

- 39) G. Wienke, A. Ilchmann, J. Gmehling: Messung von Verteilungskoeffizienten mit der Flüssig-Flüssig-Gegenstromchromatographie im System n-Octanol-Wasser, VDI-Tagungsbericht Umweltmeßtechnik, VDI, Düsseldorf, 1992
- 40) M. Sakuth, J. Meyer, J. Gmehling: Einfluß der Hydrophobizität von Y-Zeolithen auf das binäre Adsorptionsgleichgewicht Dampf-Feststoff, Chem.-Ing.-Tech. 65 (1993) 582
- 41) M. Sakuth: Messung und Modellierung binärer Adsorptionsgleichgewichte, Diss., Oldenburg, 1993

Zu 3:

- 42) J. Gmehling: Application of Computers for the Development of Thermodynamic Models with a View to the Synthesis and Design of Separation Processes, Software Development in Chemistry 5, Seite 1ff, Ed.: J. Gmehling, Springer-Verlag, Berlin (1991)
- 43) J. Rarey, J. Menke, J. Gmehling: DDBPC: A Program System for the Management, Correlation and Calculation of Thermodynamic Properties of Pure Components and Mixtures, Software Development in Chemistry 5, Seite 15ff, Ed.: J. Gmehling, Springer-Verlag, Berlin (1991)
- 44) W. Cordes, J. Rarey, F. Deliquie, J. Gmehling: Estimation of Pure Component Properties by Evaluation of Molecular Structures, Software Development in Chemistry 7, S. 227, Ed.: D. Zlessow, Springer-Verlag, Berlin (1993)
- 45) J. Gmehling, U. Onken, J. Rarey: Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection, Bd. Ib, Iie, IIf, IIIa, DECHEMA Chemistry Data Series, Frankfurt, ab 1988
- 46) J. Gmehling, Th. Holderbaum: Heats of Mixing Data Collection, DECHEMA Chemistry Data Series, Vol. III, Supplement 1 + 2, DECHEMA, Frankfurt am Main, ab 1988
- 47) J. Gmehling, J. Menke, M. Schiller: Activity Coefficients at Infinite Dilution, Supplement I + II, DECHEMA Chemistry Data Series, Frankfurt am Main, im Druck
- 48) J. Gmehling, J. Krafczyk, J. Menke: Data Bank for Azeotropic Data — Status and Applications, Ind. Eng. Chem. Research, im Druck

Zu 4:

- 49) J. Gmehling, E. Lehmann, R. Hohmann, W. Allescher: Stoffbelastungen in der Textilindustrie, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz — Gefährliche Arbeitstoffe — GA 37, Dortmund (1991)
- 50) P. L. Müller-Remmers, H. Papenberg, W.-D. Ebeling, M. Hürth, D. Woermann, J. Gmehling, W. Supper: Conjugating Binary Systems Advanced Cooling Liquids for Use in Spacecraft ATCS, 4th European Symposium on Space Environmental Control Systems, Florence, Italy, October 21-25, 1991
- 51) K.-H. Rentel, J. Gmehling, E. Lehmann: Stoffbelastungen in der Gummiindustrie, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz — Gefährliche Arbeitstoffe — GA 39, Dortmund, 1991
- 52) A. Köster: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Pervaporation von Wasser/Alkohol-Gemischen, Diss., Oldenburg, 1993
- 53) A. Böning, J. Gmehling: Bestimmung der Durchlässigkeit von Schutzhandschuhen gegenüber Lösemitteln, TU Technische Überwachung, Bd. 33 (1992) 293
- 54) A. Böning, J. Gmehling: Durchlässigkeit von Schutzhandschuhen gegenüber Lösemitteln, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz — Forschung — Fb 659, Dortmund, 1992
- 55) J. Krafczyk: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Einsatzmöglichkeit der reaktiven Rektifikation, Diss., Oldenburg, 1993
- 56) A. Ilchmann, G. Wienke, T. Meyer, J. Gmehling: Bestimmung von Verteilungskoeffizienten mit Hilfe der Flüssig-Flüssig-Gegenstromchromatographie, Chem.-Ing.-Tech. 65 (1993) 72
- 57) T. Meyer: Beschreibung wäßriger Elektrolyt/Polymer-Zweiphasen-Gleichgewichte mit einer Gruppenbeitragsmethode, Diss., Dortmund, 1992

Thermodynamik/ Wärmeübertragung Universität – GH – Paderborn

Gorenflo,
Prof. Dr.-Ing., D.Postfach 1621
Pohlweg 55
D-33098 Paderborn
T 05251-60-2393, -2392
Fax 05251-60-3419

Summary

The institute was founded in 1979 and is part of the Department of Mechanical and Chemical Engineering at the University of Paderborn. It provides the basic lecture courses in thermodynamics and heat transfer for Mechanical and Chemical Engineering students and advanced courses in heat transfer with phase change, refrigeration engineering and heat pumps. Research is mainly concerned with heat transfer at pool boiling of pure liquids and mixtures, including bubble formation at heated surfaces, and with experimental determination of phase equilibria of binary mixtures. In addition, research is carried out with energy saving in refrigerators and deep freezers.

Allgemeines

Mitarbeiter	Räumlichkeiten	m ²
Wissenschaftl. Mitarbeiter	5 Laboratorien	60
Gastwissenschaftler	1 Technika, Versuchsstände	440
Mitarbeiter im technischen und Verwaltungsdienst	Büros 6 Werkstätten	100 100

Großgeräte

- Hochgeschwindigkeitskamera
- Gaschromatographen, auch mit Massenspektrometerzusatz
- Kalorimeter
- Klimaraum mit präziser Temperatur- und Feuchterege lung
- Versuchsanlagen zum Blasensieden und Phasengleichgewicht

Der Lehrstuhl für Thermodynamik und Wärmeübertragung, dem das Laboratorium für Wärme- und Kältetechnik angeschlossen ist, wurde 1979 im Rahmen des Ausbaus von Forschung und Lehre in Maschinenbau und Verfahrenstechnik an der Universität – GH – Paderborn gegründet. In der Forschung konzentrieren sich die Arbeiten auf Untersuchungen zum Wärmeübergang beim Blasensieden an reinen Stoffen und Gemischen, auf Phasengleichgewichtsmessungen und auf Untersuchungen zum Wärmeübertragungsverhalten und zum Energieverbrauch von Kühl- und Gefriergeräten. Auf allen drei Forschungssektoren stehen Untersuchungen an und mit Ersatzstoffen für Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) als Arbeitsmedien thermischer Prozesse seit einiger Zeit im Vordergrund.

Lehre

Lehrveranstaltungen

- Thermodynamik 1 (HI + HII) + 2 (HII) ca 70 Stud. HI, 170 Stud. HII
- Wärmeübertragung 1 + 2, (1) ca. 80 Stud. HII, (2) ca 25 Stud.
- Kältemaschinen/Wärmepumpen ca. 25 Stud.
- Kältetechnik/Wärmepumpentechnik ca. 15 Stud.

Die Lehre umfaßt die Ausbildung der Studenten des Maschinenbaus und der Verfahrenstechnik in den Grundlagen der Thermodynamik und der Wärmeübertragung. Darauf aufbauend werden Spezialvorlesungen zu ausgewählten Kapiteln der Wärmeübertragung mit Schwerpunkt auf Phasenumwandlungen und zum Gebiet der Kältetechnik und Wärmepumpentechnik angeboten. Durch Praktikumsversuche aus dem Bereich der Wärme- und Kältetechnik soll den Studenten der Zugang zu den theoretischen Zusammenhängen erleichtert werden.

Forschung

Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten, die überwiegend experimentelle Fragestellungen behandeln, liegt auf folgenden Gebieten:

1. Wärmeübertragung beim Sieden

Frühere Messungen zum Blasensieden von reinen Stoffen und Gemischen wurden auf leichte aliphatische Kohlenwasserstoffe (Ethan bis Hexan) ausgedehnt und dabei der Einfluß des Rohrdurchmessers, der Oberflächenrauigkeit und der Rippengeometrie von horizontalen Verdampferrohren in freier Konvektion untersucht. Abb. 1 zeigt Ergebnisse zum Durchmesser einfluß beim Sieden von Propan (oben) und n-Hexan (unten) in doppelt logarithmischen Diagrammen des Wärmeübergangskoeffizienten α als Funktion der Wärmestromdichte q an Rohren mit Außendurchmessern von 88,4 mm bzw. 7,6 mm bei breiter Variation der Wärmestromdichte und des Siededruckes. Im Bereich des Blasensiedens, der sich an die freie Konvektion ohne Blasenbildung (strichpunktiert) anschließt, steigt der Wärmeübergangskoeffizient bei konstantem Druck am kleinen Rohr (gestrichelte Interpolationslinien) stärker an als am großen (durchgezogene Linien), wobei der Unterschied bei $p^* = 0,2$ und $0,4$ am kleinsten ist. Beim höchsten Druck liefert das kleine Rohr im gesamten Belastungsbereich geringfügig bis deutlich höhere α -Werte als das große; zu niedrigen Drücken hin kehrt sich der Unterschied in systematischer Weise um.

Die geringere Zunahme von α mit q für den großen Rohrdurchmesser ist darauf zurückzuführen, daß die an der unteren Rohrhälfte entstehenden Blasen am Umfang hochlaufen, vom Auftrieb gegen die überhitzte Flüssigkeitsschicht an der Rohrwand gedrückt werden und dieser Schicht zusätzliche Phasengrenzfläche anbieten, an der die Überhitzung durch Verdampfen abgebaut werden kann, und zwar beim Rohr mit dem größeren Durchmesser wegen des längeren Strömungsweges mehr als beim kleineren. Es ist plausibel, daß dieser Effekt besonders dann den Wärmeübergang begünstigt, wenn

- a) der Auftrieb groß ist (kleine Drücke)
- b) nicht zu viele aktive Blasenzentren vorhanden sind, die bereits bei der Entstehung der Blasen die Überhitzung in ihrem Einflußbereich

reich abbauen (kleine Wärmestromdichten, kleine Drücke), andererseits aber

c) nicht nur sehr wenige große Blasen entstehen, wie bei sehr tiefen Drücken ($p^* = 0,011$ entspricht bei n-Hexan 327 mbar), so daß der Effekt gar nicht zum Tragen kommt.

Umgekehrt können die am Umfang hochlaufenden Blasen am großen Rohr auch eine verschlechternde Wirkung auf den Wärmeübergang ausüben, wenn die Blasendichte groß und die Abströmgeschwindigkeit bereits klein ist (hohe Wärmestromdichten, hoher Druck), weil die Zufuhr von Flüssigkeit an die Heizfläche behindert wird.

Dem Vergleich der Meßergebnisse zu Propan und n-Hexan bei gleichem normierten Druck ($p^* = 0,10$ bzw. $p^* = 0,12$) ist zu entnehmen, daß der größere Rohrdurchmesser bei n-Hexan offenbar eine etwas stärkere Zunahme von α als bei Propan bewirkt (vgl. die Kreise in Abb. 1). Wie eine detaillierte Modellrechnung zeigt, läßt sich auch dieses Ergebnis mit der oben diskutierten, den Wärmeübergang verbessernden Wirkung der am Rohrumfang hochlaufenden Blasen erklären, da wegen der geringeren Verdampfungsenthalpie und Dampfdichte bei sonst gleichen Bedingungen bei Hexan ein größerer Dampfvolumentrom mit mehr und größeren Blasen sowie

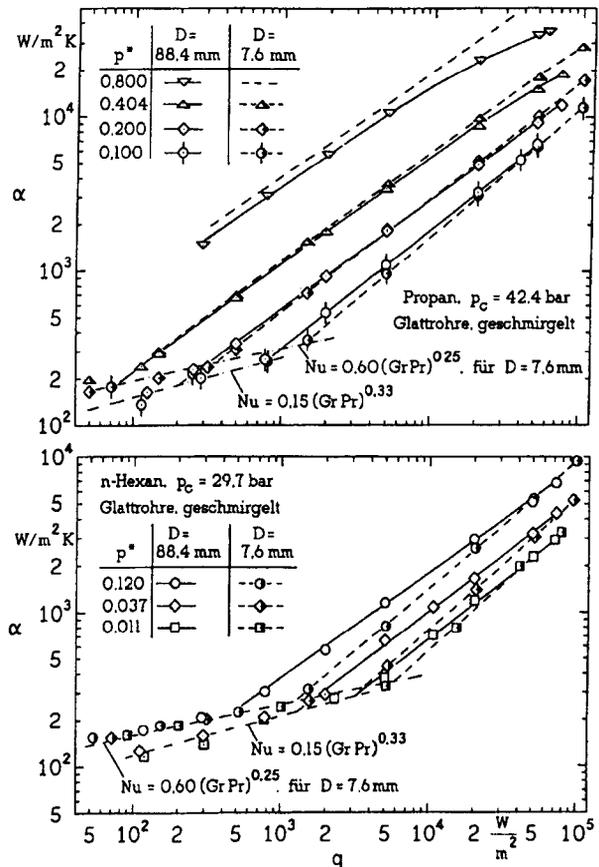


Abb. 1: Wärmeübergangskoeffizient α als Funktion der Wärmestromdichte q für das Sieden von Propan (oben) und n-Hexan (unten) an horizontalen Einzelrohren aus Stahl von 7,6 und 88,4 mm Durchmesser bei unterschiedlichen normierten Siededrücken $p^* = p/p_c$.

höherer Aufstiegsgewindigkeit gebildet wird als bei Propan. Neben diesen Untersuchungen mit mehr grundsätzlicher Fragestellung werden auch sehr praxisorientierte Versuche an modernen Hochleistungs-Rippenrohren durchgeführt.

2. Phasengleichgewicht von reinen Stoffen und binären Gemischen

An Ethan- und Propanabkömmlingen, die als Ersatzstoffe mit geringerem Ozonabbaupotential und Beitrag zum Treibhauseffekt infrage kommen als die z.Z. verwendeten, vollhalogenierten Kältemittel sowie an Gemischen dieser Stoffe werden die kritischen Zustände, die Dampfdruckkurven sowie die Siede- und Taudichten untersucht. Dazu wird eine statische Phasengleichgewichts-Zelle mit angekoppelten Biegeschwinger-Dichtemaßgeräten und Dampf- und Flüssigkeitsumlauf durch Mikropumpen benutzt. Inzwischen ist es gelungen, mit Hilfe einer etwas modifizierten Form der von Trebble und Bishnoi angegebenen, verhältnismäßig einfachen Zustandsgleichung aus der Klasse der sog. Kubischen Zustandsgleichungen das Phasengleichgewicht sowie die Flüssigkeits- und Dampfdichte mit geringen Abweichungen bis relativ nahe an den kritischen Zustand ohne jede Information über Gemischdichten vorherzusagen, wenn nur ein Meßzustand des Phasengleichgewichts im mittleren Temperatur- und Konzentrationsbereich bekannt ist.

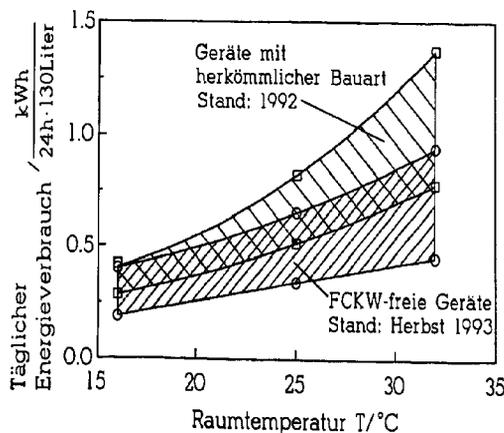


Abb. 2: Täglicher Energieverbrauch von Haushaltskühlschränken ohne Sternenfach mit ca. 130 Liter Nutzvolumen bei unterschiedlichen Raumtemperaturen. Oberes Streufeld: Messungen an Geräten der herkömmlichen Bauart, Stand: 1992. Unteres Streufeld: Messungen an FCKW-freien Geräten, Stand: Herbst 1993.

3. Energieaufnahme von Kühl- und Gefriergeräten

In einem Klimaraum mit sehr geringer zeitlicher und räumlicher Schwankung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit, der mit 14 vollinstallierten Meßplätzen zur digitalen Signalverarbeitung ausgestattet ist, werden auf der Suche nach Energieeinsparungsmöglichkeiten in der Kälte- und Klimatechnik Leistungsmessungen an Kühl- und Gefriergeräten durchgeführt, in letzter Zeit auch an neuentwickelten Haushalts-Kühlschränken ohne Sternenfach, deren Kältekreislauf statt mit R12 (CF_2Cl_2), wie früher, nun mit reinen oder nur teilfluorierten Kohlenwasserstoffen („FCKW-frei“) als Kreislaufmedium betrieben wird und deren Isolierschaum auch nur mit solchen Stoffen getrieben ist. Mit der Entwicklung dieser Geräte wurde zugleich auch ein erheblicher, weiterer Schritt zur Energieeinsparung getan, wie Abb. 2 zeigt, in der Ergebnisse zum Energieverbrauch der Geräte nach Norm aus Untersuchungen für die frühere Bauform

(Stand: 1992, oberes Streufeld) und erste Messungen an neuen Geräten (Stand: Herbst 1993, unteres Streufeld) pauschal dargestellt sind.

Im Zusammenhang mit solchen Leistungsmessungen wird in einem Gemeinschaftsvorhaben mit der Fachgruppe Kunststofftechnologie unserer Hochschule an der Entwicklung einer neuen Testmasse auf Kunststoffbasis gearbeitet, die im Mittel die thermischen Eigenschaften der in den Geräten gelagerten Lebensmittel hat und dann in Leistungsmessungen an Kühl- und Gefriergeräten eingesetzt werden soll.

Zu 1:

- 1) D. Gorenflo, P. Sokol, S. Caplanis: Pool boiling Heat Transfer from Single Plain Tubes to Various Hydrocarbons, *Int. J. Refrig.* 13 (1990) 286-292
- 2) D. Gorenflo, H. Schömann, P. Sokol: Zum Einfluß des Rohrdurchmessers und der Oberflächenrauigkeit beim Blasensieden an Glatt- und Rippenrohren, *Wärme- und Stoffübertragung* 25 (1990) 265-272
- 3) D. Gorenflo, P. Blein, S. Caplanis, P. Sokol: Pool Boiling Heat Transfer from a GEWA-TX Finned Tube to Low Boiling Hydrocarbons, *Proc. Inst. Int. du Froid, Paris, 1990-4*, 249-255
- 4) D. Gorenflo, P. Sokol, S. Caplanis: Zum Wärmeübergang beim Blasensieden von Kohlenwasserstoffen und Halogen-Kältemitteln an einem Glattrohr und einem Hochleistungs-Rippenrohr, *Wärme- und Stoffübertragung* 26 (1991) 273-281
- 5) D. Gorenflo, P. Sokol, S. Caplanis: Pool Boiling Heat Transfer from Single Tubes to New Refrigerants, *Proc. 18th Int. Congr. Refrig., Montreal 1991, Vol. II*, 423-428
- 6) D. Gorenflo, P. Sokol, S. Caplanis: Measurements of Enhanced Pool Boiling Heat Transfer, *1st Europ. Conf. on Thermal Sciences, Birmingham, 1992, Vol. 1*, 89-96
- 7) S. Caplanis, P. Sokol, D. Gorenflo: Wärmeübergang beim Sieden neuer Kältemittel an Rippenrohren, *DKV-Tagungsbericht 19 (1992)*, Band II.1, 263-278
- 8) D. Gorenflo, S. Caplanis, W. Künstler: Enhanced Pool Boiling Heat Transfer to New Refrigerants, *Proc. Inst. Int. du Froid, Paris, 1993-2*, 327-334

Zu 2:

- 9) G. Herres, D. Gorenflo: Calculation of The Vapour-Liquid Equilibrium of Some Binary Systems of Refrigerants by Various Cubic Equations of State, *Proc. Inst. Int. du Froid, Paris, 1990-1*, 169-178
- 10) D. Gorenflo, K. Stephahn, R. Krauss: Thermophysical and Technological Properties of R134a ($\text{CH}_2\text{F}_2\text{CF}_3$) (Example), *Proc. Inst. Int. du Froid, Paris: Le Froid et les CFC, 1990*, 197-228
- 11) W. Rott: Zum Wärmeübergang und Phasengleichgewicht siedender R22/R114-Kältemittel-Gemische in einem großen Druckbereich, *Diss., Univ.-GH-Paderborn, 1990*
- 12) M. Buschmeier, W. Künstler, G. Herres, D. Gorenflo: Phasengleichgewicht und Dichte der Stoffsysteme R22/R142b sowie R227/R123, *DKV-Tagungsbericht 19 (1992)*, Band II.1, 99-120
- 13) M. Buschmeier, G. Herres, D. Gorenflo: Prediction of p,v,T,x-Data for Mixtures of New Refrigerants by Cubic Equations of State, *Proc. Inst. Int. du Froid, Paris, 1993-2*, 251-261

Zu 3:

- 14) D. Gorenflo, N. Colditz, F.-J. Hesse: Proposal of a New Load Material for Testing Refrigerators and Deep Freezers, *Proc. Inst. Int. du Froid, Paris, 1990-4*, 417-423
- 15) D. Gorenflo, N. Colditz, M. Arto-Haumacher, F.-J. Hesse: Properties of a New Load Material for Testing Refrigerators and Deep Freezers and First Results of Standard Tests, *Proc. 2. Int. Colloq. Refrig. and Air-Cond., Adana/Türkei, 1992*, 1-16