

P1-24 AUSWERTUNG VERSUCH AEROMECHANIK

GRUPPE 19 - SASKIA MEISSNER, ARNOLD SEILER

1. VORVERSUCHE

Im folgenden wird eine Rohr- und eine Scheibensonde senkrecht bzw. parallel in einen Luftstrom gebracht.

Bei der Rohrsonde ist die Richtung des Rohrs gemeint, bei der Scheibensonde ist die Richtung der Scheibe relativ zum Luftstrom gemeint.

Um Überdruck zu messen wird ein Manometer so angeschlossen, dass die Wassersäule nach oben gedrückt wird. Um Unterdruck zu messen, wird das Manometer so angeschlossen, dass die Flüssigkeit nach oben gezogen wird.

1.1. Druckmessung mit einer Scheibensonde.

1.1.1. *Eine Scheibensonde wird parallel zur Strömungsrichtung in den Luftstrom gebracht.* Es wird ein leichter Unterdruck gemessen.

Auf diese Weise wird der statische Druck an der Sonde gemessen. Dieser ist aufgrund der Strömungsgeschwindigkeit niedriger, als der Umgebungsdruck.

1.1.2. *Eine Scheibensonde wird senkrecht zur Strömungsrichtung in den Luftstrom gebracht.* Es wird ein Überdruck gemessen.

Dieser entspricht dem Gesamtdruck, der sich aus dem dynamischen und dem statischen Druck zusammensetzt.

1.2. Druckmessung mit einer Rohrsonde.

1.2.1. *Rohrsonde parallel zur Strömungsrichtung.* Mit zunehmender Motorleistung steigt der gemessene Druck.

Hier wird ebenfalls der Gesamtdruck gemessen.

1.2.2. *Rohrsonde senkrecht zur Strömungsrichtung.* Mit zunehmender Motorleistung sinkt der gemessene Druck.

Hier wird der statische Druck gemessen.

Folgerung: Am gemessenen Druck wird erkennbar, dass die Scheibensonde besser geeignet ist, um den statischen Druck zu messen während die Rohrsonde besser geeignet ist, den Gesamtdruck zu messen.

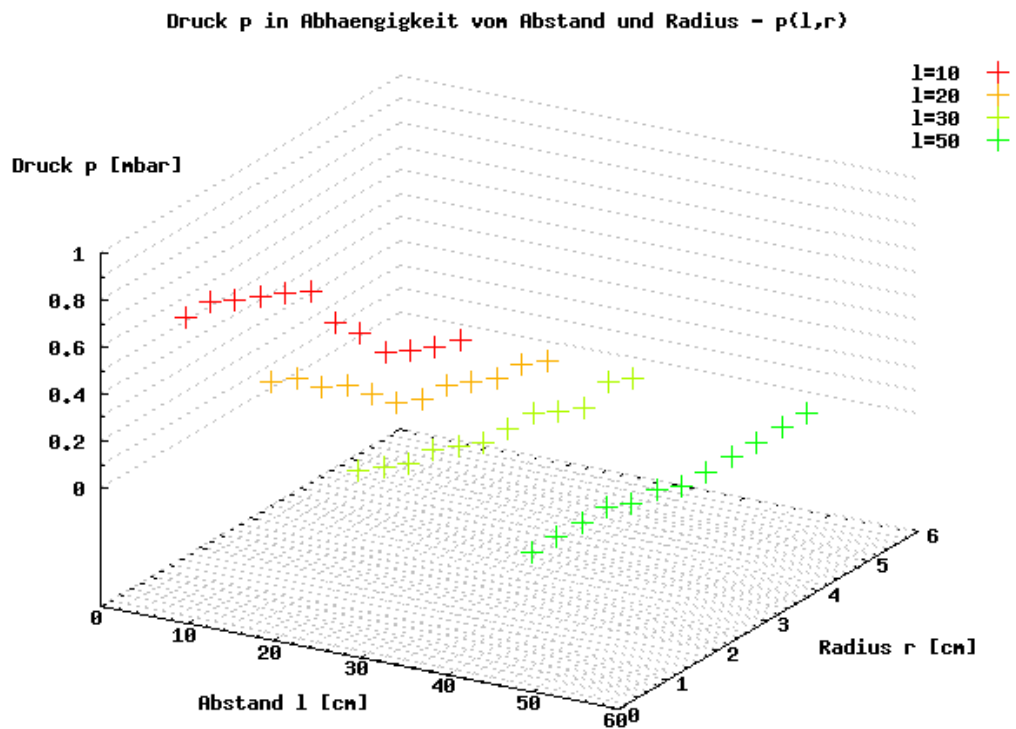
1.3. **Venturirohr.** Die Wassersäulen am Venturirohr messen den statischen Druck. Dieser nimmt vom Anfang (beim Gebläse) zur Mitte hin ab (wo das Rohr enger wird), und zum Ende hin wieder zu. Theoretisch erwartet man, dass der Druck am Anfang und am Ende gleich dem äußeren Druck ist (Druckunterschied Null). Tatsächlich herrscht am Anfang jedoch sogar ein Überdruck. Dies kommt daher, dass die Anschlüsse der Wassersäulen im Rohr nicht senkrecht zum Rohr, sondern senkrecht Achse des Rohrs sind. Daher wird bei den ersten Säulen eher der Gesamtdruck gemessen.

1.4. **Aerodynamisches Paradoxon.** Zwischen zwei Scheiben wird Luft geblasen. Eine der Scheibe hat eine Reihe Löcher radial nach außen, um den Druck zwischen den Scheiben zu messen. An den ersten beiden Löchern herrscht Überdruck, da hier der Gesamtdruck gemessen wird. Sie liegen direkt im eingeblasenen Luftstrom, der senkrecht auf diese Löcher trifft. An den anderen Löchern wird ein nach außen hin abnehmender Unterdruck gemessen - der statische Druck.

2. UNTERSUCHUNG DES LUFTSTROMS

Es handelt sich in erster Linie um vorbereitende Versuche, um später die Eigenschaften des Luftstroms zu kennen.

2.1. **Druck an verschiedenen Orten.** Bei dieser Messung wird der Druck an verschiedenen Orten im Luftstrom gemessen.

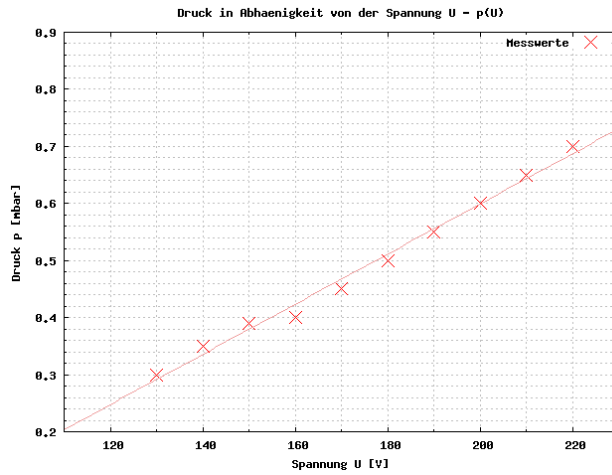


Die Grafik zeigt den dynamischen Druck vor dem Gebläse in Abhängigkeit vom Ort.

Der Versuch dient dazu, einen geeigneten Bereich für die weiteren Messungen zu finden. Der Druck innerhalb dieses Bereichs sollte möglichst ortsunabhängig sein.

Daher wählt man einen Bereich um den Punkt mit Abstand $l=20\text{cm}$ und $r=0\text{cm}$.

2.2. **Druck in Abhängigkeit von der Motorspannung.** Wir wollen einen Zusammenhang zwischen der am Motor angelegten Spannung und der Windgeschwindigkeit bestimmen.



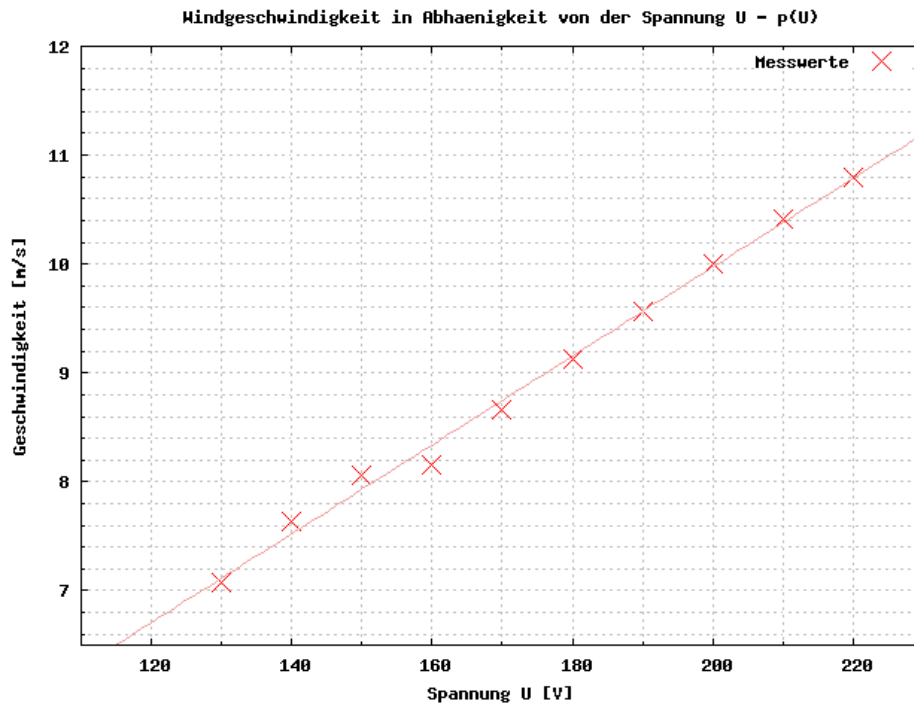
Ausgleichsgerade: $p(U) = 4.4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mbar}}{\text{V}} \cdot U - 280 \cdot 10^{-3} \text{mbar}$

Die Grafik zeigt den dynamischen Druck in Abhängigkeit von der Motorspannung.

Der Druck hängt linear von der Spannung ab.

Die Windgeschwindigkeit ergibt sich aus dem gemessenen Druck: $v = \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho}}$.

Dabei ist $p_d = 1 \text{mbar} = 100 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$ und die Luftdichte $\rho = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



Ausgleichsgerade: $v(U) = 4.1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{Vs}} \cdot U - 181 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

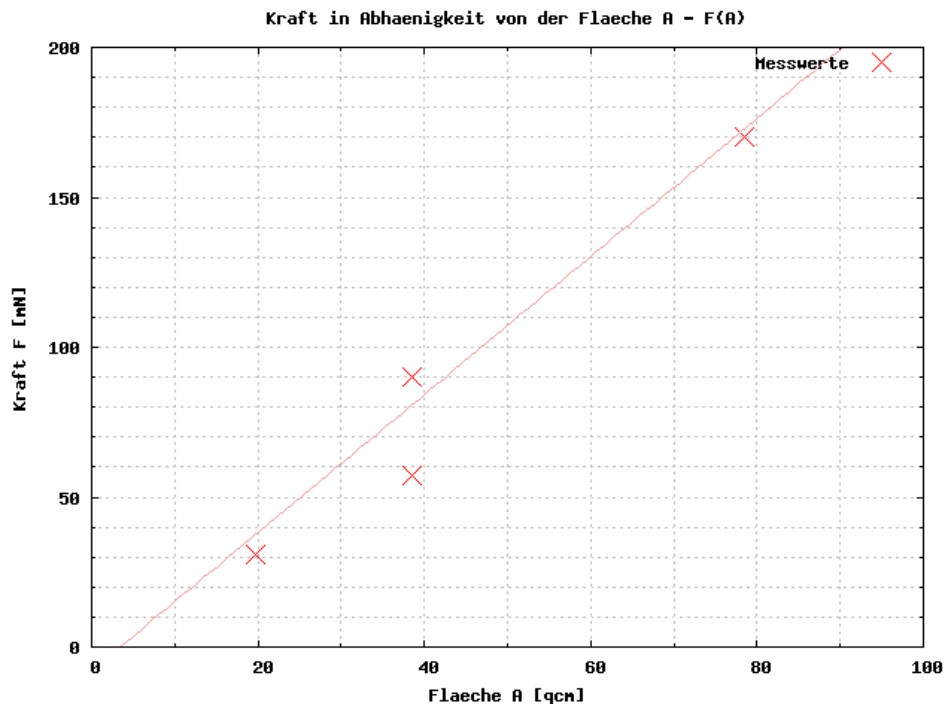
Die Windgeschwindigkeit ist nicht wie erwartet proportional zu $U^{\frac{2}{3}}$, sondern direkt proportional zu U .

Dies liegt vermutlich an einem nichtlinearen Verhalten der Motorleistung zur Spannung.

3. STRÖMUNGSWIDERSTAND

Hier soll der Zusammenhang zwischen der Kraft, die auf einen Körper im Luftstrom wirkt, und seinen Eigenschaften untersucht werden.

3.1. Rücktrieb und Stirnfläche. Wir wollen untersuchen, wie die Stirnfläche eines Körpers sich auf den Rücktrieb auswirkt.



Ausgleichsgerade: $F(A) = 2,3 \frac{N}{cm^2} \cdot A - 7,9 N$

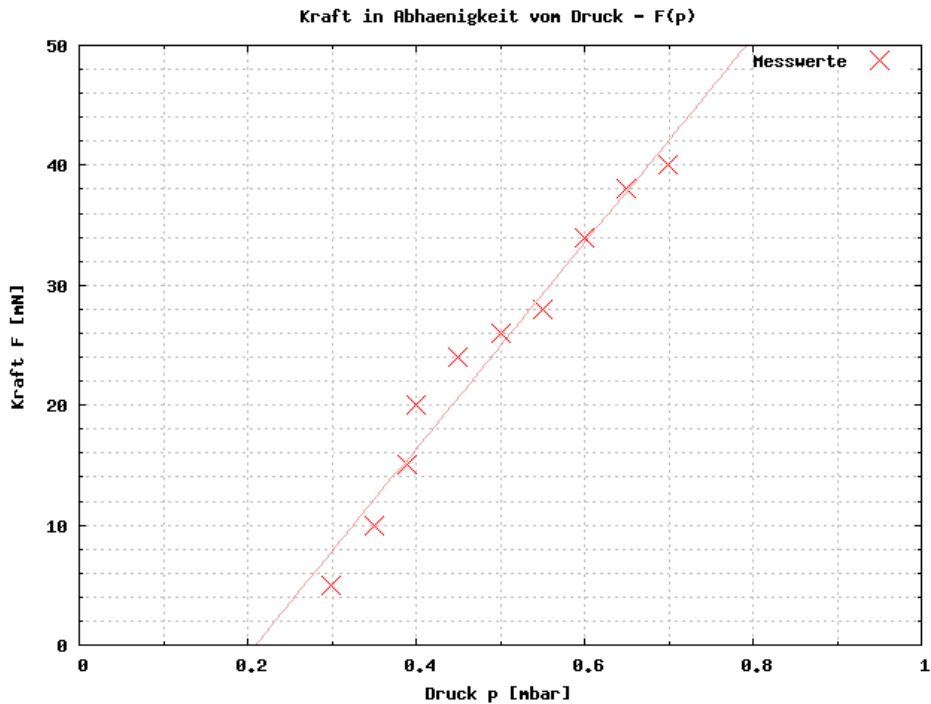
Die Grafik zeigt die Kraft auf eine Kreisscheibe in Abhängigkeit von ihrer Fläche.

(Bei dem unteren Messpunkt der mittleren Kreisscheibe ($A = 38,5 cm^2$) war der Umlenkarm am Anschlag, daher wird dieser Wert in der Ausgleichsgeraden nicht berücksichtigt.)

Wir haben die Kraft auf drei verschieden große Kreisscheiben gemessen. Die Kraft auf den Haltestiel haben wir nicht gemessen. Einerseits war der Haltestiel nicht ohne Kreisscheibe verfügbar. Andererseits sind die Fehler, die durch den empfindlichen Messaufbau entstehen, ohnehin sehr viel größer als der, den der Stiel verursacht.

Da wir nur drei verschiedene Flächen gemessen haben, ist es gewagt, einen linearen Zusammenhang anzunehmen.

3.2. Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit. Nun wollen wir den Zusammenhang zwischen dem Rücktrieb und der Strömungsgeschwindigkeit untersuchen.



Ausgleichsgerade: $F(p) = 86 \frac{N}{mbar} \cdot p - 18N$

Die Grafik zeigt die Kraft auf die kleine Kreisscheibe in Abhängigkeit von dem dynamischen Druck, der auf die Scheibe wirkt.

Mit dem in 2.2 bestimmten Druck, kann man auf die Abhängigkeit zwischen dynamischem Druck und Kraft schließen. Hier ist es eher gerechtfertigt, einen linearen Zusammenhang anzunehmen. Die Gerade sollte zwar durch den Ursprung gehen (keine Kraft bei null Druck), doch dieser Fehler folgt vermutlich aus dem empfindlichen Messaufbau.

3.3. Rücktrieb, Körperform und Oberflächenbeschaffenheit. Wir messen den Strömungswiderstand verschiedener rotationsymmetrischer Körper.

Jeder Körper wird zwei mal gemessen. Mit und ohne Drehung um 180°

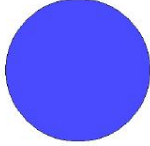
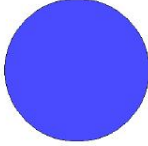


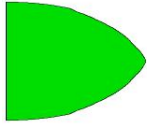
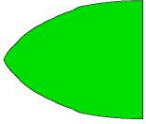
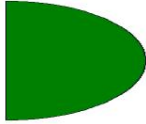
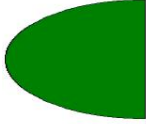
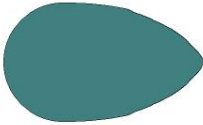
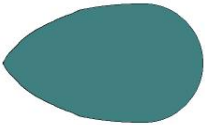
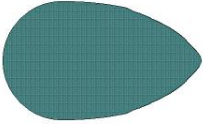
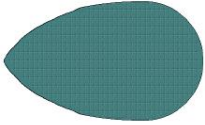
Körper	Kraft bei 0°	c_w Wert	Kraft bei 180°	c_w Wert
Kugel	21	0,91	21	0,91
Halbkugel	20	0,87	34	1,47
Halbkörper mit Spitze	9	0,39	23	1
Halbkörper mit Rundung	15	0,65	28	1,21
Stromlinienkörper glatt	7	0,3	2	0,09
Stromlinienkörper raus	11	0,48	9	0,39

Die Stirnfläche der Körper war identisch mit der Fläche der mittleren Kreisscheibe.

Die c_w Werte ergeben sich aus $c_w = \frac{F}{p_d \cdot A}$.

Damit es nicht zu Missverständnissen kommt, hier eine Tabelle der Körper und ihre Lage im Luftstrom:

Der Luftstrom kommt von rechts.

Körper 0°	Körper um 180° gedreht
Kugel 	Kugel 
Halbkugel 	Halbkugel (gedreht) 
Halbkörper mit Spitze 	Halbkörper mit Spitze (gedreht) 
Halbkörper mit Rundung 	Halbkörper mit Rundung (gedreht) 
Stromlinienkörper 	Stromlinienkörper (gedreht) 
Stromlinienkörper rau 	Stromlinienkörper rau (gedreht) 

1

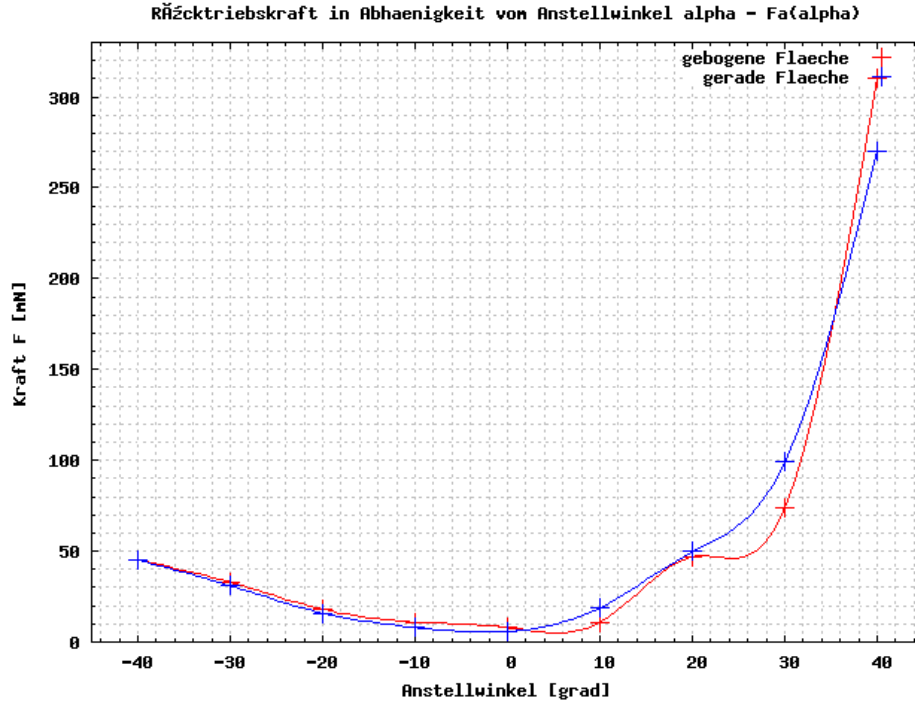
Der Widerstandsbeiwert c_w hängt sowohl von der Form, als auch von der Richtung zum Luftstrom und der Oberfläche, die ein Körper hat, ab.

4. TRAGFLÜGEL

Nun untersuchen wir die Eigenschaften eines Tragflügels.

¹Bildquelle: Vorbereitung Aeromechanik von Julian Merkert

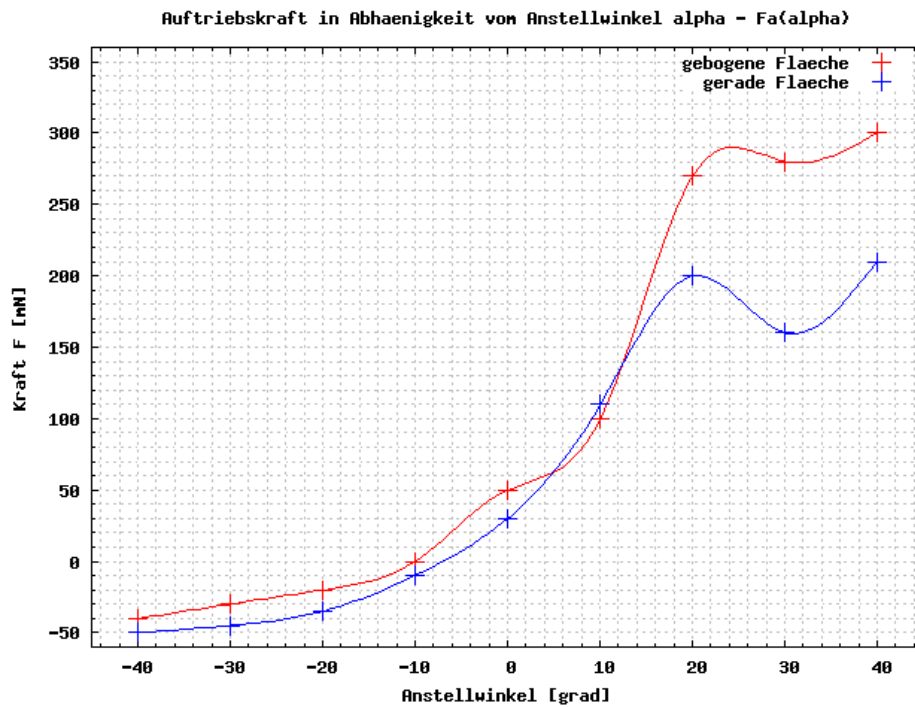
4.1. **Auftrieb und Stömungswiderstand.** Wir messen den Auftrieb und den Widerstand, den eine gebogene und eine gerade Platte im Luftstrom haben.



Die Grafik zeigt den Strömungswiderstand in Abhängigkeit vom Anstellwinkel beider Platten.

Die Platten haben in etwa den gleichen Widerstand.

Die Kurve dient lediglich dazu, den Verlauf der Messwerte nachvollziehen zu können, sie hat keine physikalische Bedeutung.

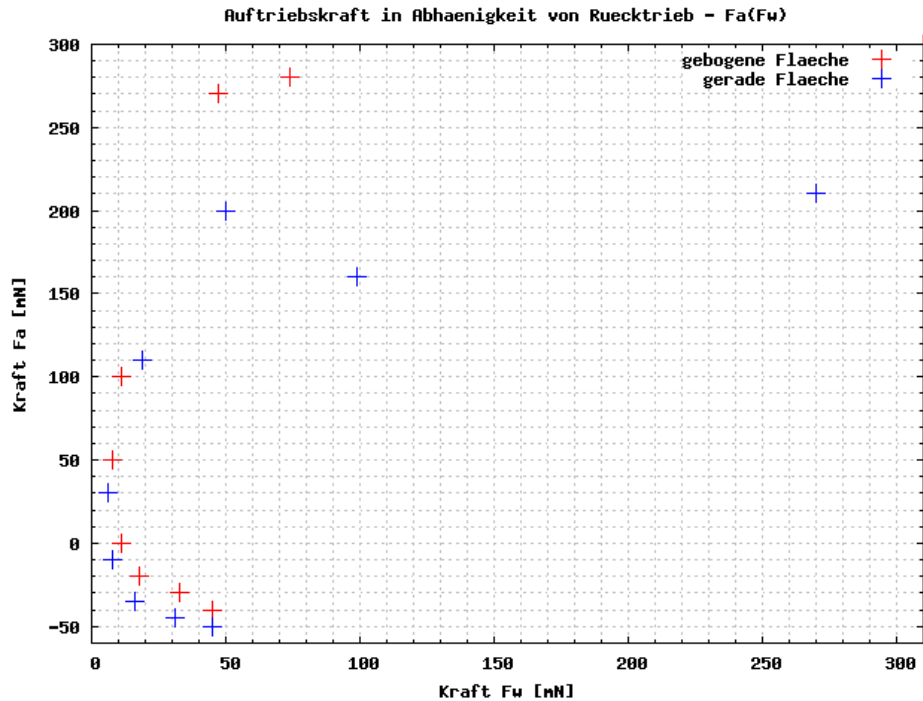


Die Grafik zeigt den Auftrieb in Abhängigkeit vom Anstellwinkel beider Platten.

Die gebogene Platte hat mehr Auftrieb.

Die Werte bei Anstellwinkeln $\alpha > 0$ sind nicht besonders Vertrauenswürdig.

Die Kurve dient lediglich dazu, den Verlauf der Messwerte nachvollziehen zu können, sie hat keine physikalische Bedeutung.

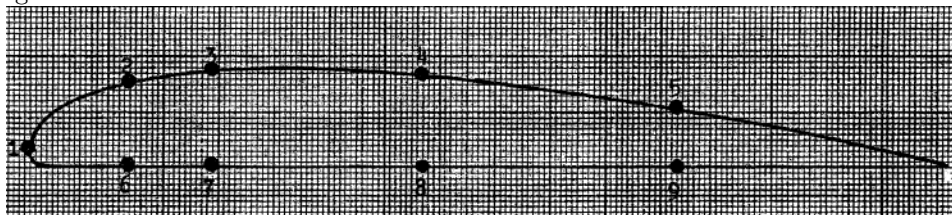


Die Grafik zeigt den Auftrieb in Abhängigkeit vom Strömungswiderstand beider Platten.

Die gebogene Platte hat einen etwas höheren Auftrieb bei gleichem Widerstand.

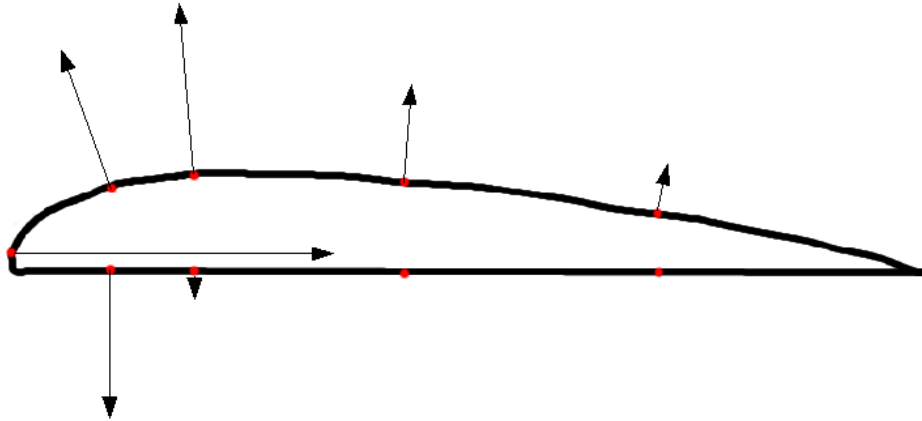
Hier wird deutlich, dass die Werte bei größeren Anstellwinkeln mit großen Kräften einher gehen. Die Werte im rechten oberen Bereich sind wohl mehr durch den Messaufbau verfälscht, als dass sie vernünftige Schlüsse zulassen.

4.2. Tragflächendruck. Wir messen den Druck an verschiedenen Flächen der Tragfläche.

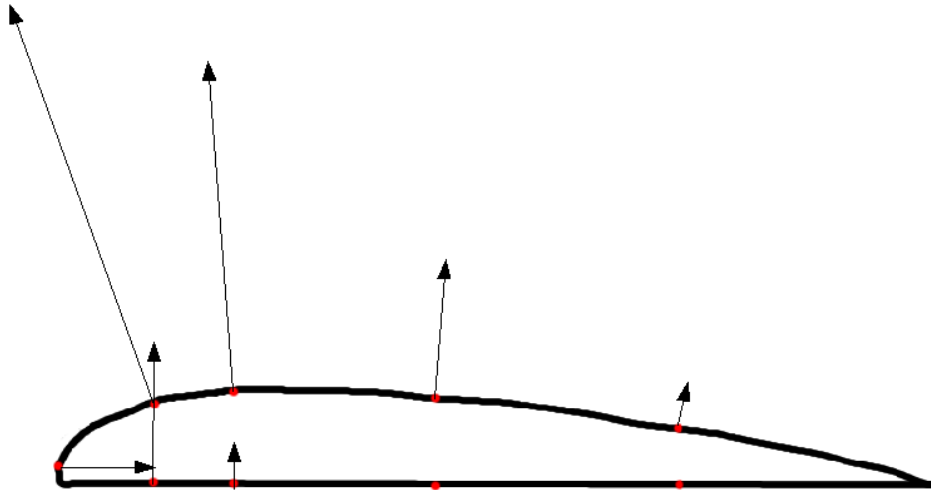


Gemessen wurde der Druck an den Punkten 1 bis 9 in Abhängigkeit vom Anstellwinkel.

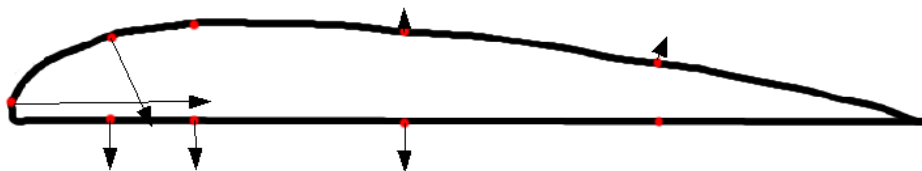
Der Druck auf der Tragfläche bei einem Anstellwinkel $\alpha = 0$:



Die Länge der Pfeile ist proportional zum Druck, positiver Druck zeigt in den Flügel hinein, negativer Druck zeigt in den Flügel hinaus. Die Pfeile stehen senkrecht auf der Oberfläche.
Der Druck auf der Tragfläche bei einem Anstellwinkel $\alpha = 20^\circ$:



Der Druck auf die Tragfläche bei einem Anstellwinkel $\alpha = -20^\circ$:



Die Luft strömt an der Oberseite schneller als an der Unterseite. Bei einem Anstellwinkel $\alpha = 0^\circ$ herrscht an der Oberseite ein Unterdruck, der die Tragfläche nach

oben zieht. An der Unterseite herrscht hingegen ein Überdruck, der die Tragfläche nach oben drückt.

Bei einem Anstellwinkel von $\alpha = 20$ sind die Kräfte nach oben noch größer, der Auftrieb ist stärker.

Bei einem Anstellwinkel von $\alpha = -20$ werden die Kräfte kleiner, der Auftrieb sinkt, bzw. wird sogar zu einem Abtrieb - die Tragfläche wird sogar nach unten gezogen.