

# **Fluidodynamik des mechanisch beeinflussten Flüssigkeitsfilmes**

**ABHANDLUNG**

zur Erlangung  
des Titels eines Doktors der Technischen Wissenschaften  
der

**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH**

vorgelegt von

**PETER SCHWEIZER**

Dipl. Masch.-Ing. ETH  
geboren am 17 Februar 1951  
von Oberentfelden (Kt. Aargau)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. F. Widmer, Referent  
Prof. Dr. H. H. Thomann, Korreferent

## 7. ZUSAMMENFASSUNG

Bei verfahrenstechnischen Vorgängen wie z.B. Wärme- und Stoffaustausch ist es oft zweckmässig, das Medium in einem dünnen Flüssigkeitsfilm zu verteilen. Dies kann unter Einwirkung der Schwerkraft in einem Rieselfilm (Fallfilmverdampfer) oder durch zusätzliche mechanische Beeinflussung in einem Dünnschichtapparat erfolgen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die vertiefte Untersuchung der Fluidodynamik des mechanisch beeinflussten Flüssigkeitsfilmes, welche die Grundlage für die oben erwähnten Austauschprozesse bildet. Daraus werden Modelle für die theoretische Berechnung der mittleren Verweilzeit der Flüssigkeit im Dünnschichtapparat sowie der Rotorantriebsleistung abgeleitet.

Die experimentellen Untersuchungen als Grundlage dieser Arbeit wurden an einem Dünnschichtapparat, bestehend aus einem nicht beheizbaren Präzisionsglaszylinder von 150 mm Durchmesser und einem Starrflügelrotor durchgeführt. Als Versuchsmedien dienten die newton'schen Flüssigkeiten Glycerin, Silikonöl und Polyisobutylen (Oppanol B3) mit Viskositäten zwischen 0.08 und 10.0 Pa s.

Im ersten Teil der Arbeit wird die Strömung der Flüssigkeit im Dünnschichtapparat qualitativ beschrieben. Dabei sind die Bugwellenbildung und das Auftreten von Instabilitäten infolge der

Zentrifugalkraft (Taylor-Görtler-Wirbel) von besonderem Interesse. Die Höhe der Bugwelle, welche die mittlere Verweilzeit der Flüssigkeit im Dünnschichtapparat sowie den mechanischen Leistungsbedarf stark beeinflusst, konnte durch eine nicht-lineare Regression (Potenzansatz) in Funktion der Betriebsgrössen wie Rotordrehzahl, Flüssigkeitsdurchsatz, Stoffwerte und der geometrischen Grössen der Apparatur dargestellt werden. Mit einem Laser-Doppler-Anemometer liessen sich schliesslich die tangentialen und vertikalen Geschwindigkeitskomponenten der Flüssigkeitsströmung über den Apparateumfang bei verschiedenen Wandabständen messen.

Im zweiten Teil der Arbeit werden aufgrund der Ergebnisse der fluiddynamischen Untersuchungen sowohl theoretische Modelle als auch Korrelationsgleichungen für die Berechnung der mittleren Verweilzeit der Flüssigkeit im Dünnschichtapparat und des Leistungsbedarfes an der Rotorwelle in Abhängigkeit der Drehzahl, des Massenstromes, der Stoffeigenschaften und der geometrischen Apparateparametern abgeleitet.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen sind:

- Die mittlere Verweilzeit der Flüssigkeit im Dünnschichtapparat ist bei den hier untersuchten, relativ hochviskosen Medien praktisch für alle realistischen Betriebsbedingungen kürzer als bei der laminaren, mechanisch nicht beeinflussten Rieselfilmströmung.

- Die mittlere Verweilzeit der Flüssigkeit im Dünnschichtapparat lässt sich durch Variieren der Betriebsgrößen wie Rotordrehzahl, Massenstrom, Spaltweite, Rotorblattzahl oder durch mechanische Einbauten (z.B. Bugwellenbremsen, Stauring) in weiten Grenzen beeinflussen.
- Die Leistungscharakteristik des Dünnschichtapparates (Leistung in Funktion der Rotordrehzahl) zeigt einen ähnlichen Verlauf, wie er in der Rührtechnik auftritt, nämlich abnehmende Leistungszahl bei steigender Drehzahl.

## 8. SUMMARY

In chemical engineering processes combined with heat or mass transfer, it is often desirable to spread the fluid in a thin liquid film along a vertical wall. This can be achieved either in a falling film evaporator or in a vertical, agitated thin film apparatus.

In this work, the fluid dynamics of the mechanically agitated liquid film which is fundamental for estimation of heat or mass transfer problems, is thoroughly investigated.

In the experimental part the flow pattern of the liquid in a thin film apparatus with rigidly fixed blades, neglecting thermal effects, is observed. Thereby, Newtonian fluids within a viscosity range of 0.08 to 10.0 Pa s are processed.

The formation and the shape of the bow wave, instabilities (Taylor-Görtler vortices) due to centrifugal forces and vertical as well as tangential velocity profiles of the liquid film (measured with a laser Doppler velocimeter) are investigated. Further on, experimental data of the height of the bow wave are correlated to show the dependence on angular velocity of the rotor, mass flow rate, viscosity, number of blades and clearance between the blade tips and the shell wall.

Based on the results of the fluid dynamical investigations, theoretical models and non-linear fitting equations to data

for computation of the power consumption of the rotor shaft and the mean residence time of the liquid in the thin film apparatus as a function of the operating conditions (liquid rate, angular velocity of the rotor), the design characteristics of the apparatus (diameter, height, clearance, number of blades) and the physical properties of the material are presented.

The main conclusions are as follows:

- For highly viscous fluids the mean residence time of the liquid in the mechanically agitated thin-film apparatus is shorter than in a conventional falling film evaporator.
- The dependence of the power consumption of the rotor shaft on the angular velocity is similar to the power consumption characteristic of an agitated tank, that means decreasing power-number with increasing angular velocity.