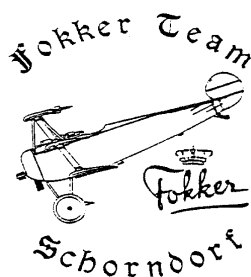


ACHIM SVEN ENGELS

<http://www.fokker-team-schorndorf.de>

**DEUTSCHE FLUGZEUGTECHNIK 1900-1920
CD 1**

Abhandlung über die Aerodynamik des FOKKER DR.I aus dem Kriegsjahr 1917



Alle Rechte vorbehalten
insbesondere die der Vervielfältigung
Umformulierung, Übersetzung
Datentransfer und Datenspeicherung jeglicher Art
sowie alle Verfilmungs-, Sende-, Vortrags- und Publikationsrechte.
Nachdruck, auch auszugsweise, ohne schriftliche Genehmigung verboten.

1.Auflage 100 Exemplare 1996

ISBN 3-930571-52-8

C 1996 by Achim Sven Engels
C CD-ROM 2001 by Achim Sven Engels
ISBN 3-930571-53-6

Design: Achim Sven Engels
Inhalt: Achim Sven Engels
Druck: **Querdenker AutorenUnion**

printed in Germany

Inhalt.

	Seite
Zum Geleit	1
1. Die Luftkräfte und der Luftwiderstand	
1.1. Der Luftdruck.....	2
1.2. Der Staudruck.	7
1.3. Der Luftwiderstand	9
1.4. Der Luftwiderstand verschiedener Körperformen.....	13
1.5. Luftwiderstand und andere Luftkräfte	19
2. Die Tragflügel	
2.1. Grundbegriffe; Auftrieb, Rücktrieb, Gleitzahl.....	20
2.2. Die Abhängigkeit des Auftriebs A und des Rücktriebs R von der Größe des Anstellwinkels α	22
2.3. Querschnitt und Grundriss der Tragfläche	24
2.4. Druckverteilung, Flächenbelastung und Konstruktives....	27
2.5. Geschwindigkeit für Waagrechtflug und Zugkraft bei gegebenem Anstellwinkel	32
3. Der Propeller	
3.1. Form und Wirkung eines Luftschraubenelements	34
3.2. Zugkraft und Widerstandskraftmoment des Propellers ...	37
3.3. Leistung und Wirkungsgrad des Propellers.....	41
3.4. Der „Schlupf“ der Luftschraube	42
4. Das Zusammenspiel der Tragfläche mit Propeller und Motor	
4.1. Die Luftschraube und der Motor.....	42
4.2. Die Luftschraube, der Motor und die Tragfläche	46
4.3. Das Steigen und das Sinken.....	48
4.4. Der Flug in der Höhe	52
4.5. Die Bedeutung des Propellers für die Flugleistung	55
5. Steuerung, Stabilität, Stabilisierung	
5.1. Allgemeines.....	56
5.2. Der Schwerpunkt des Flugzeuges sowie das Druckmittel der Fläche	60
5.3. Die Gleichgewichtserhaltung.....	62
5.4. Die an den Rudern und der Dämpfungsfläche des Dreideckers auftretenden Kräfte und das	

	Trägheitsmoment der Maschine.....	65
5.5.	Die Ruderanlenkung und die durch den Piloten aufzubringenden Kräfte für ihre Betätigung.....	69
5.6.	Die Funktionsweise der Steuerung	71
5.7.	Die Längsstabilität des Dreideckers	74
5.8.	Der Einfluss der Kreiselwirkung der rotierenden Massen des Motors.....	79
6.	Der Abflug des Dreideckers	
6.1.	Fahrwerk und Sporn.....	81
6.2.	Der Start.....	83
7.	Der Knick im Rumpf.....	88

Ansicht schräg v. vorn

*Fok. Dr. I
Le Rhône (Reihenmotor)
110 Pfl.*



Seitenansicht



Ansicht schräg von hinten



Gedruckt in der Lichtbildschneise
der Projektion des Lichtbildwesens.

Zum Geleit

Diese neue Reihe unter dem Titel

DEUTSCHE FLUGZEUGTECHNIK 1900 - 1920

soll dazu beitragen, der Aufgabe, welche sich das FOKKER-TEAM-SCHORNDORF gestellt hat gerecht zu werden und die erzielten Forschungsergebnisse dem interessierten Personenkreis zugänglich zu machen. In dieser Reihe stehen die technischen Aspekte der deutschen Luftfahrt im Vordergrund.

Es werden sowohl Hefte folgen, die sich ausschließlich mit technischen Beschreibungen von Flugzeugzellen befassen, als auch solche die sich mit anderen technischen Aggregaten beschäftigen, die zum Betriebe von Luftfahrzeugen dienen oder in solchen eingesetzt wurden. Die geschichtliche Entwicklung der deutschen Luftfahrt steht hierbei nicht im Mittelpunkt, wird aber auch nicht gänzlich übergangen.

Wir hoffen sehr, daß diese Heftreihe bei der Leserschaft anklang findet und Bestandteil der fachbezogenen Bibliothek eines jeden luftfahrttechnisch interessierten wird. In diesem Sinne wünschen wir diesen kleinen Werken viel Erfolg.

Um die hier zu besprechende Thematik begreifen zu können, ist ein gewisser Stand an verstandenen grundlegenden Informationen nötig. Da wir nicht davon ausgehen können, daß alle unsere Leser diesen Grundwissenstand besitzen, wollen wir daher nun bei "A" anfangen und die Grundkenntnisse der Aerodynamik einführen, um darauf aufbauend später anhand von einfachen Rechenbeispielen verschiedene Fälle am Fokker Dr.I klarzulegen.

Viele Leser dieser Abhandlung blieben aber auch bisher nicht von der Fluidmechanik (Strömungsmechanik) verschont und werden mit Sicherheit schon vieles darüber wissen. Darum wenden wir einen kleinen Kunstgriff an, damit auch ihnen nicht das Interesse an dieser Abhandlung abhanden gerät.

Im Laufe der vergangenen Jahrzehnte hat sich einiges auf dem Gebiet der Fluidmechanik getan. Namentlich in der Gestaltung der Formeln zur Berechnung unterschiedlichster Abläufe und Kräfte an Körpern unter Strömungseinfluss. Haben zu Beginn, die Konstrukteure in den Flugzeugfirmen sowie die Wissenschaftler der Versuchszentren in England, Frankreich, Deutschland usw. im Stillen vor sich hin gearbeitet, Formeln erstellt und dabei die verschiedensten Buchstabenbezeichnungen für einfache Gegebenheiten wie die mittlere Luftdichte, oder den Widerstandsbeiwert verwendet, so ging man nach dem zweiten Weltkrieg, als die Nationen immer enger zusammenarbeiteten dazu über, einheitlich genormte Bezeichnungen zu verwenden. Abgesehen davon, daß sich der Kenntnisstand um zahlreiche nützliche Formeln bis

heute stark vergrößert hat, haben sich hierbei die grundlegenden Rechnungen natürlich wenig verändert.

Damit auch dem Erfahrenen auf dem Gebiet der Aerodynamik hier die Zeit nicht zu lang wird, möchten wir von "A" angefangen alle Rechnungen mit den damals gängigen Formeln vornehmen. Auf diese Weise lernt nicht nur der Laie das Grundwissen der Aerodynamik, sondern der Fachmann nebenbei noch etwas geschichtliches darüber, wie während und nach dem ersten Weltkrieg gerechnet wurde. Wie gesagt, sollen Beispielrechnungen praxisnah auf den Dreidecker bezogen werden.

Diese Abhandlung soll keine umfassende Berechnung der Dreidecker-Aerodynamik darstellen, sondern vielmehr den interessierten Leser nach seiner Studie in die Lage versetzen für die unterschiedlichsten Flugsituationen, welche ihn besonders interessieren, die notwendigen Rechnungen durchzuführen und die dazu erforderlichen Diagramme selbst anzufertigen.

1. Die Luftkräfte und der Luftwiderstand

1.1. Der Luftdruck

Evangelista Torricelles (*15.10.1608 +25.10.1647) kam auf Empfehlung seines Lehrers *Castelli* 1641 zu *Galilei* und wurde dessen Nachfolger als Hofmathematiker des Großherzogs von Toskana.

Während dieser Zeit beschäftigte er sich mit den verschiedenen Materialien und erforschte dabei auch ihr Verhalten untereinander wenn sie gegenseitigen Drücken ausgesetzt wurden. So fand er heraus daß ein Quecksilber gefüllter Kolben, umgekehrt in ein Gefäß gestellt, nur ein bestimmtes Stück weit auslaufen konnte wenn keine Luft in den Kolben nachströmen konnte auch wenn er den Kolben vom Tellerboden abhob, solange sich der Kolbenrand noch im Quecksilber befand. Hieraus schloss er, daß der umgebene Luftdruck das restliche Quecksilber im Kolben hielt. Auch stellte er über einige Zeit hinweg fest, daß die Höhe des Quecksilbers im Kolben langsam schwankte. Also änderte sich der umgebene Luftdruck. Das gleiche Verhalten zeigten auch alle anderen Flüssigkeiten. Sein Instrument nannte er Barometer.

Unter der Bezeichnung Luftdruck versteht man daher den Druck, den die atmosphärische Luft auf eine bestimmte Fläche ausübt. Unter normalen Bedingungen beträgt der Luftdruck in Meereshöhe $1,036 \text{ kg/cm}^2$. Am besten kann man sich dies verständlich machen, indem man sich einen Hohlkörper luftleer gepumpt vorstellt. Auf seine äußere Oberfläche wirkt unter diesen Umständen ein Druck von $1,036 \text{ kg/cm}^2$. Für die Maßeinheit kg/cm^2 wurde zur Abkürzung die Bezeichnung "at" oder ausgeschrieben "Atmosphäre" eingeführt. Demnach beläuft sich der normale Luftdruck auf 1,036 at.

Das gängige Maß für die Messung des Luftdruckes ist der Stand der Quecksilbersäule im Barometer. Man entschied sich aus folgendem Grund für das Medium Quecksilber. Da das spezifische Gewicht des flüssigen Metalls Quecksilber 13,60kg/l oder $13,60\text{kg/dm}^3$ beträgt, ergibt sich für eine Säule von 1cm^2 Querschnitt und einer Höhe von 762cm ein Gesamtgewicht von $0,01 \cdot 7,62 \cdot 13,60 = 1,036\text{kg}$, also genau dem Druck den die Luft bei einer at auf 1cm^2 einer beliebigen Fläche ausübt. Der Quecksilberstand liegt also bei 1at Umgebungsdruck bei 762mm. Nimmt der Luftdruck, der auf das Quecksilber einwirkt ab, so fällt dessen Stand in der Säule.

Da die Dichte der Luft von besonderer Bedeutung für das Fliegen ist, kommen wir hier nicht umhin die drei Hauptgesetze der Luftdichte für ruhige oder gleichmäßig bewegte Luft zu erwähnen.

1. In jeder Luftschicht ist die Dichte der Luft immer gleich groß, wobei dies nicht für Orte gelten muss die räumlich weit voneinander getrennt liegen.
2. Mit zunehmender Höhe der Luftschichten nimmt der Luftdruck nahezu gleichmäßig ab.
3. Die Abnahme der Luftdichte steht unmittelbar im Zusammenhang mit der jeweiligen Bodentemperatur und der Abnahme der Temperatur mit zunehmender Höhe.

Der Betrag, mit welchem die Temperatur bei zunehmender Höhe fällt wird "Temperaturgradient" genannt. Seine Größe liegt je 100m bei ca. $0,5^\circ\text{C}$, aber mit ziemlicher Sicherheit zwischen 0°C und 1°C .

Es sei hier noch bemerkt, daß die Abnahme der Luftdichte mit der Größe des Temperaturgradienten wächst, und auch umso stärker ist, je geringer die Bodentemperatur angenommen wird.

Natürlich bedingt ist der Quecksilberstand in der Säule am Boden nicht immer mit 762mm anzunehmen, er variiert von Zeit zu Zeit und von Ort zu Ort in doch beträchtlichem Maße. Allerdings ist der Einfluss des Barometerstandes am Boden von eher untergeordneter Bedeutung für die Abnahme der Luftdichte mit zunehmender Höhe.

Unter der Annahme, die Luft sei ein "ideales Gas" mit der Gaskonstanten $R = 29,24$ (diese errechnet sich aus dem Quotienten des Drucks durch das Raumgewicht und der absoluten Temperatur) wurden theoretisch Tabellen errechnet, die den Luftdruck in mm Quecksilbersäule für verschiedene Bodentemperaturen und Temperaturgradienten angeben. Siehe Tabelle Nr.1.

Anhand dieser, wohlgerneht rein theoretischen Berechnungen, ist es möglich, die Abnahme des Luftdruckes durch Ablesung einer geeichten Barometerskala für die Messung der Flughöhe zu verwenden. Da der Luftdruck aber - wie oben bereits

erwähnt - von mehreren Bedingungen abhängt und doch sehr schwankt, beruht die Festlegung der barometrischen Höhenskala auf mehr oder weniger unsicheren Annahmen über den Temperaturgradienten, der Bodentemperatur usw. Daher können diese "Messungen lediglich als genügend genaue Schätzungen angesehen werden.

Die Dichte der Luft besitzt einen unmittelbaren Einfluss auf ihr spezifisches Gewicht. Man spricht hierbei auch vom Raumgewicht der Luft. Hierunter verstehen wir das Gewicht einer definierten Raumeinheit des Gases "Luft". In der Regel ist die Raumeinheit des Raumgewichtes, in welcher gemessen wird m^3 und die dazugehörige Gewichtseinheit kg. Als gängige Bezeichnung für das Raumgewicht eines Stoffes einigte man sich auf den griechischen Buchstaben γ (Gamma).

Tabelle Nr.1

Luftdruck in mm Quecksilbersäule für Höhen von 0 bis 8000m bei verschiedenen Bodentemperaturen und Temperaturgradienten

Höhe in Meter	Bodentemperatur 0°C			Bodentemperatur 10°C			Bodentemperatur 20°C		
	Temperaturabfall auf 100m:			Temperaturabfall auf 100m:			Temperaturabfall auf 100m:		
	0°C	0,5°C	1°C	0°C	0,5°C	1°C	0°C	0,5°C	1°C
0	762	762	762	762	762	762	762	762	762
1000	671	671	671	675	675	674	678	677	677
2000	593	590	587	598	596	593	603	601	598
3000	523	517	512	530	525	519	537	532	527
4000	462	453	443	470	462	452	478	470	461
5000	407	395	381	416	405	392	425	414	402
6000	359	344	326	369	354	387	378	364	348
7000	317	298	277	327	309	288	337	319	300
8000	280	258	233	290	269	245	300	279	256

Das spezifische Gewicht der Luft beträgt bei einer Umgebungstemperatur von 10°C und einem Barometerstand von 762mm genau $1,252 \text{ kg/m}^3$. Das Raumgewicht der Luft ist in unmittelbarer Abhängigkeit mit der Temperatur und dem Luftdruck zu sehen.

A.) Änderung des Luftdruckes

Wenn sich der Luftdruck ändert, so verändert sich auch proportional hierzu das Raumgewicht der Luft. Ist also unter den eben genannten Bedingungen das Raumgewicht der Luft gleich $1,252 \text{ kg/m}^3$ so sinkt das Raumgewicht der Luft, sobald der Druck fällt. Wie groß ist also das Raumgewicht der Luft bei einer Temperatur von 10°C und einem Luftdruck von 567mm Quecksilbersäule? Dies lässt sich einfach

berechnen. Man muss lediglich 1,252 mit dem Verhältnis 567:762 multiplizieren. Man setzt also $1,252 \cdot 567 : 762 = 0,932 \text{ kg/m}^3$. Aus dem hier gesagten können wir auch eine erste Formel zur Berechnung des Raumgewichtes der Luft ableiten, indem wir für Millimeterstand Quecksilbersäule die Variable b verwenden. Damit haben wir folgende Gleichung:

$$\hat{o} = \hat{o}_1 \cdot (b : 762)$$

Hierbei bezeichnet \hat{o}_1 das spezifische Gewicht der Luft bei 10°C und 762mm Quecksilbersäule.

B.) Änderung der Temperatur

Sobald sich die Temperatur ändert, ändert sich zwangsläufig auch das Raumgewicht eines jeden Stoffes, auch der Luft. Dies können wir darauf zurückführen, daß mit zunehmender Temperatur durch die zunehmende Schwingung der Einzelatome eine Ausdehnung erfolgt und somit weniger des Stoffes in die festgelegte Raumeinheit m^3 passt. Der sogenannte Ausdehnungskoeffizient der Luft für 0°C liegt bei $1/273$. Demzufolge vergrößert sich ein x-beliebiges Luftvolumen bei der Erwärmung von 0°C auf 1°C um ein 273stel.

Bei 10°C beträgt das Raumgewicht der Luft \hat{o}_1 wie verändert sich das Raumgewicht beim gleichen Barometerstand und einer Temperaturzunahme auf 20°C? Eine Luftmenge, die bei 0°C das Volumen 1m^3 besitzt, hat bei 10°C einen Rauminhalt von $1 + 10/273 = 283/273 \text{ m}^3$ und bei 20°C entsprechend $1 + 20/273 = 293/273 \text{ m}^3$. Im gleichen Maße der Vergrößerung des Volumens der Luft verringert sich das Raumgewicht der selben. Beträgt es also bei 10°C \hat{o}_1 , so ist es für 20°C:

$$\hat{o} = \hat{o}_1 \cdot (283 : 273) = 0,966 \hat{o}_1$$

allgemein für die Temperatur wäre dies:

$$\hat{o} = \hat{o}_1 \cdot (283 : (273+t))$$

Die beiden eben aufgeführten Gesetzmäßigkeiten lassen sich auch kurzerhand in einer Formel zusammenfassen:

$$\hat{o} = \hat{o}_1 \cdot (b : 762) \cdot (283 : (273+t))$$

Unter Herbeiziehung der in Tabelle Nr.1 gegebenen Werte lässt sich das Raumgewicht der Luft für jede beliebige Höhe und der einzelnen Temperaturgradienten und Bodentemperaturen das jeweilige Raumgewicht der Luft mit dieser Formel berechnen.