



Die Aborigines nutzen den Bumerang seit Jahrtausenden als Jagdwaffe im kargen Outback Australiens.

## Zuverlässige Rückkehrer

Bumerangs haben sich von der Jagdwaffe zum Sportgerät entwickelt. Das Zusammenspiel von Auftrieb und Rotation führt zu ihrer charakteristischen Flugbahn.

Denise Müller-Dum und Jens Kube

**B**umerangs kehren ohne aktive Fernsteuerung zum Abwurfort zurück. Auf die typische, nahezu kreisförmige Flugbahn schwenkt das Wurfgerät ein, wenn es senkrecht zur Flugebene abgeworfen wird. Auf dem Weg zurück neigt sich der Bumerang in die Ebene und lässt sich am Ende flach zwischen den Händen fangen – ein verblüffender Vorgang. Die ersten historischen Wurfhölzer flogen jedoch noch nicht im Kreis, sondern zielgenau geradeaus. Schon vor mehr als 10 000 Jahren nutzten australische Aborigines und nordamerikanische Ureinwohner die L-förmigen Geräte zur Jagd; auch in Europa, Indien und Ägypten kamen sie zum Einsatz. Unklar ist, ob die zurückkehrende Variante zufällig entdeckt oder gezielt entwickelt wurde und woher die Bezeichnung „Bumerang“ stammt, die erst 200 Jahre alt ist.

Seit den 1930er-Jahren wandelte sich der Bumerang mehr und mehr zum Sportgerät. Heute gibt es neben den bananenförmigen Hölzern auch propellerartige dreiflügelige bzw. kreuzförmige Formen. Die Sport-

bumerangs aus Kunststoff wiegen weniger als 100 Gramm und verzeihen anders als die massiven Holzgeräte kleinere Fehler beim Werfen: Sie kehren zuverlässig zum Abwurfort zurück.

Für den stabilen Flug sind die Rotation des Bumerangs und die Form seiner Flügel entscheidend. Diese sind ähnlich den Tragflächen eines Flugzeugs profiliert, sodass die Luft entlang der gewölbten Oberseite schneller vorbeiströmt als an der flachen Unterseite (**Abb. 1a**). Dadurch entsteht an der Oberseite ein Unterdruck und an der Unterseite ein Überdruck, die gemeinsam zu einem dynamischen Auftrieb führen. Beim Abwurf gilt es, den Bumerang senkrecht zu halten und nur ganz leicht gegen den Wind anzustellen. Dann wirkt die Auftriebskraft nicht nach oben, sondern zur Seite. Weil sich der Bumerang um sich selbst dreht, greifen an den Flügeln zu jedem Zeitpunkt unterschiedliche Auftriebskräfte an. Diese hängen von der resultierenden Geschwindigkeit  $v_{\text{res}}$  eines Flügels ab, die sich aus der momentanen Trans-

lations- und Rotationsgeschwindigkeit ( $v_T$  bzw.  $v_R$ ) ergibt (**Abb. 1b**). Am höchsten Punkt gilt  $v_{\text{res}} = v_T + v_R$ , am tiefsten Punkt  $v_{\text{res}} = v_T - v_R$ . Weil ein vorauseilender Flügel einen größeren Auftrieb erfährt als ein rückläufiger, resultiert ein seitliches Drehmoment auf die Flügelsebene, die gleichzeitig die Rotationsebene ist.

### Im Kreis zurück

Allerdings gibt der Bumerang diesem Drehmoment nicht nach, sondern weicht aufgrund seiner Rotation wie ein Kreisel durch Präzession aus: Statt zu kippen, dreht sich die Rotationsachse, und die Rotationsebene schwenkt auf eine Kreisbahn ein (**Abb. 1c**). Denn die Kraft, die den Bumerang kippt, erzeugt senkrecht zur Rotationsrichtung eine weitere Geschwindigkeitskomponente, welche die Flugrichtung stetig verändert und den Bumerang zum Abwurfort zurückführt. Die Kreisbahn ergibt sich also aus Auftriebskraft und Rotation. Die resultierende Gesamtkraft steht

immer senkrecht zur Flugrichtung  $v_T$  und ist eine Zentripetalkraft. Die Richtung der Kreisbahn hängt von der Wurfhand ab: Mit links geworfen fliegt er im Uhrzeigersinn und umgekehrt. Da die Flügel meist asymmetrisch profiliert sind, gibt es spezielle Links- und Rechtshänderbumerangs.

Neben der kreisförmigen Flugbahn ist auch das Flachlegen des Bumerangs charakteristisch für seine Bewegung. Auch dafür sind die Auftriebskräfte verantwortlich, die nicht nur am höchsten und niedrigsten Punkt des Wurfgeräts verschieden sind, sondern auch an seinem vorderen und hinteren Ende. Hier haben die resultierenden Geschwindigkeiten den gleichen Betrag (**Abb. 1b**), aber der hintere Flügel muss sich durch die turbulente Strömung des vorauseilenden bewegen. Ein Teil der turbulenten Geschwindigkeitskomponente drückt auf den rückläufigen Flügel und wirkt seinem Auftrieb entgegen. Daraus resultiert ein weiteres Drehmoment, das die Rotationsachse aufrichtet bzw. den Bumerang flachlegt.

Wie Ahornsamen segeln manche Bumerangs am Ende ihres Flugs rotierend zu Boden, wenn die Translationsgeschwindigkeit gegen Null geht. Diese Autorotation entsteht, weil an dem nun flachliegenden Bumerang nur noch Auftriebskräfte wirken, die

allein der Rotationsgeschwindigkeit  $v_R$  geschuldet sind: Der Auftrieb ist somit an allen Stellen des Geräts gleich. Obwohl damit der charakteristische Flug des Bumerangs endet, treten auch während der Autorotation interessante Effekte auf. Senkrecht zur Rotationsebene erzeugt die Erdanziehung eine Geschwindigkeitskomponente  $v_s$  nach unten, sodass die resultierende Gesamtgeschwindigkeit  $v_{res}$  schräg nach unten zeigt. Die dazu senkrecht wirkende Auftriebskraft ergibt zusammen mit dem Luftwiderstand eine resultierende Kraft mit einer kleinen Komponente in Drehrichtung. Diese erhöht die Rotationsgeschwindigkeit und führt zu den Pirouetten am Ende.

### Die Form macht's

Damit der Flug gelingt und das Wurfgerät am Ende der Kreisbahn flach in der Luft liegt, braucht der Bumerang zu Anfang genügend Rotation und ausreichende Translationsgeschwindigkeit. Der Radius der Kreisbahn lässt sich damit aber nicht verändern, weil er allein vom Bumerang selbst abhängt. Denn das Profil der Flügel beeinflusst den Auftrieb, aber die Massenverteilung um die Drehachse das Trägheitsmoment: Je höher das Trägheitsmoment ausfällt, desto zuverlässiger rotiert der Bumerang – Messinggewichte oder Münzen an den Flügelenden sorgen dafür, dass der Bumerang weiter fliegt.

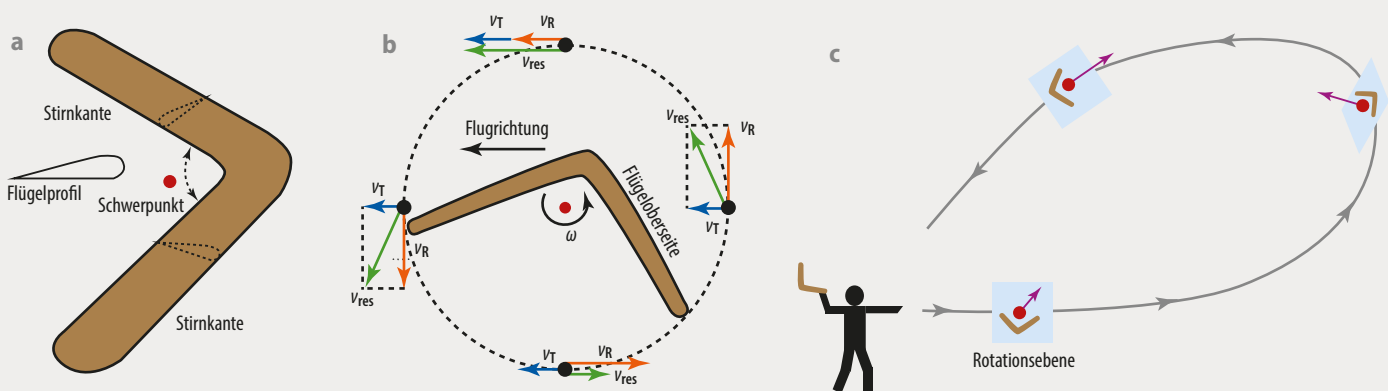
Außerdem entscheidet die Form über den Radius der Kreisbahn. So gilt für einen zweiflügeligen Bumerang ein Winkel von 107 Grad zwischen den Flügeln als optimal. Kleinere Winkel reduzieren den Unterschied zwischen dem Auftrieb an den beiden Flügeln: Das Drehmoment verringert sich, und die Kreisbahn wird größer. Winkel oberhalb des Optimalwerts machen es hingegen immer schwieriger, die Rotation aufrechtzuerhalten. Dreiflügelige Wurfgeräte fliegen aufgrund der Rotationssymmetrie besonders stabil und eignen sich gut für Anfänger. Außerdem befindet sich die Rotationsachse innerhalb des Bumerangs – anders als bei zweiflügeligen Varianten.

Um einen ersten Bumerang selbst zu bauen, braucht es nur zwei Pappstreifen und ein Haushaltsgummi:<sup>1)</sup> die Pappstreifen kreuzförmig übereinanderlegen und mit dem Gummi fixieren – schon kann der Rundflug starten. Dabei ist die Schwerkraft für die Kreisbahn praktisch unerheblich. Experimentell hat das der japanische Astronaut Takao Doi bestätigt: Er warf 2008 einen Bumerang auf der Internationalen Raumstation ISS – und dieser verhielt sich genauso wie auf der Erde.

### Die Autor:innen

**Dr. Denise Müller-Dum** und **Dr. Jens Kube**, awk/jk – Agentur für Wissenschaftskommunikation, awkjk.de

1) [www.physik-im-advent.de/door\\_1.html#door](http://www.physik-im-advent.de/door_1.html#door)



**Abb. 1** Bei einem zweiflügeligen Bumerang beträgt der Öffnungswinkel etwas mehr als hundert Grad (a), sodass der Schwerpunkt (rot) außerhalb des Wurfgeräts liegt. Die Flügel sind profiliert wie die Tragflächen eines Flugzeugs. Wenn der fliegende Bumerang mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  rotiert (b), ergibt sich die für den Auftrieb maßgebliche Geschwindigkeit  $v_{res}$  (grün) aus den Rotations- und Translationsgeschwindigkeiten  $v_R$  (orange) und  $v_T$  (blau). Während des Flugs auf der Kreisbahn (c, grau) verändern die Rotationsebene des Bumerangs und seine Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  (lila Pfeile) ihre Ausrichtung bezüglich der Translationsgeschwindigkeit.