

Papierflieger

**Wie bastle ich den perfekten Papierflieger,
je nach Situation und Anforderung?**

Vorwissenschaftliche Arbeit verfasst von

Leonhard Alton

Klasse: itm⁸

Betreuer: Wolfgang Mähr

6. 1. 2015

BRG/BORG Schoren

6850 Dornbirn, Höchsterstraße 32

Abstract

Diese vorwissenschaftliche Arbeit behandelt Papierflieger. In einem theoretischen Teil werden Regeln aufgestellt, wie ein guter Flieger zu bauen ist und wie er sich zu verhalten hat. Es wird behandelt welche Eigenschaften er haben muss um unter speziellen Bedingungen oder bei individuellen Anforderungen optimal zu funktionieren. Es wird mit Hilfe von Grafiken beschrieben, welche Grundeigenschaften jeder Papierflieger hat und wie diese beeinflusst werden können.

Im empirischen Teil werden viele verschiedene Modelle, Wurfmethoden und Hilfsmittel herangezogen, um die im theoretischen Teil aufgestellten Behauptungen zu überprüfen, beziehungsweise diese zu nutzen um den perfekten Papierflieger zu basteln.

Bei der Auswertung der Ergebnisse werden die unterschiedlichen Versuchsreihen verglichen und die Tauglichkeit der Papierflieger in unterschiedlichen Szenarien bewertet.

Zu dem beinhaltet diese Arbeit einen Geschichtlichen Teil in dem erläutert wird, seit wann und warum es Papierflieger gibt.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1 Einleitung..... | 4 |
| 2 Theorie..... | 5 |
| 2.1 Der Unterschied zwischen Gleitern und Werfern..... | 5 |
| 2.2 Gleichgewicht..... | 5 |
| 2.3 Koordinatensystem..... | 6 |
| 2.4 Nickstabilität und Schwerpunkt..... | 7 |
| 2.5 Geschwindigkeit im Gleitflug..... | 8 |
| 2.6 Gierstabilität..... | 8 |
| 2.7 Rollstabilität..... | 9 |
| 2.8 Wurftechnik für den Langsamen Flug (Gleiter)..... | 10 |
| 2.9 Parabelwurf (Werfer)..... | 11 |
| 2.10 Hochstart..... | 11 |
| 2.11 Draußen Fliegen..... | 12 |
| 2.12 Papier..... | 13 |
| 2.13 Aerobatik..... | 14 |
| 3 Geschichte..... | 15 |
| 4 Versuche..... | 20 |
| 4.1 Adler..... | 20 |
| 4.2 Hubschrauber..... | 22 |
| 4.3 Albatros..... | 23 |
| 4.4 McDonnell A4..... | 24 |
| 4.5 Basic Dart..... | 25 |
| 4.6 World Record Paper Airplane..... | 28 |
| 4.7 Interceptor..... | 30 |
| 4.8 F-22 Raptor..... | 31 |
| 4.9 Eagle..... | 32 |
| 4.10 Rocket..... | 33 |
| 4.11 Phantom..... | 34 |
| 4.12 Basic Dart (im Größen Vergleich)..... | 35 |
| 4.13 Stuntplane/Basic Square Plane..... | 37 |
| 4.14 McDonnell A4 (Aerobatik)..... | 39 |
| 4.15 Modell 1..... | 40 |
| 5 Ergebnis..... | 42 |
| 5.1 Flugdauer..... | 43 |
| 5.2 Reichweite..... | 43 |
| 5.3 Kompromiss..... | 44 |
| 6 Anhan (Agnleitungen)..... | 45 |
| Literaturverzeichnis..... | 47 |
| Printmedien..... | 47 |
| Abbildungsverzeichnis..... | 48 |

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit Papierfliegern. Die Forschungsfrage lautet: **„Wie bastle ich den perfekten Papierflieger, je nach Situation und Anforderung?“**

Im Großen und Ganzen ist die Arbeit in einen theoretischen und in einen praktischen Teil aufgespalten. Im ersten, dem theoretischen, Teil wird behandelt, wie sich ein Papierflieger verhält: wie er sich verhalten sollte, warum er sich so verhält und wie er dazu zu bringen ist sich entsprechend anders zu verhalten. Des Weiteren wird hier festgelegt, was für verschiedene Funktionstypen es gibt und welche Eigenschaften diese haben oder haben sollten. Zudem wird im theoretischen Teil darauf eingegangen, wo ein Papierflieger aufhört und wo ein Modellflugzeug anfängt. Ganz am Anfang werden auch noch Mittel und Termini geklärt, welche zur Beschreibung eines Papierfliegers üblich sind.

Darauf aufbauend besteht der zweite Teil, der praktische, aus Experimenten verschiedenster Art, welche dazu dienen auf empirische Weise, die im theoretischen Teil erarbeiten Thesen zu überprüfen und anzuwenden.

Der Forschungsfrage entsprechend sollten sich bei diesen Experimenten einzelne Modelle herauskristallisieren, welche in einem Bereich wie Weitflug oder langer Flugdauer besonders gut abschneiden. Oder aber es werden neu komponierte Modelle, durch Modifikation von klassischen Modellen entstehen.

In der Geschichte der Fliegerei spielen Papierflugzeuge und Modellflugzeuge eine große Rolle, da diese verwendet wurden, um empirische Werte für Überlegungen auf einfache und kostengünstige Weise zu erlangen. Die ersten Papierflieger wurden daher von Naturwissenschaftlern gebaut, die sich mit dem Fliegen beschäftigten. Der hier am wichtigsten zu Erwähnende ist Leonardo da Vinci, auf ihn wird im Rahmen dieser Arbeit noch eingegangen.

2 Theorie

2.1 Der Unterschied zwischen Gleitern und Werfern

Ein **Gleiter** ist der klassische Papierflieger. Er nutzt die Luft und die Schwerkraft, um sich vorwärts zu bewegen. Der Gleiter ist leicht nach vorne gekippt. Durch Kräftezerlegung wird ersichtlich, dass es die Schwerkraft (F_g) ist, welche den Gleiter nach vorne beschleunigt, wobei sie in eine Normalkraft

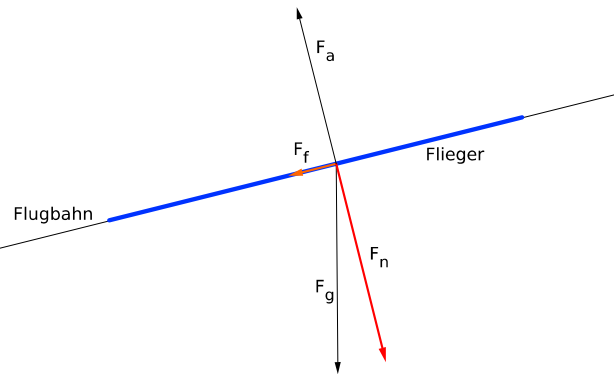


Abbildung 1: Kräftezerlegung

(F_n) und eine nach vorne wirkende Kraft (F_f) zerlegt wird. Die Normalkraft wird von der Auflagekraft (F_a), auf der Luft, beinahe aufgehoben, wodurch fast ausschließlich die nach vorne wirkende Kraft sichtbar wird.

Der **Werfer** verhält sich wie ein ballistisches Projektil und nutzt die Luft nicht aus, er wird nur von ihr gebremst. Ohne Luft würde der Werfer immer einer Parabelbahn folgen, er wird einzig und allein von seiner eigenen Trägheit angetrieben. Mit solchen Modellen lassen sich besonders weite „Flüge“ bewerkstelligen.

2.2 Gleichgewicht

Es gibt drei verschiedene Arten von Stabilität: labil, indifferent und stabil. Bei einem labilen Gleichgewicht genügt ein winziger Anreiz, um es komplett zu zerstören. Wenn also ein Ball auf einem Hügel liegt und er angestoßen wird, rollt er einfach davon, er wird weder stehen bleiben noch zurück kommen. Beim indifferenten Gleichgewicht

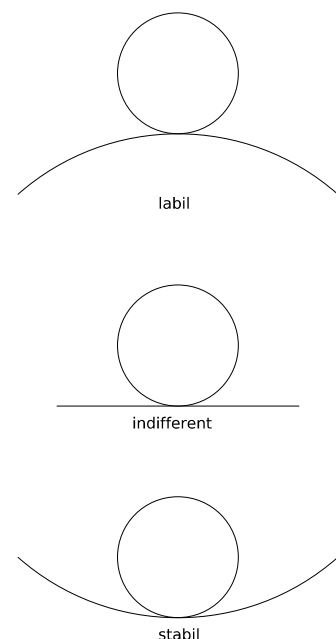


Abbildung 2: verschiedene Gleichgewichtsmodelle

verursacht ein kleiner Anreiz zwar, dass das Gleichgewicht gestört wird, aber es fängt sich wieder. Wie bei einem Ball auf dem Boden einer Halle, wenn er angestoßen wird rollt er zwar, aber er kommt auch, an einer anderen Stelle, wieder zum Stehen. Beim stabilen Gleichgewicht kehrt ein Körper immer wieder in die ursprüngliche Position zurück nachdem er angeregt wurde, wie bei einem Ball der in einem Graben liegt. Wird er angestoßen bewegt er sich zwar, aber die Schwerkraft wird ihn immer wieder an seinen Ausgangspunkt, also den niedrigsten Punkt des Grabens, zurück bringen. (vgl. Krone, Papierfliegerei, S. 18)

Ein guter Papierflieger muss ein stabiles Gleichgewicht haben um nach dem Abwerfen seine Flugbahn zu finden.

2.3 Koordinatensystem

Zur Beschreibung eines Flugzeugs oder eines Papierfliegers wird ein Koordinatensystem benötigt, üblicherweise wird ein kartesisches Koordinatensystem verwendet, welches wie folgt aufgebaut ist: Der Mittelpunkt ist der Schwerpunkt. Als erste Achse gibt es die **Querachse**, welche die beiden Flügelspitzen mit einander verbindet, um diese kann der Flieger **nicken**. Die **Längsachse** verbindet die Nase mit dem Heck, um diese kann ein Flieger **rollen**. Im Kunstflug gibt es sogenannte „Barrel Rolls“ wobei sich ein Flugzeug um 360° entlang der Längsachse dreht. Als dritte gibt es die **Hochachse**, sie geht von oben nach unten. Um diese Achse kann ein Papierflieger lenken, was in der Fachsprache **gieren** genannt wird. (vgl. ebd. S. 19)

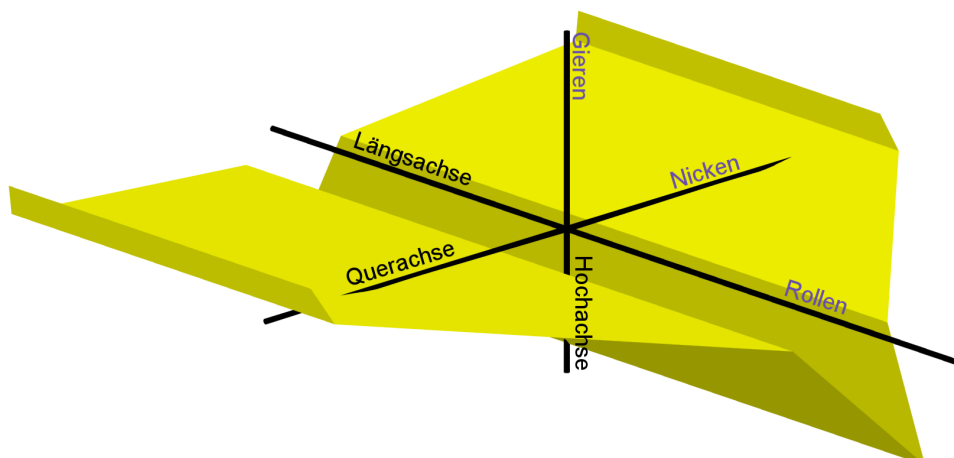
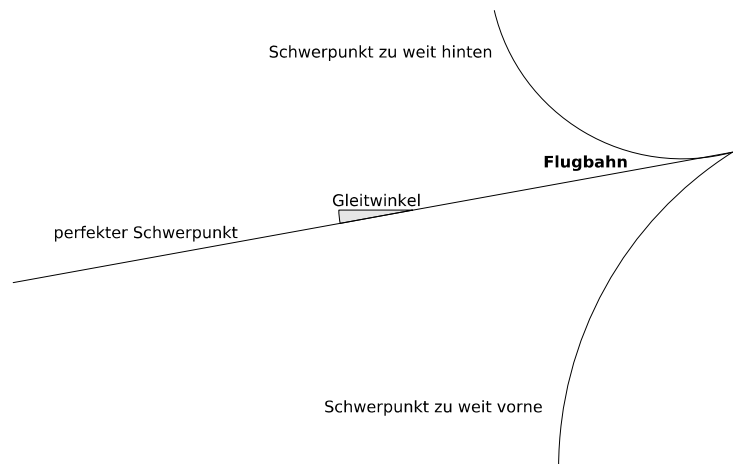


Abbildung 3: Papierflieger Koordinatensystem

2.4 Nickstabilität und Schwerpunkt

Ein Flugzeug mit Antrieb bewegt sich parallel zum Horizont, ein gleitender Papierflieger jedoch ist immer leicht geneigt, also mit der Nase nach unten unterwegs. Diese Abwärtsbewegung liefert dem Flieger Geschwindigkeit. Die Neigung wird als Gleitwinkel bezeichnet, es gilt diesen zu



kontrollieren und um die 11° zu halten. Denn wenn er zu niedrig ist, wird der Flieger zu langsam und stürzt ab, aber wenn der Gleitwinkel zu groß ist, rast der Flieger in den Boden. Der Gleitwinkel ist abhängig von der Form und der Größe der Flügel, so wie von der Lage des Schwerpunktes.

Der Schwerpunkt spielt eine ganz besonders große Rolle. Während er bei einer Linienmaschine nur innerhalb mehrerer Meter liegen muss, um diese gleitflugfähig zu machen, so muss er bei einem Papierflieger innerhalb weniger Millimeter liegen damit dieser nicht sofort abstürzt. Bei einem rechteckigen Modell muss der Schwerpunkt, von vorne aus gemessen, bei 25-30% der gesamten Länge des Fliegers liegen. Beim dreieckigen Flieger (Delta-Flügler $\rightarrow \Delta$ -Flügler) jedoch sollte der Schwerpunkt eher bei 40-45% der Länge des Fliegers liegen, das kommt ganz einfach daher, dass die Tragflächen hinten breiter sind. (vgl. ebd. S. 20 ff.)

Um einen nicht perfekt sitzenden Schwerpunkt auszubessern, gibt es die Möglichkeit kleine Trimmflächen anzubringen, das heißt, die Enden der Flügel leicht nach oben oder unten zu biegen. Trimmflächen werden immer an den Hinterseiten der Tragflächen angebracht, indem eine Wölbung nach oben oder unten angebracht wird. Wie stark und in welche Richtung gewölbt werden muss, hängt davon ab, ob der Flieger den Schwerpunkt zu weit vorne oder zu weit hinten hat, und eben wie stark er verschoben ist. (vgl. Blackburn

Jedoch bedeutet jede Trimmung gleichzeitig einen höheren Luftwiderstand, woraus folgt, dass man einen komplett missratenen Schwerpunkt nicht so einfach auf diese Weise korrigieren kann. Um ein richtig gutes Exemplar eines Modells zu haben, ist es oft notwendig mehrere zu falten und dann das Beste mittels Trimmung anzupassen.

Dass der Schwerpunkt entlang der Querachse verschoben ist, ist sehr unwahrscheinlich, da alle Papierflieger immer symmetrisch sind.

Falls der Schwerpunkt der Hochachse entlang verschoben ist, was durchaus vorkommen kann, wirkt sich das auf die Rollstabilität aus.

Die in der Grafik dargestellte Flugbahn mit dem Schwerpunkt zu weit vorne kann vermieden werden, indem der Flieger viel schneller als er eigentlich gleiten würde und nach oben, in einem 45° Winkel, geworfen wird. Dann folgt er einer Wurfparabel und macht sich die Luft kaum zu nutze. Auf diese Art wird ein Gleiter zu einem Werfer umfunktioniert.

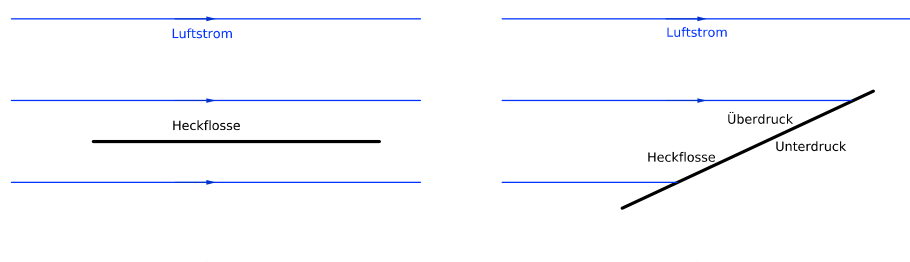
2.5 Geschwindigkeit im Gleitflug

Je schwerer ein Papierflieger ist und je kleinere Tragflächen er hat, desto schneller muss er fliegen. (vgl. Krone, Papierfliegerei, S. 23)

Bei Verkehrsflugzeugen ist es auch so, beim Starten und Landen werden die Landeklappen (Eng.: Flaps) ausgefahren. Diese vergrößern die Tragflächen und machen es möglich bei geringeren Geschwindigkeiten abzuheben.

2.6 Gierstabilität

Damit sich ein
Papierflieger
nicht um die
Hochachse dreht,
also giert, gibt es



die Möglichkeit, eine Heckflosse anzubringen oder die Flügelspitzen nach oben zu falten. Hauptsache, es gibt eine Fläche, welche von Hoch- und Längsachse aufgespannt wird. (vgl. ebd. S. 24)

Bei der Grafik handelt es sich um eine Draufsicht, wobei zu beachten ist, dass nicht der ganze Flieger sondern nur die Heckflosse eingezeichnet ist, in diesem Fall würde sich der Rumpf des Fliegers jeweils links befinden, was bedeutet, dass die Drehachse beziehungsweise der Schwerpunkt ebenfalls weiter links zu finden ist. Sofort wenn der Flieger in eine Richtung lenkt, erhöht sich dort der Luftwiderstand stark und sorgt dafür, dass der Flieger wieder auf den ursprünglichen Kurs zurück kommt.

Eine andere Möglichkeit den Papierflieger am Gieren zu hindern ist, ihn pfeilförmig zu Bauen. Denn wenn sich ein Flieger mit pfeilförmigen Tragflächen dreht, so vergrößert sich die Kantenlänge auf der Seite, welche in der Kurve außen liegt. Dies wiederum erhöht auf dieser Seite den Luftwiderstand und der Flieger pendelt ein. (vgl. ebd. S. 25)

2.7 Rollstabilität

Die erste Methode, einen Papierflieger daran zu hindern zu rollen, ist ein sehr tief liegender Schwerpunkt. Das funktioniert ähnlich wie bei einem Pendel. Es gilt den Schwerpunkt möglichst weit weg vom Mittelpunkt der mittleren Tragflächenfläche zu bringen, denn je weiter diese zwei Punkte auseinander liegen desto mehr Energie muss aufgebracht werden, um den Flieger zu rollen. Sämtliche Vögel und viele große Frachtmaschinen fliegen mit diesem Prinzip. (vgl. ebd. S. 25 ff.)

Die Zweite und beliebtere Methode bei Papierfliegern ist es die Tragflächen in V-Stellung anzuordnen. Sobald der Flieger dann auf eine Seite kippt, also wenn eine Tragfläche in Richtung waagerecht geht, so

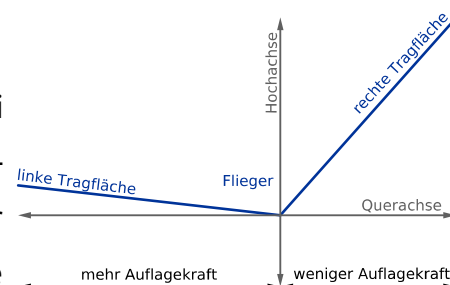


Abbildung 6: Tragflächen in V-Stellung

vergrößert sich die Auflagekraft auf dieser Seite, bei gleich bleibender Masse, während sie sich auf der anderen Seite verringert. Dies führt dazu, dass sich der Flieger nach einem äußeren Einfluss, einer Windböe oder ähnlichem, von selbst wieder auf die Flugbahn einpendelt. (vgl. ebd. S. 27)

Bei Papierfliegern mit einer nach oben öffnenden mittleren Kante muss darauf geachtet werden, dass die Tragflächen auch nach dem Loslassen dieser Kante immer noch in V-Stellung sind. Denn wenn sie sich zu sehr nach unten biegen, also in A-Stellung gehen, entsteht der genau entgegengesetzte Effekt: Der Flieger befindet sich in einem labilen Gleichgewicht und kann jederzeit zur Seite hin abschwärzen. (vgl. ebd. S. 28)

2.8 Wurftechnik für den Langsamen Flug (Gleiter)

Der Flieger wird locker zwischen Daumen und Zeigefinger auf Schulterhöhe gehalten und nach vorne mit einer leichten Neigung nach unten abgestoßen. Die Neigung sollte sich an den Gleitwinkel des Fliegers halten, um diesen zu ermitteln ist es nötig den Flieger erst einmal fliegen zu lassen, wenn der Flieger gut ausbalanciert ist, wird er sich seinen optimalen Gleitwinkel selbst suchen. Diesen gilt es dann beim Abwurf zu verwenden. Die meisten Modelle haben einen optimalen Gleitwinkel bei 11° . Theoretisch ist es möglich ein Modell zu bauen bei dem der Gleitwinkel nur 4° beträgt.

Ob die richtige Geschwindigkeit beim Werfen verwendet wurde ist zu sehen, wenn der Flieger entweder seine Flugbahn nach oben verlässt, sie einhält oder sinkt bevor er gerade weiter fliegt. Wenn er steigt, heißt das, dass zu schnell geworfen wurde. Indem der Flieger steigt baut er nämlich Geschwindigkeit ab. Wenn er sinkt nimmt er Geschwindigkeit zu bevor er eine gerade Flugbahn einnimmt. (vgl. Krone, Papierfliegerei, S. 28 f. und Blackburn & Lammers, Papierflugzeuge, S. 15 f.)

Einen Flieger zu schnell zu starten ist jedoch eine beliebte Methode um besonders große Weiten zu erreichen, weil er ja zuerst steigen muss. (vgl. Krone, Papierfliegerei, S. 29)

Dies ist nämlich die richtige Art dem Flieger Höhe zu verleihen, ohne ihn nach oben zu werfen, was wohlgernekt absolut kontraproduktiv wäre. Auf diese Art würde dem Flieger ein negativer Gleitwinkel zugeführt und er würde durch die zerlegte Schwerkraft nach hinten beschleunigt. Diese Beschleunigung annulliert an irgendeinem Punkt die beim Werfen zugeführte kinetische Energie und der Flieger stürzt ab. Nach oben werfen ist nur bei ballistischen Werfern richtig, siehe Parabelwurf.

Alternativ zum zu schnellen Start gibt es auch noch die Möglichkeit einen Flieger gerade mit sehr hoher Geschwindigkeit zu starten, dieser geht dann, wenn er auf die richtige Geschwindigkeit verlangsamt wurde, von selbst in den Gleitflug über. Es ist jedoch sehr schwierig einen Flieger exakt waagerecht zu werfen, zudem gibt es nur sehr wenige Modelle die nicht sofort ihre Bahn verlassen. (vgl. Krone, Papierfliegerei, S. 30 und Blackburn & Lammers, Papierflugzeuge, S. 16)

2.9 Parabelwurf (Werfer)

Einen Flieger in einem 45° Winkel nach oben zu werfen um ihn auf eine Parabelbahn zu bringen ist eine Methode für besonders schnelle und weite Würfe. Jedoch fliegt der Flieger hier nicht wirklich, er verhält sich eher wie ein ballistisches Projektil und kaum aerodynamisch. Deshalb ist es vermutlich richtiger solche „Flieger“ als Werfer zu bezeichnen. (vgl. Wikipedia, Papierflieger#Werfer)

2.10 Hochstart

Um eine möglichst lange Flugdauer zu erreichen, muss der Flieger fast gerade nach oben geworfen werden. Dabei ist es das Ziel, eine hohe schmale Parabel zu erreichen, an deren Scheitelpunkt der Flieger in den Gleitflug übergeht und in großen Kreisen nach unten gleitet. (vgl. Krone, Papierfliegerei, S. 31 und Blackburn & Lammers, Papierflugzeuge, S. 16)

Auf diese Art hat Ken Blackburn am 17. Februar 1994 den Weltrekord für den längsten Flug eines Papierfliegers mit 18.8 Sekunden aufgestellt.(vgl. Blackburn & Lammers, Papierflugzeuge, S. 7)

2.11 Draußen Fliegen

Nur in Hallen lassen sich immer gleiche Bedingungen für Papierflieger herstellen, jedoch können äußere Einflüsse durchaus ausgenutzt werden. Wie zum Beispiel bei Segelfliegern oder einigen Vogelarten, die Aufwinde suchen um in der Luft zu bleiben. Besonders nahe am Boden kann die Thermik gut genutzt werden. Dem einfachen Prinzip zufolge, dass warme Luft aufsteigt, ist es sinnvoll, sonnenbeschienene Plätze zu suchen. Zum Beispiel eignet sich ein asphaltierter Parkplatz besser als eine Wiese, denn wenn die Sonne den Asphalt aufheizt, wärmt dieser auch die unmittelbar darüber liegende Luft auf und diese steigt dann nach oben und trägt den Flieger mit sich. Wieder gilt dieses Prinzip mehr für Gleiter und weniger für Werfer.

Wasser benötigt beim verdunsten Energie, diese entzieht es der Umgebung und eben auch der Luft, und wenn dies geschieht entstehen Abwinde, welche unbedingt zu meiden sind. Der Effekt kann auch schon bei einer taunassen Wiese auftreten. Ganz zu schweigen davon das der Flieger deformiert wird wenn er in solch einer Wiese landet. (vgl. Krone, Papierfliegerei, S. 31 f.)

„Ein Papierflieger sinkt mit einer Geschwindigkeit von ca. 0.9 – 1.2 m/s. Steigt nun die Luft in gleichem Maße nach oben, wie der Papierflieger sinkt, dann hält er die Höhe. Steigt die Luft schneller auf als mit 0.9 – 1.2 m/s, dann gewinnt der Flieger an Höhe.“(Blackburn & Lammers, Papierflugzeuge, S. 19)

Selbstverständlich ist es auch möglich denn Wind zu nutzen. Aber eben nur in Windrichtung, das heißt, dass es nicht möglich ist in eine bestimmte Richtung zu fliegen, sondern der Flieger lässt sich einfach vom Wind mitreißen. Wenn der Wind aber auf ein Hindernis stößt, wie zum Beispiel ein Haus, muss er irgendwie ausweichen und in den meisten Fällen tut er das hauptsächlich

nach oben. Wenn der Flieger also im richtigen Wind ist, kann es sein, dass dieser ihn mitnimmt. Der Aufwind wirkt aber nicht nur so hoch wie das Haus ist, sondern etwa doppelt so hoch. Deshalb ist es möglich den Flieger in schwindelerregende Höhen zu bringen.

In der Welt der Vögel wird dieses Prinzip auch sehr gerne ausgenutzt. (vgl. Krone, Papierfliegerei, S. 34 f.)

2.12 Papier

„Ken Blackburn sagte einmal: *„Papier ist ein lausiges Baumaterial“*“ (Krone, Papierfliegerei, S. 36 f.)

Papier besteht aus Fasern, Füllstoffen und Luft. Die Fasern sind das, aus was das Papier eigentlich besteht. Die Füllstoffe machen es glatt, weiß und lichtundurchlässig, und die Luft ist in kleinen Poren eingeschlossen. Billiges Papier enthält oft viele Füllstoffe, welche das Papier aber auch labberiger machen, was beim Papierflug sehr unbrauchbar ist. Papier mit mehr Fasern, bei welchen es sich in der Regel um Holzfasern oder Zellstofffasern handelt, neigt dazu, Flocken zu bilden. Das heißt, dass es an verschiedenen Stellen unterschiedlich dick ist. Um das zu erkennen, muss ein solches Blatt ins Licht gehalten werden. Dieses Phänomen wird Inhomogenität, also Ungleichheit, genannt.

Hygroskopizität ist die Eigenschaft, Feuchtigkeit aufzunehmen oder abzugeben. Wenn dies passiert entstehen oft Wellen im Papier und es wird zum Bauen von Papierfliegern unbrauchbar. Taufeuchte Wiesen sind aus diesem Grund ebenfalls zu vermeiden, denn einmal feucht gewordene Falze oder Kanten können nicht mehr richtig repariert werden, da die Fasern bei Feuchte neue Bindungen eingehen.

Demnach ist die Papierfliegerei ein Sport, dem am besten in kalten und deshalb trockenen Gebieten nachgegangen wird.

Anisotropie bei Papier bedeutet, dass das Papier sich unterschiedlich verhält je nach dem ob es längs oder quer gefaltet wird. Das liegt daran, dass Papier heutzutage auf riesigen Maschinen industriell als unendlich lange Bahnen hergestellt wird. Dabei ordnen sich die länglichen Fasern im Papier entlang

der Rollrichtung der Papierbahnen an. Schlussendlich ist Papier deshalb unterschiedlich leicht in die beiden Richtungen faltbar.

Wenn diese Hygroskopizität und Anistropie zusammenkommen, also wenn ein Blatt auf einer Seite feucht wird, wird es sich entlang der Richtung, in die es auf den Maschinen gelaufen ist, mit der feuchten Seite nach außen zusammenrollen.

Eine weitere Ursache der Anisotropie ist, dass dem Papier bei der Herstellung durch ein Sieb Wasser entzogen wird. Hierbei fließen mit dem Wasser auf der Siebseite mehr Füllstoffe ab, dies resultiert darin, dass am Ende eine Seite glatter ist als die andere. (vgl. Krone, Papierfliegerei, S. 36-41)

2.13 Aerobatik

Luftakrobatik sind Kunstflüge, die sich erreichen lassen wenn ein perfekt justierter Flieger wieder ins Ungleichgewicht gebracht wird. Werfer eignen sich dazu nicht.

Um zum Beispiel einen Kreis zu fliegen, bei dem der Werfende den Flieger wieder fangen kann, muss die Gierstabilität zerstört werden. Am besten funktioniert dies, indem an der Flügelspitze, welche beim Kreis innen liegen soll, eine bremsende Trimmfläche angebracht wird. Zusätzlich muss der Flieger in die Kreisbahn hinein geworfen werden.

Um einen Looping zu fliegen müssen sehr starke, nach oben gerichtete Trimmflächen, so wie sie zur Ausbalancierung eines viel zu weit vorne liegenden Schwerpunktes verwendet werden, angebracht werden. Nun gilt es, den Flieger schräg nach oben zu werfen. Die richtige Geschwindigkeit und der richtige Winkel müssen experimentell bestimmt werden. (vgl. Blackburn & Lammers, Papierflugzeuge, S. 22 f.)

Der Sturzflug ist ein weiteres Kunststück der Aerobatik. Dabei geht es ausschließlich darum, den Flieger fallen zu lassen. Denn wenn er stabil ist, wird er sich selbst seine Flugbahn suchen und ihr folgen. Um besonders

beeindruckend zu wirken muss die Höhe so gewählt werden, dass der Flieger unmittelbar vor dem Aufprall auf dem Boden seine Flugbahn erreicht. (vgl. ebd., S. 24)

3 Geschichte

Papierflieger gibt es seit rund 500 Jahren. Den Werkstoff Papier gibt es jedoch schon seit 100 v. Chr. in China. In Europa ist Papier erst ungefähr seit 1300 n. Chr. bekannt.

Erste Experimente mit Papierfliegern machte Leonardo da Vinci (1452-1515), in seinen Versuchen ging es lange Zeit um Vögel und ob es denn möglich ist, einen Menschen mit Flügeln wie einen Vogel fliegen zu lassen. Im Zuge dieser Experimente baute er Modelle seiner Flieger aus Papier, um zu sehen was für eine Flugbahn diese einnehmen würden, denn kleinere Modelle sind einfacher zu bauen und Modifikationen sind leichter vorzunehmen. Da Vincis Versuche beschränkten sich jedoch hauptsächlich auf Ornithopter. Dies sind Fluggeräte, welche mit Hilfe von schlagenden Flügeln wie Vögel fliegen sollten. Er war lange davon überzeugt, dass die Kraft eines Menschen dafür ausreichen würde. Erst 1505 erkannte er nach fehlgeschlagenen Versuchen, dass er sich geirrt hatte. Dies brachte ihn dazu sich den Starrflüglern zuzuwenden. Erfolg konnte er jedoch keinen verzeichnen, er schaffte es nie einen Menschen fliegen zu lassen. (vgl. Krone, Papierfliegerei, S. 6 f.)

- Sir George Cayley (1773-1857) stellte als erster Gewichtskraft und Antriebskraft in Relation genau so wie Vortriebskraft und Widerstandskraft. Anerkennung bekam er dafür jedoch erst nach seinem Ableben. (vgl. ebd. S. 8)
- Der erste dokumentierte Papierflieger, welcher nur aus einem einzigen Blatt Papier gefertigt war, wurde von August Wilhelm Zachariae (1756-1823) gefaltet und flog 1809 durch die Schule an der er unterrichtete. (vgl. ebd. S. 8)

- Der Franzose Alphonse Pénuaud (1850-1880) führte Versuche zur Geometrie der Tragflügel, mit Hilfe von Papierfliegern, durch. Die „Planophore“ ist sein bekanntestes Modell, weil es schon über Flügel in V-Stellung verfügt und einen beweglichen Heckstabilisator hat.

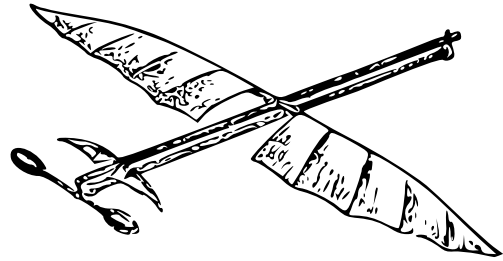


Abbildung 7: Planophore, Encyclopaedia Britannica, 1897 (Wikimedia, Commons, Planophore)

Angetrieben wurde der Apparat von einem Propeller mit Gummimotor, also einem gespannten Gummi der eingedreht wird und sich nach dem Loslassen wieder ausdreht und so den Propeller andreht. (vgl. Krone, Papierfliegerei, S. 8 f.)

- Erste Patentierte Papierflugzeuge waren die mit Delta-Flügeln von Edwards und Buttler, 1867. (vgl. ebd. S. 9)

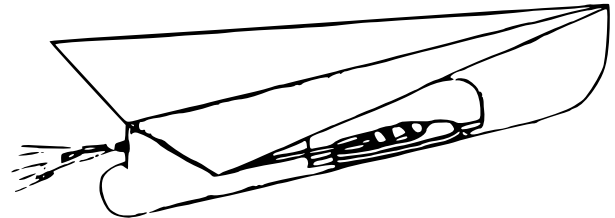


Abbildung 8: Papierflugzeug von Edwards und Buttler mit Delta-Flügeln (Krone, Papierfliegerei, S. 9)

- Otto Lilienthal (1848-1896) gelangen 1893 als Erstem Versuche mit Gleitern, welche für den Transport von Menschen vorgesehen waren. Zum Manövrieren musste der Pilot nur sein Körpergewicht verlagern. Dieses Prinzip wird heute noch von Flugdrachen genutzt. (vgl. ebd. S. 9 f.)
- Gustav Lilienthal (1849-1933), Ottos Bruder, untersuchte verschiedene Formen von Flügeln in einer Art Windkanal, wobei ihm vermutlich aufgefallen ist, dass eine gewölbte Tragfläche von Vorteil ist. (vgl. ebd. S. 9 f.)
- Wilbur Wright (1867-1912) und Orville Wright (1871-1949) arbeiteten an einer Steuerung für Fluggeräte, da das Verlagern des eigenen Körpergewichts nur bei sehr kleinen Gleitern funktioniert. Um aber

länger in der Luft bleiben zu können, sind größere Tragflächen nötig. Sie bauten sich einen Windkanal um noch genauere Messwerte über Tragflächenprofile zu erhalten als die Gebrüder Lilienthal, und erkannten, dass es notwendig war, das Fluggerät in alle drei Richtungen steuern zu können. Zu diesem Zweck brachten sie als Erste hinten ein Höhenruder an, mit welchem sie nicken (Querachse) konnten. (vgl. ebd. S. 11)

- Am 17.12.1903 machte Orville Wright den ersten Flug mit dem von ihm konstruierten „Flyer I“. Ob das denn der erste Motorflug in der Geschichte war ist nicht sicher, es gibt unbelegte Behauptungen, dass schon ein paar Jahre davor motorisierte Flüge stattgefunden haben, jedoch ist es unumstritten, dass die Wrights den ersten Motorflug unternahmen, welcher steuerbar war. (vgl. ebd. S. 11)
- Erste Literatur zu Papierfliegern gab es 1909 mit E. W. Twinings „Model Gliders“, dieses Buch enthielt immerhin schon drei Modelle zum Ausschneiden. (vgl. ebd. S. 13)
- 1936 brachte „Die Lesestunde“ schon eine Werbeanzeige mit Modellfliegern heraus. (vgl. ebd. S. 13)
- Willis Rinby brachte in den 40er-Jahren, als Werbegag für Cornflakes, Papierflieger heraus, welche alle auf Kampfflugzeugen des 2. Weltkrieges beruhten. (vgl. ebd. S. 13)
- Deutschsprachige Literatur zur Papierfliegerei gab es erst 1953. in diesem Jahr veröffentlichte Gerhard Katz „Das kleine Buch vom Papierflugzeug“. (vgl. ebd. S. 14)
- Am 12. 12. 1966 kündigte „The New York Times“ die „1st International Paper Airplane Competition“ an, nachdem „Scientific American“ das Thema in einer Ausgabe ansprach. (vgl. ebd. S. 14 f.)

- Am 24. 5. 1985 fand dann der „2nd Great International Paper Airplane Contest“ statt, was der Papierfliegerei einen wissenschaftlichen Charakter verpasste. Von da an waren Papierflieger nicht mehr „nur“ als Hobby gesehen. Heutzutage sind Papierfliegerclubs weit verbreitet besonders in Japan, aber auch in den USA. (vgl. ebd. S. 15)

Seitdem kann man die Flugkunst mit Papier in zwei Richtungen teilen: zum Einen gibt es den Flugmodellbau, wobei aus Papier, Karton, Klebstoff und Anderem sehr aufwendige Flieger hergestellt werden, und zum Anderen gibt es eben die Papierfliegerei, wo aus einem einzigen Blatt, nur durch falten, ein Flieger gebastelt wird, ganz ohne Vorbereitungen. (vgl. ebd. S. 15 f.)

Die Papierflieger können dann noch weiter unterteilt werden. Auf der einen Seite gibt es Gleiter, ein Gleiter wäre das, was man als typisches Beispiel für einen Papierflieger ansehen würde. Denn er nutzt Luft und Schwerkraft um sich fortzubewegen.

Gleiter können dann noch weiter unterteilt werden, in welche mit Mittelfalz und welche ohne. Die meisten haben einen, da er dem Flieger Stabilität verleiht. Schwieriger zu konstruieren sind die Modelle ohne Mittelfalz, diese sind aber in der Regel etwas stabiler in der Luft.

Ein Werfer auf der anderen Seite muss in einem 45° Winkel nach oben geworfen werden, er verhält sich dann wie ein Ballistisches Projektil und macht sich die Luft nicht zu nutze.

Weil Werfer keine Tragflächen brauchen, sondern nur die Luft gut durchschneiden müssen, haben alle brauchbaren Modelle einen Mittelfalz.

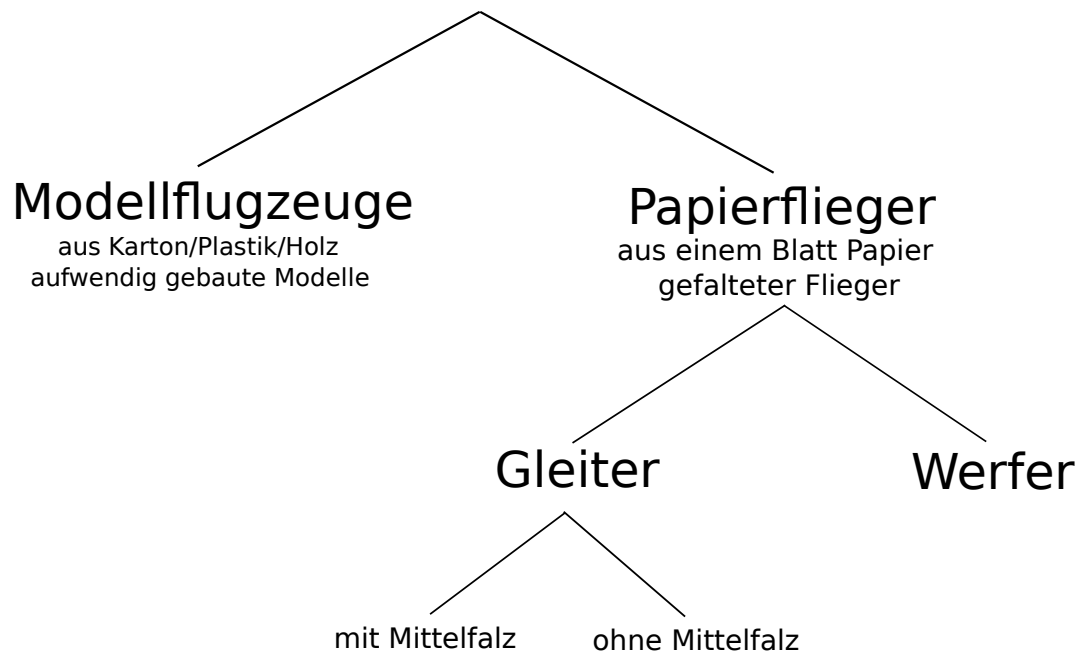


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Unterteilung von Fliegern

4 Versuche

4.1 Adler

Quelle

spielkeks.de/index.php/papierflieger/articles/adler.html

Kommentar

-

Charakteristika

Schwere Schnauze;
Bremsfalte hinten, unten

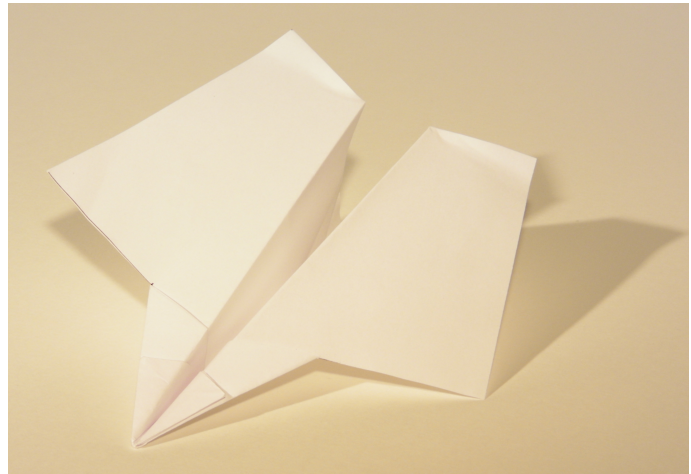


Abbildung 10: Adler

Erwartungen

Mit der schweren Schnauze scheint der Adler eher ein Werfer als ein Gleiter zu sein, dabei geben die riesigen Tragflächen jedoch keinen Sinn.

Papier

80g/m² 21x21cm

Versuchsort

Sporthalle

1. Flugversuche

- Trotz der schweren Schnauze bring die Bremsfalte den Adler dazu, sich aufzustellen („Männchen zu machen“); die Bremsfalte kompensiert den vorne liegenden Schwerpunkt viel zu stark.
- Auch durch einfaches Fallen lassen findet der Adler nicht seine Flugbahn, weil er sich selbst viel zu sehr abbremst.

1. Modifikationen

- Bremsfalte entfernen

2. Flugversuche

- Wechselt ständig um die Querachse die Richtung (er nickt auf und ab), offensichtlich stimmt noch immer etwas mit der Schwerpunktkompensation nicht.

2. Modifikationen

- Die Seitenruder liegen nicht normal auf der Querachse, das heißt sie bremsen den Flieger.
- Seitenruder entfernen

3. Flugversuche

- Wechselt noch immer um die Querachse die Richtung, es stimmt noch immer etwas mit der Schwerpunktkompensation nicht.

3. Modifikationen

- Trimmflächen hinten an den Tragflächen anbringen, und zwar nach unten. Solche Trimmflächen wären eigentlich zu gebrauchen, wenn der Schwerpunkt zu weit hinten liegen würde, was hier nicht der Fall ist, trotzdem verhält sich der Adler als wäre es so.

4. Flugversuche

- Der Adler kippt sofort nach unten, was zu erwarten ist wenn der Schwerpunkt so weit vorne liegt und die Trimmflächen nach unten gebogen sind.

4. Modifikationen

- Trimmflächen umdrehen.

5. Flugversuche

- Der Adler ändert wieder ständig seine Flugrichtung, indem er sich um die Querachse dreht (er vollführt Loopings).

Ergebnis

- Es ist nicht möglich einen vollkommen missratenen Schwerpunkt mittels irgendwelchen Trimmflächen zu kompensieren. Die einzigen Flieger welche mit so etwas klar kommen sind Werfer, jedoch bremsen die riesigen Tragflächen den Adler zu stark, als dass er zum Werfer werden könnte.

4.2 Hubschrauber

Quelle

spielkeks.de/index.php/papierflieger/articles/hubschrauber.html

Kommentar

Funktioniert zwar nicht wie die anderen Flieger, ist aber auch ein Fluggerät.

Charakteristika

Ein Hubschrauber eben.

Erwartungen

-

Papier

80g/m² 6x21cm

Versuchsort

Sporthalle

1. Flugversuche

- Schraubt sich langsam und gerade, entlang der Hochachse, nach unten.
- Wenn er jedoch in einer Schräglage fallen gelassen wird, behält er diese bei anstatt sie zu korrigieren, er bewegt sich jedoch immer noch gerade nach unten.

1. Modifikationen

- Unten eine Büroklammer anbringen, um zu sehen, was das zusätzliche Gewicht macht.

2. Flugversuche

- Dreht sich schneller und fällt schneller, was zu erwarten war.

Ergebnis

Macht Spaß, besonders wenn der Hubschrauber aus großer Höhe fallen gelassen wird. Könnte man an einer Brücke versuchen.

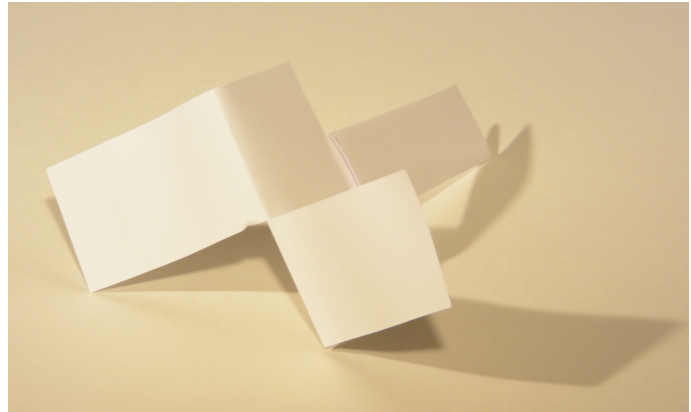


Abbildung 11: Hubschrauber

4.3 Albatros

Quelle

spielkeks.de/index.php/papierflieger/articles/albatros.html

Kommentar

Der echte Albatros ist ein großer schwermütiger Vogel, welcher aber sehr große Distanzen fliegen kann. Kann das das Modell auch?

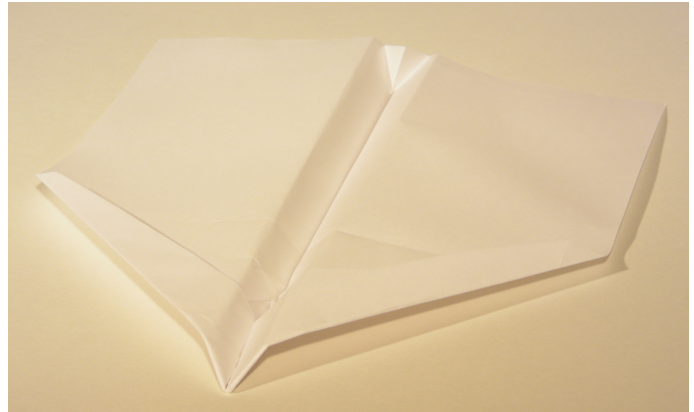


Abbildung 12: Albatros

Charakteristika

Sehr große Tragflächen

Erwartungen

Möglicherweise der richtige Kandidat für ein paar Büroklammern.

Papier

80g/m² A4

Versuchsort

Sporthalle

1. Flugversuche

- Der Albatros neigt dazu nach einigen Metern seine Nase etwas anzuheben, was ihn sämtliche Geschwindigkeit kostet, wodurch er dann abstürzt.

1. Modifikationen

- Bremsfalte anbringen

2. Flugversuche

- Keine erkennbaren Unterschiede.

2. Modifikationen

- Vorne eine Büroklammer anbringen um den Albatros am „Männchen machen“ zu hindern.

3. Flugversuche

- Jetzt ist er vorne zu schwer und geht sehr schnell zu Boden.

Ergebnis

- Eher weniger zu gebrauchen.
- Ist eindeutig ein Gleiter.

4.4 McDonnell A4

Quelle

Krones Kleines Handbuch
der Papierfliegerei S. 68-61

Kommentar

Ein Flieger ohne Mittelfalz

Charakteristika

Schwere Schnauze;
schräge Seitenruder

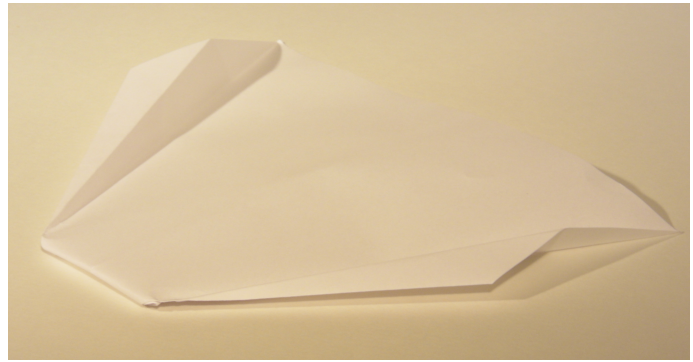


Abbildung 13: McDonnell A4

Erwartungen

Vermutlich für eher schnelleren Flug geeignet.

Papier

80g/m² A4

Versuchsort

Sporthalle

1. Flugversuche

- Fliegt nur in einem sehr steilen Winkel und sehr langsam gut. Ansonsten reißt sie ihre Schnauze nach oben und stürzt ab.

1. Modifikationen

- Etwas höhere Seitenruder.

2. Flugversuche

- Geschwindigkeit und Gleitwinkel verringert.

Ergebnis

- Die McDonnell A4 ist zwar etwas schwerer zu starten, weil sie keinen Mittelfalz hat, kann aber atemberaubende langsame Segelflüge vorzeigen.
- Eindeutig ein Gleiter.

4.5 Basic Dart

Quelle

Papierflugzeuge S. 32-33

Kommentar

Recht einfach zu falten.

Charakteristika

Zwar schmale aber trotzdem recht große Tragflächen.

Erwartungen

Hierbei könnte es sich eher um einen Werfer handeln, wobei es Sinn ergeben würde, ein weiteres Exemplar aus schwererem Papier zu basteln.

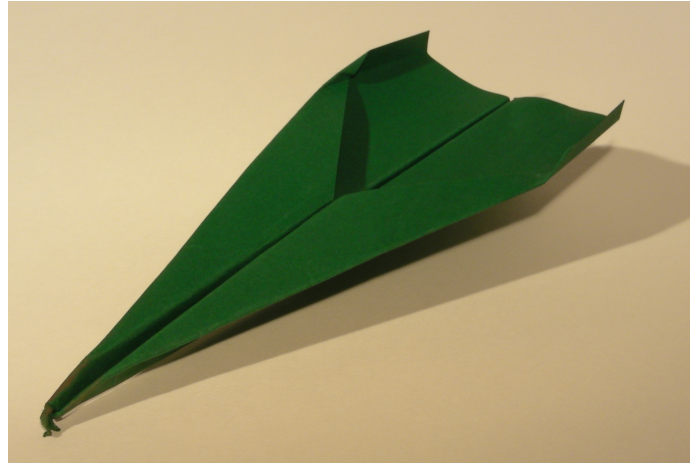


Abbildung 14: Basic Dart

Papier

80g/m² A4, Karton A4

Versuchsort

Sporthalle, Flur, im Freien

1. Flugversuche

- Beim normalen Wurf segelt er einfach seiner Flugbahn entlang nach unten, gut zu erkennen ist die Wirkung der in V-Stellung angebrachten Tragflächen, denn der Basic Dart versucht immer wieder um die Längsachse zu kippen (zu rollen), die V-Tragflächen verhindern das aber.
- Beim schnellen Wurf für Gleiter (ca. 11° nach unten, was dem Durchschnittlichen Gleitwinkel entspricht) passiert nicht viel und der Flieger geht bald zu Boden, wobei der normale Gleiter in diesem Falle steigen würde um die Geschwindigkeit abzubauen.
- Beim Aufwärts-werfen (ca. 45° nach oben) folgt der Basic Dart einer Wurfparabel, jedoch bleibt er manchmal oben stecken und schießt dann senkrecht nach unten.

1. Modifikationen

- Höhenruder nach unten falten, damit er besser der Wurfparabel folgen kann.

2. Flugversuche

- Übertriebene Wirkung der Höhenruder, Basic Dart bohrt sich sehr schnell in den Boden.

2. Modifikationen

- Höhenruder entfernen.
- Vorne Büroklammer anbringen.

3. Flugversuche

- Er dreht sich auf den rücken und geht in einen recht steilen Sinkflug.

3. Modifikationen

- Neues Exemplar aus viel dickerem Papier.

4. Flugversuche (ab hier im Flur)

- Schneller Wurf führt zu nichts.
- Normaler Wurf führt zu schnellem sinken.
- Parabel Wurf nicht möglich, da der Flur zu niedrig ist.

4. Modifikationen

- Büroklammer anbringen um die V-Stellung der Tragflächen zu stabilisieren.

5. Flugversuche

- Sehr stabiles Flugverhalten beim normalen Wurf.

6. Flugversuche (ab hier im Freien)

- Der Parabelwurf funktioniert eingeschränkt, nämlich nur wenn der Basic Dart in einem für diese Wurftechnik eher flachen Winkel abwirft.

6. Modifikationen (ab hier zu einem viel späteren Zeitpunkt, da die Sporthalle wieder zur Verfügung stand.)

- Neues Exemplar aus A4 80g/m².

7. Flugversuche (ab hier wieder in der Sporthalle)

- Er neigt dazu um die Längsachse zu rollen, da sich die Tragflächen, die sich eigentlich in V-Stellung befinden sollten öffnen, was zur katastrophalen A-Stellung führt.

7. Modifikationen

- Mit Klebestreifen die Tragflächen so fixieren das sie in V-Stellung bleiben.

8. Flugversuche

- Der Basic Dart folgt einer recht spitzen Wurfparabel und rollt nicht mehr.
- Für andere Wurfarten ist er ungeeignet.

8. Modifikationen

- Trimmflächen nach oben anbringen um die Parabel flacher zu machen.

9. Flugversuche

- Wenn er weit genug vorne gehalten und schnell genug geworfen wird, folgt er zuerst einer Parabel und macht dabei eine halbe Rolle um die Längsachse nach links und wieder zurück. Wenn er wieder gerade ist geht er in den langsamen Flug über und landet wie ein Gleiter. Von diesem Flugverhalten will dieses Exemplar des Basic Darts nicht abweichen.

Ergebnis

- Der Basic Dart ist ein vielseitiges Modell, es ist einfach zu falten und sowohl als Werfer wie als Gleiter einsetzbar. Für einen Guten Werfer sollte etwas

dickeres Material ($> 200\text{g/m}^2$) verwendet werden, für den Gleiter hingegen dünneres.

4.6 World Record Paper Airplane

Quelle

Papierflugzeuge S. 50-51

Kommentar

Damit stellte Ken Blackburn 1994 den Weltrekord für den längsten Papierflugzeugflug mit 18.8 Sekunden auf.

Charakteristika

Schwere Schnauze; nicht sehr stabile Flügel Neigung (hält weder V- noch A-Stellung ein)

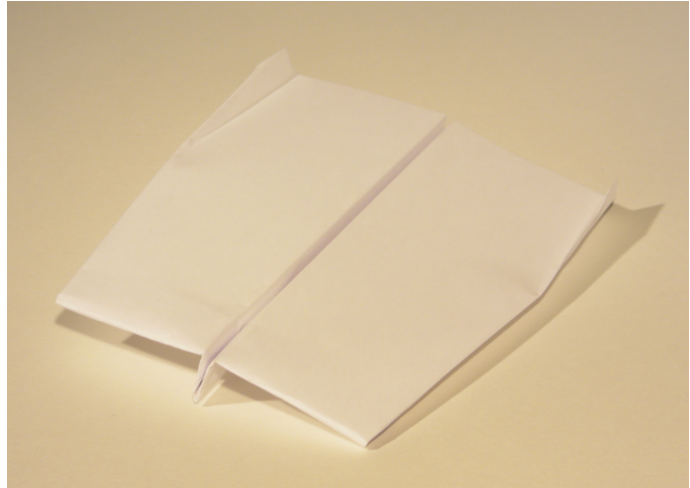


Abbildung 15: World Record Paper Airplane

Erwartungen

Scheint ein langsamer Gleiter zu sein.

Papier

80g/m² A4

Versuchsort

Sporthalle

1. Flugversuche

- Im langsamen Flug macht der Flieger Wellen in seiner Flugbahn, was auf einen nicht ganz optimalen Schwerpunkt schließen lässt.
- Für den schnellen Flug nicht geeignet.
- Nach einem Hochstart (mehr oder weniger senkrechter Wurf nach oben), welchen Blackburn für seinen Weltrekord verwendete, sucht er sich nach dem Scheitelpunkt oben seine Flugbahn selbst. Es ist jedoch nicht möglich zu beeinflussen, in welche Richtung der Flieger dann fliegt. Auch hier immer noch Wellen in der Flugbahn.

1. Modifikationen

- Nach unten wirkende Höhenruder anbringen.

2. Flugversuche

- Fliegt sehr schnell und sinkt auch schnell.
- Fliegt mit langsamen so wie mit schnellem Start sehr gut, beim schnellen steigt er zuerst ein wenig um Geschwindigkeit ab zu bauen.
- Beim Hochstart findet er jetzt nicht mehr so leicht seine Flugbahn, sondern fällt eher rapide.

Ergebnis

- The World Record Paperairplane ist der erste Papierflieger den ich gebaut habe, der für den Hochstart geeignet ist. Nachdem er oben den Scheitelpunkt erreicht hat, findet er seine eigene Flugbahn und folgt ihr.

- Die Flugbahn ist nicht gerade, sie schraubt sich vom Wendepunkt nach unten. Aufgrund dessen habe ich es nicht geschafft, die Flugdauer zu bestimmen, da er immer zuerst in eine Wand geflogen ist. Offensichtlich sind die Sporthallen am BORG Dornbirn Schoren einfach zu klein um sie mit einem Flugzeughangar zu vergleichen, in dem Blackburn seinen Rekord aufgestellt hat.
- Dieser Flieger ist sicher gut geeignet um ihn von einer hohen Brücke aus zu starten, es wäre nur nötig ihn einfach fallen zu lassen und er würde sich seinen Weg selbst suchen.

4.7 Interceptor

Quelle

Papierflugzeuge S. 40-41

Kommentar

-

Charakteristika

In sich verschachtelte
Schnauze; dreieckige
Modellform

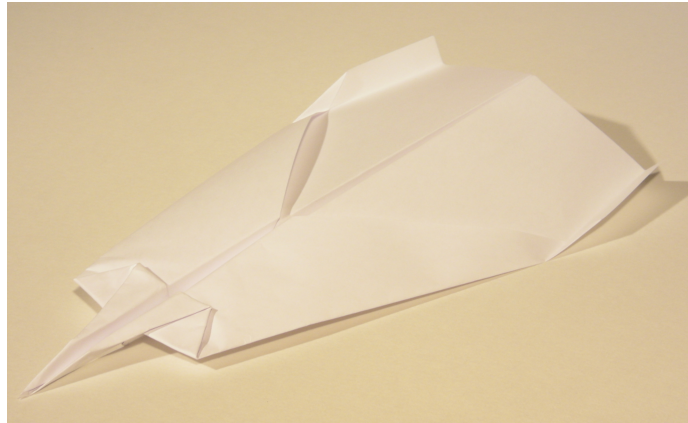


Abbildung 16: Interceptor

Erwartungen

Scheint eher ein Werfer zu sein.

Papier

80g/m² A4

Versuchsort

Sporthalle

1. Flugversuche

- Fliegt beim langsamen so wie beim schnellen Start recht gut, jedoch wird er mit der Zeit langsamer und rammt dann die Schnauze in den Boden.
- Für den Parabellwurf nicht ganz ungeeignet, der Interceptor ist aber definitiv kein Werfer.

1. Modifikationen

- Büroklammer an die Schnauze.

2. Flugversuche

- Jetzt stürzt der Interceptor nach jeder Wurfart sofort ab.

Ergebnis

- Der Interceptor scheint kein herausragendes Modell mit irgendwelchen speziellen Eigenschaften zu sein.

4.8 F-22 Raptor

Quelle

Papierfliegerei S. 78-81

Kommentar

Einem echten
Flugzeug nachempfunden.

Charakteristika

kein Mittelfalz

Erwartungen

-

Papier

80g/m² A4

Versuchsort

Sporthalle

1. Flugversuche

- Fliegt sehr langsam aber gleichmäßig nach unten, wenn er leicht nach unten gestartet wird. Fliegt aber einen bogen nach links, was darauf schließen lässt, dass er asymmetrisch ist.
- Wenn er zu schnell gestartet wird, fliegt er in einer Welle nach oben und wieder herab, bis er sich auf der zu erwartenden Flugbahn einfindet. Die Linkskurve bleibt bestehen.

1. Modifikationen

- Die Doppelte Tragfläche rechts etwas aufbiegen um Widerstand zu erreichen.

2. Flugversuche

- Macht manchmal Links- und manchmal Rechtskurven. Trotz Heckflosse und Pfeilform.

Experiment konnte nicht weiter geführt werden, da die Sporthalle anderweitig gebraucht wurde.

Ergebnis

- Der F-22 ist ein Gleiter, ein sehr langsamer Gleiter.
- Es ist nicht möglich ihn zu schnell zu starten um ihn an Höhe gewinnen zu lassen.

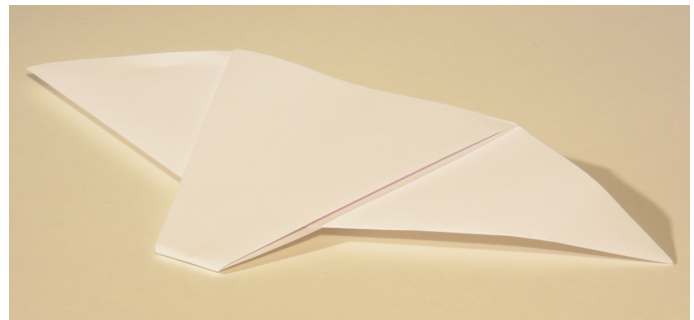


Abbildung 17: F-22 Raptor

4.9 Eagle

Quelle

Papierflugzeuge S. 36-37

Kommentar

Diamantene Flügelform.

Charakteristika

Großer Rumpf.

Erwartungen

Der Rumpf wird vermutlich wie eine Heckflosse wirken.

Papier

80g/m² A4

Versuchsort

Sporthalle

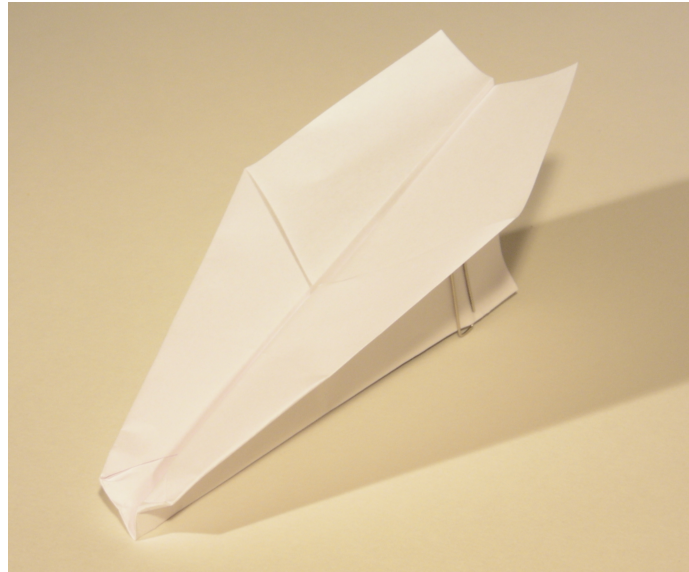


Abbildung 18: Eagle

1. Flugversuche

- Stürzt sofort ab da er komplett labil ist.

1. Modifikationen

- Mit einer Büroklammer Stabilität herstellen.

2. Flugversuche

- Die Schnauze ist viel zu schwer, deshalb rammt er sofort in den Boden.

2. Modifikationen

- Zweite Büroklammer am Heck anbringen um die vordere schwerpunktmäßig auszugleichen.

3. Flugversuche

- Nach ausführlichem justieren der zweiten Büroklammer fliegt der Eagle. Jedoch ist er nur für den langsamen Flug geeignet.

Ergebnis

- Das große Gewicht der beiden Büroklammern in Kombination mit vergleichsweise kleinen Tragflächen und der Umstand, dass der Eagle nur im langsamen Flug fliegt, machen ihn zu einem schlechten Gleiter. Er fliegt für den langsamen Flug gesprochen recht schnell, da er wegen seiner großen Masse schnell sinkt, beziehungsweise sein Gleitwinkel recht groß ist. Bei einem guten Gleiter hingegen wären der Gleitwinkel so wie auch die Geschwindigkeit niedrig.

4.10 Rocket

Quelle

papierfliegerei.de/rocket.html

Kommentar

Das falten schlug wegen zu dickem Papier (200g/m², 120g/m²) zweimal fehl.

Charakteristika

Sehr klein.

Erwartungen

Erstes Modell aus Seidenpapier. Werfer.

Papier

Seidenpapier A3

Versuchsort

Sporthalle

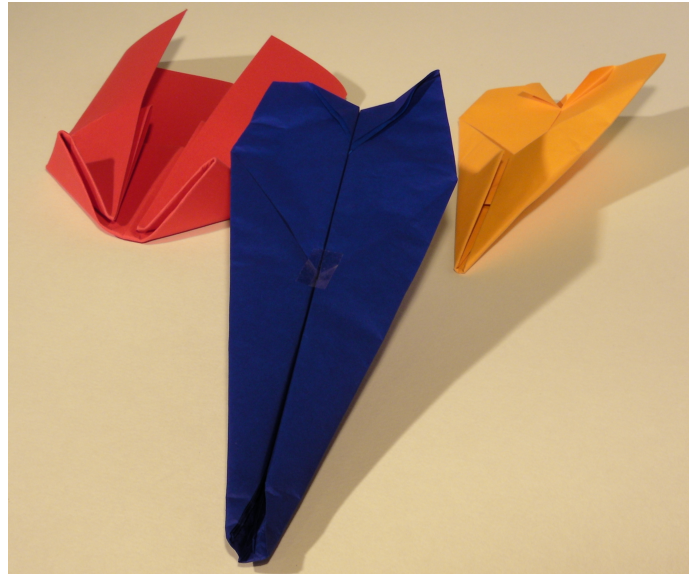


Abbildung 19: Rocket (aus Seidenpapier, Blau), Rot: 200g/m², Gelb 120g/m²

1. Flugversuche

- Bei einzelnen Wurfen folgt die Rocket der Wurfparabel, jedoch halten die Falze im Seidenpapier fürchterlich schlecht und sie verformt sich oft in der Luft.

1. Modifikationen

- Mit Klebestreifen versuchen Stabilität herzustellen.

2. Flugversuche

- Immer noch instabil.
- Begrenzt für den langsamen Flug geeignet.

Ergebnis

- Es ist offensichtlich nicht möglich, einen Werfer aus Seidenpapier zu bauen, da es zu leicht ist dem Werfer die nötige Trägheit zu verleihen.
- Seidenpapier verformt sich bei Bruchlandungen ganz besonders, was dem Werfer eine kurze Lebenszeit gibt.
- Da es nicht möglich war die Rocket aus dickerem Papier zu falten, liegt daran, dass Papier eben nicht zweidimensional, sondern dreidimensional ist, und nach einigen Lagen dies nicht mehr vernachlässigbar ist.

4.11 Phantom

Quelle

Papierflugzeuge S. 52-53

Kommentar

Besteht aus zwei Blättern, bevor sie zusammengeklebt werden, sieht das eine aus wie ein Gleiter, das andere wie ein Werfer. Diese werden an einigen Punkten mittels Klebestreifen zusammengefügt.

Charakteristika

Vorne ist die Spitze eines Werfer zu sehen, hinten die großen Tragflächen eines Gleiters.

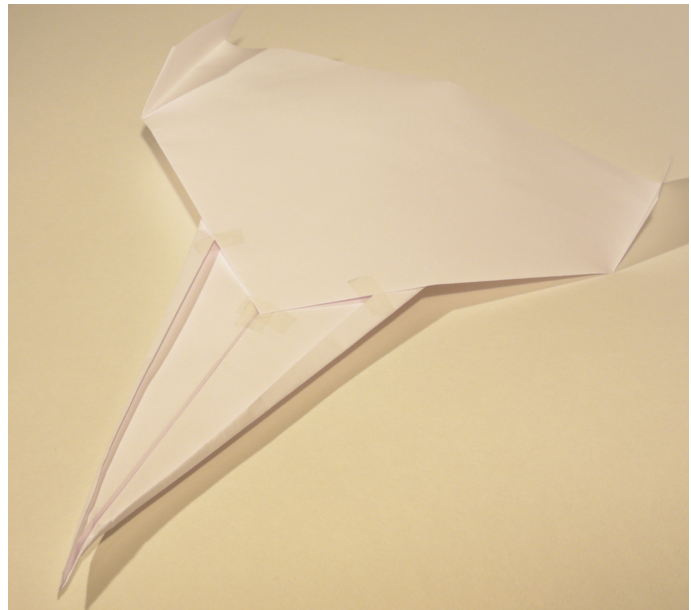


Abbildung 20: Phantom

Erwartungen

-

Papier

2x 80g/m²

Versuchsort

Sporthalle

1. Flugversuche

- Beim Parabelwurf folgt er perfekt der Wurfparabel, kein Rollen kein Gieren.
- Beim Start für den langsamen Flug sinkt er sehr schnell.

Ergebnis

- Phantom ist ein sehr massiges Modell aufgrund der zwei verwendeten Blätter, es erfüllt alle Eigenschaften eines guten Werfers.
- Anscheinend wird aus Werfer + Gleiter = Werfer.

4.12 Basic Dart (im Größen Vergleich)

Quelle

Papierflugzeuge S. 32-33

Kommentar

Die guten Ergebnisse des „Phantom“, welches aus zwei Blättern A4 besteht, haben mich auf die Idee gebracht, Experimente mit dem selben Modell aber in Verschieden Größen zu machen. In erster Linie will ich herausfinden, ob bei Modellen mit signifikantem Größenunterschied ein linearer Zusammenhang mit der Flugreichweite besteht.



Abbildung 21: Basic Dart A1-A6 (230g/m²), daneben A4 (80g/m²)

Charakteristika

Der Basic Dart eignet sich hierfür gut, da er recht simpel zu falten ist und es keine Stellen mit extrem vielen Papierlagen gibt. Dies würde beim dicken Papier, welches Notwendig ist, damit der Flieger sich nicht einfach in der Luft verbiegt, zu Faltungenaugigkeit führen.

Erwartungen

Linearer Zusammenhang zwischen Papierfläche und Flugweite?

Papier

A1-A6 230g/m²

Versuchsort

Sporthalle

1. Flugversuche (A1)

- Flieger ist durch Transport und Lagerung beschädigt.

1. Modifikationen (A1)

- Mit Büroklammern in Form bringen.

2. Flugversuche (A1)

- Trotz 230g/m² Papier verformt sich der Flieger in der Luft trägheitsbedingt und ist deshalb unbrauchbar.

3. Flugversuche (A2)

- Fliegt bei richtig guten Würfeln zum Teil von einer Ecke bis in die andere Ecke der Sporthalle.

4. Flugversuche (A3)

- Erreicht schätzungsweise 2/3 der Flugreichweite der vorigen Größe, spricht jedoch nicht mehr so gut auf wirklich starke Würfe an.

5. Flugversuche (A4)

- Erreicht teilweise mindestens so gute Flugreichweiten wie die vorige Größe.

6. Flugversuche (A5)

- Kann immer noch zirka 2/3 der Diagonalen der Sporthalle zurücklegen.

7. Flugversuche (A6)

- Fliegt Kurven in alle Himmelsrichtungen, was auf ein ungenaues Falten zurück zu führen ist (je kleiner und dicker das Papier, desto ungenauer wird der Flieger).
- Auffällig ist, dass Masse-arme Flieger bei Weitem nicht die ganze Energie, die ihnen beim Abwerfen zugeführt wird, aufnehmen können (sie sind einfach zu leicht).

7. Flugversuche (A4 80g/m²)

- Mit diesem Papier fliegt der Basic Dart zirka die Hälfte der Diagonalen der Sporthalle.
- Was auffällt ist, dass er bedeutend langsamer fliegt.

Ergebnis

- Der Basic Dart hat eine riesige Schwachstelle, und das ist der Mittelfalz. Dieser geht immer auf, dadurch sind dann die Tragflächen in A- anstatt, wie in der für Rollstabilität gebrauchten, V-Stellung. Es war bei jedem Exemplar notwendig mit Klebestreifen nach zu helfen.
- Wenn sich die Tragflächengröße linear mit der Masse ändert, ist bei der Flugreichweite kaum ein Unterschied festzustellen.
- Wird jedoch die Masse bei gleich bleibenden Tragflächen verringert, so verringern sich auch Geschwindigkeit und Flugreichweite.

4.13 Stuntplane/Basic Square Plane

Quelle

Papierflugzeuge
S. 34-35 u. S. 30-31

Kommentar

Sieht einem echten
Doppeldecker-Stunt-Flugzeug
ähnlich.

Charakteristika

Wie das „World Record
Paper Airplane“ basiert
das „Stuntplane“ auf dem
„Basic Square Plane“,
der Unterschied sind die durch
Schneiden verkleinerten
Tragflächen.

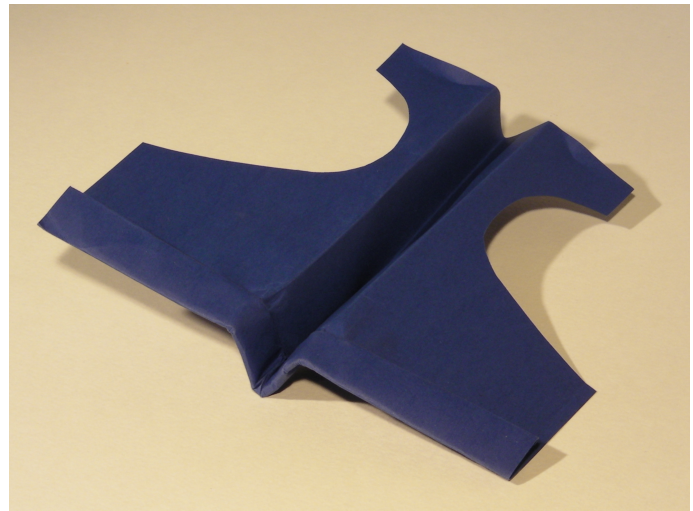


Abbildung 22: Stundplane

Erwartungen

Das Heck sollte besonders gut geeignet sein, um Trimmflächen in alle
Richtungen anbringen zu können.

Papier

120g/m² A4

Versuchsort

Sporthalle, hoher Raum

1. Flugversuche

- Zeigt Ansätze eines Loopings beim normalen Wurf.

1. Modifikationen

- Trimmflächen am Heck um den Looping zu vervollständigen.

2. Flugversuche

- In einer Drehbewegung geworfen macht er einen Looping bevor er
abstürzt. Es ist nicht einfach ihn so zu werfen.

2. Modifikationen (ab hier im hohen Raum)

- Neu falten, weil das Modell durch den Transport verbogen wurde.
- Diesmal „Basic Square Plane“.

3. Flugversuche

- Selten gelingen Loopings, jedoch erst nach einer Kurve und die Landung
lässt zu wünschen übrig.

Ergebnis

- Diesen Ergebnissen nach ist das „Stuntplane“ beziehungsweise das „Basic

Square Plane“ nicht besonders gut für Kunstflüge geeignet.
- Versuche werden mit „McDonnell A4“ weiter geführt.

4.14 McDonnell A4 (Aerobatik)

Quelle

Papierfliegerei S. 58-61

Kommentar

Das „Stuntplane“ hat sich als recht ungeeignet für Aerobatik herausgestellt.

Charakteristika

Die „McDonnell A4“ hat in früheren Experimenten bewiesen, dass sie ein besonders langsamer Gleiter ist.

Erwartungen

Die niedrige Geschwindigkeit sollte es möglich machen, mittels zerstörter Gierstabilität, einen Bogen zu fliegen, wobei der Werfende den Flieger wieder fängt.

Papier

80g/m² A4

Versuchsort

Eingangshalle

1. Flugversuche

- Leicht kopflastig aber brauchbar.

1. Modifikationen

- Heckflossen los schneiden und in die selbe Richtung drehen, um eine Kurve zu erreichen.

2. Flugversuche

- Rollstabilität ist komplett zerstört, stürzt sofort ab.

Ergebnis

- Ein Gleiter mit Mittelfalz wäre eher geeignet im ihn dahingehend zu modifizieren.

4.15 Modell 1

Quelle

selbst konstruiert, ganz simpel

Kommentar

Versuch eine Rolle zu fliegen.

Charakteristika

Quadratisch, Mittelfalz,
niedriger Schwerpunkt,
großer Rumpf.

Erwartungen

Sollte sich eignen um eine Rolle zu fliegen, denn im Gegensatz zur „McDonnell A4“ hat das „Modell 1“ einen Mittelfalz.

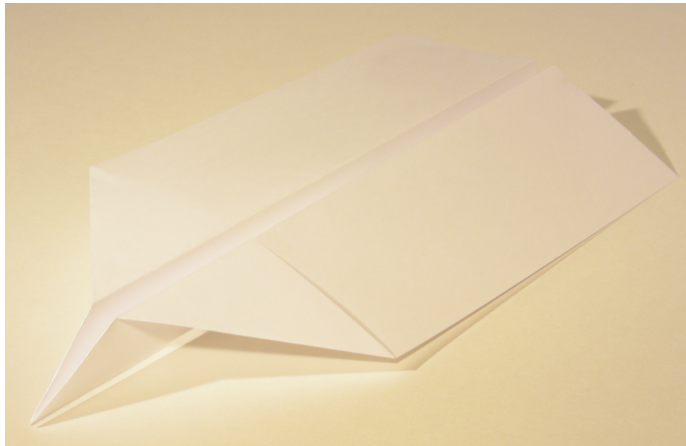


Abbildung 23: Modell 1

Papier

80g/m² A4

Versuchsort

Eingangshalle

1. Flugversuche

- Reißt sofort nach oben, das heißt der Schwerpunkt liegt zu weit hinten.

1. Modifikationen

- Büroklammer an die Schnauze.

2. Flugversuche

- Weist ruhiges Segelverhalten im langsamen Flug auf.

2. Modifikationen

- Eine Tragfläche nach unten, eine nach oben biegen. Idee: A-Stellung und V-Stellung sollten zur ständigen Rotation des Fliegers um die Längsachse führen.

3. Flugversuche

- In etwa der Hälfte der Fälle fliegt er eine Kurve anstatt einer Rolle.

3. Modifikationen

- Tragflächen wieder in V-Stellung bringen (vorherige Modifikation rückgängig).
- Eine Trimmfläche nach oben, eine nach unten.

4. Flugversuche

- Mit guten Würfeln fliegt er einen Halbkreis.

Ergebnis

- Die Kurve ist gelungen anstatt der Rolle, wobei beide Arten von Modifikationen eigentlich beides hervorrufen könnten.
- Die Idee mit den verbogenen Tragflächen basierte darauf, dass nie beide gerade (beziehungsweise beide gleich geneigt) sind. Dies kann jedoch durchaus eintreten. In diesem Moment wird der Flieger Rollstabil. Was aber bleibt ist dann der verlagerte Schwerpunkt auf die Seite, daher die Kurve.
- Wieso jedoch die unterschiedlichen Trimmflächen zu einer Kurve anstatt einer Rolle führen, kann ich mir nicht erklären.

5 Ergebnis

Bei den Experimenten habe ich eine Menge persönliche Erfahrung gesammelt und viel herausgefunden. Als erstes, wie schwierig es denn überhaupt ist, einen Papierflieger zu falten. Angefangen bei der Auswahl des Papiers, da es schon vorgekommen ist, dass ich mehrmals von vorne beginnen musste, weil das Papier entweder zu dick oder zu dünn war (siehe Experiment: Rocket). Dann geht es weiter mit dem Falten, eine winzige Asymmetrie kann dazu führen, dass der Flieger nicht ausbalanciert ist. Das ist einer der Gründe, warum es oft von Vorteil ist, die Modelle möglichst simpel zu halten. Besonders wenn für Werfer dickes Papier verwendet wird, denn wenn viele Papierlagen aufeinander kommen, wird die Dicke immer mit zwei multipliziert, und das ist bald nicht mehr zu vernachlässigen. Einfache Modelle neigen jedoch dazu sich zu verformen und brauchen oft Hilfsmittel wie Klebestreifen oder Büroklammern. Abhilfe können hier aber auch komplizierte Faltungen mit Taschen verschaffen, dafür muss aber normales bis dünnes Papier verwendet werden, woraus folgt, dass es eher Gleiter werden.

Nun zum Werfen: Ich hätte nie gedacht, wie schwierig es ist einen Flieger richtig zu werfen und wie viele Aspekte in einen gelungenen Wurf hinein wirken. Die Experimente haben zum großen Teil aus dem einen Grund so viel Zeit in Anspruch genommen, weil ich so viele Würfe machen musste um einige richtig gute hin zu bekommen. Praktisch jeder Flieger muss individuell gehalten und anders geworfen werden. Des Weiteren sind Versuche sehr zeitaufwendig, weil es nötig ist, viele gelungene Flüge zu beobachten um den Zufall auszuschließen. Dies muss nach jeder einzelnen Modifikation wiederholt werden.

Aber **„Wie bastle ich den perfekten Papierflieger?“**, wie in der Forschungsfrage enthalten, hängt das von der Situation und der Anforderung ab. Im großen und Ganzen kann man aber zwei Fähigkeiten, die Papierflieger haben können, unterscheiden für die sie ganz unterschiedlich gebaut und geworfen werden müssen: lang fliegen und weit fliegen.

5.1 Flugdauer

Für Weltrekorde bei der Flugdauer werden Gleiter gebaut, welche senkrecht nach oben geworfen werden, sich oben ihre Flugbahn suchen und spiralförmig herunter gleiten. Solche Versuche habe ich zwar durchgeführt, jedoch ohne nennenswerte Ergebnisse, wegen zu kleinen Hallen.

Als Gewinner dieser Kategorie würde ich also einen Flieger nehmen, welcher einer geraden Wurfbahn folgt, weil das meiner Meinung nach sowieso viel beeindruckender ist. Herausragend was das angeht waren die beiden Gleiter: „McDonnell A4“ und „F-22 Raptor“. Beide Modelle weisen zwei typische Merkmale für gute Gleiter auf: sie haben vorne eine Falttasche und keinen Mittelfalz, was sich beides positiv auf die strukturelle Integrität auswirkt. Der „F-22 Raptor“ hat den kleinen Makel, dass die Tragflächen bei einem recht schnellen Start dazu neigen zu flattern. Die Falttasche, welche für Stabilität und Symmetrie sorgt, ist bei der „McDonnell A4“ ein Stück stärker ausgeprägt. Sie ist auch der Grund, warum beide Flieger Trimmungen brauchen um stabil in der Luft zu sein. Um zu einem Ergebnis zu kommen muss ich sagen, dass aufgrund des besonders niedrigen Gleitwinkels die **„McDonnell A4“** die längeren Flüge absolviert hat.

5.2 Reichweite

Um besonders große Reichweiten zu erreichen werden Flieger gebraucht, welche nicht langsam nach unten gleiten sondern mit hoher Geschwindigkeit einer Wurfparabel folgen. Solche „Werfer“ machen sich die Luft kaum zu nutze, sie müssen diese nur mit möglichst wenig Widerstand durchschneiden. Die beiden Modelle „Basic Dart“ und „Phantom“ stechen hierbei heraus. Der „Basic Dart“ ist ein recht unkompliziert konstruierter Werfer, welcher in sehr kurzer Zeit gefaltet werden kann, jedoch wird fast immer ein Klebestreifen zwischen den Tragflächen benötigt um ihn stabil zu machen. Das „Phantom“ ist ein sehr spezielles Modell, denn es besteht aus 2 Blättern, welche mittels

Klebestreifen zusammengefügt werden. Der „**Basic Dart**“ ist einfacher und fliegt weiter als das „Phantom“, um aber ganz besonders hohe Reichweiten zu erzielen, muss er aus dickerem Papier gefertigt werden. Ihn zum Beispiel größer zu bauen macht keinen Unterschied. Bei einer Versuchsreihe habe ich folgendes festgestellt:

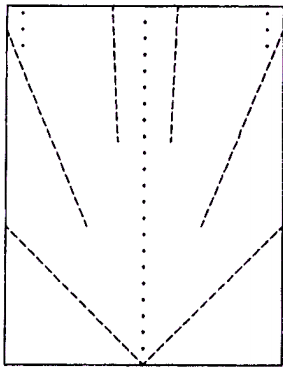
- Wenn sich die Tragflächengröße linear mit der Masse ändert, ist bei der Flugreichweite kaum ein Unterschied festzustellen.
- Wird jedoch die Masse bei gleich bleibenden Tragflächen verringert, so verringern sich auch Geschwindigkeit und Flugreichweite.

Wenn man einmal einen „Basic Dart“ aus möglichst dickem Papier hat, dann ist noch die Wurftechnik entscheidend. Er muss in einem 45° Winkel nach oben geworfen werden, dabei gilt es ihm so viel Energie wie möglich mit zu geben, denn ein Werfer wird von nichts als seiner eigenen Trägheit bewegt, dies ist der Grund warum die hohe Masse von Vorteil ist.

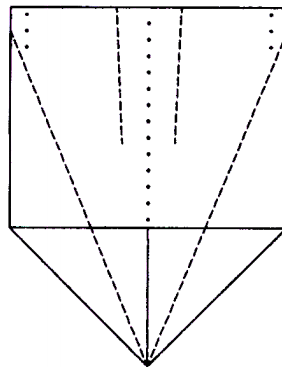
5.3 Kompromiss

Wenn man nur einen Flieger auswendig lernen möchte, ihn aber so vielseitig wie möglich verwenden will, dann ist ebenfalls der „**Basic Dart**“ die erste Wahl, denn er lässt sich, optional mit leichterem Papier, zu einem Gleiter umfunktionieren indem er wie einer geworfen wird. Auf diese Art ist er auch in niedrigen Räumen verwendbar.

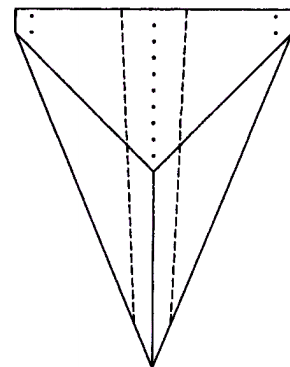
Steht jedoch ein Hausdach oder eine Brücke zum Werfen zur Verfügung, so ist es gut möglich, dass mit einem Gleiter wie der „McDonnell A4“ größere Reichweiten erreicht werden als mit einem Werfer. Dies gilt besonders, wenn der Wind günstig steht. Generell gesprochen heißt das, dass Gleiter bei Weitem mehr von Wind beeinflusst werden als Werfer.



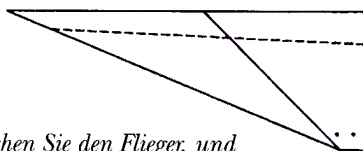
1. Falten Sie das Blatt entlang der Mittellinie zusammen und wieder auseinander.



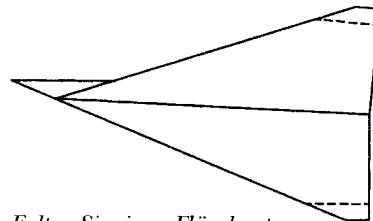
2. Falten Sie das Blatt entlang der Linien 1 und 2 nach innen.



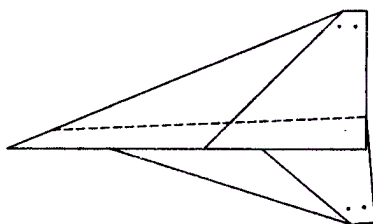
3. Verfahren Sie genauso mit Linie 3 und 4.



4. Drehen Sie den Flieger, und falten Sie ihn entlang der Mittellinie zusammen (Linie 5).



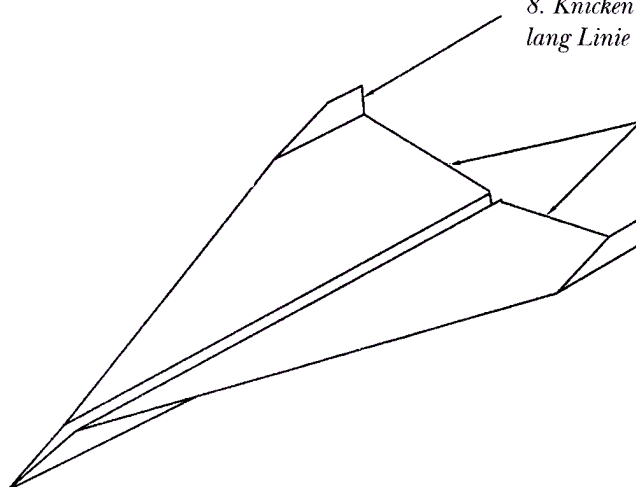
5. Falten Sie einen Flügel entlang Linie 6 nach oben.



6. Drehen Sie den Flieger um.



7. Falten Sie nun den anderen Flügel entlang Linie 7 nach unten.



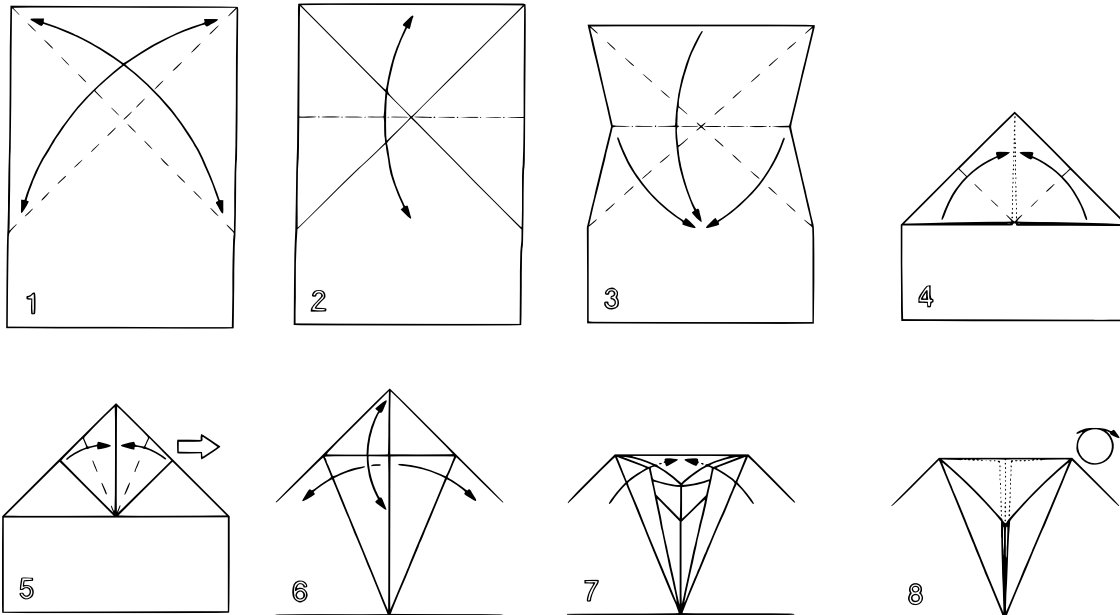
8. Knicken Sie die Flügelspitzen entlang Linie 8 und 9 nach oben.

Für einen optimalen Flug biegen Sie die Höhenruder leicht nach oben.

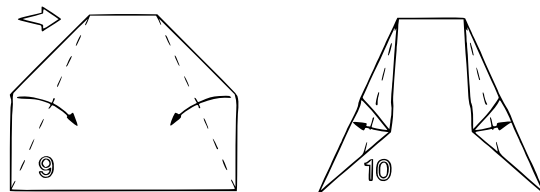
Prüfen Sie, ob sich die Flügelspitzen oberhalb des Flugzeugrumpfes befinden und mit diesem ein »Y[V]« bilden.

(Blackburn & Lammers, Papierflugzeuge, S. 33)

McDonnell A4



1. Ein Blatt DIN A4 wird hochkant genommen und um die Diagonalen gefaltet. Die Falten gleich wieder öffnen.
2. Durch den Schnittpunkt der Diagonalen wird ein waagerechter Bergfalz gelegt und wieder geöffnet.
3. In einer gleichzeitigen Bewegung werden die Enden des waagerechten Bergfalzes nach oben und in die Blattmitte gezogen. Die Oberkante des Blatts wandert dabei über die alte Blattmitte. Nach dem Flachdrücken entsteht eine Dreieckspitze, wie sie in Schritt 4 zu sehen ist. Diese Form nennt man auch Schwalben-Grundfaltung.
4. Die Ecken des oberen Dreiecks zur Spitze hin falten.



5. Die entstandenen Falzkanten werden erneut zur Mitte hin umschlagen.
6. Die Spitze wird an den waagerechten Falzkanten nach unten geschlagen und gleich wieder halb zurückgebogen. Danach werden die Falten des vorherigen Schritts halb geöffnet.
7. Durch leichten Druck die Falttaschen der Spitze etwas öffnen. Danach werden die Ecken der seitlichen Dreiecke in diese Taschen geschoben. Anschließend alles flachdrücken.
8. Die Spitze muss jetzt so aussehen. Die Form wird gewendet.
9. An den gezeigten Stellen werden Talfalten angebracht.
10. Diese Rückfalze vervollständigen die Leitwerke.

(Krone, Papierfliegerei, S. 59 f.)

Literaturverzeichnis

Printmedien

Selbständig erschienene Werke

Dieter Michael Krone: Krones kleines Handbuch der Papierfliegerei.

Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag, 2007

Kenn Blackburn & Jeff Lammers: Papierflugzeuge – Weltrekorde zum nachbauen. New York: Workman Publishing Company, 1994

Henk Tennekes: Kolibris und Jumbojets – Die simple Kunst des Fliegens.

Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser, 1997

H. Schlichting & E. Truckenbrodt: Aerodynamik des Flugzeugs – Erster Band: Grundlagen aus der Strömungstechnik Aerodynamik des Tragflügels (Teil I).

3. Auflage Berlin: Springer, 2001

H. Schlichting & E. Truckenbrodt: Aerodynamik des Flugzeugs – Erster Band: Aerodynamik des Tragflügels (Teil II), des Rumpfes, der Flügel-Rumpf-

Anordnung und der Leitwerke. 3. Auflage Berlin: Springer, 2001

Unselbständig erschienene Werke

Der Traum vom FLIEGEN In: GEO lino extra. 2012 Heft Nr. 33

Online zur Verfügung gestellte Quellen

Webseiten

Papierflieger. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Papierflieger/> (Zugegriffen: 12. 4. 2014)

Spielkeks. URL: <http://spielkeks.de/index.php/papierflieger/articles/> (Zugegriffen: 20. 6. 2014)

Papierfliegerei. URL: <http://papierfliegerei.de/> (Zugegriffen: 23. 8. 2014)

Planophore. URL: <http://commons.wikimedia.org/wiki/Planophore> (Zugegriffen: 30. 10. 2014)

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Kräftezerlegung..... | 5 |
| Abbildung 2: verschiedene Gleichgewichtsmodelle..... | 5 |
| Abbildung 3: Papierflieger Koordinatensystem..... | 6 |
| Abbildung 4: Flugbahnen je nach Schwerpunkt..... | 7 |
| Abbildung 5: Draufsicht auf eine Heckflosse in unterschiedlichen Positionen zum Luftstrom..... | 8 |
| Abbildung 6: Tragflächen in V-Stellung..... | 9 |
| Abbildung 7: Planophore..... | 16 |
| Abbildung 8: Papierflugzeug von Edwards und Buttler mit Delta-Flügeln | 16 |
| Abbildung 9: Schematische Darstellung der Unterteilung von Fliegern..... | 19 |
| Abbildung 10: Adler..... | 20 |
| Abbildung 11: Hubschrauber..... | 22 |
| Abbildung 12: Albatros..... | 23 |
| Abbildung 13: McDonnell A4..... | 24 |
| Abbildung 14: Basic Dart..... | 25 |
| Abbildung 15: World Record Paper Airplane..... | 28 |
| Abbildung 16: Interceptor..... | 30 |
| Abbildung 17: F-22 Raptor..... | 31 |
| Abbildung 18: Eagle..... | 32 |
| Abbildung 19: Rocket..... | 33 |
| Abbildung 20: Phantom..... | 34 |
| Abbildung 21: Basic Dart A1-A6..... | 35 |
| Abbildung 22: Stundplane..... | 37 |
| Abbildung 23: Modell 1..... | 40 |

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Leonhard Alton, erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich diese vorwissenschaftliche Arbeit selbständig und ohne Hilfe Dritter verfasst habe. Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als Zitat mittels Harvard-Methode kenntlich gemacht und alle verwendeten Quellen im Literaturverzeichnis angegeben habe.

Dornbirn, 6. Januar 2015

Leonhard Alton e. h.