

SONDERDRUCK aus dem ACHEMA-JAHRBUCH 1971/1973
Band I: Europäische Forschung und Lehre im Chemie-Ingenieur-Wesen
(Seiten 456 – 458)

Institut A für Thermodynamik
der Technischen Universität München

Von
Ulrich Grigull, Professor Dr.-Ing.

Institut A für Thermodynamik

der Technischen Universität München

Von
Ulrich Grigull, Professor Dr.-Ing.

SUMMARY

The Institut A für Thermodynamik presents in teaching the fields of thermodynamics and heat-transfer. Research is primarily directed to: measurement of properties and formulating correlations for the International Steam Table research; change of phase and properties in the critical region; equations of state for solids and

liquids under very high pressures; visualisation of temperature and concentration fields; collecting of shape factors of steady multi-directional heat conduction; convection in rotating systems; boiling and condensation of normal fluids and liquid metals.

RESUME

La Chaire et l'Institut A assument l'enseignement de la thermodynamique et de la transmission de chaleur et de masse. La recherche comprend en premier lieu les domaines suivants: la mesure des propriétés physiques et établissement des expressions des constantes dans le cadre de la recherche internationale sur la vapeur d'eau; transition des phases et propriétés physiques au re-

gime du point critique; équations d'état des matières solides et liquides à haute pression; visualisation des champs de température et de concentration; collecte des facteurs de forme de la conduction stationnaire; convection dans les systèmes rotatifs; phénomènes d'ébullition et de condensation des matières régulières et des métaux liquides.

ALLGEMEINES

Nach beträchtlichen Erweiterungen in den letzten Jahren umfaßt das Institut heute eine Hauptnutzfläche von 2270 m². Davon entfallen 440 m² auf Büroräume, 210 m² auf Seminar- und Praktikumsräume und 210 m² auf die Werkstatt. Die übrige Fläche enthält die Laboratorien.

An besonderen Einrichtungen besitzt das Institut: Hochgeschwindigkeits-Windkanal mit 600 kW Antriebsleistung für eine Mach-Zahl bis 3; Kältekammer mit einem Rauminhalt von 25 m³, die bis -50 °C gekühlt werden kann; Interferenzkomparator nach Mach und Zehnder mit einem Spiegeldurchmesser von 16 cm.

Das Institut besitzt folgende Planstellen: 1 ordentlicher Professor, 1 Akademischer Oberrat, 2 Oberingenieure, 5 wissenschaftliche Assistenten, 11 wissenschaftliche Mitarbeiter, 2 Oberwerkmeister, 2 Laboranten, 7 Mechaniker. Insgesamt hat das Institut 33 ständige Mitarbeiter, davon 20 wissenschaftliche. Hinzu kommen etwa 8 Diplomanden und 10 studentische Mitarbeiter für experimentelle oder theoretische Studienarbeiten.

Der Institutsdirektor ist Mitherausgeber der Zeitschriften „International Journal of Heat and Mass Transfer“ (Pergamon Press) und „Wärme- und Stoffübertragung“ (Springer-Verlag).

- 1) Gröber, Erk, Grigull: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung. 3. Auflage, 3. Neudruck, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1963. (auch englische, russische, japanische und spanische Ausgabe).
- 2) U. Grigull: Temperaturlausgleich in einfachen Körpern. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1964.
- 3) U. Grigull: Technische Thermodynamik. 2. Auflage, Verlag de Gruyter, Berlin 1970 (auch türkische Ausgabe).

LEHRE

Thermodynamik I mit 3 Vorlesungs- und 4 Übungsstunden (3/4) (U. Grigull); Thermodynamik II (2/1) (U. Grigull); Wärme- und Stoffübertragung (4/2) (U. Grigull); Höhere Thermodynamik (2/0) (U. Grigull); Angewandte Thermodynamik für die Fakultät für Brauwesen und Lebensmitteltechnologie (4/4) (J. Straub); Messen thermodynamischer Größen (2/1) (E. Hahne); Transportvorgänge (3/0) (E. Hahne); Analytische und numerische Methoden zur Berechnung von Wärmetransportvorgängen (2/0) (H. Sandner); Wärme- und strömungstechnische Auslegung von Kernreaktoren (2/0) (D. Hein); Praktikum für Wärmetechnik (4); Wärmetechnisches Versuchswesen (2/2); Seminar für Thermodynamik (4).

Mehrere der aufgeführten Vorlesungen sind Bestandteile der Aufbaustudiengänge „Kerntechnik“ und „Verfahrenstechnik“.

FORSCHUNG

1. Thermodynamik und Zustandsgrößen

1.1 Theoretische und experimentelle Untersuchung von Phasenübergängen in der Nähe des kritischen Zustandes fluider Stoffe; Dichten der Phasen, Oberflächenspannung, Dampfdruckkurve, Wärmekapazität, metastabile Zustände, Zustandsgleichung.

1.2 Vergleich und Bewertung aller bekannt gewordenen Meßwerte von Wasser und Wasserdampf und Aufstellung von Formulationen im Rahmen der internationalen Wasserdampfforschung.

1.3 Messung des isenthalpen und isothermen Joule-Thomson-Koeffizienten von Wasser und Wasserdampf bis 800 °C und 800 bar.

1.4 Untersuchung des Zustandsverhaltens fester und flüssiger Stoffe

bei hohen und höchsten Drücken unter statischen und dynamischen Belastungen.

- 1) J. Straub: Das nicht-klassische Verhalten fluider Stoffe im kritischen Gebiet. Wärme- und Stoffübertragung (im Erscheinen)
- 2) U. Grigull, J. Bach, M. Reimann: Stand der internationalen Wasserdampf-forschung. Brennstoff-Wärme-Kraft **21** (1969) 146–150
- 3) G. Franz, U. Grigull: Messungen des Joule-Thomson-Koeffizienten von Wasser und Wasserdampf. Wärme- und Stoffübertragung (im Erscheinen)
- 4) U. Grigull, M. Reimann, J. Bach: Einige Beziehungen zwischen Transportkoeffizienten und thermodynamischen Zustandsgrößen. Wärme- und Stoffübertragung **3** (1970) 120–126
- 5) J. Bach: Der Isentropenexponent von Wasser und Wasserdampf. Brennstoff-Wärme-Kraft **21** (1969) 422–423
- 6) M. Reimann, R. Meyer-Pittroff, U. Grigull: Berechnung von Zustandsgrößen aus thermodynamisch konsistenten Zustandsgleichungen und Vergleich der Ergebnisse verschiedener Gleichungssysteme für Wasser und Wasserdampf. Brennstoff-Wärme-Kraft **22** (1970) 373–378
- 7) J. Straub: Note on Kiangs Formula for the Critical Exponent in Water. Phys. Lett. **31A** (1970) 453
- 8) U. Grigull, J. Straub: Die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung, insbesondere im kritischen Gebiet. — In: Progress in Heat and Mass Transfer, Vol. 2, p. 151–162. Oxford usw.: Pergamon 1969

.. Optische Methoden

2.1 Anwendung optischer Methoden in Forschung und Lehre der Wärmeübertragung. — Sichtbarmachung von Temperatur- und Konzentrationsfeldern für quantitative Auswertung und zur Veranschaulichung für didaktische Zwecke. — Herstellung von Unterrichtsfilmen.

2.2 Untersuchung stationärer und instationärer Wärmeübergangsvorgänge mit Hilfe des Mach-Zehnder-Interferometer (Aufheizung von Behältern, Konvektion im Ringspalt, Mischkonvektion, Stabilitätsgrenzen, Wechselwirkung zwischen Leitung und Strahlung, Blasensieden). Abbildung 1 zeigt das Isothermenfeld in einem horizontalen, mantelbeheizten Reaktionsgefäß kurz nach Beginn der Heizung. In den wandnahen Schichten bildet sich eine aufwärtsgerichtete Strömung, die zu einer Abwärtsströmung in der Mitte führt. Durch Ausmessen der Streifenabstände läßt sich der lokale und momentane Wärmeübergangskoeffizient bestimmen.

2.3 Anwendung der Interferenzholographie zur Messung der Wärmeleitfähigkeit bei hohen Drücken mit optischer Registrierung.

- 1) U. Grigull: Visualization of Heat Transfer. Heat Transfer 1970, Vol. IX, p. 7–21. Amsterdam: Elsevier 1971
- 2) U. Grigull: Forschungstendenzen zur Wärmeübertragung. VDI-Nachrichten **22** (1970) 18
- 3) U. Grigull: Wärmeübertragung 1970. Chemie-Ing.-Techn. **43** (1971) 324–240
- 4) W. Hauf, U. Grigull: Optical Methods in Heat Transfer. In: Advances in Heat Transfer, Vol. 6, p. 133–366. New York/London: Academic Press 1970
- 5) W. Hauf, U. Grigull: Instationärer Wärmeübergang durch freie Konvektion in horizontalen zylindrischen Behältern. Heat Transfer 1970, Vol. 4, paper NC 1.3. Amsterdam: Elsevier 1970
- 6) J. Bach, U. Grigull: Instationäre Messung der Wärmeleitfähigkeit mit optischer Registrierung. Wärme- und Stoffübertragung **3** (1970) 44–57
- 7) K. Onat, U. Grigull: Das Einsetzen der Konvektion in Flüssigkeiten über einer beheizten waagerechten Platte. Wärme- und Stoffübertragung **3** (1970) 103–113
- 8) H. Becker, U. Grigull: Ein holographisches Realzeit-Interferometer zur Messung von Phasenänderungen transparenter Objekte. Optik (im Erscheinen)
- 9) G. Schödel, U. Grigull: Kombinierte Wärmeleitung und Wärmestrahlung in Flüssigkeiten. Heat Transfer 1970, Vol. 3, paper 2.2. Amsterdam: Elsevier 1970

3. Wärmeleitung

3.1 Verbesserte Theorie des Regenerators

3.2 Berechnung und Messung von Formkoeffizienten der stationären mehrdimensionalen Wärmeleitung. Systematische Sammlung und einheitliche Darstellung von Literaturwerten.

3.3 Messung der Wärmeleitfähigkeit von Metallen an Umwandlungspunkten.

- 1) H. Sandner, U. Grigull: Beitrag zur linearen Theorie des Regenerators (im Erscheinen)
- 2) K. Riedle, H. Sebulke, U. Grigull: Formkoeffizient des Wärmestroms in gelochten Platten und Streifen. Wärme- und Stoffübertragung **3** (1970) 70–74
- 3) U. Grigull, G. Franz: Wärmeverluste erdverlegter Rohrleitungen. Wärme-, Klima- und Sanitärtechnik Juli (1970) 229–235
- 4) E. Hahne, R. Schällig: Formfaktoren der Wärmeleitung für Anordnungen mit ebenen Rippen. Wärme- und Stoffübertragung (im Erscheinen)
- 5) U. Grigull, J. Bach: Measurement and Formulation of the Thermal Conductivity. In: 7th Internat. Conf. Properties of Steam. Tokyo 1968, p. 38–61. New York: ASME 1970.
- 6) E. Hahne, U. Grigull: Some Experiments on the Regulation of Ice. In: Physics of Ice, p. 320–328. New York: Plenum Press 1969.

4. Konvektive Wärmeübertragung

4.1 Messung des Wärmeübergangs im Bereich des engsten Querschnitts von Lavaldüsen.

4.2 Messung der Wechselwirkung zwischen Wärme- und Stoffübertragung und heterogenen Wandreaktionen bei freier Konvektion an einer senkrechten, katalytisch wirkenden Wand.



Abb. 1
Isothermenfeld in einem horizontalen mantelbeheizten Zylinder kurz nach Einsetzen der Heizung. Abwärtsströmung in der Mitte (Aufnahme von W. Hauf)

4.3 Freie Konvektion im überkritischen Gebiet von Kohlendioxid und Frigenen. Größtwerte des Wärmeübergangskoeffizienten an den pseudokritischen Punkten, siedeähnliche Phänomene.

4.4 Thermisch bedingte Konvektion in rotierenden Systemen.

- 1) E. Hahne: Turbulent Free Convection Heat Transfer under Supercritical Conditions. Proc. Intern. Centre Heat Mass Transfer, Herceg Novi 1969.
- 2) E. Hahne: Heat Transfer and Natural Convection Patterns on a Horizontal Circular Plate. Intern. J. Heat Mass Transfer **12** (1969) 651–652
- 3) K. Riedle: Instationäres Verhalten eines Druckwasserreaktors. Bundesmin. für wiss. Forschung, Forschungsbericht K 69-14, Bonn 1969

5. Sieden und Kondensieren

5.1 Blasen- und Filmsieden im kritischen Gebiet von Kohlendioxid und Frigenen. Einfluß von Druck sowie Form und Beschaffenheit der Heizfläche (Drähte, Bänder). Korrelation der Versuchswerte zu empirischen Beziehungen.

5.2 Hydrodynamische Einflüsse auf den „burn-out“ in Wasser von Atmosphärendruck. Definierte Strömungsbeeinflussung mit Führungen und Schikanen bei verschiedener Form und Beschaffenheit der Heizflächen.

5.3 Blasensieden von Quecksilber im senkrechten beheizten Rohr (14,7 mm Durchm.) bei Zwangskonvektion. Abbildung 2 zeigt eine Röntgenblitzaufnahme an einer bestimmten Stelle etwas oberhalb des Siedebeginns. Zeitliche Bildfolge von links nach rechts $1/10$ sec, Belichtungszeit $30 \mu\text{sec}$, Heizflächenbelastung $1,5 \text{ W/cm}^2$. Die vermuteten Strömungsformen (slug flow, annular flow oder mist flow) treten nicht auf. Die bizarren Formen des flüssigen Quecksilbers (dunkle Teile) lassen sich auf benachbarten Bildern nicht zuordnen. Stoßweises Sieden (wie bei Kalium oder Natrium) wurde nicht beobachtet.

5.4 Tropfenkondensation von Wasser und Quecksilber. Berechnung der übertragenen Wärmemenge durch Auswerten von Filmaufnahmen (Tropfenspektrum- und Wachstumsgesetz). Keimstellen hängen stark von der Vorgeschichte ab. Bei Quecksilber ist Schallgeschwindigkeit im Dampf der geschwindigkeitsbestimmende Faktor.

- 1) P. Pitschmann, U. Grigull: Filmverdampfung an waagerechten Zylindern. Wärme- und Stoffübertragung **3** (1970) 75–84
- 2) M. Kollera, U. Grigull: Über das Abspringen von Tropfen bei der Kondensation von Quecksilber. Wärme- und Stoffübertragung **2** (1969) 31–35
- 3) M. Kollera, U. Grigull: Untersuchung der Kondensation von Quecksilberdampf. Wärme- und Stoffübertragung **4** (1971) 244–258
- 4) S. Krischer, U. Grigull: Mikroskopische Untersuchung der Tropfenkondensation. Wärme- und Stoffübertragung **4** (1971) 48–59
- 5) H. Schmücker: Wärmeübergang bei flüssigen Metallen. Internationales Seminar 1971, BWK (im Erscheinen)

SONSTIGE AKTIVITÄTEN

Das Institut nimmt aktiven Anteil an der internationalen Wasserdampfforschung. Der Institutsleiter ist zugleich Leiter der Delegation der BRD in der International Assoziation on the Properties of Steam (IAPS), J. Straub und M. Reimann sind Mitarbeiter von Arbeitsgruppen der IAPS. Der Institutsleiter ist ferner Präsident der Assembly for International Heat Transfer Conferences, Mitglied des Kuratoriums der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Obmann des Fachausschusses „Wärme- und Stoffübertragung“ in der Verfahrenstechnischen Gesellschaft im VDI, Mitglied des Wissenschaftsrats und Mitglied des Wissenschaftlichen Komitees des International Centre for Heat and Mass Transfer. E. Hahne ist der wissenschaftliche Sekretär des Organisationskomitees dieses Zentrums, dessen Sitz Belgrad ist.

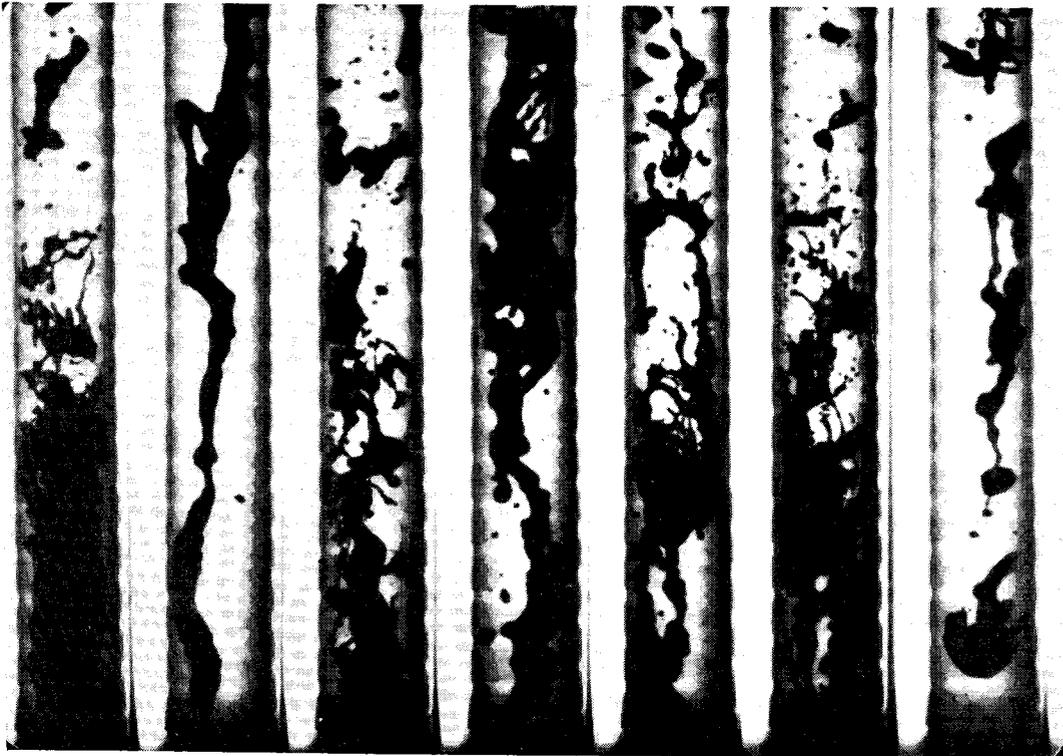


Abb. 2
Röntgenblitzaufnahmen von siedendem Quecksilber. Zeitlicher Bildabstand von links nach rechts $1/10$ sec.
(Aufnahme von H. Schmücker)