Speicherplatz bei den Rechenmaschinen. (Dieser Formulation, die provisorisch den Namen „Master Formulation“ erhielt, wurde später der Titel „The 1968 IFC Formulation for Scientific and General Use“ gegeben.) Diese Aufgabe erforderte Zeit. Es wurden Bereiche vorgeschlagen, die von verschiedenen Ländern bearbeitet werden sollten.

Die andere Aufgabe sollte eine zur Anwendung in der Industrie bestimmte Formulation sein. Diese Aufgabe wurde den Delegationen der BRD und Großbritanniens übertragen, die noch einige Änderungen und Ergänzungen an dem von der BRD vorgeschlagenen Gleichungssatz ausführen sollten.

Zweite IFC-Sitzung in Glasgow, März 1966

Auf dieser Sitzung lagen für die wissenschaftliche Formulation Teilgleichungen für die Sättigungslinie, für das Druckwassergebiet, für das überhitzte Gebiet sowie für den verbleibenden Rest im p,t -Diagramm vor, aus denen nach Glättung der Übergänge die Formulation hervorgehen sollte [4].

*) Prof. Dr.-Ing. Ulrich Grigull VDI ist Direktor des Instituts für Technische Thermodynamik der TH München. Dipl.-Ing. Josef Bach und Dipl.-Ing. Michael Reimann sind wissenschaftliche Mitarbeiter im gleichen Institut.

Diese Teilgleichungen wurden als Grundlage der Formulation angenommen. Für deren Ausarbeitung wurde eine Arbeitsgruppe, bestehend aus den Delegationen der BRD, CSSR und UdSSR eingesetzt. Eine zweite Arbeitsgruppe, bestehend aus den Delegationen von Japan, UK und USA, sollte später die Formulation prüfen.

In Weiterführung der zweiten Aufgabe wurde der verbesserte Gleichungssatz für die Industrie-Formulation im Hinblick auf die dringenden Erfordernisse der Industrie vorläufig unter dem folgenden Namen angenommen: „A Formulation of the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance proposed for Industrial Use, March 1966“.

Um Sprungstellen an den Bereichsgrenzen der Industrieformulation zu glätten, wurden die japanische und die deutsche Delegation gebeten, die Industriegleichung noch zu verbessern.

Arbeiten zwischen der zweiten und dritten IFC-Sitzung

Die verbesserte Industrieformulation wurde von den Delegationen der USA und des UK geprüft. Im Herbst 1966 wurde sie für den Gebrauch in der Industrie angenommen und ersetzte damit den in Glasgow angenommenen Gleichungssatz mit den Sprungstellen. Nach einer neuerlichen Überarbeitung trat sie am 1. März 1967 unter dem Namen „The 1967 IFC Formulation for Industrial Use“ [5] in Kraft. Sie erhielt weiterhin eine vorläufige (temporary) Anerkennung.

Der Gültigkeitsbereich und die Bereichsgrenzen dieser Formulation sind in Bild 1 in einem T,s -Diagramm und in Bild 2 in einem p,T -Diagramm wiedergegeben. Der Unter-Bereich 1 stellt die Druckwassergleichung, der Unter-Bereich 2 das Gebiet des überhitzten Dampfes dar. Im kritischen Gebiet gilt Gl. (3), in dem engen Zwinkel zwischen der Grenze auf der Wasserseite bei 350 °C und der kritischen Temperatur (Unter-Bereich 4) kommt zu Gl. (3) noch ein additiver Term. Mit 5 und 6 ist das Naßdampfgebiet bezeichnet.

In Fortführung der Arbeiten an der wissenschaftlichen Formulation stellte die erste Arbeitsgruppe in Erlangen im Frühjahr 1967 fest, daß noch umfangreiche Arbeiten zum Verbessern und

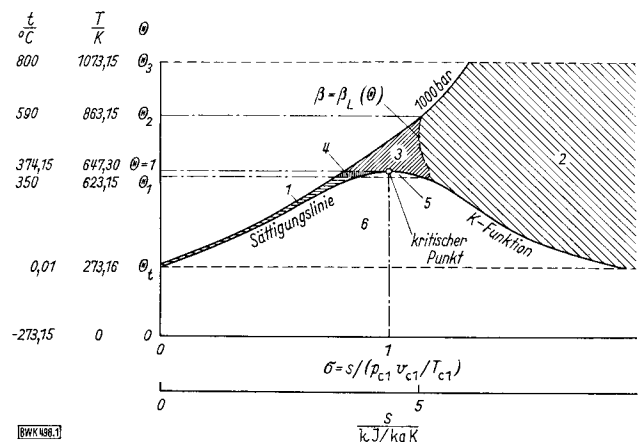


Bild 1. Temperatur/Entropie-Diagramm des Wasserdampfs mit den Unter-Bereichen der „1967 IFC-Formulation für industriellen Gebrauch“.

Den Achsen zunächst stehen die reduzierten Werte $\theta = T/T_{c1}$ und $\sigma = s/(p_{c1} v_{c1}/T_{c1})$ der Temperatur und der spezifischen Entropie, worin der Index c sich auf den kritischen Zustand bezieht und der Index 1 andeutet, daß es sich um einen von der 6. Konferenz 1963 angenommenen Wert handelt. Der Index t bezieht sich auf den Tripelpunkt. Mit $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ werden Temperaturen an Bereichsgrenzen bezeichnet. Der Index L bezieht sich auf eine Funktion, die die Grenze zwischen den Unterbereichen 2 und 3 definiert.

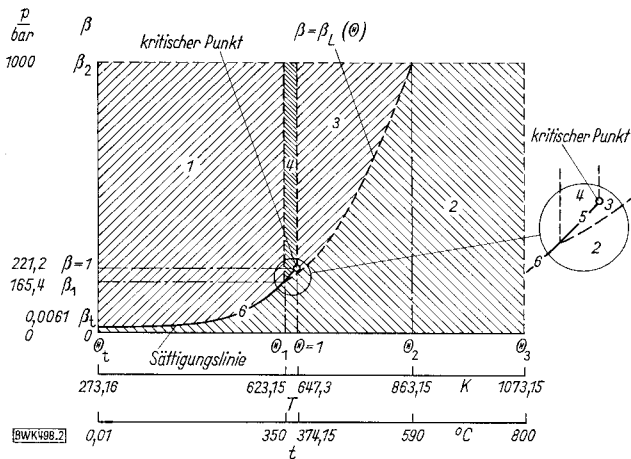


Bild 2. Druck/Temperatur-Diagramm des Wasserdampfs mit den Unter-Bereichen der „1967 IFC-Formulation für industriellen Gebrauch“.

$\beta = p/p_c$ ist der reduzierte Druck. Übrige Bezeichnungen wie in Bild 1.

Prüfen der Formulation notwendig waren. Außerdem beschloß die Arbeitsgruppe, neben Statement und Technischem Bericht ein Dokument anzufertigen, in dem die berechneten Werte mit Meßwerten verglichen und glatte Ableitungen, insbesondere bei der spezifischen isobaren und isochoren Wärmekapazität, nachgewiesen werden sollten.

Auf einer zweiten Arbeitssitzung im Dezember 1967 in Prag wurden die drei Dokumente endgültig ausgearbeitet und der wissenschaftliche Gleichungssatz zur Prüfung an die zweite Arbeitsgruppe überwiesen.

Dritte IFC-Sitzung in Paris, April 1968

Auf dieser dritten Sitzung wurde die Formulation unter dem Titel „The 1968 IFC Formulation for Scientific and General Use“ [6] angenommen. Zur gleichen Zeit wandelte das Komitee die vorläufige Anerkennung für die Industrieformulation in die endgültige um und gab beiden Formulationen gleiche und volle Anerkennung als internationale Formulationen. Beide sind für Rechenautomaten geeignet und für den jeweiligen Verwendungszweck angefertigt.

Die „1968 IFC Formulation for Scientific and General Use“ ist heute die beste Darstellung der thermodynamischen Zustandsgrößen des Wasserdampfs. Die „1967 IFC Formulation for Industrial Use“ gibt die Gleichungen in einer für industrielle Berechnungen besser geeigneten Form wieder.

Beide Formulationen liefern Werte, die an allen Punkten innerhalb der Toleranzen der Rahmentafeln von 1963 liegen. Beide sind thermodynamisch konsistent. Sie erfüllen somit die Forderungen der 6. Konferenz und, da jeder Gleichungssatz für den angegebenen Zweck geeignet ist, stehen sie nicht in Wettbewerb zueinander.

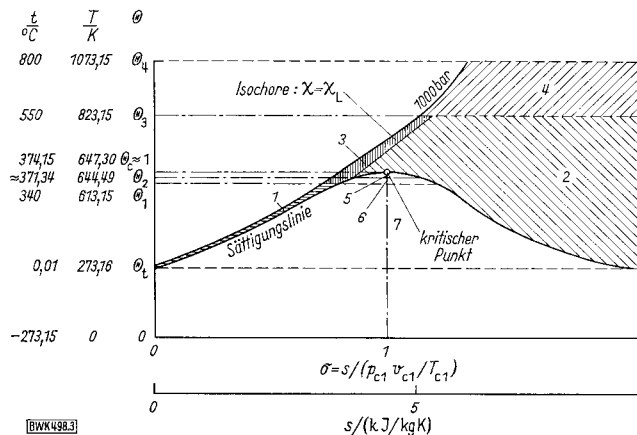


Bild 3. Temperatur/Entropie-Diagramm wie Bild 1, aber mit den Unter-Bereichen der „1968 IFC-Formulation für wissenschaftlichen Gebrauch“.

Bezeichnungen wie in Bild 1.

Beide Formulationen wurden im August 1968 als internationale Formulationen von den Mitgliedsländern der 6. Wasserdampfkongferenz angenommen. Anschließend löste sich das IFC bestimmungsgemäß auf.

In Bild 3 und in Bild 4 sind der Gültigkeitsbereich und die Bereichsgrenzen der wissenschaftlichen Gleichung wiedergegeben. Die Unter-Bereiche 1 und 2 weisen auf das Druckwassergebiet bzw. auf das Gebiet des überhitzten und kritischen Dampfes hin. Unter-Bereich 3 gilt in einem Teil des kritischen Gebietes, 4 stellt ein Teilgebiet des überhitzten Dampfes dar. Mit 5, 6 und 7 ist das Naßdampfgebiet bezeichnet.

Unter Zugrundelegung der Industrie-Formulation erschienen inzwischen in Deutschland [7], USA [8] und Japan neue Wasserdampfptafeln [9]. Die neue britische Dampfptafel [10] beruht auf der vorläufigen Formulation von 1966, die jedoch mit der Gleichung für das Druckwassergebiet und das überhitzte Gebiet im technisch wichtigen Bereich dieselben Gleichungen wie die angemommene Industrieformulation enthält. Alle diese Dampfptafeln benutzen die herkömmlichen Einheiten (kcal, at, bzw. Btu, lbf/in²). Eine internationale Tafel in SI-Einheiten ist in Vorbereitung.

Siebente Internationale Konferenz, Tokio 1968

Symposium über neuere wissenschaftliche Arbeiten

Im Gegensatz zu vorangegangenen Konferenzen wurde die 7. Vollkonferenz vom 9. bis 13. September 1968 in Tokio als Symposium abgehalten. 200 Fachleute aus 14 Ländern nahmen daran teil¹⁾. Über 100 Arbeiten, die seit der New Yorker-Sitzung 1963 veröffentlicht wurden, wurde in sechs Gruppen von Rapporturen berichtet. Dazu traten noch zwei Spezialreferate. Die Eröffnungssitzung leitete Prof. I. Tanishita, Tokio.

S. L. Rivkin (UdSSR) referierte über die Messung von Gleichgewichtsgrößen. Er berichtete von neuen Volumenmessungen im kritischen Gebiet sowie bei sehr hohen Drücken bis 9 000 bar. Neue Messungen der spezifischen isobaren Wärmekapazität in der Nähe der Erstarrungslinie und der isochoren Wärmekapazität im Rahmentafelbereich wurden mitgeteilt. Eingehend wurde die Messung der kritischen Daten des Wasserdampfes besprochen. Weiter wurde über Messungen der inneren Energie und der Schallgeschwindigkeit berichtet.

E. A. Bruges (UK) behandelte neue Messungen der dynamischen Viskosität im Bereich der Rahmentafel und bei sehr hohen Drücken sowie Formulationen und theoretische Untersuchungen. Er wies auf die Notwendigkeit weiterer gezielter Messungen im Bereich hoher Drücke und Temperaturen hin, bei Dampf zwischen 300 und 450 °C sowie in der Nähe des kritischen Punktes.

U. Grigull (BRD) berichtete über Messungen und Formulationen der Wärmeleitfähigkeit. Neben vielen Messungen im Druckwassergebiet, längs 1 bar auf der Dampf-

¹⁾ Von deutscher Seite nahmen daran teil: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. E. Schmidt (Delegationsführer), München, Prof. Dr.-Ing. U. Grigull (Rapporteur), München, Prof. Dr. rer. nat. E. U. Franck (Rapporteur), Karlsruhe, Dr. K. R. Schmidt, Erlangen, Dr.-Ing. H. Tratz, Erlangen, Dr.-Ing. F. Mayinger, Nürnberg, Dipl.-Ing. J. Bach, München, Dipl.-Ing. M. Reimann, München.

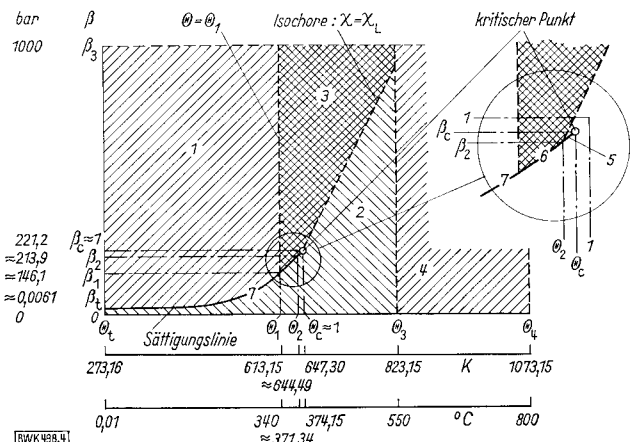


Bild 4. Druck/Temperatur-Diagramm wie Bild 2, aber mit den Unter-Bereichen der „1968 IFC-Formulation für wissenschaftlichen Gebrauch“.

Bezeichnungen wie in Bild 2.

und Wasserseite, sowie bei überkritischen Drücken und Temperaturen wurden zwei neue Meßverfahren, der Einfluß der Strahlung und theoretische Arbeiten sowie mehrere Formulationen diskutiert.

Es schlossen sich zwei Spezialreferate von *N. B. Vargaftik* (UdSSR) über den Wärmeübergang in Spalten und von *R. Brokaw* (USA) über das Verhalten von Zustandsgrößen an, insbesondere der isochoren spezifischen Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit im kritischen Punkt.

J. Kestin und *R. di Pippo* (USA) referierten gemeinsam über Formulationen von Gleichgewichtsgrößen. Neue Gleichungsvorschläge für das Druckwassergebiet, für dissoziierenden Dampf bis 5 000 °K, für das kritische Gebiet und eine Formulation im ganzen Gültigkeitsbereich der Rahmentafel waren eingereicht worden. Eingehend wurde über Anomalien am kritischen Punkt, über die Form neuer sowie theoretischer Gleichungen berichtet. Die Frage der Toleranzen bei Enthalpiefällen und mehrere Arbeiten über die spezifische isobare Wärmekapazität und mögliche Fehler in den Rahmentafeln wurden diskutiert.

B. Vodar (Frankreich) behandelte thermodynamische und Transportgrößen von schwerem Wasser. Messungen des spezifischen Volumens, der Wärmeleitfähigkeit, der kritischen Daten und der Ultraschallabsorption wurden diskutiert.

E. U. Franck (BRD) berichtete über Schallabsorption, Oberflächenspannung, elektrische Leitfähigkeit, Dielektrizitätskonstante und Löslichkeit von verschiedenen Substanzen in Dampf.

Die Berichte der Rapporteurs zu den sechs Gruppen, die beiden Spezialreferate und die gesamte Diskussion werden zusammen mit den Protokollen und Beschlüssen der Arbeitssitzungen in den „Proceedings of the Seventh International Conference on the Properties of Steam“ veröffentlicht. Die der Konferenz vorgelegten Arbeiten sind am Ende dieses Berichtes zitiert.

Auf Einladung der Japan Society of Mechanical Engineers fanden am Abend des 11. September Vorlesungen über Wärmeübertragung statt. Es berichteten *J. Kestin* (USA) über den Einfluß der Freistromturbulenz auf den Wärmeübergang, *U. Grigull* (BRD) über optische Verfahren in der Wärmeübertragung und *E. J. LeFevre* (UK) über Tropfenkondensation.

Beschlüsse der Konferenz

Vier Gruppen erarbeiteten während der Vollsitzung Vorschläge für die künftige Zusammenarbeit. Diese Vorschläge wurden später von der Vollkonferenz angenommen.

- 1) Die Arbeitsgruppe A für thermodynamische Größen (Leiter *S. L. Rivkin*, UdSSR) schlug die Überprüfung der Rahmentafeln und Toleranzen aufgrund der vielen neuen Messungen mit Einschluß des kritischen Gebietes vor. Messungen sollten ebenfalls in Bereichen über 800 °C und über 1 000 bar ausgeführt werden. Eine kritische Analyse aller bisherigen Meßergebnisse sollte ausgearbeitet werden.
- 2) Im Bereich B — Schweres Wasser und verschiedene Zustandsgrößen (Leiter *E. U. Franck*, BRD) — wurde die Aufnahme der Zustandsgrößen von schwerem Wasser wegen der großen technischen Bedeutung in den Aufgabenbereich der Vollkonferenz vorgeschlagen. Messungen der isobaren spezifischen Wärmekapazität, der Enthalpie und der Wärmeleitfähigkeit im Rahmentafelbereich von leichtem Wasser wurden angeregt.

Bei den verschiedenen Eigenschaften von Wasser sind weitere Messungen der Oberflächenspannung, des Emissionsvermögens, der Dielektrizitätskonstanten und der elektrischen Leitfähigkeit wünschenswert. Besonders interessiert die Bestimmung molekularer Größen, um zu physikalisch fundierten Zustandsgleichungen zu gelangen. Weiter wurde angeregt, Lösungen in Wasser zu untersuchen, wie z. B. Silicium, Kalichlorid, Kohlendioxid und Stickstoff.

- 3) Die Arbeitsgruppe C — Transportgrößen (Leiter *E. A. Bruges*, UK) — hält weitere Messungen der Wärmeleitfähigkeit und der Viskosität für notwendig, um die hohen Toleranzen der Rahmentafeln zu vermindern. Insbesondere sind genaue Werte längs der Sättigungslinie nötig. Durch kritische Sichtung aller alten und neuen Messungen sollen die bestehenden Rahmentafeln verbessert werden.

Bei der dynamischen Viskosität sollen weitere Messungen durchgeführt werden, um den Gültigkeitsbereich der thermodynamischen Größen zu erreichen, nämlich bis

1 000 bar und 800 °C. Besonders interessieren im Dampfgebiet zwischen 300 und 450 °C das Verhalten der Dichteabhängigkeit, die in diesem Gebiet das Vorzeichen wechselt, sowie Daten in der Nähe des kritischen Punktes. Im Druckwassergebiet könnten durch gezielte Messungen die Toleranzen verkleinert werden; Präzisionsmessungen bei Raumtemperatur wären wegen der Verwendung von Wasser als Eichsubstanz wichtig.

Ebenso sollten die Rahmentafeln der Wärmeleitfähigkeit bis 1 000 bar und 800 °C erweitert werden. Dringend erwünscht sind Messungen im Druckwassergebiet bei Temperaturen höher als 300 °C, in der Nähe des kritischen Punktes, um die Frage der Anomalie zu klären, sowie im Gebiet des überhitzten Dampfes zwischen 350 und 450 °C, wo noch sehr hohe Toleranzen bestehen. Von großem Interesse wäre die Messung des Absorptionskoeffizienten für Wasser und Wasserdampf besonders bei überkritischen Drücken, um die Größe des Strahlungseinflusses kennenzulernen.

Die 1-bar-Linie für Viskosität und Wärmeleitfähigkeit sollte neu von 0 bis 1 500 °C vermessen werden.

- 4) Besonders wichtig für die Weiterarbeit waren die Vorschläge der Gruppe D: Zukünftige Organisation (Leiter *M. P. Wukalowitsch*, UdSSR). Aus vielerlei Gründen wurde die Schaffung eines permanenten Gremiums, der „International Organization for the Properties of Steam“ (IOPS), beschlossen. Die internationalen Vollkonferenzen sollen in angemessenen zeitlichen Abständen unter der Schirmherrschaft der IOPS abgehalten werden. Die IOPS hat ein Ausführungsorgan, das Executive Committee. Da die Satzungen der IOPS in der Kürze der Zeit nicht ausgearbeitet werden konnten, wurde diese Aufgabe dem Exekutivkomitee, dessen Aufgaben und Pflichten weiter unten aufgeführt sind, übertragen. Die American Society of Mechanical Engineers (ASME) erklärte sich bereit, das Internationale Sekretariat für eine gewisse Zeit weiterzuführen. Das Exekutivkomitee sollte sich um die Finanzierung des Sekretariats bemühen. Erster Vorsitzender des Exekutivkomitees sollte ein sowjetischer Delegierter sein, der ermächtigt werden sollte, Zeitpunkt und Ort der ersten Sitzung dieses Komitees zu bestimmen. Die nächste Vollkonferenz soll 1973 in Frankreich abgehalten werden.

Die Satzungen des Exekutivkomitees lauten:

- 1) *Aufgaben*: Das Komitee soll fortwährend bestehen. Es soll Vollkonferenzen vorbereiten und deren Ort und Zeitpunkt festsetzen.
- 2) *Einschränkungen der Befugnisse*: Kein Vorschlag zur Verbesserung oder zum Ersatz der Rahmentafeln oder einer Formulation für industriellen Gebrauch soll vor einer Abstimmung auf einer Internationalen Konferenz in Kraft treten. — Keine neue „Formulation for Scientific and General Use“ soll von der 7. oder 8. ICPS oder von der IOPS angenommen werden, wenn sie nicht entweder durch schriftliche Abstimmung der Mitglieder der 7. Vollkonferenz gebilligt wird oder auf einer Sitzung der 8. ICPS, falls diese abgehalten wird, oder von der IOPS angenommen wird.
- 3) *Statuten und Name der IOPS*: Wenn das Exekutivkomitee die Satzungen und den Namen IOPS oder einen anderen gebilligt hat, sollen diese dem Internationalen Sekretariat übermittelt werden zur schriftlichen Abstimmung der Mitglieder der 7. ICPS oder zur Beschlußfassung auf der 8. Vollsitzung. Der Abstimmungsmodus ist der der 6. ICPS: Annahme bei Zustimmung von 60% der Mitglieder. Nach einer Frist von sechs Wochen gelten nicht abgegebene Stimmen als Zustimmung.
- 4) *Mitglieder des Exekutivkomitees*: Je ein Mitglied soll durch das jeweilige nationale Komitee der folgenden Länder bestimmt werden: BRD, CSSR, Frankreich, Japan, UK, USA, UdSSR.
- 5) *Vorsitz*: Das Exekutivkomitee bestimmt den Vorsitzenden und zweiten Vorsitzenden für ein Jahr. Im Jahr vor einer Vollsitzung soll der Vorsitzende dem Gastgeberland angehören.

In der Resolution 1 nahm die 7. ICPS den Bericht unter Punkt 4 des Komitees für die zukünftige Organisation an und stimmte der Gründung des Exekutivkomitees zu.

In der Resolution 2 nahm sie die Berichte unter Punkt 1 bis 3 an und übergab sie dem Exekutivkomitee.

Das Exekutivkomitee soll im Herbst 1969 zu seiner ersten Sitzung in Moskau zusammentreten. Auf Bitte der sowjetischen Delegation soll eine vorbereitende Sitzung im Frühjahr in der BRD stattfinden.

BWK 498

Schrifttum

- [1] *Schmidt, E.*: Verhandlungen und Ergebnisse der Sechsten Internationalen Konferenz über die Eigenschaften des Wasserdampfes. *BWK 16* (1964) Nr. 7, S. 322/30.
- [2] *Mayingner, F.*, u. *U. Grigull*: Viskosität und Wärmeleitfähigkeit des Wasserdampfes. *BWK 17* (1965) Nr. 2, S. 53/60.
- [3] Internationale Wasserdampfkongress. *BWK 17* (1965) Nr. 9, S. 468.
- [4] *Schmidt, E.*: International vereinbarte Gleichungen für die Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf zum Gebrauch der Industrie in Rechenanlagen. *BWK 19* (1967) Nr. 2, S. 69/70.
- [5] The 1967 IFC Formulation for Industrial Use. Issued by the International Formulation Committee of the Sixth International Conference on the Properties of Steam. Erhältlich beim Verein Deutscher Ingenieure. Ebenfalls wiedergegeben in den VDI-Wasserdampf Tafeln [7].
- [6] The 1968 IFC Formulation for Scientific and General Use. Issued by the International Formulation Committee of the Sixth International Conference on the Properties of Steam. Erhältlich bei der American Society of Mechanical Engineers (ASME), New York, USA.
- [7] VDI-Wasserdampf Tafeln (kcal, at), 7. Aufl. von *E. Schmidt*. Berlin/Hcidelberg/New York u. München: Springer Verlag u. R. Oldenbourg 1968 (vgl. [9]).
- [8] 1967 ASME Steam Tables. Hrsg.: American Society of Mechanical Engineers, New York 1967 (vgl. [9]).
- [9] *Rögner, H.*, u. *K. R. Schmidt*: Neue Wasserdampf Tafeln. *BWK 20* (1968) Nr. 12, S. 576/79.
- [10] 1967 Steam Tables und 1967 Steam Charts. Published for the Electrical Research Association by Edward Arnold (Publishers) Ltd., London, 1967 (vgl. [9]).

Berichte von der VII. Vollkonferenz in Tokio

(geordnet nach Gruppen, mit durchlaufender Zählung)

Gruppe A. Messung von Gleichgewichtsgrößen

Vorsitzender: *Y. Yamada*

Berichter: *S. L. Rivkin*

- A-1 *Kell, G. S.*, *G. E. McLaurin* u. *E. Whalley* (Kanada): The PVT properties of water. II.: Virial coefficients in the range 150 to 450 °C without independent measurement of vapor volumes.
- A-2 *Schulz, S.*, u. *H. D. Baehr* (Bundesrepublik Deutschland): Measurements of the internal energy of water substance in the neighbourhood of its critical state.
- A-3 *Dibelius, G.*, *H. Scholtholt* u. *U. Reimann* (Bundesrepublik Deutschland): Determination of the isentropic exponent by measurement of the sound velocity.
- A-4 *Franck, E. U.*, u. *S. Maier* (Bundesrepublik Deutschland): The density of water between 200 and 850 °C and 1 000 and 6 000 bars.
- A-5 *Franck, E. U.*, u. *H. Koster* (Bundesrepublik Deutschland): Experimental determination of the density of water up to 600 °C and 9 000 bar.
- A-6 *Blank, G.* (Bundesrepublik Deutschland): New determination of the critical point of water and heavy water. S. a.: E-8.
- A-7 *Klaren, D. G.*, *J. C. van Lier* u. *K. R. Schmidt* (Bundesrepublik Deutschland): Measurements of the isentropic exponent.
- A-8 *Tanishita, I.*, *K. Watanabe*, *J. Kijima*, u. *M. Uematsu* (Japan): Experimental study of the specific volume of water substance in the critical region.
- A-9 *Amirkhanov, Ch. I.*, *G. V. Stepanov*, *B. A. Mursalov* u. *B. G. Alibekov* (UdSSR): Isochoric heat capacity of water and steam at temperatures to 800 °C and at pressures to 1 000 bar.
- A-10 *Sirota, A. M.*, u. *A. Y. Grishkov* (UdSSR): Experimental investigation isobaric heat capacity of water near the solidification curve (preliminary report).
- A-11 *Novikov, I. I.*, u. *V. I. Avdonin* (UdSSR): Velocity of sound in saturated and superheated steam.
- A-12 *Woodburn, J.*, u. *Y. I. Fostyk* (USA): Acoustic measurements in high pressure superheated steam.
- A-13 *Woodburn, J.*, u. *M. Mettrey* (USA): Design, construction and operation of variable path acoustic interferometers for high pressure steam, gases and gas mixtures, Part I.
- A-14 *Woodburn, J.*, u. *M. Mettrey* (USA): Design, construction and operation of variable path acoustic interferometers for high pressure steam, gases and gas mixtures, Part II.
- A-15 *Woodburn, J.*, *M. Mettrey* u. *A. M. Rahmani* (USA): Velocity of sound measurements near the steam saturation line.
- A-16 *Woodburn, J.*, u. *Y. J. Fostyk* (USA): Use of quartz crystals as transducers in high pressure steam.

Gruppe B. Messung und Formulationen der Viskosität

Vorsitzende: *S. Sato* u. *K. Tanaka*

Berichter: *E. A. Bruges*

- B-1 *Barua, A. K.*, u. *A. das Gupta* (Indien): Viscosity and thermal conductivity of superheated steam at elevated pressures. S. a.: C-3.
- B-2 *Grigull, U.*, *F. Mayinger* u. *J. Bach* (Bundesrepublik Deutschland): Viscosity, thermal conductivity, and Prandtl-number of ordinary water substance. S. a.: C-5.
- B-3 *Dudziak, K. H.*, u. *E. U. Franck* (Bundesrepublik Deutschland): Measurements of the viscosity of water up to 560 °C and 3 500 bars.
- B-4 *Tanishita, I.*, *A. Nagashima*, *S. Yamaguchi*, *H. Kondo* u. *K. Oguchi* (Japan): Viscosity measurement of water and steam at high temperatures and high pressures.
- B-5 *Sato, T.*, *T. Minamiyama*, *J. Yata* u. *T. Oka* (Japan): Measurement of viscosity of steam at moderate temperatures and pressures.
- B-6 *Miyabe, K.*, u. *K. Nishikawa* (Japan): Correlation of viscosity for water and water vapor.
- B-7 *Tanishita, I.*, *K. Watanabe* u. *K. Oguchi* (Japan): Formulation of viscosity for water substance as a function of temperature and density.
- B-8 *Tanishita, I.*, *A. Nagashima* u. *S. Yamaguchi* (Japan): Correlation of viscosity for water and steam as a function of temperature and pressure.
- B-9 *Rivkin, S. L.*, *A. J. Levin* u. *L. B. Israilevsky* (UdSSR): Experimental investigation of dynamic viscosity of steam up to 450 °C and up to 350 bar.
- B-10 *Rivkin, S. L.* (UdSSR): Equations of thermal conductivity and dynamic viscosity of water substance. S. a.: C-11.
- B-11 *Kesselman, P. M.*, u. *Y. I. Blank* (UdSSR): Thermodynamical and transport properties of water steam at high temperatures with account for reality and thermal dissociation. S. a.: C-12 u. D-11.
- B-12 *Ray, A. K.* (Großbritannien): A new determination of the kinematic viscosity of steam at supercritical pressures and temperatures.
- B-13 *Wonham, J.* (Großbritannien): Effect of pressure on the viscosity of water.

- B-14 *Bruges, E. A.*, *B. Lallo* u. *A. K. Ray* (Großbritannien): New correlations and tables of the coefficient of viscosity of water and steam up to 1 000 bar and 1 000 °C.
- B-15 *Lallo, B.* (Großbritannien): The viscosity of steam at atmospheric pressure.
- B-16 *Bruges, E. A.*, u. *M. R. Gibson* (Großbritannien): The viscosity of compressed water to 10 kilobar and steam to 1 500 °C.

Gruppe C. Messung und Formulationen der Wärmeleitfähigkeit

Vorsitzender: *N. Issiki* u. *T. Ueda*

Berichter: *U. Grigull*

- C-1 *Le Neindre, B.*, *P. Bury*, *R. Tufeu*, *P. Johannin* u. *B. Vodar* (Frankreich): Experimental results on the thermal conductivity of liquid water and heavy water up to 370 °C and their discussion. S. a.: E-3
- C-2 *Bury, P.*, *B. Le Neindre*, *R. Tufeu*, *P. Johannin* u. *B. Vodar* (Frankreich): Measurements of the thermal conductivity of steam up to the saturation pressures and at temperatures up to 330 °C. S. a.: E-9.
- C-3 *Barua, A. K.*, u. *A. das Gupta* (Indien): Viscosity and thermal conductivity of superheated steam at elevated pressures. S. a.: B-1.
- C-4 *Leidenfrost, W.* (USA): Critical analysis of the experimental determination of the thermal conductivity of steam.
- C-5 *Grigull, U.*, *F. Mayinger* u. *J. Bach* (Bundesrepublik Deutschland): Viscosity, thermal conductivity, and Prandtl-number of ordinary water substance. S. a.: B-2.
- C-6 *Miyabe, K.*, u. *K. Nishikawa* (Japan): Correlation of thermal conductivity for water and water vapor.
- C-7 *Tanishita, I.*, *K. Watanabe* u. *K. Oguchi* (Japan): Formulation of thermal conductivity for water substance as a function of temperature and density.
- C-8 *Tarzmanov, A. A.*, u. *Y. S. Lozovoi* (UdSSR): Experimental investigation of the heat conductivity of water at high pressures.
- C-9 *Cherneeva, L. I.* (UdSSR): The experimental research of the water heat conduction under pressures from 100 to 1 000 bar and temperatures from 100 to 350 °C.
- C-10 *Amirkhanov, Ch. I.*, u. *A. P. Adamov* (UdSSR): Heat conductivity of water and steam at temperatures of 350 to 460 °C and at pressures of 200 to 1 000 kgf/cm².
- C-11 *Rivkin, S. L.* (UdSSR): Equations of thermal conductivity and dynamic viscosity of water substance. S. a.: B-10.
- C-12 *Kesselman, P. M.*, u. *Y. I. Blank* (UdSSR): Thermodynamical and transport properties of water steam at high temperatures with account for reality and thermal dissociation. S. a.: B-11 u. D-11.
- C-13 *Venart, J. E. S.* (Großbritannien): The thermal conductivity of water/steam.
- C-14 *Brain, T. J. S.* (Großbritannien): New thermal conductivity measurements for argon, nitrogen and steam.
- C-15 *Brain, T. J. S.* (Großbritannien): The thermal conductivity of steam at atmospheric pressure.
- C-16 *Liley, P. E.*, u. *Y. S. Touloukian* (USA): The thermal conductivity of steam — A critical assessment.

Gruppe D. Formulationen von Gleichgewichtsgrößen

Vorsitzender: *K. Komotori*

Berichter: *J. Kestin* u. *R. di Pippo*

- D-1 *Kmonicek, V.*, u. *V. Hoffer* (Tschechoslowakei): Thermodynamic functions of dissociating steam in the range 1 000 to 5 000 °K, 0.001 to 100 bar.
- D-2 *Juzá, J.* (Tschechoslowakei): An equation of state of water substance in the critical region with a limited number of constants.
- D-3 *Juzá, J.* (Tschechoslowakei): A simplified equation of state of water substance from 100 to 1 000 °C and from 2 500 up to 100 000 bars.
- D-4 *Dostalni, M.* (Frankreich): Imperfection function for consistent formulation and its application to the case of water substance.
- D-5 *Narjes, L.* (Indien): Representation of thermodynamic behaviour of superheated steam by means of „quasiideal vapor“.
- D-6 *Tanishita, I.*, u. *J. Kijima* (Japan): A new equation of state for compressed water.
- D-7 *Nishiwaki, I.* (Japan): On the thermodynamic differential properties of ordinary water substance based on the 1967 IFC formulation for industrial use in the neighbourhood of the critical point.
- D-8 *Tanishita, I.*, u. *M. Uematsu* (Japan): Consideration on the tolerances of the international skeleton tables (1963) based on experimental errors.
- D-9 *Dzung, L. S.* (Schweiz): Tolerances for heat drops and enthalpy-differences of superheated steam.

D-10 *Vukalovich, M. P., A. A. Alexandrov u. M. C. Trachtenhertz* (UdSSR): Equation of state of superheated steam for industrial use.

D-11 *Kesselman, P. M., u. Y. I. Blank* (UdSSR): Thermodynamical and transport properties of water steam at high temperatures with account for reality and thermal dissociation. S. a.: B-11; C-12.

D-12 *Bradly, H. W.* (Großbritannien): A comparison of formulations for the properties of steam from a programmer's point of view.

D-13 *Haywood, R. W.* (Großbritannien): The rational treatment of temperature and temperature scales.

D-14 *Gibson, M. R., u. E. A. Bruges* (Großbritannien): New equations for the thermodynamic properties of saturated water in both the liquid and vapour phases.

D-15 *Bruges, E. A.* (Großbritannien): Ordinary water substance.

D-16 *Gibson, M. R., u. E. A. Bruges* (Großbritannien): An equation of state for compressed water from 1 to 1 000 bar and from 0 °C to 150 °C.

D-17 *Reimann, M., u. U. Grigull* (Bundesrepublik Deutschland): Valuation of the uncertainty of enthalpy differences at the isentropic expansion of steam.

D-18 *Sirota, A. M., u. T. K. Shrago* (UdSSR): On specific heat capacity of water near the solidification curve.

D-19 *Sirota, A. M., u. Z. K. Shrago* (UdSSR): On maxima in the specific heat capacity of water.

D-20 *Levell Sengers, J. M. H.* (USA): Thermodynamic anomalies near the critical point of steam.

D-21 *Keyes, F. G., J. H. Keenan, P. G. Hill u. J. Moore* (USA): A fundamental equation for liquid and vapor water.

D-22 *Schot, J. W.* (USA): A spline function method for generating the thermodynamic properties of water substance.

D-23 *Walton, T. S.* (USA): A general characteristic equation for the thermodynamic properties of a pure molecular substance.

D-24 *Elgeti, K., u. H. Hausen* (Bundesrepublik Deutschland): Explanation of the thermodynamic behaviour of the influence of the van der Waals forces and of formation of double and multiple molecules. S. a.: F-10.

D-25 *Sirota, A. M., P. E. Beliakova u. Z. K. Shrago* (UdSSR): Specific isobaric heat capacity tables of steam.

Gruppe E. Thermodynamische und Transportgrößen von schwerem Wasser

Vorsitzender: *I. Nishiwaki*

Berichter: *B. Vodar*

E-1 *Kell, G. S., G. E. McLaurin u. E. Whalley* (Kanada): The PVT properties of water. III.: Virial coefficients of D₂O in the range 150 to 500 °C.

E-2 *Nowak, E. S.* (Kanada): The enthalpy change of saturated heavy water.

E-3 *Le Neindre, B., P. Bury, R. Tufeu, P. Johannin u. B. Vodar* (Frankreich): Experimental results on the thermal conductivity of liquid water and heavy water up to 370 °C and their discussion. S. a.: C-1.

E-4 *Yamada, K., u. Y. Fujii* (Japan): Ultrasonic attenuation and relaxation times in water vapor and heavy-water vapor. S. a.: F-6.

E-5 *Vargaflik, N. B.* (UdSSR): Experimental research on DO thermal conductivity in liquid and gaseous phases.

E-6 *Rivkin, S. L., u. T. S. Akhundov* (UdSSR): Experimental investigation of specific volume of heavy water up to 425 °C and up to 340 kgf/cm².

E-7 *Rivkin, S. L., u. B. N. Egorov* (UdSSR): Experimental investigation of isobaric specific heat capacity of heavy water up to 450 °C and up to 300 kgf/cm².

E-8 *Blank, G.* (Bundesrepublik Deutschland): New determination of the critical point of water and heavy water. S. a.: A-6.

E-9 *Bury, P., B. Le Neindre, R. Tufeu, P. Johannin u. B. Vodar* (Frankreich): Measurements of the thermal conductivity of steam up to the saturation pressures and at temperatures up to 330 °C. S. a.: C-2.

Gruppe F. Verschiedene Größen von Wasserdampf

Vorsitzender: *I. Nishiwaki*

Berichter: *E. U. Franck*

F-1 *Franck, E. U., u. K. Roth* (Bundesrepublik Deutschland): Infrared absorption of HDO in water at high pressures and temperatures.

F-2 *Vargaflik, N. B., L. D. Volyak u. B. N. Volkov* (UdSSR): Experimental research on the surface tension of water at high temperature.

F-3 *Sirota, A. M., u. Y. V. Shviriaev* (UdSSR): Electrical conductivity of water.

F-4 *Horne, R. A., u. J. H. B. George* (USA): The structure of liquid water.

F-5 *Fujii, Y., R. B. Lindsay u. K. Uruushihara* (Japan): Ultrasonic absorption and relaxation times in nitrogen, oxygen, and water vapor.

F-6 *Yamada, K., u. Y. Fujii* (Japan): Ultrasonic attenuation and relaxation times in water vapor and heavy-water vapor. S. a.: E-4.

F-7 *Franck, E. U., u. K. Heger* (Bundesrepublik Deutschland): Measurements of the dielectric constant of water up to 500 °C and 5 000 bar.

F-8 *Martin, G., G. Ritzert, A. Marianvalle, B. Vodar, M. Rault, A. Marchand u. J. P. Milliat* (Frankreich): Instrument for the determination of the solubility and electric conductivity of salts and metallic oxides in steam up to 500 bar and from 100 to 400 °C.

F-9 *Grigull, U. u. J. Straub* (Bundesrepublik Deutschland): Relation between temperature and surface tension especially in the critical region.

F-10 *Elgeti, K., u. H. Hausen* (Bundesrepublik Deutschland): Explanation of the thermodynamic behaviour of the influence of the van der Waals forces and of formation of double and multiple molecules. S. a.: D-24.