

Geschwindigkeits- und Mengenmessung strömender Flüssigkeiten mittels Ultraschalls

Von der
Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich

zur Erlangung der

Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften

genehmigte

Promotionsarbeit

vorgelegt von

Carlos Knapp Boetticher

Dipl. Masch. Ing. ETH

spanischer Staatsangehöriger

Referent: Herr Prof. H. Gerber

Korreferent: Herr Prof. E. Baumann

1958

Heidenheim an der Brenz, Deutschland

VOITH-DRUCK

Geschwindigkeits- und Mengenmessung strömender Flüssigkeiten mittels Ultraschalls

Carlos Knapp

ZUSAMMENFASSUNG

Im ersten, theoretischen Teil dieser vorliegenden Arbeit werden die physikalischen Grundlagen sowie die verschiedenen Möglichkeiten, mittels Ultraschalls Strömungsgeschwindigkeiten zu messen, eingehend besprochen. Im weiteren werden die Hauptgleichungen für die verschiedenen technisch möglichen Verfahren abgeleitet und diskutiert. Nach einem geschichtlichen Rückblick werden die Voraussetzungen für die Entwicklung einer neuen Meßmethode dargelegt.

Im zweiten, experimentellen Teil wird die neu entwickelte Methode der Strömungsmessung mittels Ultraschalls besprochen. Dabei wird besonders auf die Ultraschall-, die elektronischen und die meßtechnischen Probleme eingegangen.

Es wurden im Labor Versuche in einem rechteckigen Kanal von 1 m Breite in einem Geschwindigkeitsbereich von $v = 0,06$ bis $0,9$ m/s durchgeführt. Die Abweichungen der so gemessenen sekundlichen Wassermengen blieben im Vergleich mit Werten, welche mit sehr genauen herkömmlichen Meßmethoden erzielt wurden, auch bei ausgeprägter Seitenströmung bzw. Bodenströmung, bis auf wenige begründete Ausnahmen, in einem Bereich von $\pm 0,4\%$.

Weiterhin konnte erstmals eine Anlagemessung in der Wasserkraftanlage Peccia an einer Pelton-Gruppe von 24500 kW bei einer Wassermenge bis zu $8,0$ m³/s durchgeführt werden. Die Abweichungen der mittels dieser neuen Ultraschallmethode gemessenen sekundlichen Wassermengen von den gleichzeitig durchgeführten Flügelmessungen lagen mit $+ 0,3$ bis $+ 0,8\%$ größtenteils in der Auswertegenauigkeit solcher Messungen. Die thermodynamisch errechneten Werte ergaben $0,3$ bis $0,8\%$ kleinere Werte im Vergleich zu den Flügelmessungen.

Es wird näher erläutert, daß bei diesem Ultraschallverfahren keine Eichung der Meßeinrichtung notwendig ist und es außerdem nicht erforderlich ist, bei ruhender Flüssigkeit die Apparatur zu prüfen. Die ganze Meßeinrichtung kann außerhalb der Strömung angeordnet werden, wodurch die zu messende Strömung vollkommen unbeeinflusst bleibt.

Weiterhin wird durch eine Koinzidenz-Methode eine integrierende Messung auch über längere Zeiträume ermöglicht, was bei schwankenden Strömungsverhältnissen eine gute Mittelwertbildung gewährleistet.

Die Arbeit ist durch eine Auswahl von Fotoaufnahmen des Verfassers ergänzt.

1. Problemstellung

Es gibt eine große Anzahl Methoden, die mittlere Geschwindigkeit strömender Flüssigkeiten im Meßquerschnitt und damit die durchfließende Menge zu bestimmen. Trotz dieser Vielfalt wird für mehrere Anwendungsgebiete nach neuen Meßmöglichkeiten gesucht, die besser die gestellten Anforderungen erfüllen, z. B. Meßdurchführung mit größerer Genauigkeit, leichterer Einbau, keine Behinderung der Strömung beim Meßvorgang, einfache Ablesung bzw. Aufzeichnung der Meßresultate, schnelle und möglichst direkte Auswertung mit entsprechend niedrigen Kosten.

1.1 Wasserturbinen

Eines der wichtigsten Anwendungsgebiete einer derartigen Strömungsmessung ist im Wasserturbinenbau gegeben, wo zur Bestimmung des Turbinenwirkungsgrades die Ermittlung der sekundlichen Durchflußmenge Voraussetzung ist.

Bei kleineren Wassermengen kommen Behälter-, Überfall- und — wo sich solche Einbauten nicht verwirklichen lassen — Flügelmessungen in Frage [1]. Bei größeren Wassermengen, wie sie in Nieder- und Mitteldruckanlagen auftreten, kommt heute in Europa meistens nur die Flügelmessung zur praktischen

Anwendung. Von den übrigen Meßverfahren (Gibson-, Allen-Methode, Mischverfahren, Thermodynamische Methode) hat sich bei uns bisher noch keine durchsetzen können. Lediglich die in Frankreich entwickelte Thermodynamische Methode [2], mit der gute Ergebnisse erzielt wurden, stößt auf größeres Interesse. Allerdings ist sie vorläufig nur für Fallhöhen über 100 m verwendbar. Die meist gebrauchte Flügelmessung ist, bei richtiger Durchführung, genügend genau, doch leider bedingt sie besonders bei großen Querschnitten langwierige Vorbereitungen und Auswertungen, wodurch der materielle Aufwand sehr oft untragbar wird. Abgesehen davon können bei einigen modernen Anlagen aus wirtschaftlichen Erwägungen vielfach die für Flügelmessungen notwendigen Einbaubedingungen nicht mehr eingehalten werden, so daß solche Messungen auch mit Komponentenflügeln recht problematisch werden.

Aber nicht nur bei Abnahmeversuchen, sondern auch als fest eingebaute Kontrolleinrichtung mit Einbauten, die alle außerhalb des Strömungsquerschnittes angebracht werden können, erscheint die Ultraschallmethode geeignet, um z. B. die günstigste Leit- und Laufradeinstellung bei Kaplan-turbinen im gesamten Fallhöhenbereich zu ermitteln, oder um bei Großanlagen mit mehreren Einheiten die günstigste Lastverteilung einzustellen und damit die optimale Gesamtleistung zu erzielen [3].