

## **Entstehung von Wirbeln bei Wasserströmungen.**

Von Prof. Dr. L. PRANDTL.

(Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung, Göttingen).

Die Aufnahmen sind nach der von Prof. Dr. AHLBORN in Hamburg ausgearbeiteten Methode gewonnen. Die Objekte werden mittels eines Wagens durch das ruhende Wasser eines Tanks geschleppt; die Aufnahmekamera fährt bei der Mehrzahl der Bilder mit dem Objekt mit, wodurch der Eindruck entsteht, als ob das Objekt in Ruhe wäre und das Wasser strömte. Die Bewegung wird dadurch sichtbar gemacht, daß feine Aluminiumflitterchen auf das Wasser gestreut sind. Bei einigen Versuchen ist absichtlich der Wasserspiegel um ein Weniges höher eingestellt als der obere Rand des Versuchsobjektes, so daß hier die Wasseroberfläche ein wenig gegen den Rand zu geneigt ist. Hierdurch reichern sich die Aluminiumteilchen in der Nähe des Objekts an und es werden dadurch die Flüssigkeitsteile, die ursprünglich am Objekt angelegen haben, als Stellen dichterere Bestreuung besonders gekennzeichnet.

Die dargestellten Vorgänge sind mit wenigen Ausnahmen „ebene Strömungen“, d. h. die Objekte reichen bis zum Grund des Wassertanks herunter, und es ist die Bewegung in allen waagerechten Schichten dieselbe wie die sichtbar gemachte Bewegung der Oberfläche.

Teil 1 befaßt sich mit der Entstehung von Wirbeln und mit der künstlichen Beeinflussung der Wirbelbildung (Literatur z. B. L. PRANDTL: „Abriß der Strömungslehre“, III. Abschn. § 6 u. 7; auch „Magnuseffekt und Windkraftschiff“, Naturwissenschaften 1925, S. 93). Die ersten 6 Szenen zeigen die Entstehung von Wirbeln an runden Körpern, zunächst an einem Kreiszyylinder (einmal im Gesamtbild und einmal in Großaufnahme die Gegend, in der die Wirbel entstehen), dann an einem großen länglichen

Körper, von dem nur die hintere Hälfte gezeigt wird. Die Strömungsgeschwindigkeit ist in diesem Fall besonders klein gewählt, um eine genügend dicke Grenzschicht zu erzielen, deren Umkehr infolge des Druckanstiegs gut beobachtet werden kann. In allen drei Fällen ergibt sich zunächst eine Strömung ohne Wirbel (Potentialströmung); später führt die Rückströmung in der Grenzschicht zur Wirbelbildung. Nach Ausbildung des Hauptwirbels ist eine zweite Ablösung (Bildung eines Sekundärwirbels) zu beobachten. Die nun folgenden Aufnahmen mit dem elliptischen Zylinder zeigen, daß bei sehr flach gewölbten Oberflächen die Strömung sich nach der Ablösung durch Wirbelbildung wieder anlegen kann, wobei die Strömung von da ab turbulent verläuft. Bei sehr kleiner Geschwindigkeit („unterkritischer Strömung“) ist die Wirbelbildung zu schwach und die Strömung bleibt abgelöst.

Die nächsten 4 Szenen zeigen die Wirbelbildung an scharfen Kanten, die in diesem Fall sofort mit dem Beginn der Bewegung einsetzt. Der hinter einem Tragflügel gebildete „Anfahrwirbel“ hat als Gegenwert der Zirkulation um den Tragflügel eine besondere Bedeutung in der Tragflügeltheorie [Abriß II, § 10 und III, § 15\*) und 16\*]). Wird der Tragflügel kurz nach dem Ingangsetzen wieder angehalten, so entstehen zwei gegenläufige Wirbel, die sich nach den Helmholtzschen Sätzen (Abriß II, § 11) selbständig weiterbewegen. Die nächsten zwei Szenen zeigen Vorgänge am rotierenden Zylinder, wo durch Beeinflussung der Grenzschicht durch die mitbewegte Oberfläche der eine der beiden Wirbel unterdrückt wird. Man erkennt den Anfahrwirbel und den ihm entsprechenden zirkulatorischen Anteil der Umströmung, der nach dem Abstoppen der Zylinderdrehung als freier Wirbel sichtbar wird. Durch Absaugen der Grenzschicht läßt sich die Strömung ebenfalls beeinflussen. Es unterbleibt auch hier die Ablösung und es können dadurch sehr ungewohnte Strömungsbilder, z. B. eine wirbelfreie Ausbreitung der Strömung in einem stark erweiterten Kanal, erzeugt werden.

Der zweite Teil bringt Anwendungen auf die Strömung durch Krümmer, Hohlräume und Verzweigungsstücke. In der

---

\*) In der III. Auflage (1941) § 17 u. 18.

Umlenkung ist durch Zentrifugalwirkung außen höherer Druck als innen. Es ergibt sich also Druckanstieg und Ablösung auf der Außenseite am Beginn des Krümmers und auf der Innenseite am Ende des Krümmers. In dem Spiralgehäuse mit Abfluß nach unten stellt sich im Verlauf des Vorganges eine Strömung mit Geschwindigkeiten umgekehrt proportional zum Abstand vom Wirbelzentrum ein. Bei den Strömungen durch die Kästen ergibt sich, wenn der eintretende Strahl nicht bis zum Grunde reicht, und so die Räume zu beiden Seiten des Strahls unten herum in Verbindung stehen, im wesentlichen ein gerader Strahl; reicht der Strahl jedoch bis zum Grunde des Kastens, so sind die beiden Toträume von einander abgesperrt. Es stellt sich jetzt ein Druckunterschied ein, durch den der Strahl unmittelbar auf die Ausflußöffnung zufließt. Bei den Verzweigungsstücken ist die Wirkung dieser „Absperrung“ ebenfalls zu beobachten. Wenn für den Abfluß zwei Wege gleichzeitig offen sind, dann werden diese Kanäle im Dauerzustand nur etwa halb von der Strömung gefüllt, da statt der Verzögerung der Strömung eine Ablösung eintritt. Bei den T-Stücken ergibt sich bei Ablenkung nach der Seite auch eine Ablösung der Strömung an der geraden Wand (deren Möglichkeit gelegentlich bestritten worden war).