



Leseprobe

Handbuch der Luftfahrzeugtechnik

Herausgegeben von Cord-Christian Rossow, Klaus Wolf, Peter Horst

ISBN (Buch): 978-3-446-42341-1

ISBN (E-Book): 978-3-446-43604-6

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42341-1>

sowie im Buchhandel.

1.1 Die Anfänge des Motorflugs

Der erste kontrollierte Motorflug mit einem Fluggerät schwerer als Luft wurde von den Brüdern **Orville und Wilbur Wright** im Dezember 1903 in den USA durchgeführt. Obwohl diese Errungenschaft gelegentlich anderen zugeordnet wird – zu jener Zeit war eine Reihe von Erfindern und Tüftlern auf diesem Gebiet tätig – wird dies heute allgemein so gesehen. Mit ihrer Arbeit zeichneten die Brüder Wright sich dadurch aus, dass es ihnen gelang, die verschiedenen Anforderungen an einen kontrollierten Flug in Einklang zu bringen. Es sind dies Aerodynamik, Leichtbau mit der notwendigen Festigkeit, Motorisierung sowie Flugstabilität und Steuerbarkeit. Bei ihrer Arbeit haben sie alle Quellen genutzt, die für sie erreichbar waren. So spielen auch die Untersuchungen und Erfahrungen von **Otto und Gustav Lilienthal** zu Fluglasten und Profilierung der Flügel, die zehn Jahre vorher entstanden sind eine wesentliche Rolle. Die wiederholten und sich ausweitenden Flüge der Brüder Wright fanden in den USA Beachtung, und auch in Europa wurde letztlich ihr Primat akzeptiert. Selbst in einem so vom aufstrebenden Flugwesen begeisterten Land wie Frankreich wurde dies nach den Wrightschen Flugvorführungen in Le Mans im Jahre 1908 so gesehen.

Die dann folgende rasche Entwicklung der neuartigen Fluggeräte hatte dann allerdings doch ihren Fokus in Frankreich, wo **Santos-Dumont, Voisin, Latham und Blériot**

Flugmaschinen bauten. Bild 1.1.1 zeigt einen zeitgenössischen Stich, auf dem neben dem Wrightschen Flugapparat die Geräte von Latham, Blériot und Grade dargestellt sind. Wesentlicher Fortschritt einiger neuer Flugapparate war die Verlegung des Höhenleitwerks nach hinten, was zu einer in der Längsbewegung flugstabilen Konfiguration führte, die bei den Wrightschen Flugapparaten nicht gegeben war. Zwar konnte der Flug durch einen erfahrenen Piloten stabil gehalten werden, für Neulinge in diesem Metier war dies aber ein erhebliches Gefahrenmoment.

Markstein der weiteren Entwicklung der Flugtechnik war die Überquerung des Ärmelkanals durch **Louis Blériot** im Juli 1909. Blériot hatte im Gegensatz zu den meisten bekannten Konstruktionen einen Eindecker gebaut und geflogen.

In Deutschland ging die Entwicklung der Luftfahrt in dieser Zeit in eine andere Richtung. Man hielt die Entwicklung von **Luftschiffen** für zukunftsreicher, obwohl verheerende Unglücke ihre Entwicklung immer wieder verzögerte. Gerade diese Unglücke erzeugten aber ein neues Momentum bei Volk und Regierung, sodass die Entwicklung von Luftschiffen forciert wurde. Überall, wo ein **Zeppelin** unübersehbar auftauchte, entfachte er enorme Begeisterung.

Um die Entwicklung von Fluggeräten schwerer als Luft zu fördern, schrieb **Karl Lanz** im Jahr 1908 einen mit 40 000 Mark dotierten Preis (Lanz-Preis der Lüfte) aus, der an denjenigen vergeben werden sollte, der erstmals

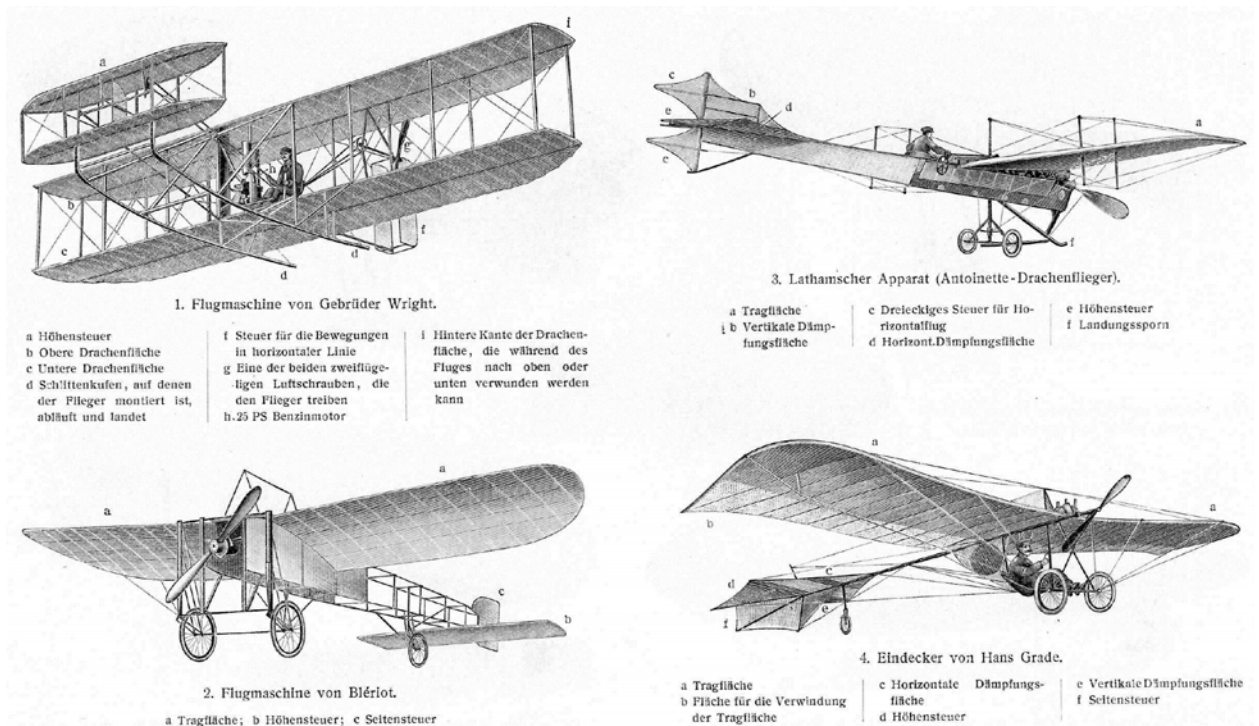


Bild 1.1.1: Flugmaschinen der Gebrüder Wright, von Blériot, Latham und Grade.

eine drei Kilometer lange Strecke in Form einer Acht um zwei Eckpunkte fliegt. Diesen Preis gewann der zu diesem Zeitpunkt nahezu unbekannte Ingenieur **Hans Grade**, der diese Leistung mit einer Eigenkonstruktion – ähnlich der von Blériot – gleich mehrfach erbrachte, im Oktober 1909 auch vor einer Jury auf dem Flugplatz Berlin-Johannisthal. Grade war Konstrukteur, Pilot und in den Folgejahren – dank des Preisgeldes als Startkapital – Fluglehrer und Flugzeug-Fabrikant. Er erwarb den deutschen Flugführerschein Nr. 2. Die Nr. 1 wurde an **August Euler** vergeben, der französische Voisin-Geräte flog und in der Folge auch produzierte.

Es war auch die Zeit, in der die ersten Luftfahrt-Forschungsanstalten gegründet wurden. So betrieb das National Physical Laboratory in England bereits Anfang des Jahrhunderts einen **Windkanal**. In Frankreich war **Gustave Eiffel** aktiv. In Deutschland gründete **Ludwig Prandtl** 1907 die Modellversuchsanstalt – später AVA – in Göttingen, und in Berlin wurde 1912 die **Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt** gegründet. Die Forschungsanstalten beschäftigten sich zu dieser Zeit jedoch vorrangig mit Problemen, wie sie bei Luftschiffen auftraten. Erst mit dem 1914 beginnenden Weltkrieg setzte hier ein Wandel ein.

In den USA tat sich nach dem Geniestreich der Brüder Wright wenig. Fortschritte bis zum ersten Weltkrieg wurden insbesondere in Frankreich gemacht. Das wurde seinerzeit selbst in Deutschland anerkannt.

1.2 Der Erste Weltkrieg

Der Weltkrieg gab der Entwicklung der Flugzeuge einen kräftigen Schub. Da die für Aufklärungszwecke eingesetzten Luftschiffe ihre Aufgabe nur unzureichend erfüllten – sie erwiesen sich als sehr gefährdet, wurden Flugzeuge zunächst für Aufklärungszwecke eingesetzt. Das änderte sich aber rasch, da man feststellte, dass Bombenabwurf und Luftkampf Optionen der Kriegsführung sind. So entwickelten sich mit den leistungsfähiger werdenden Motoren verschiedene Flugzeugtypen für die einzelnen Einsatzzwecke und dies auch in rasant steigenden Produktionszahlen. Kampfflieger wie **Manfred v. Richthofen** und **Ernst Udet** wurden als Helden gefeiert, und in den Entente-Ländern (Frankreich, England, Russland) und den USA war das nicht anders. Führende Flugzeugfirmen dieser Zeit waren in Deutschland Albatros und Fokker. Auch **Hugo Junkers** begann seine Produktion. Bild 1.2.1 zeigt eine **Albatros D.III**, ein Flugzeug, mit dem v. Richthofen am erfolgreichsten war. Wegen einer stärkeren Motorisierung ihr überlegen war die **SPAD S.XIII**, die auf Entente-Seite in großer Stückzahl eingesetzt wurde (Bild 1.2.2). Das beste Kampfflugzeug des

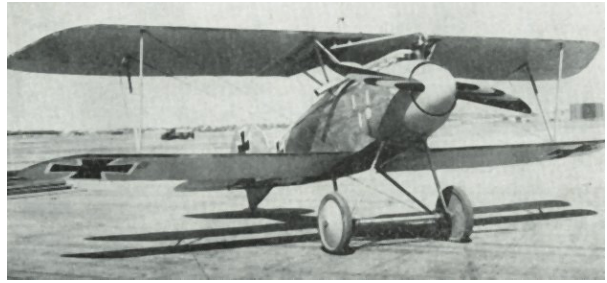


Bild 1.2.1: Jagdflugzeug Albatros D.III.



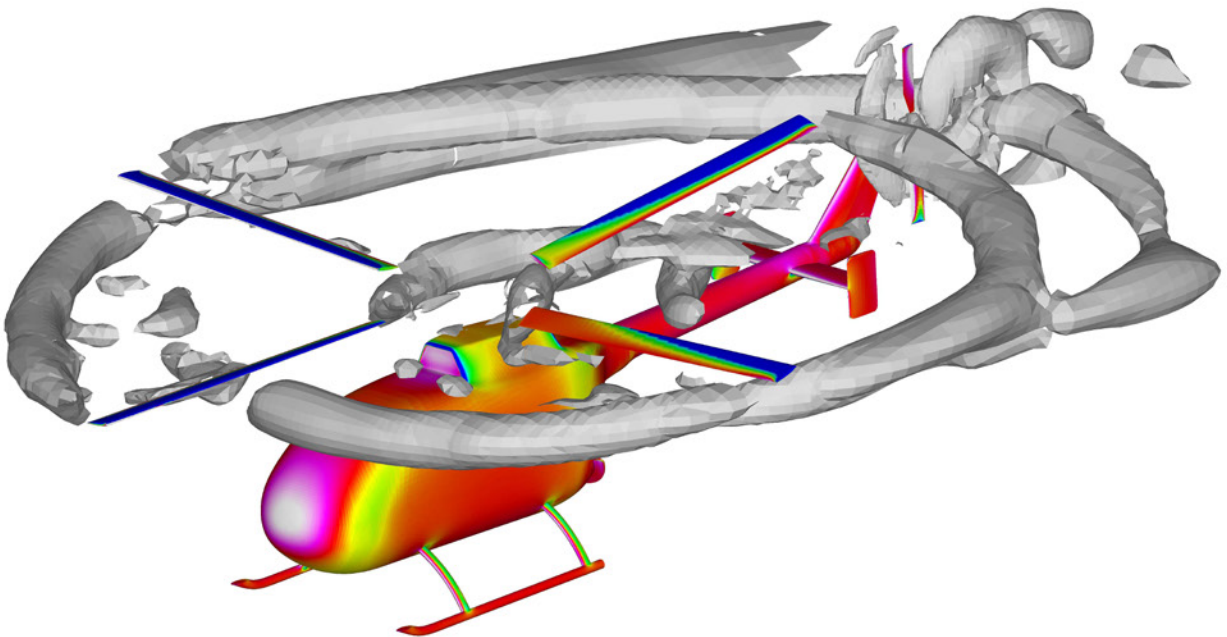
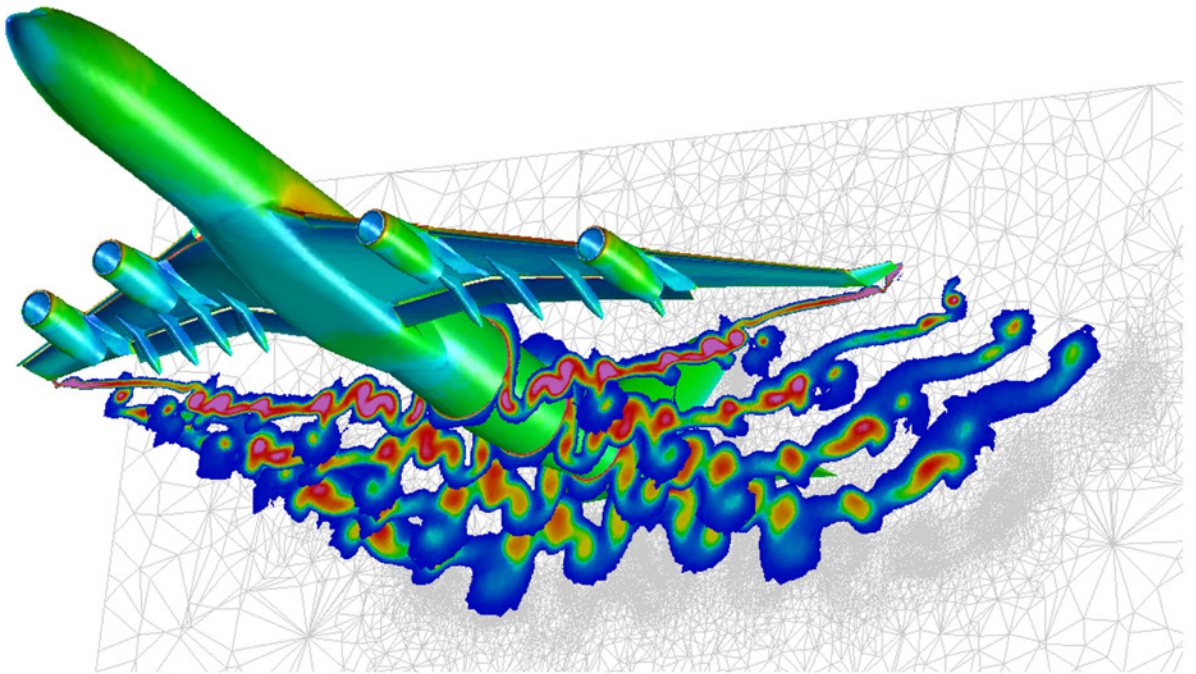
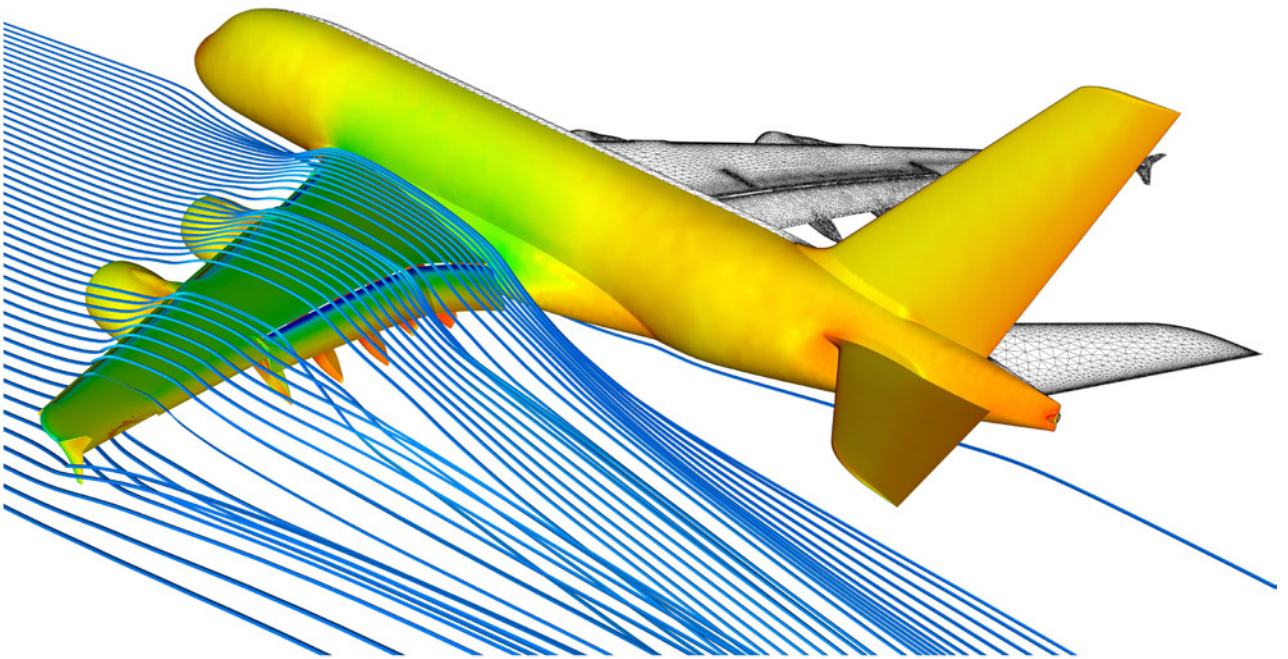
Bild 1.2.2: Französisches Doppeldecker-Jagdflugzeug SPAD S.XIII.



Bild 1.2.3: Hochdecker-Jagdflugzeug Fokker D.VIII.

Krieges war die **Fokker D.VIII** (Bild 1.2.3), die erst gegen Ende des Krieges zum Einsatz kam.

In dieser Zeit wurden wichtige Erfindungen gemacht, die zusammen genommen den Flugzeugbau revolutionierten. Das waren zum einen der Entwurf und die Realisierung des dicken, selbsttragenden Metallflügels durch **Hugo Junkers** und zum anderen die Erkenntnis **Ludwig Prandtls**, dass dicke Tragflügelprofile einen niedrigeren Luftwiderstand haben als dünne. Waren die Brüder Wright und alle ihre Nachfolger davon ausgegangen, dass gewölbte bespannte dünne Flügelgerippe den niedrigsten Luftwiderstand aufweisen, zeigte Prandtl anhand von Windkanalversuchen, dass dicke Profile mit einer gut gerundeten Nase deutlich günstiger sind. Das erlaubte den Bau von selbsttragenden Flügeln und die Abkehr vom Doppeldeckerprinzip mit einer Unzahl von Drahtverspannungen und/oder Streben, die einen wesentlichen Teil des Luftwiderstands ausmachen und damit die Flugleistung beeinträchtigen. Der Ersteinsatz dieser dicken Profile erfolgte an der **Fokker D.IX**.



2 Aerodynamik

Cord-Christian Rossow

2

Die Leistung eines Flugzeugs wird im Wesentlichen bestimmt durch die vier Größen **Auftrieb**, **Widerstand**, **Schub** und **Gewicht**. Bei Auftrieb und Widerstand handelt es sich um „aerodynamische“ Kräfte, die aufgrund der Relativbewegung zwischen dem Flugzeug und der umgebenden Luft entstehen. Die Bestimmung von Auftrieb und Widerstand sowie allen weiteren Kräften und Momenten, die auf ein Flugzeug wirken, ist Gegenstand des Fachgebiets der **Aerodynamik**. Die Aerodynamik wiederum ist ein Teil der Strömungslehre und beschreibt das Strömungsverhalten von Gasen.

Im Folgenden werden zuerst die **Grundgleichungen** und deren Vereinfachungen vorgestellt. Daran schließt sich ein Kapitel mit den Grundlagen zur Berechnung der **Luftkräfte** und **-momente** an. Es folgt ein Kapitel, in dem die wesentlichen **Flugzeugkonfigurationen**, d. h. Transportflugzeuge, Kampfflugzeuge und Hubschrauber, aus aerodynamischer Sicht erläutert werden. Aufgrund der herausragenden Bedeutung des Flügels sind dem **Flügelentwurf** und dem **Hochauftrieb** separate Kapitel gewidmet, gleiches gilt für die Aerodynamik der **Leitwerke**. Der immer größer werdenden Bedeutung von Fluglärm wird durch das Kapitel **Aeroakustik** Rechnung getragen. Die letzten beiden Kapitel geben einen Überblick über numerische und experimentelle Verfahren, die in der Aerodynamik eingesetzt werden.

Die Ausführungen in den einzelnen Unterkapiteln erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern sollen einen Überblick über das Fachgebiet vermitteln. Für tiefergehende Studien wird daher auf weiterführende Fachliteratur verwiesen. Die angegebenen Literaturzitate können hierzu als Orientierung dienen.

Formelzeichen und Symbole

Im Kapitel Aerodynamik werden soweit möglich die im Folgenden aufgelisteten Formelzeichen und Symbole verwendet, die sich weitgehend an der Luftfahrtnorm LN 9300 orientieren. Im Fall von Doppelbezeichnungen (z. B. bezeichnet f sowohl eine Frequenz als auch die Profilwölbung) wird die jeweilige Bedeutung im Zusammenhang erläutert. Die nachfolgende Auflistung ist nicht vollständig, da in einzelnen Unterkapiteln je nach Bedarf noch spezielle Bezeichnungen eingeführt werden. In solchen Fällen wird explizit auf die Bedeutung der zusätzlichen Bezeichnungen verwiesen.

Stoffbeiwerte

a	Schallgeschwindigkeit
c_p	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck
c_v	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen
g	Schwerebeschleunigung
k_W	Wärmeleitungskoeffizient
m	Masse
Pr	Prandtlzahl
R	stoffspezifische Gaskonstante
γ	Isentropenexponent
μ	dynamische Viskosität
ν	kinematische Viskosität
ϑ	stoffspezifische Konstante
ρ	Dichte

Mathematische und strömungsmechanische Größen

A, B	Jacobi-Matrizen
D	Deformationsgeschwindigkeitstensor
e	massenspezifische innere Energie
E	massenspezifische Gesamtenergie
E	Einheitstensor
f	Frequenz
f, g	Flussdichtevektoren
F	Flussdichtetensor
h	massenspezifische Enthalpie
H	massenspezifische Gesamtenthalpie
i_x, i_y	kartesische Einheitsvektoren (2D)
j	Gesamtimpuls
k_m	spezifische Massenkraft, Kraft pro Masseneinheit
k_V	Gesamtkraft, die auf das Volumen wirkt
k_S	Gesamtkraft, die auf die Oberfläche wirkt
Ma	Machzahl
m	Masse
n	Lastvielfaches
p	Druck
P	Leistung
q	dynamischer Druck, Staudruck
q_∞	dynamischer Druck der Anströmung
q	Vektor der Strömungsgeschwindigkeit
q_n	Geschwindigkeit normal zur Oberfläche
$\tilde{q}_{(\phi)}$	Zu- oder Abfluss einer Größe ϕ
$\dot{q}_W$	Vektor der Wärmestromdichte