

# Praktikum Klassische Physik I

## *Versuchsvorbereitung:* P1-26,28: Aeromechanik

Christian Buntin  
*Gruppe Mo-11*

Karlsruhe, 18. Januar 2010

### Inhaltsverzeichnis

<b>Demonstrationsversuche</b>	<b>2</b>
<b>1 Messungen mit dem Staurohr</b>	<b>3</b>
1.1 Messung des Staudrucks . . . . .	3
1.2 Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Drehzahl . . . . .	3
<b>2 Strömungswiderstand</b>	<b>3</b>
2.1 Rücktrieb und Stirnfläche . . . . .	4
2.2 Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit . . . . .	4
2.3 Rücktrieb und Körperform/Oberflächenbeschaffenheit . . . . .	4
2.4 Widerstandsbeiwert eines Modellautos . . . . .	4
<b>3 Tragflügel</b>	<b>4</b>
3.1 Auftriebs- und Strömungswiderstandsmessung . . . . .	4
3.2 Druck am Tragflächenmodell . . . . .	5

## Einleitung

In diesem Versuch soll das Strömungsverhalten von Körpern in einem gasförmigen Medium untersucht werden.

Bei Umströmung eines Körpers der Fläche  $A$  mit einem Gas der Dichte  $\rho$  mit der Windgeschwindigkeit  $v$  wirkt auf den Körper der *Strömungswiderstand*  $F$ :

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

wobei  $c_w$  der Widerstandsbeiwert ist, welcher von der Körperform und seiner Beschaffenheit abhängt.

Da die Gasteilchen weder erzeugt noch zerstört werden und da das Gas als inkompressibel angenommen wird, folgt die *Kontinuitätsgleichung*. Diese besagt, dass die Anzahl der ein- und ausströmenden Teilchen pro Sekunde gleich ist:

$$A_1 v_1 \rho = A_2 v_2 \rho \quad \Leftrightarrow \quad A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Nach der *Bernoullischen Gleichung* setzt sich der Gesamtdruck  $p_0$  aus dem statischen Druck  $p$ , welcher senkrecht zur Strömungsrichtung gemessen wird, und aus dem dynamischen bzw. Staudruck  $p_{\text{stau}} = \frac{\rho}{2} v^2$  zusammen:

$$p + \frac{\rho}{2} v^2 = p_0$$

## Demonstrationsversuche

### D. 1. Scheibensonde

Der Druck wird mit dem Manometer mit Scheibensonde gemessen. Dabei ist die Scheibensonde einmal parallel zur Strömungsrichtung und einmal senkrecht. Bei paralleler Stellung wird nur der statische Druck gemessen, wohingegen bei senkrechter Scheibensonde noch der Staudruck hinzu kommt. Daher wird erwartet, dass der Druck senkrecht zur Strömungsrichtung höher gemessen wird.

### D. 2. Rohrsonde

Die Windgeschwindigkeit wird jetzt verändert und der Druck mit der Rohrsonde senkrecht zur Strömungsrichtung gemessen.

Bei diesen Messungen wurde senkrecht zur Strömungsrichtung der Gesamtdruck  $p_0$  und parallel zur Strömungsrichtung der statische Druck  $p$  gemessen. Um den Staudruck  $p_{\text{stau}} = p_0 - p$  als Differenz dieser beiden Größen zu messen, muss ein Messgerät verwendet werden, das eben diese Differenz bestimmt. Dazu wird an das eine Ende des Manometers die Rohrsonde senkrecht und an das andere Ende die Ringsonde parallel zur Strömungsrichtung mit einem Schlauch verbunden. Dieses Manometer zeigt nun den Differenzdruck an, welcher eben dem Staudruck entspricht. Dieser Aufbau findet in der Prandtlsonde Verwendung, mit welcher wir in den weiteren Aufgaben arbeiten werden.

### D. 3. Messungen am Venturirohr

Es wird der statische Druck längs der Strömung in einem Venturirohr sowie der Gesamtdruck gemessen.

Dabei sollte der statische Druck aufgrund der Bernoullischen Gleichung an der dünnsten Stelle des Venturirohrs am geringsten sein, da dort die Geschwindigkeit und damit der dynamische Druck am größten ist.

### D. 4. Das Aerodynamische Paradoxon

Es wird der Druckverlauf in radialer Richtung zwischen zwei eng aneinander liegenden Kreisscheiben, zwischen denen Luft nach außen strömt, gemessen.

Durch die strömende Luft verringert sich der statische Druck, wodurch der außerhalb vorliegende Gesamtdruck die Kreisscheiben zusammendrückt. Da man eigentlich intuitiv erwartet, dass die Kreisscheiben auseinander gedrückt werden, was tatsächlich ja nicht der Fall ist, wird dieses Phänomen auch das *Aerodynamische Paradoxon* genannt.

## 1 Messungen mit dem Staurohr

### 1.1 Messung des Staudrucks

Mit Hilfe des Prantlschen Staurohres wird der dynamische Druck an verschiedenen Orten im Luftstrom gemessen. Aus diesem folgt mit  $p_{\text{stau}} = \frac{\rho}{2}v^2$  direkt die Windgeschwindigkeit  $v$ :

$$v = \sqrt{\frac{2p_{\text{stau}}}{\rho}}$$

Der Verlauf des Staudruckes soll dargestellt werden. Zusätzlich soll der Ort für die umströmten Körper der folgenden Versuche, an denen die Windgeschwindigkeit möglichst ortsunabhängig ist, festgelegt werden.

### 1.2 Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Drehzahl

Um in späteren Versuchen auch mit verschiedenen Windgeschwindigkeiten arbeiten zu können, muss das Verhältnis der Motordrehzahl zur Windgeschwindigkeit bekannt sein.

Diese Abhängigkeit soll an dem oben bestimmten Ort ermittelt werden. Dazu werden bekannte Drehzahlen eingestellt und die dazugehörigen Windgeschwindigkeiten gemessen.

## 2 Strömungswiderstand

Zur Messung des Strömungswiderstandes wird auf die Laufstrecke ein Messwagen gesetzt. Die Kraft auf diesen Messwagen lässt sich mittels eines Kraftmessers bestimmen. An den Haltestiel dieses Messwagens lassen sich nun beliebige Körper in den Luftstrom hängen. Dabei zeigt der Kraftmesser den Rücktrieb des Körpers an, welcher seinem Strömungswiderstand entspricht.

## 2.1 Rücktrieb und Stirnfläche

Bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit wird der Rücktrieb des Haltestiels gemessen. Da auf diesen in späteren Messungen auch ein Rücktrieb wirkt, werden in den weiteren Versuchen die Messdaten um eben diesen Rücktrieb des Haltestiels durch Differenzbildung korrigiert.

Nun wird der Strömungswiderstand dreier Kreisscheiben der Durchmesser 40 mm, 56 mm und 80 mm gemessen. Dabei wird das Verhältnis dieses Strömungswiderstands zur Fläche der Kreisscheiben untersucht.

Da für den Strömungswiderstand  $F = c_w \frac{\rho}{2} v^2 A$  gilt, wird erwartet, dass sich der gemessene Strömungswiderstand  $F$  proportional zur Fläche  $A$  verhält.

## 2.2 Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit

Bei zwei Kreisscheiben wird der Strömungswiderstand bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten gemessen. Mittels dieser Messdaten wird die Abhängigkeit des Widerstandes vom Staudruck untersucht.

Da für den Strömungswiderstand  $F = c_w \frac{\rho}{2} v^2 A = c_w p_{\text{stau}} A$  gilt, wird erwartet, dass sich der gemessene Strömungswiderstand  $F$  proportional zum Staudruck  $p_{\text{stau}}$  verhält.

## 2.3 Rücktrieb und Körperform/Oberflächenbeschaffenheit

Es wird bei fester Windgeschwindigkeit der Strömungswiderstand einiger Körper in verschiedener Orientierung gemessen.

Über die Widerstandsformel  $F = c_w p_{\text{stau}} A$  lässt sich aus den Messdaten die Widerstandsbeiwerte  $c_w$  der Widerstandskörper bestimmen:

$$c_w = \frac{F}{p_{\text{stau}} A}$$

## 2.4 Widerstandsbeiwert eines Modellautos

Wie in der vorherigen Aufgabe wird der Widerstandsbeiwert  $c_w$  eines Modellautos gemessen.

# 3 Tragflügel

## 3.1 Auftriebs- und Strömungswiderstandsmessung

Mittels einer Auftriebswaage wird bei konstanter Windgeschwindigkeit der Auftrieb eines Tragflügels bei verschiedenen Anstellwinkeln sowie der Strömungswiderstand gemessen.

Zusätzlich zur Auftragung der Messdaten über den Anstellwinkel wird auch ein Polardiagramm gezeichnet, bei dem der Auftriebswert  $F_A$  über dem Strömungswiderstand  $F$  aufgetragen wird.

Das Verhältnis  $\frac{F}{F_A}$  dieser Messgrößen bezeichnet man als *Gleitzahl*  $\varepsilon$ . Je geringer dieser Wert ist, desto wirtschaftlicher arbeitet das Flugzeug, da der Strömungswiderstand  $F$  dann um einiges geringer als der Auftrieb  $F_A$  ist.

Da im Diagramm  $F_A$  über  $F$  aufgetragen wurde, entspricht die günstigste Gleitzahl der Gleitzahl an dem Punkt im Polardiagramm mit der größten Steigung der Ursprungsgeraden durch diesen Punkt.

Um diesen Wert noch weiter zu verbessern, kann einerseits der Strömungswiderstand  $F$  des Flügels weiter verkleinert werden, beispielsweise durch eine glatte Oberfläche oder neuartige Oberflächenmaterialien, oder aber es kann der Auftrieb  $F_A$  weiter erhöht werden, z. B. durch eine stärkere Wölbung oder durch Verlängerung der Tragfläche.

### 3.2 Druck am Tragflächenmodell

Am Tragflächenmodell wird bei verschiedenen Anstellwinkeln an mehreren Positionen der Druck gemessen. Da je nach Größe des Drucks Zug- oder Druckkräfte auf den Flügel wirken, wird als Richtung des Druckes die Senkrechte zur Flügeloberfläche in ein Querschnittsdiagramm als „Druckvektor“ eingezeichnet. Dieser weist nach außen, wenn der gemessene Druck kleiner als der statische Druck ohne Flügel ist, sonst nach innen. Dabei gibt der Betrag eines solchen Vektors die Druckdifferenz zwischen dem gemessenen Druck und dem Druck ohne Flügel an. Durch Addition aller dieser Vektoren erhält man eine Aussage über die gesamte Kraft die infolge der Druckunterschiede auf den Flügel wirkt.

Damit das Flugzeug steigt, muss also über dem Flügel ein Unterdruck herrschen.