

Physikalisches Anfängerpraktikum - P1

Aeromechanik

P1-24,26,28

Protokoll von
Tobias Renz und **Raphael Schmager**

Gruppe: Do-28

Versuchsdatum: 12.01.2012

Aufgabe 2: Messaufbau: Düse 10cm Ø, Laufstrecke, Messwagen, Testkörper, Sektorkraftmesser.

2.1. Rücktrieb und Stirnfläche: Messen Sie bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit (Pot. bei ~8 Skt) den Strömungswiderstand der drei Kreisscheiben sowie den des Haltestiels. Korrigieren Sie die Werte und setzen Sie diese zu den jeweiligen Flächen ins Verhältnis. Welche Folgerungen können Sie aus dieser Messung ziehen?

2.2. Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit: Messen Sie bei zwei Kreisscheiben den Strömungswiderstand in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Staudruck p_d). Tragen Sie den Widerstand über dem Staudruck auf und schließen Sie auf die Form der Abhängigkeit.

2.3. Rücktrieb und Körperform: Messen Sie bei konstanter Drehzahl den Strömungswiderstand der rotationssymmetrischen Widerstandskörper (Kugel, Halbkugel, Stromlinienkörper glatt) in beiden Richtungen. Stellen Sie nun die Widerstandsformel zusammen und bestimmen Sie die Widerstandsbeiwerte c_w der Widerstandskörper. Diskutieren Sie das Ergebnis und vergleichen Sie mit Tabellenwerten.

2.4. Bestimmen Sie den c_w Wert eines Modellautos. Sie können auch ein eigenes Modell mitbringen (Die Stellfläche ist ungefähr $8 \times 10 \text{ cm}^2$ groß).

Aufgabe 3: Nachdem die Faktoren bekannt sind, die den schädlichen Widerstand beeinflussen, wenden Sie sich dem Aufbau und der Wirkungsweise eines Tragflügels zu. Installieren Sie die Auftriebswaage und den Treibflügel gemäß der Gebrauchsanweisung.

3.1. Messen Sie bei konstanter Windgeschwindigkeit den Auftrieb und den Strömungswiderstand in Abhängigkeit vom Anstellwinkel α ($\Delta\alpha = 5^\circ$; $-20^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$). Tragen Sie den Widerstand sowie den Auftrieb über dem Anstellwinkel auf und außerdem die Auftriebswerte über dem Widerstand (Polarendiagramm). Bestimmen Sie aus dem Polarendiagramm die günstigste Gleitzahl. Diskutieren Sie die Bedeutung dieser Größe. Was sollte zur Verbesserung der Flugeigenschaften unternommen werden?

3.2. Messen Sie bei konstanter Windgeschwindigkeit den Druck an den Meßstellen des Tragflächenmodells in Abhängigkeit vom Anstellwinkel α . Zeichnen Sie der Anschaulichkeit wegen in Querschnittsskizzen der Tragfläche bei einigen Anstellwinkeln die 'Druckvektoren' an den Meßstellen ein. Der Druck ist eine skalare Größe; welche Richtung ist gemeint? Schließen Sie auf den Auftrieb. Erklären Sie mit Hilfe der Ergebnisse aus Aufgabe 3.1. und 3.2. die Wirkungsweise einer Tragfläche.

Literatur:

Bergmann-Schäfer: *Experimentalphysik, Bd.1*, 9.Aufl., Kap.6

Bohl,W.: *Technische Strömungslehre* (Abschnitte Grundbegriffe, Umströmung von Körpern, Tragflügel, Geschwindigkeitsmessung, Tafeln Widerstandsziffern. Tafel Polaren eines Tragflügels)

K.Heidemann (Fa.PHYWE): *Weshalb Ballone, Drachen und Flugzeuge fliegen können* (für Schulunterricht und Schulpraktika gedacht)

PHYWE-Hochschulpraktikum Physik: *Auftrieb und Strömungswiderstand*

Thomas,F.: *Segelflug und Segelflugzeuge*, Spektrum der Wissenschaft, Juli 1985

Zubehör:

Winderzeuger mit stufenloser Drehzahleinstellung, maximale Drehzahl 2550 U/min (siehe Abbildung 2), Einlaufzeit Motor ca. 3 min., Einstellzeit bei Drehzahländerung ca. 30 sec.

Düse zum Aufstecken (Ø 100 mm) mit anschraubbarer Messstrecke (Länge 500 mm) für passenden Messwagen

Sektor-Kraftmesser 0,6 N und Auftriebswaage aufsteckbar auf den Messwaagen

Feinmanometer (mit gefärbter Petroleumfüllung, 0 bis 310 Pa und Skala zum Ablesen der Windgeschwindigkeit, Manometerröhre beidseitig über Schläuche anschließbar); Prandtl'sches Staurohr

Tragflächenmodell (Skizze unten); Satz Kreisscheiben (Ø 40 mm, 56 mm, 80 mm); Satz Widerstandskörper (Halbkugel, Vollkugel, Stromlinienkörper glatt, grösster Durchmesser jeweils 56 mm)

Stellfläche für Modellauto

Gemeinsam werden benutzt: 10cm-Düse (max. 19cm/s); 5cm-Düse (max. 22cm/s); Venturidüse mit montierten acht U-Rohr-Manometern an den Druck-Messstellen; spezielle Platte mit Distanzstiften und Meßbohrungen zum 'Aerodynamischen Paradoxon'; Scheibensonde; Rohrsonde; Modelldüse (Paar gebogene Leitbleche mit Meßbohrungen), Torsions-Federwaage (Meßbereiche 0.8N und 1.6N).

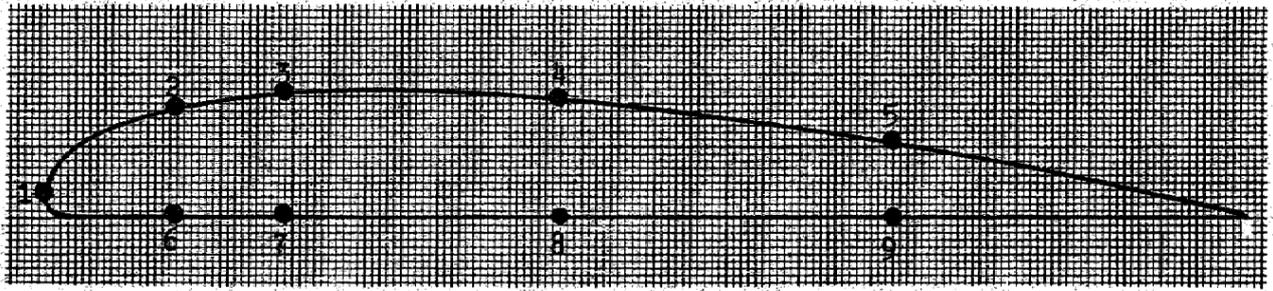


Abb. 1: Lage und Bezeichnung der Druckmeßstellen

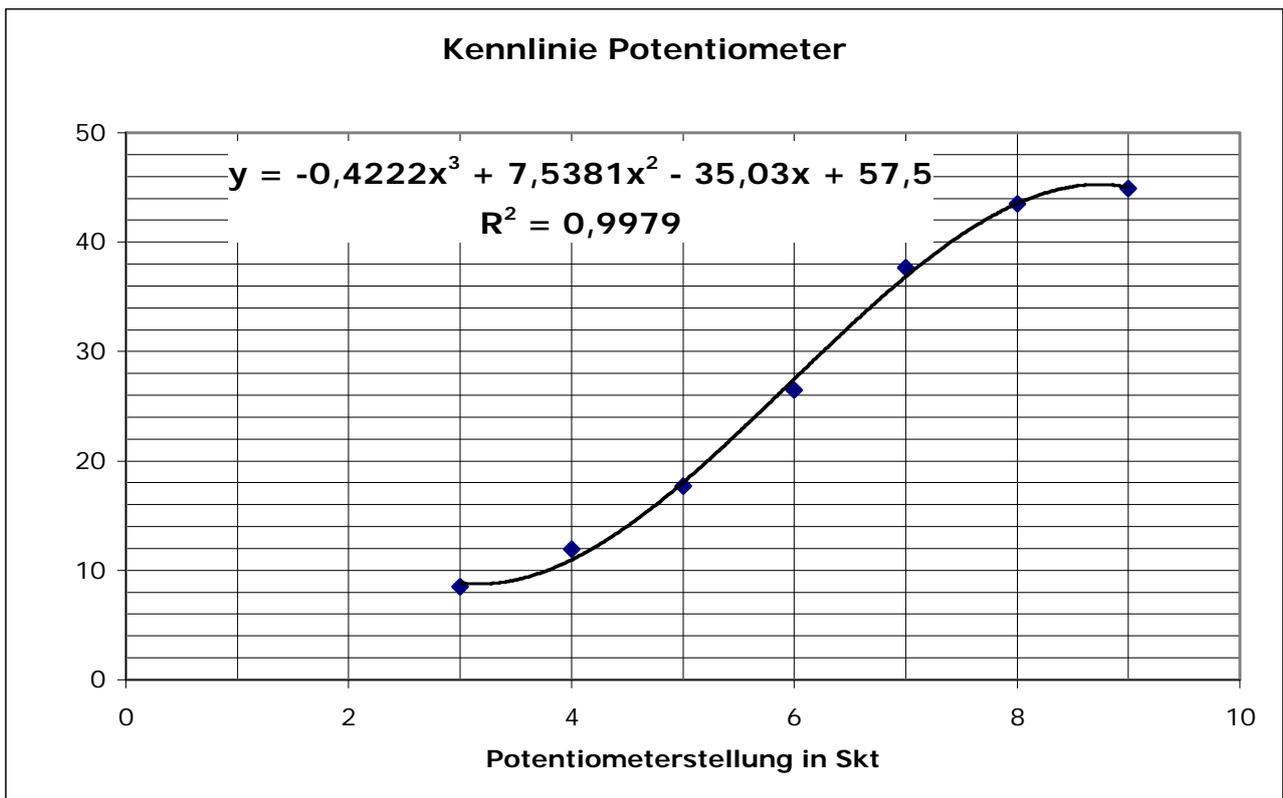


Abb. 2: Drehzahlregelung des Winderzeugers

Physikalisches Anfängerpraktikum - P1

Aeromechanik

P1-24,26,28

Versuchsvorbereitung von
Raphael Schmager

Gruppe: Do-28

Durchgeführt am 12. Januar 2012

Vorbemerkung

In dem Versuch Aeromechanik geht es um die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten die zum Verständnis für das Fliegen von Körpern in Luft beitragen. Es geht speziell um Körper mit einer größeren Dichte als Luft.

0 Theoretische Grundlagen

0.1 Kontinuitätsgleichung

Wir nehmen an, dass wir bei unserem Versuch mit der Strömungsgeschwindigkeit nicht in die Größenordnung der Schallgeschwindigkeit (Luft etwa 340m/s) kommen werden. So kann man auch Luft als annähernd inkompessibel betrachten. Dies bedeutet, dass bei hohen Geschwindigkeiten (kleiner jedoch als die Schallgeschwindigkeit) die Änderung des statischen Drucks vernachlässigt werden kann. Für solche inkompessible Fluide gilt die **Kontinuitätsgleichung**.

$$A_1 u_1 \rho = A_2 u_2 \rho$$

Sie besagt, dass bei engerem Querschnitt A die Geschwindigkeit u steigt beziehungsweise bei steigendem Querschnitt die Geschwindigkeit des strömenden Fluids sinkt.

0.2 Kraft auf einen umströmten Körper

Wird ein Körper von einem Medium (Flüssigkeit oder Gas) umströmt, so erfährt er eine Kraft. Diese Kraft ist proportional zur Fläche des Körpers, Dichte ρ des Fluids und zum Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit u . Es ergibt sich der Strömungswiderstand als:

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

Dabei entspricht A der zur Fließrichtung senkrechten Komponente der Oberfläche des Körpers. Die Konstante c_w hängt von der Oberflächenbeschaffenheit ab. Sie wird auch Widerstandsbeiwert genannt.

0.3 Bernoulli-Gleichung

Aus der Kontinuitätsgleichung folgt, dass auf ein Fluid, welches sich von einer Stelle großen Querschnitts an eine Stelle kleinen Querschnitts bewegt, eine beschleunigende Kraft wirkt. Diese Beschleunigung ist durch die Tatsache gegeben, dass bei strömenden Fluiden aufgrund der Druckgradienten eine Kraft wirkt. Daraus folgt, dass man an einem Ort mit großer Fließgeschwindigkeit u einen kleineren Druck p vorfindet, als bei einem Ort kleiner Fließgeschwindigkeit.

Bei einem Fluidstrom kommt es zu zwei Arten von Drücken. Diese werden unterschieden in den hydrostatischen, auch kurz statischer Druck und den hydrodynamischen, kurz dynamischen Druck oder Staudruck. Der Gesamtdruck p_0 setzt sich aus deren Summe zusammen. Diese Gleichung wird als **Bernoulli-Gleichung** der Strömungslehre bezeichnet.

$$p_0 = p + p_d = p + \frac{1}{2} \rho u^2 \quad \text{mit} \quad p = \rho g h + p(0)$$

Der erste Term beschreibt den statischen Druck p . Dieser wird durch die Gewichtskraft des Fluids, sowie durch die Bewegung der Teilchen bestimmt. Der statische Druck beschreibt nur ruhende und statische Fluide.

Die zweite Komponente wird als dynamischer Druck bezeichnet. Dabei ist ρ die Dichte und u die Fließgeschwindigkeit des Fluids.

0.4 Methoden der Druckbestimmung

Bei den einzelnen Aufgaben werden verschiedene Instrumente zur Druckmessung eingesetzt. Dies hat den Grund in den oben beschriebenen "unterschiedlichen Drücken".

Zur Messung des **statischen Drucks** nimmt man eine **Drucksonde**. Diese ist in folgender Abbildung zu sehen.

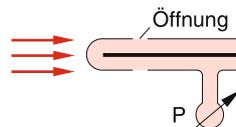


Abbildung 1: Drucksonde

Sie besitzt zwei Öffnungen, welche man parallel zur Strömungsrichtung einbringt. Mithilfe eines Manometer lässt sich mit dieser Sonde der statische Druck einfach bestimmen.

Eine weitere Möglichkeit zur Druckmessung ist das **Pitotrohr**. Man misst mit ihm den **Gesamtdruck**. Die Öffnung liegt hierbei senkrecht zur Strömungsrichtung.

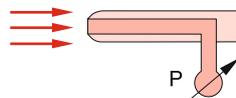


Abbildung 2: Pitotrohr

Das bedeutet, man misst sowohl den statischen Druck wie auch den Staudruck (dynamischen Druck). Die Summe aus beiden ergeben den Gesamtdruck.

Ist man nur am **Staudruck** interessiert, so kann man die Drucksonde und das Pitotrohr kombinieren.

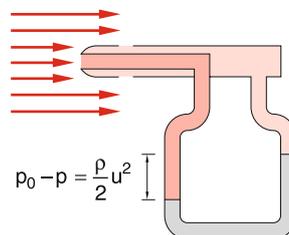


Abbildung 3: Prandtlsonde

Auf das Pitotrohr wirkt der Gesamtdruck. Dieser wird auf das erste Rohr (Manometer) über-

tragen. Durch Kombination mit der zweiten Säule (rechts) an dem der statische Druck entgegenwirkt, kann man wie in der Grafik eingezeichnet den Staudruck $p_{Stau} = p_0 - p$ ablesen. Diese Anordnung nennt man **Prandtlsonde**.

Demonstrationsversuche

Zunächst sollen einige Demonstrationsversuche durchgeführt werden. Dabei soll der richtige Umgang mit den Messinstrumenten herausgefunden und geprobt werden. Außerdem sollen diese zum Verständnis des Druck-Geschwindigkeitsgesetzes beitragen.

D1 Scheibensonde bei konstanter Windgeschwindigkeit

Mit einer Scheibensonde soll bei konstanter Windgeschwindigkeit je eine Messung parallel und senkrecht zur Strömungsrichtung gemessen werden. Zu erwarten ist, dass bei senkrechter Messung der Gesamtdruck, also die Summe aus statischen und dynamischen Druck gemessen werden. Bei paralleler Messung jedoch wird nur der statische Druck gemessen, welcher wohl geringer als der Gesamtdruck sein wird.

D2 Scheiben- und Rohrsonde bei variabler Windgeschwindigkeit

Nun soll die Messung aus D1 mit variabler, statt konstanter Windgeschwindigkeit mit einer Scheiben- sowie Rohrsonde gemessen werden. Dabei sollen folgende Konfigurationen untersucht werden:

- i) Scheibensonde parallel zur Strömung
- ii) Scheibensonde senkrecht zur Strömung
- iii) Rohrsonde parallel zur Strömung
- iv) Rohrsonde senkrecht zur Strömung

Bei i und iv messen wir den statischen Druck, bei ii und iii wird der Gesamtdruck gemessen. Es ist jedoch zu beachten, dass die Scheibensonde durch ihre Geometrie bei senkrechtem Einbringen Verwirbelungen verursacht, was für die Messung ungeeignet ist. Das gleiche Problem wird man mit der Rohrsonde haben, wenn man sie senkrecht in die Strömung einbringt. Daher sind nur die beiden Konfigurationen geeignet, in denen die Sonden parallel zur Windgeschwindigkeit montiert sind.

Zur Messung des dynamischen Drucks eignet sich beispielsweise die Prandtlsonde, welche oben diskutiert wurde.

D3 Verlauf des statischen Drucks

Im folgenden sollen in einem Venturirohr der statische Druck längs der Strömung gemessen werden. Weiter soll der Gesamtdruck beobachtet werden. Der statische Druck wird hierbei, wie auch in der Abbildung zu sehen ist, mit Hilfe einer Flüssigkeitssäule gemessen.

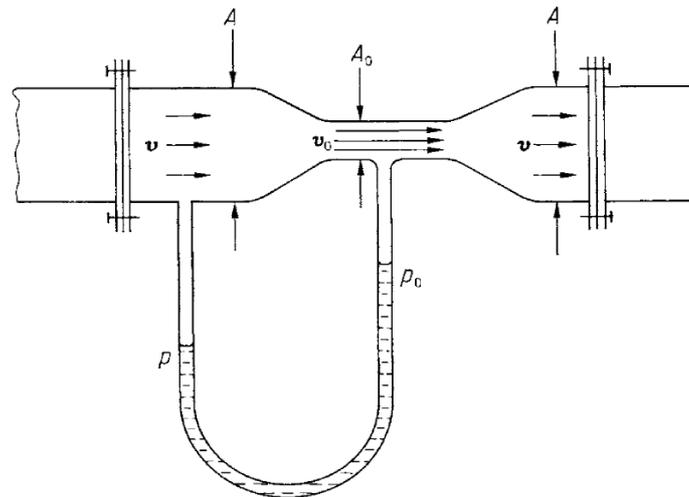


Abbildung 4: Venturirohr

Betrachtet man die Bernoulli-Gleichung sowie die Kontinuitäts-Gleichung, so wird klar, dass der dynamische Druck antiproportional zum Rohrradius ist. Das heißt, dass bei enger werdendem Rohrquerschnitt die Strömungsgeschwindigkeit ansteigt. Hier wächst auch der dynamische Druck. Da jedoch der Gesamtdruck konstant bleibt, muss hier der statische Druck sinken. Er erreicht an der Engstelle sein Minimum.

Da wir bei dieser Anordnung große Reibung haben und es zu starken Verwirbelungen kommen kann, ist mit starken Abweichungen zu rechnen.

D4 Aerodynamisches Paradoxon

Im letzten Demonstrationsversuch soll das Aerodynamisches Paradoxon untersucht werden. Dabei wird Luft durch ein vertikales Rohr geblasen, an dessen Ende eine durchbohrte Scheibe S_1 befestigt ist. In Abstand d liegt eine zweite Scheibe S_2 . Die zweite Scheibe hat die Masse m und Fläche A .

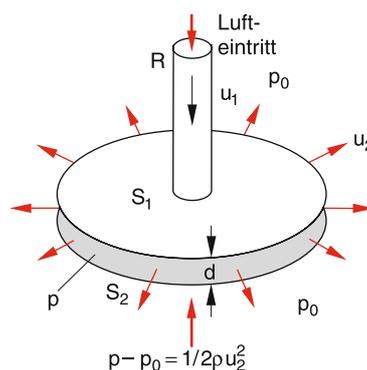


Abbildung 5: Aerodynamische Paradoxon

Nähert man nun die Scheibe S_1 auf einen Abstand d , so wird paradoxer weise die Scheibe S_2

angezogen, statt abgestoßen. Dies liegt daran, da die Strömungsgeschwindigkeit u_2 der ausströmenden Luft so groß wird, dass die durch den Unterdruck entstehende Kraft größer als die Gewichtskraft wird:

$$\frac{1}{2}\rho u_2^2 \cdot A > mg = F_G$$

1 Untersuchung des Luftstroms

1.1 Ortsabhängigkeit des dynamischen Drucks

Es soll der Staudruck p_d an verschiedenen Orten im Luftstrom gemessen werden. Zu überprüfen, ist ob die Windgeschwindigkeit ausreichend ortsunabhängig ist; solch ein Bereich soll festgelegt werden und ein Ort in diesem, für die Körper der folgenden Versuche, gewählt werden.

Den Verlauf der Staudrucks in Abhängigkeit von Abstand l zum Düsenrand und vom Abstand Δr vom Düsenmittelpunkt.

1.2 Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Motorspannung

An dem nun festgelegten Ort, soll jetzt die Windgeschwindigkeit u in Abhängigkeit der Motordrehzahl gemessen werden. Dazu messen wir den Staudruck und rechnen uns mit der Bernoulli-Gleichung die Windgeschwindigkeit aus:

$$p_d = \frac{\rho}{2}u^2 \quad \Rightarrow \quad u = \sqrt{\frac{2}{\rho}p_d}$$

Für die Dichte von Luft nehmen wir $\rho \approx 1,293 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (Quelle: Tipler). Die Motorspannung wird mit einem Potentiometer eingestellt. Zur Bestimmung der Drehzahl verwenden wir die Kennlinie des Potentiometers aus Abbildung 2 der Versuchsvorbereitung:

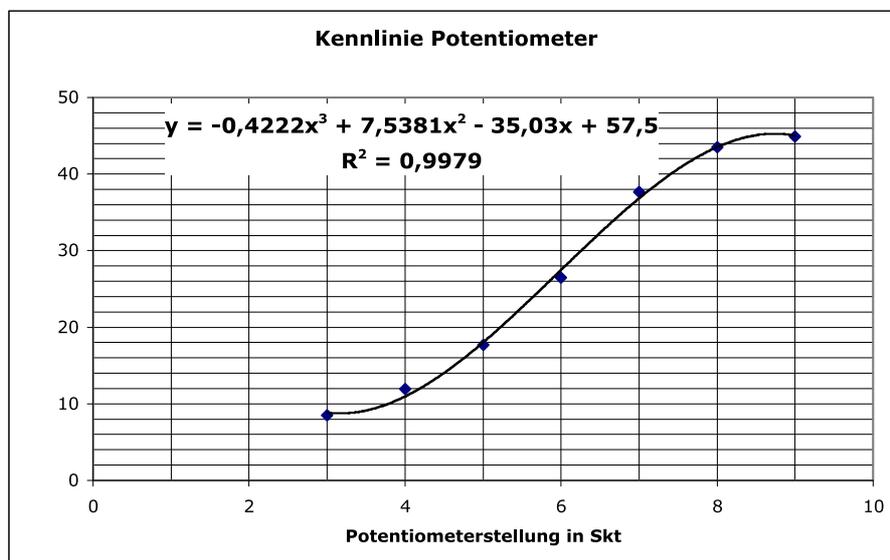


Abbildung 6: Drehzahlregelung des Winderzeugers

2 Strömungswiderstand

Im folgenden werden Versuche an verschiedenen Körpern durchgeführt. Ein Ziel wird es sein die einzelnen Faktoren, welche für den Luftwiderstand verantwortlich sind herauszufinden.

2.1 Rücktrieb und Stirnfläche

Bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit wird der Strömungswiderstand von 3 verschiedenen Kreisscheiben sowie des verwendeten Haltestiels gemessen.

Die Windgeschwindigkeit wird mit Hilfe eines Kraftmessers bestimmt. Um den Strömungswiderstand zu erhalten, müssen wir die Kraft die der Wind auf den Haltestiel ausübt von denen der 3 Kreisscheiben abziehen.

$$F_{W,korr} = F_{W,Scheibe} - F_{W,Stiel} = c_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot u^2 \cdot A$$

Anhand der Formel erwarten wir also einen lineare Zusammenhang zwischen Scheibenfläche A und Strömungswiderstand $F_{W,korr}$.

2.2 Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit

Als nächstes untersuchen wir den Rücktrieb in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit. Das heißt wir messen bei zwei Kreisscheiben den Strömungswiderstand in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit.

Der Widerstand soll nun über dem Staudruck aufgetragen werden. Es gilt folgender Zusammenhang:

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

Somit ist auch eine lineare Abhängigkeit zwischen Strömungswiderstand und Staudruck zu erwarten.

2.3 Rücktrieb und Körperform

Nun wird die Körperform geändert. Das heißt wir messen bei einigen Rotationssymmetrischen Körpern (Kugel, Halbkugel, Stromlinienkörper) den Strömungswiderstand in beide Richtungen (bei konstanter Motordrehzahl).

Löst man die obige Formel nach dem Widerstandsbeiwert auf so erhält man:

$$c_w = \frac{F_W}{p_d \cdot A} = \frac{F_W}{p_d \cdot \pi \frac{d_{max}^2}{4}}$$

Mit der Angabe des (maximalen) Durchmessers von $d_{max} = 56mm$ und unseren Messwerten können wir den Widerstandsbeiwert der einzelnen Körper einfach berechnen.

2.4 c_w Wert eines Modellautos

Es wird wie in Aufgabe 2.3 Vorgegangen.

3 Messung an einem Tragflügel

In Aufgabe 2 wurden die Faktoren, welche den ungewollten Widerstand begünstigen untersucht. Nun soll es um den Aufgabe und die Wirkungsweise eines Tragflügels gehen.

3.1 Auftrieb und Strömungswiderstand

Bei konstanter Windgeschwindigkeit soll der Auftrieb F_A sowie der Strömungswiderstand F_W in Abhängigkeit des Anstellwinkels α gemessen werden. Anschließend sollen der Widerstand sowie der Auftrieb über dem Anstellwinkel aufgetragen werden. Des Weiteren wird ein Polardiagramm (Antriebswerte über Widerstand) angefertigt. Aus diesem kann die günstigste Gleitzahl ϵ bestimmt werden. Die Gleitzahl ist:

$$\epsilon = \frac{F_W}{F_A}$$

der Quotient aus Strömungswiderstand und Auftriebskraft. Die günstigste Gleitzahl, also die kleinste, ist im Polardiagramm genau dort anzufinden, an welcher die Steigung der Kurve am größten ist.

Eine Verbesserung der Flugeigenschaften kann man auf zwei Weisen erzielen. Zum einen durch eine Verringerung des Luftwiderstandes durch glattere Oberflächen, zum anderen durch eine Erhöhung des Auftriebs. Letzteres erreicht man beispielsweise durch eine stärkere Wölbung an der Oberseite der Tragfläche. Dadurch wird ein noch größerer Unterdruck an der Oberseite erzeugt und der Flügel erfährt eine größere auftriebende Kraft.

3.2 Druckmessungen

Wieder wird eine konstante Windgeschwindigkeit eingestellt. Nun messen wir den Druck an verschiedenen Stellen des Tragflächenmodells in Abhängigkeit vom Anstellwinkel α . Es sollen "Druckvektoren" an den Messstellen in die Querschnittsskizzen eingetragen werden. Diese Messstellen sind in folgender Grafik dargestellt.



Abbildung 7: Lage und Bezeichnung der Druckmessstellen

Eigentlich ist der Druck eine skalare Größe. Die "Druckvektoren" werden nun an den Messstellen mit der eingezeichnet und haben jeweils die Länge des dort herrschenden Drucks. Bei Überdruck wird der Pfeil in die Tragfläche hinein gerichtet, bei Unterdruck von ihr weg. So sieht man schnell ob der Flügel einen Auftrieb erfährt oder nicht. Der Größte Auftrieb ist bei einem positiven Anstellwinkel zu erwarten.

4 Quelle

- Vorbereitungsmappe zum Versuch "Aeromechanik"
- Demtröder, W.: Experimentalphysik 1
- H. J. Eichler H.-D. Kronfeldt J. Sahm, Das Neue Physikalische Grundpraktikum, 2. Auflage, Springer-Verlag

Physik Praktikum 1

Aerodynamik

Tutor Rebz

Matr. Nr. 1581784

12.01.2012

Vorname Nachname

G d l e

0.1 Be lluo e Gleu s

e Ge a k u e u e a Fl u e z ut e a u t e a , e a y a u t e a e a L s e k n z w . S t w e e k z a a e .

e t e D r i k w u ü n e V e t ä l u v c K r z Fl ä t e e u e w u k e c a l r u e n e ä t e , u e Fl u a s e n e :

$$p_{stat} = \frac{F}{A} \quad \text{f1fl}$$

e y n a t e D r i k c e t S k e s n u t e k u e u t e e - s u e ö a e e e u a u n t ä s u v c e u t e G e t w u u k e u e e u a :

$$p_{dyn} = \frac{\rho}{2} v^2 \quad \text{f2fl}$$

e S t w e r e r i k e e t t u e e e e u a e n e t l e u s . e S t w e k u n t ä s u v c e H ö t e f i t f l u e t l n e Fl u :

$$p_{lage} = \rho \cdot g \cdot h \quad \text{f3fl}$$

U e e V c e z s e k c a d e u n d u ä e e u a s u l u e K c n n i ä s l e t i n s :

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad \text{f4fl}$$

W c n e u M u e E e t u ä t e v u e S ö a s s e t w u u k e u u .

U e e V c e z s e K c u u ä s l e u t s , w u e Z a a e t s e v e - t u e e e ü k e t u e B e r n c i l l t e G l e t i n s n e t u e n e :

$$p_{stat} + p_{dyn} + p_{lage} = const \quad \text{f5fl}$$

Die Bernoulli-Gleichung für die Höhe h lautet:

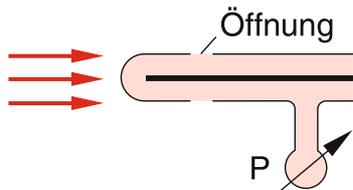
$$p_{stat} + p_{dyn} = p_0 \quad (1)$$

Die statische Druckkomponente p_{stat} ist die Druckkomponente, die durch die Gewichtskraft des Fluids entsteht.

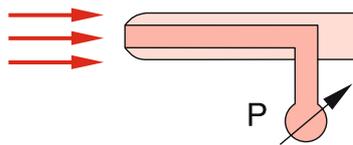
0.2 Druckmessung

Die Druckmessung erfolgt über eine Druckmessung, die durch die Gewichtskraft des Fluids entsteht.

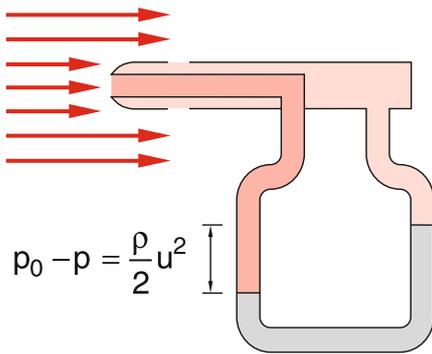
Die Druckmessung erfolgt über eine Druckmessung, die durch die Gewichtskraft des Fluids entsteht.



Die Druckmessung erfolgt über eine Druckmessung, die durch die Gewichtskraft des Fluids entsteht.



Die Druckmessung erfolgt über eine Druckmessung, die durch die Gewichtskraft des Fluids entsteht.



0.3 K m h m r e u e h ö h e K ö e

Wu eu Kö de vc eu ea e u a a ö a , e rät e eu e K r . ue K r u ntä s v c e ut e f p f l e e u a , e S ö a s se t w u u s k e u f i v f l , e Flä t e M e k e t z v e a W u n e n e u e c w :

$$F = c_w \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} v^2 \quad \text{f7fl}$$

ea g u g v e g o t e

Z ä t w e e e u u e e a c u v e t e t s e r i t , a V e ä u e k - G e t w u u s k e u s e e z z v e n e e a u e v e w e e e e a e t c e k e e z l e e .

.1. S o t e u n e g d e

a e e e a c u v e t w u n e u k c e W u s e t w u u s k e u u e S t e u n e c e z ä t d l l e l e k e t z S ö a s u t s s e n t e k s e a e e . e u d l l e l e M u t s w u e u t e k s e a e - e , n e u e k e t e M u t s t u s e s e e G e a k . W u e w e e t l n n e u e k e t e M u t s e u e e l u t t ö t e e k .

2. Venturi-Rohr - Bestimmung

Bei Venturi-Rohr wird die Strömungsgeschwindigkeit in einem Rohr durch die Messung des Druckunterschieds an zwei Stellen mit unterschiedlichen Querschnitten bestimmt.

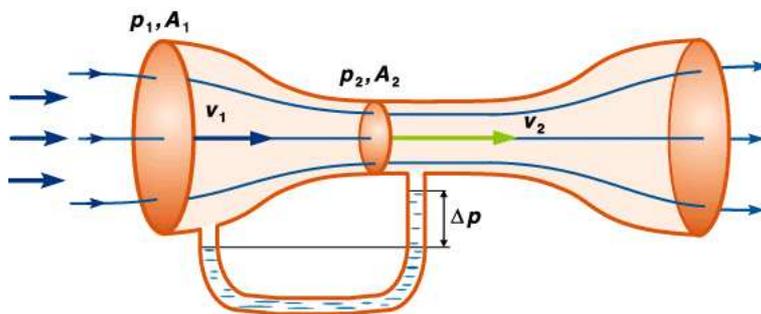
Bei Venturi-Rohr wird die Strömungsgeschwindigkeit in einem Rohr durch die Messung des Druckunterschieds an zwei Stellen mit unterschiedlichen Querschnitten bestimmt.

Die Venturi-Rohr ist ein Rohr, das an zwei Stellen unterschiedlichen Querschnitts verengt ist. Die Strömungsgeschwindigkeit wird durch die Messung des Druckunterschieds an diesen Stellen bestimmt.

Die Venturi-Rohr ist ein Rohr, das an zwei Stellen unterschiedlichen Querschnitts verengt ist. Die Strömungsgeschwindigkeit wird durch die Messung des Druckunterschieds an diesen Stellen bestimmt.

3. Venturi

Das Venturi-Rohr ist ein Rohr, das an zwei Stellen unterschiedlichen Querschnitts verengt ist. Die Strömungsgeschwindigkeit wird durch die Messung des Druckunterschieds an diesen Stellen bestimmt.



Das Venturi-Rohr ist ein Rohr, das an zwei Stellen unterschiedlichen Querschnitts verengt ist. Die Strömungsgeschwindigkeit wird durch die Messung des Druckunterschieds an diesen Stellen bestimmt.

keu. M e e c ll uGleut s w e t a , w e e y a u t e k z u a ,
e u t e k n u a .

$$p = p_0 - \frac{\rho}{2}v^2 = p_0 - \frac{\rho}{2}\left(\frac{A_0}{A}\right)^2v_0^2 \quad \text{f8fl}$$

a u A_0 v_0 u w E e t u ä t e n z w . G e t w u w k e u n e u u t v e e s e
R c t ü k .

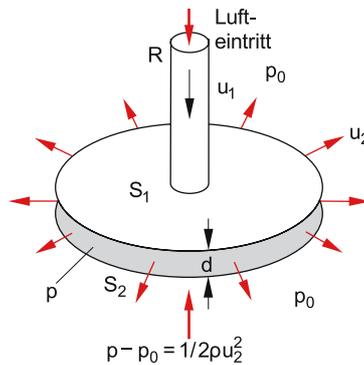
u e E e t u ä t e M I πr^2 :

$$p(r) = p_0 - \frac{\rho}{2} \cdot v_0^2 \cdot \frac{r_0^4}{r^4} = p_0 - \frac{const}{r^4} \quad \text{f9fl}$$

t w G e c a e w n e u e e a a a u M n w e u t s e z a t e c e u t e V e -
l r e t e .

.4. A e d y a u g o t e g D d x

B c l l e k v e l r u u l e R u t s z w e u s e u e l u s e e K e u -
t e u n e s e a e e w e e . t e u w e u e K e u t e u n e s e n t e R c t w e ß
L r z w u t e e K e u t e u n e u l t ß e . w z w e u e D l e w u k
w e e D l e s e z c s e u t , w i e a v i e l l e u t e w e , n s e c ß e . w e
x d e u e e a t "M e c y a u t e D c x c " .



e L r c a e w e u t t M u e Ö s t l l e S e u e e u
e G e t w u w k e u u a e t l n u l t ß e n . w S ö a s s e t w u w k e u
c a u t e y a u t e k u u e u e e K e u t e u n e a s ö ß e
e R ä e a s e u s e . M e e c ll uGleut s r e l s c r c , e

u te k u e u e s e u s e u l e R ä e . e e t c a u e u U -
 e k u e t l n e K e u t e m e n e u s e ü s e t c t e S ö a s s e t w u u k e u
 w u u e z w e u e D l e s e z c s e .

rsme 1: A e s p e L r h h

u e a M r s n e e d w u z ä t e L r c a , w e l t e u t r c l s e e M r s n e
 n e z w u , e t .

1.1. S h m p o k

rü u r c l s e e V e t e e u e e u t e c n t ä s u e W u s e t w u u k e u
 n e ö u w u , a e e w u e y a u t e k a u t u r e u e D l f f t e S c t
 v e t u e e e u a L r c a . M e e e s e k ö e w u e
 e e u t , e u t e k c e W u s e t w u u k e u , r ü u a ö a e K ö d e , r ü
 u r c l s e e V e t e r e l e s e .

1.2. n ä s u k e u h p e W u p s e o w u p u k e u h v p e D e z m l

Fü e u u e e r c l s e e M r s n e a u W u s e t w u u k e u v u M n t ä s u k e u
 v c e c c e t z t l n e k e u . r ü a e e w u e y a u t e k u e a
 1.1. r e s e l e s e G e n u M n t ä s u k e u e e t z t l . M e a y a u t e k
 k ö e w u r c l s e e a f e u W u s e t w u u k e u n e e t e :

$$v = \sqrt{\frac{2p_{dyn}}{\rho}} \quad \text{fl10fl}$$

a u ρ fl r fl 1,293 $\frac{kg}{m^3}$ fl : "D t y u k r ü W u e t r l e s e u e" D l M T u d l e fl

u c c e t z t l ü n e e u e D c e u a e e e u s e e l l w u , n e u a e w u u e
 e t z t l ü n e u K e l u u e e D c e u a e e f l M n n . 2 e V e t v c n e e u s f l

rsme 2: Sh ö s wıpe hm p p Wıpe hm p neue h

2.1. Rükh ün p Shu fläo e:

we e u e kc e L r ca eu e t u lute K eu tene a u eu ea
H l e d u e L r ca set le a u t d r e u e K r a e e e S ö a s -
w u e F_{w*} sea e e . U a e u e n e e e W e z e t l e , w u z ä z l u t c t
e S ö a s w u e e H l e d f i F_{wH} f l sea e e . e S ö a s w u e e
K eu tene e s u n u t r l s e e a f e :

$$F_w = F_{w*} - F_{wH} \quad \text{fl1fl}$$

e kc u e We w u a u e j e w e u e Fl ä t e u V e t ä l u s e e z . w u
e u l u e e Z a a e t s e w e , :

$$F_w = c_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot A = const \cdot A \quad \text{fl2fl}$$

2.2. Rükh ün p Sh ö s s e o w u p s k e h:

B c l l n e u z w e u K e u t e n e e S ö a s w u e u M n t ä s u k e u v c e W u -
k e l s e t w u u k e u s e a e e w e e . z w e e a n e e u e M i s n e 1.2 n e -
u a e W e e n e z e y a u t e k s e a e e . e W u e w u
ü n e e a S k r s e s e . w u e u l u e e Z a a e t s e w e ,
:

$$F_w = c_w \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 = const \cdot p_{dyn} \quad \text{fl3fl}$$

2.3. Rükh ün p Kö e r :

e u k c e e t z t l c a u k c e W u s e t w u u k e u w u e S ö -
a s w u e v c c u y a a e u t e D c n e k ö d e u n e u e R u t s e s e -
a e e . 2.1. t n e w u $F_w A$ u 2.2 $F_w p_{dyn}$ s e r e . a u e s u n u t

$$F_w = const \cdot A \cdot p_{dyn} \quad \text{fl4fl}$$

die Widerstandsbeiwert c_w ergibt sich:

$$F_w = c_w \cdot A \cdot p_{dyn} \quad \text{Gl 15}$$

$$\Rightarrow c_w = \frac{F_w}{A \cdot p_{dyn}} \quad \text{Gl 16}$$

Die Widerstandsbeiwerte sind in Tabelle 2.4 des Normenheftes DIN 1886 angegeben. Für einen rechteckigen Querschnitt mit einer Seitenlänge $a = 2,46 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ergibt sich:

2.4. Widerstandsbeiwert c_w für einen rechteckigen Querschnitt:

Die Widerstandsbeiwerte c_w sind in Tabelle 2.4 des Normenheftes DIN 1886 angegeben.

Aufgabe 3: Turbulente Strömung

Die Widerstandsbeiwerte c_w sind in Tabelle 2.4 des Normenheftes DIN 1886 angegeben.

3.1. Turbulente Strömung über einer ebenen Platte

Die Widerstandsbeiwerte c_w sind in Tabelle 2.4 des Normenheftes DIN 1886 angegeben. Die Strömungsgeschwindigkeit v ist durch $v = v_0 \cdot \sin(\alpha)$ gegeben, wobei α der Winkel zur Plattenoberfläche ist. Die Plattenlänge ist $L = 10 \text{ m}$ und die Plattenbreite $b = 1 \text{ m}$. Die Plattenoberfläche ist glatt.

Die Widerstandsbeiwerte c_w sind in Tabelle 2.4 des Normenheftes DIN 1886 angegeben.

- Die Widerstandsbeiwerte c_w sind in Tabelle 2.4 des Normenheftes DIN 1886 angegeben.
- Die Widerstandsbeiwerte c_w sind in Tabelle 2.4 des Normenheftes DIN 1886 angegeben.
- Die Widerstandsbeiwerte c_w sind in Tabelle 2.4 des Normenheftes DIN 1886 angegeben.

Die Widerstandsbeiwerte c_w sind in Tabelle 2.4 des Normenheftes DIN 1886 angegeben.

$$\epsilon = \frac{F_w}{F_A} \quad \text{Gl 17}$$

1. Gleuz tle dut se e e uve e S e s e Dcl e us aa . ue
 Gleuz tlu sü we je kleue u . we xue le S e s u Dcl e us aa
 e dut se e ea uve e e Gleuz tl.

3.2. D ok m T ns flüsel

aleze Ve t eulwu e k e e elle fiute Mnn.1 e Ve -
 t vc ne eu sfl e T s ä te a c el u Mntä s u keu e M ellwu kel α sea e -
 e . lle neu eu we M ellwu kel “ kvek ce “ eu sezeut e we e .
 e k eue kl e G öse u , wätle wu we Rut s e Vek ce e ket
 z ne ä te we Lä se sene we jewed we kwe e .

4. Q elle :

- Ve t vc ne eu s
- Stea e Ve uct : t d://www. dc . e / we e/dty ik/ te n t/ e /nu
3/06 0440.sr
- Skuzzez e ka e u a e e ea e c y a u te D cxc : es-
a , L. / S t ere , O.: 1 - e t ik, Mk ik, W” a e

Physikalisches Anfängerpraktikum - P1

Aeromechanik

P1-24,26,28

Protokoll von
Tobias Renz und **Raphael Schmager**

Gruppe: Do-28

Versuchsdatum: 12.01.2012

Demonstrationsversuche

D.1. und D.2.

Im ersten Demonstrationsversuch haben wir die Scheibensonde und die Rohrsonde untersucht. Wir haben eine konstante Windgeschwindigkeit von ca. 8 Skt eingestellt und jeweils den Druck, in paralleler und senkrechter Lage der Sonden zur Strömungsrichtung, gemessen.

	Scheibensonde Druck / Pa	Rohrsonde Druck / Pa
senkrecht	114	-99
parallel	-11	117

Tabelle 1: Scheiben- und Rohrsonde

Ist die Scheibensonde senkrecht zum Luftstrom misst man den Gesamtdruck, ist sie hingegen parallel misst man den statischen Druck. Bei der Rohrsonde ist es genau umgekehrt.

Bei der Messung des statischen Druckes hätten wir einen Wert von 0 Pa erwartet. Mit beiden Sonden wurde dieser Wert nicht erreicht, aber die Scheibensonde liefert ein deutlich besseres Ergebnis.

Bei der Messung für den Gesamtdruck liefern beide Sonden einen nahezu identischen Wert. Die Messung mit der Rohrsonde eignet sich aber etwas besser, da bei der Scheibensonde die auftreffende Luft an der Scheibe gestaut wird. Fließt diese Luft nun seitlich gibt es Abweichungen bei der Druckmessung.

Aus diesen Messungen schließen wir, dass sich die Scheibensonde besser zur Messung des statischen Drucks und die Rohrsonde besser zur Messung des Gesamtdrucks eignet.

D.3. Venturirohr

In dieser Aufgabe haben wir ein Venturirohr an die Windmaschine angeschlossen und mittels acht fest angebrachter U-Rohr-Manometern den Verlauf des statischen Drucks untersucht. An den Manometern haben wir den Höhenunterschied (Δh) gemessen. Bei einem positiven Δh wurde ein Überdruck und bei negativem Δh ein Unterdruck gemessen.

Messstelle	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta h / cm$	2,2	1,9	1,3	-0,5	-9,5	-2,2	-1,2	-0,1

Tabelle 2: Venturirohr

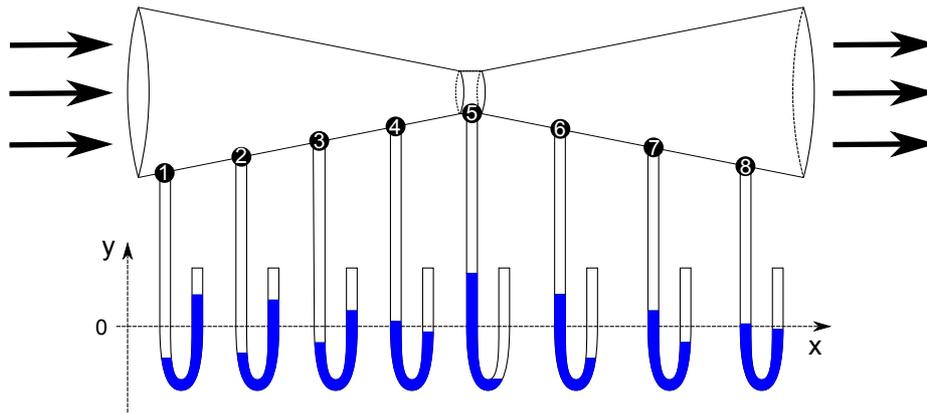


Abbildung 1: Venturirohr

Der Messwert 5 liegt relativ genau in der Mitte und dort ist auch der größte negative Höhenunterschied. Dies entspricht dem kleinsten statischen Druck und somit dem größten dynamischen Druck. Somit ist wie erwartet am engsten Stück die größte Strömungsgeschwindigkeit.

Man erwartet an den Rändern des Rohres (Messpunkte 1 und 8) den größten statischen Druck, da dort die Geschwindigkeit am geringsten ist. An den Messwerten sieht man, dass der Druck am Messpunkt 1 am größten ist, dann absinkt bis zum Minimum am Messwert 5 und von dort wieder ansteigt bis zum Messwert 8. Dieses Verhalten erwartet man auch, aber eigentlich erwartet man ein symmetrisches Verhalten. Der Druck am Messpunkt 1 sollte also den selben Wert wie am Messpunkt 8 betragen. An den Messwerten sieht man aber, dass der Druckverlauf nicht symmetrisch ist.

Da der Druckverlauf nicht symmetrisch ist kann durch Reibung zustande kommen.

An den Messwerten 1 und 8 sollte der statische Druck den Wert 0 betragen, da dort die Querschnittsfläche der Ausgangsquerschnittsfläche entspricht. An den Messwerten 1-3 ist aber ein Überdruck. Dieser Überdruck kann dadurch zustande kommen, dass der Luftstrom nicht parallel zu den Wänden ist und somit ein Teil des Luftstromes in die Manometer drückt. Im Manometer wird dann der statische Druck und ein Teil des dynamischen Drucks gemessen.

D.4. Aerodynamisches Paradoxon

Diesen Versuch könnten wir leider nicht durchführen, da die benötigten Utensilien nicht vorhanden waren.

Aufgabe 1: Untersuchung des Luftstroms

1.1. Ortsabhängigkeit des dynamischen Drucks

Wir haben den dynamischen Druck und somit die Strömungsgeschwindigkeit an verschiedenen Positionen vor der Düse gemessen um entscheiden zu können in welchem Bereich die Windgeschwindigkeit ausreichend konstant ist. Bei der Messung haben wir den Abstand x zur Düse und den Versatz y aus der Mitte gemessen.

Folgende Werte ergaben sich bei einer Windgeschwindigkeit von 8 Skt:

x / cm	y / cm	p_d / Pa					
		0	1	2	3	4	5
10		158	160	152	152	110	70
20		156	160	150	143	103	75
30		154	157	141	135	92	72

Tabelle 3: Druck im Luftstrom an verschiedenen Orten

Um die Messwerte besser Auswerten zu können haben wir den dynamischen Druck über dem Abstand x aufgetragen.

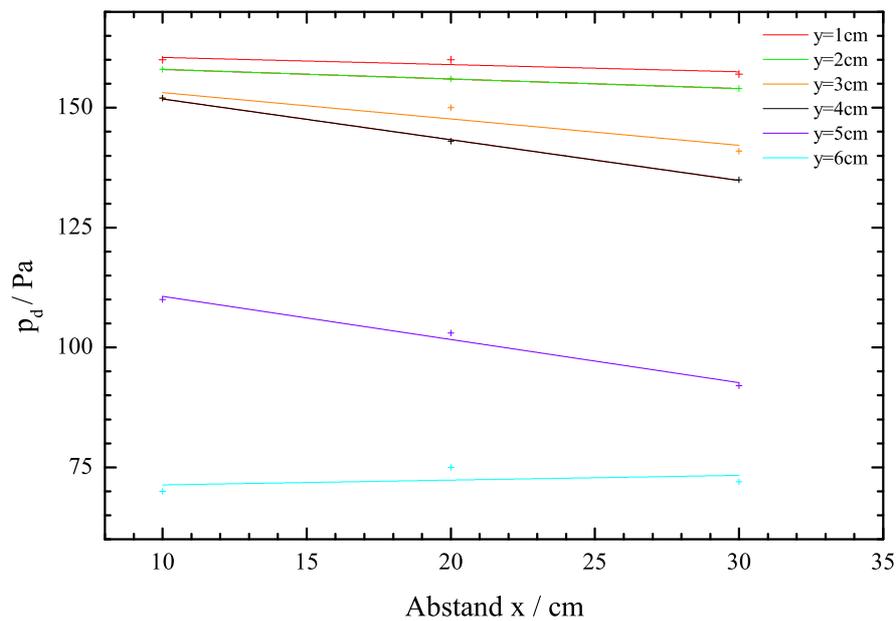


Abbildung 2: Dynamischer Druck

Man sieht, dass die die Windgeschwindigkeit bei größeren Versätzen aus der stark variiert. Für die weiteren Messungen ist es deshalb wichtig, dass sie auf der Mittelachse der Düse durchgeführt werden.

Die weiteren Messungen führen wir bei einem Abstand $x = 20 \text{cm}$ von der Düse und einem Versatz von 0cm aus der Mitte durch.

1.2. Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Drehzahl

Da wir bei folgenden Versuchen die Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Potentiometerstellung wissen müssen, bestimmen wir die Windgeschwindigkeit bei verschiedenen Stellungen des Potentiometers über eine Messung des dynamischen Drucks. Den Druck bestimmen wir mithilfe eines Prandtl'schen Staurohrs.

Aus dem dynamischen Druck (p_{dyn}) können wir dann wie folgt die Windgeschwindigkeit berechnen:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{dyn}}{\rho}}$$

Mit der Dichte von Luft (bei $T \approx 300K$) $\rho = 1,293 \frac{kg}{m^3}$ (aus: "Physik für Wissenschaftler und Ingenieure" Paul A. Tipler)

Die Drehzahl kann aus der Potentiometerstellung (in Skt) über folgenden Zusammenhang berechnet werden (aus Versuchsvorbereitung):

$$y = -0,422x^3 + 7,5381x^2 - 35,03x + 57,5$$

Dabei wird für x der Wert der Potentiometerstellung in Skt genommen und y ergibt die Drehzahl in S^{-1} .

Es ergeben sich folgende Wert:

Drehzahl / Skt	Drehzahl / s^{-1}	p_d / Pa	v / ms^{-1}
3	8,85	5	2,78
4	10,97	9	3,73
5	18,03	21	5,70
6	27,50	40	7,87
7	36,84	69	10,33
8	43,53	99	12,37

Tabelle 4: Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Drehzahl

Aufgabe 2: Strömungswiderstand

2.1. Rücktrieb und Stirnfläche

In dieser Aufgabe wird der Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand (F_W) und Stirnfläche (A) untersucht.

Dazu haben wir bei konstanter Windgeschwindigkeit von 8 Skt den Strömungswiderstand von drei unterschiedlich großen Kreisscheiben gemessen. Zusätzlich haben wir F_{W_H} des Haltestiels gemessen und damit unsere Messwerte korrigiert:

$$F_{W_{kor}} = F_W - F_{W_H}$$

Die Stirnfläche wird folgendermaßen berechnet:

$$A = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Wobei D der jeweilige Durchmesser der Kreisscheiben ist.

Folgende Werte wurden gemessen bzw. berechnet:

d / mm	A / cm^2	F_W / N	$F_{W,korr} / N$
40	0,13	0,14	0,12
56	0,25	0,28	0,26
80	0,50	0,47	0,45
Haltestiel		0,02	0

Tabelle 5: Kraft auf Kreisscheiben

Um die Proportionalität zu prüfen tragen wir den Strömungswiderstand F_W über der Stirnfläche A auf.

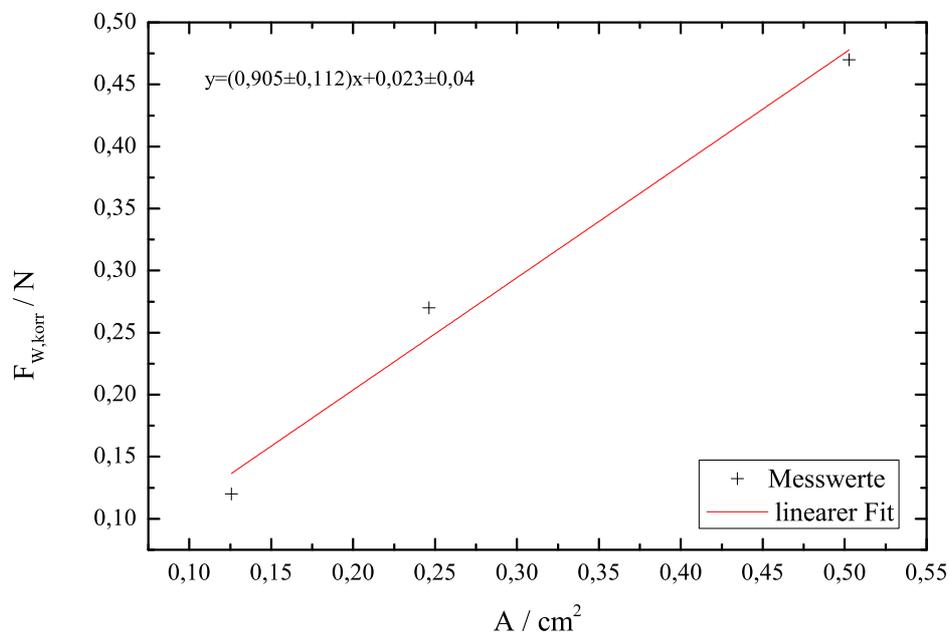


Abbildung 3: Strömungswiderstand über Stirnfläche

Legt man einen linearen Fit durch die Messwerte sieht man, dass der Fehler relativ klein ist. Daraus schließt man, dass der Strömungswiderstand proportional zu A ist.

2.2. Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit

Nun wird der Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand und dynamischem Druck P_{dyn} untersucht. Dazu haben wir bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten jeweils den Strömungswiderstand der zwei größeren Kreisscheiben gemessen. Wir haben die beiden größeren Kreisscheiben genommen, da bei ihnen der Strömungswiderstand des Haltestiels vernachlässigbar ist.

Wir haben die selben Windgeschwindigkeiten wie in Aufgabe 1.2 benutzt und können deshalb die Werte für den dynamischen Druck aus 1.2 übernehmen.

Es ergaben sich folgende Werte:

Drehzahl / <i>Stk</i>	p_d / Pa	F_W / N	
		d=80mm	d=56mm
3	5	0,01	0,01
4	9	0,025	0,015
5	21	0,07	0,04
6	40	0,19	0,13
7	69	0,36	0,21
8	99	0,45	0,28

Tabelle 6: Kreisscheiben bei Variabler Drehzahl

Um die Proportionalität zu finden haben wir den Strömungswiderstand der jeweiligen Kreisscheibe über dem dynamischen Druck aufgetragen.

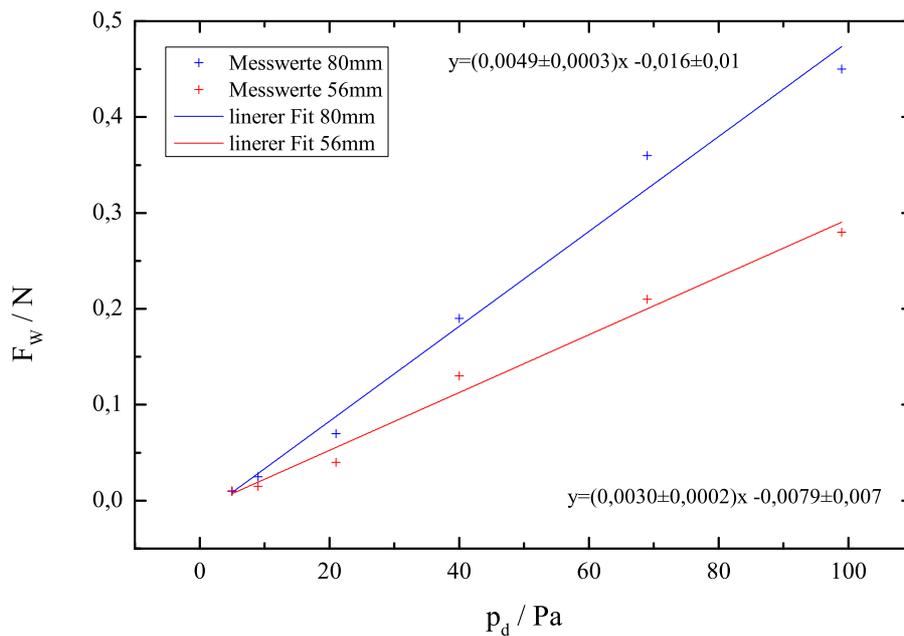


Abbildung 4: Strömungswiderstand über dynamischer Druck

Die linearen Regressionen haben in diesem Fall leider einen relativ großen Fehler (im Achsenabschnitt), man erkennt aber, dass ein linearer Zusammenhang stimmen müsste. Die Abweichungen kommen wahrscheinlich durch Messfehler zustande.

In Aufgabe 2.1 haben wir gezeigt, dass $F_W \sim A$ und in 2.2, dass $F_W \sim p_{dyn}$. Damit haben wir experimentell folgende Formel bestätigt.

$$F_W = c_w \cdot A \cdot p_{dyn}$$

2.3 Rücktrieb und Körperform

Nun untersuchen wir den Zusammenhang zwischen Rücktrieb und Körperform. Dazu messen wir bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit von 8 Skt den Strömungswiderstand F_W verschiedener Körper und berechnen dann den Widerstandsbeiwert c_w :

$$c_w = \frac{F_W}{p_{dyn} \cdot A}$$

Die Werte F_W müssen auch wieder mit F_{WH} korrigiert werden.

Den Wert für den dynamischen Druck bei 8 Skt haben wir in 1.2 zu $p_{dyn} = 99 Pa$ bestimmt.

Die Fläche berechnet sich bei allen Körpern zu $A = 2,46 \cdot 10^{-3} m^2$

Damit ergeben sich für unsere Körper folgende Werte:

	W.=Windrichtung	F_W / N	$F_{W,korr} / N$	$c_w / 1$	$c_{w,lit} / 1$
Vollkugel		0,08	0,06	0,25	0,45
Halbkugel	Öffnung in W.	0,12	0,1	0,41	0,34
	Öffnung gegen W.	0,33	0,31	1,27	1,33
Stromlinienkörper	Spitze in W.	0,031	0,011	0,05	k.A.
	Spitze gegen W.	0,029	0,009	0,04	0,05

Literaturwerte aus Wikipedia (Stand: 12. Jan 2012 21:30Uhr):
<http://de.wikipedia.org/wiki/Strömungswiderstandskoeffizient>

Tabelle 7: Verschiedene Körperformen im Windkanal

Vergleicht man unsere Werte mit den Literaturwerten, sieht man dass, wir mit unseren Messwerten in der Nähe der Literaturwerte liegen. Für unseren Versuchsaufbau ist dies ein gutes Ergebnis.

Man sieht, dass der stromlinienförmige Körper, wie erwartet den besten c_w Wert hat. Die Vollkugel und die Halbkugel in konvexer Stellung haben einen ähnlichen Wert. Den mit Abstand höchsten c_w Wert hat die Halbkugel in konkaver Stellung. Dies ist auch verständlich, da der Wind quasi in der Kugel gefangen wird.

2.4. c_w eines Flugzeuges

Zum Abschluss dieser Aufgabe haben wir noch den c_w Wert eines Propellerflugzeuges bestimmt. Dazu haben wir wieder bei einer Windgeschwindigkeit von 8 Skt den Strömungswiderstand gemessen und diesen korrigiert.

Die Fläche haben wir zu 140 mm^2 abgeschätzt.

Es ergibt sich dann folgender c_w Wert:

$$c_w = \frac{F_W}{A \cdot p_{dyn}} = \frac{0,05N}{140\text{mm}^2 \cdot 99Pa} = 3,6$$

Dieser Wert ist sehr hoch, wahrscheinlich haben wir die Stirnfläche zu klein abgeschätzt.

Aufgabe 3: Tragflügel

3.1. Auftrieb und Strömungswiderstand

Wir haben an einem Tragflügel bei konstanter Windgeschwindigkeit von 8 Skt die Auftriebskraft F_A und den Strömungswiderstand F_W bei verschiedenen Anstellwinkeln gemessen. Den Anstellwinkel haben wir in 5° Schritten von -20° bis $+20^\circ$ erhöht.

Die Gleitzahl ϵ ergibt sich aus:

$$\epsilon = \frac{F_W}{F_A}$$

Folgende Werte haben wir gemessen:

Anstellwinkel $\alpha / ^\circ$	F_A in N	F_W in N	$\epsilon / 1$
-20	-0,2	0,12	-0,60
-15	-0,05	0,07	-1,40
-10	0,1	0,08	0,80
-5	0,15	0,07	0,47
0	0,2	0,06	0,30
5	0,25	0,07	0,28
10	0,3	0,07	0,23
15	0,35	0,105	0,30
20	0,4	0,13	0,33

Tabelle 8: Werte zur Aufgabe 3.1

Nun haben wir die Auftriebskraft gegenüber dem Anstellwinkel aufgetragen.

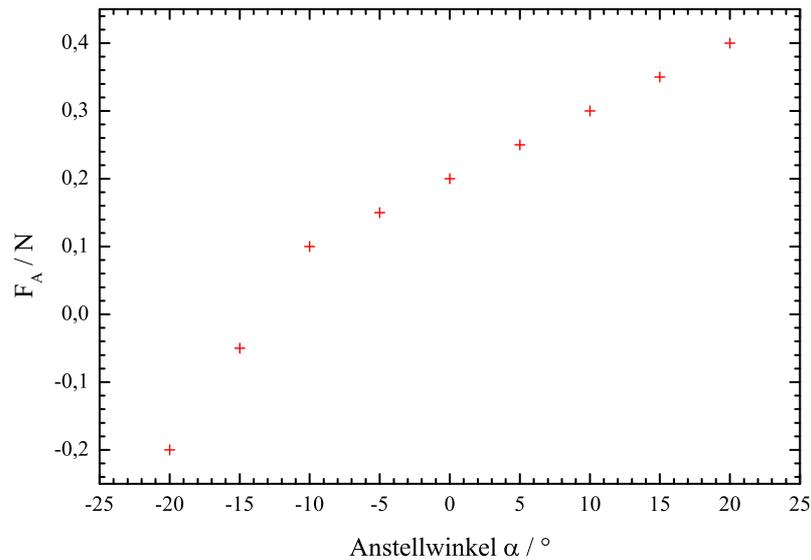


Abbildung 5: Auftrieb über Anstellwinkel

Man sieht schön, dass der Auftrieb mit steigendem Winkel größer wird. Ab einem bestimmten negativen Anstellwinkel ist der Auftrieb negativ, man hat in diesem Fall Abtrieb.

Trägt man den Strömungswiderstand über dem Anstellwinkel auf ergibt sich folgendes Schaubild:

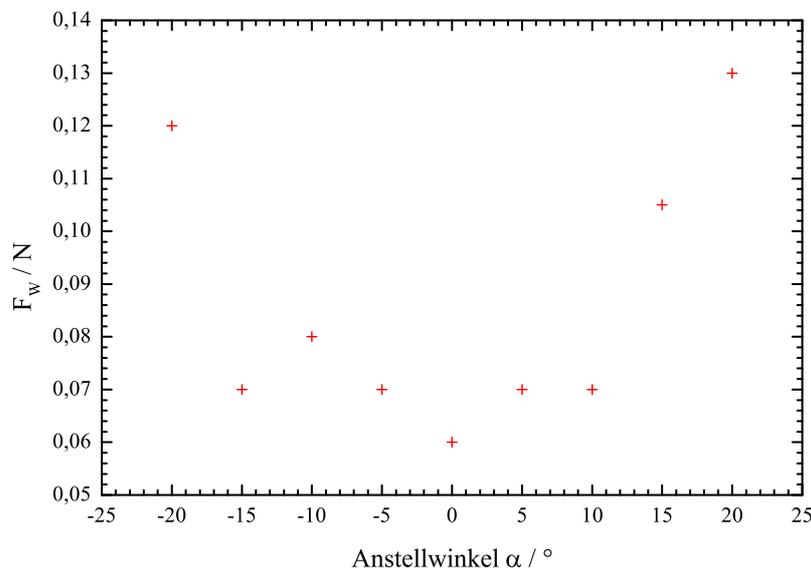


Abbildung 6: Strömungswiderstand über Anstellwinkel

Man erkennt, dass beim Anstellwinkel von 0° der kleinste Strömungswiderstand entsteht. Dies

ist auch verständlich, da bei 0° der Flügel parallel zum Luftstrom liegt und so die Stromlinienform optimal genutzt wird. Verändert man den Anstellwinkel wird die Fläche senkrecht zum Luftstrom vergrößert und der Strömungswiderstand nimmt zu.

Der zweite und der siebte Messwert weichen am meisten von den anderen Messwerten ab. Aus diesem Grund haben wir diese beiden Messwerte im Polardiagramm nicht eingetragen. Dies war nötig, damit das Polardiagramm einigermaßen die gewünschte Form hat.

Das Polardiagramm ergibt sich, wenn man den Auftriebswert über dem Widerstandswert aufträgt.

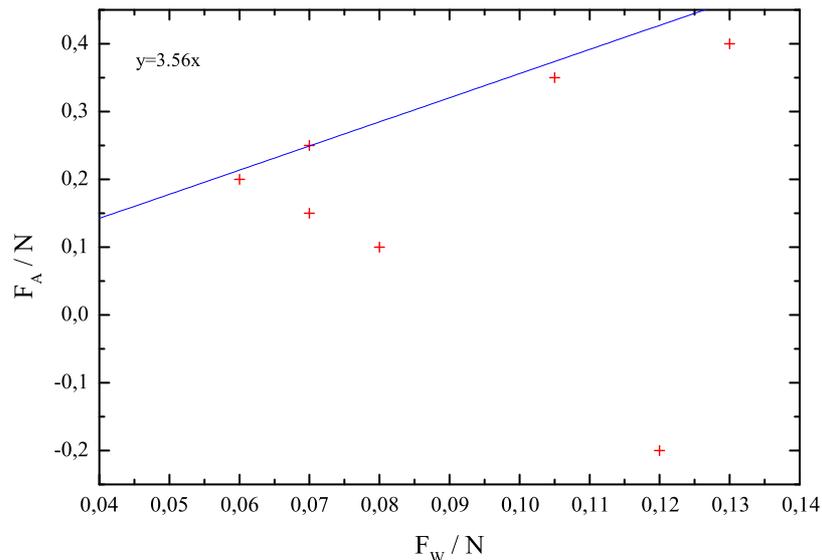


Abbildung 7: Strömungswiderstand über Anstellwinkel

Aus dem Kehrwert der Steigung einer Ursprungsgeraden an den Graphen erhält man die Gleitzahl. Die günstigste Gleitzahl ergibt sich dann aus der Geraden mit der größten Steigung. Diese Gerade hat bei uns eine Steigung von $3,56 / 1$. Daraus ergibt sich eine günstigste Gleitzahl von $0,28 / 1$.

Um die Flugeigenschaften zu verbessern muss man eine möglichst geringe Gleitzahl erreichen. Dies kann man z.B. dadurch verbessern, indem man eine möglichst glatte Oberfläche benutzt, so dass der Strömungswiderstand verkleinert wird.

3.2. Druck am Tragflügel

Wir haben nun bei konstanter Winkelgeschwindigkeit den Druck an den 9 Messstellen gemessen. Negative Werte bezeichnen einen Unterdruck, positive einen Überdruck an dieser Stelle des Flügels. Diese Drücke sollen nun als Druckvektoren in das Flügelprofil eingetragen werden. Dabei wurde die Länge der Vektoren durch den Betrag definiert. Zu beachten ist, dass der Pfeil bei Unterdruck nach außen zeigt; bei Überdruck in das Tragflächenmodell hinein.

-20°	Messpunkte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Druck in Pa	69	35	2	-6	-4	-29	-29	-16	0

Tabelle 9: Anstellwinkel -20°

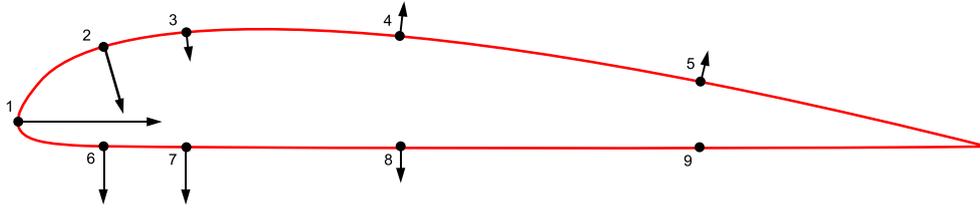


Abbildung 8: Tragflächenmodell bei -20°

Da die Vektoren so eingezeichnet wurden, dass sie bei Unterdruck nach außen zeigen, entspricht die Summe der Vektoren einer Kraft auf den Flügel.

Beim Anstellwinkel von -20° zeigt die Summe der Vektoren nach unten. Dies entspricht einem Abtrieb.

0°	Messpunkte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Druck in Pa	107	-49	-44	-19	-7	-9	0	0	0

Tabelle 10: Anstellwinkel 0°

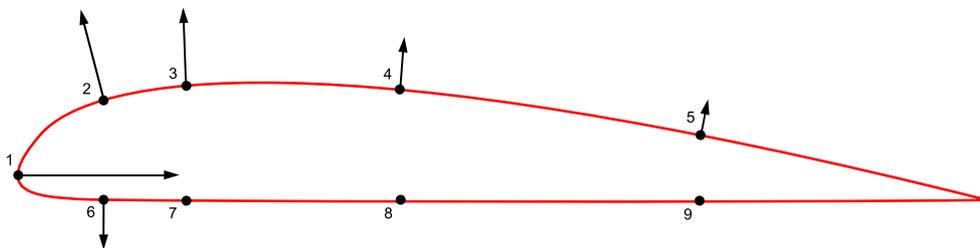


Abbildung 9: Tragflächenmodell bei 0°

Bei 0° und bei 20° zeigen die meisten Vektoren nach oben, so dass die Summe der Vektoren einem Auftrieb entspricht.

20°	Messpunkte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Druck in Pa	54	-94	-48	-10	-4	27	19	4	2

Tabelle 11: Anstellwinkel 20°

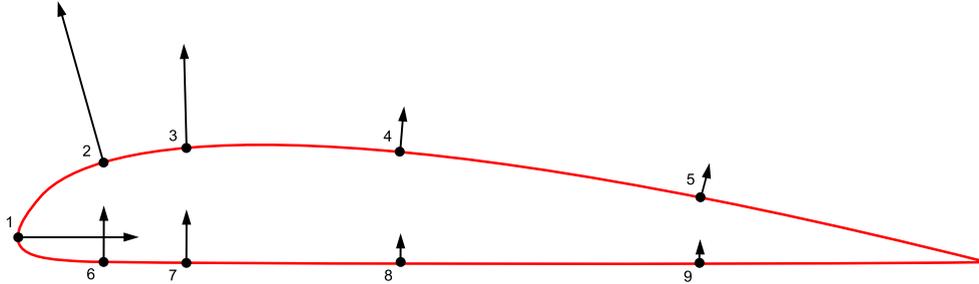


Abbildung 10: Tragflächenmodell bei 20°

Mit den Druckvektoren kann man somit den Auftrieb bzw. Abtrieb beim Flügel veranschaulichen. Die Wirkungsweise der Tragfläche ist somit leicht erkennbar. Durch die Wölbung an der Oberseite legt die Luft eine längere Strecke zurück und wird daher dort beschleunigt. Der dynamische Druck steigt. Da der Gesamtdruck konstant ist, fällt der statische Druck ab und es kommt zu einem Unterdruck an der Oberseite der Tragfläche. Umgekehrtes entsteht an der Unterseite der Tragfläche. Hier entsteht ein Überdruck. Die so entstehende Druckdifferenz übt eine Kraft aus, die nach oben wirkt.