

Der gezähmte Bumerang (und anderes *Fluggetier*)

Freihandversuche 30 11 01

Kittel Matthias
9502020
kittel@astro.univie.ac.at

Inhaltsverzeichnis

1	Der Zimmer-Bumerang	1
2	Ein Papier-Flugzeug	1
2.1	Gleitzahl des Modellflugzeuges	2
2.2	Luftwiderstandsbeiwert c_W	2
2.3	Auftriebsbeiwert c_A	4
2.4	Zusammenhang Gleitzahl-Systemparameter	4
2.5	Der dynamische Auftrieb	4

Abbildungsverzeichnis

1	Photo des untersuchten Papierfliegers	2
2	Skizze der auftretenden Kräfte bei Gleitflug	3

Tabellenverzeichnis

1	Ergebnisse - Messreihe	2
---	----------------------------------	---

1 Der Zimmer-Bumerang

*War einmal ein Bumerang;
War ein Weniges zu lang.
Bumerang flog ein Stück,
Aber kam nicht mehr zurück.
Publikum - noch stundenlang -
Wartete auf Bumerang.*

Joachim Ringelnatz (1883-1934)

Bei den hier getätigten Versuchen kam es öfter zu Abstürzen, manchmal legte sich der Bumerang auch in die Kurve, selten kam er zum Ausgangspunkt zurück - verschwunden blieb er nie. Doch das soll nicht davon abhalten, das physikalische Phänomen *Bumerang* zu studieren.

Wenn man die Flugbahn des Bumerangs analysiert, erkennt man, eine nahezu vertikale Lage beim Abwurf und das Beschreiben einer im Idealfall kreisförmigen Bahnkurve. Um dieses Flugverhalten zu begründen, so gelingt das mit entsprechender Idealisierung und Vereinfachung mittels der Zentripetalkraft, die den Bumerang auf die Kreisbahn zwingt und einem Drehmoment, welches die Rotationsebene des Bumerangs um eine senkrechte Achse dreht. Um die Ursache dieser äußeren Kräfte zu finden, ist es notwendig, sich mit den Prinzipien der Kreiselbewegung und der Aerodynamik am Tragflügel zu befassen.

Der Bumerang wird beim Abwurf nahezu senkrecht gehalten und beim Abwurf zusätzlich in Rotation versetzt. Ein rotierender Kreisel behält seine Drehachse im Raum bei, sofern keine äußeren Kräfte auf ihn wirken. Aufgrund der Bauweise des Bumerangs, seines Trägheitsmomentes, greift ein Drehmoment an, das versucht den Bumerang zu kippen. Aufgrund der Kreiseigenschaften kommt es aber nicht zu einem Kippen, sondern zu einer Präzessionbewegung, also zu einer Richtungsänderung der Rotationsachse und damit zu einer Richtungsänderung im Flug.. Wenn man den Bumerang nun als Tragfläche betrachtet kommt es auch hier zu einem Auftrieb (siehe Punkt 2.5), da der Bumerang aber senkrecht abgeworfen wird, entspricht das aber einer Kraft senkrecht zur Rotationsachse. Das ist aber genau jene Kraft, die oben bereits zur Präzessionbewegung führt.

2 Ein Papier-Flugzeug

In diesem Versuch sollten grundlegende Eigenschaften eines Papier-Flugzeuges und des Auftriebes im Allgemeinen untersucht werden. Da der, der Angabe beigelegte Flugzeugtyp *TRAINER*, schlechte Flugeigenschaften bietet (sei es aufgrund fehlerhaften Zusammenbaus oder Systemeigenschaften), wird ein anderer Flieger gebaut und dessen Eigenschaften studiert. Das Modell ist in der *Abbildung 1* gezeigt. Zur Stabilisierung des Flugzeuges wird zusätzlich eine Büroklammer verwendet. Mit diesem Papier-Flugzeug wird eine Versuchsreihe mit sechs Versuchen durchgeführt (siehe *Tabelle 1*). Das Flugzeug wurde bei den Versuchen jeweils aus eine Höhe von 2.1 Metern abgeworfen.

Versuch	s [m]	l [m]	t [s]	v [ms^{-1}]	α [°]
1	7.5	7.8	2.0	3.8	15.6
2	8.0	8.3	2.1	3.9	14.7
3	6.5	6.8	1.6	4.2	17.9
4	8.5	8.8	2.0	4.3	13.9
5	8.0	8.3	2.0	4.1	14.7
6	9.0	9.2	2.3	4.0	13.1
Mittelwert	7.9	8.2	2.0	4.1	15.0

Tabelle 1: s ist die vertikale Entfernung, die der Flieger während seines Fluges zurücklegt, l ist die tatsächliche Gleitstrecke, t die dafür benötigte Zeit, v die Geschwindigkeit und α der Hangwinkel

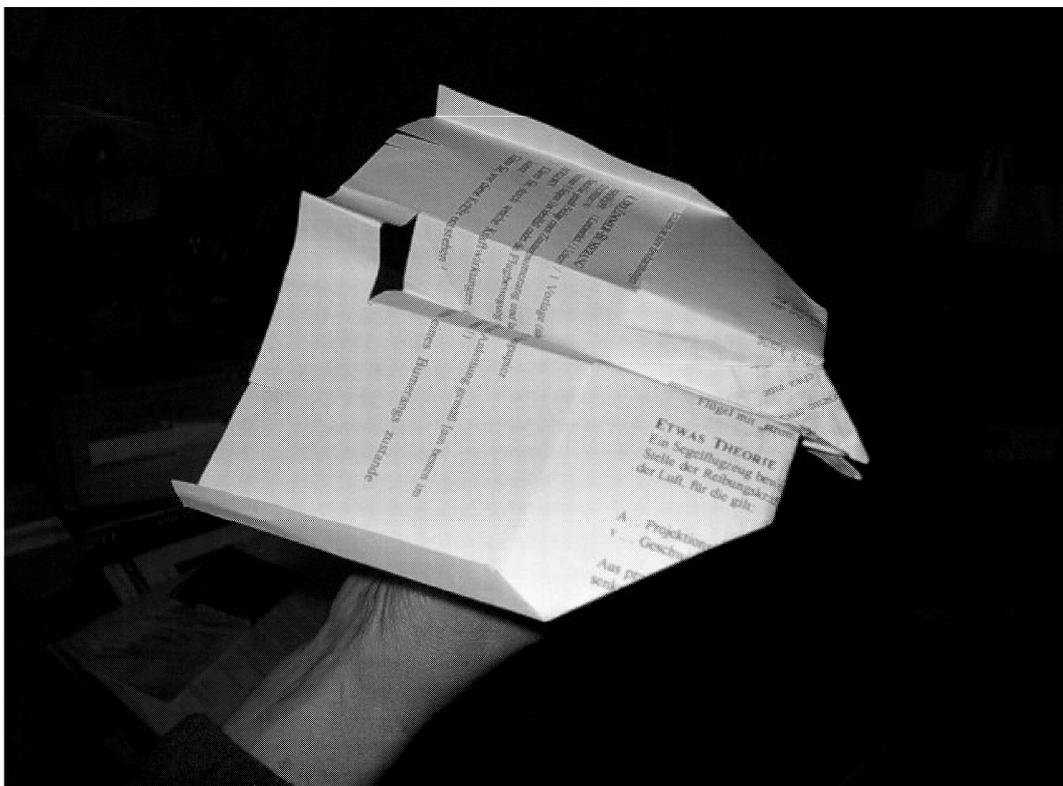


Abbildung 1: Photo des untersuchten Papierfliegers

2.1 Gleitzahl des Modellflugzeuges

Die Gleitzahl ist folgendermaßen definiert: Tangens des Hangwinkels der gedachten schiefen Ebene, die das Flugzeug entlanggleitet (siehe *Abbildung 2*). Aus dem ermittelten Hangwinkel errechnet sich die Gleitzahl zu 0.27.

2.2 Luftwiderstandsbeiwert c_W

Der Luftwiderstandsbeiwert c_W lässt sich aus der bekannten Formel

$$F_W = \frac{1}{2} \rho_{air} c_W A v^2 \quad (1)$$

bestimmen. Die Dichte der Luft beträgt 1.3 kgm^{-3} , die Geschwindigkeit des Papierflugzeuges wurde in der Versuchsreihe bestimmt. Die Fläche ist in diesem Versuch jene, die das Flugzeug in Flugrichtung (von vorne gesehen) aufzeigt. Sie wird zu 40 mm^2 bestimmt. F_g ist die Schwerkraft, die auf das Flugzeug wirkt und wird mit einer Federwaage zu 0.06 N gemessen. Aus

$$F_W = F_g \sin \alpha = 0.016 \quad (2)$$

kann die Widerstandskraft hergeleitet werden. Siehe *Abbildung 2* für weitere Details. Aus diesen Werten lässt sich nun der Luftwiderstandsbeiwert errechnen:

$$c_W = \frac{2F_W}{\rho_{air}Av^2} \quad (3)$$

Setzt man alle gemessenen Werte in *Gleichung 3* ein, so erhält man einen Luftwiderstandsbeiwert von ungefähr **36**. Dieser Zahl ist um eine Größenordnung zu groß, selbst für einen schlechten Wert. Der Papier-Flieger weist mit Sicherheit einen sehr hohen c_W -Wert auf. Der größte Unsicherheitsfaktor in dieser Gleichung ist die Fläche A ; eine stromlinienförmige Querschnittsfläche ist auf keinen Fall gegeben. Um den Luftwiderstandsbeiwert auf einen Wert von 3.6 zu senken, wäre ein Querschnittsfläche von 15.6 cm^2 oder eine Geschwindigkeit von 25 ms^{-1} notwendig. Zusammenfassend ist zu sagen, dass aufgrund der ungenauen Messung und der schlechten Flugeigenschaften des Papier-Flugzeuges, sowie der erheblichen Wirbelbildung der Wert für den Luftwiderstandsbeiwert viel zu hoch ist.

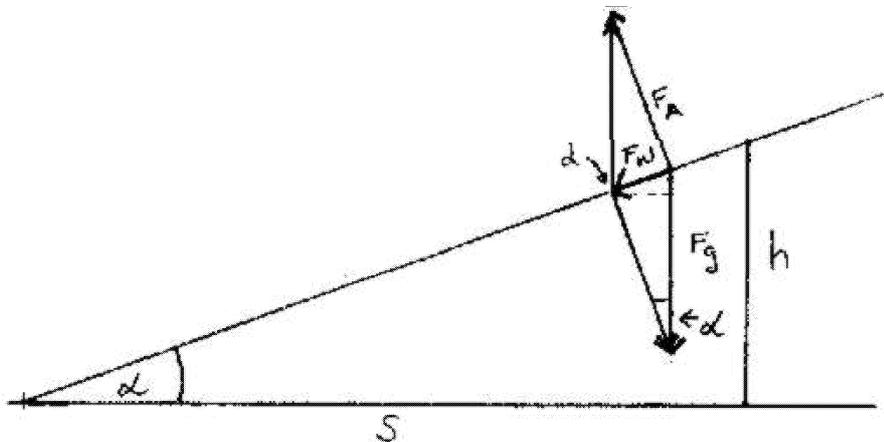


Abbildung 2: α bezeichnet den Hangwinkel, h ist die Höhe aus der der Papierflieger geworfen wird, s die vertikale Entfernung, die der Flieger während seines Fluges zurücklegt, F_g die Schwerkraft, F_W die Widerstandskraft und F_A die Auftriebskraft. Aufgrund trigonometrischer Überlegungen lassen sich nun Beziehungen zwischen den Kräften ableiten: Sinussatz für F_W und F_g , sowie der Pythagoreischer Lehrsatz für F_W , F_g und F_A .

2.3 Auftriebsbeiwert c_A

Für den Auftriebsbeiwert c_A gilt eine ähnliche Gleichung wie im vorhergehenden Abschnitt für den Luftwiderstandsbeiwert:

$$F_A = \frac{1}{2} \rho_{air} c_A A_{wing} v^2 \quad . \quad (4)$$

A_{wing} bezeichnet in diesem Fall aber die Flügelfläche des Papierfliegers. Bei diesem Modell beträgt diese 166 cm^2 . Zu F_A gelangt man über folgende Relation:

$$F_A = \sqrt{F_g^2 - F_W^2} = \sqrt{0.06^2 - 0.016^2} = 0.058 \quad (5)$$

Der Auftriebsbeiwert berechnet sich durch

$$c_A = \frac{2F_A}{\rho_{air} A_{wing} v^2} \quad . \quad (6)$$

Bei dieser Rechnung lautet das Ergebnis 0.33, was (zufällig) ein recht brauchbarer Wert (Ein Vergleich mit diversen Internetseiten über Segelflug liefert Werte zwischen 0.8 und 3.) ist.

2.4 Zusammenhang Gleitzahl-Systemparameter

Die Gleitzahl hängt von Abwurfhöhe und Wurfweite ab. Je geringer die Abwurfhöhe in Relation zur Wurfweite, desto kleiner der Winkel und die Gleitzahl. Die Wurfweite hängt wiederum ab vom der Flügelfläche, vom Gewicht vom Material, von den Anstellwinkel der Leitwerke und der Querschnittsfläche.

2.5 Der dynamische Auftrieb

Um eines gleich vorweg zu nennen: Es gibt **keinen** Auftrieb aufgrund des Bernoulli-Gesetzes bei einem Flügel im Tragflächenprofil!

Bei einem schräg gestellten Flügel kommt es zur Impulsübertragung der Luftteilchen an die Tragfläche und damit zum Auftrieb. Die Teilchen werden nach unten abgelenkt, aufgrund von *Actio-Reactio* ergibt sich eine Kraft nach oben, die Tragfläche erfährt einen Auftrieb.

Je höher der Anstellwinkel der Tragfläche ist, desto größer der Auftrieb bis der Winkel zu groß wird und der Auftrieb abreißt. Mit Erhöhung der Geschwindigkeit, der (Luft)Dichte und der Größe der Tragflächen kann man den Auftrieb steigern.