

Versuchsauswertung P1-24: Aeromechanik

Kathrin Ender, Michael Walz
Gruppe 10

16. November 2007

Inhaltsverzeichnis

0	Zur Auswertung	2
D	Demonstrationsversuche	2
D.1	Druckmessungen mit der Scheibensonde	2
D.2	Druckabhängigkeit von der Windgeschwindigkeit	2
D.3	Venturirohr	3
D.4	Aerodynamisches Paradoxon	3
1	Untersuchung des Luftstroms	4
1.1	Ortsunabhängige Windgeschwindigkeit	4
1.2	Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit vom Motorstrom	5
2	Strömungswiderstand	6
2.1	Rücktrieb und Stirnfäche	6
2.2	Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit	6
2.3	Rücktrieb und Körperform sowie Oberflächenbeschaffenheit	7
3	Wirkungsweise eines Tragflügels	9
3.1	Auftrieb	9
3.2	Druckvektoren am Tragflächenmodell	11

0 Zur Auswertung

Alle Messwerte befinden sich im handgeschrieben angehängten Versuchsprotokoll. Diese Werte wurden am Computer abgetippt und dem Programm GNUPLOT¹ zur linearen Regression übergeben. GNUPLOT nutzt zur linearen Regression die Formeln 16–18 aus dem Fehlerrechnungsskript zum Praktikum.

Die meisten Messwerte mussten aufgrund der Ableseskalen (oder aus sonstigen Gründen) noch umgerechnet werden. Aufgrund des massiven Rechenaufwandes erledigten wir dies direkt am Computer unter GNUPLOT mittels der Option „using“²; sowohl bei der Regression (über „fit“) wie auch beim Erstellen der Graphen (über „plot“).

D Demonstrationsversuche

D.1 Druckmessungen mit der Scheibensonde

Bei diesem Versuch hielten wir die Scheibensonde, die an ein Manometer angeschlossen war, bei konstanter Windgeschwindigkeit ($I=1A$) einmal parallel zum Luftstrom³ und einmal senkrecht⁴ dazu. Bei der parallelen Stellung war ein Unterdruck zu messen (0,5mmWs). Bei der senkrechten Stellung war ein Überdruck zu messen (6mmWs). Dies bestätigt unsere Vermutung, dass wir in der parallelen Stellung den statischen Druck messen. Da die Luft strömt muss der statische Druck geringer sein als der Umgebungsdruck, daher der gemessene Unterdruck. Bei der Stellung senkrecht zum Luftstrom (der Luftstrom strömt also direkt in die Sonde) wird der Gesamtdruck gemessen. Dieser ergibt sich aus dem statischen Druck, der in alle Richtungen wirkt und dem dynamischen Druck, der nur in Strömungsrichtung wirkt. Den dynamischen Druck kann man also nicht direkt messen. Da er sich aber aus der Differenz von Gesamtdruck und statischem Druck ergibt, kann man ihn zum Beispiel mit einem Prandtl'schem Staurohr messen.

D.2 Druckabhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

Hier sollte der Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und dem gemessenen Druck untersucht werden. Bei der Messung stellten wir fest, dass der statische Druck, sowohl mit der Scheibensonde als auch mit der Rohrsonde gemessen, ungefähr gleich blieb. Auffällig war jedoch, dass die Rohrsonde in der Lage war einen Unterdruck anzuzeigen, während die Scheibensonde fast keinen Unterschied vom Umgebungsdruck anzeigte. Zur Messung des statischen Druckes scheint also die Rohrsonde geeigneter zu sein. Für die Messung des Gesamtdruckes ergaben sich mit beiden Sonden vergleichbare Werte⁵. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit nahm, wie zu erwarten, auch der Gesamtdruck zu, da ja der dynamische Druck eine Funktion der Geschwindigkeit ist ($p_d = \rho/2 \cdot u^2$).

¹<http://www.gnuplot.info/>

²<http://www.gnuplot.info/docs/node133.html>

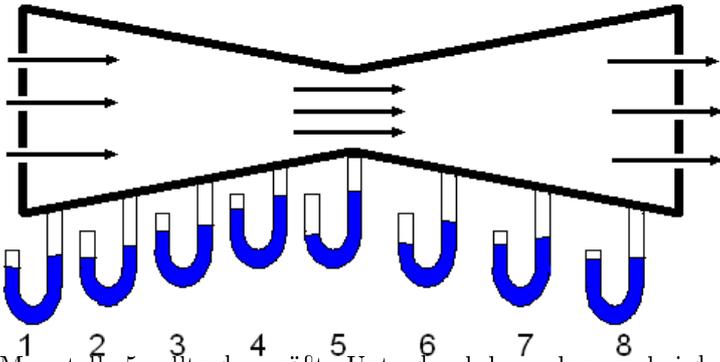
³bei der Scheibensonde bedeutet das, dass die Luft an der Öffnung vorbei strömt

⁴Luft strömt direkt in Öffnung

⁵Messwerte siehe Anhang: Messprotokoll

D.3 Venturirohr

Beim Venturirohr wurde an den angezeigten Stellen bei konstanter Windgeschwindigkeit ($I=1A$) der statische Druck gemessen. Da überall im Venturirohr der gleiche Gesamtdruck herrschen sollte, erwarteten wir an den Messstellen 1-5 einen mit der Entfernung von der Düse ansteigenden Unterdruck.

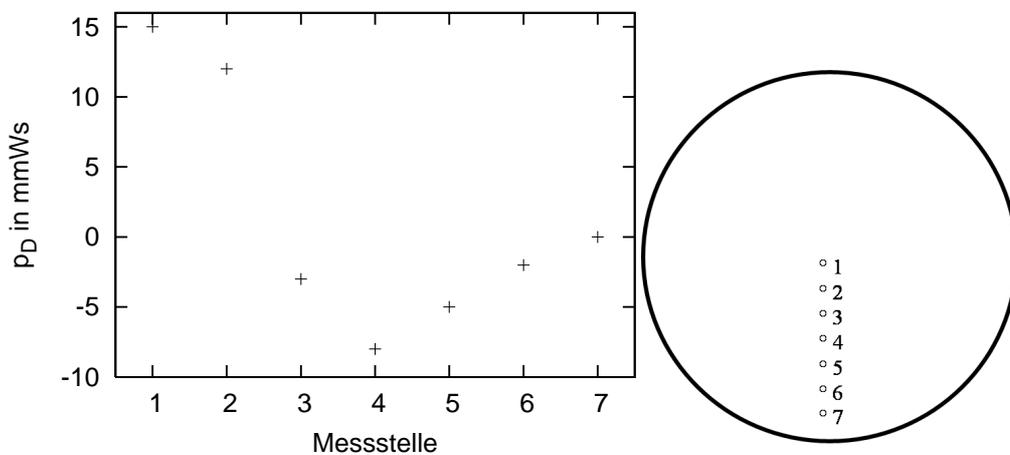


An der Engstelle, also an Messstelle 5 sollte der größte Unterdruck herrschen, wobei der Unterdruck an den Messstellen 6-8 wieder sinken sollte. Diese Vermutung konnten wir in den Hauptpunkten auch gut bestätigen. An der 5 herrschte der größte Unterdruck, wobei man dazu sagen muss, dass die Wassersäule sehr stark schwankte. Gegen Ende des Rohrs war auch ein Abfall des Unterdrucks zu beobachten. Unerwartet war jedoch der Verlauf des Druckes zu Anfang des Rohres. Der Unterdruck sank nämlich zunächst ab, bevor er bei 5 auf sein Maximum stieg. Dies lässt sich allerdings durch einen Fehler im Versuchsaufbau erklären. Die U-Rohre, die als Manometer dienten, waren nämlich nicht ganz gerade angeschlossen. Durch diese schräge Lage wurde ein Teil des dynamischen Druckes mit gemessen und so das Ergebnis für den statischen Druck verfälscht.

Messstellen	1	2	3	4	5	6	7	8
Differenz der Wassersäulen	1cm	0,9cm	0,4cm	1,1cm	9,5cm	3cm	0,8cm	0,1cm

D.4 Aerodynamisches Paradoxon

Es wurde das radiale Ausströmen von Luft zwischen zwei Platten untersucht. An den angegebenen Messstellen wurde der statische Druck gemessen. Die Stellen 1-3 im Zentrum der Scheibe sind nicht aussagekräftig für die Erklärung des Versuches, da auf sie der Luftstrom noch direkt auftraf, d.h. wir ungewollt den dynamischen Druck mitgemessen haben. Die Messwerte an den Messstellen 4-7 bestätigen aber unsere Vermutung, dass im Zentrum ein Unterdruck herrscht der nach außen hin immer weiter abnimmt, so dass die beiden Scheiben sich anziehen.

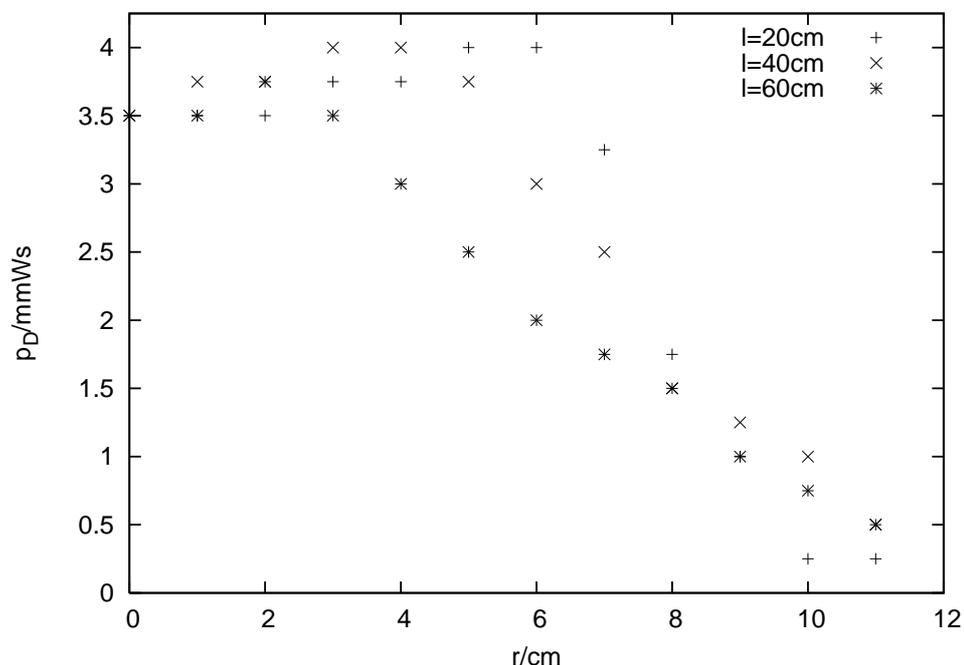


1 Untersuchung des Luftstroms

1.1 Ortsunabhängige Windgeschwindigkeit

Im Versuch sollte ein Bereich ermittelt werden, in dem eine möglichst konstante Windgeschwindigkeit vorliegt. Dazu misst man bei $l=20\text{cm}$, 40cm , 60cm ,⁶ wobei l die Entfernung vom Düsenrand auf der Mittelachse angibt, jeweils für unterschiedliche Entfernungen von der Mittelachse den Staudruck. Wir nahmen dabei an, dass die der Druckverlauf symmetrisch zur Mittelachse ist und maßen daher r nur in eine Richtung. Es ergaben sich folgende Messwerte:

$l=20\text{cm}$		$l=40\text{cm}$		$l=60\text{cm}$	
r/cm	p_D/mmWs	r/cm	p_D/mmWs	r/cm	p_D/mmWs
0	3,5	0	3,5	0	3,5
1	3,5	1	3,75	1	3,5
2	3,5	2	3,75	2	3,75
3	3,75	3	4	3	3,5
4	3,75	4	4	4	3
5	4	5	3,75	5	2,5
6	4	6	3	6	2
7	3,25	7	2,5	7	1,75
8	1,75	8	1,5	8	1,5
9	1	9	1,25	9	1
10	0,25	10	1	10	0,75
11	0,25	11	0,5	11	0,5



Auf Grund dieser Messwerte wählten wir unseren Messbereich für die zukünftigen Versuche: $20\text{cm} < l < 40\text{cm}$ und $0 < r < 4\text{cm}$.

⁶die Messung für $l=80\text{cm}$ haben wir nicht mehr durchgeführt, da wir in dieser Entfernung den Druck nicht mehr richtig messen konnten, da die Messschiene auf der wir die Sonde montiert hatten zu Ende war.

1.2 Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit vom Motorstrom

Aus der Vorbereitung wissen wir, dass

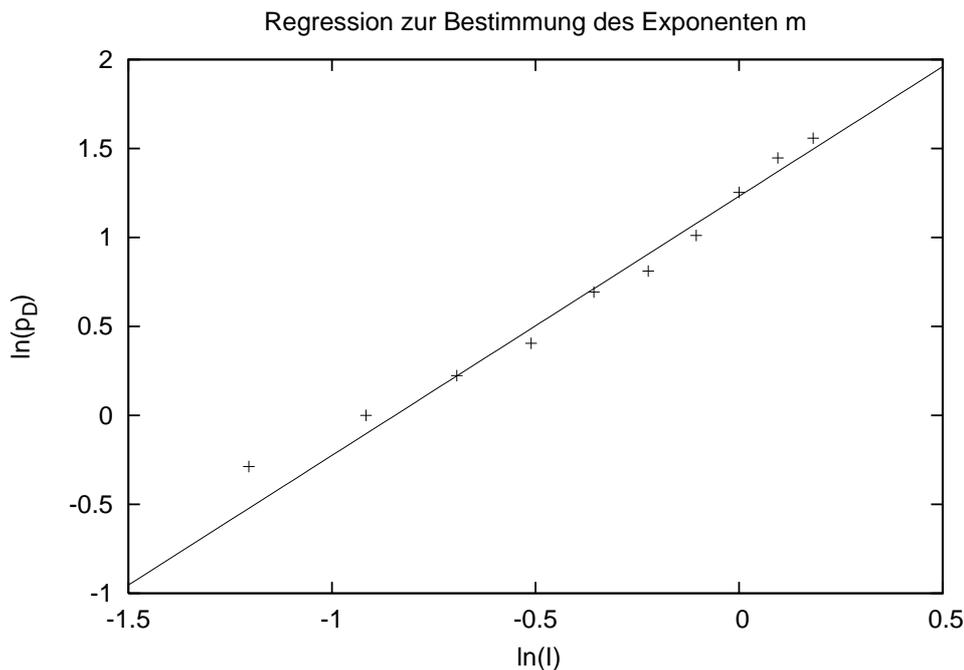
$$v = \text{const} \cdot I^m$$

durch eine lineare Auftragung der Messwerte soll nun durch lineare Regression der Exponent m bestimmt werden. Da wir aber den Staudruck p_D und nicht direkt die Geschwindigkeit gemessen haben muss beachtet werden, dass gilt:

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{2p_D}{\rho}} \Rightarrow \sqrt{\frac{2p_D}{\rho}} = \text{const} \cdot I^m \\ \Leftrightarrow \frac{1}{2} \ln\left(\frac{2p_D}{\rho}\right) &= \ln(\text{const} \cdot I^m) \\ \Leftrightarrow \frac{1}{2} (\ln(p_D) + \ln(2/\rho)) &= \ln(\text{const}) + m \cdot \ln(I) \\ \Leftrightarrow \ln(p_D) &= C + 2m \ln(I) \end{aligned}$$

Trägt man also $\ln(p_D)$ gegen $\ln(I)$ auf, so erhält man eine Gerade mit der Steigung $2m$. Die Regression wurde mit gnuplot durchgeführt.

Bemerkung: Die Größen in den Logarithmen wurde als einheitenlos angenommen. ⁷



Wir erhalten die Regressionsgerade:

$$\ln(p_D) = 1,21613 + \underbrace{1,35239}_{=2m} \cdot \ln(I) \Rightarrow m = 0,676$$

Der Exponent liegt also nahe beim erwarteten Wert von $2/3$.

⁷Rein mathematisch müsste man im Logarithmus noch mit einer Standardgröße erweitern. Und einen Teil dieser Konstanten wandern dann in die Konstante C. Der andere Teil entfernt die Einheiten in der Logarithmen. Da dies aber nur den Y-Achsenabschnitt und nicht die benötigte Steigung ändert, wurde hier darauf verzichtet.

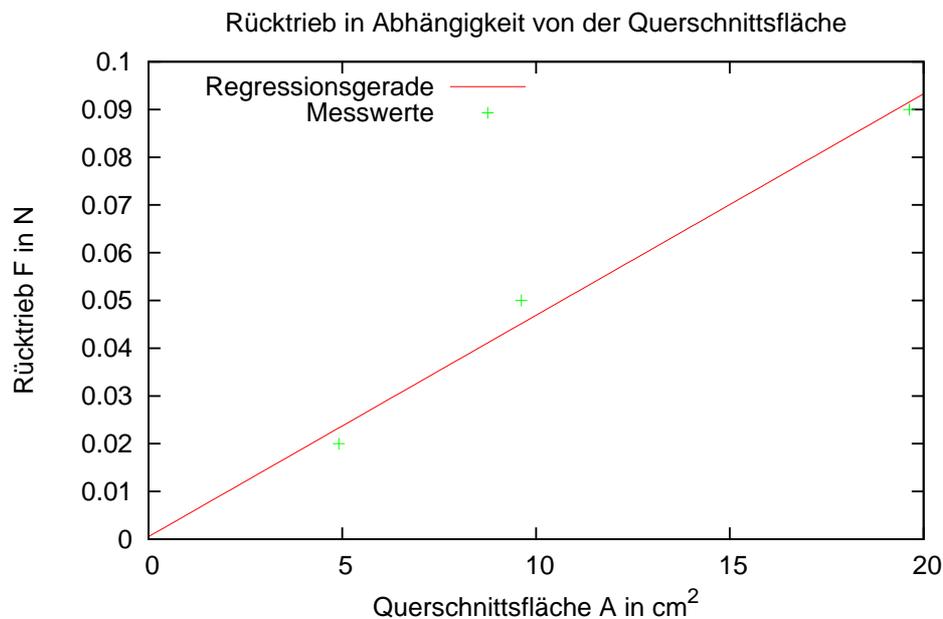
2 Strömungswiderstand

2.1 Rücktrieb und Stirnfäche

Wir maßen den Strömungswiderstand von drei unterschiedlich großen Scheiben über eine Umlenkrolle mit einem 1N-Federmesser. Dabei wurde die Motorstromstärke konstant auf $I = 1\text{ A}$ gesetzt und damit auch die Windgeschwindigkeit konstant gehalten. Wir maßen 40 cm von der Düsen entfernt im Mittelpunkt des Luftstrahls bei senkrechtem Stand der Scheiben zum Luftstrom. Wir erhielten die folgenden Werte:

Messgegenstand	Durchmesser in cm	Fläche in cm^2 in N	Rücktrieb in N
kleine Scheibe	2,5	4,91	0,03
mittlere Scheibe	3,5	9,62	0,06
große Scheibe	5	19,63	0,10
Haltestab	-	-	0,01

Wir korrigierten den Rücktrieb um den Rücktrieb des Haltestabs und visualisieren das Ergebnis.



Durch lineare Regression erhalten wir eine Ursprungsgerade, die unsere Messwerte gut repräsentieren. Damit können wir den linearen Zusammenhang bestätigen:

$$F \propto A$$

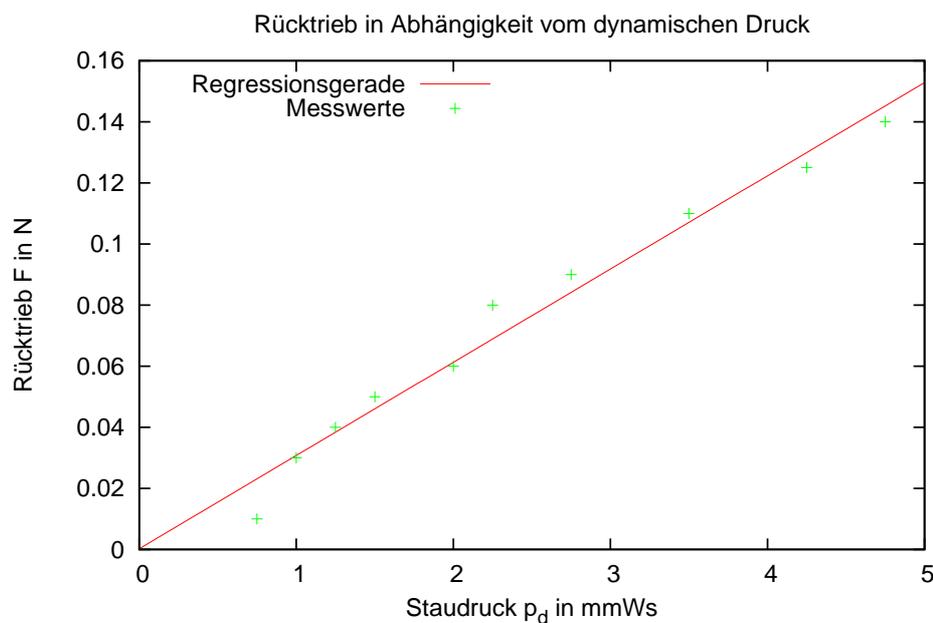
2.2 Rücktrieb und Strömungsgeschwindigkeit

Entgegen der Vorbereitung maßen wir nun mit der *großen* Kreisscheibe den Rücktrieb in Abhängigkeit zum Staudruck. Den Staudruck variierten wir, indem wir die Stromstärke von 0,3 A bis 1,2 A variierten. Bei der kleinen Kreisscheibe waren die Unterschiede im Rücktrieb zu gering, um mit dem 1 N-Messfeder messbar zu sein. Messungen mit der 0,1 N-Messfeder waren ein kleines Glücksspiel, da die Feder je nach Schwingung mal beim einen oder anderen Wert stehen blieb. Die Reibung im Federmesser war offensichtlich im Vergleich zur zu messenden Kraft zu groß. Den Staudruck maßen wir bereits in Aufgabe 1.2. Wir maßen wieder 40 cm

von der Düsen entfernt im Mittelpunkt des Luftstrahls bei senkrechtem Stand der Scheiben zum Luftstrom. Wir erhielten die folgenden Werte:

Stromstärke in A	Rücktrieb in N	Staudruck in mmWs
0,3	0,01	0,75
0,4	0,03	1,0
0,5	0,04	1,25
0,6	0,05	1,5
0,7	0,06	2,0
0,8	0,08	2,25
0,9	0,09	2,75
1,0	0,11	3,5
1,1	0,13	4,25
1,2	0,14	4,75

Diesmal brauchen wir die Werte nicht um den Rücktrieb des Haltestabs korrigieren, da lediglich eine konstante Querschnittsfläche gefordert war und wir diese auch mit Haltestab haben. Grafisch ergibt sich folgendes Bild:



Durch die lineare Regression erhalten wir wieder eine Ursprungsgerade, die unsere Messwerte gut repräsentieren. Damit können wir den linearen Zusammenhang bestätigen:

$$F \propto p_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2$$

2.3 Rücktrieb und Körperform sowie Oberflächenbeschaffenheit

Wir wissen nun, dass gilt (mit einer Proportionalitätskonstante c_w):

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

Diese Proportionalitätskonstante bezeichnet man Widerstandsbeiwert, welcher von Körperform und Oberflächenbeschaffenheit abhängig ist. Wir messen bei $I = 1$ A den Rücktrieb von

verschiedenen Körpern und berechnet über

$$c_w = \frac{F}{p_d \cdot A}$$

die entsprechenden Widerstandsbeiwerte. Da es Probleme mit der 0,1 N-Messfeder gab, mussten wir mit der deutlich ungenaueren 1,0 N-Messfeder messen, wodurch wir für die c_w -Werte höchstens noch die Größenordnung bestimmen können.

Den Luftdruck maßen wir bereits 1.2. Durch Umrechnung in SI-Einheiten erhalten wir für den Druck und die Fläche⁸:

$$p_d = 3,5 \underbrace{\text{mmWs}}_{9,80665 \text{ Pa}} = 34,3 \text{ Pa}$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (2,5 \text{ cm}^2) = 4,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Damit ergibt sich folgenden Tabelle:

Skizze	Körper	Rücktrieb	berechneter c_w	Literaturwert
	Kugel	0,02 N	1,19	0,4
	Halbkugel	0,035 N	2,08	1,17
	Halbkugel gedreht	0,02 N	1,19	0,40
	Halbkörper mit Spitze	0,03 N	1,78	— ⁹
	Halbkörper mit Spitze gedreht	0,015 N	0,89	—
	Halbkörper mit Rundung	0,03 N	1,78	—
	Halbkörper mit Rundung gedreht	0,02 N	1,19	—
	Stromlinienform rau	0,02 N	1,19	—
	Stromlinienform rau gedreht	0,02 N	1,19	—
	Stromlinienform glatt	0,01 N	0,59	0,06
	Stromlinienform glatt gedreht	0,01 N	0,59	0,12

Auch wenn unseren Werte deutlich neben¹⁰ den Literaturwerten¹¹ liegen, kann man doch erkennen, dass die Rücktriebskraft sowohl von der Form des Körpers (da es unterschiedliche c_w -Werte gibt), wie auch von der Oberflächenbeschaffenheit (für rau erhalten wir andere Werte als für glatt) abhängt.

⁸Alle Modelle besitzen den gleichen Querschnitt

⁹Über die beiden Halbkörper lassen sich keine Werte aus der Literatur bekommen, da die Form abhängig von der Länge der Halbkugel bzw. der Spitze ist. Ebenso macht es für die raue Stromlinienform keinen Sinn in der Literatur nach Werten zu suchen, da diese von der genauen Oberflächenbeschaffenheit abhängig sind.

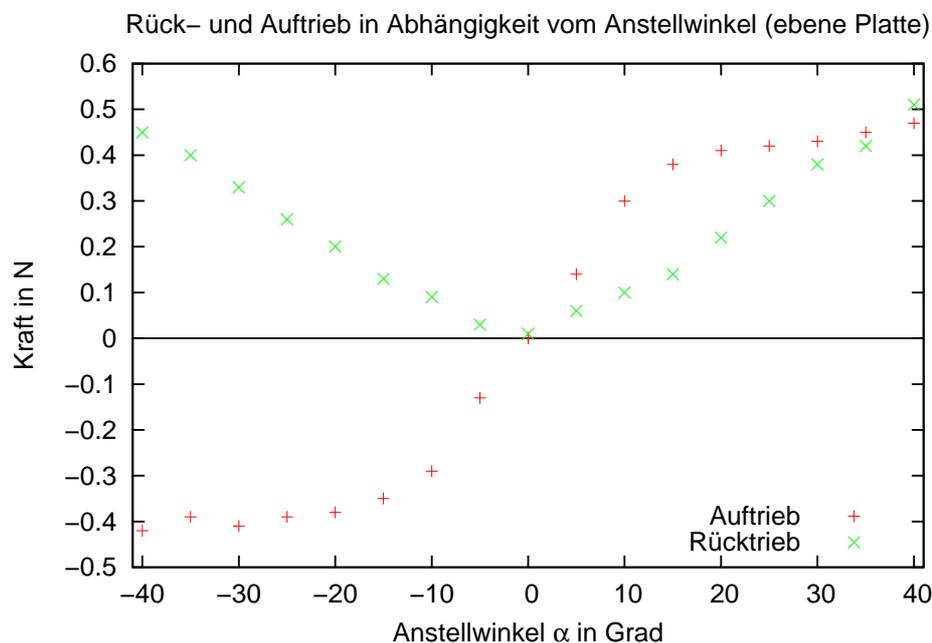
¹⁰was aufgrund des Versuchsaufbaus nicht anders zu erwarten war

¹¹Die Literaturwerte sind auch mit Vorsicht zu genießen, da sich verschiedene Quelle widersprechen. Im Demtröder I steht für eine Halbkugel gedr. der Wert 0,8, während in der Tafel 21 aus der Vorbereitungsmappe der Wert 1,17 notiert ist.

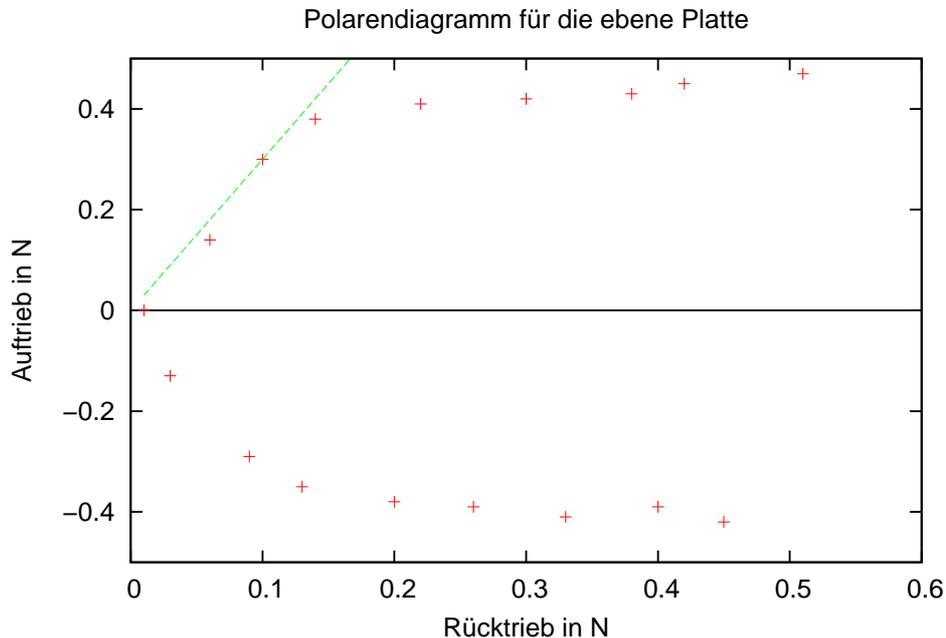
3 Wirkungweise eines Tragflügels

3.1 Auftrieb

Wir maßen sowohl bei gebogener Platte wie auch bei einer ebenen Platte den Auftrieb und Rücktrieb in Abhängigkeit von Anstellwinkel α bei konstanter Windgeschwindigkeit. Da wir allerdings Auf- und Rücktrieb nicht gleichzeitig messen konnten, musste jeder Winkel zweimal eingestellt werden. Leider war das Einstellen des Winkels auf der Skala sehr schwierig. Ein systematischer Fehler von mindestens $2,5^\circ$ muss angenommen werden. Aus diesem Grund kann dem Polarendiagramm keine genaue Aussage entnommen werden, da die Werte für Rück- und Auftrieb, die zum gleichen Winkel gehören, teilweise bei unterschiedlichen Winkeln aufgenommen wurden.

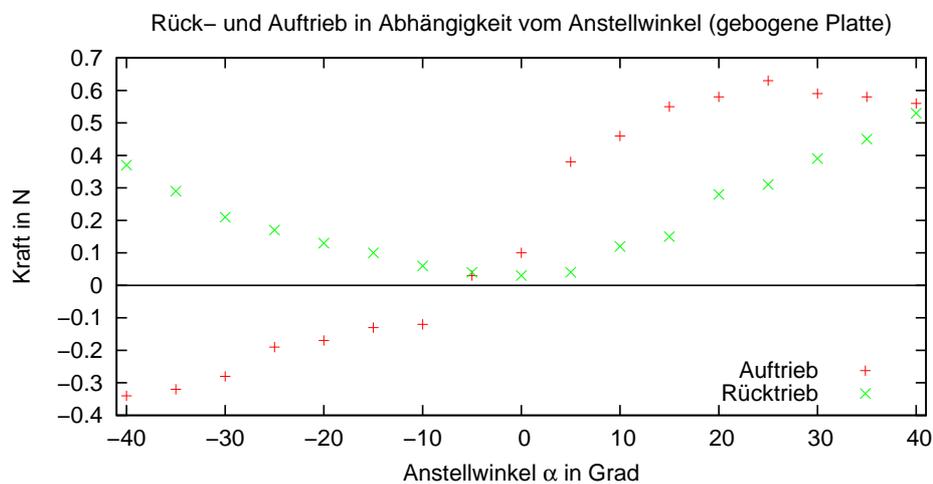


Wir erkennen, dass sowohl Auf-, wie auch Rücktrieb symmetrisch um die 0° verlaufen. Einmal handelt es sich um eine Achsen-, das andere Mal um eine Punktsymmetrie. Dies deckt sich mit der Theorie, da bei der ebenen Platte der Betrag des Auf- und Rücktriebs nur von der im Wind stehenden Querschnittsfläche abhängen darf.



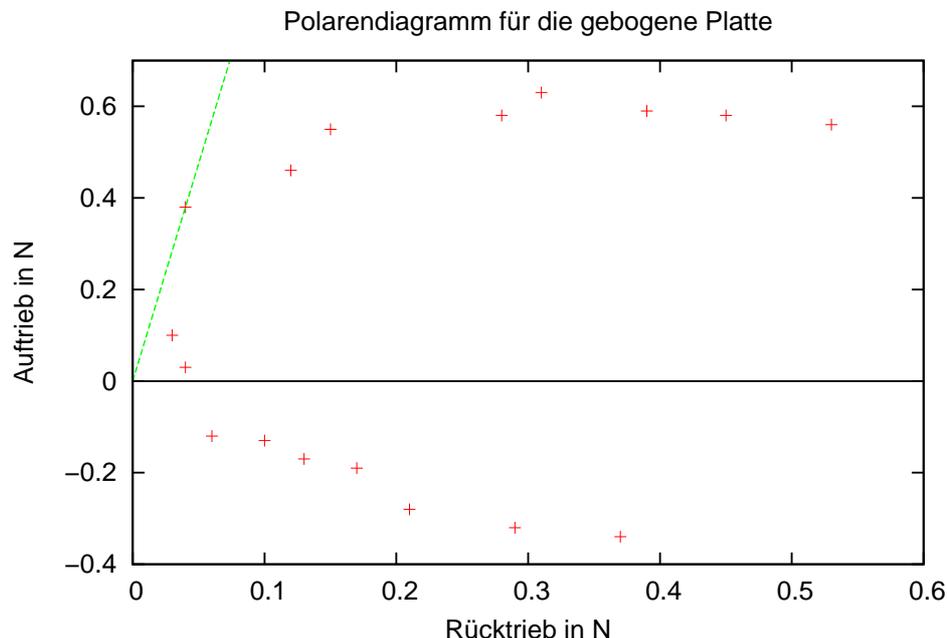
Wir lesen aus dem Diagramm ab, dass bei 10° das beste Verhältnis zwischen Auf- und Rücktrieb herrscht. Es berechnet sich aus den Messwerte zu:

$$\frac{F_{\text{Auftrieb}}}{F_{\text{Rücktrieb}}} = 3,0$$



Die bei der ebenen Platte erkannte Symmetrie ist nicht mehr gegeben. Die Auftriebskraft kann sogar bei negativen Anstellwinkel positiv werden¹². Dies liegt daran, dass die Luft, die über die Wölbung strömt, sich schneller bewegen muss, als die Luft, die unter der Platte hindurch muss. Dadurch entsteht ein Unterdruck über der Platte. Ebenso sieht man, dass der Auftrieb bei höheren Anstellwinkeln nicht kontinuierlich ansteigt, sondern ab ca. 25° auch wieder anfällt. Dies lässt sich durch Luftwirbel erklären, die sich an der gebogenen Platte bilden.

¹²zum Beispiel bei -5°



Wir lesen aus dem Diagramm ab, dass bei 5° das beste Verhältnis zwischen Auf- und Rücktrieb herrscht. Es berechnet sich aus den Messwerte zu:

$$\frac{F_{\text{Auftrieb}}}{F_{\text{Rücktrieb}}} = 9,5$$

Verbessern ließe sich das Flugprofil, in dem man die Wölbung der Platte ausfüllt und so eine bessere Umströmung der Platte ermöglicht. Wir sehen an Hand der c_w -Werte aus Aufgabe 2.3, dass eine glatte Stromlinienform sehr gute Eigenschaft besitzt. Sinnvoll wäre es also die gebogene Platte so zu modifizieren, dass die Stromlinienförmig ist. Natürlich bei Beibehaltung des „Buckels“, der dafür sorgt, dass über der Platte ein Unterdruck entsteht.

3.2 Druckvektoren am Tragflächenmodell

Um uns klar zu machen, wie ein Tragflügel funktioniert, maßen wir bei unterschiedlichen Anstellwinkeln den Druck an den angegebenen Messstellen¹³. Die Messung wurde bei konstanter Windgeschwindigkeit ($I=1,2A$) durchgeführt. Das Tragflügelmodell befand sich ungefähr bei $l=30\text{cm}$. Dabei erhielten wir folgende Messwerte (es ist jeweils der Druck an den Messstellen bei dem entsprechenden Winkel in mmWs angegeben):

Messstelle	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = -20^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = -40^\circ$
1	4	4	1	-1	-3
2	-2	-6	2	-2	4
3	-2	-5	0	-2,5	3
4	-2	-3	-0,5	-2	0,5
5	-1	-1	-0,5	-1	0
6	0,5	2,5	-3	4	-2,5
7	0	2	-3	4	-2,5
8	0	1	-3	3	-2
9	0,25	1	-1	1,5	-1

¹³Skizze mit Druckvektoren siehe Anhang

Für $\alpha = 0^\circ$ und die positiven Anstellwinkel erhält man an den Messstellen auf der Tragflügeloberseite einen Unterdruck (negatives Vorzeichen) und auf der Unterseite einen Überdruck. Dies lässt sich durch die Wölbung des Tragflügels erklären¹⁴. Die Luft strömt an der Oberseite schneller als auf der Unterseite, wodurch ein Unterdruck entsteht. Aus den Messwerten kann man außerdem erkennen, dass der Anstellwinkel für optimalen Auftrieb irgendwo zwischen 0° und 40° liegen muss. Bei 20° war der Unterdruck an der Oberseite nämlich höher als bei 0° und 40° . Bei negativen Anstellwinkeln wird die Tragfläche durch den Luftstrom nach unten gedrückt. An der Unterseite herrscht nun ein Unterdruck und an der Oberseite ein Überdruck.

Es wurden für die Anstellwinkel $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 20^\circ$ und $\alpha = -20^\circ$ die Druckvektoren in Querschnittsskizzen eingezeichnet. Dabei muss beachtet werden, dass die Druckvektoren immer senkrecht auf der Oberfläche des Tragflügels stehen. Unterdrücke wurden nach außen eingezeichnet und Überdrücke nach innen. Dies geschieht, um die Richtung der durch die Druckdifferenz entstehende Kraft anzuzeigen.

¹⁴vergleichbar mit der gebogenen Platte (siehe 3.1)

Versuchsauswertung - Überarbeitung

P1-24: Aeromechanik

Kathrin Ender, Michael Walz
Gruppe 10

29. November 2007

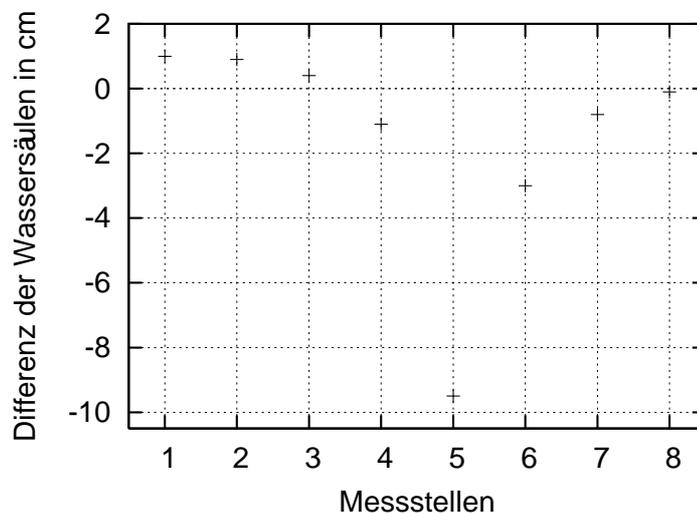
D Demonstrationsversuche

D.3 Venturirohr

Beim Venturirohr haben wir nur die Differenzen der Wassersäulen beachtet und nicht in welche Richtung diese gingen, das heißt, ob ein Unter- oder ein Überdruck herrschte. An den Messstellen 1-3 sollte ein Überdruck gemessen worden sein, da die U-Rohre schräg am Venturirohr angebracht waren, so dass die Luft direkt einströmen konnte, was bedeutet, dass wir zumindest einen Teil des dynamischen Druckes ungewollt mitgemessen haben. Danach sollte ein Unterdruck gemessen worden sein. Die korrigierte Wertetabelle mit negativen Vorzeichen für einen Unterdruck und positiven Vorzeichen für einen Überdruck lautet also:

Messstellen	1	2	3	4	5	6	7	8
Differenz der Wassersäulen	1cm	0,9cm	0,4cm	-1,1cm	-9,5cm	-3cm	-0,8cm	-0,1cm

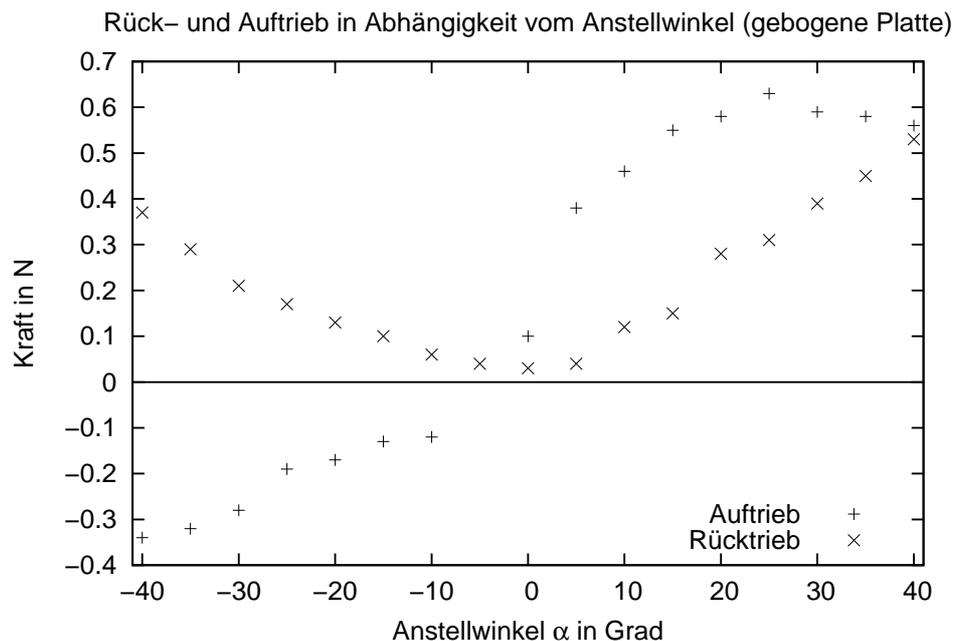
Graphische Darstellung des Druckverlaufes:



3 Wirkungsweise eines Tragflügels

3.1 Auftrieb

Bei der Messung des Auftriebs der gebogenen Platte kann bei einem Anstellwinkel von -5° kein positiver Auftrieb mehr gemessen werden, da die gebogene Platte schräg im Wind steht und dadurch eine Kraft entsteht, die die Platte nach unten drückt. Der entsprechende Messwert kann daher nicht richtig sein. Das Diagramm für Rück- und Auftrieb sieht ohne diesen Messwert, wie folgt aus:



Die bereits in der Auswertung erkannte Asymmetrie ist nach wie vor gegeben. Die Auftriebskraft kann aber bei negativen Anstellwinkel *nicht* positiv werden.

Die Aussage des Polarendiagramm wird durch diesen falschen Messwert nicht geändert. Nach wie vor lesen wir aus dem Diagramm ab, dass bei 5° das beste Verhältnis zwischen Auf- und Rücktrieb herrscht. Es berechnet sich aus den Messwerte zu:

$$\frac{F_{\text{Auftrieb}}}{F_{\text{Rücktrieb}}} = 9,5$$

Dieser Wert erscheint recht hoch. Allerdings muss man beachten, dass der Fehler bei der Auftriebsmessung vermutlich dadurch zustande kam, dass die Winkel generell recht schwierig einzustellen waren¹. Deshalb sind die Ergebnisse der Aufgabe 3.1 insgesamt skeptisch zu betrachten.

¹vgl. Auswertung; 3.1 Auftrieb; erster Absatz