

# Neue Wasserdampf tafeln

Autor(en): **Hohl, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **74 (1956)**

Heft 42

PDF erstellt am: **19.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-62722>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Die Neue Schweiz

DK 711.2

Seit dem Erscheinen der viel und heftig diskutierten Broschüre «achtung, die Schweiz» sind anderthalb Jahre verstrichen. Die Tageszeitungen haben den von den drei Autoren Burckhardt, Frisch und Kutter dargelegten Stoff ausgebreitet, öfters wurde sogar von einer Streitschrift geredet oder es kam gar zu einem Wutausbruch, der unter dem Titel «Fragwürdiges Pamphlet» weniger Schaden stiften als Lärm verursachen konnte. Die Idee aber blieb intakt, obwohl sich ihrer Realisierung grosse Hindernisse in den Weg stellen. Das war zu erwarten, denn ein Niemandsland, das noch mit vier Grenzpfählen abzustecken wäre, gibt es bei uns einfach nicht mehr.

Der Entschluss, die *Landesausstellung 1964* nach *Lausanne* zu verlegen, ist inzwischen gefallen. Ob irgend etwas vom Gedanken der «Neuen Stadt» dort verwirklicht wird, entzieht sich unserer Kenntnis. Immerhin wäre es bestimmt sehr interessant, wenn statt der üblichen Form einer Ausstellung mit Pavillons und Hallen, mit modischen Mätzchen und monumentalen Dominanten (Turm aus Beton 500 m hoch!) ein Teil wenigstens von dem verwirklicht würde, was die Broschüre-schreiber anregen. Eine neuzeitliche Siedlung mit den Grundgedanken des modernen Städtebaus, ein landwirtschaftlicher Hof, der den Staub von 2000 Jahren abgeschüttelt hätte, eine

simple Schule für 68 Fr./m<sup>3</sup> fertig erstellt, ein Gemeinschaftszentrum für Schweizer und all das, was wir als Architekten und Planer heute nur mühsam durchzubringen imstande sind. An der Schweizerischen Landesausstellung dürfte m.E. mit grösserer Aussicht auf Erfolg für städtebauliche Ideen als für den Schweizer Wein im Ländidörfleisteit geworben werden. Es sind doch so viele Gedanken, die man uns erst dann glaubt, wenn sie in Stein und Holz Form angenommen haben, wenn sie betreten, besichtigt und abgetastet werden können. Wir Architekten können lange von der Neuen Stadt reden; wir wissen auch, was wir darunter zu verstehen haben. Wir sind auch froh, wenn wir irgendwo einen kleinen Ansatz finden, einen kleinen Kern verwirklichen können, um den herum so etwas wie ein Quartier der neuen Stadt entstehen könnte. Heute gilt es auf breiterer Basis für die moderne Architektur zu kämpfen. Das Einzelkämpfertum, das jedes Pionierzeitalter kennzeichnet, müsste durch eine gemeinsame Leistung überwunden werden. Die Architektenschaft könnte den Anlass in Lausanne wahrnehmen, im kleinen — im Rahmen der Ausstellung — anzufangen, was Burckhardt, Frisch und Kutter im grossen anregten.

Hans Marti

## Neue Wasserdampfatafeln

DK 536.7:621.1

Von R. Hohl, Dipl. Ing., Kilchberg ZH

Im Mai 1955 hat die Firma Brown, Boveri & Co., Baden, durch die Veröffentlichung eines neuen Wasserdampf-Entropiedigramms einen wesentlichen schweizerischen Beitrag zur Dampftechnik geliefert. Kürzlich sind nun auch die vollständig neu bearbeiteten VDI-Wasserdampfatafeln<sup>1)</sup> durch Dr. E. Schmidt herausgegeben worden, was als Anlass dazu dienen soll, einen Ueberblick über den heutigen Stand der Erforschung und Wiedergabe der thermodynamischen Eigenschaften des Wassers und des Wasserdampfes zu geben.

An der 3. Int. Dampfatafelkonferenz 1934 in New York wurden die während über zehn Jahren in England, Deutschland, den USA und der Tschechoslowakei durchgeführten Messungen untereinander abgeglichen und in einer sogenannten Rahmentafel Richtwerte festgelegt [1]<sup>2)</sup>. Die Messungen von Wärmeinhalt (Enthalpie), Verdampfungswärme, spez. Volum usw. des Wassers im flüssigen Zustand hatten sich damals bis 350 at und bis zur kritischen Temperatur von 374° C erstreckt, diejenigen der dampfförmigen und überhitzten Phase bis 300 at und 550° C. Direkte kalorimetrische Messungen existierten allerdings nur bis 460° C.

Diese internationale Rahmentafel, welche Enthalpie, Entropie und spez. Volum in Funktion von Druck und Temperatur wiedergibt, wurde als Empfehlung für die Ausarbeitung von detaillierten Wasserdampfatafeln den nationalen Fachausschüssen weitergeleitet. Es sollten dabei die vereinbarten und durch die Streuung der Messergebnisse gegebenen Toleranzen nicht überschritten werden, wie z. B. für die Enthalpie  $\pm 1,2$  kcal/kg bis 75 at 500° C und  $\pm 3$  kcal/kg bei 250 at 550° C oder 300 at 400° C.

In der Folge entstanden auf der Grundlage dieser Rahmentafeln vier Tabellenwerke, die innerhalb der vereinbarten Toleranzen unter sich Differenzen aufweisen, trotzdem aber bis in die heutige Zeit hinein ihre Brauchbarkeit behalten haben:

1) VDI-Wasserdampfatafeln, mit einem Mollier (i, s)-Diagramm bis 800° C. Vierte überarbeitete und erweiterte Auflage. Von Dr. Ernst Schmidt. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1956, Springer-Verlag, Preis geb. 15 Fr.

2) Siehe das Literaturverzeichnis am Schluss.

1. 1936 USA: *Keenan and Keyes*. Diese Tafeln gehen bis 385 at 870° C, sind also erheblich über den Bereich der Rahmentafeln hinaus extrapoliert worden und blieben bis zum 1954 erschienenen 26. Neudruck unverändert.

2. 1937 Deutschland: *VDI Dr. Koch*. Grenzen: 300 at 550° C. Auch diese Tafeln wurden bis zur 3. Auflage 1952 unverändert beibehalten. Sie dienen in allen das metrische Dezimalsystem gebrauchenden Ländern gleichermassen als offizielle Grundlage der Wasserdampftechnik.

3. 1939 England: *Callendar*. Grenzen: 225 at 538° C. Ob- schon im gleichen englischen Masssystem wiedergegeben, weichen die Werte der Callendar- und der Keenan and Keyes-Tafeln voneinander ab.

4. 1950 Japan: *J. S. M. E. Sugawara*. Grenzen: 300 at 550° C. Die Herausgabe war durch die Kriegereignisse verzögert worden.

Wenn man 1934 noch geglaubt hatte, die Rahmentafeln würden die Lebzelt des jüngsten Konferenzteilnehmers überdauern, so verlangte jedoch die nach dem 2. Weltkrieg einsetzende stürmische industrielle Entwicklung dringend nach einer Erweiterung. Begünstigt einerseits durch den Fortschritt im Gasturbinenbau in bezug auf Metalle für hohe Temperaturen, andererseits getrieben durch den Energiehunger und die gleichzeitige Kohlenknappheit der ganzen Welt, kamen in den grossen Dampfkraftwerken immer höhere Dampfdrücke und -temperaturen zur Anwendung, so dass sich heute bereits Anlagen mit Dampftemperaturen bis 650° C und überkritischen Drücken bis 350 at im Bau befinden.

Nun waren offenbar in der Nachkriegszeit die Forschungsinstitute der westlichen Nationen mit dringenderen Aufgaben beschäftigt als mit Messungen an dem scheinbar genügend bekannten gewöhnlichen Wasser, so dass, wie selten zuvor, die Industrie auf dem Gebiete der Dampftechnik der Grundlagenforschung davongeeilt ist. Dies erklärt, warum seit 1934 auf dem Gebiet der Wasserdampfatafeln im wesentlichen nur die folgenden Untersuchungen bekanntgeworden sind.

Vor allem sind die in den Jahren 1940 bis 1950 durchgeführten umfangreichen russischen Messungen von Timroth,

Wargaftik, Wukalowitsch, Kirillin, Rumjanzev und anderen zu nennen. Diese Versuche, als einzige seit 1934, erstrecken sich besonders ins Gebiet der hohen Drücke bis 300 at, teilweise bis 500 at, und erstmals erfolgten direkte Messungen bis 600 °C. Bei hohen Drücken wurden in bezug auf Enthalpie und spezifisches Volum nicht zu vernachlässigende Abweichungen gegenüber den Rahmentafeln von 1934 festgestellt. Eine Bestätigung durch Messungen anderer Herkunft fehlt allerdings noch. Die Messergebnisse sind von der russischen Delegation an der 4. Weltkraftkonferenz in London 1950 vorgelegt und die daraus entwickelten Dampftafeln erstmals 1952 [2] in einer westeuropäischen Publikation bekanntgegeben worden.

Ferner wurden im Auftrag des National Bureau of Standards, USA, die kalorischen Zustandsgrößen des Wasserdampfes im idealen Gaszustand, d.h. beim Druck Null, neu berechnet auf Grund spektroskopischer Untersuchungen des Schwingungsverhaltens der Wassermolekel und mittels physikalischer Grundkonstanten, was heute als genauer angesehen wird als kalorische Messungen (Veröffentlichung: NBS Report 3101, Febr. 1954). Sodann sind zu nennen die thermodynamischen Untersuchungen über den  $p$ - $v$ - $T$ -Zusammenhang in Wasser bei hohen Drücken und hohen Temperaturen durch Kennedy, USA, und eine Reihe von sehr genauen Messungen im Gebiet kleiner Drücke und bescheidener Temperaturen von Osborne und anderen amerikanischen Forschern.

In Ermangelung einer erweiterten, international vereinbarten Rahmentafel haben sich seit dem Weltkrieg eine Reihe von Forschungsinstituten und Industriefirmen mit der Extrapolation der Wasserdampftafeln beschäftigt, wovon, chronologisch geordnet, im wesentlichen die nachstehenden Arbeiten zur Veröffentlichung gelangt sind:

1. *Wukalowitsch, UdSSR 1951*. Grenzen 300 at, 700 °C. Diese Wasserdampftafeln beruhen auf den schon genannten russischen Messungen, wobei neue Zustandsgleichungen aufgestellt wurden, die gegenüber früheren, einfacheren Gleichungen eine physikalisch tiefer fundierte mathematische Formulierung erfuhren, insbesondere was die Druckextrapolation und das Temperaturgebiet über 600 °C betrifft. Anscheinend sind aber diese Tafeln im Bereiche des kritischen Punktes nicht thermodynamisch ausgeglichen (z. B. Enthalpie bei 300 ata, 400 bis 420 °C 5 bis 10 kcal/kg tiefer als alle anderen Tafeln).

2. *Ministerium der Elektrizitätswerke der UdSSR, Moskau und Leningrad 1952*. Grenzen: 300 at 600 °C. Ausschliesslich auf den russischen Messungen aufgebaut, weisen diese Tafeln nur belanglose Unterschiede zu der Ausgabe von Wukalowitsch auf.

3. *Faxén, Stockholm, Nordisk Rotogravyr 1953*. Grenzen: 550 °C, einige Isobaren bis 800 °C, für Drücke bis 10,5 bar; 600 °C von 11 bis 300 bar. Laut Aussage des Herausgebers sind die Werte über 550 °C extrapoliert und als nicht ganz zuverlässig zu betrachten. In Unkenntnis der russischen Messresultate stützte sich die Berechnung dieser Tafeln auf die älteren Werke von Keenan and Keyes 1936 und VDI 1937, dagegen bilden sie erstmals den Versuch, die Tafelwerte im Meter-Kilogramm-Sekunden-Ampère (MKSA- oder Giorgi-) System anzugeben. Die Kalorie als Wärmeinheit wird ersetzt durch das Kilo-Joule, wobei 1 kcal = 4,18684 kJ; an Stelle der kg/cm<sup>2</sup> bzw. kp/cm<sup>2</sup> tritt das bar, 1 kp/cm<sup>2</sup> = 0,980665 bar; als Temperatureinheit bleiben °C oder °K. Die Veröffentlichung enthält noch eine Anzahl interessanter Tabellen über andere Zustandsgrößen des Wasserdampfes.

4. *Wasserdampftafeln von Wukalowitsch*, bearbeitet von *Elsner*, Verlag Technik, Berlin DDR 1954. Grenzen: 300 at 700 °C. Die Ausgabe ist lediglich eine ostdeutsche Übersetzung der Wukalowitsch-Tafeln. Sie enthält auch Tabellen und Diagramme über spezifische Wärme, Zähigkeit und Wärmeleitfähigkeit von Wasser und Wasserdampf, alles nach russischen Messungen.

5. *Siemens-Schuckertwerke*, Erlangen, Febr. 1955 [3]. Hier werden die VDI-1937-Tafeln bis zu deren Grenzen von 300 at, 550 °C als richtig vorausgesetzt und dann bis 400 at, 800 °C erweitert, vornehmlich nach Keenan and Keyes 1936, aber auch unter Berücksichtigung der russischen Messungen. Diese Extrapolation ist mit dem Zweck veröffentlicht worden, die Uebergangszeit bis zum Erscheinen neuer VDI-Tafeln zu überbrücken. Verglichen mit dem neuesten Stand der Forschung gibt sie für hohe Temperaturen durchwegs zu tiefe Enthalpiewerte an (Bild 1).

6. *Japan S. M. E.*, zweite berichtigte und erweiterte Auflage, Tokio März 1955. Grenzen: 340 at, 600 °C; 700 °C für die Drücke von 110 bis 340 at. Bemerkenswert ist die gute Uebereinstimmung mit den später erschienenen VDI-1956-Tafeln (Bild 1).

7. *Enthalpie-Entropie-Diagramme*, im Auftrag von *Brown, Boveri & Co*, Baden, bearbeitet von *Dzung und Rohrbach*, Springer-Verlag, Mai 1955 [10]. Begrenzung des Wasserdampfdiagramms: 800 °C bis 500 bar, 620 °C bis 400 bar und 525 °C bis 300 bar. Die Ausgabe enthält ferner eine Tabelle über den Sättigungszustand des Wassers und ein neu bearbeitetes Enthalpiedifferenz-Entropie-Diagramm des flüssigen Wassers bis 600 bar und bis zur kritischen Temperatur. Die Arbeit, die auf Anregung von Prof. *H. Quiby*, ETH, und Dip. Ing. *C. Seippel*, Direktor der AG. Brown, Boveri & Co. Baden, im Jahre 1951 begonnen worden ist, lehnt

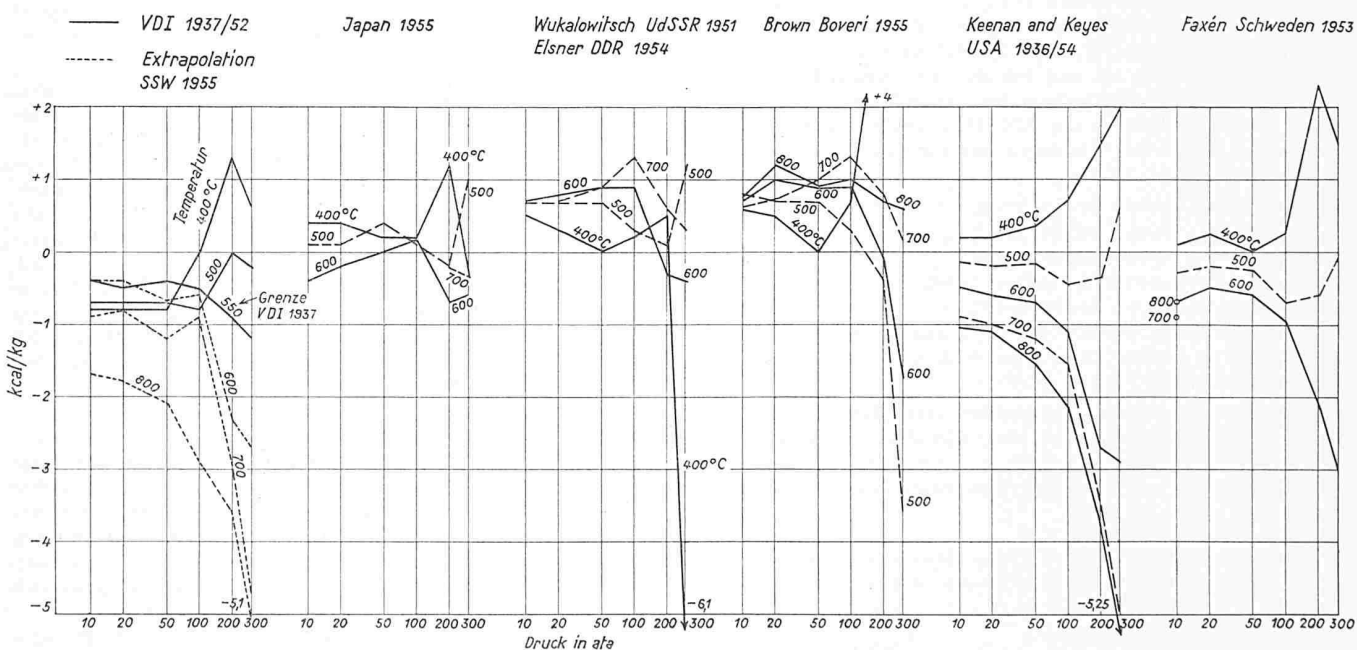


Bild 1. Abweichungen von Enthalpiewerten einiger Wasserdampftafeln gegenüber den neuen VDI-Tafeln 1956

Tabelle 1. Adiabatische Gefälle verschiedener i-s-Tafeln in kcal/kg

| Anfangs-Temperatur                        | 0°C   | 500   | 600   | 700   | 800 |
|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| <i>Expansion von 300 ata auf 100 ata</i>  |       |       |       |       |     |
| Schmidt VDI 1956                          | 61,4  | 80,2  | 95,3  | 109,4 |     |
| Brown Boveri 1955                         | 61,6  | 80,5  | 96,5  | 108,3 |     |
| Koch VDI 1937/52                          | 61,1  | —     | —     | —     |     |
| Extrapolation VDI 1937 durch SSW 1955     | —     | 79,8  | 93,3  | 107,8 |     |
| Wukalowitsch 1951 (Elsner 1954)           | 63,3  | 79,6  | 95,3  | —     |     |
| Japan S. M. E. 1955                       | 61,1  | 80,0  | 95,2  | —     |     |
| <i>Expansion von 100 ata auf 0,03 ata</i> |       |       |       |       |     |
| Schmidt VDI 1956                          | 339,3 | 377,4 | 416,8 | 458,0 |     |
| Brown Boveri 1955                         | 339,8 | 378,3 | 417,4 | 459,0 |     |
| Koch VDI 1937/52                          | 338,8 | —     | —     | —     |     |
| Extrapolation VDI 1937 durch SSW 1955     | —     | 376,6 | 415,5 | 455,2 |     |
| Wukalowitsch 1951 (Elsner 1954)           | 339,2 | 377,4 | 417,7 | —     |     |
| Japan S. M. E. 1955                       | 339,2 | 377,2 | —     | —     |     |
| <i>Expansion von 160 ata auf 30 ata</i>   |       |       |       |       |     |
| Schmidt VDI 1956                          | 103,7 | 124,6 | 143,8 | 162,1 |     |
| Brown Boveri 1955                         | 104,9 | 124,4 | 143,2 | 162,7 |     |
| Koch VDI 1937/52                          | 103,9 | —     | —     | —     |     |
| Extrapolation VDI 1937 durch SSW 1955     | —     | 124,5 | 143,3 | 160,6 |     |
| Wukalowitsch 1951 (Elsner 1954)           | 104,8 | 124,1 | 143,5 | —     |     |
| Japan S. M. E. 1955                       | 103,8 | 124,9 | 143,8 | —     |     |
| Keenan and Keyes USA 1936/54              | 103,6 | 124,5 | —     | —     |     |
| Callendar England 1939/49                 | 103,5 | —     | —     | —     |     |
| Faxén Schweden 1953                       | 103,8 | 124,5 | —     | —     |     |
| <i>Expansion von 30 ata auf 0,03 ata</i>  |       |       |       |       |     |
| Schmidt VDI 1956                          | 313,0 | 347,5 | 384,5 | 424,3 |     |
| Brown Boveri 1955                         | 313,3 | 348,3 | 385,4 | 425,3 |     |
| Koch VDI 1937/52                          | 312,3 | —     | —     | —     |     |
| Extrapolation VDI 1937 durch SSW 1955     | —     | 346,9 | 383,4 | 421,8 |     |
| Wukalowitsch 1951 (Elsner 1954)           | 313,1 | 347,4 | 384,7 | —     |     |
| Japan S. M. E. 1955                       | 313,0 | 347,2 | —     | —     |     |
| Keenan and Keyes USA 1936/54              | 312,9 | 346,8 | —     | —     |     |
| Faxén Schweden 1953                       | 312,3 | 346,6 | —     | —     |     |

sich für die dampfförmige Phase eng an die Zustandsgleichungen von Wukalowitsch an, während für die flüssige Phase die neuesten Messergebnisse von Kennedy herangezogen worden sind. Auf die Darstellung des Gebietes über dem kritischen Punkt wird mangels zuverlässiger Versuchsunterlagen bewusst verzichtet. Die Diagramme umfassen den grössten bis heute publizierten Zustandsbereich, wobei die Zuverlässigkeit der durchgeführten Extrapolationen im überhitzten Gebiet zumindest von den letzten russischen Messungen weitgehend bestätigt wird. Die Bestätigung der letzteren wiederum durch Versuche anderer Staaten steht allerdings noch aus. Der fortschrittliche Charakter der Arbeit wird durch die konsequente Verwendung des MKSA-Systems unterstrichen.

8. Graphische Extrapolation von Hausen und Germerdonk bis 400 at, veröffentlicht Juli 1955 [4].

9. VDI-Wasserdampftafeln von Schmidt, 4. Auflage, Okt. 1955, erschienen 1956. Grenzen: 300 at, 800 °C. Als vorläufig letzte in der Reihe verwerfen diese gegenüber der Ausgabe 1937 neu berechneten Tafeln alle bisherigen Arbeiten und benutzen insbesondere die neuen Werte der kalorischen Zustandsgrössen des National Bureau of Standards 1954. Es hat sich dabei herausgestellt, dass nach entsprechender Anpassung die 1937 von Koch aufgestellten einfachen Zustandsgleichungen mit nur acht Konstanten — andere benutzten deren 18 bis 20 — sich überraschend gut für die Extra-

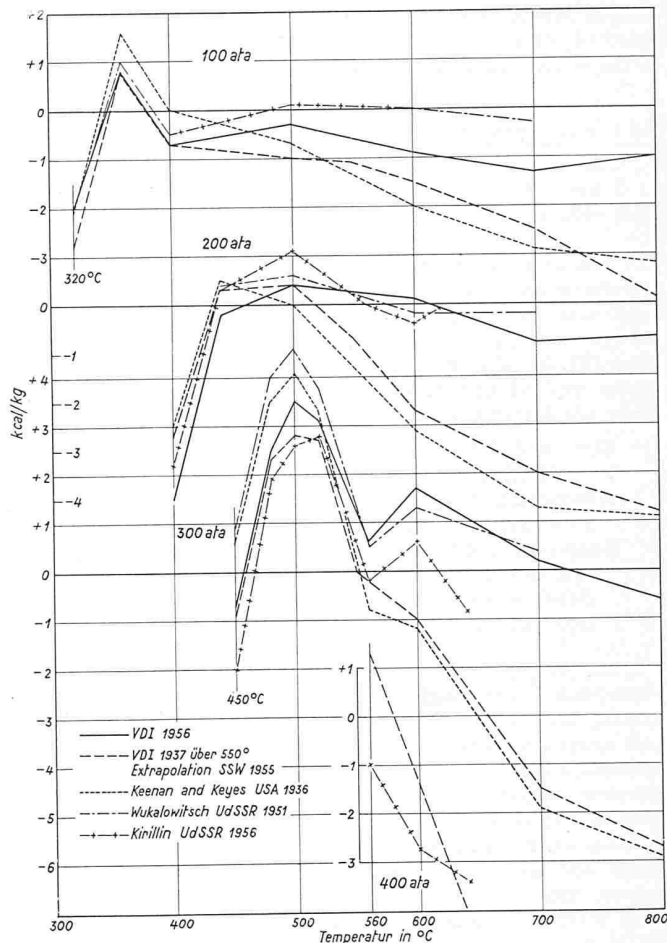


Bild 2. Abweichungen von Enthalpiewerten einiger Wasserdampftafeln gegenüber der Brown-Boveri-Tafel 1955. Bei 300 ata gibt die Brown-Boveri-Tafel zwischen 370 °C und 450 °C keine Werte an; bei 400 ata fehlen Angaben zwischen 350 °C und 560 °C

polarisation auf hohe Temperaturen eignen. Im Druckbereich 100 bis 300 at und bis 600 °C wurden die russischen Tafelwerte verwertet, wobei allerdings deren Anpassung an die Zustandsgleichungen von Koch nicht klar ersichtlich ist. Eine Erweiterung über den durch Versuche einigermaßen gesicherten Bereich von 300 at hinaus wurde nicht gewagt, sondern zurückgestellt, bis neue Messergebnisse vorliegen. Alle Tafelwerte sind noch im gebräuchlichen technischen Masssystem gehalten. Zusammenfassend ist jedenfalls festzustellen, dass die neuen VDI-Tafeln gegenüber dem Brown Boveri-Diagramm zumindest keinen Fortschritt bringen. In einer neuen Auflage wäre zu wünschen, dass auch andere Eigenschaften des Wasserdampfes einbezogen würden.

Bild 1 veranschaulicht die Differenzen in der Wiedergabe der Enthalpie dieser neuen VDI-Tafeln gegenüber anderen, früher erschienenen Werken. Bild 2 zeigt für hohe Drücke und Temperaturen den Vergleich der Enthalpiewerte zwischen dem Brown-Boveri-Diagramm und einigen anderen Tafeln. Tabelle 1 enthält eine Auswahl von adiabatischen Wärmegefällen, berechnet aus verschiedenen Wasserdampftafeln. Der Leser mag sich daraus selber ein Bild machen, wie gross die Unsicherheiten in der Wiedergabe der Eigenschaften des Wasserdampfes heute noch anzusetzen sind. Für den Vergleich der spezifischen Volumina, wo übrigens die verschiedenen Tafeln bis hinauf zu 300 at, 700 °C kaum mehr als  $\pm 0,5\%$  voneinander abweichen, sei auf die Literatur verwiesen [2] [5].

Was die Transport-Eigenschaften des Wasserdampfes betrifft [Zähigkeit und Wärmeleitfähigkeit], gehen leider die Resultate der Messungen und auch die Meinungen über deren Zuverlässigkeit, besonders in bezug auf das Druckverhalten, zum Teil noch stark auseinander. Als Beispiel sei in Tabelle 2 die dynamische Zähigkeit ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) angeführt [6] [7], wobei in der ersten Kolonne die Werte nach amerikanischen Messungen der Purdue University 1939, in der zweiten nach russischen Messungen von Timroth 1940 angegeben sind. Im-

merhin scheint aus der letzten Dampftafelkonferenz hervorzugehen, dass eine Uebereinstimmung der Messergebnisse in nächster Zeit zu erwarten ist [11].

Tabelle 2. Dynamische Zähigkeiten in kg s/m<sup>2</sup>

| Dampfzustand    | Purdue Univ.            | Timroth                 |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 ata, 500° C   | 2,73 · 10 <sup>-6</sup> | 2,83 · 10 <sup>-6</sup> |
| 100 ata, 500° C | 3,48 · 10 <sup>-6</sup> | 2,96 · 10 <sup>-6</sup> |

Wie schon eingangs erklärt, verlangt die moderne Dampftechnik dringend eine zuverlässige Erweiterung der Rahmentafel von 1934, wozu die seither erfolgten Messungen und die theoretisch begründeten Extrapolationen nicht ausreichen [5]. Es sind deshalb in letzter Zeit umfangreiche Versuche geplant und eingeleitet worden, von denen in erster Linie die folgenden zu nennen sind:

Siemens-Schuckertwerke bis 400 at 700° C,  
Prof. Newitt, England bis 1000 at 600 bis 750° C,  
American Society of Mech. Engineers unter Führung von Prof. Kennedy bis 1000 at 820° C,  
Russische Institute, von denen als erstes Ergebnis kürzlich erfolgte Messungen der spezifischen Volumina im Bereiche 80 bis 950 at und 375 bis 500° C durch Kirillin und Subarew bereits publiziert worden sind.

An der 4. Internationalen Dampftafelkonferenz 1954 in Philadelphia [8] wurden der Stand der Wasserdampf-forschung und das zukünftige Untersuchungsprogramm erörtert sowie der Beschluss gefasst, die Einführung des MKSA-Masssystems vorzubereiten. Einen Schritt weiter ging dann die kürzlich abgehaltene 5. Internationale Dampftafelkonferenz 1956 in London [11], an der für das Jahr 1958 die Ausarbeitung einer erweiterten Rahmentafel beschlossen worden ist. Diese soll allerdings erst einen vorläufigen Charakter erhalten, weil bis dahin die erwähnten neuen Versuchsreihen noch nicht zum Abschluss gelangt sein werden. Gleichzeitig sollen die im Gang befindlichen Messungen über Zähigkeit, Wärmeleitfähigkeit usw. weitergeführt und zu einer gegenseitigen Uebereinstimmung gebracht werden.

Es stellt sich nun die Frage, welche der verschiedenen erwähnten Wasserdampftafeln in der Uebergangszeit benutzt werden soll. Zweifellos stehen für uns heute nur die VDI-Tafel 1956 und das BBC-Diagramm 1955 im Vordergrund, eine Doppelspurigkeit, die eigentlich zu bedauern ist. Für wissenschaftliche Probleme ist unbedingt der Tafel von Brown Boveri der Vorzug zu geben, da sie physikalisch besser fundiert ist, einen grösseren Bereich umfasst und im MKSA-System gehalten ist. Es würde noch sehr zu ihrer Verbreitung beitragen, wenn darin die thermodynamischen Zusammenhänge nicht nur in Diagrammen, sondern zur Erleichterung des Gebrauchs wie in andern Tafeln auch in Tabellenform zur Darstellung gebracht würden. Auf der anderen Seite hat die VDI-Tafel den Vorteil, dass sie von einer neutralen Körperschaft herausgegeben ist. Es ist darum wohl zu erwarten, dass sie, wie bis anhin die VDI-Tafel 1937, in den westeuropäischen Ländern einen offiziellen Charakter annehmen wird. Für industrielle Aufgaben ist es deshalb zur Zeit empfehlenswert, sich jeweils zum voraus zu verständigen, nach welcher Tafel gerechnet werden soll.

In diesem Zusammenhang ist auch die jüngste russische Arbeit zu berücksichtigen [9], die auf Grund graphischer Auswertung aller bisher erfolgten Messungen im Bereiche 300 bis 500 at und 200 bis 640° C für die Enthalpie, das spezifische Volum und die spezifische Wärme gemittelte Richtwerte vorschlägt.

Abschliessend seien noch zwei Wünsche geäussert. Da es erfahrungsgemäss grosse Mühe kosten wird, dem MKSA-System in der Industrie und besonders bei den Energieproduzenten Eingang zu verschaffen, wäre die Herausgabe einer Wasserdampftafel mit nebeneinanderstehenden Tabellenwerten im MKSA- und im bisher üblichen technischen Masssystem zu begrüssen. Weiter wäre es in Anbetracht der Weltverbundenheit der Energiewirtschaft für die Zusammenarbeit der Dampftechniker und zur Erleichterung der Arbeit besonders der am Export beteiligten Industrien sehr wertvoll, wenn Internationale Dampftafelkonferenzen als Endziel ihres Wirkens nicht nur Richtlinien in Form von

Rahmentafeln aufstellen, sondern eine einzige verbindliche Tafel, gewissermassen eine «Welt-Wasserdampftafel» herausgeben würden.

Schrifttum, als Ergänzung zu den aufgezählten Wasserdampftafeln:

- [1] Henning F.: Rahmentafeln für Wasser und Wasserdampf. «Z. VDI» Bd. 79 (1935), S. 1359/62.
- [2] Erythropel H.: Neue Wasserdampftafel bis 700° C. «Z. VDI», Bd. 94 (1952), S. 1001/4.
- [3] Mörk v. Mörkenstein P. und K. R. Schmidt: Wasserdampftafeln bis 400 at 800° C. «Mitt. der VGB» 1955, Heft 37, S. 714/23.
- [4] Hausen H. und Germerdonk R.: Extrapolation der Wasserdampftafeln bis zu 400 at. «Techn. Mitt. Wasserrohrkesselverb.» Juli 1955, S. 1/13.
- [5] Keyes F. G. und Keenan J. H.: The Present Status of Steam Properties. «Mech. Engineering» Bd. 77 (1955), S. 127/32.
- [6] Hawkins G. A., Sibbitt W. L. und Solberg H. L.: Review of Data on Dynamic Viscosity of Water and Supperheated Steam. «Trans. of A. S. M. E.» Bd. 70 (1948), S. 19/23.
- [7] Richter H.: Wahrscheinliche Werte für die Zähigkeit von Wasserdampf. «BWK» Bd. 3 (1951), S. 117/20.
- [8] Schmidt E.: Vierte Internationale Dampftafelkonferenz. «Z. VDI» Bd. 97 (1955), S. 796/8.
- [9] Kirillin W. A., Scheindlin A. E. und Spielrein E. E., Jan. 1956: Spezifische Wärme und Enthalpie von Wasserdampf bei hohen Drücken und Temperaturen. Uebersetzung in «Arch. f. Energiewirtschaft» 1956, Heft 14.
- [10] Dzung L. S. und W. Rohrbach: Neue thermodynamische Diagramme für Wasserdampf und Wasser. «Brown Boveri Mitt.» Bd. 43 (1956), Nr. 1/2, S. 16/19.
- [11] Traupel W.: 5. Internationale Dampftafelkonferenz vom 11. bis 13. Juli 1956 in London. «Bulletin SEV» Bd. 47 (1956), Nr. 18, S. 804 und 813.

Adresse des Verfassers: Dipl. Ing. R. Hohl, Seestrasse 112, Kilchberg bei Zürich.

#### Bemerkungen von L. S. Dzung und Dir. C. Seippel

Zum vorliegenden Thema nimmt die Firma Brown Boveri folgendermassen Stellung:

Den im letzten Satz des Aufsatzes geäusserten Wunsch, dass die Dampftafelkonferenz als Endziel nicht nur Rahmentafeln aufstelle, sondern eine internationale Dampftafel ausarbeite und herausgebe, können wir nur voll unterstützen. Einer der Unterzeichneten hat denselben Wunsch während der 5. Internationalen Dampftafelkonferenz, Juli 1956 in London, ausgesprochen.

Die Schwierigkeiten in der Einführung des MKSA-Systems in der Industrie sind sicher etwas überschätzt. Einige Abteilungen von Brown Boveri verwenden das MKSA-System schon seit mehr als zehn Jahren. Der Uebergang vom technischen System vollzog sich schmerzlos ohne Empfehlung seitens der Hochschule oder irgendwelcher offizieller Stellen. Von unseren Erfahrungen seit der Einführung dieses Systems können wir nur Gutes berichten.

Die Einführung des MKSA-Systems wird natürlich auch von den Hochschulen unterstützt. Prof. Dr. W. Traupel, ETH, Zürich, teilte mit, dass in seinem Institut nur noch das MKSA-System benutzt wird. Ähnliche Mitteilungen haben wir auch von verschiedenen nordeuropäischen Ländern erhalten. Die in diesen Institutionen ausgebildeten zukünftigen Ingenieure werden die alten technischen Einheiten nur als störend empfinden. Je schneller wir solche überflüssige Einheiten vergessen, desto mehr werden wir unsern Kindern Aerger und Verdross ersparen. Für die internationale Dampftafel kommt natürlich nur das MKSA-System in Betracht. Das Joule in der Elektrotechnik und das Bar in der Meteorologie sind schon längst in allen Ländern verbreitet.

Ueber die Zuverlässigkeit der VDI-Tafeln und der Brown-Boveri-Diagramme kann folgendes gesagt werden:

Beide Systeme verwenden als kalorische Angaben im idealen Gaszustand die quantenstatistisch berechneten Werte; Zahlenwerte nach National Bureau of Standards selber (VDI), oder die Interpolationsformel nach Wukalowitsch (BBC). Die Interpolationsformel gibt die Zahlenwerte sehr genau wieder; bis 800° C beträgt die Abweichung der spezifischen Wärme höchstens 0,16 %.

Für den realen Gaszustand und auch zur Extrapolation auf 500 bar und 800° C wurde bei Brown Boveri die Zustandsgleichung von Wukalowitsch benutzt. Die Volumenwerte nach