

Versuch P1-26,28 - Aeromechanik

Vorbereitung

Von Jan Oertlin

10. November 2009

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	2
Demonstrationsversuche	2
D.1.....	2
D.2. (Messmethoden).....	2
D.3. (Venturirohr).....	3
D.4. (Aerodynamisches Paradoxon).....	3
1. Aufgabe	3
1.1. (Vorbereitung: Messbereich).....	3
1.2. (Vorbereitung: Windgeschwindigkeit).....	3
2. Aufgabe	4
2.1. Rücktrieb und Stirnfläche.....	4
2.2. Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit.....	4
2.3. Rücktrieb und Körperform.....	5
2.4. (c_w – Werte eines Modellautos).....	5
3. Aufgabe	5
3.1. (Tragflügel bei verschiedenen Anstellwinkel).....	5
3.2. (Wirkungsweise einer Tragfläche).....	5

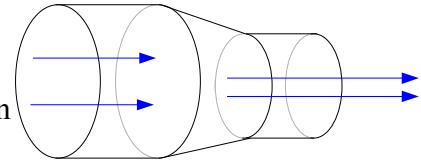
Einleitung

In diesem Versuch geht es darum, die Gesetzmäßigkeiten „wieso etwas fliegt“ verständlicher zu machen. Dabei geht es genauer darum, dass ein Körper von einem Gas oder einer Flüssigkeit umströmt wird, z. B. Ein Flugzeug.

Muss nun z.B. ein Luftstrom durch einen engeren Querschnitt, so wird sich dessen Geschwindigkeit an dieser Stelle erhöhen (vorausgesetzt ist die Inkompressibilität des Mediums). Dieses Verhalten wird in der *Kontinuitätsgleichung* beschrieben:

$$A_1 u_1 = A_2 u_2$$

Wenn man nun einen Körper, z.B. ein Flugzeug (-Modell), in einen Luftstrom setzt, so wirkt auf ihn eine Rücktreibende Kraft:



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

Dabei ist c_w der Widerstandsbeiwert, ρ die Dichte des umströmenden Mediums, u die Geschwindigkeit der Strömung und A die Stirnfläche des Körpers.

Nun ist es auch so, dass in strömenden Medien der Druck mit zunehmender Geschwindigkeit abnimmt. Somit gibt es z.B. Druckunterschiede bei unterschiedlichem Querschnitt. Dabei teilt sich der *Gesamtdruck* in den *statischen Druck* und in den *dynamischen- bzw. Staudruck* auf.

Dabei wirkt der dynamische Druck nur in Strömungsrichtung, der statische Druck hingegen in alle Richtungen.

Dies wird in der *Bernoulli-Gleichung* festgehalten:

$$\underbrace{p}_{\text{statischer Druck}} + \underbrace{\frac{\rho}{2} u^2}_{\text{dynamischer- bzw. Staudruck}} = \underbrace{p_0}_{\text{Gesamtdruck}} = \text{konst.}$$

Demonstrationsversuche

D.1.

Hier wird der Unterschied demonstriert, den man am Manometer sehen kann, wenn die Scheibensonde einmal parallel (mit der Öffnung zum Luftstrom hin) und einmal senkrecht zur Strömungsrichtung eingebracht wird (Motorstrom: $I = 1 \text{ A}$).

Dabei sollte bei paralleler Stellung der Gesamtdruck und bei senkrechter der Staudruck gemessen werden.

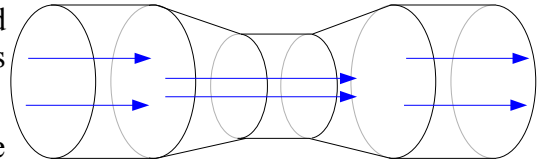
D.2. (Messmethoden)

Nun wird in den beiden jeweiligen Stellungen aus **D.1.** die Windgeschwindigkeit verändert. Dabei sollen diese Beobachtungen mit denen verglichen werden, die mit einer Rohrsonde gemacht werden.

Daraus soll auf Messmethoden für den *statischen-*, *dynamischen-* und den *Gesamtdruck* geschlossen werden.

D.3. (Venturirohr)

Hier soll der Verlauf des statischen Drucks gemessen und skizziert, sowie der Gesamtdruck entlang des Venturirohrs beobachtet werden.



In der Verengung des Venturirohrs wird der statische Druck minimal und der dynamische Druck maximal.

Hingegen sollte dies sich am Anfang und Ende des Venturirohrs gerade entgegengesetzt verhalten.

D.4. (Aerodynamisches Paradoxon)

Jetzt interessiert uns der Druckverlauf zwischen zwei eng aneinander liegender Kreisscheiben, zwischen denen in radialer Richtung die Luft entweicht.

Da, je weiter die Luft vom Mittelpunkt weg ist, die Strömungsgeschwindigkeit abnimmt (da die Luft „mehr Platz“ hat), wird „in der Mitte“ der höchste Unterdruck herrschen und hin zum Rand abnehmen. So wird ebenfalls im Innern der dynamische Druck maximal sein und weiter Außen kleiner werden.

So werden also die beiden Kreisscheiben nicht, wie man vermuten könnte, auseinander gedrückt, sondern durch den Unterdruck zusammengehalten.

1. Aufgabe

1.1. (Vorbereitung: Messbereich)

Hier soll der Messbereich für die nachfolgenden Versuche festgelegt werden.

Dafür messen wir an verschiedenen Orten im Luftstrom den dynamischen Druck. Unser Messbereich wird in den Bereich gelegt, in dem der Staudruck am wenigsten ortsabhängig ist, also die Windgeschwindigkeit sich kaum verändert.

1.2. (Vorbereitung: Windgeschwindigkeit)

Außerdem ist es wichtig für die folgenden Versuche zu wissen, wie die Windgeschwindigkeit mit der Drehzahl des Saug- und Druckgebläses zusammenhängt. Dazu messen wir im Messbereich den Staudruck.

Daraus können wir mit Hilfe der Bernoulli-Gleichung auf die Windgeschwindigkeit schließen:

$$p_{\text{dyn}} = \frac{\rho}{2} u^2$$
$$\Rightarrow u = \sqrt{2 \frac{p_{\text{dyn}}}{\rho}}$$

Der Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Drehzahl bzw. Strom I kann auch theoretisch hergeleitet werden. Dazu setzt man die Leistung des Motors mit der des Windes gleich:

$$P_{\text{Wind}} = P_{\text{Motor}}$$
$$\frac{\Delta m_{\text{Wind}} u^2}{2 \Delta t} = U I = R I^2$$

Mit $\Delta m_{\text{Wind}} = \rho_{\text{Wind}} A \Delta x$ folgt:

$$R I^2 = \frac{\rho_{\text{Wind}} A u^2}{2} \underbrace{\frac{\Delta x}{\Delta t}}_{=u} = \frac{1}{2} \rho_{\text{Wind}} A u^3$$

Somit ist:

$$u = \left(\frac{2 I^2}{\rho_{\text{Wind}} A} \right)^{\frac{1}{3}} \Rightarrow u = \text{const.} \cdot I^{\frac{2}{3}}$$

Mit den Messungen sollten wir dieses Ergebnis bestätigen können. Dazu tragen wir die Messpunkte in ein Diagramm mit logarithmischen Achsenskalierungen:

$$\ln u = \ln(\text{const.}) + k \cdot \ln I$$

Nun legen wir eine Regressionsgerade durch die Punkte und deren Steigung k ist und sollte ungefähr $2/3$ betragen.

2. Aufgabe

2.1. Rücktrieb und Stirnfläche

Es sollen die Strömungswiderstände von drei verschiedenen großen Kreisscheiben bestimmt werden. Dazu werden die Kreisscheiben über einen Haltestab mit einem Kraftmesser verbunden. Da auch der Haltestab einen gewissen Widerstand ausübt, müssen die Werte noch korrigiert werden.

Danach werden die Messwerte noch ins Verhältnis zur Stirnfläche gesetzt. Aus $F_R = c_w (\rho/2) u^2 A$ lässt sich vermuten, dass die Kraft F_R proportional zur Stirnfläche A ist, also

$$c_w = 2 \frac{F_R}{u^2 \rho \cdot A} = C \frac{F_R}{A} = \text{const.}$$

2.2. Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit

Hier wird der Strömungswiderstand in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit bzw. des Staudruckes p_{dyn} gemessen. Dabei soll die rücktreibende Kraft F_R über den dynamischen Druck p_{dyn} in einem Diagramm aufgetragen werden.

Aus **Aufgabe 1.2.** haben wir schon die Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Staudrucks beschrieben. Daraus folgt:

$$F_R = c_w \frac{\rho}{2} A \left(2 \frac{p_{\text{dyn}}}{\rho} \right) = c_w A p_{\text{dyn}}$$

Somit sollten die eingetragenen Werte eine Gerade ergeben.

2.3. Rücktrieb und Körperform

Nun werden rotationssymmetrische Körper wie z.B. eine Kugel untersucht. Wir bestimmen also den Widerstandsbeiwert c_w . Aus **Aufgabe 2.1.** und **1.2.** bzw. **2.2.** folgt:

$$c_w = \frac{F_R}{p_{\text{dyn}} A}$$

2.4. (c_w – Werte eines Modellautos)

Hier sollen wir den c_w – Wert eines Modellautos oder eines von uns mitgebrachten Modells bestimmt werden.

3. Aufgabe

3.1. (Tragflügel bei verschiedenen Anstellwinkel)

Wir halten die Windgeschwindigkeit konstant und messen nun den Auftrieb und den Luftwiderstand eines Tragflügels bei unterschiedlichen Anstellwinkel α (von -20° bis $+20^\circ$ in 5° - Schritten).

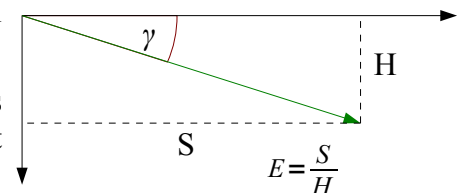
Wie in **Aufgabe 2.1.** messen wir hier auch den Luftwiderstand F_R mit einem Kraftmesser; das gleiche machen wir mit dem Auftrieb F_A . Die gewonnenen Messdaten tragen wir in folgende Diagramme ein: F_A über α , F_R über α und F_A über F_R (Polarendiagramm).

Hieraus soll die günstigste Gleitzahl bestimmt werden. Die Gleitzahl ist gegeben durch:

$$E = \frac{1}{\epsilon} = \frac{F_A}{F_R} = -\frac{1}{\tan \gamma}$$

Wobei γ der Winkel gegen die Horizontale ist, mit der ein *antriebsloses* Flugzeug nach unten gleiten würde. Die günstigste Gleitzahl E ist die, bei der γ minimal wird.

Mit der Gleitzahl E lässt sich der zurückgelegte Weg eines *antriebslosen* Flugzeuges bei verlorener Höhe leicht bestimmen: $S = H \cdot E$



3.2. (Wirkungsweise einer Tragfläche)

Auch hier halten wir die Windgeschwindigkeit konstant, allerdings messen wir nun den Druck an verschiedenen Messstellen an einem Tragflächenmodell (aus Versuch P1 – 24) bei unterschiedlichen Anstellwinkel.

Zur Veranschaulichung der Messergebnisse, werden „Druckvektoren“ in einen Querschnitt der Tragfläche eingezeichnet. Dabei stehen die Vektoren immer senkrecht zur Oberfläche: Bei Unterdruck zeigen die Vektoren von der Tragfläche weg, bei Überdruck in sie hinein.

Die Vektoren sollten so angeordnet sein, dass unter der Tragfläche ein Überdruck und über der Tragfläche ein Unterdruck zu sehen ist. Dies erklärt dann auch, wieso ein Flugzeug fliegt: Durch den Überdruck unterhalb unter den Unterdruck oberhalb der Tragfläche wird das Flugzeug sozusagen nach oben „gezogen“.