

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95/96 (1930)
Heft: 14

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: 11.02.2026

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

INHALT: Zur Berechnung von spitzendigen Eindecker-Tragflügeln. — Haus B. Séquin am Zürichberg (mit Tafeln 8 bis 11). — Fliegeraufnahmen für Kartenzwecke. — Bubenberg- und Bahnhofplatz in Bern. — Rheinkorrektion oberhalb des Bodensees und die Wildbachverbauungen in Graubünden. — Mitteilungen: Ueber die Ursache von Brandfällen. Geschweißte Rohrleitungen in Hochhäusern. Dreirosenbrücke in Basel. Kraftwerke Oberhasli. — Wettbewerbe: Kunst- und Konzerthaus in Luzern. — Mitteilungen der Vereine: Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein. Sektion Bern. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 95

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. 14

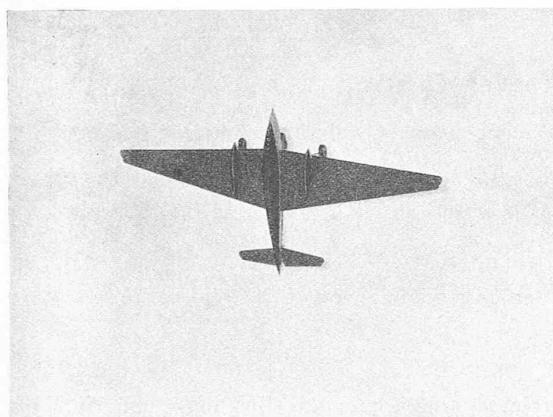


Abb. 1. Flugboot Rohrbach „Romar“, ein typischer Vertreter der Bauart mit freitragendem spitzendigem Eindeckerflügel.

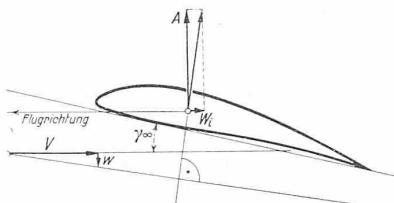


Abb. 2. Entstehung des induzierten Widerstandes W_i durch Veränderung der Anblaserichtung.

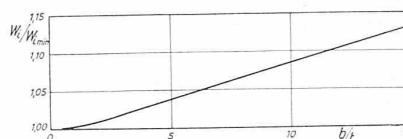


Abb. 3. Veränderung des Verhältnisses des induzierten zum kleinstmöglichen Widerstand eines Rechteckflügels in Abhängigkeit vom Seitenverhältnis, nach Betz.

Zur Berechnung von spitzendigen Eindecker-Tragflügeln.

Von Dipl. Ing. ED. AMSTUTZ, Zürich.

I. EINLEITUNG UND ZUSAMMENFASSUNG.

Seit einiger Zeit werden in immer steigendem Mass freitragende Eindeckerflugzeuge gebaut, deren Flügel nicht mehr den seit langem üblichen rechteckigen oder ellipsenähnlichen Grundriss aufweisen, sondern ausgesprochen spitzendig sind. Ein auffallender Vertreter dieser Bauart ist das Flugbot „Romar“ der Rohrbach-Gesellschaft (Abb. 1).

Es leuchtet ein, dass durch diese Grundrissform eine starke Konzentration des Auftriebes nach der Mitte (Symmetrie-Ebene) des Flügels erzwungen wird und dadurch das Biegemoment der Auftriebskräfte in jener Mittelebene bedeutend verkleinert wird. Da gleichzeitig der die Beanspruchung aufnehmende Querschnitt (das Flügelprofil) dort gerade besonders gross wird, ergeben sich insgesamt sehr kleine Beanspruchungen des Flügelmaterials und nebenbei auch willkommener Raum zur Unterbringung von Lasten im Flügel. Leider ist diese statisch so hervorragende Flügelausbildung aerodynamisch nicht ohne Nachteile, die sorgfältig abgewogen werden müssen, wenn Misserfolge vermieden werden sollen. Diesen aerodynamischen Fragen ist die nachfolgende Betrachtung gewidmet.

Die Tragflügeltheorie, wie sie von Prandtl¹⁾ hauptsächlich entwickelt wurde, hat vor allem gezeigt, dass die Widerstands Kräfte des Flügels in zwei scharf zu trennende, physikalisch prinzipiell verschiedene Anteile zu zerlegen sind. Erstens haben wir den sogen. Profilwiderstand, der durch Oberflächenreibung und Grenzschichtablösung hervorgerufen wird. Er hängt von der Profilform und der gesamten Oberfläche, nicht aber von der speziellen Umrissform ab, wir haben uns demgemäß nicht weiter damit zu befassen. Der hier allein in Betracht kommende zweite Anteil röhrt her von Sekundärbewegungen, die der Flügel der Luft dadurch erteilt, dass er ja ständig das zu tragende Gewicht des ganzen Flugzeuges an sie abgibt. Da in der Sekundärbewegung Energie steckt, muss der Flügel einen Widerstand erfahren, der (nicht sehr glücklich) „induzierter“ Widerstand genannt wird.

¹⁾ Siehe etwa L. Prandtl und A. Bets: „Vier Abhandlungen zur Hydrodynamik und Aerodynamik“. Göttingen 1927. Abb. II und III: Tragflügeltheorie I und II von L. Prandtl.

Im einzelnen kommt dieser induzierte Widerstand folgendermassen zustande: Die Luft, über die der Tragflügel hinweggestrichen ist, hat von ihm einen Antrieb nach unten erfahren, die Teile, an denen er dicht vorbeiging, sind stärker, die, die weiter weg waren, weniger stark in Bewegung gesetzt. Durch das Ausweichen vor den abwärts in Bewegung versetzten Luftmassen kommen seitlich neben den Flügelenden auch Seitwärts- und Aufwärtsbewegungen vor, wodurch sich in Verbindung mit der Abwärtsbewegung unter und über dem Flügel ergibt, das sich wegen des Beharrungsvermögens der Luft als langgestrecktes Wirbelsystem über die ganze durchflogene Bahn erstreckt. Der Flügel selber steht in einer von ihm selbst geschaffenen absteigenden Strömung und muss sich auf ihr wie auf einer schießen Ebene wieder hinaufarbeiten.

Durch diese absteigende Strömung wird ein Element des Flügels (Abb. 2) nicht entgegengesetzt der Richtung der Fluggeschwindigkeit V angeblasen, sondern unter einem um den Betrag w/V kleineren Winkel (gemessen in absolutem Mass), wenn w die Abwärtsgeschwindigkeit der Störungsbewegung am Orte des Flügelementes bedeutet. Der hydrodynamische Auftrieb steht dann auch nicht senkrecht zu V , sondern senkrecht zur resultierenden Geschwindigkeit, sodass in Bezug auf die Flugrichtung die Komponente Aw/V einen Widerstand, eben den induzierten Widerstand W_i ergibt.

Die Grösse der Abwärtsgeschwindigkeit w an jeder Stelle des Flügels ist abhängig von der Verteilung des Auftriebes längs der Flügelspannweite. Prandtl und Munk haben nachgewiesen, dass die Energie der Sekundärströmung und damit der induzierte Widerstand zu einem Minimum wird, wenn der Auftrieb nach einer Halbellipse über die Spannweite verteilt ist. Die Abwärtsgeschwindigkeit w ist dann längs dieser konstant, wodurch die rechnerische Behandlung des Widerstandsproblems wesentlich vereinfacht wird, da es auf die Lösung einer leicht lösbarer Potentialaufgabe zurückgeführt werden kann. Dieser Minimumsatz ist übrigens sehr verallgemeinerungsfähig und kann auch auf komplizierte Flügelsysteme übertragen werden.

Jede nicht elliptische Auftriebsverteilung erzeugt jedoch Abwärtsgeschwindigkeiten, die etwa in Flügelmitte oder an den Flügelenden am grössten sind, je nachdem sie volliger oder weniger völlig als die elliptische ist. Weil die Abwärtsgeschwindigkeit die Anströmungsrichtung der einzelnen Flügelemente ändert, wirkt sie selbst wieder auf die Auftriebsverteilung ein und die Ermittlung des induzierten Widerstandes für beliebige Flügelformen bietet wegen dieser Wechselwirkungen nicht unerhebliche Schwierigkeiten. Genau behandelt wurde der rechteckige Flügel durch Bets²⁾, das Ergebnis seiner Untersuchung ist in Abbildung 3 dargestellt.

²⁾ A. Bets: „Beiträge zur Tragflügel-Theorie mit besonderer Berücksichtigung des einfachen rechteckigen Flügels“. Gött. Diss. München 1919.