

Neue Aktivitäten und Kenntnisse in der Wasserdampfforschung

Vom 15. bis 21. September 1991 tagte in Tokio das Executive Committee (EC) der International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS). Die Bundesrepublik ist in der IAPWS durch den VDI-Ausschuß „Wasserdampfforschung“ vertreten, der zur VDI-Gesellschaft „Energietechnik“ gehört und zugleich das Nationale Komitee zur IAPWS bildet. Über Verlauf und wichtige Beschlüsse der Sitzungen wird im folgenden berichtet¹⁾.

F. Mayingner, München *)

Internationale Organisation der Wasserdampfforschung

Die Forschung auf dem Gebiet der physikalischen Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf ist seit mehreren Jahrzehnten international wohl organisiert, was der Bedeutung der Zustandseigenschaften dieses Stoffes für die Auslegung von Maschinen und Apparaten in der Industrie, insbesondere in der Kraftwerktechnik, entspricht. Sehr früh, nämlich bereits zu Beginn der 30er Jahre wurden auf internationalen Dampf tafelkonferenzen „Rahmentafeln“ (skeleton tables) vereinbart, an deren „Eckwerte“ sich die nationalen Wasserdampf tafeln, darunter auch die zuletzt 1963 erschienene VDI-Wasserdampf tafel, orientieren mußten. Ende der 50er Jahre, bedingt und forciert durch die Entwicklung von Rechenautomaten, fand dann eine noch intensivere und engere internationale Kooperation statt, die in der Bundesrepublik Deutschland zur Entwicklung der „1967 IFC Formulation für Industrial Use“ führte, die als internationaler Standard vereinbart wurde und in den 1969 herausgegebenen internationalen Wasserdampf tafeln ihren Niederschlag fand. Es waren damit alle thermodynamischen Zustandsgrößen im gesamten technisch interessierenden Bereich (0 bis 800°C und 0 bis 1000 bar) streng vereinbart bis hin zur mathematischen Prozedur der Berechnung der Werte. Die Auslegung von Kraftwerkskomponenten hatte damit für die thermodynamischen Zustandsgrößen eine international vorgeschriebene Basis, so daß Wettbewerbsvor- oder nachteile durch Benutzung unterschiedlicher Dampf tafeln ausgeschlossen waren. Diese „1967 IFC Formulation for Industrial Use“ haben bis heute Gültigkeit.

Die vor über 50 Jahren eingeleitete internationale Zusammenarbeit in der Wasserdampfforschung setzte sich dann ab den 60er Jahren unter der Direktion der „International Association for the Properties of Steam“ (IAPS) fort, zu deren Mitgliedern die

größeren Industrienationen gehören. Arbeitsorgan dieser IAPS ist das Executive Committee, das im Jahre 1982 für die Annahme einer weiteren, mehr wissenschaftlich orientierten thermodynamischen Formulation der „IAPS Formulation 1982 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for Scientific and General Use“ stimmte. Daß damit zwei verschiedene Formulationen bestehen, mit denen die thermodynamischen Zustandsgrößen des Wassers und des Wasserdampfes berechnet werden können, ist kein Widerspruch, sondern die logische Folge einer von der IAPS seit 1967 befolgten Politik, nämlich die Belange der Praktiker an Formulationen, die sich offensichtlich von denen der Theoretiker unterscheiden, auch getrennt zu berücksichtigen.

Das Executive Committee der IAPS trifft sich in jährlichem Abstand. Die letzte Sitzung, über deren Ergebnisse hier berichtet werden soll, fand vom 15. bis 21. September 1991 in Tokio statt. Dabei wurde deutlich, daß sich die Aufgabengebiete der IAPWS erheblich erweitert haben, unter anderem durch Einbeziehung neuer Gebiete wie Chemie von Wasser und Dampf in Wärmekraftwerken und physikalisch-chemische Eigenschaften von wässrigen Lösungen. Erhebliches Gewicht liegt aber weiterhin auf der Pflege der thermodynamischen Zustandseigenschaften von Wasser und Wasserdampf und hier auch auf der Entwicklung eines neuen Satzes von Zustandsgleichungen für industrielle Anwendung.

Ein Jahr vor der Sitzung in Tokio hatte sich das Executive Committee neu organisiert und die neuen Arbeitsgruppen

- Properties of Water and Steam (PWS),
- Subcommittee on Industrial Calculations (SIC),
- Physical Chemistry of Aqueous Solutions (PCAS),
- Power Cycle Chemistry PCC)

eingerrichtet.

Bericht aus den Arbeitsgruppen

Die erwähnte und im Herbst 1990 vollzogene Reorganisation der Arbeitsgruppe führte teils zum Zusammenlegen früher selbständiger Aufgabengebiete, teilweise wurden aber

auch neue, bisher von der IAPWS nicht verfolgte Aktivitäten aufgegriffen und in den Arbeitsgruppen koordiniert. Eine ihrem klassischen Aufgabengebiet entsprechende zentrale Stellung nimmt die Arbeitsgruppe für die Zustandseigenschaften des Wassers und des Wasserdampfes (PWS) ein. Sie behandelt nicht nur die thermischen und kalorischen Zustandsgrößen, sondern auch optische Eigenschaften und Transportgrößen. Für technische Anwender von besonderem Interesse sind die Ergebnisse des Unterkomitees für Industriegleichungen (SIC); neuen, bisher nicht so im Mittelpunkt der IAPWS Interessen stehenden Aufgaben widmen sich die Arbeitsgruppen für physikalische Chemie von wässrigen Lösungen (PCAS) und für Kraftwerkschemie in Kreisprozessen (PCC).

Physikalische Eigenschaften

Die Arbeitsgruppe „Properties of Water and Steam“ (PWS) hat ihre Arbeiten über den optischen Brechungsindex von Wasser und Wasserdampf abgeschlossen, und nach gründlicher Prüfung sollen Tafeln und Gleichungen für diese Zustandsgröße veröffentlicht werden. Die Daten überdecken den gesamten technisch interessierenden Bereich und gelten für ein breites Spektrum der Lichtwellenlängen bis hinein in den infraroten Bereich.

Auch die Arbeiten zur Dielektrizitätskonstanten sind weitgehend abgeschlossen. Sie sollen entsprechend einem von den Anwendern vorgetragenen Wunsch noch auf Temperaturen unterhalb 0°C erweitert werden. Hintergrund ist die optische Bestimmung von Konzentrationen wässriger Lösungen.

Vollendet wurde auch ein äußerst umfangreiches Werk: Die kritische Beurteilung und Bewertung von mehr als 16000 experimentellen Daten für die thermodynamischen Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf [1]. Die Werte aus der Literatur wurden nach ihrer Zuverlässigkeit klassifiziert. Die Daten und ihre Klassifizierung wurden elektronisch gespeichert, und die Speicherdiskette kann vom American Institute of Physics erworben werden.

Umfangreiche Arbeiten kamen auf die Arbeitsgruppe auch im Rahmen der Überprüfung und Anpassung der umfangreichen Tabellenwerte über thermodynamische und kalorische Daten an die seit 1990 verbindliche internationale Temperatur-Skala zu [2]. Diese Arbeiten müssen im laufenden Jahr fortgesetzt werden.

Aus der Liste der laufenden und zukünftigen Aktivitäten dieser Arbeitsgruppe seien hier Untersuchungen zu metastabilen Zuständen und über die Keimbildung in reinem Wasser und in wässrigen Lösungen erwähnt. Meta-

¹⁾ Vgl. frühere Berichte in BWK 36 (1984), Nr. 12, S. 527/528, BWK 38 (1986), Nr. 12, S. 547/548; BWK 40 (1988), Nr. 12, S. 499/500; BWK 41 (1989), Nr. 12, S. 540/542; BWK 43 (1991), Nr. 1/2, S. 77/79.

*) O. Prof. Dr.-Ing. F. Mayingner, Technische Universität München, Lehrstuhl A für Thermodynamik.

stabile Zustände können in unterkühltem Wasser (Phasenwechsel flüssig-fest) sowie in überhitztem Wasser und unterkühltem Dampf (Phasenwechsel flüssig-dampfförmig) auftreten. Entsprechend dieser Klassifizierung sollen auch die zukünftigen Arbeiten koordiniert werden. Ein erster vorläufiger Bericht über den Stand der Arbeiten wurde in Tokio von *H. Sato* [3] vorgelegt. Dieser Bericht enthält eine umfassende Sammlung veröffentlichter physikalischer Daten, Zustandsgleichungen und Vergleiche von aus verschiedenen Zustandsgleichungen abgeleiteten Spinodalen unter metastabilen Bedingungen.

Thematisch eng mit den Arbeiten über metastabile Zustände hängen die Aktivitäten zur Keimbildung zusammen. Es wurden Gleichungen für die freie Energie der Grenzflächenbildung und der Keimbildungsrate von Clustern aus der Dampfphase vorgestellt. In Zukunft soll auch die Keimbildung in binären Gemischen von der Arbeitsgruppe behandelt werden.

Aus schon länger laufenden Vorhaben sind die Arbeiten zu den Transporteigenschaften Viskosität und Wärmeleitfähigkeit zu erwähnen, wobei hier die internationale Datensammlung vervollständigt wird und die in manchen Bereichen dem neuesten Stand der Experimentiertechnik nicht mehr entsprechenden sehr weiten Grenzen der Toleranzen für die Rahmentafelwerte verengt werden sollen.

Zustandsgleichungen für industrielle Anwendungen

Der Vorsitzende des „Subcommittee on Industrial Calculations“ (SIC), *Dr. Rukes*, Siemens Erlangen, berichtet über die Vorbereitungen zur Entwicklung eines neuen Gleichungssatzes, der die „1967 IFC Formulation for Industrial Use“ ersetzen soll. Es wurden Anforderungsprofile für den neuen Gleichungssatz diskutiert, wobei Einigung darüber bestand, daß die neuen Formulierungen mindestens um den Faktor 3 weniger Computerzeit benötigen dürfen als die alte 67-IFC-Formulierung. Der Gültigkeitsbereich sollte derselbe sein wie bei der 1967-IFC-Formulierung, d.h. er sollte von 0° C bis 800° C reichen und beim Druck bis 100 MPa gehen. Der gesamte Gültigkeitsbereich ist in Unterbereiche eingeteilt: für die flüssige Phase, für den Dampf und für überkritische Zustände. Die Darstellung erfolgt für den flüssigen und den dampfförmigen Bereich in Form der freien Enthalpie als Funktion von Temperatur und Druck und für die überkritischen Zustände in Form der freien Energie als Funktion von Temperatur und spezifischem Volumen. Weiterhin muß eine Gleichung für die Sättigungslinie – Druck als Funktion der Temperatur – mit eingearbeitet werden. In Ergänzung zu diesen „basic equations“ sind für das flüssige und das dampfförmige Gebiet „auxiliary equations“ notwendig, um Rechenzeit einzusparen. Diese „auxiliary equations“ müssen numerisch hinrei-

chend konsistent sein mit den „basic equations“.

Die von dem neuen Gleichungssatz errechneten Werte sollen für das spezifische Volumen und die spezifische Enthalpie innerhalb der 1985 international festgelegten Rahmentafelwerte liegen. Ausgenommen von diesen Genauigkeitsanforderungen können einzelne Gebiete sein, welche für die Kraftwerktechnik von untergeordnetem Interesse sind, oder dort wo die Toleranzen der 1985-Rahmentafeln außerordentlich eng gezogen wurden. Letzteres gilt für den flüssigen Bereich unterhalb 0,8 MPa und für Dampf unterhalb 100° C. Die neuen Gleichungen sollen insbesondere auch die Werte für die spezifische Wärmekapazität innerhalb der Meßunsicherheit der Experimente wiedergeben.

Besondere Sorgfalt ist auf Funktionen zu legen, die in den Grenzbereichen zwischen Flüssigkeit, Dampf und überkritischem Gebiet gültig sind und einen glatten Übergang zwischen den „basic equations“ gewährleisten müssen.

Schließlich wurde noch der Wunsch geäußert, dieses neue Gleichungssystem möglichst so zu formulieren, daß es auf allen 32-bit Personal Computern wirtschaftlich gehandhabt werden kann.

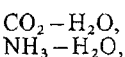
In der Bundesrepublik Deutschland befassen sich mit der Entwicklung dieser neuen Gleichungssysteme Prof. *Dr. W. Wagner*, Ruhr Universität Bochum, und Prof. *Dr. A. Dittmann*, Technische Universität Dresden. Prof. *Wagner* arbeitet an den „basic equations“, während Prof. *Dittmann* sich der Übergangsfunktionen zwischen den Gültigkeitsgrenzen annimmt.

Physikalische Chemie wässriger Lösungen

Dr. Fernandez-Prini referierte als Vorsitzender der Arbeitsgruppe „Physical Chemistry of Aqueous Solutions“ (PCAS) über die Aktivitäten seiner Arbeitsgruppe und über die Abgrenzung gegenüber der Arbeitsgruppe „Power Cycle Chemistry“, die Prof. *Dr. A. Bursik*, Großkraftwerk Mannheim, leitet.

In der PCAS Arbeitsgruppe wurden in jüngerer Zeit vor allem Leitlinien zur Behandlung der Löslichkeit einfacher, nichtpolarer Gase in gewöhnlichem und schwerem Wasser erarbeitet. Bei diesen Leitlinien soll vor allem auch auf die Nutzerfreundlichkeit für Kraftwerksbetreiber geachtet werden. Dies könnte durch ausgearbeitete Berechnungsbeispiele geschehen.

Besonderen Schwerpunkt will die Arbeitsgruppe in Zukunft auf die Entwicklung von Gleichungssystemen für physikalisch-chemische Zustandsgrößen in binären Gemischen legen. Diskutiert wurden die binären Systeme



während das ursprünglich vorgeschlagene binäre System $\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ an Priorität verlor. Weiterhin werden die Arbeiten über die Löslichkeit von Metalloxiden in Wasser weitergeführt. Erfahrungen haben inzwischen ge-

zeigt, daß man dabei sehr sorgfältig auf die minimale Partikelgröße, den *pH*-Wert und die Fugazität von Wasserstoff und Sauerstoff aus der Lösung achten muß. Proben aus Kraftwerken eignen sich für Grundlagenuntersuchungen in der Regel nicht, da ihre Feststoffphase nicht gut charakterisiert werden kann und gegebenenfalls nichtstöchiometrische Gemischoxide enthält. Es handelt sich also in der Regel um im thermodynamischen Sinne nicht gut definierte Systeme.

Chemie in Kraftwerks-Kreisprozessen

Der Arbeitsgruppe „Power Cycle Chemistry“ sitzt, wie erwähnt, Prof. *Dr. A. Bursik*, Großkraftwerk Mannheim, vor. Auf der Tokioer Tagung beschäftigte sich die Arbeitsgruppe vor allem mit der Setzung von Prioritäten für neue Aufgaben sowie mit Vorschlägen für die Initiierung von Forschungsarbeiten zur Lösung dieser Aufgaben.

Von hohem Interesse für den Kraftwerksbetreiber sind die chemische Zusammensetzung und das chemisch-physikalische Zustandsverhalten des sogenannten „ersten Kondensats“ in den Niederdruckstufen der Turbinen. Unter „erstem Kondensat“ versteht man die im Zuge der Entspannung aus dem Dampf ausfallende Flüssigkeit, bevor sie sich zu einem dickeren Flüssigkeitsfilm auf den Komponenten der Turbine akkumulieren kann. Dieses erste Kondensat wird häufig für Korrosions- und Erosions-Schäden verantwortlich gemacht, ist aber experimentell sehr schwierig zu erfassen, da eine nahezu trägheitsfreie und berührungssarme Meßmethode erforderlich ist.

Es wurden in der Arbeitsgruppe theoretische Modelle für die Berechnung der binären Keimbildung diskutiert, welche die Zusammensetzung des ersten Kondensats in für die Praxis befriedigenden Grenzen vorhersagen sollen.

Angeregt wurde weiterhin die weitere Verfolgung der Löslichkeit des Minerals Spinell in Wasser. Weitere Themen von Interesse sind die Wechselwirkung von Anionen und Eisenoxiden sowie die Eigenschaften von flüchtigen Additiven im Wasser von Dampfkraftwerken. Ausführlich diskutiert wurden auch Arbeiten zur Flüchtigkeit von Ammoniumsalzen in Wasser, die in USA (Oak Ridge National Laboratory) sowie in Moskau (Moskau Power Institute) durchgeführt werden.

Dem Thema der Wasserchemie in Dampfkraftwerken war auch ein eintägiges Symposium gewidmet, das in Zusammenhang mit dem Executive Committee Meeting der IAPWS in Tokio veranstaltet wurde. Prof. *Dr. E.U. Franck*, Universität Karlsruhe, gab in einem vielbeachteten Vortrag einen Überblick über „The Hot Aqueous Environment: Dielectric Constant-Phase Equilibria-Hydrolysis and Combustion“ [4]. Prof. *Dr. Fernandez-Prini* berichtete über Fortschritte und Grenzen in der physikalischen Chemie wässriger Lösungen.

Weitere Fachvorträge beschäftigen sich mit

- der Wasser-Chemie in Kreisläufen von Kernkraftwerken,
- dem Verhalten von Kohlendioxid in Wasser bei verschiedenen Drücken und Temperaturen,
- der Flüchtigkeit von wässrigem Ammoniumchlorid bei hohen Temperaturen,
- dem Trend der Wasserbehandlung für fossile Wärmekraftwerke und
- Messungen der Löslichkeit von Nickelferrit in Wasser.

Die Aktivitäten dieser Arbeitsgruppe werden in Zukunft voraussichtlich sehr an Gewicht gewinnen.

Pläne der IAPWS für zukünftige Aktivitäten

Die „International Association for the Properties of Water and Steam“ kann auf eine langjährige Geschichte erfolgreichen Arbeitens bei der kritischen Beurteilung und der Erarbeitung thermophysikalischer Zustandsgrößen für alle Anwendungen von Wasser und Dampf in Kraftwerken zurückblicken. Dank der Aktivitäten der IAPWS basiert heute weltweit die Auslegung von Dampfkraftwerken und deren Komponenten auf international einheitlichen Stoffwertdaten.

Es wird in Zukunft Aufgabe der IAPWS sein, wissenschaftliche und technische Untersuchungen für neue und fortschrittliche Anwendungen von Wasser und Dampf in der Energie- und Verfahrenstechnik zu stimulieren. So könnte im Bestreben, bessere thermodynamische Wirkungsgrade zu erreichen, sich ein neues Gebiet hinsichtlich der Anwendung hoher Temperaturen und Drücke eröffnen. Die IAPWS kann in diesem Zusammenhang ihre Erfahrung und ihre Arbeitsmethoden bei der Sammlung, der Aufarbeitung und der Bewertung experimenteller Daten und numerischer Berechnungsverfahren zur Verfügung stellen. Sie wird nicht selbst Experimente durchführen oder Berechnungsverfahren erarbeiten.

Eine ad hoc eingesetzte Arbeitsgruppe unter Leitung von Prof. E.U. Franck erarbeitete die folgenden Themenstellungen als mögliche zukünftige Arbeitsgebiete der IAPWS:

Überkritische Extraktion

Extraktionsverfahren, bei denen sich das Solvens im überkritischen Zustand befindet, zeichnen sich durch hohes, teilweise selektives Lösungsvermögen aus und sind heute bereits verschiedentlich im Einsatz, z.B. in der Ernährungsindustrie für die Extraktion von Koffein mit überkritischem Kohlendioxid. Überkritischer Wasserdampf könnte zukünftig ein technisch interessantes Solvens wer-

den. Für eine gezielte Anwendung auf solider Basis müssen aber die thermodynamischen Zustandsgrößen und die Transporteigenschaften wässriger Systeme in einem weiteren Zustandsbereich bekannt sein.

Abfallbehandlung und -beseitigung

Die Beseitigung schädlicher Abfälle gewinnt zunehmend an Bedeutung. In der Literatur finden sich Vorschläge für Hydrolyse- und Oxidationsverfahren, die im kritischen Zustandsbereich mit wässrigen Lösungen arbeiten. Diese Verfahren bieten den Vorteil, die Reaktion gut kontrollieren zu können und eröffnen die Möglichkeit, die entstehenden Produkte sicher in einer flüssigen, wässrigen Phase einzuschließen. Für eine zuverlässige und optimierte Verfahrensführung in solchen Extraktionsapparaten, die bei Drücken von einigen 100 bar und hohen Temperaturen arbeiten, ist aber eine bessere Kenntnis der thermophysikalischen Daten von Wasser und wässrigen Systemen in diesem Zustandsbereich nötig.

Geochemische und Geothermische Verfahren und Kristallsynthese

Wässrige Fluide unter hohen Temperaturen und hohen Drücken spielen bei der Mineralbildung eine wichtige Rolle. Auch das Verhalten von Flüssigkeitseinschlüssen ist von großem Interesse. Für ein besseres Verständnis dieser Prozesse fehlen aber nach wie vor die thermodynamischen Daten.

Geothermische Energie kann in bestimmten Gegenden einen wertvollen Beitrag zur Energieversorgung leisten. Für die Nutzung dieser Energieresourcen sind Kenntnisse über die thermophysikalischen Daten der Sole unter den hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung regional verschiedenen Bedingungen notwendig.

Viele Kristalle, wie z.B. Quarz, werden für die industrielle Anwendung in hydrothermischen Prozessen gezüchtet, die sehr sorgfältig gesteuert werden müssen. Damit gewinnen hydrothermische Reaktionen für gewisse keramische Prozesse an Bedeutung. Schließlich seien noch einige Beispiele aus der Astrophysik erwähnt. Dort sind wässrige Lösungen und Eisformationen in Planeten von Interesse.

Chemische Reaktionen organischer Verbindungen

Hochdichtes, überkritisches Wasser eignet sich als Solvens besonders gut, nicht nur für Elektrolyte und hochpolare Stoffe, sondern auch für nicht-polare organische Verbindungen. Es verbindet die Vorteile einer großen Diffusionsgeschwindigkeit mit hohen Reaktionsraten. Eine bessere Kenntnis der Gleichgewichtsdaten für Systeme aus Wasser und organischen Substanzen könnte neue Wege für Syntheseprozesse eröffnen.

Raketenantriebe – Hochdruckverbrennung

Bestimmte Verfahren für den Antrieb von Raketen bedienen sich des ternären Systems aus Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser bei hohen Temperaturen und bei Drücken im Bereich von 200 bar. Die Auslegung solcher Antriebssysteme erfolgt heute noch weitgehend empirisch, bessere thermophysikalische Daten für solche ternäre Systeme wären eine wertvolle Basis für eine bessere Theorie für die Konstruktion solcher Raketenantriebe. Hierzu wären aber auch Untersuchungen über die Verbrennung bei Anwesenheit hochgespannten Wassers mit solchen hochexplosiblen Brennstoffen notwendig. Daraus könnten reaktionskinetische Daten für diese ternären Systeme abgeleitet werden. Die obengenannten Aktivitäten setzen jedoch voraus, daß die bisherigen Leistungen der IAPWS über die Kraftwerkstechnik hinaus auch anderen Industriezweigen, wie z.B. der chemischen Industrie, der erdölverarbeitenden Industrie und der metallverarbeitenden Industrie zugänglich gemacht werden. Dies könnte im Rahmen eines zusammenfassenden Berichtes oder auch über Artikel in verschiedenen wissenschaftlichen Zeitschriften erfolgen. Weiterhin will die IAPWS in einem Faltblatt, das weltweit verteilt werden soll, auf ihre Aktivitäten aufmerksam machen.

Künftige Treffen

Die nächste Zusammenkunft des Executive Committee der IAPWS wird auf Einladung des Rektors des Mining Institutes in St. Petersburg vom 6. bis 12. September 1992 stattfinden.

Für das darauffolgende Treffen des Executive Committee im Jahre 1993 ist Venedig vorgesehen.

Schrifttum

- [1] Sato, H.; Watanabe, K.; Levelt Sengers, J.M.H.; Gallagher, J.S.; Hill, P.G.; Straub, J. und W. Wagner: J. Phys. Chem. Ref. Data, 20, 5 (1991).
- [2] Marei, R. und H. Sato: Preliminary Converted Values of the IAPWS International Skeleton Tables 1985 into ITS-90. IAPWS Report, Tokio 1991.
- [3] Sato, H.; Zheng, Q.; Angell, A.; Levelt Sengers, J.M.H.; Sifner, O. und J. Straub: Thermodynamic Properties of Water in the Metastable State, IAPWS Report Tokio 1991.
- [4] Proceedings of Symposium on „Chemistry of Water and Steam in Power Plants, 1991 IAPWS Annual Meeting.

Anmerkung: Die Literaturstellen 2, 3 und 4 sind über Dr. Barry Dooley, EPRI, 3412 Hillview Avenue, P.O. Box 10412, Palo Alto, California 94304, USA zu beziehen.

BWK 504