

schaftsbereitet und durchgeführt wurde. Die Tagesordnung befaßte sich mit der Analyse des 10jährigen Speicherbetriebs und mit Vorschlägen zur weiteren Intensivierung hinsichtlich Kapazität und Leistung.

Ausgehend von den vielen Aktivitäten des FUA während der Speichererrichtung und des 10jährigen Speicherbetriebs sollen einige markante Punkte genannt werden.

1. In überbetrieblicher Gemeinschaftsarbeit ist es gelungen, die Durchsatzleistung des Speichers zu verdoppeln.
2. Basierend auf wissenschaftlicher Grundlagenarbeit konnte der maximale Betriebsdruck des Speichers angehoben werden, wodurch eine Kapazitätserweiterung von 8% möglich wurde.
3. Im Rahmen der Verpflichtungen der KDT zum XI. Parteitag wurden wissenschaftliche Ergebnisse vorgestellt, die eine entscheidende Kapazitätserweiterung am Standort des Speichers Kirchheilingen unter Ausnutzung von Reserven der Obertageanlage ermöglichen.

Unter Ausnutzung der geologischen Gegebenheiten wird in den 90er Jahren die Speicherkapazität verdoppelt und die Disponibilität wesentlich erhöht. Dadurch wird erreicht, daß die Versorgung im stadtgaserzeugerfernen Südwesten der DDR auch bei komplizierten Situationen sicher beherrscht wird. Die Maßnahme ist in die Pläne eingeordnet und wird die Mitglieder des Fachausschusses zu neuen Initiativen anspornen.

Der UGS Buchholz besteht ebenfalls 10 Jahre. Auch dieses Jubiläum war Anlaß zur Durchführung einer festlichen wissenschaftlichen Tagung im Rahmen der KDT. Die für diese Tagung vorbereiteten Vorträge, wie

- Analyse und Bewertung des bisherigen Speicherbetriebs,
- Probleme und Erfahrungen bei der Betriebsführung,
- Erweiterungsmöglichkeiten des UGS,

waren die Grundlage für eine auf hohem wissenschaftlichem Niveau durchgeführte Diskussion. Die Schlußfolgerungen und Empfehlungen wurden Grundlage für die Entscheidung zur Er-

weiterung des Objekts mit einer Aktivgaserhöhung um etwa 80%. Die Inbetriebnahme der Obertageanlage des Untergrundspeichers Bad Lauchstädt im Jahr 1981 war Höhepunkt der KDT-Initiativen. Wissenschaftliche Arbeit und operative Einflußnahme der KDT-Mitglieder des Fachausschusses waren entscheidend für die realisierte Konzeption.

Aufgrund der Kapazitäts- und Leistungserhöhung des Untertageanteils im Ergebnis der laufenden Betriebsanalyse wurde die Durchlaßfähigkeit der Obertageanlage erhöht. Das war besonders kompliziert, weil über eine Verdichterstation Stadtgas und Erdgas gefahren werden. Trotzdem ist es auch dank vieler KDT-Initiativen gelungen, diese schwierige Situation zu beherrschen. Zusammenfassend kann festgestellt werden:

- Ein wesentlicher Schwerpunkt der KDT-Arbeit war die für Aquifer wichtige Lösung des untertägigen Installationsproblems. Sowohl die eingesetzten Materialien (Drahtwickelfilter, Filterpacker), der verwendete Filterkies und die eingesetzte feststofffreie Behandlungsflüssigkeit sichern seit 1985 einen qualitativen Sprung in der Produktionssondenausrüstung. Dadurch ist die Verfügbarkeit der Speicher Buchholz und Ketzin gegenüber den Vorjahren ohne Einschränkung stabil.
- Die Initiativen des FUA zur Intensivierung und extensiven Erweiterung der Speicherkapazitäten und -leistungen sind erfolgreich und haben die Maßnahmen zur Entwicklung der Untergrundspeicherung bis zum Jahr 2000 positiv beeinflusst.
- Die Arbeitsweise, d. h., auch nicht organisierte Fachkader zu spezifischen Problemen in die Arbeit mit einzubeziehen, hat sich bewährt und wird im Interesse erfolgreicher Arbeit des FUA weiter praktiziert.
- Als besondere Wertschätzung des FUA wird die Möglichkeit gesehen, mit 2 Vorträgen zum Weltgaskongreß der IGU 1988 in Washington auftreten zu können.

Manuskripteingang am 6. 10. 1987

ENA 544

Achim Dittmann, Jochen Klinger, Dresden, und Hans-Joachim Kretzschmar, Rossendorf<sup>1</sup>

## Neue international verbindliche Rahmentafeln und eine genaue Zustandsgleichung für die thermodynamischen Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf (Teil II)

Nachdem bereits im Teil I dieser Veröffentlichung die neuen verbindlichen Rahmentafeln für die thermodynamischen Zustandsgrößen besprochen wurden, wird der Beitrag nun mit den zugehörigen Tabellen, den gültigen Rahmentafeln der wichtigsten Transportgrößen und einer Vorstellung der neuen Zustandsgleichung zur Berechnung von Wasser und Wasserdampf fortgesetzt.

Die Tabellen 1 bis 6 sind dem Textteil des Beitrags nachgeordnet, die Tabellen 7 bis 11 befinden sich an entsprechender Stelle im Text.

Das Literaturverzeichnis ist im Teil I der Arbeit, Heft 1/1988, enthalten.

<sup>1</sup> Prof. Dr. sc. techn. Achim Dittmann und Dr.-Ing. Jochen Klinger, Technische Universität Dresden, Sektion Energiewandlung, und Dr.-Ing. Hans-Joachim Kretzschmar, Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf

### 4. Gültige Rahmentafeln für die Transportgrößen von Wasser und Wasserdampf

#### 4.1. Siedende Flüssigkeit und trocken gesättigter Dampf

International verbindliche Rahmentafeln existieren für die in technischen Berechnungen oft benötigten Transportgrößen Wärmeleitkoeffizient  $\lambda$  und dynamische Zähigkeit  $\eta$  sowie für die Oberflächenspannung  $\sigma_s$ . Die Tabelle 4 beinhaltet empfohlene Werte mit den zugehörigen Toleranzen für  $\lambda'$  und  $\eta'$  auf der Siedelinie sowie für  $\lambda''$  und  $\eta''$  auf der Taulinie und für  $\sigma_s$  im Sättigungszustand. Parallel dazu können Bild 7 die relativen Toleranzen, über der Siedetemperatur aufgetragen, entnommen werden.

Die angegebenen Daten der Oberflächenspannung entsprechen der in [15] herausgegebenen Rahmentafel IAPS 1976. Jedoch wurde für Tabelle 4 das gleiche Temperaturraster gewählt, das in

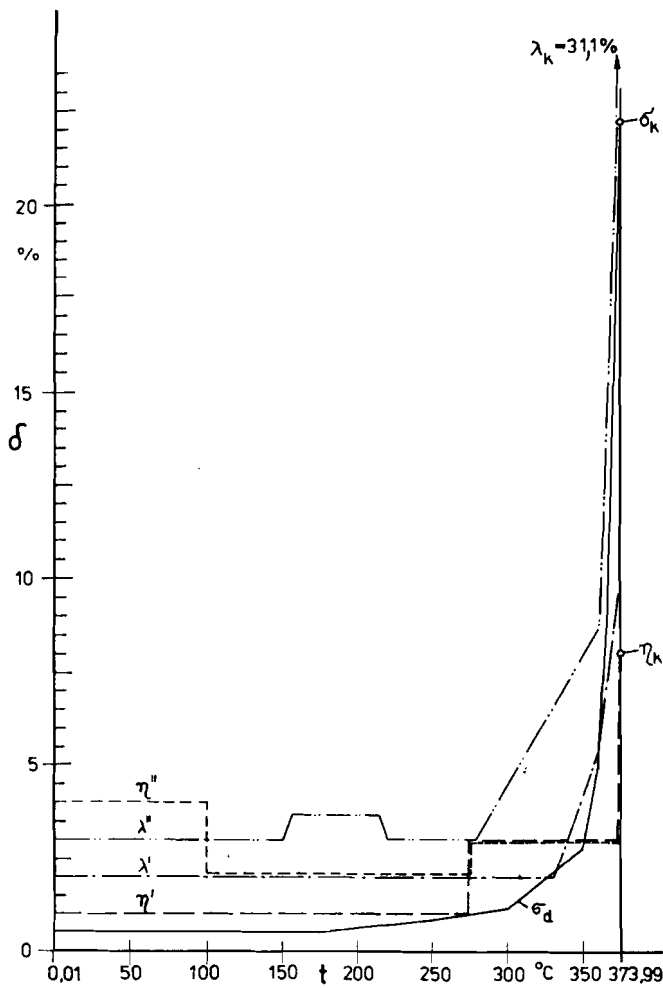


Bild 7. Zugelassene relative Toleranzen der gültigen Rahmentafel für die Transportgrößen auf der Sättigungskurve  
Toleranzen der Grenzkurvenwerte nach  
1976 IAPS Rahmentafel ( $\sigma_d$ )  
1977 IAPS Rahmentafel ( $\lambda$ )  
Scheffler, Rosner, Straub, Grigull ( $\eta$ )

der Tafel IAPS 1985 für die thermodynamischen Zustandsgrößen vorgegeben ist. Die Schrittweite in der Rahmentafel IAPS 1976 [15] für  $\sigma_d$  beträgt demgegenüber 5 K. Alle Daten können [16] und [27] entnommen werden. Die vorgegebene Temperatur für die Oberflächenspannung  $\sigma_d$  am kritischen Punkt beträgt bei IAPS 1976 374.00°C, während sie jetzt in der Rahmentafel IAPS 1985 mit 373.99°C enthalten ist. Der kritische Wert aus [15] wurde dieser Temperatur zugeordnet. Am kritischen Punkt kann für  $\sigma_d$  keine Toleranz angegeben werden. Die in Tabelle 4 und im Bild 7 enthaltenen Werte für den Wärmeleitkoeffizienten auf den Grenzkurven sind Bestandteil der überarbeiteten Rahmentafel IAPS 1977 [11]. Sie wurden [12] entnommen und stellen korrigierte Daten der Veröffentlichung [18] von Scheffler u. a. (ebenfalls in [25] enthalten) dar. Die Veränderungen beziehen sich auf einige engere Toleranzen zwischen 290°C und 350°C. Die Lücken in Tabelle 4 resultieren aus der Temperaturschrittweite von 10 K in [12]. Wenig abgesichert durch Messungen sind die Werte nahe dem kritischen Punkt, so daß keine Toleranzen angegeben werden können. Obwohl die in [12] gegebene kritische Temperatur 374.15°C beträgt, wurden die kritischen Werte analog zur Oberflächenspannung dem Wert 373.99°C zugeordnet, um die Einheitlichkeit des Temperaturrasters zu wahren.

Keine Grenzkurvenwerte enthält die verbindliche Rahmentafel IAPS 1975 [13] für die dynamische Zähigkeit. Auch der zusammenfassenden Veröffentlichung [14] von Sengers und Kamgar-

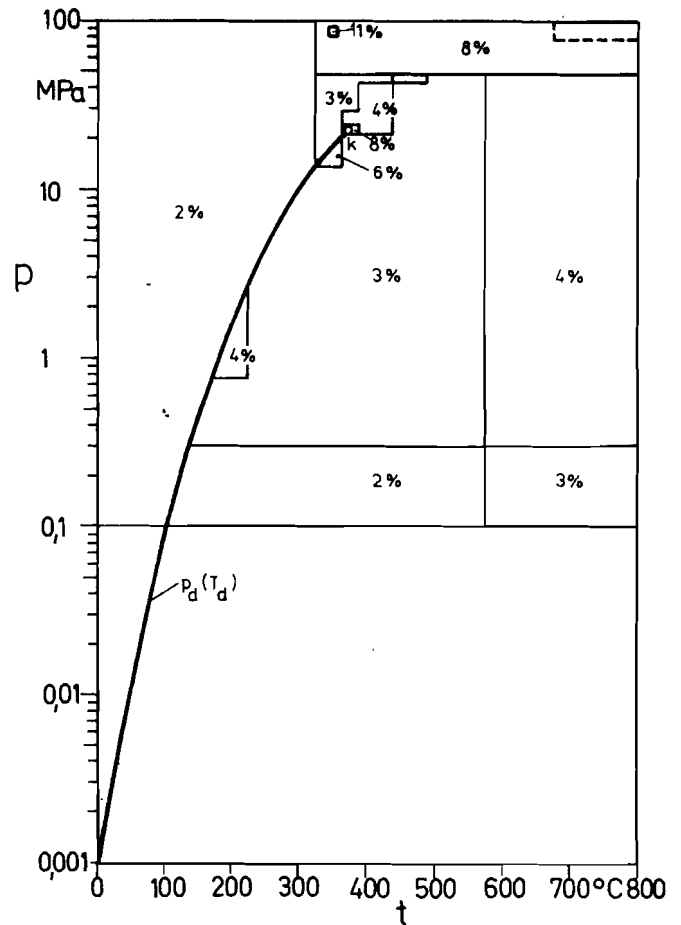


Bild 8. Zugelassene relative Toleranzen der Rahmentafel IAPS 1977 für den Wärmeleitkoeffizienten im Einphasengebiet (überarbeitete Version von 1982)

Parsi sind keine Daten mit Toleranzen für die Grenzkurve zu entnehmen. Lediglich von Scheffler u. a. wurden in [19] Mittelwerte und prozentuale Toleranzen angegeben. Sie sind auch in [26] nicht mit abgedruckt, so daß [19] die alleinige Quelle der eingetragenen Daten darstellt. Für Tabelle 4 wurden die in [19] angegebenen relativen Abweichungen in absolute Werte umgerechnet. Auch für  $\eta'$  und  $\eta''$  stehen nicht alle zu den Temperaturen der Tabelle 4 zugehörigen Werte zur Verfügung. Der in [19] bei einer Temperatur von 374.15°C angegebene kritische Wert wurde wiederum dem Wert 373.99°C zugeordnet.

Möchte der Nutzer Daten für die kinematische Zähigkeit  $v$  erhalten, so kann er die Mittelwerte näherungsweise jeweils für Siede- und Taulinie mit der bekannten Beziehung

$$v = \eta \cdot \nu \quad (2)$$

berechnen, wobei  $\eta$  Tabelle 4 und  $\nu$  Tabelle 1 zu entnehmen ist. Die Toleranzen  $\Delta v$  sind mit Hilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes ermittelbar. Als brauchbare Näherung kann die Berechnung mit

$$\Delta v = \nu \cdot \Delta \eta + \eta \cdot \Delta \nu \quad (3)$$

erfolgen. Die Werte für  $\Delta \eta$  und  $\Delta \nu$  sind ebenfalls in den Tabellen 4 und 1 bei den jeweiligen Mittelwerten für  $\eta$  und  $\nu$  ablesbar. Auf Darstellungen von  $v$  mußte aus Platzgründen in dieser Publikation verzichtet werden.

#### 4.2. Einphasengebiet Flüssigkeit – Dampf

Die 1982 überarbeitete Rahmentafel IAPS 1977 [11] für den Wärmeleitkoeffizienten  $\lambda$  beinhaltet Tabelle 5. Bild 8 zeigt die dort angegebenen Toleranzen. Alle Werte aus [12] stimmen auch

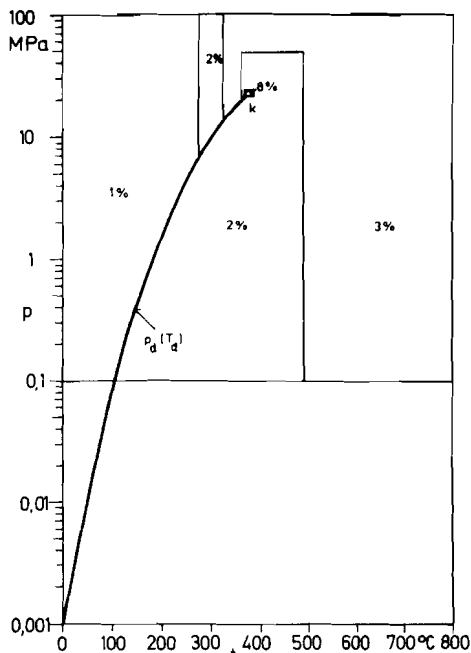


Bild 9. Zugelassene relative Toleranzen der Rahmentafel IAPS 1975 für die dynamische Zähigkeit im Einphasengebiet (überarbeitete Version von 1982)

mit [25] überein. Abweichend sind dagegen die in [20] (Ausgaben von 1979 und 1982) und in [18] abgedruckten Daten. Die Veränderungen betreffen vor allem das Flüssigkeits- und überkritische Gebiet. Während für die Flüssigkeit die Toleranzen in [12] enger gefasst sind, wurden sie im kritischen Bereich und generell bei Temperaturen über 350°C zum Teil erheblich erweitert. Im überhitzten Dampfgebiet bei unterkritischen Drücken hingegen stimmen Mittelwerte und Toleranzen in allen Veröffentlichungen überein.

Die ebenfalls 1982 korrigierte Rahmentafel IAPS 1975 [13] für die dynamische Zähigkeit  $\eta$  beinhaltet Tabelle 6. Sie stimmt, abgesehen von einem Wert bei 0,1 MPa und 25°C, mit [19], [20] und [26] überein. Die [14] entnehmbaren Toleranzen sind im Bild 9 veranschaulicht.

Interessiert die kinematische Zähigkeit  $\nu$ , so können die in Tabelle 6 aufgeführten Werte mit den zugehörigen aus Tabelle 2 über die Gleichungen (2) und (3) verknüpft werden.

### 5. Eine neue thermodynamische Zustandsgleichung – für wissenschaftlichen Gebrauch

Die neue, von der 10. ICPS in Moskau 1984 als für wissenschaftliche Anwendungen verbindlich erklärte und für den uneingeschränkten Gebrauch freigegebene thermodynamische Zustandsgleichung „The IAPS Formulation 1984 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for Scientific and General Use“ [5] stellt eine dimensionslose und zum Teil umgeformte Version der von Haar, Gallagher und Kell [7] entwickelten Beziehungen dar. Diese als HGK-Gleichung benannte Zustandsgleichung wurde in ihrer ursprünglichen Form schon 1982 von der IAPS als provisorische Formulierung [6] verabschiedet und nochmals einer eingehenden Prüfung unterzogen. Nach bereits zwei, von Keenan u. a. [37] und Pollak [38] entwickelten, den gesamten fluiden Zustandsbereich (Flüssigkeit und Dampf) beschreibenden thermodynamischen Zustandsgleichungen konnte die HGK-Gleichung als erste einheitliche Zustandsgleichung aufgrund verbesserter Genauigkeit vor allem ihrer Differentialquotienten als international verbindlich erklärt werden. Bei zuvor angenommenen Formulierungen wie IFC 67 [10] oder IFC 68 [9] wird der insgesamt erfaßte Zustandsbereich

durch mehrere Potentialgleichungen, jeweils nur in abgegrenzten Unterbereichen gültig, beschrieben. Auch die HGK-Gleichung ist eine kanonische Zustandsgleichung, woraus sich die Möglichkeit ergibt, allein aus ihren Ableitungen nach den abhängigen Größen alle anderen thermodynamischen Größen berechnen zu können. Sie ist eine Helmholtz-Potentialfunktion für die freie Energie  $f$  als Funktion von Temperatur  $T$  und Dichte  $\rho$ . Entwickelt wurde sie aus einem Idealgasanteil, einem theoretisch mit Hilfe der statistischen Thermodynamik hergeleiteten Grundterm und einem approximierten Ausgleichsterm. Diese in [7] erläuterte Struktur ist jedoch in der endgültigen IAPS 1984 Formulierung nicht mehr zu erkennen.

Aus Gründen der Zweckmäßigkeit wird in der vorzustellenden Form die abhängige Größe  $\rho$  durch das spezifische Volumen  $v$  ersetzt. Da auch die IAPS 1984 Formulierung mit auf den kritischen Punkt reduzierten Größen in [5] und [17] geschrieben ist, sei die Helmholtz-Funktion hier in der Abhängigkeit

$$\psi = \psi(\vartheta, \chi) \quad (4)$$

dargestellt. Die Reduzierung der Größen erfolgt mit

$$\psi = f/69.59589 \text{ kJ/kg}, \quad \vartheta = T/647.27 \text{ K und} \\ \chi = v/0.00314700 \text{ m}^3/\text{kg}. \quad (5)$$

Die Fundamentalgleichung für die reduzierte freie Energie

$$\psi(\vartheta, \chi) = \psi_1(\vartheta) + \psi_2(\vartheta, \chi) + \psi_3(\vartheta, \chi) + \psi_4(\vartheta, \chi) \\ + \psi_5(\vartheta, \chi) \quad (6)$$

setzt sich aus den Anteilen

$$\psi_1(\vartheta) = (A_{11} + A_{12} \cdot \vartheta) \ln \vartheta + \sum_{i=3}^{18} A_{1i} \cdot \vartheta^{i-5}, \quad (7)$$

$$\psi_2(\vartheta, \chi) = \frac{1}{\chi} \sum_{i=1}^5 A_{2i} \left(\frac{1}{\vartheta}\right)^{i-2}, \quad (8)$$

$$\psi_3(\vartheta, \chi) = A_{31} \cdot \vartheta \left\{ -\ln[\chi(1-Y)] - \frac{130}{3(1-Y)} + \frac{169}{6(1-Y)^2} - 14Y \right\} \quad (9)$$

$$\text{mit } Y = \frac{1}{\chi} \left( Y_1 + Y_2 \cdot \ln \vartheta + \frac{Y_3}{\vartheta^3} + \frac{Y_4}{\vartheta^5} \right),$$

$$\psi_4(\vartheta, \chi) = \sum_{i=1}^{36} A_{4i} \left(\frac{1}{\vartheta}\right)^{i(i)} \cdot z^{k(i)} \quad (10)$$

$$\text{mit } z = 1 - \exp\left(-\frac{Z_1}{\chi}\right),$$

$$\psi_5(\vartheta, \chi) = \sum_{i=1}^4 A_{5i} \cdot \delta_i^{m(i)} \cdot \exp[-\alpha_i \delta_i^{m(i)} - \beta_i \tau_i^2] \quad (11)$$

$$\text{mit } \delta_i = \frac{1}{\chi \cdot \zeta_i} - 1 \quad \text{und } \tau_i = \frac{\vartheta}{T_i} - 1$$

zusammen. Die Koeffizienten für  $\psi_1$  bis  $\psi_5$  enthalten die Tabellen 7 bis 11, wobei in einer vereinfachten Schreibweise den Mantissen nur die Zehnerpotenzen beigefügt wurden.

Ihr Gültigkeitsbereich erstreckt sich von 0 bis 1000°C. Für den Druckbereich wird bis 150°C

$$p \leq 100 \left[ 5 + \frac{T - 273.15 \text{ K}}{15 \text{ K}} \right] \text{ MPa} \quad (12)$$

und von 150 bis 1000°C

$$p \leq 1500 \text{ MPa}$$

angegeben. Nur in unmittelbarer Umgebung des kritischen Punktes im Bereich

$$T = 647.27 \text{ K} \pm 1 \text{ K}$$

$$\text{und } v = 0.00314700 \text{ m}^3/\text{kg} + 0.00134872 \text{ m}^3/\text{kg} \\ - 0.00072623 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{bzw. } \rho = 317.763 \text{ kg/m}^3 \pm 95.329 \text{ kg/m}^3$$

kann Gleichung (6) nicht verwendet werden. Hierfür wird von

Tabelle 7. Koeffizienten für  $\psi_1(\vartheta)$  in Gleichung (7)

i	A <sub>1i</sub>
1	-0.130840393653 +2
2	-0.857020420940 +2
3	0.765192919131 -2
4	-0.620600116069 +0
5	-0.106924329402 +2
6	-0.280671377296 +1
7	0.119843634845 +3
8	-0.823907389256 +2
9	0.555864146443 +2
10	-0.310698122980 +2
11	0.136200239305 +2
12	-0.457116129409 +1
13	0.115382128188 +1
14	-0.214242224683 +0
15	0.282800597384 -1
16	-0.250384152737 -2
17	0.132952679669 -3
18	-0.319277411208 -5

Tabelle 8. Koeffizienten für  $\psi_2(\vartheta, \chi)$  in Gleichung (8)

i	A <sub>2i</sub>
1	0.15383053 +1
2	-0.81048367 +0
3	-0.68305748 +1
4	0.00000000
5	0.86756271 +0

Tabelle 9. Koeffizienten für  $\psi_3(\vartheta, \chi)$  in Gleichung (9)

A<sub>3i</sub> = 0.42923415 +1

i	Y <sub>i</sub>
1	0.59402227 -1
2	-0.28128238 -1
3	0.56826674 -3
4	-0.27987451 -3

Levelt Sengers u. a. [41] (auch in [17] enthalten) eine separate kanonische Zustandsgleichung in der Form

$$\frac{p}{T} = \frac{p}{T} \left( \frac{1}{T}, \frac{\mu}{T} \right) \quad (13)$$

vorgeschlagen, worin mit  $\mu$  das chemische Potential bezeichnet ist.

Der in Gleichung (6) enthaltene Idealgasanteil von Wolley [36] lautet

$$\psi_{id} = \psi_1(\vartheta) - A_{31} \cdot \vartheta \cdot \ln \chi \quad (14)$$

$$\text{bzw. } \psi_{id} = \psi_1(\vartheta) + A_{31} \cdot \vartheta \cdot \ln \left( \frac{\beta}{A_{31} \cdot \vartheta} \right) \quad (15)$$

In Gleichung (15) ist  $\beta$  der reduzierte Druck  $\beta = p/22,115 \text{ MPa}$ . Die Beziehungen (14) und (15) sind zwischen 50 und 2000 K verwendbar.

Weitere wichtige thermodynamische Zustandsgrößen lassen sich durch Verknüpfungen der Ableitungen von Gleichung (6)

$$\left( \frac{\partial f}{\partial T} \right)_v, \left( \frac{\partial^2 f}{\partial T^2} \right)_v, \left( \frac{\partial f}{\partial v} \right)_T, \left( \frac{\partial^2 f}{\partial v^2} \right)_T \text{ und } \left( \frac{\partial^2 f}{\partial T \partial v} \right), \quad (16)$$

Tabelle 10. Koeffizienten für  $\psi_4(\vartheta, \chi)$  in Gleichung (10)

z<sub>i</sub> = 0.317763 +0

i	k(i)	l(i)	A <sub>4i</sub>
1	1	1	-0.76221190138079 +1
2	1	2	0.32661493707555 +2
3	1	4	0.11305763156821 +2
4	1	6	-0.10015404767712 +1
5	2	1	0.12830064355028 +3
6	2	2	-0.28371416789846 +3
7	2	4	0.24256279839182 +3
8	2	6	-0.99357645626725 +2
9	3	1	-0.12275453013171 +4
10	3	2	0.23077622506234 +4
11	3	4	-0.16352219929859 +4
12	3	6	0.58436648297764 +3
13	4	1	0.42365441415641 +4
14	4	2	-0.78027526961828 +4
15	4	4	0.38855645739589 +4
16	4	6	-0.91225112529381 +3
17	5	1	-0.90143895703666 +4
18	5	2	0.15196214817734 +5
19	5	4	-0.39616651358508 +4
20	5	6	-0.72027511617558 +3
21	6	1	0.11147126705990 +5
22	6	2	-0.17412065252210 +5
23	6	4	0.99918281207782 +3
24	6	6	0.33504807153854 +4
25	7	1	-0.64752644922631 +4
26	7	2	0.98323730907847 +4
27	7	4	0.83877854108422 +3
28	7	6	-0.27919349903103 +4
29	9	1	0.11112410081192 +4
30	9	2	-0.17287587261807 +4
31	9	4	-0.36233262795423 +3
32	9	6	0.61139429010144 +3
33	3	0	0.32968064728562 +2
34	3	3	0.10411239605066 +3
35	1	3	-0.38225874712590 +2
36	5	3	-0.20307478607599 +3

Tabelle 11. Koeffizienten für  $\psi_5(\vartheta, \chi)$  in Gleichung (11)

i	m(i)	n(i)	$\alpha_i$	$\beta_i$	$\zeta_i$	T <sub>i</sub>	A <sub>5i</sub>
1	2	0	34	20000	0.10038928 +1	0.98876821 +0	-0.32329494 -2
2	2	2	40	20000	0.10038928 +1	0.98876821 +0	-0.24139355 -1
3	2	0	30	40000	0.10038928 +1	0.99124013 +0	0.79027651 -3
4	4	0	1050	25	0.48778492 +1	0.41713659 +0	-0.13362857 +1

die analytisch bereitgestellt werden können, ermitteln. Man erhält

Druck:  $p = - \left( \frac{\partial f}{\partial v} \right)_T \quad (17)$

Entropie:  $s = - \left( \frac{\partial f}{\partial T} \right)_v \quad (18)$

Enthalpie:  $h = f - T \left( \frac{\partial f}{\partial T} \right)_v - v \left( \frac{\partial f}{\partial v} \right)_T \quad (19)$

innere Energie:  $u = f - T \left( \frac{\partial f}{\partial T} \right)_v \quad (20)$

freie Enthalpie:  $g = \mu = f - v \left( \frac{\partial f}{\partial v} \right)_T \quad (21)$

Wärmekapazität bei konstantem Volumen:

$$c_v = - T \left( \frac{\partial^2 f}{\partial T^2} \right)_v \quad (22)$$

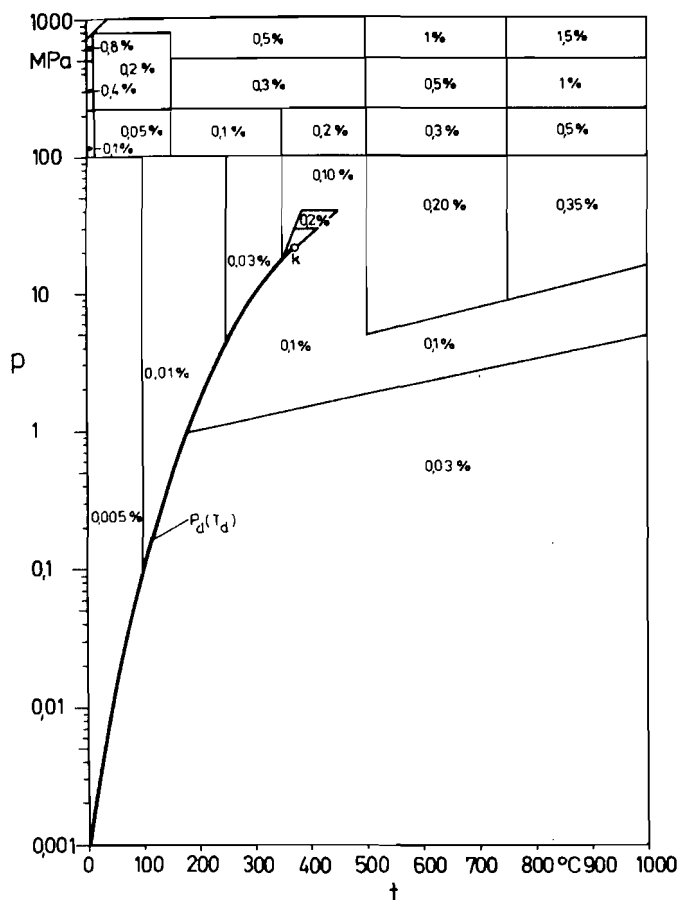


Bild 10. Genauigkeit der mit der Formulierung IAPS 1984 berechneten Dichte  $\rho = f(p, T)$  (Diagramm aus [5] bzw. [7])

Wärmekapazität bei konstantem Druck:

$$c_p = T \cdot \frac{\left(\frac{\partial^2 f}{\partial T \partial v}\right)^2 - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial T^2}\right)_v \cdot \left(\frac{\partial^2 f}{\partial v^2}\right)_T}{\left(\frac{\partial^2 f}{\partial v^2}\right)_T} \quad (23)$$

Isentropenexponent:

$$\kappa = v \cdot \frac{\left(\frac{\partial^2 f}{\partial v \partial T}\right)^2 - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial v^2}\right)_T \cdot \left(\frac{\partial^2 f}{\partial T^2}\right)_v}{\left(\frac{\partial f}{\partial v}\right)_T \cdot \left(\frac{\partial^2 f}{\partial T^2}\right)_v} \quad (24)$$

isentropische Schallgeschwindigkeit:

$$a_s = v \sqrt{\frac{\left(\frac{\partial^2 f}{\partial v^2}\right)_T \cdot \left(\frac{\partial^2 f}{\partial T^2}\right)_v - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial T \partial v}\right)^2}{\left(\frac{\partial^2 f}{\partial T^2}\right)_v}} \quad (25)$$

Alle anderen vor allem in instationären Berechnungen benötigten thermodynamischen Differentialquotienten sind ebenfalls mit Gleichung (16) herleitbar. Da zu Gleichung (6) keine passende Dampfdruckfunktion empfohlen wird, sind die Gleichgewichtsgrößen auf der Siede- und Taulinie mit Hilfe des *Maxwell-Kriteriums* und der Gleichung von *Clausius* und *Clapeyron* zu berechnen.

Die hohe Genauigkeit der IAPS 1984 Formulierung auch in extremen Parameterbereichen zeigen die Bilder 10 und 11. Sie wurden [5] bzw. [7] entnommen. Im  $p, T$ -Diagramm des Bildes 10 sind die maximalen Abweichungen des aus Gleichung (6) iterierten

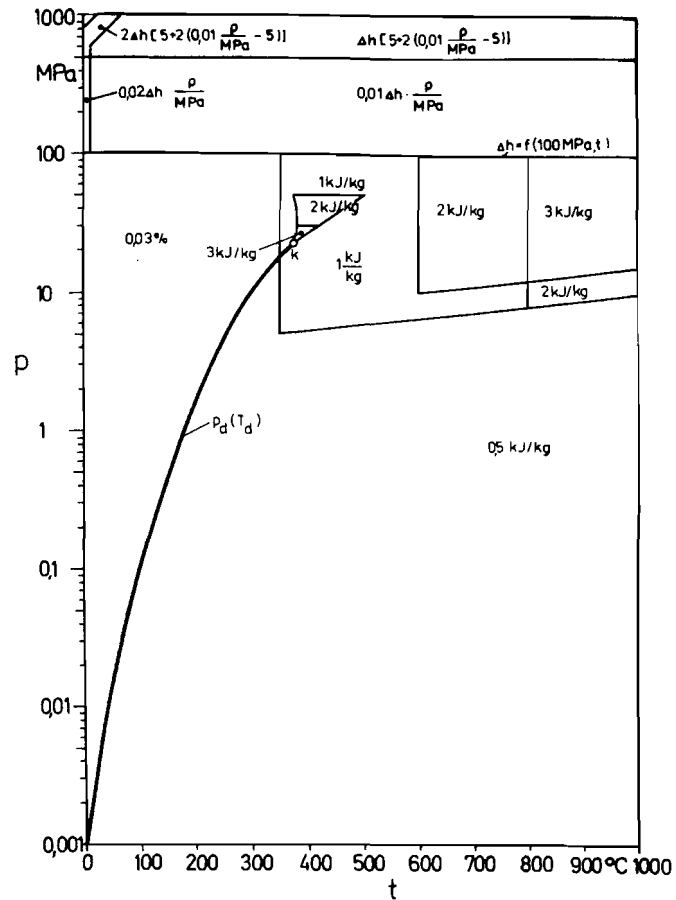


Bild 11. Genauigkeit der mit der Formulierung IAPS 1984 berechneten spezifischen Enthalpie  $h = f(p, T)$  (Diagramm aus [5] bzw. [7])

spezifischen Volumens aufgetragen. Analog werden im Bild 11 die Abweichungen für die mit Gleichung (19) berechnete spezifische Enthalpie gezeigt. Die darin angegebenen absoluten Abweichungen oberhalb 100 MPa beziehen sich auf die bei der gegebenen Temperatur  $T$  und unterhalb des Druckes von 100 MPa abzulesenden Werte  $\Delta h$ .

Ein umfassendes mit der IAPS 1984 Formulierung berechnetes Tabellenmaterial liegt in [7] und [8] vor. Neben [7] ist auch [17] eine vollständige Darstellung des Gleichungssatzes zu entnehmen.

## 6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die neue seit 1985 international verbindliche Rahmentafel für die thermodynamischen Zustandsgrößen sowie die gültigen Tafeln für die wichtigsten Transportgrößen von Wasser vorgestellt. Die neuen Rahmentafeln stellen einen qualitativen Sprung hinsichtlich Genauigkeit zu den bisherigen von 1963 dar. Der Energietechniker sollte bei der Erarbeitung bzw. bei der Auswahl von Stoffwertalgorithmen diese Genauigkeitsforderungen unbedingt beachten. Er kann gegebenenfalls die angegebenen Werte auch als Stützwerte für Approximationen oder Interpolationen verwenden. Dabei ist jedoch das relativ grobe Raster der Daten zu beachten.

Zur Tabellengenerierung und in Stoffdatenbanken vor allem bei der Ermittlung von Differentialquotienten für instationäre Modellierungen sollte die vorgestellte neue Zustandsgleichung verwendet werden.

Der Wissenschaftsbereich Thermodynamik an der TU Dresden kann für alle zitierten Formulierungen von Wasser nachnut-

Fortsetzung Seite 53 unten

## Tagungen der WTG Meß- und Automatisierungstechnik der KDT

Die WTG für Meß- und Automatisierungstechnik im Präsidium der KDT veranstaltet im Jahr 1988 folgende Tagungen:

- Internationales Messesymposium „Rechnergestützte Qualitätssicherung CAQ '88“  
Leipzig, 17. bis 19. März 1988
- 11. Wissenschaftlich-technische Konferenz „Automatisierungssysteme“  
Berlin, 5. und 6. Mai 1988
- 17. Jahrestagung „Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik“  
Rostock, 7. bis 9. Dezember 1988
- Jahrestagung der WGMA „Automatisierungstechnik“  
Magdeburg, 15. und 16. Dezember 1988

Schriftliche Teilnahmewünsche sind zu richten an:

Präsidium der KDT  
WGMA  
PSF 1333, Berlin, 1986.

ENK 558

## 9. Internationale Fachtagung Sprengwesen

Die Wissenschaftliche Sektion Sprengwesen in der Montanwissenschaftlichen Gesellschaft der DDR veranstaltet gemeinsam mit dem Gebietsvorstand Wismut der KDT die

### 9. Internationale Fachtagung Sprengwesen

vom 12. bis 16. April 1988 in Gera.

Rahmenthema:

„Intensivierung der Sprengtechnik durch die Anwendung moderner effektiver Technologien und Verfahren bei gleichzeitiger Erhöhung der Sicherheit und Verbesserung des Umweltschutzes“

- Plenarberatung mit Übersichtsvorträgen
- Sektionsberatungen mit Diskussionen
  - I Sprengarbeiten zur über- und untertägigen Gewinnung mineralischer Rohstoffe
  - II Sprengarbeiten in Industrie und Bauwesen
  - III Sprengstoffe, Zündmittel, Sprengzubehör
- Rahmenprogramm
  - 1. Exkursionen
  - 2. Filmvorführungen
  - 3. Ausstellung

Anmeldungen beim Organisationsbüro: bis 11. April 1988

Gebietsvorstand Wismut der KDT  
Straße der Freundschaft 10, Karl-Marx-Stadt, 9030

ENK 561

Fortsetzung von Seite 52

zungsbereite Programme und ein komfortables Stoffwertprogramm [33] und [34] anbieten. Für Personalcomputer steht ein Stoffdatenauskuftsprogramm [40] mit vereinfachten Algorithmen, die auch in Prozeßmodellierungen eingebunden werden könnten, zur Verfügung [35], [39] und [22].

Manuskripteingang am 2. 6. 1987

ENA 472/II

Energietechnik · 38. Jg. · Heft 2 · Februar 1988

## XXXIX. Berg- und Hüttenmännischer Tag 1988

Der Berg- und Hüttenmännische Tag 1988 findet vom

14. bis 17. Juni 1988 in Freiberg

unter dem Rahmenthema

„Suche, Erkundung, Gewinnung und Verarbeitung von mineralischen Rohstoffen und Energieträgern sowie Fragen der Werkstofftechnik und Energietechnik“

statt.

Folgende Kolloquien sind vorgesehen:

1. Geologie und Erkundung von Lagerstätten fester mineralischer Rohstoffe
2. Lagerstättengeometrisierung und Rationalisierung des bergmännischen Rißwerkes
3. Geophysikalische Untersuchungen der tieferen Kruste und des Oberen Erdmantels
4. Tagebautechnik mineralischer Rohstoffe einschließlich Gewinnung von Begleitrohstoffen
5. Maschinelle und nichtkonventionelle Gewinnung im Bergbau-Tiefbau
6. Chemische und chemisch-technologische Grundlagen der Verarbeitung mineralischer Rohstoffe
7. Mathematische Modellierung von Umformprozessen
8. Moderne Technologien der Herstellung und Verarbeitung von Stahl
9. Automatische Technologien in der NE-Metallurgie
10. Herstellung, Bewertung und Anwendung kohlenstoffhaltiger Feuerfestwerkstoffe
11. Industriefeuntechnik – Rationelle Energieanwendung in Industrieöfen
12. Energiewirtschaft in der Montanindustrie
13. Probleme der Entwicklung und Instandhaltung in der Montanmaschinentechnik
14. Tragfähigkeitsnachweis im Maschinenbau
15. Strömungsmechanik
16. Umfassende Intensivierung und Arbeitsvermögen – Leitungsaufgaben in der Montanindustrie

ENK 559

### Liebe Leser!

Auf den folgenden Seiten sind die Tabellen des Beitrags ENA 472, Dittmann, u. a., (s. linke Spalte unten) abgedruckt. Aus technischen Gründen war es nicht möglich, diese den beiden Teilen des Beitrags in Heft 1/1988 und Heft 2/1988 getrennt zuzuordnen.

Wir bitten daher um Verständnis für das etwas umfangreiche Vorhaben.

Interessenten, die diese Hefte beziehen möchten, wenden sich bitte an den Verlag! Die Redaktion

# TEMPERATUR '89

Im Oktober 1989 findet in Suhl die nächste wissenschaftlich-technische Fachtagung dieser Veranstaltungsreihe zur Temperatur- und thermischen Meßtechnik statt. Sie wird vom Fachunterausschuß Temperaturmeßtechnik der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik der KDT in Verbindung mit dem ASMW zusammen mit dem Bezirksverband Suhl der KDT organisiert.

Für das wissenschaftliche Tagungsprogramm sind folgende thematische Schwerpunkte vorgesehen:

- Grundlagen der Temperaturmeßtechnik und thermischer Messungen,
- Entwicklung und Einsatz neuer Temperatursensoren, Anwendung bisher nicht genutzter physikalischer Wirkprinzipien,
- Kalibration von Temperatursensoren und Temperaturmeßgeräten,
- Strahlungstemperaturmeßtechnik und Thermografie,
- Bestimmung des Emissionsgrades und Berücksichtigung seines Einflusses,
- optische, spektroskopische und akustische Temperaturmeßverfahren,
- Temperaturmessungen in verschiedenen Industriezweigen, speziell in der Metallurgie,
- Anwendung von Temperaturmessungen für die Qualitätssicherung,

- Temperatur- und thermische Messungen in Biologie, Biotechnik, Agrartechnik und Medizin,
- Messung thermophysikalischer Stoffeigenschaften,
- Messung von Wärmemengen, Wärmeströmen und Wärmestromdichten,
- Messung besonders hoher und tiefer Temperaturen, Temperaturmessung unter extremen Bedingungen,
- Entwicklung von Temperaturmeßgeräten und Einsatzverfahren, Einsatz von Mikrorechnern, intelligente Meßgeräte,
- Standardisierung von Temperaturmeßgeräten und thermischen Meßverfahren.

Dabei sollen sowohl theoretische Arbeiten als auch Anwendungsbeispiele und praktische Problemlösungen, Übersichtsvorträge und Spezialbeiträge berücksichtigt werden.

Vortragmeldungen werden mit 3 Kurzfassungen (Umfang 1 bis 2 Seiten) bis zum 17. Dezember erbeten an:

*Doz. Dr.-Ing. F. Bernhard*  
*Technische Hochschule Ilmenau*  
*Postfach 327, Ilmenau, 6300.*

Anfragen zur Teilnahme an der Fachtagung können gerichtet werden an:

*Dipl.-Ing. U. Hartung*  
*Bezirksverband Suhl der KDT*  
*Bereich Wissenschaft und Technik*  
*Straße der OdF, Suhl, 6000.*

ENK 567

## Tabellen zum Beitrag „Neue international verbindliche Rahmentafeln...“, Dittmann u. a., S. 48

Tabelle 1. Die neue Rahmentafel IAPS 1985 für die thermodynamischen Zustandsgrößen auf der Sättigungskurve

$t_d$	$T_d$	$p_d$ $\pm \Delta p_d$	$v'$ $\pm \Delta v'$	$v''$ $\pm \Delta v''$	$h'$ $\pm \Delta h'$	$h''$ $\pm \Delta h''$
in °C	in K	in MPa	in $10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$	in $10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$	in kJ/kg	in kJ/kg
0.01	273.16	0.000611650 0.000000010	1.000210 0.000010	206031. 150.	0.000611787 0.000000010	2500.3 1.6
5.	278.15	0.00087246 0.000000005	1.000085 0.000010	147064. 100.	21.017 0.010	2509.8 1.6
10.	283.15	0.00122792 0.000000009	1.000347 0.000010	106353. 80.	42.013 0.021	2519.2 1.6
15.	288.15	0.00170528 0.000000017	1.000947 0.000010	77917. 60.	62.968 0.029	2528.4 1.6
20.	293.15	0.00233849 0.000000029	1.001844 0.000010	57791. 40.	83.895 0.036	2537.6 1.6
25.	298.15	0.0031687 0.000000005	1.003008 0.000015	43364. 30.	104.81 0.04	2546.7 1.6
30.	303.15	0.0042451 0.000000006	1.004415 0.000015	32900. 25.	125.71 0.05	2555.7 1.6
35.	308.15	0.0056263 0.000000008	1.006046 0.000015	25223. 20.	146.60 0.06	2564.7 1.6
40.	313.15	0.0073811 0.000000010	1.007887 0.000015	19530. 15.	167.50 0.06	2573.7 1.6
45.	318.15	0.0095897 0.000000012	1.009925 0.000015	15264. 10.	188.39 0.07	2582.6 1.6
50.	323.15	0.0123446 0.000000015	1.012149 0.000015	12037. 8.	209.29 0.07	2591.4 1.6
55.	328.15	0.0157521 0.000000017	1.014551 0.000015	9573. 7.	230.20 0.08	2600.2 1.6
60.	333.15	0.0199331 0.000000021	1.017126 0.000015	7674. 6	251.12 0.09	2609.0 1.6
65.	338.15	0.0250239 0.000000024	1.019866 0.000015	6200. 5.	272.05 0.10	2617.7 1.6
70.	343.15	0.0311777 0.000000028	1.022768 0.000015	5045. 4.	293.00 0.10	2626.3 1.6
75.	348.15	0.0385653 0.000000033	1.025829 0.000020	4133.3 3.0	313.96 0.11	2634.8 1.6

Tabelle 1. (Fortsetzung)

$t_d$	$T_d$	$p_d$ $\pm \Delta p_d$	$v'$ $\pm \Delta v'$	$v''$ $\pm \Delta v''$	$h'$ $\pm \Delta h'$	$h''$ $\pm \Delta h''$
in °C	in K	in MPa	in $10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$	in $10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$	in kJ/kg	in kJ/kg
80.	353.15	0.0473759 0.0000038	1.029045 0.000020	3408.9 2.5	334.93 0.11	2643.2 1.6
85.	358.15	0.057818 0.000004	1.032416 0.000020	2829.0 2.0	355.93 0.12	2651.6 1.6
90.	363.15	0.070121 0.000005	1.035939 0.000020	2361.8 1.7	376.95 0.13	2659.8 1.6
95.	368.15	0.084533 0.000005	1.039615 0.000020	1982.9 1.4	397.99 0.14	2667.9 1.6
100.	373.15	0.101325	1.043442 0.000020	1673.7 1.2	419.07 0.14	2675.8 1.6
110.	383.15	0.14324 0.00004	1.051558 0.000020	1210.7 0.9	461.30 0.18	2691.3 1.6
120.	393.15	0.19848 0.00005	1.060296 0.000025	892.3 0.7	503.69 0.22	2706.2 1.6
125.	398.15	0.23201 0.00006	1.064903 0.000025	770.9 0.6	524.94 0.24	2713.3 1.6
130.	403.15	0.27002 0.00007	1.069674 0.000025	668.8 0.5	564.25 0.26	2720.3 1.6
140.	413.5	0.36119 0.00009	1.079718 0.000025	509.0 0.4	589.01 0.30	2733.6 1.6
150.	423.15	0.47571 0.00012	1.090460 0.000030	392.85 0.28	632.01 0.35	2746.0 1.6
160.	433.15	0.61766 0.00015	1.10194 0.00005	307.08 0.22	675.3 0.4	2757.5 1.7
170.	443.15	0.79147 0.00020	1.11422 0.00007	242.81 0.19	718.9 0.4	2767.9 1.8
175.	448.15	0.89180 0.00022	1.12067 0.00008	216.77 0.17	740.8 0.4	2772.7 1.8
180.	453.15	1.00193 0.00025	1.12734 0.00009	194.01 0.16	762.8 0.5	2777.2 1.9
190.	463.15	1.25417 0.00030	1.14139 0.00010	156.49 0.14	807.2 0.5	2785.2 1.9
200.	473.15	1.5537 0.0004	1.15645 0.00015	127.31 0.12	852.0 0.5	2791.9 2.0
210.	483.15	1.9062 0.0005	1.17262 0.00015	104.37 0.10	897.4 0.6	2797.2 2.1
220.	493.15	2.3178 0.0006	1.19004 0.00020	86.15 0.09	943.3 0.6	2800.9 2.2
230.	503.15	2.7950 0.0007	1.20886 0.00020	71.55 0.08	989.9 0.7	2802.8 2.4
240.	513.15	3.3446 0.0008	1.22927 0.00025	59.75 0.07	1037.2 0.7	2802.9 2.5
250.	523.15	3.9735 0.0010	1.25149 0.00030	50.12 0.06	1085.4 0.7	2800.9 2.6
260.	533.15	4.6892 0.0012	1.27583 0.00035	42.20 0.06	1134.6 0.8	2796.5 2.8
270.	543.15	5.4996 0.0014	1.3027 0.0004	35.64 0.05	1184.9 0.8	2789.6 3.0
280.	553.15	6.4127 0.0016	1.3324 0.0005	30.17 0.04	1236.5 0.9	2779.7 3.1
290.	563.15	7.4375 0.0018	1.3658 0.0005	25.57 0.04	1289.6 0.9	2766.5 3.2
300.	573.15	8.5831 0.0022	1.4037 0.0006	21.671 0.033	1344.5 1.0	2749.4 3.4
310.	583.15	9.8597 0.0025	1.4473 0.0007	18.344 0.033	1401.7 1.0	2727.7 3.6
320.	593.15	11.2784 0.0028	1.4984 0.0007	15.479 0.033	1461.7 1.1	2700.3 3.8
330.	603.15	12.8515 0.0032	1.5601 0.0008	12.987 0.032	1525.4 1.1	2666. 4.
340.	613.15	14.593 0.004	1.6374 0.0009	10.790 0.029	1594.1 1.2	2622. 5.
350.	623.15	16.521 0.004	1.7403 0.0010	8.812 0.026	1670.6 1.2	2564. 5.
360.	633.15	18.657 0.005	1.894 0.008	6.957 0.035	1760.9 1.9	2482. 6.
370.	643.15	21.033 0.005	2.215 0.020	4.96 0.04	1890.0 3.5	2334. 7.
371.	644.15	21.286 0.005	2.280 0.020	4.71 0.04	1909.8 3.5	2309. 7.
372.	645.15	21.542 0.005	2.365 0.020	4.43 0.04	1933.8 3.5	2277. 7.
373.	646.15	21.802 0.005	2.496 0.025	4.07 0.04	1966. 4.	2233. 10.
373.99	647.14	22.064 0.005	3.106 0.030	3.106 0.030	2086. 15.	2086. 15.



Tabelle 2. Die neue Rahmentafel IAPS 1985 für das spezifische Volumen im Einphasengebiet

Druck $p$ in MPa	Spezifisches Volumen $v / \pm \Delta v$ in $10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$										
	Temperatur $t$ in $^{\circ}\text{C} / T$ in K										
	0. 273.15	25. 298.15	50. 323.15	75. 348.15	100. 373.15	125. 398.15	150. 423.15	175. 448.15	200. 473.15	250. 523.15	300. 573.15
0.101325	1.00016 0.00001	1.00296 0.00001	1.01211 0.00001	1.02580 0.00002	1.04344 0.00002	1792.9 1.2	1910.7 1.2	2027.7 1.2	2143.7 1.2	2374.4 1.2	2604.2 1.3
0.5	0.99995 0.00006	1.00278 0.00006	1.01193 0.00006	1.02560 0.00006	1.04324 0.00006	1.06474 0.00007	1.09045 0.00009	399.28 0.32	424.80 0.32	474.25 0.32	522.49 0.32
1.0	0.99969 0.00010	1.00256 0.00010	1.01170 0.00010	1.02536 0.00010	1.04299 0.00010	1.06443 0.00011	1.09010 0.00014	1.12057 0.00017	205.85 0.21	232.57 0.20	257.84 0.20
2.5	0.99893 0.00010	1.00188 0.00010	1.01103 0.00010	1.02466 0.00010	1.04222 0.00010	1.06358 0.00013	1.08910 0.00014	1.11934 0.00018	1.15552 0.00025	86.95 0.09	98.84 0.09
5.0	0.99767 0.00010	1.00076 0.00010	1.00992 0.00010	1.02350 0.00010	1.04096 0.00010	1.06215 0.00015	1.08744 0.00017	1.11734 0.00020	1.15296 0.00028	1.24960 0.00031	45.29 0.07
7.5	0.99642 0.00010	0.99965 0.00010	1.00882 0.00010	1.02336 0.00010	1.03972 0.00010	1.06075 0.00016	1.08580 0.00021	1.11537 0.00029	1.15050 0.00032	1.24520 0.00037	26.71 0.04
10.0	0.99518 0.00010	0.99855 0.00010	1.00774 0.00010	1.02122 0.00010	1.03848 0.00010	1.05935 0.00016	1.08417 0.00021	1.11342 0.00030	1.14810 0.00034	1.2409 0.0004	1.3975 0.0006
12.5	0.99396 0.00010	0.99745 0.00010	1.00666 0.00010	1.02010 0.00010	1.03724 0.00010	1.05798 0.00016	1.08255 0.00021	1.11152 0.00031	1.1457 0.0004	1.2367 0.0004	1.3872 0.0006
15.0	0.99274 0.00010	0.99636 0.00010	1.00559 0.00010	1.01898 0.00010	1.03603 0.00010	1.05662 0.00016	1.08097 0.00021	1.10964 0.00033	1.1434 0.0004	1.2327 0.0005	1.3776 0.0006
17.5	0.99153 0.00010	0.99527 0.00010	1.00452 0.00010	1.01787 0.00010	1.03482 0.00010	1.05526 0.00016	1.07940 0.00021	1.10780 0.00033	1.1411 0.0004	1.2288 0.0005	1.3687 0.0006
20.0	0.99032 0.00010	0.99420 0.00010	1.00346 0.00010	1.01677 0.00010	1.03362 0.00010	1.05393 0.00016	1.07786 0.00021	1.10597 0.00033	1.1389 0.0004	1.2250 0.0005	1.3604 0.0006
22.5	0.98914 0.00010	0.99313 0.00010	1.00242 0.00010	1.01569 0.00010	1.03245 0.00010	1.05261 0.00016	1.07635 0.00021	1.10413 0.00033	1.1367 0.0004	1.2214 0.0005	1.3528 0.0006
25.0	0.98796 0.00010	0.99205 0.00010	1.00139 0.00010	1.01461 0.00010	1.03128 0.00010	1.05130 0.00016	1.07485 0.00021	1.10230 0.00033	1.1345 0.0004	1.2178 0.0005	1.3453 0.0006
27.5	0.98678 0.00010	0.99100 0.00010	1.00035 0.00010	1.01353 0.00010	1.03012 0.00012	1.05000 0.00016	1.07336 0.00024	1.10055 0.00033	1.1323 0.0004	1.2143 0.0005	1.3383 0.0007
30.0	0.98562 0.00010	0.98995 0.00010	0.99932 0.00010	1.01246 0.00010	1.02897 0.00012	1.04872 0.00016	1.07189 0.00024	1.09880 0.00033	1.1302 0.0004	1.2110 0.0005	1.3316 0.0007
35.0	0.98333 0.00010	0.98789 0.00010	0.99729 0.00010	1.01036 0.00010	1.02670 0.00012	1.04620 0.00017	1.06900 0.00024	1.09540 0.00033	1.1261 0.0004	1.2045 0.0005	1.3192 0.0007
40.	0.98108 0.00010	0.98586 0.00010	0.99528 0.00010	1.00828 0.00010	1.02446 0.00012	1.04371 0.00017	1.06616 0.00024	1.09210 0.00033	1.1221 0.0004	1.1982 0.0005	1.3078 0.0007
45.	0.97886 0.00010	0.98385 0.00010	0.99330 0.00010	1.00623 0.00010	1.02226 0.00012	1.04128 0.00017	1.06340 0.00024	1.0888 0.0004	1.1183 0.0004	1.1923 0.0005	1.2972 0.0007
50.	0.97666 0.00010	0.98186 0.00010	0.99136 0.00010	1.00421 0.00010	1.02009 0.00012	1.03889 0.00017	1.06069 0.00024	1.0857 0.0004	1.1145 0.0005	1.1866 0.0005	1.2874 0.0007
55.	0.97451 0.00010	0.97992 0.00010	0.98944 0.00010	1.00223 0.00010	1.01796 0.00012	1.03654 0.00017	1.05804 0.00025	1.0826 0.0004	1.1109 0.0005	1.1812 0.0005	1.2781 0.0007
60.	0.97240 0.00010	0.97799 0.00010	0.98755 0.00010	1.00027 0.00010	1.01586 0.00012	1.03424 0.00017	1.05545 0.00025	1.0796 0.0004	1.1074 0.0005	1.1760 0.0005	1.2695 0.0007
65.	0.97031 0.00010	0.97609 0.00010	0.98568 0.00010	0.99834 0.00010	1.01380 0.00012	1.03197 0.00017	1.05290 0.00025	1.0767 0.0004	1.1039 0.0005	1.1710 0.0006	1.2614 0.0008
70.	0.96826 0.00010	0.97422 0.00010	0.98383 0.00010	0.99644 0.00010	1.01178 0.00012	1.02975 0.00017	1.05040 0.00026	1.0739 0.0004	1.1006 0.0005	1.1661 0.0006	1.2537 0.0008
75.	0.96624 0.00010	0.97237 0.00010	0.98202 0.00010	0.99457 0.00010	1.00978 0.00012	1.02756 0.00017	1.04795 0.00026	1.0711 0.0004	1.0974 0.0005	1.1615 0.0006	1.2464 0.0008
80.	0.96426 0.00011	0.97056 0.00011	0.98022 0.00011	0.99272 0.00012	1.00781 0.00014	1.02541 0.00019	1.04554 0.00028	1.0683 0.0004	1.0942 0.0005	1.1570 0.0007	1.2394 0.0008
85.	0.96230 0.00011	0.96875 0.00011	0.97845 0.00011	0.99090 0.00013	1.00587 0.00016	1.02329 0.00020	1.04318 0.00029	1.0656 0.0004	1.0911 0.0005	1.1526 0.0007	1.2328 0.0009
90.	0.96037 0.00011	0.96698 0.00012	0.97670 0.00012	0.98910 0.00014	1.00396 0.00017	1.02121 0.00021	1.04086 0.00029	1.0630 0.0004	1.0881 0.0005	1.1484 0.0007	1.2264 0.0009
95.	0.95848 0.00012	0.96522 0.00013	0.97497 0.00013	0.98732 0.00015	1.00207 0.00018	1.01916 0.00021	1.03858 0.00030	1.0604 0.0004	1.0851 0.0005	1.1443 0.0008	1.2203 0.0010
100.	0.95660 0.00015	0.96347 0.00015	0.97325 0.00016	0.98556 0.00016	1.00021 0.00019	1.01713 0.00024	1.03633 0.00031	1.0579 0.0004	1.0822 0.0005	1.1403 0.0008	1.2145 0.0010
110.	0.95290 0.00020	0.96004 0.00017	0.96985 0.00017	0.98208 0.00018	0.99653 0.00022	1.01317 0.00027	1.03190 0.00036	1.0529 0.0005	1.0766 0.0006	1.1326 0.0009	1.2033 0.0011
120.	0.94940 0.00030	0.95671 0.00020	0.96655 0.00020	0.97869 0.00020	0.99297 0.00025	0.99932 0.00031	1.0277 0.0004	1.0482 0.0005	1.0711 0.0007	1.1253 0.0009	1.1929 0.0012
130.	0.9460 0.0004	0.95347 0.00020	0.96335 0.00020	0.97540 0.00023	0.98950 0.00027	1.00558 0.00034	1.0235 0.0005	1.0436 0.0006	1.0660 0.0008	1.1184 0.0010	1.1833 0.0013
140.	0.9426 0.0005	0.95032 0.00022	0.96023 0.00023	0.97220 0.00025	0.98612 0.00029	1.00190 0.00035	1.0196 0.0005	1.0392 0.0006	1.0609 0.0008	1.1118 0.0011	1.1743 0.0013
150.	0.9394 0.0006	0.94725 0.00024	0.95720 0.00025	0.96907 0.00027	0.98282 0.00032	0.99830 0.00039	1.0157 0.0005	1.0349 0.0007	1.0561 0.0008	1.1055 0.0011	1.1657 0.0014
160.	0.9362 0.0007	0.94427 0.00029	0.95423 0.00030	0.96602 0.00029	0.97960 0.00034	0.9949 0.0004	1.0119 0.0005	1.0307 0.0007	1.0515 0.0009	1.0995 0.0011	1.1577 0.0014
170.	0.9331 0.0008	0.94134 0.00031	0.95131 0.00031	0.96302 0.00032	0.97645 0.00037	0.9915 0.0004	1.0083 0.0006	1.0267 0.0007	1.0470 0.0009	1.0938 0.0011	1.1500 0.0014

350. 623.15	375. 648.15	400. 673.15	425. 698.15	450. 723.15	475. 748.15	500. 773.15	550. 823.15	600. 873.15	650. 923.15	700. 973.15	750. 1023.15	800. 1073.15
2833.2	2947.7	3062.0	3176.3	3290.5	3404.4	3518.8	3747.1	3975.2	4203.2	4431.2	4659.2	4887.1
1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
570.03	593.68	617.23	640.72	664.2	687.6	710.9	757.5	804.0	850.5	896.9	943.3	989.6
0.34	0.36	0.37	0.38	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
282.38	294.52	306.53	318.49	330.39	342.25	354.06	377.60	401.06	424.44	447.78	471.09	494.35
0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
109.69	114.93	120.05	125.10	130.09	135.03	139.93	149.64	159.24	168.78	178.28	187.74	197.16
0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
51.91	54.92	57.80	60.58	63.28	65.92	68.53	73.63	78.61	83.52	88.41	93.26	98.07
0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
32.41	34.76	36.93	38.99	40.95	42.85	44.70	48.28	51.74	55.12	58.48	61.79	65.05
0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
22.42	24.533	26.41	28.13	29.74	31.28	32.76	35.60	38.31	40.92	43.51	46.05	48.55
0.04	0.037	0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
16.12	18.248	20.007	21.564	22.980	24.320	25.59	27.09	30.25	32.41	34.54	36.61	38.65
0.04	0.027	0.030	0.032	0.034	0.039	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
11.470	13.890	15.653	17.135	18.451	19.660	20.790	22.91	24.87	26.74	28.56	30.32	32.05
0.034	0.025	0.023	0.026	0.028	0.031	0.037	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
1.7144	10.556	12.452	13.921	15.181	16.313	17.361	19.280	21.03	22.69	24.29	25.84	27.35
0.0017	0.023	0.020	0.022	0.023	0.026	0.031	0.039	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
1.6649	7.672	9.947	11.463	12.702	13.788	14.774	16.549	18.156	19.65	21.09	22.48	23.82
0.0016	0.018	0.018	0.021	0.021	0.022	0.027	0.030	0.035	0.04	0.04	0.05	0.05
1.6226	2.44	7.866	9.503	10.750	11.809	12.753	14.422	15.914	17.295	18.60	19.86	21.08
0.0014	0.05	0.016	0.017	0.019	0.020	0.023	0.025	0.030	0.035	0.04	0.05	0.05
1.5983	1.980	6.002	7.883	9.166	10.214	11.129	12.720	14.121	15.400	16.618	17.77	18.89
0.0014	0.005	0.013	0.015	0.017	0.018	0.020	0.020	0.020	0.030	0.035	0.04	0.05
1.5733	1.8623	4.181	6.503	7.849	8.899	9.797	11.329	12.657	13.860	14.990	16.069	17.10
0.0013	0.0034	0.020	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020	0.020	0.030	0.030	0.035	0.04
1.5521	1.7917	2.794	5.301	6.735	7.795	8.682	10.168	11.438	12.581	13.640	14.651	15.61
0.0012	0.0026	0.014	0.010	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020	0.020	0.030	0.035	0.04
1.5168	1.7009	2.106	3.426	4.958	6.052	6.927	8.342	9.519	10.562	11.520	12.410	13.276
0.0012	0.0020	0.004	0.008	0.009	0.011	0.012	0.015	0.017	0.020	0.025	0.030	0.035
1.4878	1.6406	1.9101	2.535	3.691	4.761	5.620	6.980	8.086	9.053	9.931	10.740	11.520
0.0012	0.0017	0.0031	0.005	0.006	0.008	0.010	0.014	0.016	0.018	0.020	0.025	0.030
1.4634	1.5955	1.8029	2.1860	2.912	3.820	4.633	5.934	6.981	7.886	8.700	9.454	10.160
0.0011	0.0015	0.0022	0.0033	0.005	0.007	0.008	0.010	0.010	0.015	0.018	0.020	0.030
1.4420	1.5592	1.7304	2.0081	2.4860	3.173	3.892	5.116	6.107	6.959	7.721	8.421	9.070
0.0011	0.0014	0.0018	0.0025	0.0038	0.005	0.007	0.010	0.010	0.014	0.018	0.018	0.025
1.4232	1.5291	1.6762	1.8956	2.2410	2.749	3.347	4.469	5.404	6.208	6.925	7.581	8.196
0.0011	0.0014	0.0017	0.0024	0.0033	0.005	0.006	0.008	0.008	0.012	0.018	0.018	0.020
1.4063	1.5032	1.6330	1.8158	2.0840	2.470	2.954	3.956	4.832	5.591	6.268	6.886	7.464
0.0010	0.0013	0.0016	0.0022	0.0030	0.004	0.005	0.007	0.008	0.010	0.016	0.018	0.018
1.3910	1.4805	1.5970	1.7546	1.9747	2.2800	2.671	3.549	4.362	5.078	5.718	6.303	6.848
0.0010	0.0013	0.0015	0.0021	0.0028	0.0036	0.005	0.007	0.008	0.010	0.015	0.018	0.018
1.3770	1.4604	1.5664	1.7054	1.8922	2.1430	2.463	3.226	3.975	4.648	5.253	5.807	6.323
0.0010	0.0012	0.0015	0.0020	0.0026	0.0034	0.004	0.006	0.007	0.009	0.010	0.015	0.018
1.3642	1.4423	1.5398	1.6645	1.8271	2.0390	2.308	2.969	3.653	4.284	4.857	5.383	5.872
0.0010	0.0012	0.0015	0.0020	0.0025	0.0033	0.004	0.006	0.007	0.008	0.010	0.014	0.018
1.3523	1.4259	1.5164	1.6298	1.7740	1.9579	2.1870	2.762	3.385	3.975	4.516	5.016	5.481
0.0010	0.0012	0.0015	0.0020	0.0024	0.0031	0.0039	0.006	0.006	0.008	0.010	0.010	0.016
1.3411	1.4109	1.4953	1.5995	1.7294	1.8917	2.0910	2.595	3.160	3.710	4.222	4.696	5.139
0.0011	0.0013	0.0016	0.0020	0.0024	0.0030	0.0038	0.005	0.006	0.008	0.010	0.010	0.015
1.3307	1.3970	1.4763	1.5728	1.6912	1.8365	2.0130	2.458	2.971	3.483	3.966	4.417	4.839
0.0012	0.0014	0.0017	0.0020	0.0024	0.0029	0.0036	0.005	0.006	0.007	0.008	0.010	0.015
1.3209	1.3641	1.4590	1.5490	1.6578	1.7896	1.9477	2.344	2.810	3.286	3.742	4.170	4.573
0.0013	0.0015	0.0018	0.0021	0.0024	0.0029	0.0035	0.005	0.006	0.006	0.008	0.010	0.014
1.3116	1.3720	1.4430	1.5274	1.6282	1.7488	1.8919	2.248	2.672	3.115	3.545	3.952	4.336
0.0013	0.0016	0.0019	0.0021	0.0024	0.0028	0.0034	0.005	0.005	0.006	0.007	0.010	0.013
1.2944	1.3500	1.4143	1.4897	1.5779	1.6813	1.8018	2.096	2.452	2.835	3.217	3.585	3.935
0.0014	0.0016	0.0019	0.0022	0.0024	0.0027	0.0032	0.005	0.005	0.006	0.007	0.010	0.012
1.2788	1.3305	1.3895	1.4578	1.5365	1.6273	1.7315	1.983	2.285	2.619	2.959	3.291	3.612
0.0015	0.0017	0.0020	0.0022	0.0025	0.0027	0.0031	0.005	0.005	0.006	0.007	0.009	0.011
1.2646	1.3129	1.3677	1.4303	1.5015	1.5827	1.6748	1.893	2.155	2.447	2.751	3.053	3.347
0.0015	0.0018	0.0020	0.0023	0.0025	0.0027	0.0030	0.005	0.005	0.006	0.007	0.009	0.010
1.2516	1.2970	1.3482	1.4061	1.4713	1.5448	1.6273	1.821	2.051	2.310	2.582	2.857	3.126
0.0016	0.0018	0.0021	0.0023	0.0025	0.0027	0.0030	0.005	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
1.2395	1.2825	1.3306	1.3845	1.4447	1.5120	1.5869	1.760	1.966	2.196	2.442	2.692	2.941
0.0016	0.0019	0.0021	0.0023	0.0025	0.0027	0.0030	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
1.2282	1.2691	1.3145	1.3650	1.4210	1.4831	1.5519	1.710	1.894	2.102	2.324	2.553	2.782
0.0017	0.0019	0.0021	0.0023	0.0025	0.0027	0.0030	0.004	0.005	0.006	0.007	0.007	0.008
1.2177	1.2567	1.2996	1.3472	1.3996	1.4573	1.5210	1.665	1.834	2.022	2.225	2.435	2.647
0.0017	0.0019	0.0021	0.0023	0.0025	0.0027	0.0030	0.004	0.005	0.006	0.007	0.007	0.008

Tabelle 2. (Fortsetzung)

180.	0.9301 0.0010	0.93849 0.00033	0.94846 0.00033	0.96010 0.00033	0.9733 0.0004	0.9883 0.0005	1.0048 0.0006	1.0228 0.0007	1.0426 0.0009	1.0882 0.0011	1.1426 0.0014
190.	0.9272 0.0015	0.93571 0.00034	0.94568 0.00034	0.95725 0.00034	0.9704 0.0005	0.9851 0.0005	1.0013 0.0006	1.0190 0.0007	1.0384 0.0009	1.0828 0.0011	1.1356 0.0014
200.	0.9244 0.0020	0.93299 0.00035	0.94296 0.00036	0.95440 0.00037	0.9674 0.0005	0.9820 0.0006	0.9979 0.0006	1.0153 0.0007	1.0342 0.0009	1.0775 0.0011	1.1289 0.0014
220.	0.9189 0.0025	0.9277 0.0006	0.9376 0.0006	0.9490 0.0006	0.9618 0.0006	0.9759 0.0006	0.9913 0.0007	1.0080 0.0008	1.0261 0.0012	1.0675 0.0014	1.1162 0.0015
240.	0.9137 0.0030	0.9226 0.0008	0.9325 0.0008	0.9437 0.0008	0.9563 0.0008	0.9700 0.0009	0.9850 0.0009	1.0011 0.0010	1.0186 0.0012	1.0583 0.0014	1.1045 0.0016
260.	0.9088 0.0035	0.9177 0.0010	0.9276 0.0010	0.9387 0.0010	0.9510 0.0011	0.9645 0.0011	0.9790 0.0011	0.9947 0.0012	1.0116 0.0014	1.0497 0.0016	1.0937 0.0019
280.	0.904 0.004	0.9130 0.0012	0.9228 0.0012	0.9339 0.0012	0.9460 0.0013	0.9591 0.0013	0.9733 0.0013	0.9886 0.0014	1.0050 0.0015	1.0416 0.0018	1.0836 0.0021
300.	0.900 0.005	0.9085 0.0014	0.9183 0.0014	0.9292 0.0014	0.9411 0.0014	0.9540 0.0015	0.9678 0.0015	0.9828 0.0015	0.9988 0.0017	1.0339 0.0019	1.0740 0.0023
320.	0.895 0.006	0.9041 0.0015	0.9138 0.0015	0.9246 0.0015	0.9364 0.0016	0.9490 0.0016	0.9626 0.0016	0.9771 0.0017	0.9927 0.0019	1.0266 0.0021	1.0651 0.0025
340.	0.891 0.007	0.8999 0.0016	0.9095 0.0016	0.9202 0.0016	0.9319 0.0017	0.9443 0.0017	0.9575 0.0017	0.9717 0.0018	0.9869 0.0020	1.0198 0.0023	1.0568 0.0027
360.	0.887 0.008	0.8958 0.0016	0.9054 0.0017	0.9160 0.0017	0.9275 0.0017	0.9396 0.0017	0.9526 0.0018	0.9664 0.0019	0.9813 0.0020	1.0132 0.0024	1.0488 0.0029
380.	0.883 0.009	0.8918 0.0017	0.9013 0.0017	0.9119 0.0017	0.9233 0.0018	0.9352 0.0018	0.9478 0.0018	0.9613 0.0019	0.9759 0.0020	1.0069 0.0025	1.0413 0.0030
400.	0.880 0.010	0.8879 0.0017	0.8973 0.0017	0.9078 0.0017	0.9191 0.0018	0.9308 0.0018	0.9432 0.0019	0.9564 0.0019	0.9707 0.0020	1.0009 0.0025	1.0341 0.0031
450.	0.871 0.015	0.8788 0.0017	0.8881 0.0018	0.8984 0.0018	0.9093 0.0018	0.9205 0.0019	0.9323 0.0019	0.9449 0.0020	0.9583 0.0023	0.9867 0.0027	1.0170 0.0032
500.	0.863 0.015	0.8702 0.0018	0.8795 0.0018	0.8896 0.0019	0.9002 0.0019	0.9110 0.0019	0.9222 0.0020	0.9340 0.0022	0.9468 0.0025	0.9735 0.0030	1.0020 0.0036
550.	0.855 0.020	0.8620 0.0018	0.8715 0.0019	0.8814 0.0019	0.8915 0.0020	0.9020 0.0021	0.9128 0.0021	0.9241 0.0023	0.9361 0.0026	0.9614 0.0032	0.9880 0.0039
600.	0.848 0.020	0.8541 0.0018	0.8639 0.0019	0.8737 0.0020	0.8834 0.0021	0.8936 0.0022	0.9040 0.0022	0.9148 0.0024	0.9263 0.0027	0.9501 0.0033	0.975 0.004
650.	0.842 0.020	0.8465 0.0018	0.8567 0.0019	0.8664 0.0021	0.8759 0.0022	0.8857 0.0022	0.8958 0.0023	0.9062 0.0025	0.9171 0.0027	0.9398 0.0033	0.964 0.004
700.		0.8393 0.0018	0.8499 0.0019	0.8596 0.0021	0.8687 0.0022	0.8782 0.0023	0.8879 0.0024	0.8980 0.0025	0.9086 0.0027	0.9304 0.0033	0.953 0.004
750.		0.8326 0.0018	0.8435 0.0020	0.8532 0.0021	0.8620 0.0022	0.8712 0.0023	0.8806 0.0024	0.8903 0.0025	0.9007 0.0027	0.9215 0.0033	0.943 0.004
800.		0.8263 0.0019	0.8373 0.0021	0.8470 0.0022	0.8555 0.0023	0.8644 0.0024	0.8735 0.0025	0.8830 0.0027	0.8931 0.0029	0.9130 0.0035	0.934 0.004
850.		0.8200 0.0022	0.8310 0.0023	0.8410 0.0024	0.8490 0.0025	0.8580 0.0026	0.8660 0.0027	0.8760 0.0028	0.8860 0.0031	0.9050 0.0036	0.924 0.004
900.		0.8150 0.0024	0.8250 0.0025	0.8350 0.0026	0.8430 0.0027	0.8520 0.0028	0.8600 0.0028	0.8690 0.0030	0.8790 0.0032	0.8970 0.0037	0.916 0.004
950.			0.8200 0.0028	0.8300 0.0029	0.8380 0.0029	0.8460 0.0030	0.8540 0.0030	0.8630 0.0032	0.8720 0.0034	0.8900 0.0038	0.908 0.004
1000.			0.815 0.004	0.825 0.004	0.833 0.004	0.841 0.004	0.849 0.004	0.857 0.004	0.866 0.004	0.883 0.004	0.900 0.005

Tabelle 3. Die neue Rahmentafel IAPS 1985 für die spezifische Enthalpie im Einphasengebiet

Druck <i>p</i> in MPa	Spezifische Enthalpie <i>h</i> / ± Δ <i>h</i> in kJ/kg										
	Temperatur <i>t</i> in °C / <i>T</i> in K										
	0. 273.15	25. 298.15	50. 323.15	75. 348.15	100. 373.15	125. 398.15	150. 423.15	175. 448.15	200. 473.15	250. 523.15	300. 573.15
0.101325	0.06 0.01	104.86 0.07	209.33 0.10	313.97 0.11	419.07 0.14	2726.1 2.0	2775.7 2.0	2824.8 2.0	2874.3 2.0	2973.6 2.0	3073.7 3.0
0.5	0.47 0.01	105.23 0.10	209.67 0.16	314.29 0.16	419.34 0.20	525.11 0.33	632.0 0.5	2800.1 2.0	2854.4 2.0	2959.8 3.0	3063.0 3.6
1.0	0.98 0.01	105.69 0.12	210.10 0.19	314.69 0.28	419.71 0.33	525.48 0.35	632.3 0.5	740.9 0.7	2826.9 2.0	2941.5 3.0	3050.0 3.9
2.5	2.50 0.01	107.08 0.15	211.40 0.19	315.90 0.28	420.84 0.33	526.5 0.4	633.3 0.5	741.7 0.7	852.4 0.9	2879. 4.	3007. 4.
5.0	5.04 0.03	109.38 0.16	213.55 0.19	317.92 0.28	422.72 0.33	528.2 0.4	634.8 0.5	743.0 0.7	853.4 0.9	1085.4 1.8	2923. 4.
7.5	7.57 0.04	111.69 0.16	215.70 0.19	319.94 0.28	424.60 0.34	530.0 0.4	636.4 0.5	744.3 0.7	854.5 0.9	1085.4 1.8	2813. 4.
10.0	10.09 0.05	113.98 0.17	217.85 0.19	321.95 0.29	426.49 0.34	531.7 0.4	637.9 0.5	745.7 0.7	855.5 0.9	1085.5 1.8	1342.9 2.0

1.2078	1.2450	1.2858	1.3309	1.3801	1.4341	1.4934	1.627	1.781	1.953	2.139	2.332	2.529
0.0017	0.0019	0.0022	0.0023	0.0025	0.0027	0.0030	0.004	0.005	0.006	0.007	0.007	0.008
1.1984	1.2341	1.2730	1.3157	1.3622	1.4129	1.4685	1.593	1.735	1.893	2.064	2.243	2.426
0.0017	0.0019	0.0022	0.0023	0.0025	0.0027	0.0030	0.004	0.005	0.006	0.007	0.007	0.008
1.1895	1.2239	1.2609	1.3013	1.3454	1.3934	1.4456	1.562	1.694	1.840	1.998	2.165	2.336
0.0017	0.0019	0.0022	0.0023	0.0025	0.0027	0.0030	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
1.1730	1.2049	1.2387	1.2752	1.3152	1.3580	1.4050	1.508	1.625	1.752	1.889	2.034	2.184
0.0018	0.0020	0.0022	0.0029	0.0030	0.0031	0.0032	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.010
1.1579	1.1878	1.2190	1.2520	1.2890	1.3280	1.370	1.463	1.568	1.680	1.800	1.928	2.061
0.0020	0.0022	0.0025	0.0029	0.0034	0.0035	0.004	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.010
1.1443	1.1724	1.2010	1.2320	1.2660	1.3030	1.341	1.426	1.519	1.619	1.727	1.841	1.960
0.0023	0.0026	0.0028	0.0030	0.0035	0.0035	0.004	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.010
1.1317	1.1584	1.1860	1.2150	1.2460	1.2800	1.316	1.393	1.478	1.569	1.666	1.770	1.877
0.0026	0.0029	0.0032	0.0034	0.0036	0.0038	0.004	0.005	0.005	0.006	0.007	0.008	0.010
1.1197	1.1451	1.1710	1.1980	1.228	1.260	1.293	1.364	1.442	1.525	1.615	1.710	1.808
0.0028	0.0032	0.0036	0.0038	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.007	0.008	0.010
1.1080	1.1320	1.1570	1.183	1.211	1.241	1.272	1.338	1.410	1.488	1.571	1.658	1.748
0.0030	0.0035	0.0038	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.010
1.0980	1.1210	1.145	1.170	1.196	1.224	1.254	1.315	1.382	1.454	1.531	1.612	1.696
0.0032	0.0036	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.010
1.0880	1.1100	1.133	1.157	1.182	1.209	1.236	1.294	1.357	1.424	1.496	1.572	1.650
0.0034	0.0038	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.011
1.0790	1.1000	1.122	1.145	1.169	1.194	1.220	1.275	1.334	1.398	1.465	1.536	1.610
0.0035	0.0039	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	0.007	0.008	0.011
1.0700	1.090	1.111	1.134	1.157	1.181	1.205	1.257	1.314	1.374	1.437	1.504	1.572
0.0036	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	0.007	0.008	0.011
1.0500	1.069	1.087	1.108	1.130	1.151	1.172	1.218	1.268	1.321	1.376	1.433	1.492
0.0038	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	0.008	0.011
1.033	1.049	1.067	1.086	1.106	1.125	1.145	1.186	1.231	1.278	1.327	1.377	1.429
0.004	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007	0.008	0.008	0.011
1.017	1.032	1.049	1.067	1.086	1.103	1.120	1.158	1.199	1.241	1.286	1.332	1.379
0.005	0.005	0.006	0.006	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009	0.009	0.009	0.010	0.011
1.003	1.017	1.033	1.050	1.067	1.083	1.099	1.134	1.171	1.210	1.251	1.293	1.335
0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.009	0.009	0.009	0.009	0.010	0.010	0.010	0.012
0.990	1.004	1.018	1.034	1.050	1.065	1.081	1.113	1.147	1.183	1.220	1.258	1.297
0.005	0.006	0.007	0.007	0.008	0.009	0.009	0.009	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012
0.978	0.992	1.005	1.020	1.034	1.048	1.063	1.093	1.125	1.159	1.193	1.228	1.263
0.005	0.006	0.007	0.007	0.008	0.009	0.009	0.010	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013
0.967	0.980	0.993	1.007	1.020	1.033	1.047	1.075	1.105	1.137	1.169	1.201	1.235
0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.009	0.009	0.010	0.012	0.013	0.014	0.014	0.015
0.956	0.968	0.980	0.993	1.006	1.018	1.031	1.057	1.086	1.116	1.147	1.178	1.209
0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.009	0.009	0.010	0.012	0.015	0.016	0.017	0.019
0.945	0.956	0.968	0.980	0.992	1.004	1.016	1.040	1.067	1.097	1.126	1.155	1.185
0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.009	0.010	0.010	0.012	0.016	0.017	0.017	0.019
0.936	0.946	0.956	0.968	0.979	0.991	1.002	1.026	1.051	1.079	1.106	1.134	1.161
0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.009	0.010	0.011	0.012	0.016	0.016	0.017	0.019
0.926	0.936	0.946	0.956	0.967	0.979	0.990	1.013	1.036	1.063	1.088	1.114	1.140
0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.009	0.010	0.011	0.013	0.016	0.016	0.017	0.019
0.918	0.927	0.936	0.946	0.957	0.968	0.979	1.000	1.022	1.047	1.071	1.096	1.120
0.006	0.007	0.009	0.009	0.010	0.010	0.010	0.012	0.015	0.016	0.019	0.022	0.022

350.	375.	400.	425.	450.	475.	500.	550.	600.	650.	700.	750.	800.
623.15	648.15	673.15	698.15	723.15	748.15	773.15	823.15	873.15	923.15	973.15	1023.15	1073.15
3175.0	3226.2	3277.7	3329.7	3382.0	3434.7	3487.9	3595.4	3704.7	3815.7	3928.5	4043.	4159.
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.8	3.9	4.	4.
3167.	3219.	3271.	3324.	3377.	3430.	3484.	3592.	3702.	3813.	3926.	4041.	4157.
4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.
3157.	3210.	3263.	3317.	3370.	3424.	3478.	3587.	3698.	3810.	3923.	4038.	4155.
4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	6.	6.
3125.	3182.	3239.	3295.	3350.	3406.	3462.	3574.	3686.	3800.	3915.	4031.	4149.
4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	6.	6.
3067.	3132.	3195.	3256.	3316.	3375.	3434.	3550.	3666.	3783.	3900.	4018.	4137.
4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	6.	6.
3000.	3077.	3147.	3215.	3279.	3342.	3404.	3526.	3646.	3765.	3885.	4005.	4126.
4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	5.	6.	6.
2922.	3014.	3095.	3170.	3241.	3308.	3374.	3501.	3625.	3748.	3870.	3992.	4114.
4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	6.	6.	8.

Tabelle 3. (Fortsetzung)

12.5	12.59	116.28	220.00	323.97	428.38	533.4	639.5	747.1	856.6	1085.6	1340.2
	0.06	0.17	0.19	0.29	0.34	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
15.0	15.09	118.57	222.14	325.98	430.26	535.2	641.1	748.4	857.8	1085.8	1337.9
	0.07	0.17	0.20	0.29	0.34	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
17.5	17.58	120.85	224.28	328.00	432.15	536.9	642.7	749.8	858.9	1086.1	1335.8
	0.08	0.18	0.30	0.30	0.34	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
20.0	20.06	123.13	226.43	330.01	434.04	538.7	644.3	751.2	860.0	1086.4	1334.0
	0.10	0.18	0.30	0.30	0.34	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
22.5	22.53	125.41	228.56	332.03	435.94	540.5	645.9	752.6	861.2	1086.7	1332.3
	0.11	0.18	0.30	0.30	0.34	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
25.0	25.00	127.68	230.70	334.04	437.83	542.2	647.5	754.1	862.4	1087.1	1330.9
	0.12	0.19	0.30	0.30	0.35	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
27.5	27.45	129.95	232.84	336.06	439.72	544.0	649.1	755.5	863.6	1087.6	1329.6
	0.13	0.19	0.30	0.30	0.35	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
30.0	29.90	132.21	234.97	338.07	441.62	545.7	650.7	756.9	864.8	1088.1	1328.5
	0.15	0.19	0.30	0.30	0.35	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
35.	34.76	136.73	239.23	342.10	445.41	549.3	654.0	759.8	867.3	1089.2	1326.6
	0.17	0.25	0.30	0.30	0.35	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
40.	39.60	141.23	243.48	346.12	449.20	552.8	657.3	762.8	869.8	1090.4	1325.3
	0.19	0.26	0.30	0.30	0.36	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
45.	44.40	145.71	247.72	350.14	453.00	556.4	660.6	765.8	872.4	1091.8	1324.3
	0.22	0.29	0.30	0.30	0.36	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
50.	49.17	150.17	251.95	354.16	456.80	560.0	663.9	768.8	875.0	1093.3	1323.6
	0.24	0.31	0.30	0.30	0.36	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
55.	53.91	154.63	256.18	358.18	460.60	563.6	667.2	771.8	877.7	1094.9	1323.2
	0.27	0.34	0.30	0.30	0.36	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
60.	58.62	159.06	260.40	362.20	464.40	567.2	670.6	774.9	880.4	1096.6	1323.1
	0.29	0.36	0.35	0.35	0.37	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
65.	63.30	163.48	264.60	366.20	468.20	570.8	673.9	777.9	883.1	1098.4	1323.2
	0.31	0.39	0.35	0.35	0.37	0.4	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
70.	67.96	167.9	268.8	370.2	472.1	574.4	677.3	781.0	885.9	1100.3	1323.6
	0.34	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.8	2.0
75.	72.60	172.3	273.0	374.2	475.9	578.0	680.7	784.2	888.7	1102.3	1324.1
	0.36	0.4	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.8	0.9	1.8	2.0
80.	77.20	176.7	277.2	378.2	479.7	581.6	684.1	787.3	891.6	1104.3	1324.7
	0.38	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.8	2.0
85.	81.8	181.0	281.4	382.2	483.5	585.2	687.5	790.5	894.5	1106.4	1325.6
	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.8	2.0
90.	86.3	185.4	285.5	386.2	487.3	588.9	690.9	793.7	897.4	1108.5	1326.5
	0.4	0.4	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.8	2.0
95.	90.9	189.7	289.7	390.2	491.2	592.5	694.4	796.9	900.3	1110.8	1327.6
	0.4	0.4	0.7	0.8	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	1.9	2.5
100.	95.4	194.0	293.9	394.2	495.0	596.1	697.8	800.1	903.3	1113.0	1328.8
	0.4	0.4	0.7	0.8	1.1	1.1	1.2	1.5	1.5	2.0	2.8
110.	104.4	202.6	302.2	402.2	502.6	603.4	704.7	806.6	909.3	1117.7	1331.6
	0.6	0.5	0.7	0.9	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.4	3.0
120.	113.3	211.2	310.4	410.1	510.3	610.7	711.7	813.1	915.3	1122.6	1334.7
	0.6	0.5	0.7	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.2	2.6	3.1
130.	122.1	219.7	318.6	418.1	517.9	618.1	718.6	819.7	921.5	1127.7	1338.1
	0.7	0.7	0.8	1.0	1.3	1.4	1.8	1.9	2.3	2.7	3.2
140.	130.9	228.2	326.9	426.0	525.6	625.4	725.6	826.3	927.7	1132.9	1341.8
	0.7	0.7	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.7	3.2
150.	139.6	236.6	335.0	433.9	533.2	632.7	732.6	832.9	933.9	1138.2	1345.8
	0.8	0.7	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.8	3.2
160.	148.2	244.9	343.2	441.8	540.8	640.1	739.7	839.7	940.3	1143.6	1350.0
	1.0	0.7	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	2.1	2.3	2.8	3.3
170.	156.8	253.3	351.3	449.7	548.5	647.4	746.8	846.4	946.7	1149.1	1354.4
	1.1	0.7	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	2.1	2.3	2.8	3.3
180.	165.3	261.6	359.4	457.6	556.1	654.8	753.9	853.2	953.1	1154.8	1358.9
	1.1	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.3	2.8	3.3
190.	173.8	269.9	367.5	465.5	563.7	662.2	761.0	860.0	959.7	1160.5	1363.6
	1.2	0.8	0.9	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.8	3.3
200.	182.2	278.1	375.6	473.3	571.4	669.6	768.1	866.9	966.2	1166.3	1368.5
	1.4	1.0	1.0	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.8	3.3
220.	198.9	294.5	391.6	489.0	586.6	684.4	782.4	880.7	979.4	1178.2	1378.6
	1.8	1.1	1.1	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2	2.4	2.9	3.4
240.	215.5	310.7	407.6	504.6	601.8	699.1	796.8	894.5	992.8	1190.3	1389.1
	2.1	1.3	1.3	1.4	1.6	1.8	2.2	2.2	2.4	2.9	3.4
260.	232.0	326.9	423.5	520.2	617.0	713.9	811.2	908.5	1006.2	1202.7	1400.1
	2.7	1.4	1.4	1.5	1.7	2.0	2.3	2.3	2.5	2.9	3.4
280.	248.4	342.9	439.3	535.7	632.2	728.7	825.6	922.5	1019.8	1215.2	1411.3
	3.7	1.8	1.6	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.7	3.0	3.4
300.	265.	358.8	455.0	551.1	647.3	743.5	840.0	936.6	1033.4	1227.9	1422.9
	5.	2.0	1.8	1.8	1.8	2.1	2.4	2.7	2.8	3.0	3.5
320.	281.	374.7	470.7	566.6	662.5	758.3	854.5	950.7	1047.2	1240.8	1434.8
	7.	2.1	1.8	1.8	1.9	2.1	2.4	2.7	2.8	3.1	3.5

2825.	2942.	3038.	3122.	3200.	3273.	3342.	3476.	3604.	3730.	3855.	3979.	4103.
4.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	5.	5.	7.	7.	8.	10.
2691.	2858.	2974.	3071.	3156.	3235.	3309.	3449.	3583.	3712.	3839.	3965.	4091.
5.	4.	4.	4.	4.	4.	5.	6.	6.	7.	8.	8.	10.
1662.2	2751.	2901.	3014.	3110.	3196.	3275.	3422.	3561.	3693.	3824.	3952.	4080.
3.0	4.	4.	4.	4.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	9.	11.
1645.1	2601.	2816.	2952.	3060.	3154.	3240.	3395.	3538.	3675.	3808.	3938.	4068.
3.0	5.	5.	4.	4.	4.	5.	6.	8.	9.	9.	9.	11.
1633.3	1966.	2713.	2883.	3007.	3111.	3203.	3367.	3515.	3656.	3792.	3925.	4056.
3.0	9.	5.	5.	5.	5.	5.	6.	8.	9.	10.	10.	12.
1623.4	1849.	2578.	2805.	2950.	3065.	3164.	3338.	3492.	3637.	3776.	3911.	4044.
3.0	5.	5.	5.	5.	5.	5.	6.	8.	9.	10.	10.	13.
1615.3	1814.	2380.	2716.	2888.	3017.	3124.	3308.	3469.	3618.	3760.	3897.	4032.
3.0	4.	5.	5.	5.	5.	5.	6.	8.	9.	10.	10.	13.
1608.4	1791.	2152.	2613.	2821.	2966.	3083.	3278.	3445.	3598.	3744.	3884.	4021.
3.0	4.	4.	5.	5.	5.	5.	6.	8.	10.	10.	11.	13.
1597.2	1761.9	1988.	2373.	2672.	2857.	2997.	3216.	3397.	3559.	3711.	3856.	3997.
3.0	3.5	4.	5.	5.	5.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1588.5	1742.1	1931.	2198.	2512.	2741.	2906.	3153.	3348.	3520.	3678.	3828.	3973.
3.0	3.4	4.	4.	5.	5.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1581.4	1727.4	1897.	2110.	2377.	2624.	2813.	3088.	3299.	3481.	3646.	3801.	3949.
3.0	3.4	4.	4.	5.	5.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1575.7	1716.0	1874.	2060.	2284.	2520.	2723.	3024.	3250.	3441.	3613.	3773.	3926.
3.0	3.4	4.	4.	5.	5.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1571.0	1706.8	1857.	2026.	2223.	2438.	2641.	2961.	3202.	3403.	3581.	3746.	3902.
2.9	3.4	4.	4.	4.	5.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1567.1	1699.3	1843.	2001.	2180.	2375.	2571.	2901.	3155.	3364.	3549.	3719.	3879.
2.9	3.4	4.	4.	4.	5.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1563.9	1693.0	1832.	1982.	2148.	2328.	2513.	2845.	3109.	3327.	3518.	3693.	3856.
2.9	3.4	4.	4.	4.	5.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1561.2	1687.8	1822.	1967.	2123.	2291.	2466.	2795.	3066.	3291.	3488.	3667.	3834.
3.0	3.4	4.	4.	4.	5.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1559.1	1683.4	1815.	1954.	2104.	2262.	2428.	2749.	3025.	3256.	3458.	3641.	3812.
3.0	3.5	4.	4.	4.	5.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1557.3	1679.7	1808.3	1944.	2087.	2239.	2397.	2710.	2987.	3223.	3430.	3617.	3791.
3.0	3.5	3.9	4.	4.	5.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1555.9	1676.5	1802.8	1935.	2074.	2220.	2371.	2675.	2952.	3192.	3403.	3593.	3770.
3.0	3.5	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1554.8	1673.9	1798.0	1927.	2063.	2204.	2349.	2645.	2920.	3163.	3377.	3570.	3750.
3.0	3.5	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1554.1	1671.7	1794.0	1921.	2053.	2190.	2331.	2618.	2891.	3135.	3352.	3548.	3730.
3.2	3.5	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1553.5	1669.9	1790.5	1915.	2045.	2178.	2316.	2595.	2864.	3109.	3327.	3525.	3710.
3.3	3.6	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1553.2	1667.3	1785.1	1906.	2031.	2159.	2290.	2557.	2819.	3063.	3284.	3486.	3674.
3.4	3.7	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1553.1	1665.8	1781.2	1899.	2021.	2145.	2271.	2527.	2781.	3023.	3245.	3450.	3640.
3.5	3.7	3.9	4.6	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1554.1	1665.2	1778.6	1894.	2013.	2133.	2256.	2504.	2751.	2989.	3211.	3418.	3610.
3.5	3.7	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1555.7	1665.3	1777.0	1891.	2007.	2124.	2244.	2485.	2726.	2960.	3181.	3389.	3582.
3.6	3.8	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1557.7	1666.0	1776.2	1888.	2002.	2118.	2234.	2469.	2705.	2935.	3155.	3363.	3556.
3.6	3.8	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1560.1	1667.3	1776.2	1887.	1999.	2112.	2226.	2457.	2688.	2915.	3133.	3341.	3534.
3.6	3.8	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1562.9	1669.1	1776.7	1886.	1996.	2108.	2220.	2447.	2674.	2898.	3114.	3321.	3515.
3.6	3.8	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	13.	13.
1565.9	1671.2	1777.8	1886.	1995.	2105.	2216.	3438.	2662.	2883.	3097.	3303.	3497.
3.6	3.8	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1569.3	1673.7	1779.3	1886.	1994.	2103.	2212.	2432.	2652.	2870.	3083.	3288.	3481.
3.6	3.8	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1572.8	1676.5	1781.2	1887.	1994.	2101.	2209.	2426.	2644.	2860.	3071.	3275.	3467.
3.6	3.8	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1580.7	1682.9	1786.1	1890.	1995.	2101.	2206.	2418.	2631.	2843.	3051.	3252.	3443.
3.7	3.8	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1589.2	1690.3	1792.2	1895.	1998.	2102.	2206.	2414.	2623.	2831.	3036.	3235.	3424.
3.7	3.8	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1598.4	1698.4	1799.1	1900.	2002.	2105.	2207.	2412.	2618.	2823.	3025.	3223.	3410.
3.7	3.8	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1608.1	1707.2	1806.9	1907.	2008.	2109.	2210.	2412.	2615.	2817.	3017.	3213.	3399.
3.7	3.9	3.9	4.	4.	4.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1618.2	1716.5	1815.	1915.	2014.	2114.	2214.	2414.	2614.	2815.	3012.	3207.	3391.
3.8	3.9	4.	4.	5.	5.	5.	6.	8.	10.	11.	12.	13.
1628.7	1726.3	1824.	1923.	2022.	2121.	2220.	2417.	2616.	2814.	3010.	3202.	3386.
3.8	3.9	4.	4.	5.	5.	6.	7.	8.	10.	11.	12.	13.

Tabelle 3. (Fortsetzung)

340.	297.	390.5	486.3	581.9	677.6	773.1	868.9	964.8	1061.0	1253.8	1446.8
	9.	2.1	1.9	1.9	1.9	2.2	2.5	2.8	2.9	3.1	3.5
360.	314.	406.2	501.8	597.2	692.6	787.9	883.4	979.0	1074.8	1266.9	1459.0
	11.	2.2	2.0	2.0	2.0	2.2	2.5	2.8	2.9	3.1	3.6
380.	330.	421.8	517.3	612.5	707.7	802.7	897.9	993.2	1088.7	1280.1	1471.4
	13.	2.5	2.0	2.0	2.0	2.3	2.6	2.8	3.0	3.2	3.6
400.	346.	437.4	532.7	627.8	722.7	817.4	912.4	1007.5	1102.7	1293.4	1484.0
	15.	3.0	2.1	2.1	2.1	2.3	2.6	2.9	3.0	3.2	3.6
450.	387.	476.	570.9	665.7	760.1	854.2	948.6	1043.2	1137.7	1327.0	1516.0
	19.	4.	2.2	2.2	2.2	2.4	2.7	3.0	3.1	3.3	3.7
500.	428.	514.	608.8	703.4	797.3	890.9	984.8	1078.9	1173.0	1361.1	1548.7
	25.	5.	3.0	2.3	2.3	2.5	2.8	3.1	3.2	3.4	3.8
550.	469.	552.	646.3	740.8	834.4	927.6	1021.0	1114.7	1208.3	1395.4	1581.7
	33.	6.	3.2	2.4	2.4	2.6	2.9	3.2	3.3	3.4	3.9
600.	510.	590.	683.4	778.0	871.3	964.1	1057.1	1150.6	1243.7	1430.0	1615.3
	41.	7.	3.4	2.5	2.5	2.8	3.0	3.3	3.4	3.5	3.9
650.	550.	627.	720.	814.9	908.1	1000.4	1093.1	1186.4	1279.2	1464.8	1649.
	50.	8.	4.	2.7	2.7	3.0	3.2	3.4	3.6	3.7	4.
700.	663.	756.	852.	944.7	1036.7	1129.0	1222.2	1314.8	1409.6	1499.6	1683.
	9.	5.	4.	3.5	3.4	3.4	3.4	3.6	3.7	3.8	4.
750.	700.	792.	888.	981.2	1073.0	1165.0	1258.0	1350.2	1534.6	1718.	1918.
	10.	6.	5.	3.9	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	4.
800.	736.	828.	924.	1017.	1109.	1201.	1294.	1386.	1570.	1752.	1942.
	12.	7.	6.	5.	5.	5.	4.	4.	4.	4.	4.
850.	772.	862.	960.	1054.	1145.	1236.	1329.	1421.	1605.	1787.	1977.
	14.	8.	6.	6.	6.	5.	4.	4.	4.	4.	4.
900.	808.	897.	996.	1089.	1181.	1272.	1365.	1457.	1640.	1821.	2007.
	16.	9.	7.	7.	7.	5.	4.	4.	4.	4.	4.
950.		931.	1031.	1125.	1216.	1307.	1401.	1492.	1675.	1856.	2037.
		10.	8.	8.	7.	5.	4.	4.	4.	4.	4.
1000.		965.	1066.	1161.	1252.	1343.	1436.	1527.	1710.	1891.	2072.
		15.	10.	9.	8.	6.	5.	5.	5.	5.	5.

Tabelle 5. Gültige Rahmentafel IAPS 1977 für den Wärmeleitkoeffizienten im Einphasengebiet

Druck p in MPa	Wärmeleitkoeffizient $\lambda / \pm \Delta \lambda$ in $10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$										
	Temperatur t in °C / T in K										
	0.	25.	50.	75.	100.	150.	200.	250.	300.	350.	375.
	273.15	298.15	323.15	348.15	373.15	423.15	473.15	523.15	573.15	623.15	648.15
0.1	563	610	643	664	25.0	28.9	33.3	38.1	43.3	49.0	52.0
	11	9	9	10	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0
0.5	563	610	643	664	680	688	34.1	38.7	43.7	49.1	52.6
	11	9	9	10	10	10	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6
1.0	564	611	643	666	681	689	35.9	39.5	44.3	49.5	53.0
	11	9	9	10	10	10	1.4	1.2	1.3	1.5	1.6
2.5	566	611	644	666	682	690	668	43.8	46.5	50.9	54.7
	11	9	9	10	10	10	10	1.4	1.4	1.5	1.6
5.0	567	613	645	668	683	691	671	625	52.7	54.1	56.5
	11	12	12	13	13	13	13	12	1.6	1.9	1.7
7.5	570	614	647	669	685	694	673	628	63.6	59.6	60.5
	11	12	12	13	13	13	13	12	1.9	1.8	1.8
10.0	571	615	648	669	686	695	675	631	557	68.2	65.3
	11	12	13	13	13	13	13	12	11	2.0	2.1
12.5	571	616	649	672	687	697	678	634	562	81.2	73.6
	11	12	13	13	13	13	13	12	11	2.4	2.2
15.0	573	617	650	673	689	700	680	638	566	107.5	84.8
	11	12	13	13	13	14	13	12	11	6.7	2.5
17.5	573	618	651	674	691	701	682	639	571	452	104.2
	11	12	13	13	13	14	13	12	11	13	3.1
20.0	574	619	653	676	691	703	684	641	576	465	144.0
	11	12	13	13	13	14	13	12	11	14	4.7
22.5	574	620	654	678	692	705	686	646	581	476	478
	11	12	13	13	13	14	13	12	11	14	39
25.0	577	621	655	679	694	707	689	648	588	482	400
	11	12	13	13	13	14	13	13	11	14	14
27.5	578	622	656	680	696	708	690	651	589	490	413
	11	12	13	13	13	14	13	13	11	14	14
30.0	578	623	658	681	697	710	692	653	593	498	426
	11	12	13	13	13	14	13	13	11	15	13
35.0	580	625	660	684	700	714	696	660	601	511	453
	11	12	13	13	14	14	13	13	12	15	13

1639.6	1736.5	1834.	1931.	2029.	2128.	2226.	2422.	2618.	2814.	3009.	3200.	3382.
3.8	3.9	4.	5.	5.	5.	6.	7.	9.	10.	11.	12.	13.
1650.7	747.	1844.	1941.	2038.	2135.	2233.	2427.	2622.	2816.	3009.	3199.	3380.
3.8	4.	4.	5.	5.	5.	6.	7.	9.	10.	11.	12.	17.
1662.2	1758.	1854.	1950.	2047.	2144.	2240.	2433.	2626.	2819.	3011.	3200.	3380.
3.9	4.	4.	5.	5.	5.	6.	7.	9.	10.	11.	12.	20.
1673.8	1769.	1865.	1960.	2056.	2152.	2248.	2440.	2632.	2824.	3014.	3202.	3381.
3.9	4.	4.	5.	5.	5.	6.	7.	9.	10.	11.	16.	20.
1704.	1798.	1892.	1987.	2081.	2176.	2271.	2459.	2648.	2837.	3025.	3211.	3388.
4.	4.	4.	5.	5.	5.	6.	7.	9.	10.	12.	16.	23.
1735.	1828.	1921.	2015.	2108.	2202.	2295.	2482.	2668.	2855.	3041.	3224.	3400.
4.	4.	4.	5.	5.	6.	6.	7.	9.	10.	15.	19.	23.
1767.	1859.	1952.	2044.	2137.	2230.	2322.	2506.	2691.	2876.	3060.	3241.	3415.
4.	4.	4.	5.	5.	6.	6.	8.	9.	10.	15.	19.	24.
1799.	1891.	1983.	2074.	2167.	2258.	2350.	2533.	2716.	2899.	3081.	3261.	3433.
4.	4.	4.	5.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	15.	19.	24.
1832.	1923.	2014.	2106.	2197.	2288.	2379.	2560.	2742.	2923.	3104.	3282.	3454.
4.	4.	4.	5.	6.	6.	7.	8.	9.	11.	15.	19.	27.
1866.	1956.	2047.	2137.	2228.	2319.	2409.	2589.	2769.	2949.	3128.	3306.	3476.
4.	4.	5.	5.	6.	6.	7.	8.	11.	14.	21.	26.	34.
1899.	1989.	2079.	2170.	2260.	2350.	2440.	2619.	2797.	2976.	3154.	3330.	3500.
4.	4.	5.	5.	6.	6.	7.	9.	11.	14.	25.	33.	40.
1933.	2023.	2113.	2203.	2292.	2382.	2471.	2649.	2827.	3004.	3181.	3360.	3520.
4.	4.	5.	5.	6.	6.	7.	9.	14.	18.	31.	40.	50.
1967.	2057.	2146.	2236.	2325.	2414.	2503.	2680.	2857.	3033.	3208.	3380.	3550.
4.	4.	5.	5.	6.	7.	7.	10.	17.	24.	38.	50.	60.
2002.	2091.	2180.	2269.	2358.	2447.	2536.	2711.	2887.	3062.	3240.	3410.	3570.
4.	4.	5.	6.	6.	9.	10.	13.	20.	30.	50.	50.	60.
2036.	2125.	2214.	2303.	2392.	2480.	2568.	2743.	2918.	3090.	3260.	3430.	3600.
4.	4.	5.	7.	7.	12.	12.	16.	23.	40.	50.	60.	70.
2071.	2159.	2248.	2337.	2425.	2514.	2601.	2776.	2949.	3120.	3290.	3460.	3620.
5.	5.	5.	8.	9.	13.	15.	22.	29.	50.	60.	70.	80.

400.	425.	450.	475.	500.	550.	600.	650.	700.	750.	800.
673.15	698.15	723.15	748.15	773.15	823.15	873.15	923.15	973.15	1023.15	1073.15
54.9	57.9	60.6	63.8	67.1	73.1	79.9	86.4	93.4	100.5	107.5
1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.5	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2
55.5	58.5	61.4	64.5	67.7	74.0	80.5	87.2	93.8	100.9	108.0
1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.2	3.2	3.5	3.8	4.0	4.3
56.0	58.6	61.7	64.7	68.0	74.3	81.0	87.7	94.3	101.4	108.6
1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	2.2	3.2	3.5	3.8	4.1	4.3
56.9	59.6	62.6	65.6	68.7	75.1	81.5	88.8	95.3	102.4	109.5
1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.3	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4
58.6	60.9	64.0	66.4	69.3	75.4	81.5	88.8	95.7	103.6	109.6
1.8	1.8	1.9	2.0	2.1	2.3	3.3	3.7	3.8	4.1	4.4
62.7	64.0	66.7	69.5	73.3	80.0	87.3	96.4	101.0	108.1	112.4
1.9	1.9	2.0	2.1	2.2	2.4	3.5	5.3	4.0	4.3	4.5
66.9	67.4	69.4	72.1	75.6	82.5	89.4	97.5	102.9	111.2	118.1
2.0	2.0	2.1	2.2	2.3	2.5	3.6	4.6	4.1	5.1	5.2
72.4	72.0	74.1	76.1	79.4	85.0	90.7	97.9	102.9	109.9	116.3
2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.6	3.6	3.9	4.1	4.4	4.7
79.9	77.8	78.4	79.3	82.4	87.5	93.4	100.3	105.6	112.7	118.0
2.4	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	3.7	4.0	4.2	4.5	4.7
90.0	84.8	84.0	84.2	85.7	90.2	96.2	102.5	106.0	114.4	119.7
2.7	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	3.8	4.1	4.2	4.6	4.8
104.9	93.7	90.8	90.1	91.6	94.9	98.6	105.5	109.3	116.8	122.7
3.1	2.8	2.7	2.7	2.7	3.0	3.9	4.2	4.4	4.7	4.9
124.1	105.9	98.6	95.9	96.0	98.1	102.6	107.6	112.1	119.2	123.7
4.6	3.2	3.0	2.9	2.9	2.9	4.1	4.3	4.5	4.8	4.9
166.4	120.6	108.3	102.8	101.5	102.3	105.7	110.7	114.5	121.5	126.2
6.7	3.6	3.2	3.1	3.0	3.1	4.2	4.4	4.6	4.9	5.0
240.8	139.2	120.3	111.1	107.3	106.1	108.7	113.0	118.0	123.4	127.8
8.4	6.3	3.6	3.3	3.2	3.2	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1
337	175.0	133.8	119.4	114.1	110.6	112.3	116.2	119.9	125.7	130.2
12	8.1	4.0	3.6	3.4	3.3	4.5	4.6	4.8	5.0	5.2
384	260.5	176.3	144.3	129.7	121.1	119.8	122.7	125.1	130.0	134.6
12	7.8	5.5	4.3	3.9	3.6	4.8	4.9	5.0	5.2	5.4



Tabelle 5. (Fortsetzung)

Druck p in MPa	0.	25.	50.	75.	100.	150.	200.	250.	300.	350.	375.
	273.15	298.15	323.15	348.15	373.15	423.15	473.15	523.15	573.15	623.15	648.
40.0	583	626	662	686	702	717	700	664	608	526	471
	11	12	13	13	14	14	14	13	12	15	14
45.0	584	629	664	690	705	721	704	670	615	537	486
	11	12	13	13	14	14	14	13	12	16	14
50.0	586	630	666	692	708	724	708	673	621	547	498
	11	12	13	13	14	14	14	13	12	44	40
55.0	589	633	667	694	710	726	712	678	629	558	510
	11	12	13	13	14	14	14	13	12	45	41
60.0	590	635	670	697	713	729	715	682	634	566	525
	11	12	13	13	14	14	14	13	12	45	42
65.0	592	638	673	699	715	733	718	688	639	574	535
	11	12	13	14	14	14	14	13	12	46	43
70.0	597	639	674	702	718	735	721	691	645	582	546
	11	12	13	14	14	14	14	13	12	47	44
75.0	599	641	675	705	720	738	725	696	648	589	554
	12	12	13	14	14	14	14	13	13	47	44
80.0	599	645	677	707	723	739	729	699	653	598	564
	12	12	13	14	14	14	14	14	13	48	45
85.0	601	646	680	706	726	742	732	702	659	604	571
	12	12	13	14	14	14	14	14	13	48	46
90.0	604	648	681	710	728	745	735	707	665	611	578
	12	13	13	14	14	14	14	14	13	49	46
95.0	608	650	685	713	731	748	739	711	669	615	586
	12	13	13	14	14	15	14	14	13	49	47
100.0	609	650	686	716	735	749	742	715	672	624	594
	12	13	13	14	14	15	14	14	13	50	47

Tabelle 6. Gültige Rahmentafel IAPS 1975 für die dynamische Viskosität im Einphasengebiet

Druck p in MPa	Dynamische Viskosität $\eta \pm \Delta\eta$ in $10^{-6}$ kg/s · m										
	Temperatur t in °C / T in K										
	0.	25.	50.	75.	100.	150.	200.	250.	300.	350.	
	273.15	298.15	323.15	348.15	373.15	423.15	473.15	523.15	573.15	623.15	
0.1	1791	890.9	574.1	377.3	12.42	14.29	16.26	18.30	20.36	22.43	
	18	8.9	5.5	3.8	0.25	0.29	0.33	0.37	0.41	0.45	
0.5	1790	891.2	546.7	378.0	281.7	182.3	16.05	18.16	20.25	22.32	
	18	8.9	5.5	3.8	2.8	1.8	0.32	0.36	0.41	0.45	
1.0	1789	891.1	546.8	378.2	281.9	182.4	15.92	18.09	20.21	22.29	
	18	8.9	5.5	3.8	2.8	1.8	0.32	0.36	0.40	0.45	
2.5	1786	890.8	547.1	378.5	283.3	182.8	134.6	17.85	20.07	22.22	
	18	8.9	5.5	3.8	2.8	1.8	1.4	0.36	0.40	0.44	
5.0	1780	890.3	547.7	379.2	283.1	183.4	135.2	106.5	19.88	22.15	
	18	8.9	5.5	3.8	2.8	1.8	1.4	1.1	0.40	0.44	
7.5	1774	889.8	548.3	379.8	283.8	184.1	135.9	107.2	19.75	22.12	
	18	8.9	5.5	3.8	2.8	1.8	1.4	1.1	0.40	0.44	
10.0	1768	889.4	548.7	380.4	284.7	184.7	136.4	107.8	87.1	22.16	
	18	8.9	5.5	3.8	2.9	1.9	1.4	1.1	1.7	0.44	
12.5	1762	889.1	549.1	381.0	285.3	185.3	137.0	108.5	88.0	22.35	
	18	8.9	5.5	3.8	2.9	1.9	1.4	1.1	1.8	0.45	
15.0	1756	888.7	549.5	381.6	286.0	186.0	137.6	109.1	89.0	22.84	
	18	8.9	5.5	3.8	2.9	1.9	1.4	1.1	1.8	0.46	
17.5	1750	888.5	550.0	382.3	286.7	186.9	138.2	109.8	89.9	67.3	
	18	8.9	5.5	3.8	2.9	1.9	1.4	1.1	1.8	2.0	
20.0	1744	888.2	550.4	382.9	287.4	187.3	138.8	110.4	90.8	69.5	
	17	8.9	5.5	3.8	2.9	1.9	1.4	1.1	1.8	2.1	
22.5	1738	887.9	550.9	383.5	288.0	187.9	138.4	111.1	91.6	71.4	
	17	8.9	5.5	3.8	2.9	1.9	1.4	1.1	1.8	2.1	
25.0	1733	887.6	551.3	384.2	288.7	188.5	140.0	111.7	92.4	73.0	
	17	8.9	5.5	3.8	2.9	1.9	1.4	1.1	1.9	2.2	
27.5	1728	887.4	551.8	384.8	289.4	189.1	140.6	112.3	93.1	74.4	
	17	8.9	5.5	3.9	2.9	1.9	1.4	1.1	1.9	2.2	
30.0	1723	887.2	552.3	385.5	290.0	189.8	141.2	112.9	93.9	75.7	
	17	8.9	5.5	3.9	2.9	1.9	1.4	1.1	1.9	2.3	
35.0	1713	886.8	553.3	386.7	291.4	191.0	142.3	114.1	95.3	78.0	
	17	8.9	5.5	3.9	2.9	1.9	1.4	1.1	1.9	2.3	
40.0	1705	886.6	554.3	388.0	292.7	192.2	143.5	115.3	96.5	79.9	
	17	8.9	5.5	3.9	2.9	1.9	1.4	1.2	1.9	2.4	
45.0	1697	886.5	555.3	389.3	294.0	193.4	144.6	116.4	97.8	81.7	
	17	8.9	5.6	3.9	2.9	1.9	1.5	1.2	2.0	2.5	
50.0	1690	886.4	556.3	390.6	295.4	194.6	145.8	117.6	99.0	83.4	
	17	8.9	5.6	3.9	3.0	2.0	1.5	1.2	2.0	2.5	

400. 673.15	425. 698.15	450. 723.15	475. 748.15	500. 773.15	550. 823.15	600. 873.15	650. 923.15	700. 973.15	750. 1023.15	800. 1073.15
339	331	233.2	178.9	152.9	133.9	129.2	129.5	131.8	135.8	139.3
16	11	7.2	5.5	4.6	4.0	5.2	5.2	5.3	5.4	5.6
425	365	287	219.0	180.1	148.2	138.5	136.4	137.7	141.1	144.5
12	11	12	7.9	5.4	4.4	5.5	5.5	5.5	5.6	5.8
444	381	325	263	211	164	150	145	145	146	149
36	30	26	21	17	13	12	12	12	12	12
461	401	354	297	244	184	162	154	152	153	155
37	32	28	24	20	15	13	12	12	12	12
476	425	366	322	277	207	176	164	159	159	161
38	34	29	26	22	16	14	13	13	13	13
489	458	387	332	299	228	191	175	168	166	167
39	35	31	26	24	18	15	14	13	13	13
499	453	406	355	322	253	205	186	178	173	173
40	36	32	28	26	21	16	15	14	14	14
511	467	421	376	327	269	218	198	186	180	178
41	37	34	30	26	22	17	16	15	14	15
521	480	435	393	346	298	235	209	(196)	(190)	(185)
42	38	35	31	28	34	19	17	16	15	15
532	488	448	410	366	312	246	222	(206)	(196)	(194)
43	39	36	33	29	33	20	18	17	16	15
544	500	460	424	385	308	259	233	(215)	(205)	(201)
44	40	37	34	31	25	21	19	17	16	16
553	510	473	434	396	322	273	243	(266)	(214)	(207)
44	41	38	35	32	26	22	19	18	17	17
561	519	484	445	412	338	288	255	(236)	(221)	(215)
45	42	39	36	33	27	23	20	19	18	17

375. 648.15	400. 673.15	425. 698.15	450. 723.15	475. 748.15	500. 773.15	550. 823.15	600. 873.15	650. 923.15	700. 973.15	750. 1023.15	800. 1073.15
23.85	24.47	25.49	26.50	27.51	28.52	30.53	32.55	34.6	36.6	38.6	40.5
0.47	0.49	0.51	0.55	0.55	0.86	0.92	0.98	1.0	1.1	1.2	1.2
23.83	24.44	25.49	26.53	27.57	28.64	30.67	32.77	34.7	36.7	38.5	40.3
0.47	0.49	0.51	0.53	0.55	0.86	0.92	0.98	1.0	1.1	1.2	1.2
23.40	24.43	25.49	26.53	27.58	28.65	30.68	32.79	34.8	36.8	38.5	40.4
0.47	0.49	0.51	0.53	0.55	0.86	0.92	0.98	1.0	1.1	1.2	1.2
23.37	24.41	25.49	26.54	27.59	28.66	30.72	32.84	34.8	36.8	38.6	40.4
0.47	0.49	0.51	0.53	0.55	0.86	0.92	0.99	1.0	1.1	1.2	1.2
23.33	24.42	25.52	26.60	27.66	28.73	30.82	32.77	34.9	36.9	38.7	40.6
0.47	0.49	0.51	0.53	0.55	0.86	0.92	0.98	1.1	1.1	1.2	1.2
23.34	24.46	25.58	26.68	27.76	28.81	30.94	32.87	34.9	37.0	38.8	40.7
0.47	0.49	0.51	0.53	0.56	0.86	0.93	0.99	1.1	1.1	1.2	1.2
23.39	24.52	25.65	26.75	27.82	28.95	31.08	33.02	35.1	37.2	39.0	40.9
0.47	0.49	0.51	0.53	0.56	0.87	0.93	0.99	1.1	1.1	1.2	1.2
23.57	24.69	25.81	26.91	27.98	29.09	31.19	33.2	35.2	37.4	39.2	41.1
0.47	0.49	0.52	0.54	0.56	0.87	0.94	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
23.88	24.98	26.06	27.13	28.18	29.30	31.44	33.4	35.5	37.6	39.4	41.2
0.48	0.50	0.52	0.54	0.56	0.88	0.94	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
24.49	25.37	26.38	27.42	28.42	29.49	31.70	33.7	35.7	37.8	39.6	41.4
0.49	0.51	0.53	0.55	0.57	0.88	0.95	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
25.85	26.03	26.83	27.80	28.76	29.81	31.98	33.9	35.9	38.0	39.8	41.6
0.52	0.52	0.54	0.56	0.58	0.89	0.96	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3
48.2	27.11	27.50	28.31	29.17	30.17	32.38	34.2	36.2	38.2	39.8	41.9
3.9	0.54	0.55	0.57	0.58	0.91	0.97	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3
58.8	29.10	28.43	28.99	29.70	30.56	32.73	34.6	36.5	38.5	40.2	41.9
1.2	0.58	0.57	0.58	0.59	0.92	0.98	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3
62.4	33.88	29.81	29.84	30.33	31.08	33.11	34.9	36.8	38.7	40.4	42.2
1.2	0.68	0.60	0.60	0.61	0.93	0.99	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3
64.9	43.97	31.84	30.97	31.06	31.68	33.6	35.3	37.2	39.0	40.7	42.5
1.3	0.89	0.64	0.62	0.62	0.95	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3
68.6	56.4	39.47	34.19	33.17	33.10	34.6	36.1	37.9	39.8	41.3	43.0
1.4	1.1	0.79	0.68	0.66	0.99	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3
71.3	62.1	49.26	39.16	36.06	35.2	35.7	35.5	38.8	40.4	42.0	43.7
1.4	1.2	0.99	0.78	0.72	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3
73.7	65.8	55.6	44.87	39.90	37.6	37.4	38.6	40.0	41.2	43.1	44.4
1.5	1.3	1.1	0.90	0.80	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
75.9	68.2	60.1	50.5	44.0	40.5	39.1	40.0	40.6	42.2	43.7	45.3
2.3	2.0	1.8	1.5	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4

Tabelle 6. (Fortsetzung)

55.0	1684	886.5	557.4	392.0	296.7	195.8	146.9	118.7	100.2	84.9
	17	8.9	5.6	3.9	3.0	2.0	1.5	1.2	2.0	2.6
60.0	1679	886.7	558.5	393.3	298.0	197.0	148.0	119.7	101.3	86.3
	17	8.9	5.6	3.9	3.0	2.0	1.5	1.2	2.0	2.6
65.0	1674	886.9	559.7	394.6	299.4	198.2	149.0	120.8	102.5	87.7
	17	8.9	5.6	4.0	3.0	2.0	1.5	1.2	2.1	2.6
70.0	1670	887.3	560.9	395.9	300.7	199.4	150.1	121.9	103.6	89.0
	17	8.9	5.6	4.0	3.0	2.0	1.5	1.2	2.1	2.7
75.0	1666	887.7	562.0	397.3	302.0	200.6	151.2	122.9	104.6	90.3
	17	8.9	5.6	4.0	3.0	2.0	1.5	1.2	2.1	2.7
80.0	1662	888.3	563.3	398.6	303.4	201.8	152.3	123.9	105.6	91.4
	17	8.9	5.6	4.0	3.0	2.0	1.5	1.2	2.1	2.7
85.0	1659	888.8	564.5	400.0	304.6	203.0	153.3	124.9	106.6	92.6
	17	8.9	5.7	4.0	3.1	2.0	1.5	1.3	2.1	2.8
90.0	1656	889.5	565.8	401.4	305.9	204.2	154.3	125.9	107.6	93.7
	17	8.9	5.7	4.0	3.1	2.0	1.5	1.3	2.2	2.8
95.0	1653	890.3	567.1	402.8	307.3	205.4	155.4	126.9	108.6	94.7
	17	8.9	5.7	4.0	3.1	2.1	1.6	1.3	2.2	2.8
100.0	1651	891.1	568.4	404.2	308.6	206.5	156.4	127.9	109.6	95.8
	17	8.9	5.7	4.0	3.1	2.1	1.6	1.3	2.2	2.9

Tabelle 4. Gültige Rahmentafel für die Transportgrößen auf der Sättigungskurve

$t_d$	$T_d$	$\eta'$ $\pm \Delta \eta'$	$\eta''$ $\pm \Delta \eta''$	$\lambda'$ $\pm \Delta \lambda'$	$\lambda''$ $\pm \Delta \lambda''$	$\delta_d$ $\pm \Delta \delta_d$
in °C	in K	in $10^{-6} \text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$	in $10^{-6} \text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$	in $10^{-3} \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	in $10^{-3} \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	in $10^{-3} \text{N}/\text{m}$
0.01	273.16	1791.98	8.84	565.	16.7	75.64
		17.92	0.35	11.	0.5	0.38
5.	278.15					74.95
						0.37
10.	283.15	1305.46	9.17	584.	17.4	74.23
		13.10	0.37	12.	0.5	0.37
15.	288.15					73.50
						0.37
20.	293.15	1002.60	9.52	602.	18.1	72.75
		10.03	0.38	12.	0.5	0.36
25.	298.15					71.99
						0.36
30.	303.15	798.44	9.86	617.	19.0	71.20
		7.98	0.39	12.	0.6	0.36
35.	308.15					70.41
						0.35
40.	313.15	653.93	10.18	631.	17.6	69.60
		6.54	0.41	13.	0.6	0.35
45.	318.15					68.78
						0.34
50.	323.15	547.11	10.51	642.	20.4	67.94
		5.47	0.42	13.	0.6	0.34
55.	328.15					67.10
						0.34
60.	333.15	466.01	10.88	652.	21.2	66.24
		4.66	0.43	13.	0.6	0.33
65.	338.15					65.36
						0.33
70.	343.15	403.33	11.28	660.	22.2	64.47
		4.03	0.45	13.	0.7	0.32
75.	348.15					63.58
						0.32
80.	353.15	354.16	11.65	669.	23.1	62.67
		3.54	0.47	13.	0.7	0.31
85.	358.15					61.75
						0.31
90.	363.15	314.76	12.02	675.	24.0	60.82
		3.15	0.48	14.	0.7	0.30
95.	368.15					59.87
						0.30
100.	373.15	281.87	12.37	679.	25.0	58.91
		2.82	0.25	14.	0.8	0.29

77.8	70.9	63.6	55.3	48.4	43.9	41.0	41.4	41.8	42.5	44.6	45.9
2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4
79.5	73.1	66.1	59.2	52.3	47.6	43.1	41.7	42.9	43.2	44.8	46.6
2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4
81.0	75.2	68.1	62.3	55.5	50.8	45.1	43.2	43.9	44.2	45.4	46.8
2.4	2.3	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4
82.5	76.9	70.5	64.9	58.8	53.7	47.5	44.8	44.3	44.4	46.2	47.4
2.5	2.3	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4
83.9	78.5	72.2	66.9	61.3	56.2	49.7	45.7	45.5	45.6	46.8	48.1
2.5	2.4	2.2	2.0	1.8	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
85.2	79.9	74.0	68.3	63.6	58.7	52.1	47.4	47.0	46.6	47.3	48.6
2.6	2.4	2.2	2.1	1.9	1.8	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
86.4	81.4	75.8	70.2	65.5	60.8	54.0	49.9	47.6	47.6	48.1	49.0
2.6	2.4	2.3	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5
87.5	82.7	77.2	72.3	67.3	62.8	55.8	51.4	48.9	49.1	48.9	49.7
2.6	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
88.7	83.6	78.6	73.8	69.1	64.6	57.7	53.6	50.9	49.5	49.8	50.3
2.7	2.5	2.4	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5
89.8	85.0	79.8	74.6	69.8	66.1	59.3	55.1	52.1	50.5	51.1	51.0
2.7	2.6	2.4	2.2	2.1	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5

Tabelle 4. (Fortsetzung)

$t_d$	$T_d$	$\eta'$ $\pm \Delta \eta'$	$\eta''$ $\pm \Delta \eta''$	$\lambda'$ $\pm \Delta \lambda'$	$\lambda''$ $\pm \Delta \lambda''$	$\delta_d$ $\pm \Delta \delta_d$
in °C	in K	in $10^{-6} \text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$	in $10^{-6} \text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$	in $10^{-3} \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	in $10^{-3} \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	in $10^{-3} \text{N}/\text{m}$
110.	383.15	255.52	12.71	681.	25.7	56.96
		2.56	0.25	14.	0.8	0.28
120.	393.15	232.95	13.04	685.	26.8	54.96
		2.33	0.26	14.	0.8	0.27
125.	398.15					53.95
						0.27
130.	403.15			686.	28.7	52.93
				14.	0.9	0.26
140.	413.15			686.	29.7	50.85
				14.	0.9	0.25
150.	423.15	182.69	14.02	686.	31.0	48.74
		1.83	0.28	14.	0.9	0.24
160.	433.15			682.	31.9	46.58
				14.	1.3	0.23
170.	443.15			678.	33.6	44.40
				14.	1.3	0.22
175.	448.15					43.30
						0.22
180.	453.15			674.	35.2	42.19
				13.	1.3	0.22
190.	463.15			670.	37.2	39.95
				13.	1.2	0.22
200.	473.15	134.50	15.74	664.	38.8	37.69
		1.35	0.32	13.	1.4	0.22
210.	483.15			654.	40.5	35.41
				13.	1.7	0.22
220.	493.15			643.	43.2	33.10
				13.	1.3	0.22
230.	503.15			632.	45.3	30.77
				13.	1.4	0.22
240.	513.15			626.	47.9	28.42
				12.	1.4	0.22
250.	523.15	106.50	17.57	615.	51.0	26.06
		1.07	0.35	12.	1.5	0.22
260.	533.15			602.	54.2	23.67
				12.	1.6	0.21
270.	543.15			590.	57.7	21.30
				12.	1.7	0.20
280.	553.15			577.	61.3	18.94
				11.	1.8	0.20
290.	563.15			564.	67.3	16.61
				11.	2.8	0.19
300.	573.15	85.64	19.53	547.	73.2	14.30

Tabelle 4. (Fortsetzung)

$t_d$	$T_d$	$\eta'$ $\pm \Delta \eta'$	$\eta''$ $\pm \Delta \eta''$	$\lambda'$ $\pm \Delta \lambda'$	$\lambda''$ $\pm \Delta \lambda''$	$\delta_d$ $\pm \Delta \delta_d$
in °C	in K	in $10^{-6} \text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$	in $10^{-6} \text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$	in $10^{-3} \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	in $10^{-3} \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	in $10^{-3} \text{N}/\text{m}$
		2.57	0.59	11.	3.8	0.18
310.	583.15			532.	79.8	12.04
				11.	4.3	0.17
320.	593.15			512.	88.3	9.81
				10.	4.8	0.16
330.	603.15			485.	99.1	7.66
				10.	5.9	0.14
340.	613.15			455.	116.7	5.59
				14.	7.9	0.12
350.	623.15	65.16	23.73	447.	138.	3.65
		1.95	0.71	14.	11.	0.10
360.	633.15	59.72	25.68	425.	174.	1.90
		1.79	0.77	23.	15.	0.10
370.	643.15	52.16	29.72	418.	293.	0.45
		1.56	0.89	36.	55.	0.10
371.	644.15			429.	331.	
				38.	62.	
372.	645.15	49.66	31.99	450.	377.	
		1.49	0.96	42.	83.	
373.	646.15			520.	464.	
				50.	141.	
373.99	647.14	40.60	40.60	914	914	0.00
		3.25	3.25	-	-	-

Günter Schramm und Frank Pöbler<sup>1</sup>

## Möglichkeiten und Grenzen der Lebensdauerermittlung thermisch beanspruchter Bauteile

### 1. Problemstellung

Unter den Bedingungen der ständig steigenden Forderung der Energiewirtschaft nach einer bedarfsgerechten Elektroenergieerzeugung werden auch Dampfturbinen großer Leistung in den intermittierenden Kraftwerksbetrieb eingeordnet.

Damit verbundene häufige Leistungsänderungen sowie An- und Abfahrvorgänge bewirken in Bauteilen große Temperaturgradienten, die zu hohen thermischen Beanspruchungen insbesondere in den Ventileinheiten, den Segmenten der Einströmungen, im Turbinenrotor sowie im Innen- und Außengehäuse der HD- und MD-Teile führen und ihre Lebensdauer begrenzen.

Ein Großteil der Dampfturbinen der DDR mit Frischdampf- und Zwischenüberhitzungstemperaturen über 500°C hat bis heute weit über 120000 Betriebsstunden erreicht. Nach dieser Betriebszeit treten Schäden durch Bauteilermüdung auf, und Heißdampfleitungen sowie Rotoren und Gehäuse müssen aus Sicherheitsgründen ausgewechselt werden.

Es ergibt sich deshalb für die Energiewirtschaft und den Energiemaschinenbau der DDR einerseits die Frage, wie sicher und zuverlässig die älteren Dampfturbinenanlagen nach langer Betriebszeit und dabei oft wechselnden Beanspruchungen weiter betrieben werden können; andererseits ist aber auch die Frage zu beantworten, welche lebensdauerschonende, zugleich aber auch ökonomischen und systemtechnischen Erfordernissen entsprechende Fahrweise der neuen bzw. der rekonstruierten Kraftwerkseinheiten einzuhalten ist, um eine Gesamtnutzungsdauer dieser Anlagen von etwa 30 Jahren zu gewährleisten.

Diese Fragen sind sowohl nach technischen als auch ökonomischen Gesichtspunkten zu bewerten, da mit der Bauteilermü-

dung zwar die Ausfallwahrscheinlichkeit zunimmt und sich die Verfügbarkeit der Anlage verschlechtert, aber ein Bauteilaustausch vor Ausschöpfen der möglichen Lebensdauer mit zusätzlichen Kosten und Aufwendungen verbunden ist.

Der Wunsch, den Ermüdungszustand eines Bauteils, d. h. seine verbrauchte Lebensdauer zu bestimmen, existiert praktisch seit das Problem der Werkstoffermüdung technisch und wirtschaftlich relevant ist, gewinnt aber hinsichtlich bevorstehender Rekonstruktionsmaßnahmen auf dem Kraftwerkssektor immer mehr an Bedeutung.

Thermisch beanspruchte Bauteile werden einerseits durch Zeitstandsbeanspruchungen infolge stationärer Belastung bei hohen Temperaturen, andererseits durch niederzyklische Beanspruchungen in Form behinderter Wärmedehnungen bei wechselnden Betriebsbedingungen belastet. Der Werkstoff nimmt diese Beanspruchungen auf und akkumuliert die Schädigungsanteile bis zur Ermüdung.

Man unterscheidet 2 Phasen der Bauteilermüdung:

1. Phase – Bauteilschädigung bis Rißbildung,
2. Phase – Rißwachstum bis zum Bruch.

Trotz jahrzehntelanger Forschungsarbeit auf diesem Gebiet ist die theoretische Ermittlung des Lebensdauerverbrauchs – selbst in der 1. Phase der Bauteilermüdung – mit zum Teil erheblichen Ungenauigkeiten verbunden.

Sie resultieren vor allem

1. aus der natürlichen Streuung der für die Werkstoffermüdung bei hohen Temperaturen maßgebenden Werkstoffeigenschaften (Zeitstandfestigkeit, Anrißlastwechselzahl),
2. aus den Ungenauigkeiten der Berechnungsmodelle zur Ermittlung der tatsächlichen Beanspruchungen (z. B. Nichtbe-

<sup>1</sup> Prof. Dr. sc. techn. Günter Schramm, Technische Universität Dresden, Sektion Energieumwandlung, und Dr.-Ing. Frank Pöbler, VEB Bergmann-Borsig