

EINE DYNAMISCHE ANALYSE DES AUSSTOßENS BEI DER LANDUNG Lass deine Masse arbeiten

Eine Übersetzung des Artikels:

A DYNAMIC ANALYSIS OF A LANDING FLARE

Putting your mass to work

(This article appeared in Hang Gliding Magazine - August 1990)

© 1990 Richard Cobb

durch Robert Melzer mit freundlicher Genehmigung von Richard Cobb. Anmerkungen von mir zum besseren Verständnis sind in eckigen Klammern.



Schon seitdem ich einige Entdeckungen gemacht habe, wie man ein gutes Ausstoßen bei der Landung hin bekommt, die ich dem Verleger in einem Brief mitgeteilt habe (August 1989), fasziniert mich dieses Thema. In diesem Brief empfahl ich, sich vorzustellen, „das Kielrohr [mit den Fersen] zu kicken“, statt die übliche Anweisung „ausstoßen“, um abzufangen. Damals erläuterte ich, das es effektiver ist, den Körperschwerpunkt zum hinteren Ende des Drachens zu bewegen. Das bewirkt auf jeden Fall einen Strömungsabriss, aber nicht unbedingt unbedingt ein Ausstoßen. Ein wichtiger Faktor ist die Geschwindigkeit, mit der dein Gewicht verschoben wird. Wir werden auch gleich herausfinden, dass es auch

wichtig ist, wie man es verschiebt.

Der Schlüssel zum Verständnis des Abfangprozesses sind Kenntnisse der Dynamik von Festkörpern. Dynamik ist das Studium von Kräften, die auf Massen wirken und die daraus resultierend Beschleunigung, Impuls und Energie. Wir werden ganz kurz einige grundlegende Prinzipien besprechen, die auf das Abfangen beim Landen angewendet werden können, und sie dann nutzen, um ein Verständnis zu erlangen, wie wir unsere Masse am besten einsetzen. Aber zuerst schauen wir uns einige Beispiellandungen an.

'TUBES' UND 'ACE'

In der Tradition von Erik Fairs „Right stuff“ werden wir zwei Piloten beim Landen beobachten. Der erste Pilot ist Tubes. Man kann sich vorstellen, woher er seinen Namen hat (es ist nicht sein Lieblingsname – er hat ihn von anderen Piloten bekommen). Seine Landungen sind so schlecht, dass er neulich Flügelmuttern an seine Seitenrohre gemacht hat, damit er sie leicht (und häufig) auswechseln kann. (Ich kannte mal einen echten Tubes. Der Höhepunkt seiner Demütigung muss der Tag gewesen sein, an dem einige Pilotenkollegen am Landeplatz auf ihn warteten. Als er in den Endanflug drehte, rannten sie Rasierschaum sprühend vor ihm her und riefen „Schäumt die Landebahn!“) Sein Gegenstück, der es richtig macht, ist Ace, und das bei fast jeder Landung. Wie man sich vorstellen kann, mag Ace seinen Namen. Wir wissen alle, dass Landen einige sehr unterschiedliche Fähigkeiten erfordert wie gute Landeinteilung, wissen wann man ausstößt und **wie** man ausstößt. Über Landeinteilungen ist schon viel geschrieben worden. Ich denke, Greg DeWolf hat

bereits das Endgültige über den Zeitpunkt des Ausstoßens geschrieben („Returning to Earth“, Juli und August 1986). Da wir uns in diesem Artikel auf das Ausstoßen selbst konzentrieren wollen, nehmen wir an, dass Tubes und Ace gleich gut die Landeinteilung und das Timing fürs Ausstoßen beherrschen.

Wir beginnen, indem wir Tubes beobachten, der aufgerichtet im Endanflug ist. Während der Boden näherkommt, können wir in seinem Gesicht die Angst vor dem bevorstehenden Aufschlag erkennen. In einem Versuch, den Schaden zu begrenzen, hat er die Beine bereits nach vorne gestreckt. Seine Hände sind direkt vor ihm an den Seitenrohren auf Schulterhöhe. Im entscheidenden Moment drückt er die Seitenrohre nach vorne. Die Drachennase geht leicht hoch, und dann scheint der ganze Drache nach vorne zu kommen. Die Nase fängt an, nach unten zu fallen und ... gut, wir wissen, was passieren wird. Wir werden Tubes die Demütigung ersparen, den Ausgang zu beobachten.

Stattdessen wenden wir uns Ace zu, der ihm unmittelbar folgt. Ace ist aufgerichtet, aber leicht nach vorne geneigt und seine Beine sind hinter ihm. Seine Hände sind auf oder leicht über Schulterhöhe. Wenn es für ihn Zeit zum Ausstoßen ist, drückt er *nach oben* an den Seitenrohren, obwohl er es selbst nicht so betrachtet. Er stellt sich vor, die Beine, die sowieso schon hinter ihm sind, so weit wie möglich nach hinten an den Kiel zu bringen. Die Drachennase kommt knackig hoch und zu einem sofortigen Halt, wodurch Ace nach vorne in eine aufrechte Position schwingt. Während Ace bei seiner stehenden Landung sanft auf den Füßen absetzt, ist Tubes schon (wieder mal) dabei, die Flügelmuttern zu lösen.

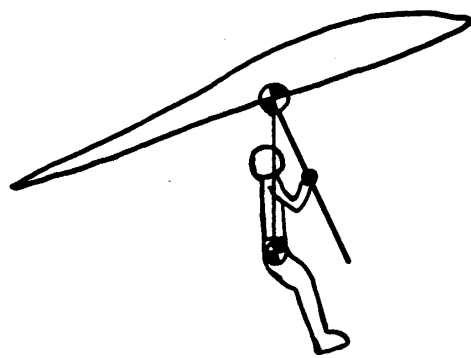
EIN WENIG GRUNDLAGENPHYSIK

Hier erhalten wir die Auswertung. Hör nicht auf. Ich wollte zuerst ein paar Formeln und Zahlen hier einfügen, aber dann bemerkte ich, dass sie wirklich nicht benötigt werden. Wir wollen uns nicht ernsthaft darum kümmern, wie viele Newtonsekunden an Impuls wir haben – wir wollen nur wissen, wie wir sie landen. Die meisten Analysen beginnen mit 'Freikörperdiagrammen' (die nichts mit der sexuellen Revolution zu tun haben), in denen ein Körper isoliert und (gewöhnlich) nur durch sein Massezentrum (oder Schwerpunkt, der 'cg') dargestellt wird. Kräfte und Momente können durch *Vektoren* dargestellt werden. Wir können diese Vektoren ebenso benutzen, um Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Impuls des Körpers darzustellen (Vektoren sind diese Pfeile, die du wahrscheinlich schon oft gesehen hast – sie zeigen sowohl Richtung als auch Stärke einer Größe an, wobei die Stärke durch die Länge repräsentiert wird).

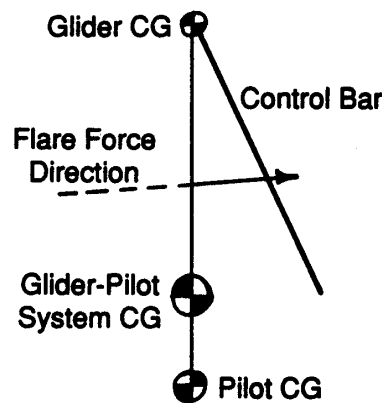
Eines der wichtigsten Prinzipien für die aktuelle Diskussion ist der *Impulserhaltungssatz*. Um es durch ein Beispiel zu veranschaulichen, beginnen wir mit einem Explosivkörper (wie TNT, nicht sexy), der sich durch ein Vakuum in einer geraden Linie ohne Rotation bewegt. Weil es keine äußeren Kräfte gibt, gibt es auch keine Beschleunigung und er bewegt sich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit. *Linearer Impuls* ist einfach nur die Masse eines Objekts multipliziert mit der Geschwindigkeit und wird normalerweise am Schwerpunkt beschrieben. *Winkelimpuls* ist das 'Massenträgheitsmoment', (eine Entsprechung zum Impuls für Drehbewegungen) multipliziert mit der Drehzahl. Da keine Rotation stattfindet, ist der Winkelimpuls Null. Jetzt explodiert der Körper, und Bruchstücke fliegen in alle Richtungen davon. *Berücksichtigen wir, dass keine äußeren Kräfte beteiligt waren*. Wenn wir den gemeinsamen Schwerpunkt der Bruchstücke ermitteln müssten, würden wir feststellen, *dass er derselbe ist wie vor der Explosion*. Wenn wir uns die einzelnen Bruchstücke ansehen würden, würden sie sich vielleicht wie verrückt drehen und vom Zentrum in verschiedenen Richtungen mit verschiedenen Geschwindigkeiten davonfliegen, aber wenn wir vektoriell all die individuellen linearen und Winkelimpulse aufaddieren würden, wäre der resultierende lineare Impuls gleich wie vor der Explosion und der resultierende Winkelimpuls immer noch Null. Das ist es, was wir mit Impulserhaltung meinen. (Verwechsle bitte nicht Impuls mit Energie – während sich der Impuls durch die Explosion nicht verändert hat, ist die kinetische Energie deutlich gestiegen).

Viele dynamische Analysen würden sehr kompliziert werden, wenn man jede Kleinigkeit dabei berücksichtigen würde, die passiert. Aber wir können häufig ein ausreichendes Verständnis erlangen, wenn wir bestimmte Aspekte vereinfachen und andere weglassen, die keinen Einfluss auf das haben, was uns interessiert. Natürlich ist die Gefahr dabei, dass man so weit vereinfacht, dass das Ergebnis bedeutungslos ist. Da gibt es den Witz von dem wichtigen Konstruktions- und Entwicklungsprojekt mit dem Ziel, eine automatische Schafschermaschine zu bauen. Die Studenten wurden in konkurrierende Teams aufgeteilt, die natürlich ihre Ideen für sich behielten. Nur eins der Teams schien überhaupt Ideen für die Umsetzung zu haben und sie schienen gute Fortschritte zu machen. Keins der anderen Teams hatte eine Idee, also waren sie sehr neugierig. Als der Tag der sehnsüchtig erwarteten Enthüllung kam, startete das Team mit seinen Vorbedingungen. Die erste war: ein kugelförmiges Schaf.

Vorsichtig, um nicht den gleichen Fehler zu machen, engen wir trotzdem unsere Analyse auf ein begrenztes und spezifisches Gebiet ein: *Herauszufinden, wie man die eigene Körpermasse gegen die Masse des Drachens nutzt, um am wirkungsvollsten eine plötzliche Rotation der Drachennase nach oben zu erzielen.* Da wir nur betrachten, wie die Massen des Drachens und des Piloten interagieren, brauchen wir Gewicht und aerodynamische Kräfte nicht zu berücksichtigen (sie spielen bis hin zum Ausstoßen eine wichtige Rolle, aber nicht dabei, wie wir unsere Masse nutzen, um die Nase nach oben zu kriegen). Also setzen wir unseren Drachen ins Weltall, wo er sich mit konstanter Geschwindigkeit und konstantem linearem Impuls bewegt. Natürlich hat der Pilot Sauerstoff und ist hoch genug, um außerhalb der Zuständigkeit der Luftaufsichtsbehörde zu sein.



TUBES



Tubes Model

Wir brauchen Gewicht und aerodynamische Kräfte nicht zu berücksichtigen (sie spielen bis hin zum Ausstoßen eine wichtige Rolle, aber nicht dabei, wie wir unsere Masse nutzen, um die Nase nach oben zu kriegen). Also setzen wir unseren Drachen ins Weltall, wo er sich mit konstanter Geschwindigkeit und konstantem linearem Impuls bewegt. Natürlich hat der Pilot Sauerstoff und ist hoch genug, um außerhalb der Zuständigkeit der Luftaufsichtsbehörde zu sein.

Einige weitere Annahmen sollen gelten: Der Schwerpunkt des Drachens liegt im Kiel am Aufhängepunkt; der Schwerpunkt des Piloten liegt bei seinen Hüften; die Aufhängung ist eine starre Verbindung (solange sie unter Spannung ist, ist das eine gute Annahme); sowohl Drachen als auch Pilot sind (dynamisch betrachtet) Festkörper; und die Ebene der Seitenrohre geht durch den Drachenschwerpunkt und den Aufhängepunkt.

Diese Voraussetzungen gelten für den Versuchsaufbau beider Piloten und der dazugehörigen Modelle. Die Modelle zeigen nur die Massepunkte (oder Schwerpunkte, oder cg) von Pilot und Drachen. Unsere Versuchsaufbauten zeigen den Moment unmittelbar vor dem Ausstoßen. Der gesamte Winkelimpuls des Pilot-Drachen-Systems besteht aus der Summe von drei einzelnen Werten: Drehung des Piloten um seinen Schwerpunkt, Drehung des Drachens um seinen Schwerpunkt und Drehung des Gesamtsystems um den gemeinsamen Schwerpunkt. Der gemeinsame Schwerpunkt wird sich während des gesamten Ausstoßens mit gleicher Geschwindigkeit fortbewegen (denken wir daran, dass keine äußeren Kräfte wie Gewicht, Auftrieb, Widerstand usw. einwirken, da wir ja im Weltraum sind). Für diese Analyse können wir den gemeinsamen Schwerpunkt des Systems als Fixpunkt betrachten (eine Geschwindigkeit von konstant Null ist so gut wie jede andere). Vor dem Ausstoßen haben weder der Pilot, der Drachen noch das Gesamtsystem eine Winkelgeschwindigkeit; deshalb ist der Winkelimpuls Null. Während des Ausstoßens *bleibt der Gesamtwinkelimpuls Null*. Die einzelnen Werte können nicht Null sein, aber sie haben positive und negative Vorzeichen und summieren sich zu jeder beliebigen Zeit zu Null auf. (Denken wir an den Explosivkörper – während der Explosion – oder des Ausstoßens – erhöhen wir die Energie des Systems, aber der Impuls des Systems wird nicht verändert, wenn keine äußeren Kräfte einwirken).

TUBES ERHÄLT EINE LEKTION IN PHYSIK

Fangen wir mit Tubes an. Wir sehen, dass er die Ausstoßkraft genau nach vorne anwendet. Die Kraft, die er anwendet, wirkt nicht durch seinen Schwerpunkt. Wenn wir zuerst den Drachen beobachten, so stellen wir fest, dass die unterhalb des Drachenschwerpunkts angreifende Kraft eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn erzeugt. Genau die gleiche Kraft wirkt in der Gegenrichtung auf Tubes. Weil sie oberhalb seines Schwerpunkts angreift, dreht es ihn auch gegen den Uhrzeigersinn um seinen Schwerpunkt. Oh! Zwei unserer drei Winkelimpulse sind gegen den Uhrzeigersinn, deshalb muss der dritte Wert im Uhrzeigersinn sein, damit sie sich zu Null aufsummieren. Und dieser dritte Wert ist: Drehung der Schwerpunkte von Pilot und Drachen im Uhrzeigersinn um den gemeinsamen Schwerpunkt, was den Drachen vor den Piloten bringt. Natürlich gäbe es beim Flug in der Luft noch einige Dinge, die diese Drehung verringern: der höhere aerodynamische Widerstand der hochstehende Nase würde den Drachen relativ zum Pilot bremsen. Ebenso würden der Auftrieb und das Gewicht des Piloten, die sich gegenüberstehen, ein erhaltendes Moment erzeugen. Trotzdem sehen wir, dass Tubes eine Menge seiner Energie dazu verwendet, den Drachen vor sich