

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter

Vierter Jahrgang.

25. August 1916.

Heft 34.

Elementare Theorie der Wasserwellen und des Fluges.

Von A. Einstein, Berlin-Wilmersdorf.

Worauf beruht die Tragfähigkeit der Flügel unserer Flugmaschinen und der im Gleitflug durch die Luft dahingleitenden Vögel? Über diese Frage herrscht vielfach Unklarheit; ja ich muß sogar gestehen, daß ich ihrer einfachsten Beantwortung auch in der Fachliteratur nirgends begegnet bin. Ich hoffe daher, manchem Leser ein Vergnügen zu machen, indem ich mit der nachfolgenden kleinen Betrachtung aus der Theorie der Flüssigkeitsbewegungen diesem Mangel abzuhelpen suche.

Durch eine nach rechts hin (Fig. 1) sich verengende Röhre ströme in der Pfeilrichtung eine inkompressible Flüssigkeit, deren innere Reibung wir vernachlässigen. Wir fragen nach der Druckverteilung in der Röhre. Da durch jeden Querschnitt pro Zeiteinheit dieselbe Flüssigkeitsmenge hindurchströmen muß, so wird die Strömungsgeschwindigkeit q an den Stellen größten Querschnitts am kleinsten, an den Stellen kleinsten Querschnitts am größten sein. Die Geschwindig-

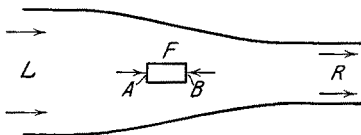


Fig. 1.

keit der Flüssigkeitsteilchen wird also bei Fig. 1 bei L am kleinsten sein und wird nach rechts hin gegen R stetig wachsen. Diese Beschleunigung der Flüssigkeitsteilchen kann nicht anders als durch die auf sie wirkenden Druckkräfte erzeugt werden. Damit das momentan zylindrische Flüssigkeitsteilchen F eine nach rechts beschleunigte Bewegung ausführe, muß bei A auf seine Rückfläche ein größerer Druck wirken als bei B auf seine Vorderfläche. Der Druck in A übertrifft den Druck in B . Durch Wiederholung dieser Schlußweise ergibt sich, daß in der Röhre von L nach R hin der Druck stetig abnimmt. Dieselbe Druckverteilung (Abnahme des Druckes von L nach R) finden wir durch analoge Betrachtung auch bei umgekehrter Strömungsrichtung der Flüssigkeit.

Verallgemeinernd können wir folgenden längst bekannten Satz der Hydrodynamik reibungsloser Flüssigkeiten aussprechen. Verfolgen wir ein Flüssigkeitsteilchen einer stationären Strömung auf seiner Bahn, so ist der Druck p stets da größer, wo die Geschwindigkeit q kleiner ist, und um-

gekehrt. Quantitativ ist dieser Satz für inkompressible Flüssigkeiten bekanntlich durch die Gleichung

$$p = \text{konst} - \frac{1}{2} \rho q^2$$

ausgedrückt, wobei ρ die Dichte der Flüssigkeit bedeutet.

Wir betrachten zunächst einige allgemein bekannte Beispiele zu diesem Satz. Ausfluß einer unter Druck stehenden Flüssigkeit aus einem Gefäße (*Toricelli*). Bei J (Fig. 2) ist der Druck größer, die Geschwindigkeit dagegen kleiner als bei A , derart, daß

$$p + \frac{1}{2} \rho q^2$$

während des Ausströmens konstant ist.

Als zweites Beispiel diene der Flüssigkeits-Zerstäuber (Fig. 3). Der durch L zugeführte Luftstrom erweitert sich nach seinem Austritt in die freie Luft nach allen Seiten unter Abnahme seiner Geschwindigkeit. Bei P herrscht deshalb ein geringerer Druck als bei G , also auch ein ge-

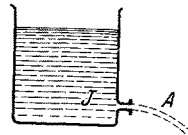


Fig. 2.

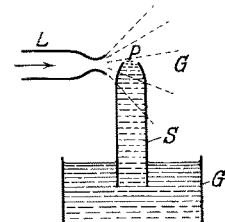


Fig. 3.

ringerer Druck als in der umgebenden ruhenden Luft. Durch diesen Unterdruck bei P wird Flüssigkeit durch die Steigröhre S aus dem Gefäß G empor gesaugt und durch den Luftstrom in kleinen Tröpfchen mitgerissen. (Daß es sich um einen Luftstrom und nicht um einen Strom inkompressibler Flüssigkeit handelt, ändert nichts Wesentliches an der Betrachtungsweise.)

Nach diesen Vorbereitungen wenden wir uns der Betrachtung der Wasserwellen zu. Es sei W (Fig. 4) eine senkrecht zur Papierebene zylindrische wellenförmige feste Wand, welche einen von links nach rechts laufenden Flüssigkeitsstrom einseitig begrenzt. Wir fragen nach den Druckkräften, welche die Flüssigkeit auf die Wand ausübt. Es ist klar, daß der der Flüssigkeit dargebotene Strömungsquerschnitt an den Stellen B größer ist als an den Stellen T . Die Flüssigkeit wird also bei B langsamer, bei T rascher strömen als an Stellen des Flüssigkeitsinnern, die weit von der Wand W abliegen. Die Flüssigkeitsströmung wird also bei B einen Überdruck, bei T einen Unter-

druck erzeugen. Die Flüssigkeit wird derart auf die Wand gedrückt, daß sie die vorhandenen Ausbiegungen der Wand zu vergrößern strebt. Die Strömung könnte sich also nicht aufrechterhalten, bei freier Flüssigkeitsoberfläche, bzw. wenn die Wand unendlich biegsam und dehnbar wäre¹⁾.

Diese Betrachtung hat aber wie unsere früheren zur Voraussetzung, daß außer der Strömung keine anderen Ursachen vorhanden sind, welche Drucke in der Flüssigkeit erzeugen. Wirkt jedoch in Richtung der Pfeile *S* die Schwere, so erzeugt diese in der Flüssigkeit Druckkräfte, welche nach unten hin zunehmen. Würde die Schwere allein wirken, so müßte also an den Stellen *B* ein geringerer Druck herrschen als an den Stellen *T*.

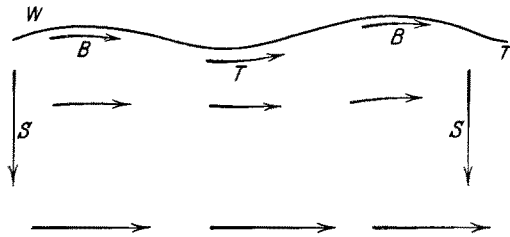


Fig. 4.

Strömung und Schwere erzeugen also dem Vorzeichen nach entgegengesetzte Druckdifferenzen zwischen *B* und *T*, und es ist klar, daß man die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit so wählen kann, daß die aus beiden Ursachen resultierenden Druckdifferenzen zwischen *B* und *T* verschwinden. Dann wird man die Wand *W* entfernen können, ohne daß die Flüssigkeitsbewegung gestört wird. Wir haben dann eine Flüssigkeitsströmung mit wellenartig gekrümmter Oberfläche vor uns, wie wir sie oft hinter einem Strömungshindernis beobachten können. Wir sehen sie, wenn wir, auf einem Brückenpfeiler stehend, flußabwärts hinter dem Pfeiler das Wasser beobachten.

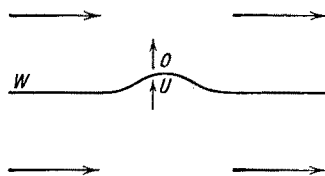


Fig. 5.

Denken wir den ganzen Vorgang von einem Beobachter aus beschrieben, der sich mit der inneren Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit nach rechts bewegt, so haben wir den gewöhnlichen Fall der Wasserwellen vor uns. Die Flüssigkeit ruht für diesen Beobachter in der Tiefe und die Berge *B* und Täler *T* der Wellen pflanzen sich mit konstanter Geschwindigkeit nach links fort.

Die Möglichkeit des Wogen-Vorgangs beruht also darauf, daß die statisch und dynamisch

zwischen Oberflächenpunkten verschiedener Höhe erzeugten Druckdifferenzen einander gerade aufheben.

Ganz ähnlich gestaltet sich die Erklärung der Tragkraft eines Flügels. In einem Flüssigkeits- oder Luftstrom sei tangential die senkrecht zur Papierebene zylindrische feste Wand *W* (Fig. 5) gestellt, welche mit einer nach oben vorspringenden Ausbuchtung versehen sei. Wäre diese Ausbuchtung nicht vorhanden, so würde auf die Fläche, abgesehen von den Wirkungen der unvermeidlichen Reibung, keine Kraft ausgeübt werden. Die Ausbuchtung aber wird die Flüssigkeitsströmung oberhalb und unterhalb der Wand beeinflussen, wodurch Drucke erzeugt werden.

Für die untere Strömung hat die Ausbuchtung eine lokale Querschnittsvergrößerung, also Verlangsamung der Strömung und somit Überdruck in *U* zur Folge. Oben dagegen bedeutet die Ausbuchtung eine Kontraktion des Querschnitts, also lokal erhöhte Strömungsgeschwindigkeit und somit einen Unterdruck in *O*. Die durch die Strömung erzeugten dynamischen Druckkräfte erzeugen also eine auf die Wand wirkende, nach oben gerichtete Kraft. Um diese Kraft zu erzeugen, braucht offenbar nur ein so großes Stück der Wand realisiert zu werden, als zur Erzeugung der wirksamen Ausbiegung der Flüssigkeitsströmung erforderlich ist. Wir haben dann den tragenden Flügel eines ohne Flügelschläge schwebenden Vogels oder einer Flugmaschine vor uns.

Aus dieser einfachen Überlegung sieht man bereits, daß es zum Fliegen nur insoweit einer Arbeitsleistung bedarf, als die unvermeidlichen Reibungswiderstände überwunden werden müssen. Wäre die Reibung nicht vorhanden, so könnte ein Vogel ohne Arbeitsleistung beliebige Strecken horizontal durchfliegen.

Betrachtungen über Entstehung und Fortentwicklung von Krebszellen.

Von Prof. Dr. Ferdinand Blumenthal, Berlin.

B. Der Kampf der Krebszellen mit den Geweben.

Die grundlegenden Befunde über die Anwesenheit von präformierten Abwehrstoffen im menschlichen Organismus beim Krebs und ihr Verhalten bei der Entwicklung von Krebgeschwülsten sind im Berliner Institut für Krebsforschung und im Pathologischen Institut, zum Teil in gemeinsamer Arbeit, erhoben worden. Zuerst wurden die *intensiv Krebsseweiß abbauenden Eigenschaften des Pankreas* festgestellt¹⁾. Der pankreatischen Verdauung erliegt das Krebsseweiß weit schneller als sonst Organseweiß; dem schlossen sich ähnliche Befunde in der *Leber* an (v. Leyden, P. Bergell und C. Lewin). Das Krebsgewebe wird von einem in diesem Organ enthaltenen Ferment aufgelöst; und was die Bedeutung dieser Befunde erst in das

¹⁾ Daß das Flattern der Fahnen auf Grund dieser Überlegung zu verstehen ist, ist wohl bekannt.

¹⁾ Gemeinsam mit H. Wolff.