

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 93/94 (1929)
Heft: 15

Inhaltsverzeichnis

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

INHALT: Der Luftwiderstand bei sehr grossen Geschwindigkeiten. — Das Lichtspieltheater Kapitol in Bern (mit Tafeln 15 und 16). — Die neue Elbebrücke in Hamburg. — Tagungen der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde und des englischen „Institute of Metals“ in Düsseldorf, 7. bis 11. September 1929. — Nekrologe: Walter Morf. — Mitteilungen: Eidgen. Techn. Hochschule. Zur Finanzierung von „Archi-

tektur-Werken. Basler Rheinhafen-Verkehr. Ein psychotechnischer Einführungskurs. Von der Reklameschau Berlin 1929. — Wettbewerbe: Spital des Bezirkes Courtelary in St. Imier. — Korrespondenz. — Schweiz. Verband für die Materialprüfungen der Technik. — Mitteilungen der Vereine: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. — Sitzungs- und Vortragskalender.

Band 94

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 15

Der Luftwiderstand bei sehr grossen Geschwindigkeiten.¹⁾

Von Obering. J. ACKERET, Privatdozent an der E. T. H., Zürich.

Drei Gebiete der technischen Wissenschaft sind es, die ein besonderes Interesse an den Gesetzen des Luftwiderstandes, allgemeiner gesagt des Gaswiderstandes, bei sehr grossen Geschwindigkeiten haben. Erstens die *Ballistik*, im besonderen die *äussere Ballistik*. Wenn man bedenkt, dass ein Maschinengewehr-Geschoss theoretisch im luftleeren Raum eine Schussweite von 80 km haben sollte bei 20 km Flughöhe und voller Durchschlagskraft am Ziel, dass es aber in Wirklichkeit nur rd. 4 km weit fliegt bei ständig sich verminderer Geschwindigkeit, sieht man ein, dass die Luftwiderstandsgesetze das Alpha und Omega der Ballistik sind. Die Theorie freifliegender Körper im luftleeren Raum ist tatsächlich nicht einmal als Näherung zu gebrauchen.

Zweitens hat der *Dampfturbinenbau* vom Beginn seiner Entwicklung an Dampfgeschwindigkeiten von mehreren Hundert Metern pro Sekunde angewendet. Hier sind hauptsächlich die *Reibungs- und Ablösungsverluste* in den Leit- und Laufkanälen der Turbinen von Bedeutung, da sie den Wirkungsgrad, oder mit andern Worten den Kohlenverbrauch unmittelbar beeinflussen. Auch eine prozentuell bescheidene Verbesserung wirkt sich bei den heutigen Riesenmaschinen sofort in ansehnlichen Geldersparnissen aus.

Als letzte ist auch die *Flugtechnik* allmählich in das Gebiet der hohen Geschwindigkeiten eingedrungen. Zwar ist z. Z. die Fluggeschwindigkeit auch der allerschnellsten Flugzeuge nicht grösser als 150 m/sec = 540 km/h, aber die Spitzen der Luftschrauben bewegen sich mit 200 bis 300 m/sec und mehr (1000 km/h). Da hat man bereits Erfahrungen gemacht, die den ballistischen sehr nahe verwandt sind. Ohne Zweifel werden die Fluggeschwindigkeiten in den nächsten Jahren noch weiter wachsen, auch wenn man nicht gleich die noch reichlich phantastischen Raketenflugzeuge in Betracht zieht.

Selbst scheinbar so entlegene Wissenschaften wie Astronomie oder Geophysik berühren ab und zu Fragen des Luftwiderstandes. Denken wir nur an die Meteore, die mit unerhörten Geschwindigkeiten bis 100 000 m/sec, also 360 000 km/h (= Entfernung Erde-Mond!) in die Atmosphäre eindringen und infolge des grossen Luftwiderstandes erglühen. Aus den beobachteten Verzögerungen kann man u. a. wichtige Schlüsse auf die Beschaffenheit der obersten Atmosphärenschichten ziehen.

Die uns hauptsächlich interessierende Frage lautet: Wie unterscheiden sich die Gesetze des Luftwiderstandes bei hohen Geschwindigkeiten von denen bei geringen? Welche neuen Erscheinungen sind zu erwarten? Die Theorie ist noch lange nicht so weit entwickelt, dass sie uns die Antwort klipp und klar geben könnte. Aber sie hilft uns doch die Frage zu präzisieren. Beispielsweise so:

Eine Kugel vom Durchmesser d werde mit der Geschwindigkeit v angeströmt. Auf Grund einfacher theoretischer Betrachtungen können wir das Widerstandsgesetz wie folgt schreiben:

$$W = c_w \frac{\rho}{2} v^2 \frac{\pi}{4} d^2 \quad \rho = \text{Luftdichte.}$$

Wäre der Koeffizient c_w konstant, so hätten wir es mit einem *rein quadratischen* Widerstandsgesetz zu tun, tatsächlich ist c_w variabel mit ρ , v , d usw. und zwar in

¹⁾ Antrittsvorlesung, gehalten an der E. T. H. am 4. Mai 1929.

zunächst unbekannter Weise. Es ist aber erfreulich, dass man theoretisch etwas Ordnung schaffen kann, indem sich zeigen lässt, dass c_w nur eine Funktion *zweier Zahlen* sein kann:

Erstens der sog. *Reynolds'schen Zahl*:

$$R = \frac{v d \rho}{\eta} \quad \eta = \text{Zähigkeit (Viskosität)}$$

Zweitens der *Mach'schen Zahl*¹⁾

$$M = \frac{v}{a} \quad a = \text{Schallgeschwindigkeit}$$

Die gleichzeitige Abhängigkeit von zwei Variablen kompliziert die Verhältnisse immer noch sehr. Aber glücklicherweise zeigt es sich, dass man oft in erster Annäherung die Einflüsse von M und R auf c_w als unabhängig voneinander betrachten kann.

In R steckt die Reibung η . Die Betrachtung dieser Abhängigkeit führt uns zu dem schwierigsten Kapitel der Aerodynamik, zur Turbulenztheorie. Es wäre ein hoffnungsloses Bemühen, auch nur andeutungsweise über diese Dinge in einer kurzen Stunde zu sprechen. Ich beschränke mich deshalb bewusst auf den hier wichtigeren Einfluss von M .

Die Schallgeschwindigkeit a hängt aufs engste zusammen mit der *Zusammendrückbarkeit* der Luft. In einem *nicht* zusammendrückbaren, inkompressiblen Körper breitet sich jeder kleine Stoss mit unendlicher Geschwindigkeit aus. Denken wir uns eine Stange aus solchem Material an einem Ende angestossen, so pflanzt sich die Bewegung ohne Zeitverlust bis ans fernste Ende fort, da kein Teil der Stange nachgibt. In einem kompressiblen Körper aber ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit von endlicher Grösse. M enthält also die Eigenschaft der Zusammendrückbarkeit. Damit verdichtet sich unser Problem zu der Frage: Welchen Einfluss hat die Zusammendrückbarkeit der Luft (gemessen durch die Zahl M) auf die Strömungerscheinungen?

In den folgenden Betrachtungen wollen wir nun an Hand einzelner typischer Beispiele von kleinen Geschwindigkeiten ausgehend zu immer grössern schreiten.

In Abbildung 1 ist ein Flügelprofil dargestellt, wie es etwa in der Flugtechnik Verwendung findet. Die voll

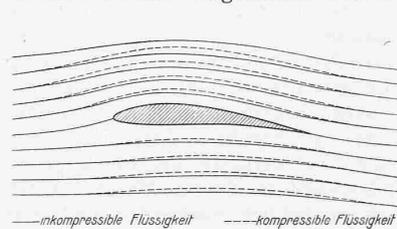


Abb. 1. Strömung um einen Tragflügel bei inkompressibler und kompressibler Flüssigkeit.

ausgezogenen Kurven sollen die Stromlinien einer inkompressiblen Flüssigkeit sein, die gestrichelt gezeichnet aber zu einem wirklichen Gase gehören, dessen Geschwindigkeit v in einiger Entfernung vom Profil einen Bruchteil (z. B. $\frac{1}{2}$) der Schallgeschwindigkeit a betrage. Da wo keinerlei Störung der Strömung durch das Profil vorhanden ist, also in grosser Entfernung, decken sich beide Liniensysteme; in der Nähe aber haben wir charakteristische Abweichungen, die qualitativ leicht überblickt werden können. Auf der Oberseite des Profils herrscht Unterdruck, d. h. tieferer Druck als in grosser Entfernung vom Flügel, auf der Unterseite Ueberdruck. Die in Wirklichkeit kompressible Luft gibt diesen Druckveränderungen nach, sie

¹⁾ In der Aerodynamik höherer Geschwindigkeiten tritt das Verhältnis v/a dauernd auf. Es empfiehlt sich deshalb, eine abkürzende Bezeichnung einzuführen. Da der bekannte Physiker Ernst Mach auf unserem Gebiete die grundlegende Bedeutung dieses Verhältnisses besonders klar erkannt und durch geniale experimentelle Methoden bestätigt hat, scheint es mir sehr berechtigt, v/a als Mach'sche Zahl zu bezeichnen.