

## 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 Landeeinteilung, wissen wann man ausstößt und **wie** man ausstößt. Über Landeeinteilungen 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 Landeeinteilung 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.

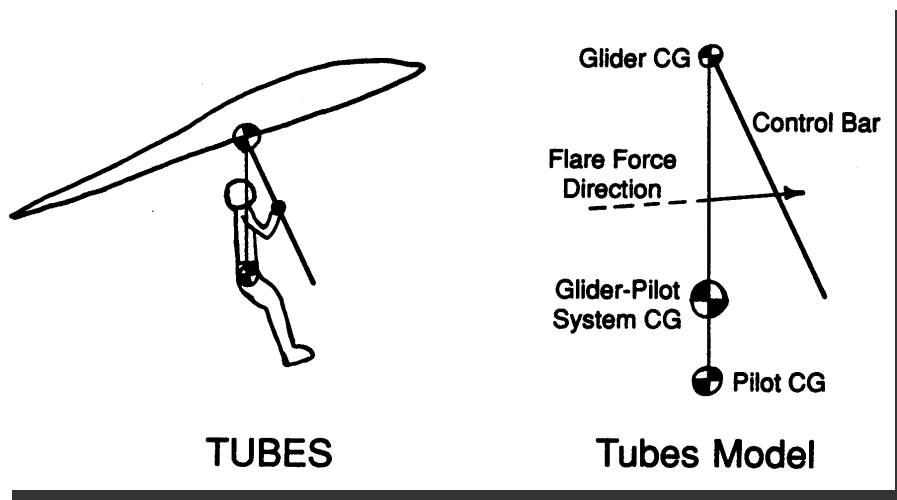
### **EIN WENIG GRUNDLAGENPHYSIK**

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 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. (Verwechsele 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 kugelformiges 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. 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

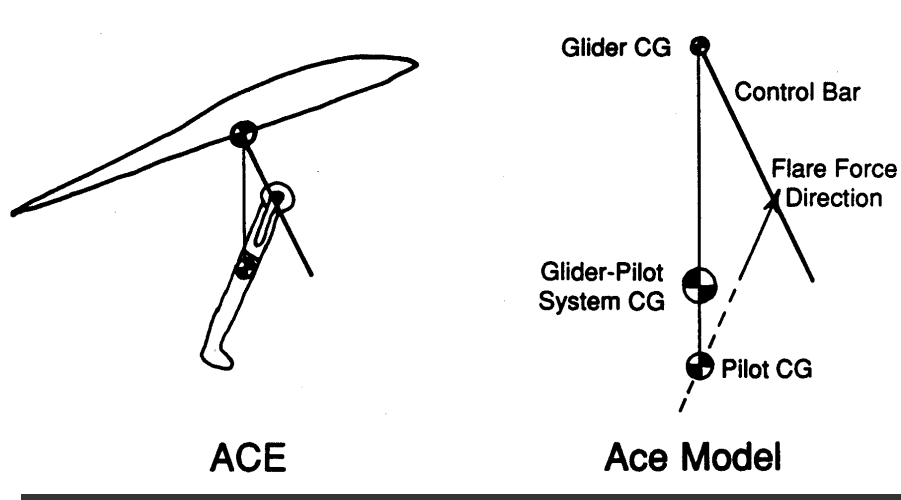
Fangen wir mit Tubes an. Wir sehen, dass er die Ausstoßkraft genau nach vorne anwendet. Die Kraft, die er anwendet, wirkt nicht durch seinen Schwerpunkt. Wenn wir zuerst den Drachen beobachten, so stellen wir fest, dass die unterhalb des Drachenschwerpunkts angreifende Kraft eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn 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

zu bringen.

Schauen wir uns noch ein paar andere Merkmale von Tubes Landung an, die unerwünscht sind. Die Wirklinie der Kraft beim Ausstoßen ist näher beim Drachenschwerpunkt als beim Schwerpunkt von Tubes. Nach einigen überschlägigen Berechnungen schätzte ich, dass die Massenträgheiten von Drachen und Pilot um ihren jeweiligen Schwerpunkt nicht zu sehr voneinander abweichen; also nehmen wir für diese Veranschaulichung an, dass sie gleich sind. Winkelbeschleunigung wird durch ein Drehmoment erzeugt, wobei die Stärke des Drehmoments die Stärke der Kraft multipliziert mit dem Länge des Hebelarms zum Schwerpunkt ist. Das bedeutet, dass auf Tubes ein höheres Drehmoment wirkt als auf den Drachen, und deshalb *wird sich Tubes schneller drehen als der Drachen*. Das führt uns zu einem weiteren Punkt: weil sich Tubes nach hinten lehnt, hat er seine Arme bereits teilweise gestreckt. Seine Reichweite zum Anwenden einer Kraft beim Ausstoßen ist schon begrenzt. Ihm verbleibt nur noch ein Teil zum Strecken und noch dazu dreht es ihn, wenn er seine Kraft anwendet. Wenn man an einem System Arbeit leistet, erhöht man seine Energie – Tubes bringt aber kein 'energetisches' Ausstoßen zustande. Wir könnten auch noch auf den Punkt hinweisen, dass seine Arme und Beine vor ihm sind und deshalb sein Schwerpunkt nicht genau bei den Hüften liegt (wie es in der obigen Zeichnung zu sehen ist), sondern ein wenig davor. Das bedeutet, dass er an den Seitenrohren *ziehen* muss, um aufrecht zu bleiben. Das trägt auch nicht dazu bei, richtig auszustoßen. Armer Tubes. Wir haben lange genug auf ihm herumgehackt. Schauen wir uns jetzt Aces' Ausstoßen an.

### ACEPHYSIK

Wir sehen am Modell, dass die Wirklinie von Aces' Ausstoßkraft *durch* seinen Schwerpunkt geht und deshalb keine Drehung um seinen Schwerpunkt erzeugt. Er kann seine gesamte Masse dazu nutzen, Kraft zu erzeugen. Daher wird Ace bei gegebener Armreichweite viel mehr Kraft ausüben, als es Tubes möglich ist (Beachte, dass er statt einer Vorwärtsbewegung wie bei Tubes eine „nach oben über den Kopf“-Bewegung ausführt). Weil er mit den Händen neben den Schultern die Bewegung beginnt statt teilweise ausgestreckt hat Ace viel mehr Reichweite, in der er seine ganze Kraft einsetzen kann. Ace kann leicht viel mehr Arbeit (Energie) in sein Ausstoßen legen, ohne sich auch nur annähernd so sehr zu anzuangestrengen wie Tubes. Ein gutes Beispiel für ein Ace-Ausstoßen ist auf der Titelseite der Zeitschrift vom Dezember '89 (Hang Gliding Magazine ) zu sehen. Beachte, dass die Beine des Piloten in einer Linie mit dem Körper sind und die Arme noch nicht ganz gestreckt, obwohl der Kiel schon senkrecht ist.



Dadurch, dass bei Ace die Wirklinie der Kraft durch seinen Schwerpunkt geht, verursacht Ace eine Drehung seines Körpers im Uhrzeigersinn um den Aufhängepunkt. Obwohl das Trägheitsmoment des Piloten um seinen Schwerpunkt etwa gleich groß ist wie das seines Drachens um seinen Schwerpunkt, *ist sein Trägheitsmoment um irgendeinen anderen Punkt größer*. Wenn wir Ace und sein Gurtzeug als einen Festkörper betrachten

würden, der um den Aufhängepunkt schwingt, (was sie genau genommen nicht sind, aber wir belassen es dabei), würde sich ein Trägheitsmoment ergeben, das zehnfach höher ist als das seines Drachens. Das bedeutet, dass der Drache den weitaus größeren Teil der Drehung erledigt, was sehr wünschenswert ist.

Schauen wir uns die Winkelimpulserhaltung an. Der Drache hat einen Winkelimpuls gegen den Uhrzeigersinn. Wir können sehen, dass der Winkelimpuls des Piloten in diesem Fall im Uhrzeigersinn ist und deshalb gegen den Impuls des Drachens wirkt statt ihn zu verstärken wie in Tubes' Fall. Die dritte Größe wird

nach wie vor der Drehimpuls im Uhrzeigersinn des Gesamtsystems um seinen Schwerpunkt sein, aber mit geringer Stärke. Zusätzlich wird der große Anstellwinkel der Nase in der Atmosphäre den Effekt schnell zunichte machen.

### WIE FUNKTIONIERT ES

Ob du das alles weiter oben verstanden hast oder nicht, solltest du jetzt in der Lage sein, einige Schlüsse zu ziehen, die du bei deinem Ausstoßen anwenden kannst:

- Direkt vor dem Ausstoßen sollte den Körper leicht nach vorne geneigt sein, die Beine leicht hinter dir.
- Die Hände sollten bei den Schultern oder etwas höher sein.
- Das Ausstoßen sollte über den Kopf erfolgen, nicht nach vorne. Wenn du beginnst, auszustoßen, sollte dein Rücken durchgedrückt sein. Stell dir eine Linie vor, die durch deine Beine und deinen Körper geht. Deine Hände sollten sich parallel zu dieser Linie bewegen. (Du kannst dir auch vorstellen, eine Hantel zu stemmen, statt Bankdrücken zu machen).

Ich halte es immer noch für das Beste, sich an all das zu erinnern, indem ich mir einfach im Sinn vorstelle, „mit den Fersen den Kiel zu kicken“. Wenn wir versuchen, mit den Füßen das Kielende zu berühren, sind wir bereits in leichter Vorlage mit den Händen weit oben an den Seitenrohren. Dann werden wir automatisch nach oben ausstoßen und unser Körper wird um den Aufhängepunkt nach hinten schwingen.

### NOTFALLPROZEDUREN

Zwei Situationen können trotzdem noch auftreten: du stößt zu früh oder zu spät aus (oder du hast alles vergessen und kehrst zum Tubes-Verfahren zurück).

Zu früh ausstoßen: Du hast energisch ausgestoßen, es war nur zu früh. Die Drachennase zeigt zum Himmel und deine Füße sind ziemlich weit vom Boden weg. Wie ich weiter oben erwähnte, stell dir dich an den Kiel gefesselt und noch im Gurtzeug vor, und die Drachennase zeigt gerade nach oben. Dein Schwerpunkt wird nahe der Flügelhinterkante sein. Solange er dort bleibt, wird es für den Drachen sehr schwer sein, nach vorne zu kippen. Wenn du merkst, dass du gerade ein startendes Space Shuttle nachmachst, ist es dein Ziel, den Körper so nah wie möglich ans Kielrohr zu drücken und dort zu halten. DAS BEDEUTET, DIE BEINE SOWEIT WIE MÖGLICH NACH HINTEN ZU BRINGEN! Vorausgesetzt, du lässt nicht nach, wirst du gerade auf deinen Füßen landen. Aber wenn du auch nur daran denkst, die Füße nach vorne kommen zu lassen, wird

Alcoas Aktie [ein Aluminium-Hersteller] ein paar Punkte nach oben springen.



Zu spät oder zu nachlässig ausstoßen: OK, du hast also alles vergessen, was wir gerade gelernt haben. Du hattest *beinahe* ein gutes Ausstoßen, aber deine Arme sind bereits voll gestreckt und es gibt nichts, was du tun kannst, wenn die Nase nach vorne abkippt. Oder doch? Wenn deine Beine nicht so weit wie möglich hinten sind, hast du noch eine Chance. Wir verwerfen unser Modell vom Piloten als Festkörper und schaffen ein neues Modell, das den Piloten in zwei Teile

zerlegt, die an der Hüfte drehbar verbunden sind. Jetzt wirf deine Beine schnell nach hinten, so dass sie um die Hüfte schwingen. Du hast damit ein größeres Winkelmoment im Uhrzeigersinn durch deine Beine erzeugt. Die Reaktion ist eine Verstärkung des Winkelmoments des Drachens gegen den Uhrzeigersinn. Wenn du nicht fürchterlich spät oder schwach warst, könnte das gerade reichen.

Abschließend möchte ich sagen, das das weit entfernt von einer „gründlichen“ Analyse ist. Manche von euch mit ingenieurtechnischem oder ähnlichem Hintergrund mögen bei einigen Aussagen, die ich gemacht habe, die Stirn runzeln. Ich gebe zu, dass ich bei einem oder zwei Punkten zu sehr vereinfacht habe und hier und da eine Vorbedingung ausgelassen habe. Aber ich denke, dass die Intention der 'Analyse' keine grundsätzlichen Prinzipien verletzt und im Umfang ausreichend ist, um Piloten zu helfen, ihr Ausstoßen zu verbessern.

**ÜBER DEN AUTOR:** *Richard Cobb begann mit dem Drachenfliegen 1981 und ist gegenwärtig ein Advanced Rated Pilot [zweithöchste Stufe in USA] und Beobachter/Unterweiser. Er vervollständigte seinen Doktor der Physik in Maschinenbau an der Virginia Tech und führt gegenwärtig die Wind Drifter Hang Gliding School in State College, Pennsylvania. Zusätzlich zu seiner Schule arbeitet er noch als Teilzeit-Ingenieur und Berater.*

**POSTSCRIPT:** In den Jahren, seit ich dies geschrieben habe, habe ich mit einigen Piloten gesprochen, die dachten, der Ansatz, zu versuchen, „den Kiel zu kicken“ wäre unsicher, weil man in einem kritischen Moment die Füße nicht unter dem Körper hat. Ich merke, dass ich mich in dem Originalartikel klarer hätte ausdrücken müssen. „Den Kiel kicken“ ist nur eine mentale Vorstellung, um eine korrekte Position und Bewegung zu erzielen. Das Trägheitsmoment des Drachens ist sehr klein verglichen mit der Bewegung der Gesamtmasse des Piloten in einem Bogen um den Aufhängepunkt – der Drache wird den größten Teil der Bewegung machen, nicht der Pilot.

Bevor ich diesen Artikel geschrieben habe, hatte ich einige Zeit am Übungshang verbracht, um diese Technik zu verbessern. Der erste Drache, den ich probierte, war der alte Nasensporndrache Mosquito, ein notorisch kopflastiger Drache, mit dem ich viele Schwierigkeiten hatte, eine gute Landung hinzubekommen. Ich hatte aus Sicherheitsgründen Räder montiert und entschied, einfach die Beine nach hinten zu werfen wie oben beschrieben. Das Ausstoßen war so kräftig, dass ich eine Zweipunktlandung machte - der Kiel und mein Hintern. Meine Beine wurden von der unerwarteten (und unvertrauten) Bremskraft nach vorne geschleudert, die ich mit diesem Ausstoßen erzeugt hatte.

Der einzige Weg, wie du deine Beine nach hinten werfen kannst, um „den Kiel zu kicken“, ist, indem du dich an etwas mit den Händen abstützt – dieses Etwas sind die Seitenrohre. Aber die Seitenrohre können dieser Kraft nicht widerstehen, die nötig ist, um deine Beine nach hinten zu werfen – und es endet damit, dass die Nase scharf nach oben steigt, genau wie du es die ganze Zeit schon haben wolltest. Du musst nur *glauben* ...