

Umfangskraft P_u , die darauf wirkende Radialkraft P_r ergeben sich dann zu

$$P_u = m \frac{dc_u}{dt} - m \frac{c^2}{\rho} \sin \alpha, \quad P_r = m \frac{dc_r}{dt} + m \frac{c^2}{\rho} \cos \alpha.$$

Unter Einführung des Wertes (1), sowie unter Berücksichtigung der Beziehung

$$\frac{c_u}{r} = \frac{c}{\rho}, \quad (2)$$

welche besagt, daß die Winkelgeschwindigkeit des Punktes M hinsichtlich der beiden Drehungsmittel O und O' dieselbe sein muß,¹⁾ schreiben sich die den Kräften P_u und P_r zugeordneten Beschleunigungen $b_u = \frac{P_u}{m}$ und $b_r = \frac{P_r}{m}$ in Umfangs- und Radialrichtung in der Form

$$b_u = \frac{dc_u}{dt} - \frac{c_r c_u}{r}, \quad b_r = \frac{dc_r}{dt} + \frac{c_u^2}{r}. \quad (3)$$

Mit

$$c_r = - \frac{dr}{dt} \quad (4)$$

vereinfacht sich die erste Gleichung (3) auf

$$b_u = \frac{1}{r} \frac{d(rc_u)}{dt} \quad (5)$$

Die Gleichungen (3) und (5) gelten nicht nur für den Fall unendlich vieler ruhender Schaufeln AA' , sondern auch für den Fall unendlich vieler um O umlaufender Schaufeln SS' , wenn hierbei aus der Schaufel SS' welche den relativen Wasserweg darstellt, mit Hilfe des Geschwindigkeitsdreieckes $w - u - c$ in bekannter Weise auf den absoluten Wasserweg übergegangen wird.

Die Gleichungen (3) und (5) gelten auch für den Fall, daß das Wasser seine Bewegungsrichtung umkehrt; c_r wechselt hierbei sein Vorzeichen.

Nach Gleichung (5) kann $b_u \equiv 0$ sein. Ist $b_u < 0$, so wird das Wasser in der Umfangsrichtung verzögert. Bei umlaufender Schaufel — und diese sei hier allein verfolgt — entspricht dies einer Kraftmaschine mit ausschließlich oder wenigstens teilweise dynamischer Arbeitsübertragung im Laufrade, demnach z. B. einer Francisturbine. Ist $b_u > 0$, so wird das Wasser in der Umfangsrichtung beschleunigt, so daß bei umlaufender Schaufel eine Arbeitsmaschine, also eine Kreiselpumpe vorliegt. Ist schließlich $b_u = 0$, so erfolgt längs der Schaufel keine Arbeitsübertragung; es liegt dann das arbeitsfreie Schaufelende einer der genannten Turbomaschinen vor. Der Fall $b_u = 0$ ist, wie aus Gleichung (5) unmittelbar hervorgeht, durch die Beziehung

$$r c_u = \text{konstant}, \quad (6)$$

den sogenannten Flächensatz gegeben. Er gilt, wie ersichtlich, für die arbeitsfreien Schaufelenden der erwähnten Turbomaschinen. Hat in einem Spezialfälle die Konstante in Gleichung (6) den Wert 0, so kann dies nur für $c_u = 0$ erfüllt sein, was z. B. bei der Turbine der Schaufelung des Laufrades mit rein statischer Arbeitsübertragung, also den verschiedenen Formen der geradschaufligen Propellerturbine entspricht.

Im Sonderfalle $\alpha = 0^\circ$ ist nach Gleichung (1) $c_r = 0$, nach Gleichung (4) demnach auch $r = \text{konstant}$; dann sind die Bahnen AA' und

¹⁾ Vergl. die Ausführungen in der deutschen Wasserwirtschaft 1927, Heft 9, Seite 287.

SS' Kreise mit dem Mittelpunkte O . Hierdurch geht die vollkommen unfreie Wirbelströmung in eine vollkommen unfreie kreisende Strömung über, wofür nach Gleichung (3) die Werte

$$b_u = \frac{dc_u}{dt}, \quad b_r = \frac{c_u^2}{r} \quad (3')$$

giltig sind. Dieser Sonderfall entspricht mit $b_u < 0$ der Achsialturbine mit teils oder rein dynamischer Arbeitsübertragung, also etwa der Jonvalturbine, mit $b_u > 0$ der achsialen Kreiselpumpe, während im Falle $b_u = 0$, also für $c_u = \text{konstant}$ arbeitsfreie Schaufelenden dieser achsial durchströmten Kreiselmachines vorliegen. Diese Schaufelenden sind bekanntlich krümmungsfrei. Der ganz spezielle Fall $c_u = 0$ verkörpert die geradschauflige Achsialturbine oder Kreiselpumpe mit rein statischer Arbeitsübertragung, somit z. B. die geradschauflige Propellerturbine mit achsialer Durchströmung des Laufrades.

Im weiteren Sonderfalle $\alpha = 90^\circ$ ist nach Gleichung (1) $c_u = 0$; hierfür verläuft die Bahn AA' rein

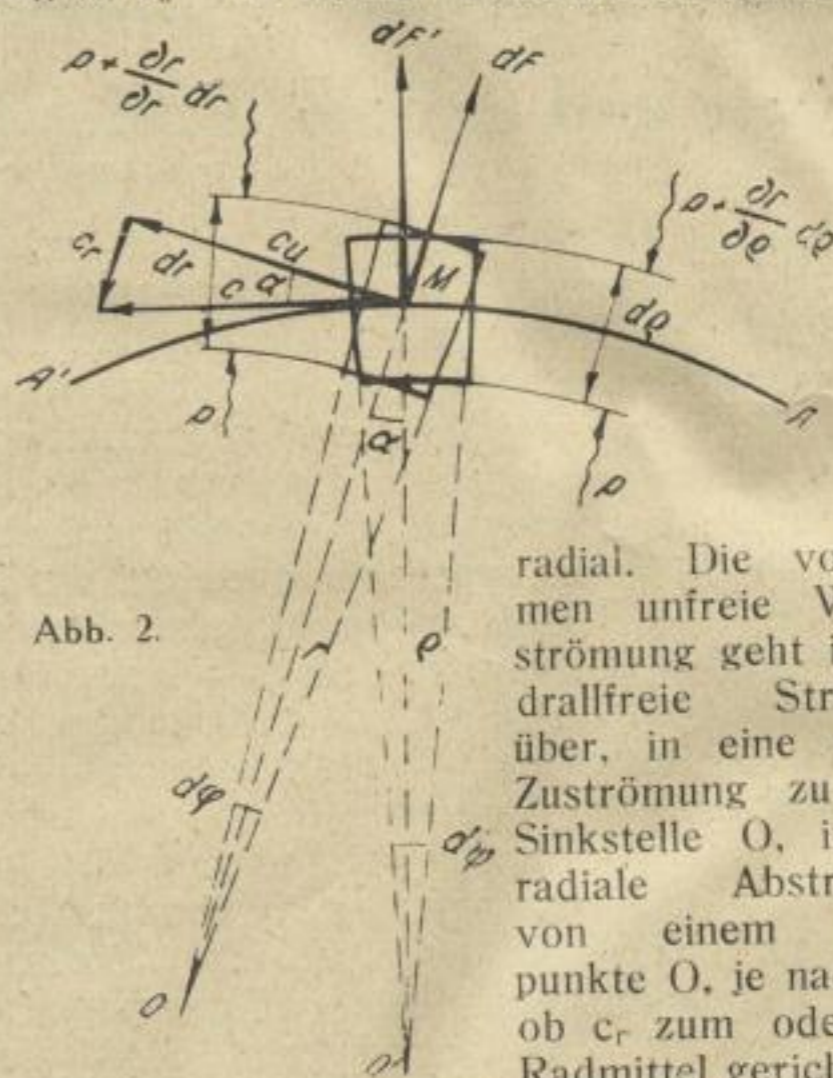


Abb. 2.

radial. Die vollkommen unfreie Wirbelströmung geht in eine drallfreie Strömung über, in eine radiale Zuströmung zu einer Sinkstelle O , in eine radiale Abströmung von einem Quellpunkte O , je nachdem, ob c_r zum oder vom Radmittelpunkt gerichtet ist.

Hierfür ist nach den Gleichungen (3)

$$b_u = 0; \quad b_r = \frac{dc_r}{dt} \quad (3'')$$

Auch hier ist eine Arbeitsübertragung auf dynamischem Wege nicht mehr möglich. Dies ist bei den Kraftmaschinen z. B. durch die Flügelradturbinen nach Bauart Lawaczek, bei den Arbeitsmaschinen durch die Finksche, die sogenannte neutrale Schaufelung verwirklicht.

2. Die vollkommen freie Wirbelströmung entspricht, wie eingangs hervorgehoben, dem Falle, daß in einem Rotationshohlraum keine Führungsflächen eingebaut sind. Dies trifft z. B. bei den modernen Vollstrahlurbinen, also z. B. bei den Francisturbinen mit stark zurückgezogener Laufradeintrittskante, den sogenannten Sichelschauflerrädern, oder noch ausgeprägter, bei den Propellerturbinen zu, bei welchen der Schaufelspalt, also der Spalt zwischen Leit- und Laufradschaufeln sehr groß ist. Da die genaue Kenntnis der Strömung im Spaltraum für die Berechnung dieser Turbinen sehr wichtig ist, liegt gerade heute die vollkommen