

# Versuchsvorbereitung P1-24: Aeromechanik

Michael Walz  
Gruppe 10

11. November 2007

## Inhaltsverzeichnis

<b>G Grundlagen</b>	<b>2</b>
<b>D Demonstrationsversuche</b>	<b>2</b>
D.1 Paralleler und senkrechter Einfall . . . . .	2
D.2 Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit . . . . .	2
D.3 Venturirohrs . . . . .	2
D.4 Aerodynamisches Paradoxon . . . . .	3
<b>1 Untersuchung des Luftstroms</b>	<b>3</b>
1.1 Homogenität der Luftströmung . . . . .	3
1.2 Windgeschwindigkeit $v$ . . . . .	3
<b>2 Strömungswiderstand</b>	<b>3</b>
2.1 Rücktrieb und Stirnfäche . . . . .	3
2.2 Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit . . . . .	4
2.3 Rücktrieb und Körperform sowie Oberflächenbeschaffenheit . . . . .	4
<b>3 Wirkungsweise eines Tragflügels</b>	<b>4</b>
3.1 Auftrieb . . . . .	4
3.2 Druck . . . . .	4

## G Grundlagen

In diesem Versuch soll der „Traum des Fliegens“ untersucht werden. Es soll ein Verständnis für fliegenden Objekte entstehen, die schwerer als Luft sind und zusätzlich einige zunächst paradox anmutende aeromechanische Gesetzmäßigkeiten verifiziert werden.

In abgeschlossenen System gilt die Bernoullische Gleichung:

$$\underbrace{p}_{\text{statischer Druck}} + \overbrace{\frac{\rho}{2}u^2}^{p_d: \text{dynamischer bzw. Staudruck}} = \underbrace{p_0}_{\text{Gesamt druck}} = \text{const.}$$

$\rho$ : Dichte       $u$ : Geschwindigkeit des Mediums

Sie sagt aus, dass der statische Druck absinken wird, wenn die Strömgeschwindigkeit des Mediums erhöht wird. In nicht abgeschlossenen System (z.B. Luftstrahl in ansonsten unbewegter Luft), kann sich der Gesamtdruck zwischen Luftstrahl und unbewegter Luft unterscheiden. Im Normalfall ist hier der statische Druck konstant.

Zur Berechnung der Strömgeschwindigkeit kann man meist (wenn sich das Medium durch Druck nicht komprimieren lässt) die Kontinuitätsgleichung verwenden:

$$A_1 \cdot u_1 \cdot \rho = A_2 \cdot u_2 \cdot \rho \quad A: \text{Querschnittfläche}$$

$$\Rightarrow A_1 \cdot u_1 = A_2 \cdot u_2$$

Die gesamte Kraft, die auf einen Körper wirkt, lässt sich mit Hilfe des formabhängigen Widerstandsbeiwert  $c_w$  berechnen:

$$F = c_w \cdot \frac{\rho}{2} u^2 \cdot A$$

## D Demonstrationsversuche

### D.1 Paralleler und senkrechter Einfall

Man stellt den Motorstrom der Windmaschine auf  $I = 1 \text{ A}$  und beobachtet die Manometeranzeige der Scheibensonde bei senkrechter und paralleler Ausrichtung. Bei senkrechter Ausrichtung der Scheibe zum Luftstrom ist zu erwarten, dass man einen erhöhten Druck misst.

### D.2 Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit

Sowohl bei parallelem wie auch bei senkrechtem Einfall soll nun die Windgeschwindigkeit variiert werden und festgestellt werden, wann sich die Manometeranzeige ändert. Wenn der Wind senkrecht auf die Messeinrichtung strömt, sollte bei ansteigender Windgeschwindigkeit auch der Druck ansteigen (Gesamtdruck). Bei paralleler Stellung sollte kein Druckanstieg festzustellen sein (statischer Druck). Ebenso soll man das Verhalten mit einer Rohrsonde untersuchen. Dabei ist das gleiche Verhalten zu erwarten.

### D.3 Venturirohrs

Nun wird der Verlauf des statischen Drucks innerhalb eines Venturirohrs<sup>1</sup> gemessen. An der Engstelle ist ein Absenken des statischen Drucks zu erwarten.

<sup>1</sup>ein Rohr mit Engstelle

## D.4 Aerodynamisches Paradoxon

Zwei Kreisscheiben sind mit kurzem Abstand gegenüber ausgerichtet. Die Luft stürmt vom Mittelpunkt radial nach außen. Wir messen den Druckverlauf und erwarten in der Mitte der Scheibe einen Unterdruck, der durch die schnell strömenden Luft entsteht. Dadurch werden die Platten angezogen und nicht abgestoßen, wie man erwarten könnte. Dies nennt man auch das *Aerodynamisches Paradoxon*.

# 1 Untersuchung des Luftstroms

## 1.1 Homogenität der Luftströmung

Es soll der Staudruck an mehreren Stellen im Luftstrom bestimmt werden. Ziel ist es, einen Bereich zu finden, indem die Luftgeschwindigkeit ausreichend konstant ist. In diesem Bereich werden alle Folgeversuche durchgeführt. Es muss ein gesundes Mittelmaß zwischen Nähe zur Düse und Entfernung gefunden werden. Zu nahe an der Düse könnte es zu Verwirbelungen an Messgerät führen, zu weit weg, ist der Abfall der Geschwindigkeit vermutlich zu groß.

## 1.2 Windgeschwindigkeit $v$

Ziel ist es die Windgeschwindigkeit  $v$  in Abhängigkeit zur Stromstärke  $I$  des Motors zu bestimmen. Der Zusammenhang lässt sich in der Form

$$v = \text{const.} \cdot I^m$$

darstellen. Die Luftgeschwindigkeit wird mit Hilfe des Staudruck über die Formel

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot p_d}$$

bestimmt. Wegen der Energieerhalten gilt:

$$P_{\text{elektrisch}} = P_{\text{Luftstrom}}$$

$$I^2 \cdot R = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot u = c_w \cdot \frac{\rho}{2} u^2 \cdot A \cdot u$$

$$u = \underbrace{\sqrt[3]{R \cdot \frac{2}{\rho \cdot A \cdot c_w}}}_{\text{const.}} \cdot I^{\frac{2}{3}}$$

Wir erwarten deshalb einen Exponenten von  $\frac{2}{3}$ .

# 2 Strömungswiderstand

## 2.1 Rücktrieb und Stirnfäche

Jetzt soll der Strömungswiderstand von drei Kreisscheiben verschiedener Größe bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit gemessen werden. Nach der Korrektur um den Widerstand des Haltestiels sollte ein linearer Zusammenhang zwischen Querschnittsfläche und Kraft erkennbar sein:

$$F \propto A$$

## 2.2 Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit

Bei der kleinen Kreisscheibe wird nun der Störungswiderstand in Abhängigkeit zum Staudruck gemessen. Aus dem Staudruck erhält man einen Wert für die Strömungsgeschwindigkeit. Es sollte folgender Zusammenhang erkennbar sein:

$$F \propto p_d \propto \rho \cdot u^2$$

## 2.3 Rücktrieb und Körperform sowie Oberflächenbeschaffenheit

Nachdem wir in den vorherigen Versuchen (hoffentlich) die Abhängigkeit

$$F \propto p_d \cdot A = \frac{\rho}{2} \cdot u^2 \cdot A$$

nachgewiesen haben, müssen wir nur noch die Proportionalitätskonstante bestimmen. Man bezeichnet sie als Widerstandbeiwert  $c_w$ , welcher von Körperform und Oberflächenbeschaffenheit abhängig ist. Wir messen bei  $I = 1$  A die  $c_w$ -Werte für Kugel, Halbkugel, Halbkörper mit Spitze, Halbkörper mit Rundung, Stromlinienkörper glatt und Stromlinienkörper rau. Jede Messung wird nach einer  $180^\circ$ -Drehung des Körpers wiederholt und die Werte anschließend mit der Literatur verglichen.

# 3 Wirkungsweise eines Tragflügels

## 3.1 Auftrieb

Bei konstanter Windgeschwindigkeit ( $I = A$ ) soll der Auftrieb und der Strömungswiderstand in Abhängigkeit zum Anstellwinkel  $\alpha$  ( $-40^\circ < \alpha < 40^\circ$ ) bei einer ebenen Platte und einem „Tragflügel“ gemessen werden. Beide Größen werden über dem Anstellwinkel aufgetragen. Ebenso wird der Auftrieb über dem Widerstand in einem s.g. Polarendiagramm aufgetragen. Aus diesem soll der Winkel bestimmt werden, bei dem der Quotient aus Auftrieb und Widerstand am Größten ist. Im fertigen Diagramm erhält man diesen Wert, indem man einfach den Punkt auswählt, dessen Verbindung mit dem Ursprung den größten Winkel<sup>2</sup> zu x-Achse bildet.

Vermutlich werden wir die Flugzeugindustrie bestätigen und herausfinden, dass der „Tragflügel“ besseren Flugeigenschaften als die ebene Platte aufweist.

## 3.2 Druck

Wir messen ebenfalls bei konstanter Windgeschwindigkeit den Druck an den Messstellen des „Tragflügels“ in Abhängigkeit zum Anstellwinkel  $\alpha$ . Zur Anschauung zeichnen wir die Druckvektoren bei einigen Winkeln ein. Druckvektoren sind Vektoren, die senkrecht zur Oberfläche des untersuchten Objektes stehen und den Betrag des gemessenen Druckes haben. Sinnvoll erscheint die Nulllage, einen positiven und einen negativen Winkel zu messen. Durch Integration über alle<sup>3</sup> Druckvektoren kann man die Kraft bestimmen, mit der Tragflügel auf Grund des Luftstroms gedrückt wird.

$$\vec{F} = \oint_A \vec{p} \cdot dA$$

A: Oberfläche des Körpers      $\vec{p}$ : Druckvektoren

<sup>2</sup>im Intervall  $[0, \frac{\pi}{2})$

<sup>3</sup>Wirklich alle, nicht nur die, an denen Messstellen vorhanden sind