

Prom. Nr. 2939

# Experimentelle Verfolgung zwei- dimensionaler instationärer Gasströmungen auf Grund der Gas-Flachwasser-Analogie

VON DER  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN ZÜRICH  
ZUR ERLANGUNG DER  
WÜRDE EINES DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
GENEHMIGTE  
PROMOTIONSARBEIT

VORGELEGT VON

**Hans-Rudolf Dinkelacker**

dipl. Masch.-Ing. ETH

von Wittenbach (SG)

Referent: Herr Prof. Dr. G. Eichelberg

Korreferent: Herr Prof. Dr. J. Ackeret



Zürich 1959   Dissertationsdruckerei Leemann AG

## Zusammenfassung

Eine zweidimensionale Gas-Flachwasser-Analogie ist allgemein nur für ein hypothetisches ideales Gas, bzw. für einen hypothetischen idealen Dampf, mit  $\kappa = 2$  und nur für eine verlustfreie Strömung exakt möglich. Der Strömungskanal muß dabei rechteckigen Querschnitt aufweisen. Für Unterschallströmungen ( $M < 0,7$ ) ist der Einfluß von  $\kappa$  unbedeutend; es ist hier selbst dann eine gute Übereinstimmung zu erwarten, wenn es sich um ein Gas von  $\kappa = 1,4$  oder um einen Dampf von  $\kappa = 1,3$  handelt. Für schallnahe und Überschallströmungen dagegen fällt mit größer werdender Machscher Zahl der Kompressibilitätseinfluß immer stärker ins Gewicht, so daß mit zunehmender Abweichung der Analogie zwischen kompressibler Gasströmung und inkompressibler Flachwasserströmung zu rechnen ist. Für Strömungen nach nicht isentropen Zustandsänderungen und in einzelnen dreidimensionalen Strömungen bietet eine Maßstabsänderung eine gute, angenäherte Modellähnlichkeit. Infolge von Erscheinungen, die sich durch Zusammenwirken von Vertikalgeschwindigkeit, Oberflächenspannung und Bodengrenzschicht ergeben und die in der Gasdynamik kein Analogon besitzen, sind wir bei instationären Vorgängen (Wellen, Verdichtungsstöße) gezwungen, mit seichtem Wasser zu arbeiten, um so mehr, als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Energie eigentlich der Wellengruppengeschwindigkeit entspricht, die nur in diesem Gebiet mit der Einzelwellengeschwindigkeit übereinstimmt. Die sich aus der Theorie ergebenden Wassertiefen für diese Übereinstimmung würden bei ca. 3—5 mm liegen. Im Hinblick auf den in diesem Fall allzu starken Einfluß der Bodengrenzschicht werden trotz ungenaueren Analogie-Verhältnissen besser Tiefen bis zu 15 mm verwendet. Hier sind Höhenunterschiede auch deutlicher sichtbar und für unsere Meßmethode besser zugänglich.

Um den Einfluß der Bodengrenzschicht zu verringern, besteht weiter die Möglichkeit, die Zähigkeit der Versuchsflüssigkeit durch Erwärmen herabzusetzen. In einfachen Fällen läßt sich diese auch durch Schiefstellen der Bodenplatte kompensieren. Das Arbeiten mit einem Schleppmodell in ruhender Versuchsflüssigkeit kann die Ausbildung der Bodengrenzschicht fast völlig verhindern. Dies kam aber aus praktischen Gründen bei den gemachten Versuchen nicht in Frage.

Im zweiten Teil wird eine für Warmwasserversuche verwendbare Strömungs- und Meßanlage zur Ausmessung von beliebigen zweidimensionalen, instatio-

nären Wasseroberflächen beschrieben. Das von einer Bogenlampe ausgehende und parallel gerichtete Licht projiziert einen Gummifadenraster auf die weißgefärbte Wasseroberfläche, wobei der Abstand von Original- zu projiziertem Fadenpunkt ein Maß für die Wassertiefe im Projektionspunkt ist (Projektionsmethode). Es können damit Flächen von ca.  $450 \times 300$  mm mit fast beliebig vielen Meßpunkten bis zu 32 Bilder/sec. aufgenommen und deren Höhen mit einer Genauigkeit von kleiner  $\pm 0,06$  mm ausgewertet werden. Läßt man das parallele Licht ganz flach auf die mit Wellenzügen durchzogene Oberfläche fallen, so entstehen durch die hellbeleuchteten Kämme und die dunklen Täler äußerst anschauliche Bilder (Schattenmethode).

Weiter sind die Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Wassersprüngen und von Oberflächenwellen geprüft worden. Sie zeigen eine durchaus gute Übereinstimmung mit der Theorie.

Abschließend wurde die entwickelte Projektionsmethode anhand einiger Strömungsbeispiele im Flachwasserkanal erprobt und eine Auswertung der Bilder vorgenommen. Bei einem Beispiel sind drei zeitlich aufeinanderfolgende Aufnahmen nach der Projektionsmethode und deren Auswertungen mit den entsprechenden durch die Schattenmethode aufgenommenen Bildern verglichen.