

Der Bumerang - ein fächerübergreifendes Projekt

Harald Wiltsche

Einleitung

*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)

Wer ist nicht fasziniert von diesen zurückkehrenden - oder auch nicht zurückkehrenden - Flugobjekten. Diese Faszination im Unterricht zu nutzen, vielleicht in Form eines fächerübergreifenden Projektes, dazu sollte dieser Artikel Anregung, Motivation, Anstoß sein.

Wie weit man dabei nach physikalisch korrekten, anschaulichen Erklärungen sucht oder das Handeln, das Basteln und Bauen des Bumerangs in den Vordergrund stellt, hängt dann wohl auch davon ab, in welcher Altersgruppe und Schulform man dieses Vorhaben schließlich realisieren möchte. Im Folgenden wird versucht, auf beide Aspekte einzugehen. Die physikalischen Erklärungen sollten bei aller notwendigen Vereinfachung und einem Verzicht auf quantitative Einzelheiten die wesentlichen Merkmale des Bumerang-Flugs behandeln.

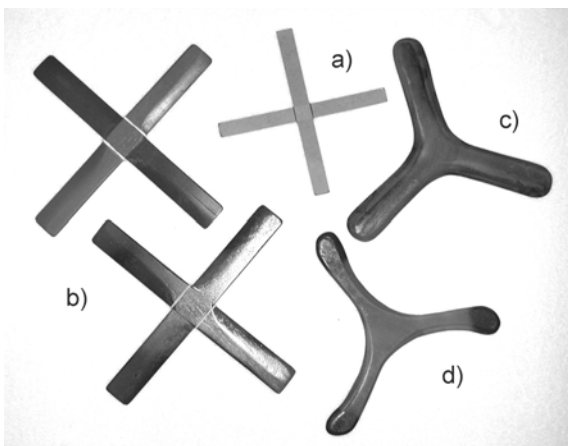


Abb. 1: a) Bürobumerang, b) Zimmerbumerang, c) Winkler-Bumerang, d) "Carlota"

Die Auswahl der beschriebenen Modelle basiert auf praktischen Erfahrungen, die im Rahmen einer fächerübergreifenden Lehrveranstaltung an der Pädagogischen Akademie in Klagenfurt mit Studierenden der Fächer Physik/Chemie und Technisches Werken gewonnen wurden. Und in Anknüpfung an Ringelnatz, und ohne zu viel versprechen zu wollen - sie kamen zurück, alle!

Physikalische Grundlagen

Beobachtet und analysiert man die Wurftechnik und die Flugbahn eines funktionierenden, zurückkehrenden Bumerangs, so

sind deren wesentliche Merkmale eine nahezu vertikale Lage beim Abwurf, das Beschreiben einer annähernd kreisförmigen Bahnkurve (bei Rechtshändern gegen den Uhrzeigersinn) und ein Flachlegen des Bumerangs gegen Ende der Flugphase. (Genauer über die Wurftechnik z.B. unter [1] und [2])

Will man dieses Flugverhalten begründen, so gelingt dies bei entsprechender Idealisierung und Vereinfachung mit Hilfe einer Zentripetalkraft, die den Bumerang auf eine Kreisbahn zwingt, einem Drehmoment, welches die Rotationsebene des Bumerangs um eine senkrechte Achse dreht und einem weiteren Drehmoment, welches das Flachlegen des Bumerangs bewirkt.

Um die Ursache dieser äußeren Kräfte und Momente zu finden ist es notwendig, sich ein wenig mit der Bewegung eines Kreisel und der Aerodynamik am Tragflügel zu befassen.

Der Bumerang als Kreisel

Der Bumerang ist ein unsymmetrischer Kreisel, da im allgemeinen die Hauptträgheitsmomente verschieden sind. Rotiert der Bumerang um seinen Schwerpunkt, so wird dadurch eine Ebene, die Rotationsebene, definiert. Würden nun keine äußeren Kräfte auf den Kreisel wirken, so ergäbe sich aus der Erhaltung des Drehimpulses eine Konstanz der Richtung der Drehachse bzw. des Vektors der Winkelgeschwindigkeit $\vec{\omega}$.

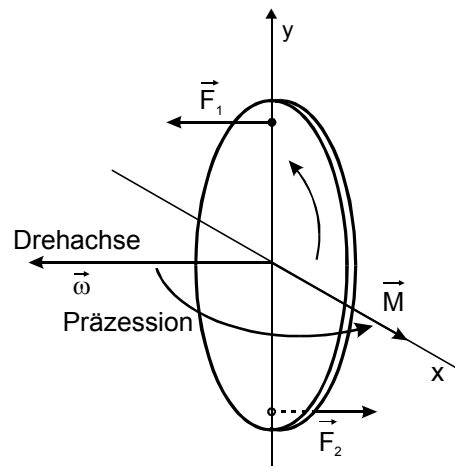


Abb. 2: Präzession eines Kreisels, hervorgerufen durch ein äußeres Moment

Wie später genauer erläutert wird, wirkt aber durch verschiedenen große Auftriebskräfte auf die rotierende Scheibe ein äußeres Moment in Form eines Kräftepaars (\vec{F}_1, \vec{F}_2) mit $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$, welches versucht, den Kreisel um die x-Achse zu kippen. Aus den Eigenschaften eines rotierenden Kreisels weiß man jedoch, dass es in diesem Fall zu einer Präzession kommt, d.h. der Kreisel kippt nicht um die x-Achse, sondern reagiert auf das äußere Moment \vec{M} durch eine Richtungsänderung der Drehachse (des Drehimpulsvektors).

Die Drehachse wird dabei in Richtung des äußeren Momentes \vec{M} (in der Abbildung in Richtung der positiven x-Achse) abgelenkt. Aus einem kontinuierlichem Einwirken des Kräftepaars resultiert daher eine Drehung der Rotationsebene des Kreisels um die vertikale Achse (y-Achse). (Genauer z.B. in [3])

Der Bumerang als Tragflügel

Allen Bumerangs gemeinsam ist ein an der Stirnkante abgerundetes, zur scharfen Hinterkante abfallendes Tragflügelprofil mit flacher Unterseite (eine Ausnahme bildet der hinten beschriebene "Bürobumerang" aus Karton).

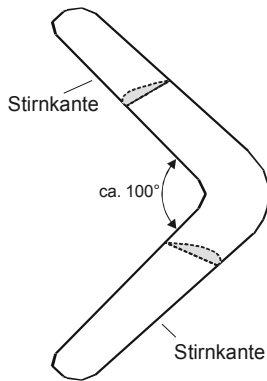


Abb. 3: zweiflügeliger Bumerang für Rechtshänder

Um das Zustandekommen der Zentripetalkraft und des zur Präzession notwendigen Kräftepaars erklären zu können ist es notwendig, die Geschwindigkeitsverteilung an der Stirnkante des Bumerangs bei der Drehung um seinen Schwerpunkt zu analysieren.

Wird ein Bumerang geworfen, so bewegt er sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit, der Translationsgeschwindigkeit v_t geradeaus. Diese Geschwindigkeitskomponente ist in allen Punkten des überstrichenen Kreises gleich groß und gleich gerichtet (ihre Verringerung gegen Ende der Flugphase hat keinen Einfluss auf die Erklärung der auftretenden Kräfte).

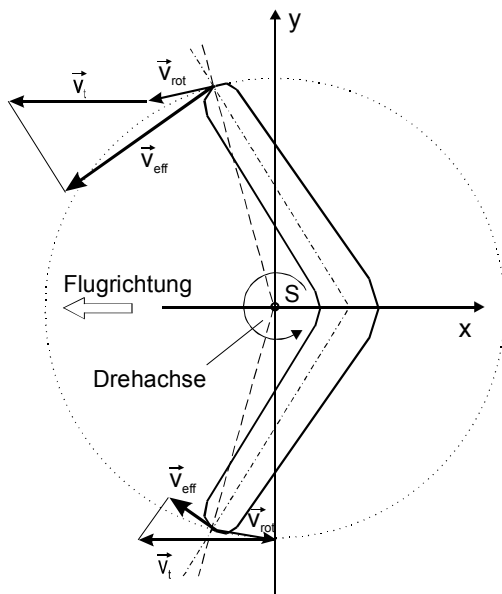


Abb. 4: Zusammensetzung der Geschwindigkeiten.

Zur Translationsgeschwindigkeit kommt die von der Kreisfrequenz ω (die der Einfachheit halber als konstant angenommen wird) abhängige, tangential gerichtete Rotationsgeschwindigkeit v_{rot} . Die Resultierende dieser beiden Geschwindigkeiten, bzw. deren senkrecht zur Stirnkante orientierte Komponente v_{eff} ist nun maßgeblich für den Betrag der in Richtung der gewölbten Oberseite des Bumerangs wirkenden Auftriebskraft.

Zwischen der Auftriebskraft F_A und der Effektivgeschwindigkeit gilt ein quadratischer Zusammenhang der Form

$$F_A = k \cdot v_{eff}^2 \quad (1)$$

wobei der Proportionalitätsfaktor k von geometrischen Eigenschaften des Flügels, von der Dichte der Luft und der Art der Strömung (laminar oder turbulent) abhängt.

Wie aus Abb. 3 zu erkennen, ist v_{eff} für einen senkrecht nach oben gerichteten Bumerang-Flügel am größten und erreicht den kleinsten Wert, wenn der Flügel senkrecht nach unten zeigt. Aus Beziehung (1) folgt, dass sich aus der Geschwindigkeitsverteilung am Kreis direkt die Verteilung der Auftriebskraft ergibt.

Um diese genauer zu analysieren, kann man die Effektivgeschwindigkeit in einem Punkt an der Bumerangoberfläche während einer Umdrehung des Bumerangs um die Rotationsachse verfolgen.

Eine etwas einfachere Überlegung mit gleicher Schlussfolgerung ergibt sich aus der Betrachtung des vierflügeligen "Zimmerbumerangs". Dazu stellt man sich Abb. 5 als Momentaufnahme des rotierenden Bumerangs vor. Aus den Effektivgeschwindigkeiten an den Flügeln ergeben sich die senkrecht zur Oberfläche gerichteten Auftriebskräfte.

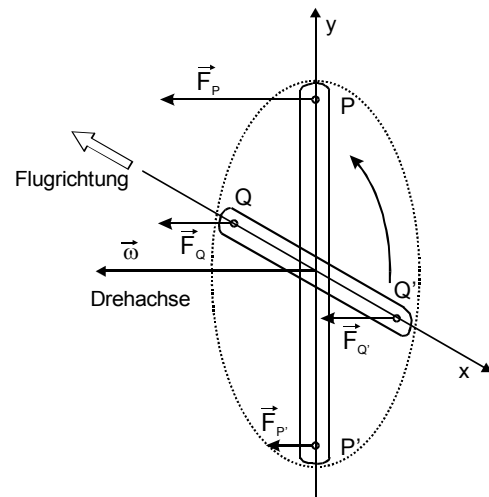


Abb. 5: Kräfteverteilung beim vierflügeligen Bumerang

In Entsprechung zu den Geschwindigkeiten ist der Auftrieb höchsten Punkt P am größten, im tiefsten Punkt P' am kleinsten. Einen mittleren und (unter Vernachlässigung der Luftverwirbelung) jeweils gleich großen Wert besitzt die Kraft in den Punkten Q und Q'. Während diese beiden mittleren, in den Punkten Q und Q' wirkenden Kräfte wohl einen Auftrieb erzeugen, aber keinen Beitrag zum Kippmoment liefern, folgt die Existenz eines Kräftepaars recht schlüssig aus einer etwas

anderen Darstellung der Kräfte im obersten und untersten Punkt des Kreises.

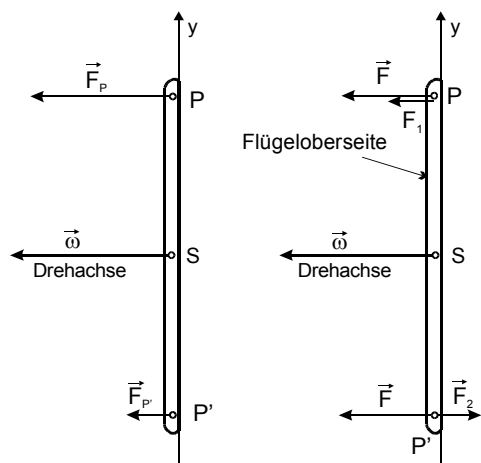


Abb. 6: Zerlegung der Auftriebskraft in in einen verschiebenden Anteil \vec{F} und in ein Kräftepaar (\vec{F}_1, \vec{F}_2)

Man zerlegt die Kräfte in den Punkten P und P' in eine oben und unten gleich große Komponente \vec{F} und in ein Kräftepaar (\vec{F}_1, \vec{F}_2) . Mit der zur momentanen Richtung der Translationsgeschwindigkeit senkrecht gerichteten Auftriebskraft \vec{F} hat man nun die eingangs geforderte Zentripetalkraft gefunden. Das Kräftepaar (\vec{F}_1, \vec{F}_2) erzeugt das zur Präzession der Rotationsebene um die y-Achse notwendige äußere Moment. Mit dem Zusammenwirken dieser beiden Größen, der Zentripetalkraft und dem Kippmoment, wären somit die Voraussetzungen zum Beschreiben der beobachteten Kreisbahn (in diesem Fall gegen den Uhrzeigersinn) gegeben.

Komplizierter wird es, wenn man das Flachlegen des Bumerangs, das Drehen der Rotationsebene in eine waagrechte Lage, physikalisch deuten möchte. Bei der Begründung der Kreisbahn wurden die Auftriebskräfte in den Punkten Q und Q' vereinfachend als gleich groß angenommen. Aus der Symmetrie der Geschwindigkeitsverteilung (bezüglich der vertikalen Achse durch den Schwerpunkt) wurde auch eine Symmetrie der Kräfteverteilung im vorderen und hinteren Halbkreis angenommen. Dies wäre nach Gleichung (1) zwar zu erwarten, würde jedoch einen konstanten Wert des Auftriebsfaktors k über die gesamte Kreisfläche voraussetzen. Diese Voraussetzung gilt aber aus dem Grund nicht, weil der rechte, nacheilende Flügel in eine vom vorauseilenden Flügel erzeugte turbulente Strömung eintaucht.

Dies hat zur Folge, dass k und somit die Auftriebskraft im linken Halbkreis, d. h. vor dem Drehpunkt größer ist als im rechten Halbkreis bzw. hinter dem Drehpunkt. Korrigiert man die Kräfteverteilung in Abb. 5 nach diesem zusätzlichen Gesichtspunkt und berücksichtigt die verschieden großen Kräfte in den Punkten Q und Q', so erkennt man, dass analog zum Kräftepaar in den Punkten P und P' auch ein senkrecht dazu gerichtetes Kräftepaar in den Punkten Q und Q' existiert. Dieses führt zu einem Moment, das den Kreisel um die y-Achse zu drehen versucht. Da sich die Drehachse eines rotierenden Kreisels in Richtung eines äußeren Momentes ausrichtet (das Moment besitzt die Richtung der positiven y-Achse), führt dieser Effekt daher zu einem allmählichen Kippen und Flachlegen des Bumerangs. (siehe auch [2] und [4])

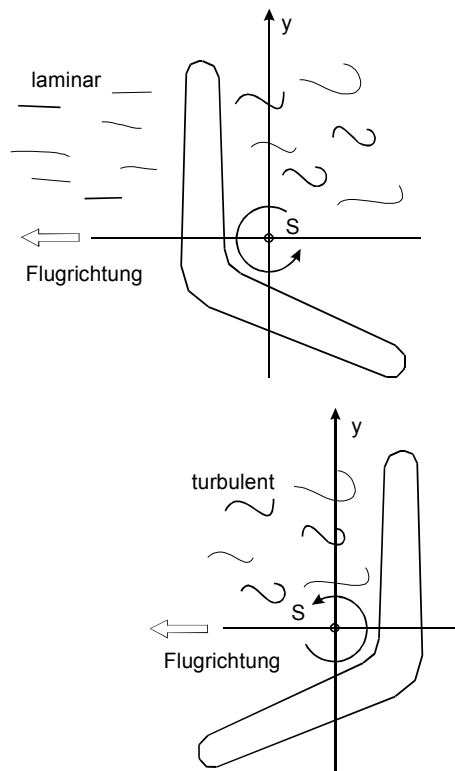


Abb. 7: Verwirbelung der Luft durch den vorauseilenden Bumerangflügel

Bumerangmodelle

Nun zum praktischen Teil! Was hätte man von all der Theorie, wenn man sie nicht beim Bau verschiedener Modelle praktisch umsetzen würde, um die Physik und die Faszination, die hinter diesen Flugobjekten steckt, zu erleben - um sich freuen zu können, ein Erfolgserlebnis zu verspüren, wenn sie tatsächlich zurückkommen.

Auf der Suche nach einer geeigneten Bauform macht man bald die Erfahrung, dass ein Bumerang nicht unbedingt so aussehen muss, wie das klassische Modell in Abb. 3. Es gibt sie in allen möglichen Formen, Gestalten und auch in vielfältigen Materialien. Die hier präsentierten Vorschläge wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt: sie sind einfach, schnell und billig herzustellen, relativ ungefährlich (von einem Balsaholz-Bumerang getroffen zu werden ist um vieles weniger schmerzhaft, als hätte man Birkenperrholz verwendet) und das Wichtigste: sie kommen zurück, auch bei ungeübten Werfern und bei nicht ganz exakter Bauausführung.

Auch wenn Bumerangs i.a. in ihrem Flugverhalten relativ empfindlich auf Ungenauigkeiten und Abweichungen vom geforderten Profil reagieren - bei den im Folgenden beschriebenen Modellen kann man nicht viel falsch machen. So lange sie vorne rund und hinten flach und scharf sind, fliegen sie.

Ein paar Gedanken zu Material und Verarbeitung:

Pappelsperholz ist zwar weicher als das für den Bumerangbau üblicherweise verwendete finnische 10-fach verleimte Birkenperrholz, kann aber wesentlich leichter bearbeitet werden.

Zum Aufzeichnen der Umrissform auf das Holz kann man ein Durchschlagpapier verwenden oder eine Schablone aus Karton anfertigen. Bei zweiarmigen Bumerangs ist darauf zu ach-

ten, dass die Holzmaserung möglichst entlang der gestreckten Seite verläuft. Zum Sägen verwendet man eine Laub- oder Dekupiersäge.

Der Verlauf des Tragflügelprofils (der Beginn der Abflachung) sollte durch Hilfslinien auf das Holz gezeichnet werden. Zum Abtragen des Materials kann eine Raspel und verschieden feines Schleifpapier verwendet werden. Als recht hilfreich erweist sich auch eine elektrische Fingerschleifmaschine. Damit ist es in kurzer Zeit mit etwas Gefühl möglich, das gewünschte Tragflügelprofil zu erzielen. Den gleichmäßigen Verlauf des Profils kann man leicht an den wie Höhenschichtlinien wirkenden Sperrholzschichten kontrollieren.

Nicht nur aus optischen Gründen, auch als Schutz gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und gegen Beschädigungen ist es sinnvoll, den fertig geschliffenen Bumerang zu lackieren. Geeignet sind Schulmalfarben mit einem abschließenden Klarlack-Anstrich oder (schneller und einfacher) Sprühlack aus der Dose. (siehe auch [4])

Der "Bürobumerang"

Dieses Modell stellt in mehrerlei Hinsicht eine Ausnahme dar. Es besitzt kein Tragflächenprofil (was die Erklärung der Funktionsweise nicht unbedingt erleichtert) und wird nicht aus Holz, sondern aus Karton gebaut.

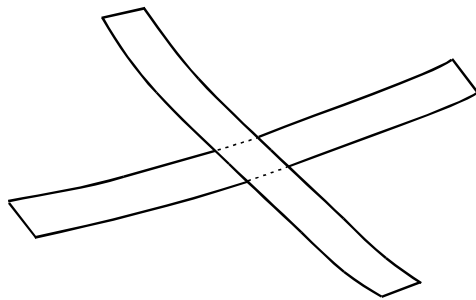


Abb. 6: "Bürobumerang" aus Karton

Wichtig ist die Beschaffenheit des Kartons; er sollte nicht zu dick sein, trotzdem stabil und einigermaßen elastisch. Als geeignet, auch von den Abmessungen, haben sich dabei Flügelmappen erwiesen, von denen man die Laschen und den gewellten Mittelteil entfernt. Der Karton wird danach in Streifen von ca. 2,0 - 2,2 cm Breite und ca. 22 - 23 cm Länge zerschnitten. Je zwei Streifen werden über Kreuz mit einem Gummiringel (Durchmesser ca. 20 mm) verbunden. Wichtig für das Funktionieren dieses Bumerangs ist es, dass seine Flügel nicht vollkommen flach sind, sondern, indem man sie zwischen Daumen und Zeigefinger durchstreicht, leicht nach innen, zum Zentrum der gedachten Kreisbahn gewölbt sind. Er wird fast senkrecht, d.h. mit sehr kleinem Abwurfwinkel (das ist der Winkel zwischen der gedachten Rotationsebene des Bumerangs und dem Lot) geworfen und beschreibt einen Kreis mit einem Durchmesser von ca. 3 bis 5 Meter. Mit etwas Übung kehrt er sicher zurück und kann leicht wieder gefangen werden.

Der "Zimmerbumerang"

Auch dieser vierflügelige Bumerang zeichnet sich dadurch aus, dass er sehr einfach und schnell zu bauen ist und erstaunlich gute Flugeigenschaften aufweist. Er kann in größeren Räumen (z.B. im Turnsaal) oder im Freien geworfen werden. Auf Grund des geringen Gewichtes ist er im Freien jedoch

sehr windanfällig und funktioniert nur bei Windstille wirklich gut.

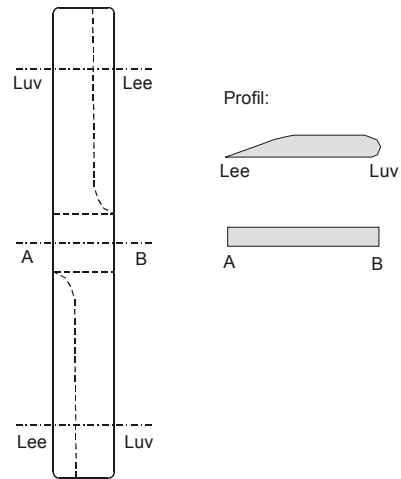


Abb. 7: "Zimmerbumerang"

Als Material verwendet man Balsaholz in einer Stärke von 4 bis 5 mm. Mit einem Papiermesser werden daraus Leisten mit einer Breite von 3,5 bis 4,2 cm und einer Länge von ca. 30 cm geschnitten. Das Tragflügelprofil lässt sich gut mit Schleifpapier (mittel und fein) herausarbeiten. Durch eine anschließende Lackierung wird das weiche Holz etwas unempfindlicher gegen Beschädigung. Die beiden Teile werden mit Gummibändern (zwei Stück verleihen etwas mehr Stabilität) kreuzweise zusammengehalten. Der Abwurf erfolgt wie beim Kartonbumerang mit relativ kleinem Abwurfwinkel. Der Bumerang beschreibt einen Kreis mit einem Durchmesser bis zu ca. 8 - 10 m und erreicht eine Flughöhe von ca. 3 m.

"Winkler - Bumerang"

Dieses Modell hat seinen Namen nach der Bezugsquelle (www.winklerschulbedarf.com). Zu einem Preis von nur 17,- Schilling (Katalogpreis 2000/01, Best.Nr. 5192) erhält man eine Pappelsperrholzplatte im Maß 30 x 26 x 0,6 cm und eine Bauanleitung für einen dreiflügeligen Bumerang. Er ist zwar etwas komplizierter zu fertigen als die beiden zuvor beschriebenen Modelle, besitzt aber sehr gute Flugeigenschaften. Auf Grund des größeren Gewichtes beschreibt er eine größere Flugbahn und kann nur im Freien geworfen werden.

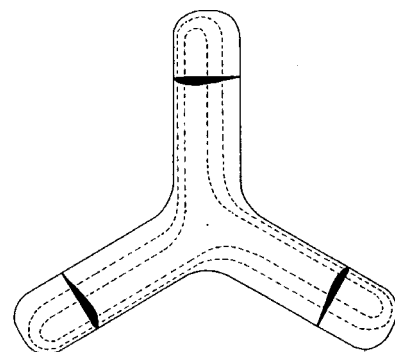


Abb. 8: "Winkler - Bumerang"

"Carlota"

Dieser Bumerang ist ein Modell aus der großen Vielfalt, die man über das Internet finden kann. Siehe <http://www.redi-boom.com/bauplane/carlota.html>; weitere Links z.B. unter [5]

und [6]. In den meisten Fällen ist es dabei möglich, Grafiken direkt zu übernehmen und abzuspeichern. Manchmal findet man den Bauplan auch als eigene Datei zum Downloaden. Da meistens eine Bezugsgröße angegeben wird, ist es nach ein paar Probeausdrucken leicht möglich, eine Schablone in der gewünschten Größe zu erhalten.

Als Material kann Pappel- oder Birkenperrholz verwendet werden. Durch die filigrane Bauweise wäre in diesem Fall das Birkenperrholz die bruchsicherere Alternative. Das Profil sollte relativ sorgfältig bearbeitet werden, da dieser Bumerang recht empfindlich auf Abweichungen reagiert. Belohnt wird man dafür durch einen sehr weiten Flug auch bei stärkerem Wind.

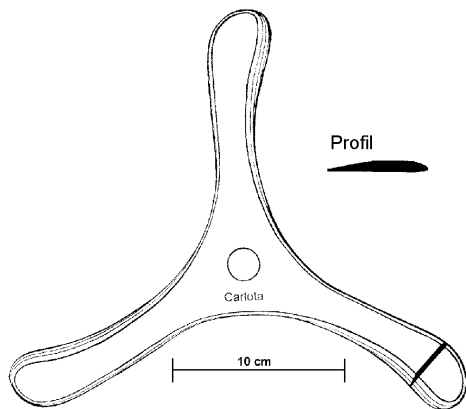


Abb. 9: "Carlota"

Literatur

- [1] Hartmann T.: *Bumerangs bauen, werfen, fangen*. Englisch Verlag - Wiesbaden 1990
- [2] Internet: <http://www.bumerangs.de/bw-archiv/87/87302.htm>
- [3] Tipler P. A.: *Physik*. Spektrum Akad. Verl. - Heidelberg-Berlin-Oxford 1994
- [4] Schlichting H.J., Rodewald B.: *Der Bumerang, ein Spielzeug mit verblüffenden Flugeigenschaften*. PdN-Ph 35 (1986)
- [5] Internet: <http://www.rediboom.com/bauplane/index.html>
- [6] Internet: <http://www.multimania.com/hoplabc/carton.htm>

Wurfanleitung für Rechtshänder

Achtung Linkshänder! Bitte führen Sie alle Anweisungen spiegelverkehrt aus, d.h. tauschen Sie die Begriffe "rechts" und "links" gegeneinander aus!

Sicherheitsregeln

Bumerangs sind keine Waffen, sondern moderne Sportgeräte. Sie sollen Spaß machen, aber auch ernstgenommen werden.

Dessen ungeachtet sollten Sie einige selbstverständliche Sicherheitsregeln beachten:

Nur auf ausreichend großen Flächen werfen!

Nicht in der Nähe von Unbeteiligten werfen!

Nie bei zu starkem Wind werfen!

Bei mehreren Werfern: immer nur ein Bumerang in der Luft!

Wurfhinweise

Sie haben also nun einen Bumerang und eine Wurfanleitung in der Hand. Jetzt wollen Sie werfen und sehen, wie Ihr Bumerang brav in Ihre Hand zurückkehrt. Oder? Seien Sie beruhigt, wenn Sie die vorliegenden Tips genau beachten, werden Sie dieses Erlebnis haben. Immer und immer wieder!!

Nehmen Sie den Bumerang so in die rechte Hand, daß die flache Unterseite des Bumerangs in ihrer Handfläche ruht.

Der Bumerang muß, einem Bleistift gleich, mit Daumen, Zeige- und Mittelfinger gehalten werden.

Der Neigungswinkel des Bumerangs ist von großer Bedeutung für den Bumerang-Wurf: Werfen Sie den Bumerang nie waagrecht, sondern senkrecht oder nur leicht schräg! Achten Sie darauf, daß der Bumerang beim Ausholen immer über die Schulter geführt wird und nicht etwa seitlich an der Schulter vorbei!

Der Horizontwinkel ist der Winkel, der die Wurfhöhe angibt. Er beträgt meist 5-15 Grad:

Werfen Sie also fast parallel zum Boden, keinesfalls weit nach oben! Wenn Sie zu tief werfen, wird Ihr Bumerang den Boden berühren. Werfen Sie zu hoch, wird sich der Bumerang nicht stabilisieren können und zu Boden stürzen.

Meistens liegt der Windwinkel zwischen 35 und 55 Grad, variiert aber je nach Windstärke erheblich. Prüfen Sie die Windrichtung und Windstärke, indem Sie einige Grashalme in die Luft werfen. Ein Fixpunkt am Horizont, z.B. ein Baum, erleichtert als Zielhilfe die Einhaltung und Korrektur des Windwinkels.

Es gilt: Je windiger es ist, desto größer sollte der Windwinkel sein. Je windstill, desto kleiner! Für Linkshänder gilt das ganze natürlich spiegelverkehrt.

Man wirft aus dem Stand. Dabei wirft aber der ganze Körper und nicht nur die Wurfhand.

Bevor der Bumerang Ihre Hand beim Abwurf verläßt, sollten Sie eine kleine Abknickbewegung des Handgelenkes durchführen.

Diese Bewegung verleiht dem Bumerang seine Drehung um den Schwerpunkt, den "Spin". Dieser Spin ist entscheidend für einen guten Bumerang-Flug, nicht die Kraft.

Nach einiger Zeit werden Sie sich an die Rückkehr Ihres Bumerangs so sehr gewöhnt haben, daß der Wunsch ihn zu fangen aufkommen wird. Am Besten wird dies gelingen, wenn der Bumerang am Ende seiner Flugbahn waagrecht in der Luft liegt. Begeben Sie sich frühzeitig zu der erahnten Landestelle und fangen den Bumerang, indem Sie ihn zwischen beiden Händen einklatschen. Zu Ihrer eigenen Sicherheit empfehlen wir Fanghandschuhe und eventuell eine Schutzbrille.

Wichtig: Niemals herabstürzende Bumerangs fangen!

Quelle: <http://www.rediboom.com>