

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM  
*Wissenschaftlicher Film B 807/1960*

**Erwärmung von lufthaltigem Wasser im senkrechten Rohr**

Begleitveröffentlichung von  
Prof. Dr.-Ing. E. KIRSCHBAUM

Mit 4 Abbildungen

GÖTTINGEN 1962

Der Film wurde aus Forschungsaufnahmen zur Veröffentlichung zusammengestellt  
Länge der Kopic (16-mm-Stummfilm, schwarz-weiß): 88 m  
Vorfühdauer: 8 Min. — Vorführgeschwindigkeit: 24 B/s

Der Film wurde in den Jahren 1957 und 1959 aufgenommen und ist eine Veröffentlichung aus dem Institut für Apparatebau und Verfahrenstechnik der Technischen Hochschule Karlsruhe (Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. E. KIRSCHBAUM) und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen (Direktor: Dr.-Ing. G. WOLF)  
Sachbearbeitung: Dr. G. BEKOW  
Aufnahme: K. NOWIGK

# Erwärmung von lufthaltigem Wasser im senkrechten Rohr

Der bisher noch nicht nachgeprüfte und manchmal bestrittene Einfluß der im Wasser gelösten Luft auf die Wärmeübertragung wird bei Versuchen an einer teilweise aus Glas bestehenden Modellapparatur besonders anschaulich gemacht.

## I. Allgemeine Vorbemerkungen

Um qualitative Aussagen über die Vorgänge beim Wärmeübergang an lufthaltiges Wasser machen zu können, sei zunächst auf das Löslichkeitsverhalten von Luft in Wasser verwiesen (Abb. 1). Es wird sich z. B. aus 1 l luftgesättigtem Wasser eine Luftmenge von ca. 20 cm<sup>3</sup> ausscheiden, wenn die Flüssigkeit von 20 auf 60° C erwärmt wird.

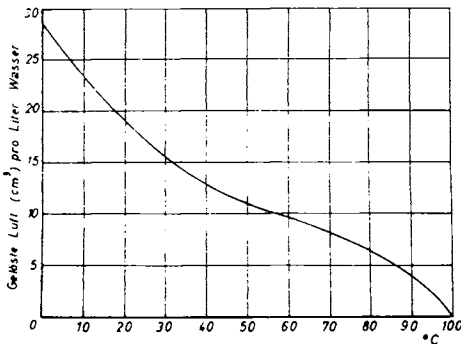


Abb. 1 Löslichkeit von Luft in Wasser

Bei der Erwärmung in Rohren wird die Luft an der beheizten Rohrwand, d. h. innerhalb der Grenzschicht, ausgeschieden und diese zerstört, wodurch die Wärmeübertragung eine Verbesserung erfährt. In einem senkrecht angeordnetem Rohr haben die an der Heizfläche entstandenen Luftblasen das Bestreben, in der Flüssigkeit hochzusteigen. Bei auf-

wärtsströmendem Wasser werden die Blasen stets nach oben mitgeführt. Durch Abwärtsströmen des Wassers werden die Bläschen nur dann nach unten mitgerissen, wenn die auf die Blasen ausgeübte Strömungskraft des Wassers größer als die Auftriebskraft der Bläschen ist. Es gibt also eine kritische Geschwindigkeit, bei welcher die kleinen, eben erst entstandenen Luftbläschen zuerst nach unten und, nachdem sie weiter gewachsen sind, nach oben strömen. Zahlreiche Untersuchungen und die nachfolgend zu beschreibenden Filmaufnahmen haben Berechnungen bestätigt, welche eine kritische Geschwindigkeit von 7 cm/s ergaben. Der Rechnung ist ein mittlerer Bläschendurchmesser von 0,5 mm zugrunde gelegt.

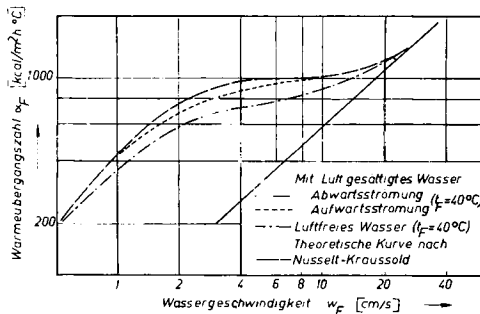


Abb. 2 Wärmeübergangszahl bei Luftausscheidung aus Wasser

Die auf Grund von Versuchsbeobachtungen über die Gasblasenbewegung in strömendem Wasser gewonnenen Erkenntnisse führten im Laboratorium des Verfassers zu umfangreichen Untersuchungen an einer speziellen Versuchsanlage. An diesem Universal-Wärmeaustauschapparat<sup>1)</sup> wurde der Einfluß der Luftausscheidung auf den Wärmeübergang quantitativ gemessen. Danach ist bei der Ausscheidung von Luft aus Wasser eine beträchtliche Erhöhung der Wärmeübergangszahl zu beobachten (Abb. 2). Im senkrechten Versuchsrohr ist die Wärmeübergangszahl  $\alpha_F$  kcal/m<sup>2</sup> · h · °C bei nach unten gerichteter Strömung größer als diejenige bei Aufwärtsströmung. Bei der Abwärtsströmung verursachen die aufsteigenden Luftbläschen durch ihr Auftreffen auf die abwärtsströmenden Wassermoleküle eine erhöhte Turbulenz.

Die Ergebnisse von Wärmeübergangsmessungen mit luftgesättigtem Wasser sind in einer ausführlichen Forschungsarbeit [1] dargestellt und veröffentlicht worden.

<sup>1)</sup> MÉTAIS, B., Wärmeübergang im Gebiet zwischen laminarer und turbulenter Strömung. Diss. T. H. Karlsruhe 1960.

<sup>2)</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

## II. Erläuterungen zum Film

*Rohrmaterial: Kupfer (Länge 2 m, Durchmesser 48 mm)*

*Eintrittstemperatur des Wassers 13° C, Heißdampf Temperatur 90° C<sup>2</sup>)*

Die Filmaufnahmen zum Entgasungsvorgang wurden an einer Apparatur durchgeführt, deren Kernstück aus einem glasummantelten Kupferrohr mit einem Außendurchmesser von 48 mm und einer Länge von 2000 mm bestand (Abb. 3). Das Glasmantel besaß einen Innendurchmesser von 70 mm. Einen Querschnitt durch die Rohranordnung zeigt Abb. 4.

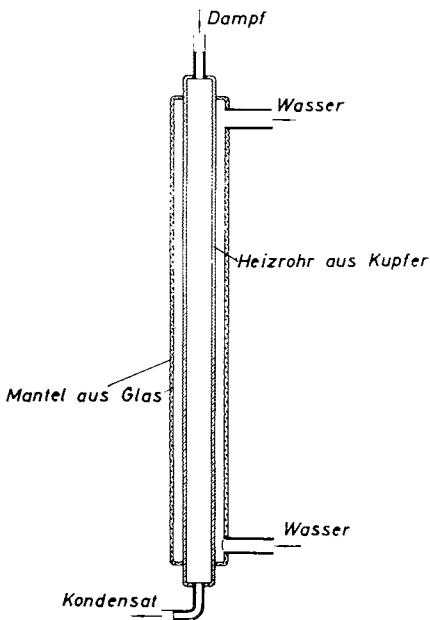


Abb. 3

Schema der Versuchsanordnung

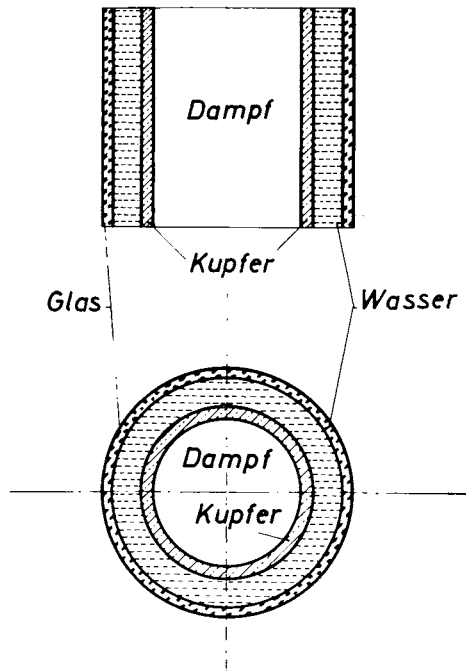


Abb. 4

Schnitt durch das Versuchrohr

Zur Erwärmung des Wassers diente Wasserdampf, welcher im Innern des Kupferrohrs unter Vakuum kondensierte. Das luftgesättigte Versuchswasser strömte im Ringraum zwischen den beiden Rohren je nach den Versuchsbedingungen aufwärts oder abwärts.

### *Laminare Strömung*

*Strömung aufwärts 1,5 cm/s, Austrittstemperatur 75° C*

*Strömung abwärts 1,5 cm/s, Austrittstemperatur 75° C*

Beim Hochströmen des Wassers wandern die an der Heizfläche gebildeten Luftbläschen ebenfalls nach oben, wobei sie sich zu größeren Blasen vereinigen.

Bei abwärts gerichteter Strömung erfahren die Gasblasen zwar zunächst eine geringe, nach unten gerichtete Strömungskomponente; die Flüssigkeitsgeschwindigkeit ist jedoch nicht groß genug, um die von der Wand abgelösten Blasen in der Strömungsrichtung des Wassers mitzuführen. — Aufnahmefrequenz 96 B/s und 240 B/s, d.h. 4fache bzw. 10fache Zeitdehnung.

### *Turbulente Strömung*

*Strömung aufwärts 17 cm/s, Austrittstemperatur 35° C*

*Strömung abwärts 17 cm/s, Austrittstemperatur 35° C*

Die Luftbläschen strömen sehr schnell nach oben, wenn die Wasserströmung ebenfalls nach oben gerichtet ist. Bei der Abwärtsströmung des Wassers werden sämtliche Luftblasen, unabhängig von ihrer Größe, nach unten mitgerissen. Mit größerer Heizflächenbelastung nimmt die Zahl der gebildeten Gasblasen zu. — Aufnahmefrequenz 96 B/s und 240 B/s.

### *Übergangsgebiet*

*Strömung abwärts 7 cm/s, Austrittstemperatur 65° C*

Bei abwärts gerichteter Flüssigkeitsströmung werden die Bläschen zunächst zwar nach unten mitgeführt; mit wachsender Bläschengröße kehrt sich ihre Bewegungsrichtung jedoch um, d.h. die Bläschen wandern nach oben. — Aufnahmefrequenz 96 B/s und 240 B/s.