

Magnus - Effekt

Der Magnus-Effekt ist eine Kraftwirkung bei rotierenden Objekten senkrecht zur Strömungsrichtung und senkrecht zum Winkelgeschwindigkeitsvektor. Mit unserem Aufbau konnte qualitativ eine lineare Abhängigkeit zwischen Anfangsströmungsgeschwindigkeit und Auftriebskraft bzw. Winkelgeschwindigkeit und Auftriebskraft gezeigt werden.

PG 268-II

Tutorin

Cornelia Sing

Teilnehmer

Diana Bednarczyk

Fabian Fleischer

Daniel Guyot

René Könnecke

Matthias Sturm

Heinrich Südmeyer

Ramin Torabi

<u>1.</u>	<u>WARUM DIESES EXPERIMENT?</u>	2
<u>2.</u>	<u>WAS IST DER MAGNUS-EFFEKT?</u>	2
<u>3.</u>	<u>AUFBAU</u>	4
<u>4.</u>	<u>DURCHFÜHRUNG</u>	6
<u>5.</u>	<u>AUSWERTUNG DER DATEN</u>	6
<u>1.</u>	<u>Größe der relevanten Maße</u>	7
<u>2.</u>	<u>Tabellen und Diagramme</u>	7
<u>6.</u>	<u>RESÜMEE</u>	10
<u>7.</u>	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	10

1. Warum dieses Experiment?

In unserem letzten Experiment untersuchten wir die Eigenschaften von Tragflächenprofilen. Der unterschiedliche Bau der Tragflächen verändert die Eigenschaften in positiver bzw. negativer Richtung. Tragflächen, die so geformt sind, dass sie auf ihrer Oberseite eine hohe und auf ihrer Unterseite eine niedrige Strömungsgeschwindigkeit aufweisen, ohne dabei Turbulenzen zu erzeugen, sind besonders für die Luftfahrt sehr wichtig.

Heutzutage wird an einer Tragfläche geforscht, die die Strömungsgeschwindigkeit auf der Oberseite erhöht und auf der Unterseite verringert, um eben mehr Auftrieb zu erhalten. Diese Forschung geht soweit, dass man auch andere Objekte untersucht, die der normalen Tragfläche überhaupt nicht ähneln. Eine dieser Ideen ist es, einen normalen Zylinder zu untersuchen, der quer zur Strömungsrichtung steht. Sofort wurde festgestellt, dass der Zylinder ohne weiteres nur ein Widerstand im Windkanal darstellte, ohne jegliche Anzeichen von einer Bewegung quer zur Strömungsrichtung. Diese Situation änderte sich, sobald der Zylinder anfang zu rotieren. Die Rotation des Zylinders schien einen Einfluss auf eine Kraft quer zur Strömungsrichtung zu haben. Je stärker die Rotation, desto größer die querwirkende Kraft. Für die Untersuchung dieses Effektes, genannt Magnus-Effekt, reichte allein die Faszination, dass ein rotierender Zylinder in einer Strömung eine Querkraft verspürt. Zusätzlich passte dieser Versuch gut in unsere Experimenteliste hinein. Zuerst untersuchten wir verschiedene Typen von Tragflächen und danach einen rotierenden Zylinder im Windkanal.

2. Was ist der Magnus-Effekt?

Der Magnus-Effekt ist eine Kraftwirkung bei rotierenden Objekten senkrecht zur Strömungsrichtung und senkrecht zum Winkelgeschwindigkeitsvektor.

Am besten zu erkennen ist dieser Effekt an einem Zylinder, der mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit ω rotiert. In einer idealen Flüssigkeit, das heißt, es tritt keine Reibung auf, verhält sich ein Zylinder wie in Abb. 1. Die gezeigte Umströmung nennt man Potentialströmung. Hierbei ist es wichtig zu erwähnen, dass es sich um eine ideale Flüssigkeit handelt, da sich sonst Wirbel ausbilden würden. Ein Zylinder, der sich in einer realen Flüssigkeit mit der mittleren Strömungsgeschwindigkeit in Strömungsrichtung bewegt, erzeugt eine Zirkulationsströmung wie im Bild aus Abb.2. Die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit ist in Zylindernähe größer als in Zylinderferne. Dieses Bild kann **nur** in einer realen Flüssigkeit entstehen, da die Strömung um den Zylinder nur durch Reibung entsteht, welche wir bei der idealen Flüssigkeit nicht hätten. Die Abb.2 ist die Basis des Magnus-Effektes. Ein rotierender Körper reißt durch Reibung die umgebende bzw. angrenzende Flüssigkeit mit. Logischerweise tritt **kein** Magnus-Effekt in einer idealen Flüssigkeit auf.

Befindet sich ein rotierender Zylinder in einem Strömungsfeld einer realen Flüssigkeit, so überlagern sich die beiden Strömungen und es entsteht das Bild aus Abb.3. Es ist das resultierende Strömungsbild, gewonnen durch die Addition der Geschwindigkeitsvektoren an jedem Ort. Hierbei reißt der Zylinder, wie in Abb.2, die angrenzende Flüssigkeit mit. Auch wird hier der Zylinder wie in Abb.1 umströmt, jedoch bildet sich in der realen Flüssigkeit durch die Rotation des Zylinders keine Wirbelstraße aus.

An dem Verlauf der Strömungslinien ist der sinkende Einfluss des rotierenden Zylinders an den entfernter vorbeibewegenen Teilchen gut erkennbar, wie bei Abb.2 bereits erwähnt. Entlang der Stromrichtung müssen alle Teilchen der Flüssigkeit, die am Anfang auf gleicher Höhe waren, auch am Ende wieder auf gleicher Höhe sein. So etwas ist nur möglich, wenn die Teilchen, die sich auch auf Kurven bewegen, sich schneller bewegen als Teilchen, die sich nur geradlinig am Objekt vorbei bewegen. Teilchen auf Strömungslinien mit dem längsten Weg bewegen sich somit am schnellsten, wie zum Beispiel die Teilchen auf der Linie 1. Sieht man die Rotationsrichtung des Zylinders als gegeben an, so ist die Geschwindigkeit der Teilchen an der Stelle am höchsten, an der sie am weitesten von ihrem ursprünglich unbeeinflussten Weg entfernt sind. Die Höchstgeschwindigkeit in der Potentialströmung der am Zylinder am nächsten vorbeifließenden Teilchen wird als u_m bezeichnet.

Aufgrund der Rotation des Zylinders werden die Teilchen durch die Oberflächengeschwindigkeit auf der Oberseite positiv und auf der Unterseite negativ beschleunigt. Die resultierenden Geschwindigkeiten an den genannten Punkten betragen nun $v_{oben} = u_m + \omega r$ und $v_{unten} = u_m - \omega r$ mit r – Radius des Zylinders. Die unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten bewirken eine Erhöhung unterhalb und eine Senkung des statischen Druckes oberhalb des Zylinders. Diese Druckdifferenz lässt eine Auftriebskraft entstehen, die senkrecht zur Strömungsrichtung und senkrecht zum Winkelgeschwindigkeitsvektor gerichtet ist.

Nach Bernoulli berechnet sich die Druckdifferenz wie folgt:

$$\Delta p = p_{unten} - p_{oben} = \frac{\rho}{2} \left[(u_m + \omega r)^2 - (u_m - \omega r)^2 \right] = 2\rho\omega r u_m$$

Die projizierte Fläche des Zylinders beträgt: $A = 0,5 \cdot d \cdot h = d \cdot h$ mit h – Länge des Zylinders. Mit der Potentialtheorie, die wir hier nicht näher erläutern wollen, erhält man für $u_m = 2 \cdot u_0$, mit u_0 – Anfangsgeschwindigkeit der Strömung. Daraus müsste sich die Auftriebskraft (Querkraft) $F_A \approx A \cdot \Delta p = 2\omega d^2 \rho h u_0$ ergeben. Jedoch wirkt nicht auf der ganzen Fläche des projizierten Zylinders der Maximalwert der Druckdifferenz. Hier hilft die Potentialtheorie noch einmal aus. Damit erhalten wir für die Auftriebskraft die Gleichung

$F_A = \frac{1}{2} \pi \omega d^2 \rho h u_0$ bzw. vektoriell $\vec{F}_A = \frac{1}{2} \pi \rho d^2 h \vec{u}_0 \times \vec{\omega}$. Wird das ω durch $2\pi f$ ersetzt, erhalten wir die Endgleichung $F_A = \pi^2 f \rho d^2 h u_0$, daher hängt die Auftriebskraft linear von u_0 und f bzw. ω ab.

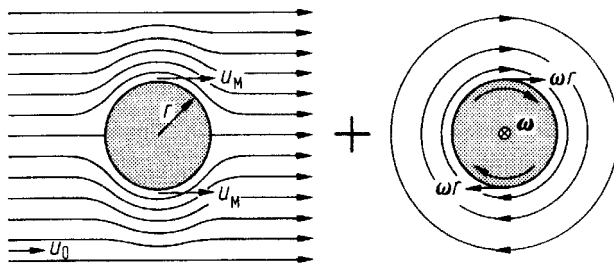
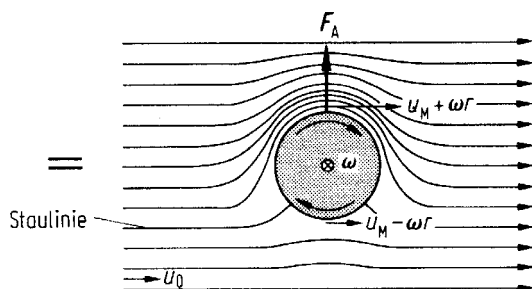


Abb.1 + Abb.2



= Abb.3

3. Aufbau

Geräteliste:

- Kunststoffzylinder (Selbstbau)
- Bohrmaschine
- Windmaschine PL 811a
- Federkraftmesser PL 863a
- Anenometer PL 813c
- Gewichte PL 825a
- Drehgelenk
- Lichtschranke PL 43b
- Frequenzzähler PL 31a
- Spannungsregler für Windmaschine
- Spannungsregler für Bohrmaschine
- Div. Multimeter
- Div. Stativstangen, Muffen und Universalklammern

In der Erwartung einer zum Wind- und Rotationsvektor senkrechten Kraft, beschlossen wir nach einigen technisch wenig erfolgreichen Konstruktionen, einen Aufbau zu wählen, der dem zur Auftriebsmessung stark ähnelt.

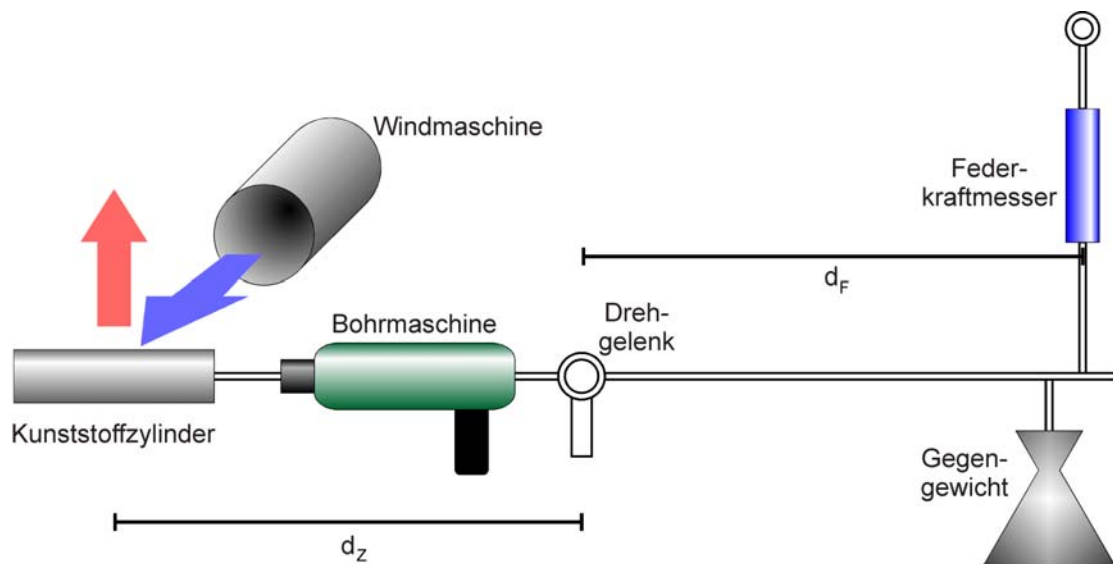


Abb. : Versuchsaufbau zum Magnus-Effekt.

Blauer Pfeil: Wind

Roter Pfeil: Kraft, resultierend aus Magnus-Effekt

Die messtechnisch wichtigen Größen in diesem Aufbau sind:

- Länge und Radius des Zylinders (l, r)
- Winkelgeschwindigkeit des Zylinders (ω)
- Windgeschwindigkeit (u_0)
- Distanz Drehgelenk \triangleleft Angriffspunkt Federkraftmesser (d_F)
- Distanz Drehgelenk \triangleleft Mittelpunkt Zylinder (d_Z)
- Ausschlag des Federkraftmessers, was ja dem Magnus-Effekt entspricht (F_M)

Der Aufbau erfordert anfangs ein wenig Feingefühl - wenn man auf der Suche nach der richtigen Position für das Gegengewicht ist und wenn man den möglichst empfindlichen Federkraftmesser anbringt, ohne dass er schon zu Beginn zu weit ausgelenkt wird. Wir verwendeten hier einen Federkraftmesser mit einem Messbereich bis 0,2N. Die Apparatur sollte zum Beginn des Versuches möglichst horizontal stehen. Ist das Gegengewicht korrekt justiert, nämlich so, daß sich Gegengewicht und Gewicht der Bohrmaschine mit Zylinder exakt ausgleichen, fallen diese sprichwörtlich nicht mehr „ins Gewicht“. Wir versuchten dennoch, die Gesamtmasse des Aufbaus möglichst gering zu halten um die Reibung im Drehgelenk nicht unnötig zu erhöhen, da sich das Gelenk nur so lange mitdreht, bis die Gleitreibung in Haftreibung übergeht.

Bei der Wahl des Drehgelenks achteten wir also auf besonders niedrige Reibung im Gelenk.

Der Kunststoffzylinder, gefertigt aus einem gesägten Stück Abflußrohr, war an beiden Enden mit durchbohrten Gummipfropfen verschlossen. Durch die Bohrungen verlief die Metallstange, die in die Bohrmaschine eingespannt wurde. Der Zylinder war dicht mit Isolierschaum gefüllt, um Schwingungen zu dämpfen, sollten an den Bohrungen der Pfropfen bei bestimmten Drehfrequenzen Schwingungsknoten entstehen.

Die Winkelgeschwindigkeit des Zylinders bestimmten wir mittels eines kleinen Pappstreifens, welches kurz vor der Bohrmaschine angebracht, eine Lichtschranke unterbrach, und so einen Frequenzzähler aktivierte. Um eine störende Unwucht zu vermeiden, war der Streifen mittig, wie ein zweischaufeliger Propeller, auf der Triebstange angebracht. Dies führte dazu, dass die Lichtschranke zweimal pro Umdrehung unterbrochen wurde. Die vom Frequenzzähler angezeigte Frequenz war also noch zu halbieren.

Die Windgeschwindigkeit bestimmten wir mittels eines Anemometers nach dem eigentlichen Versuch. Wir ordneten hier die Windgeschwindigkeiten den Einstellungen des Spannungsreglers der Windmaschine zu, um die jeweiligen Windgeschwindigkeiten später zur Auswertung zu rekonstruieren. Hätten wir Magnus-Effekt und Windgeschwindigkeit gleichzeitig gemessen, hätte eine Messung die andere gestört.

Aufgrund der relativ großen Länge der Hebel konnten wir etwaige Kraftverluste durch große Winkel zwischen Hebel und Kraftmesser vernachlässigen.

4. Durchführung

Zur Bestimmung des Magnus-Effekts führten wir zwei Messreihen durch, zum einen mit konstanter Winkelgeschwindigkeit des Zylinders, zum anderen mit konstanter Windgeschwindigkeit. Bei beiden Messreihen wurde der Zylinder nach oben ausgelenkt.

Als der Aufbau erst einmal stand (nach skurrilen und teilweise gefährlichen Fehlkonstruktionen und der Reparatur eines gebrochenen Federkraftmessers) lief die Durchführung erstaunlich simpel. Nach schrittweiser Veränderung der erwünschten Größe las man den Wert am Federkraftmesser ab.

Um sicherzugehen, dass die beobachtete Auslenkung des Hebelarmes tatsächlich durch den Magnus-Effekt hervorgerufen wurde, führten wir drei Vorversuche durch:

- a) Drehfrequenz 0 bei eingeschalteter Windmaschine auf Maximalleistung. Hier konnten wir keine Auslenkung feststellen. Wir konnten also eine Auftriebswirkung ausschließen.
- b) Volle Leistung der Bohrmaschine *rechtsherum* bei Maximalleistung der Windmaschine. Der Hebelarm wurde sichtbar nach *oben* ausgelenkt.
- c) Volle Leistung der Bohrmaschine *linksherum* bei Maximalleistung der Windmaschine. Da der Hebelarm nun sichtbar nach *unten* ausgelenkt wurde, waren wir uns sicher, dass es sich bei dem beobachteten Effekt um den Magnus-Effekt handelt.

Der Zylinder lief überraschend gleichmäßig und rund, sobald er eine ausreichend hohe Drehfrequenz erreicht hatte. Bei niedrigeren Frequenzen hüpfte ab und zu der Haken des Federkraftmessers aus seiner Halterung, was den Versuchsablauf aber nicht sonderlich behinderte.

Beide Größen, sowohl Drehfrequenz als auch Windgeschwindigkeit ließen sich komfortabel mit den Spannungsreglern einstellen.

Als kompliziert stellte sich jedoch die Messung der Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der an der Windmaschine anliegenden Spannungen. Fernab laminarer Strömung machten sich die Turbulenzen als wild schwingender Zeiger auf der Anenometerskala bemerkbar. Während der Messung schwang der Zeiger über einen Bereich von $\pm 0,5\text{m/s}$. Wir beschlossen, den Mittelwert des abgedeckten Bereiches abzulesen.

5. Auswertung der Daten

Bevor wir zur Auswertung der 2 Messreihen kommen, sei noch erwähnt, dass wir zuerst eine Messreihe von der Auftriebskraft in Abhängigkeit der Spannung an der Windmaschine nahmen. Diese Messreihe mussten wir jedoch verwerfen. Die lineare Regression in dieser Messreihe würde einen Anstieg von ungefähr 0 haben. Dieses Verhalten ist höchstwahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass der Zylinder sich bei dieser Auslenkung bereits am Rande der Luftströmung befand und somit zusätzliche Turbulenzen auftraten.

Nun zur Auswertung der beiden Messreihen:

1. Größe der relevanten Maße

$$l_K = (5,9 \pm 0,05) \cdot 10^{-1} \text{ m} \quad (\text{Abstand zwischen der Federwaage und dem Kippunkt})$$

$$l_Z = (5,4 \pm 0,05) \cdot 10^{-1} \text{ m} \quad (\text{Abstand zwischen dem Zylindermittelpunkt und dem Kippunkt})$$

$$h = (1,9 \pm 0,05) \cdot 10^{-1} \text{ m} \quad (\text{Höhe des Zylinders})$$

$$d = (4,0 \pm 0,5) \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad (\text{Durchmesser des Zylinders})$$

$$\rho = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (\text{Dichte der Luft})$$

2. Tabellen und Diagramme

Erklärung der verwendeten Formelzeichen:

F_K = Kraft, gemessen am Federkraftmesser

U_{Wind} = Spannung, angelegt am Windkanal

f = Drehfrequenz des rotierenden Zylinders

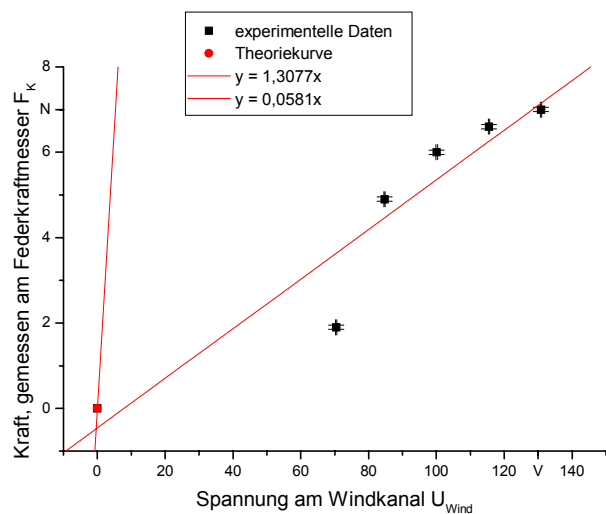
u_0 = Anfangsgeschwindigkeit der Teilchen

a. Untersuchung des Magnus-Effektes in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit bei

$$f = (55,5 \pm 0,5) \text{ Hz}$$

U_{Wind} in [V]	F_K in [10^{-2} N]
0,0	0,0
$70,4 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,05$
$84,7 \pm 0,2$	$4,9 \pm 0,05$
$100,1 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,05$
$115,5 \pm 0,2$	$6,6 \pm 0,05$
$130,8 \pm 0,2$	$7,0 \pm 0,05$

Tabelle: experimentell bestimmte Werte von F_K in Abhängigkeit von U_{Wind}
 Diagramm: Messwerte aus der Tabelle mit linearer Regression und Theoriekurve



In der Tabelle bzw. in dem Diagramm ist unsere 2. Messreihe dargestellt. Unschwer zu erkennen, ist die große Abweichung von der Theoriekurve. Diese Theoriekurve ist nur als Orientierungskurve gedacht. Sie entsteht aus der Berechnung der x -Werte unter Vernachlässigung der Fehler der jeweiligen verwendeten Größen.

Um qualitative Aussagen über den Wert unserer Messreihe zu geben, berechneten wir unter Zuhilfenahme unserer Messreihe eine Konstante, die sich einfach mit einem Literaturwert vergleichen lässt.

Wir suchten uns die Konstante ρ aus. Sie gibt die Dichte der Luft an.

Um ρ bestimmen zu können, brauchen wir den Anstieg m der linearen Regression unserer Messreihe. Der Anstieg m gibt uns das Verhältnis zwischen der Spannung U_W der Windmaschine und der gemessenen Kraft am Federkraftmesser wieder. Hierbei ist

$F_{gem} = m * U_{Wind}$ mit $m = \frac{l_z}{l_k} * \pi^2 * \rho * d^2 * h * f * a$ (Gl. 1). Dazu muss gesagt werden, dass hier bereits das Hebelgesetz $F_{gem} * l_k = F_A * l_z$ eingegliedert wurde. Auch ist a ein Anstieg und zwar der Anstieg der linearen Regression der Eichung (siehe 5.2.c), $u_0 = a * U_{Wind}$. Der Anstieg der linearen Regression aus dem Diagramm 1 beträgt $m = (0,0581 \pm 0,0096) \text{ As/m}$. Der Anstieg der linearen Regression aus der Eichung beträgt $a = (0,066 \pm 0,002) \text{ ms}^{-1}\text{V}^{-1}$. Stellen wir nun Gleichung 1 (Gl. 1) nach ρ um, so erhalten wir:

$$\rho = \frac{m * l_k}{\pi^2 * d^2 * h * f * a * l_z} = 0,03 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Der zugehörige Fehler berechnet sich aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz von Gauß.

$$\Delta\rho = \left[\left(\frac{\Delta m}{m} \right)^2 + \left(\frac{\Delta l_k}{l_k} \right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d} \right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h} \right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{f} \right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a} \right)^2 + \left(\frac{\Delta l_z}{l_z} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} * \rho$$

$$\Delta\rho = 0,01 \text{ kg} * \text{m}^{-3}$$

Damit beläuft sich unser ρ auf $\rho = (0,03 \pm 0,01) \text{ kg} * \text{m}^{-3}$.

Der Literaturwert von ρ beträgt $\rho = 1,3 \text{ kg} * \text{m}^{-3}$.

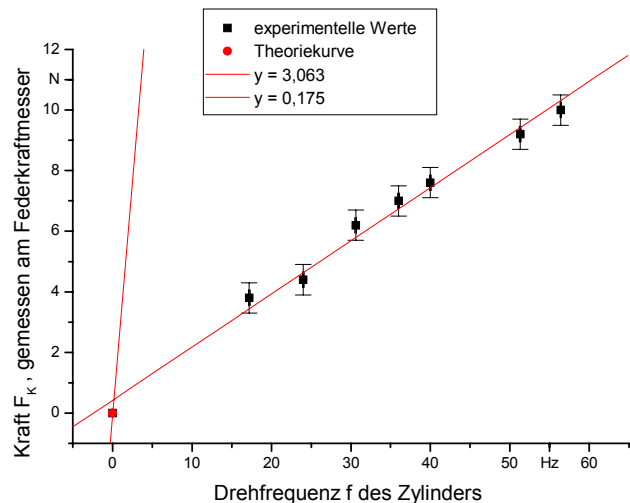
Es ist ziemlich deutlich zu erkennen, dass der Literaturwert von ρ nicht innerhalb unserer gemessenen Grenzen liegt. Unser Wert erreicht gerade mal 2,3 % vom Literaturwert.

b. Untersuchung des Magnus-Effektes in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit bei

$$U_{Wind} = (130 \pm 0,3) \text{ V}$$

f in [Hz]	F _K in [10 ⁻² N]
0,0	0,0
17,2 ± 0,1	3,8 ± 0,05
24,0 ± 0,1	4,4 ± 0,05
30,6 ± 0,1	6,2 ± 0,05
36,0 ± 0,1	7,0 ± 0,05
40,0 ± 0,1	7,6 ± 0,05
51,3 ± 0,1	9,2 ± 0,05
56,4 ± 0,1	10,0 ± 0,05

Tabelle: experimentell bestimmte Werte von F_K in Abhängigkeit von f
Diagramm: Messwerte aus der Tabelle mit linearer Regression und Theoriekurve



In der Tabelle bzw. in dem Diagramm ist unsere 3. Messreihe zu erkennen. Auch hier verläuft der Graph der Theoriekurve außerhalb des Toleranzbereiches unserer Messkurve. Genau wie bei 5.2.a wurde auch hier die Theoriekurve unter Vernachlässigung der jeweiligen Fehler berechnet.

Ebenfalls wie bei 5.2.a zogen wir ρ als Vergleichswert heran, um qualitative Aussagen über unsere Messreihe geben zu können.

Der Anstieg n der linearen Regression unserer 3. Messreihe beträgt $n = (1,76 \pm 0,09)$ Ns. Diesmal gibt uns der Anstieg n das Verhältnis zwischen der Drehfrequenz des Zylinders und der gemessenen Kraft am Federkraftmesser an. Nun ist $F_{gem} = n * f$ mit $n = \frac{l_z}{l_k} * \pi^2 * \rho * d^2 * h * U_{Wind} * a$ (Gl. 2). Das Hebelgesetz aus 5.2.a ist bereits integriert und a ist der Anstieg der Eichung aus 5.2.c mit einem Wert von $a = (0,066 \pm 0,002) \text{ ms}^{-1}\text{V}^{-1}$. Erneut stellen wir die Gleichung 2 (Gl. 2) nach ρ um und erhalten:

$$\rho = \frac{n * l_k}{\pi^2 * d^2 * h * U_{Wind} * a * l_z} = 0,099 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Das dazugehörige Fehlerfortpflanzungsgesetz von Gauß lautet:

$$\Delta\rho = \left[\left(\frac{\Delta n}{n} \right)^2 + \left(\frac{\Delta l_k}{l_k} \right)^2 + \left(\frac{2\Delta d}{d} \right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h} \right)^2 + \left(\frac{\Delta U_{Wind}}{U_{Wind}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a} \right)^2 + \left(\frac{\Delta l_z}{l_z} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} * \rho$$

$$\Delta\rho = 0,01 \text{ kg} * \text{m}^{-3}$$

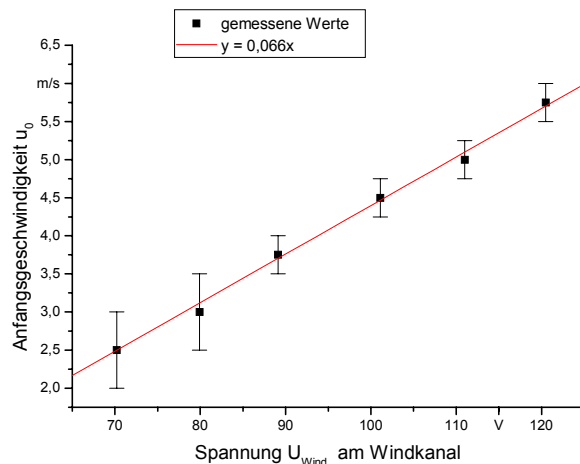
Somit erhalten wir für $\rho = (0,10 \pm 0,04) \text{ kg} * \text{m}^{-3}$.

Im Vergleich zum Literaturwert von $\rho = 1,3 \text{ kg} * \text{m}^{-3}$ erkennt man auch hier, dass dieser nicht im Bereich unserer Fehlergrenzen liegt. Dennoch erreichen wir hier etwas mehr als in 5.2.a und zwar ungefähr 7,7 % vom Literaturwert.

c. Eichung des Windkanals mit einem Anemometer

U_{Wind} in [V]	v in [m/s]
70,2	$2,5 \pm 0,5$
79,9	$3,0 \pm 0,5$
89,1	$3,75 \pm 0,25$
101,1	$4,50 \pm 0,25$
111,0	$5,00 \pm 0,25$
120,5	$5,75 \pm 0,25$

Tabelle: experimentell bestimmte Werte von u_0 in Abhängigkeit von U_{Wind}
Diagramm: Messwerte aus der Tabelle mit linearer Regression



Mit der Eichung des Windkanals erhielten wir einen Anstieg der linearen Regression für die Abhängigkeit der Anfangsgeschwindigkeit von der Spannung am Windkanal. Der Wert des Anstieges und der dazugehörige Fehler wurden in den obigen Rechnungen (5.2.a und 5.2.b) einbezogen. Er beträgt $a = (0,066 \pm 0,002) \text{ ms}^{-1}\text{V}^{-1}$.

Obwohl alle (uns bekannten) Fehler berücksichtigt wurden, liegen die experimentellen Daten weit außerhalb des geforderten Toleranzbereiches. Dies ist höchstwahrscheinlich auf die starke Rotation der Bohrmaschine zurückzuführen. Durch diese Rotation der Bohrmaschine entsteht eine so stabile Drehachse, dass jene äußerst schwer auslenkbar ist. Der Magnus-Effekt konnte die Drehachse nur

schwer aus ihrer fixierten Lage auslenken und den Zylinder nach oben bewegen. Somit sehen wir die rotierende Drehachse als systematischen Fehler.

Dennoch ist ein Effekt erkennbar, sehr klein, aber erkennbar. Sowohl die Abhängigkeit der Auftriebskraft von der Strömungsgeschwindigkeit, als auch die Abhängigkeit der Auftriebskraft von der Frequenz der rotierenden Drehachse sind linear. Wie in der Durchführung erwähnt, haben wir auch die vektorielle Eigenschaft des Magnus-Effektes gezeigt. Damit wurde der Magnus-Effekt nachgewiesen.

6. Resümee

Mit diesem Experiment wollten wir den Magnus-Effekt nachweisen. Sieht man von ein paar großen Schönheitsfehlern ab, so haben wir dies auch geschafft. Unser Ziel war es die lineare Abhängigkeit der Auftriebskraft zum einen in Abhängigkeit von der Anfangsströmungsgeschwindigkeit, zum anderen in Abhängigkeit von der Drehfrequenz einer rotierenden Achse zu zeigen.

Zuerst sah das Experiment zufriedenstellend aus. Jedoch bei der Auswertung kamen Fehlerquellen zum Vorschein, an die wir weder bei der Idee, bei dem Zusammenbau noch bei dem Experimentieren dachten. Eine der Fehlerquellen war die starke Rotation der Drehachse des Zylinders, die eine so starre Achse bewirkte, dass diese kaum ausgelenkt werden konnte. Dieser nicht erkannte und dementsprechend nicht berücksichtigte Effekt hat unsere Messreihe ziemlich sabotiert. Wir haben zwar eine lineare Abhängigkeit gezeigt, jedoch liegt diese weit außerhalb des erwarteten Toleranzbereiches. Es gibt einige Möglichkeiten den Magnus-Effekt zu zeigen. Wir versuchten eine dieser Möglichkeiten und fanden heraus: Diese ist nicht die beste Variante.

Unsere 1.Variante war zwar sehr gut, konnte aber praktisch nicht umgesetzt werden. Die Idee war einen Aufbau zu konstruieren, der auf die Präzisionswaage gestellt werden kann. So viel Spaß dabei.

7. Literaturverzeichnis

Niedrig, Physik, Springer-Verlag 1992

Gerthsen, Vogel, Physik, Springer-Verlag 1999, 20.Auflage