

Schüler experimentieren Projekt „Windschnittige Papierflieger“

Robin Luca Wolff

Kurzfassung

In meinem Projekt „Windschnittige Papierflieger“ geht es darum, wie lange, weit und schnell verschiedene Papierfliegermodelle fliegen. Sie unterscheiden sich in der Größe des Papiers und in dem Papiergewicht. Dabei baute ich jedes Modell in drei Gewichten und in zwei Größen. Ich kümmerte mich auch um die Genauigkeit, indem ich aus einer Sorte Papier mehrere Flieger gefaltet habe. Bei den Experimenten musste ich auf die passenden Bedingungen des Wetters achten. Ich habe für jeden Flieger die Flugzeit und die Flugstrecke als Luftlinie gemessen, errechnete daraus die Geschwindigkeit und filmte mit einer Videokamera die Flugkurve, um zu erkennen, wie windschnittig die Flieger sind. Die Daten wertete ich mit einem Computerprogramm aus und stelle sie als Diagramme dar, deren Bedeutung ich erkläre. Ich habe dabei herausgefunden, dass einfache Antworten auf meine Fragen „Welcher ist der schnellste Flieger?“ und „Wie baut man den besten Flieger?“ nicht allein durch diese wenigen Versuche zu finden sind. Aber etwas näher gekommen bin ich ihnen doch.

Inhalt

1. Einführung	3
2. Bekanntes über Papierflieger	3
3. Versuchsplanung	5
3.1. Welche Versuche beantworten meine Fragen?	5
3.2. Welches Material wähle ich?	6
3.3. Wann und wo mache ich meine Versuche?	6
3.4. Mögliche Fehlerquellen und ihre Bedeutung	6
4. Versuchsdurchführung.....	7
5. Ergebnisse und Diskussion	9
5.1. Auswirkung der verschiedenen Bauarten.....	11
5.2. Auswirkung des Papiergewichts	12
5.3. Auswirkung der Papiergröße	13
6. Zusammenfassung.....	14
7. Anhang.....	14
8. Quellenangaben.....	17

1. Einführung

In unserem Osterurlaub, als das Wetter richtig schlecht war und wir deshalb nur drinnen sein konnten, habe ich ein Papierfliegerbuch bekommen. Da ich schon immer gerne Sachen aus Papier gefaltet habe (Origami), konnte ich auch die schwierigeren Flieger aus den beigegefügt, bunt gemusterten Papieren bauen. Jeder Flieger sah anders aus und flog auf seine eigene Art. Trotz des schlechten Wetters hat mir der Urlaub dann doch noch richtig viel Spaß gemacht.

Als dann an meiner Schule eine Jugend forscht AG angeboten wurde, habe ich mich sofort an die Urlaubsflieger erinnert und mich gefragt, wie genau und wodurch die verschiedenen Fliegertypen sich beim Fliegen unterscheiden.

Nach dem Festlegen des Themas „Windschnittige Papierflieger“ habe ich überlegt, welche Fragen meine Grundfrage nach den Unterschieden der Flieger beantworten:

- Wie lange fliegen sie?
- Wie weit fliegen sie?
- Wie schnell sind sie?
- Welches Material ist am besten?
- Welche Form ist die beste?
- Welche Flugkurve haben sie?

Um herauszufinden, was es schon über Papierflieger gibt, habe ich eine Recherche gemacht. Dazu habe ich im Internet gesucht [1, 2, 4-6], mein Papierfliegerbuch [3] durchsucht und mich mit verschiedenen Menschen in meiner Familie unterhalten.

2. Bekanntes über Papierflieger

Bei meiner Internetrecherche über Papierflieger habe ich herausgefunden, dass es unglaublich viele Informationen und Dokumente gibt. Viele von diesen Informationen kann man auch als Schüler gut verstehen [5], leider widersprechen sie sich oft. Andere sind in Wissenschaftssprache geschrieben, die man als Schüler nicht versteht [2].

In meinem Papierfliegerbuch sind viele dieser Dinge in einer für Schüler verständlichen Sprache aufgeschrieben. Ich habe in der AG gelernt, dass dies so etwas wie ein „review“-Artikel in der Wissenschaft ist.

Also habe ich mich auf die Informationen aus dem Buch [3] und die aus dem Netz beschränkt, die gut verständlich waren und deren Meinungen übereinstimmen.

Außer Erklärungen gibt es unglaublich viele Faltanleitungen für total verschiedene Flieger, zum Beispiel in [5]. Sogar bei YouTube gibt es Filme darüber.

Außerdem kennt fast jeder Mensch, mit dem ich darüber gesprochen habe, selber eine Anleitung für einen Flieger, die er am besten findet. Manchmal sind das richtige Familientraditionen. Leider konnte ich diese nicht alle untersuchen, weil die Zeit dafür nicht gereicht hat.

Schon vor 2000 Jahren haben Menschen in China Papierspielzeug gebaut [4]. Beliebt waren die Drachenflieger. Die ersten gefalteten Papierflieger stammen auch aus China, aber erst aus dem 17. Jahrhundert [1].

Der europäische „Vater der Papierflieger“ war der Erfinder Leonardo da Vinci. Er hat die Flieger gefaltet, weil er die Luftfahrt erfinden wollte. Nach ihm haben noch viele andere Menschen, die sich für die Luftfahrt interessieren, Papierflieger als Modelle für die ersten echten Flugzeuge gebaut.

1909 gab es das erste Papierfliegerbuch: „Model Gliders“ von E. W. Twining und 1953 das erste in deutscher Sprache: „Das kleine Buch vom Papierflugzeug“ von Gerhard Katz. Seitdem fanden viele Leute, dass man Flieger auch einfach zum Spielen benutzen kann und heute gibt es sogar Papierfliegerwettbewerbe: Am 16. April findet zum Beispiel der „5th Annual Great Paper Airplane Fly-Off“ statt [6].

Auch wenn es viele Typen von Papierfliegern gibt, so verfügen doch fast alle über einige gleiche Merkmale. Abbildung 1 zeigt diese Elemente [3]:

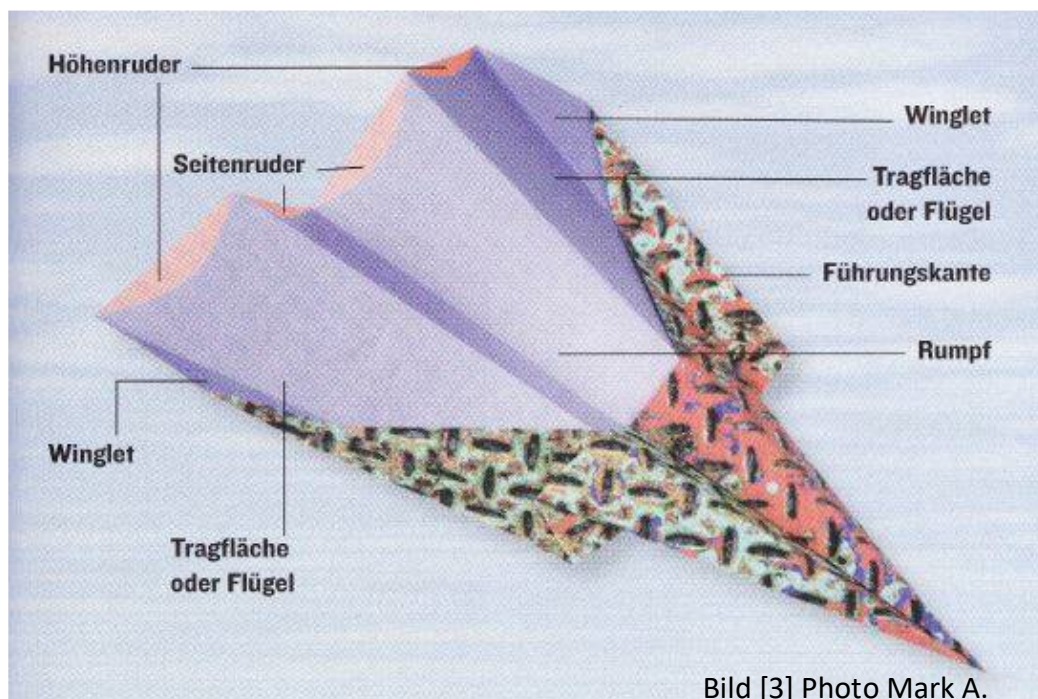


Abbildung 1 Regelmäßigkeit der Bauelemente

Trotz dieser Regelmäßigkeiten gibt es drei verschiedenen Grundarten: den Pfeil, den Gleiter und den Kunstflieger.

Pfeile sind Flieger, die man kräftig werfen muss und die dann schnell, gerade und weit fliegen. Sie bleiben nicht so lange in der Luft.

Gleiter sind Flieger, die sehr lange, aber dafür nicht so weit oder schnell fliegen. Wenn es keinen Wind gibt, fliegen sie geradeaus, aber mit Wind fliegen sie kreuz und quer. Das kommt daher, dass die Tragflächen sehr groß sind und sie der Wind daher besser packen kann.

Kunstflieger sind ganz besonders: Sie können entweder zur Wurfhand zurückkehren, Loopings fliegen oder andere Kunststücke.

Alle Flieger haben direkt nach dem Falten ihre Grundform. Aber diese kann man verändern, indem man am Heck die Stellen für Höhenruder oder Seitenruder knickt oder die normalen Falten wieder etwas öffnet oder stärker schließt. Das nennt man „trimmen“ und man macht es entweder, damit die Flieger besser geradeaus fliegen oder besser Kurven fliegen.

Man kann auch an bestimmten Stellen Gewichte (Münzen, Holzstückchen usw.) anbringen, aber das ist untypisch für das klassische Origami.

Auch kleben und schneiden gehört bei vielen Anleitungen dazu, aber das ist auch unklassisch für Origami.

Ich habe Flieger ausgesucht, bei denen dies nicht so ist, die also reine Falttechnik sind.

3. Versuchsplanung

3.1. Welche Versuche beantworten meine Fragen?

Die Frage „Wie lange fliegt ein Flieger?“ kann ich beantworten, indem ich den Flieger werfe und die Zeit mit einer Stoppuhr stoppe, bis er den Boden berührt. Ich erwarte, dass die Pfeile nicht so lange fliegen wie die Gleiter und die Kunstflieger.

Die Frage „Wie weit fliegt ein Flieger?“ kann ich beantworten, indem ich den Flieger werfe und den Abstand zwischen mir und dem Punkt, an dem er den Boden berührt, mit einem Zollstock ausmesse. Ich erwarte, dass die Pfeile am weitesten fliegen, während die Gleiter nicht ganz so weit fliegen. Die Kunstflieger kann man so nicht messen, da sie zum Teil ja sogar wieder zu einem zurückkehren sollen.

Die Frage „Wie schnell fliegt ein Flieger?“ kann ich beantworten, indem ich die Ergebnisse aus der Flugweite und der Dauer dividiere und so eine Geschwindigkeit erhalte. Ich erwarte, dass die Pfeile am schnellsten fliegen und Gleiter nicht so schnell.

Um zu sehen, welches Material das Beste ist, baue ich Flieger in gleicher Form und verschiedenen Materialien und messe die drei Größen (Weite, Dauer, Geschwindigkeit). Dadurch bekomme ich die Unterschiede heraus.

Um zu sehen, welche Form die Beste ist, nehme ich mir aus jeder Kategorie drei Formen, baue diese alle aus dem gleichen Material und messe wieder die drei Größen. So sehe ich die Unterschiede in den Formen.

Die Flugkurven filme ich, um zu schauen, wie sie sich im Flug verhalten. Vor allem, um zu überprüfen, ob sie gerade fliegen, weil ich sonst die Strecke nicht so messen kann, wie ich es vorhabe.

3.2. Welches Material wähle ich?

Ich habe am Anfang überlegt, die Flieger aus dicker Pappe, dünnem Karton und normalem Papier zu bauen. Dann bin ich aber zu dem Schluss gekommen, dass ich besser keine Pappe, sondern nur verschiedene Papierstärken oder -gewichte verwende. Pappe ist zu biegefest, um zu Fliegern gefaltet zu werden. Wenn ich Karton oder Pappe nehmen möchte, müsste ich sie mit Kleber fixieren. Da ich nur echtes Origami falten möchte, kann ich das nicht machen.

Ich habe Papier im DIN A3-Format in drei verschiedenen Gewichten (70, 90, 100g/m²) genommen. Um auch noch verschiedene Größen vergleichen zu können, habe ich noch 70g/m²-Papier in DIN A4 dazu genommen. Das macht erst einmal pro Modell vier Flieger.

3.3. Wann und wo mache ich meine Versuche?

Eigentlich wollte ich die Versuche draußen auf der Straße vor dem Haus machen, weil ich mir meine Linien für Abwurf und Weite mit Kreide auf die Straße malen wollte. Außerdem ist die Straße immer da, sodass ich immer mal zwischendurch ein paar Flüge werfen kann. Dies habe ich nur einmal versucht, aber dann gemerkt, dass der Wind, der bei uns auf dem Hügel weht, eine große Rolle spielt und meine Ergebnisse negativ beeinflusst.

Deshalb habe ich meine Versuche drinnen gemacht. Unser Küster hat uns erlaubt, im Gemeindezentrum diese Versuche durchzuführen. Da ich deshalb nur eine begrenzte Zeit zur Verfügung hatte, musste ich mein Versuchsprogramm von neun Arten (je drei Pfeile, Gleiter, Kunstflieger) auf drei Arten von Fliegern verringern: Ich habe nur Pfeile genommen, weil ich nur eine Gruppe zum Vergleichen haben wollte. Nächstes Jahr würde ich dann vielleicht die Gleiter untersuchen und sie mit den Pfeilen vergleichen. Das macht bis hier zwölf Flieger.

3.4. Mögliche Fehlerquellen und ihre Bedeutung

Bei meinen Papierarten gibt es leider nicht allzu große Unterschiede im Gewicht. Das könnte dazu führen, dass man in den Ergebnissen keine ganz große Variation sieht. Um das zu ändern, hatte ich gedacht, dass ich die verschiedenen Papiere doppelt nehme, um einen größeren

Unterschied zu erreichen. Aber ich habe erkannt, dass ich dann das gleiche Problem hätte, wie mit Pappe oder Karton.

Um die kleinen Unterschiede vielleicht doch zu sehen, und weil ja auch Faltunterschiede passieren können, wenn man einen Flieger mehrmals baut, habe ich meine Grundflieger von jeder Art (DIN A4, 70g/m²) dreimal gebaut. Das sind dann 18 Flieger.

Außerdem können ja auch noch beim Abwurf Unterschiede dazu kommen, deshalb lasse ich jeden Flieger zehnmal fliegen. Also werden es mindestens 180 Flüge, falls jeder klappt, was bedeutet, dass Weite und Dauer gemessen werden können.

Um aus diesen vielen Messungen mit ihren Unterschieden und kleinen Fehlern etwas erkennen zu können, das man vergleichen kann, verwende ich die statistischen Methoden „Box-Plot“ und „Mittelwert“.

4. Versuchsdurchführung

Zuerst habe ich alle 18 Flieger aus den oben genannten Papieren gefaltet. Die Anleitungen können aus urheberrechtlichen Gründen leider nicht gezeigt werden [3]. Tabelle 1 zeigt, welche Typen in welchem Modell und aus welchem Papier erstellt wurden.

Ich habe meine Basisflieger (DIN A4-Papier, 70 g/m²) für jedes Modell dreimal, ohne einzelne Trimmung, gefaltet. Ich wollte sehen, wie sich Faltungenauigkeiten auswirken. Dann habe ich noch aus den drei DIN A3-Papieren (70, 90, 100 g/m²) je einen Flieger pro Modell gefaltet. Damit hatte ich sechs Flieger für jedes Modell: drei verschiedene Gewichte und zwei verschiedene Größen.

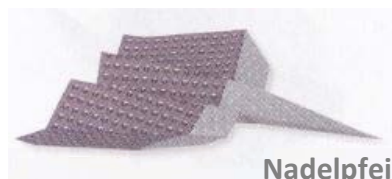
Die Flieger der Modelle habe ich mit einer Nummer y.x versehen: Klassische Pfeile heißen 1.x, Nadelpfeile heißen 2.x und Rekord YZ heißen 3.x.

Die zweite Stelle der Modellnummer, x, kommt von der Papiergröße und dem Gewicht. Die Basisflieger heißen y.1-3, die DIN A3/70 g/m² heißen y.4, die DIN A3/90 g/m² heißen y.5 und die DIN A3/100 g/m² heißen y.6.

Die Modellnummern y.0 und y.7 sind Gruppennummern: Für die Messwerte von y.0 habe ich die Werte der drei Basisflieger zusammengenommen und für y.7 habe ich alle Werte eines Modells zusammengenommen.



Klassischer Pfeil



Nadelpfeil



Rekord YZ

Bilder [3] Photos Mark A. Gore

Flieger-Daten-Zuordnung					
Sorte	Nr.	Papiergewicht	Papiergröße	Anmerkung	Wertung?
Klassischer Pfeil	1.0	70 g/m ²	A4	alle Werte A4/70g/m ² : 30Stck	
	1.1	70 g/m ²	A4	Basisflieger	ja
	1.2	70 g/m ²	A4	Basisflieger	ja
	1.3	70 g/m ²	A4	Basisflieger	ja
	1.4	70 g/m ²	A3		ja
	1.5	90 g/m ²	A3		ja
	1.6	100 g/m ²	A3		ja
	1.7	-	-	alle Werte Klassischer Pfeil	
Nadelpfeil	2.0	70 g/m ²	A4	alle Werte A4/70g/m ² : 20Stck	
	2.1	70 g/m ²	A4	Basisflieger	ja
	2.2	70 g/m ²	A4	Basisflieger	nein
	2.3	70 g/m ²	A4	Basisflieger	ja
	2.4	70 g/m ²	A3		ja
	2.5	90 g/m ²	A3		ja
	2.6	100 g/m ²	A3		ja
	2.7	-	-	alle Werte Nadelpfeil	
Rekord YZ (Pfeil)	3.0	70 g/m ²	A4	alle Werte A4/70g/m ² : 20Stck	
	3.1	70 g/m ²	A4	Basisflieger	ja
	3.2	70 g/m ²	A4	Basisflieger	ja
	3.3	70 g/m ²	A4	Basisflieger	nein
	3.4	70 g/m ²	A3		ja
	3.5	90 g/m ²	A3		ja
	3.6	100 g/m ²	A3		ja
	3.7	-	-	alle Werte Rekord YZ (Pfeil)	

Tabelle 1 Flieger, Typen, Papiere

Im Anschluss kamen die Flugversuche:

In dem Gemeindesaal, den ich nutzen durfte, habe ich mir eine Flugbahn mit Zollstöcken gelegt. Vorne, am Abwurfpunkt, habe ich erst bei eigentlich 60 cm Abstand meine Null-Linie gelegt. Diese 60 cm sind die Länge, gemessen von meinem Arm bis zur Fingerspitze über die Fußlinie (Abwurfpunkt). Erst da lasse ich ja den Flieger los. An der Stelle fangen dann rechts und links von der Flugbahn die Zollstöcke für die Messung der Weite an.

Weil ich nicht gleichzeitig werfen, den Landepunkt sehen und die Zeit stoppen konnte, habe ich mir einen Helfer gesucht, der die Zeit gestoppt hat. Es war auch gut, jemanden zu haben, der mit mir die Landung beobachtet hat, weil der Boden im Raum sehr glatt war und die Flieger bei der Landung noch weit gerutscht sind. Ich wollte aber den ersten Bodenpunkt bestimmen, weil das die eigentliche Flugweite ist.

Ich habe immer alle Würfe mit einem Modell hintereinander gemacht. Dabei habe ich festgestellt, dass zwei meiner Flieger sich total anders verhalten haben, als die anderen ihrer Gruppe: 2.2 und 3.3. Diese verhielten sich erstaunlicherweise wie Kunstflieger. Besonders gut sah man das in den Filmen von den Flugkurven. Durch dieses seltsame Verhalten konnte ich diese Flieger nicht messen und deshalb auch nicht werten.

5. Ergebnisse und Diskussion

Am Ende meiner Flugversuche hatte ich 160 Messdaten von 16 Fliegern in drei Modellen. Die reinen Messdatentabellen (Tabellen 2-4) stehen im Anhang.

Diese Daten habe ich mit den statistischen Methoden „Box-Plot“ und „Mittelwert“ untersucht. Die Tabellen mit den statistischen Daten (Tabellen 5-7) stehen im Anhang hinter den Einzeldaten und die Abbildungen 2-4 zeigen die Box-Plots für jedes Modell:

Schon bei der Auswertung der Klassischen Pfeile habe ich gesehen, dass die Flieger nicht so gleichmäßig fliegen, wie ich dachte. Mein Messfehler für die Weite war etwa 10-20 cm und im besten Fall zeigt der Box-Plot aber eine Ungenauigkeit für die Wiederholung von 50 cm. Der echte Messfehler spielt also keine große Rolle. Bei der Flugdauer ist es hingegen umgekehrt: Der Messfehler ist etwa eine Sekunde, aber der Box-Plot zeigt eine Genauigkeit in der Wiederholung von weniger als einer Sekunde. Die Flugdauer ist also gleichmäßiger, als die Weite.

Da in die Berechnung der Geschwindigkeit beide Messwerte, Dauer und Weite, eingehen und beide einen Fehler haben, ist der Fehler in der Geschwindigkeit umso größer. Das sieht man auch im Box-Plot. Die „Box“ zeigt den Bereich, in dem die Hälfte aller Werte liegt. Ein Viertel liegt darüber beziehungsweise darunter. Je kleiner die Box, desto besser gelingt der Versuch.

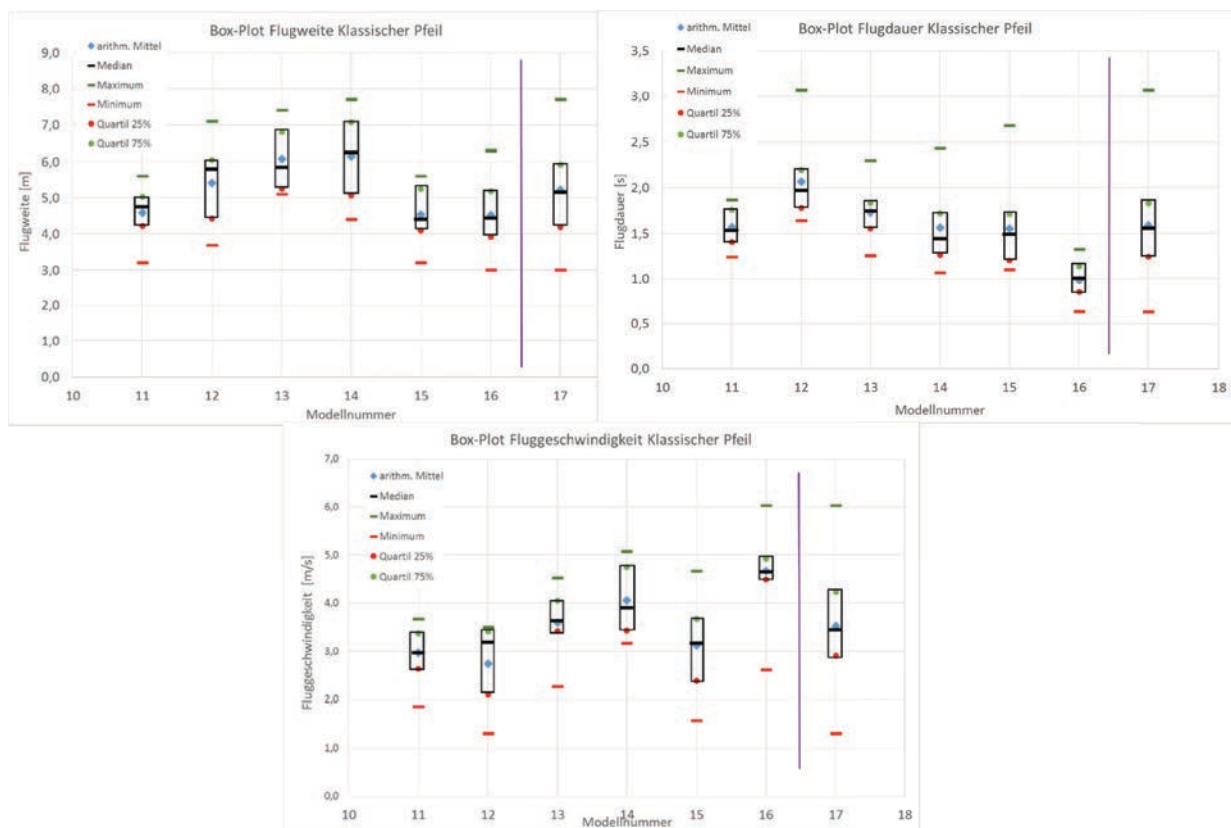


Abbildung 2 Box-Plot Weite, Dauer & Geschwindigkeit – Klassische Pfeile

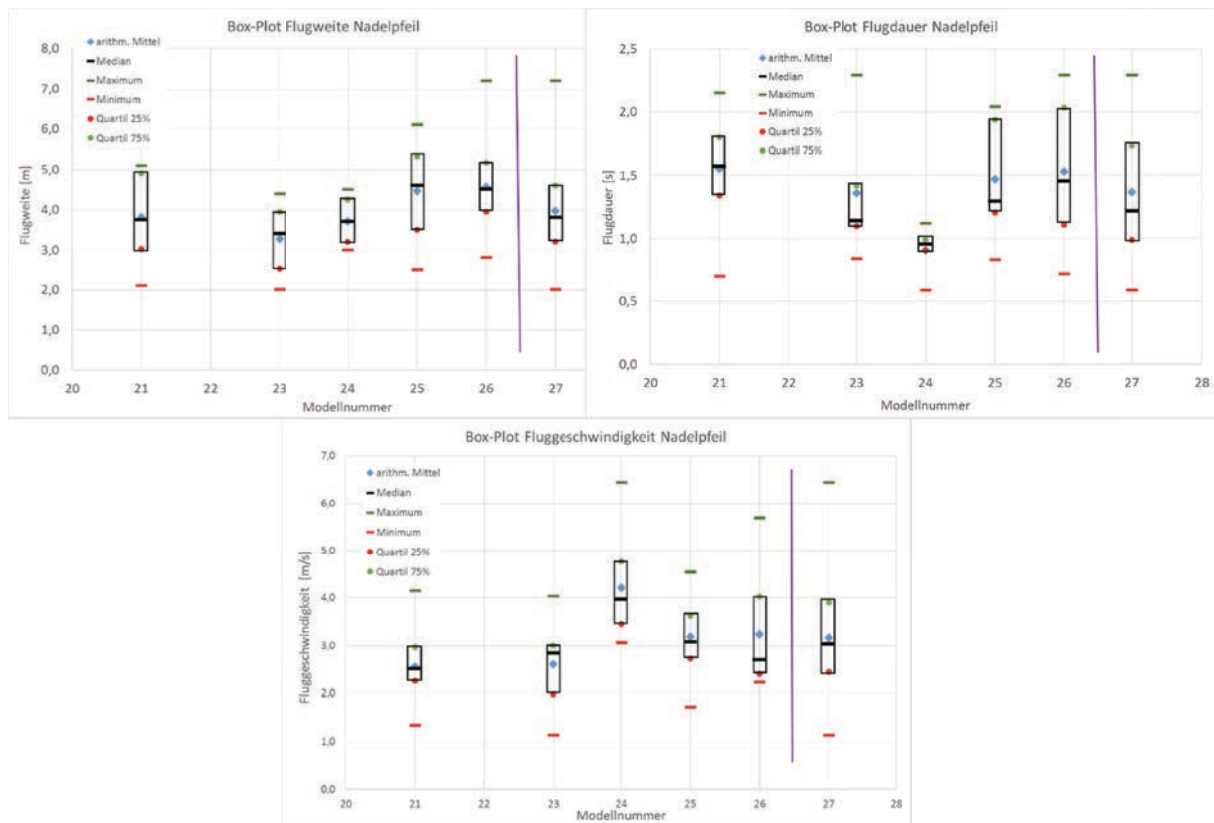


Abbildung 3 Box-Plot Weite, Dauer & Geschwindigkeit – Nadelpfeile

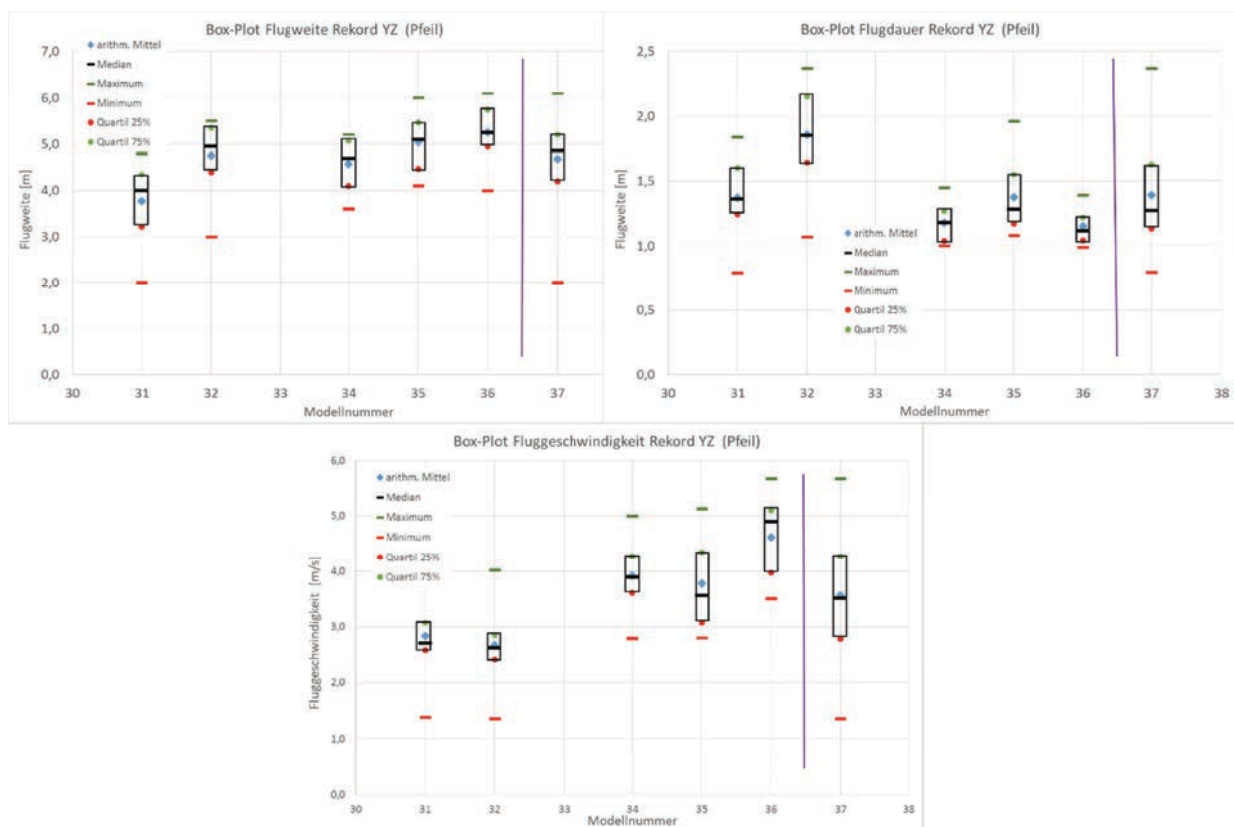


Abbildung 4 Box-Plot Weite, Dauer & Geschwindigkeit – Rekord YZ (Pfeil)

5.1. Auswirkung der verschiedenen Bauarten

Um zu sehen, welche Auswirkungen die Bauart der Pfeile auf den Flug hat, habe ich nur die statistischen Daten der jeweils drei Basisflieger (3x3, DIN A4/70 g/m²) verwendet und in Box-Plots gezeigt. Dabei habe ich die Minimal- und Maximalwerte herausgenommen und Box-Plots ohne „Antennen“ gemacht. Abbildung 5 zeigt diese Plots.

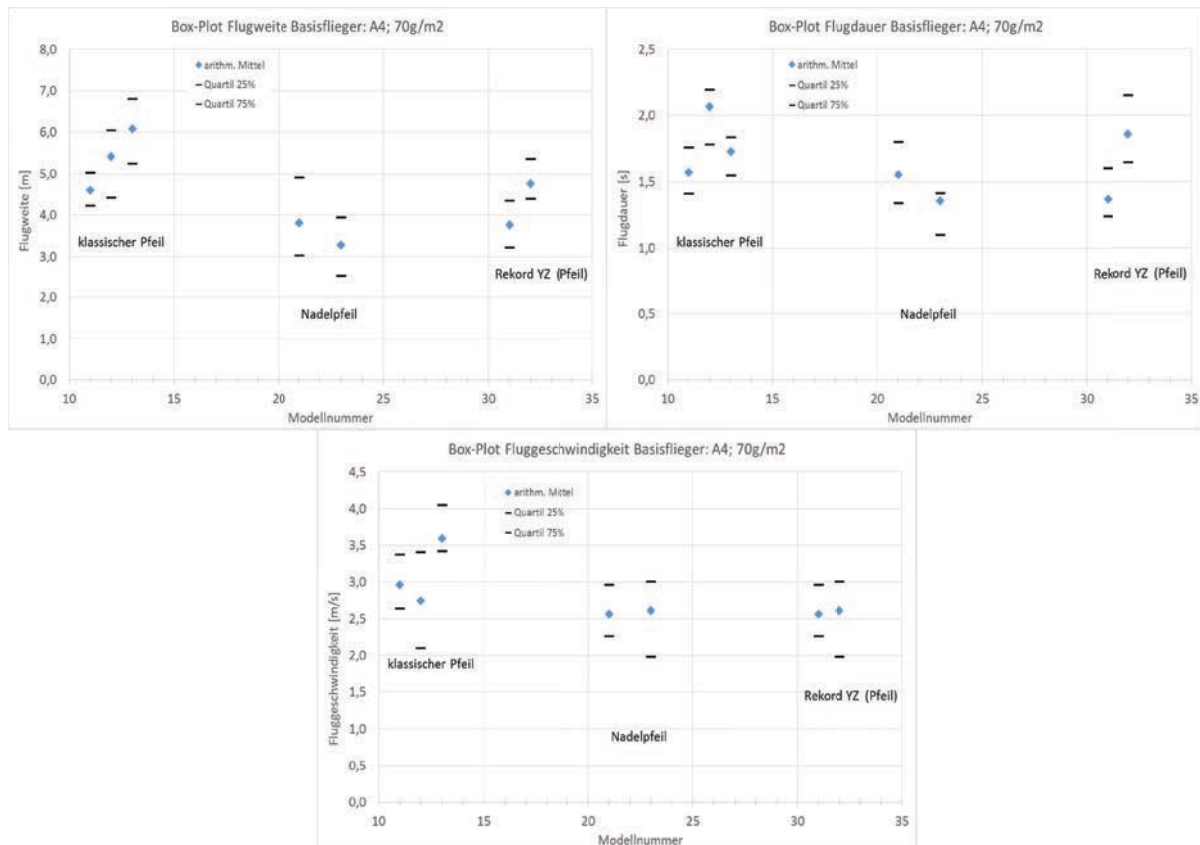


Abbildung 5 Box-Plot Modellvergleich

Ich habe gesehen, dass die Nadelpfeile und die Rekord YZs ungefähr gleich weit und gleich lange fliegen. Die Klassischen Pfeile fliegen etwas weiter als die anderen, bleiben aber auch nicht länger in der Luft. Also ist ihre Geschwindigkeit etwas höher. Wenn ich dann an die Messfehler denke, merke ich, dass dieses Ergebnis nicht ganz deutlich ist.

Um die Messfehler kleiner und damit die Ergebnisse klarer zu machen, müsste man vielleicht mit einer Abwurfmaschine mit Lichtschranke am Start und Sensor bei der Landung (zum Beispiel IR-Mindstorms) arbeiten, um den Fehler im Experiment zu verringern. Außerdem müsste man noch deutlich genauer falten, um die Unterschiede zwischen Fliegern von einem Modell zu reduzieren. Dies gilt auch für alle folgenden Auswertungen.

5.2. Auswirkung des Papiergewichts

Um zu sehen, welche Auswirkungen die Papierstärke der Pfeile auf den Flug hat, habe ich nur die statistischen Daten der jeweils drei DIN A3-Flieger (3x3, 70/90/100 g/m²) verwendet und in Box-Plots gezeigt. Auch jetzt habe ich die Minimal- und Maximalwerte herausgenommen. Abbildung 6 zeigt diese Plots.

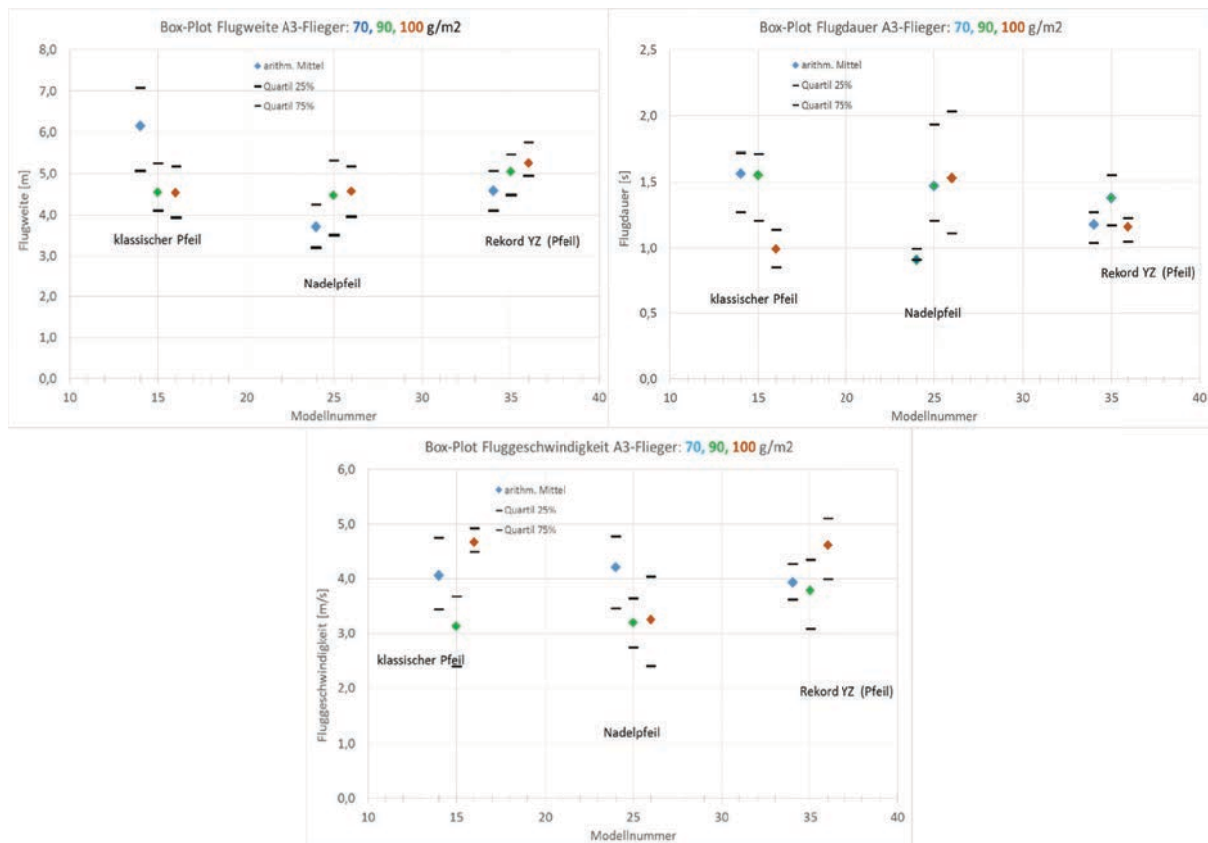


Abbildung 6 Box-Plot Gewichtsvergleich (bunt!)

Ich habe gesehen, dass beim Klassischen Pfeil der schwerste Flieger, wie ich vermutet habe, am wenigsten weit fliegt. Das schwere Papier drückt den Flieger nach unten. Aber bei dem Nadelpfeil und dem Rekord YZ ist es genau umgekehrt, die schweren fliegen weiter. Das könnte man sich so erklären, dass das schwerere Papier, vor allem bei der Papiergröße DIN A3, mehr Stabilität gibt, als das „labbrigere“ leichte, dünne Papier.

Bei den Ergebnissen für die Flugzeit kann man leider nicht viel erkennen, trotz statistischer Auswertung. Deshalb nützen auch die Geschwindigkeitsberechnungen nicht viel für die Auswertung. Auch hier würden dieselben Dinge helfen, den Fehler zu verringern, wie bei dem Modellvergleich oben.

5.3. Auswirkung der Papiergröße

Um zu sehen, welche Auswirkungen die Papiergröße der Pfeile auf den Flug hat, habe ich nur die statistischen Daten der jeweils die vier 70g/m²-Flieger (3x DIN A4, 1x DIN A3) genommen und in Box-Plots gezeigt. Dabei habe ich für die jeweils 3x DIN A4-Flieger die Gruppenwerte y.0 genommen (siehe Tabelle 1). Auch jetzt habe ich die Minimal- und Maximalwerte herausgenommen. Abbildung 7 zeigt diese Plots.

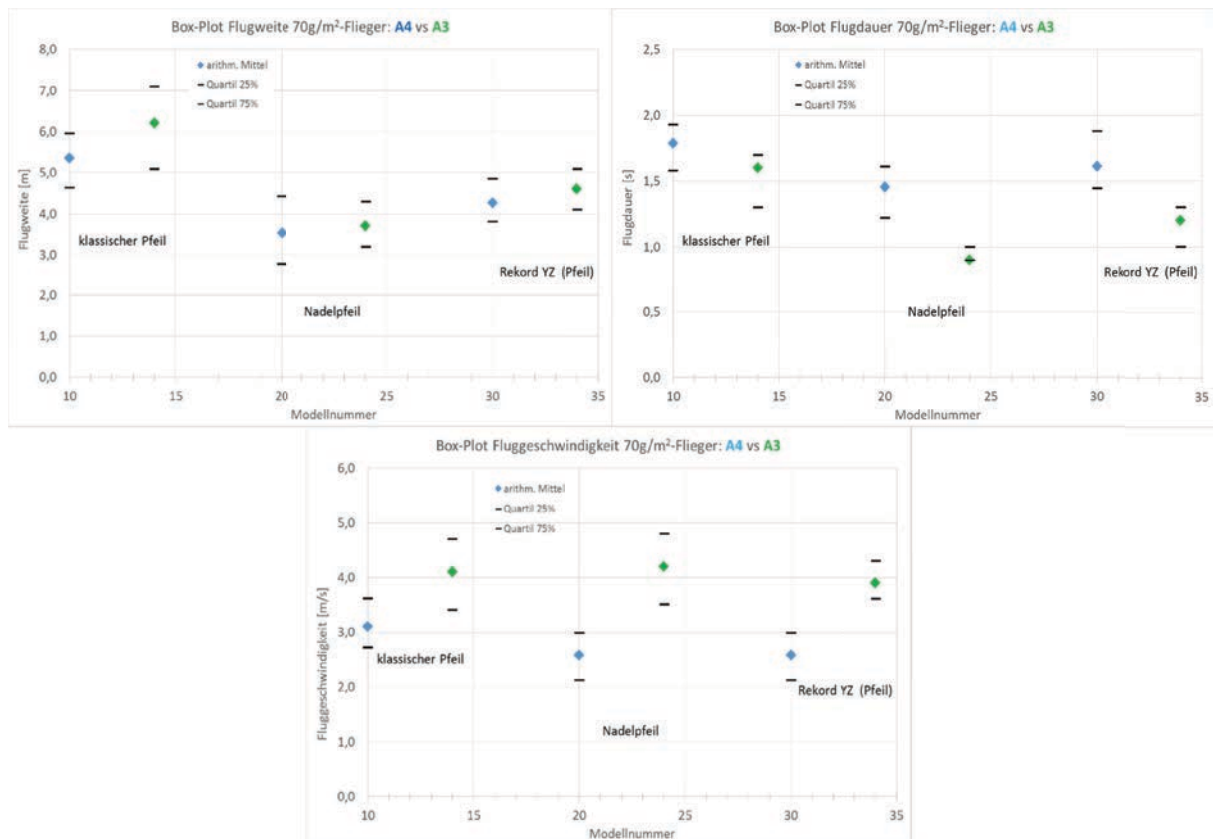


Abbildung 7 Box-Plot Größenvergleich (bunt!)

Hier sehe ich richtige Unterschiede zwischen Modellen und den Papiergrößen:

Der Klassische Pfeil fliegt in DIN A3 und in DIN A4 weiter als die anderen vier Typen. Aber bei allen drei Modellen erkenne ich, dass der größere DIN A3-Flieger etwas weiterfliegt, als der passende DIN A4-Flieger. Bei der Flugdauer besteht kaum ein Unterschied zwischen den Modellen, zwischen den Größen jedoch schon. Die kleineren DIN A4-Flieger fliegen deutlich länger als die größeren DIN A3-Flieger. Für die Geschwindigkeit sieht man, dass die DIN A3-Flieger viel schneller fliegen, als die DIN A4-Flieger.

6. Zusammenfassung

Ich habe die Flugweite, die Flugdauer und die Geschwindigkeit von 16 Papierfliegern in drei Modellen aus vier Papiersorten gemessen und statistisch ausgewertet. Dabei habe ich gemerkt, dass das nicht so einfach und gleichmäßig ist, wie ich gedacht habe. Es gibt viele Dinge, die ich an meinen Versuchen noch verbessern könnte, um Daten mit weniger Fehlern zu bekommen. Die könnte ich dann auch besser für meine Frage auswerten, welcher Flieger der Beste ist oder wie man den besten Flieger bauen müsste.

Aber meine Versuche haben doch auch etwas deutlich gemacht: Wenn man Flieger bauen will, die schnell und weit fliegen, dann muss man größeres Papier, also DIN A3 statt DIN A4, nehmen. Außerdem muss man dann möglichst schweres, stabiles Papier verwenden. Eigentlich kann ich das aber nur für die Gruppe der Pfeile sagen, weil ich die anderen noch nicht damit vergleichen konnte. Die Faltweise, also das Modell, ist bei den Pfeilen nicht ganz so wichtig. Zumindest nicht bei den Dreien, die ich untersucht habe. Trotzdem fliegt der Klassische Pfeil etwas besser.

Also ist bei mir ein Klassischer Pfeil, gefaltet aus 100g/m² schwerem DIN A3-Papier der beste Flieger!

7. Anhang

Messwerte

Flugweite [m]										
Modell/Wurf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	4,3	3,9	4,8	4,2	3,2	4,7	5,1	4,8	5,4	5,6
12	4,2	5,8	3,7	4,0	6,1	5,1	5,9	7,1	6,4	5,8
13	5,2	5,1	5,2	5,7	6,8	7,2	6,0	6,8	7,4	5,4
14	4,4	4,9	7,1	5,6	4,7	7,6	6,4	7,0	7,7	6,1
15	4,1	4,2	5,6	3,2	4,1	4,6	3,9	5,3	5,3	5,1
16	4,1	3,9	3,8	5,3	6,3	3,0	4,0	4,8	5,3	4,8
17										
Flugdauer [s]										
Modell/Wurf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	1,41	1,50	1,84	1,24	1,73	1,41	1,39	1,77	1,87	1,57
12	2,10	1,66	2,23	3,07	1,87	1,64	1,76	2,07	1,85	2,42
13	1,52	1,33	2,30	1,26	1,82	1,74	1,75	1,65	2,10	1,84
14	1,07	1,50	1,55	1,14	1,27	2,25	1,78	1,38	2,43	1,27
15	1,16	2,68	1,20	1,10	1,82	1,64	1,74	1,43	1,55	1,22
16	0,84	0,87	0,63	0,95	1,33	1,15	0,81	1,06	1,16	1,10
17										
Geschwindigkeit [m/s]										
Modell/Wurf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	3,0	2,6	2,6	3,4	1,8	3,3	3,7	2,7	2,9	3,6
12	2,0	3,5	1,7	1,3	3,3	3,1	3,4	3,4	3,5	2,4
13	3,4	3,8	2,3	4,5	3,7	4,1	3,4	4,1	3,5	2,9
14	4,1	3,3	4,6	4,9	3,7	3,4	3,6	5,1	3,2	4,8
15	3,5	1,6	4,7	2,9	2,3	2,8	2,2	3,7	3,4	4,2
16	4,9	4,5	6,0	5,6	4,7	2,6	4,9	4,5	4,6	4,4

Tabelle 2 Messdaten der Versuche Klassischer Pfeil

Flugweite [m]										
Modell/Wurf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	3,8	2,9	2,1	2,5	5,0	4,6	3,7	5,0	5,1	3,4
23	2,0	4,0	2,5	4,3	3,4	2,4	3,8	3,4	2,6	4,4
24	4,5	3,2	3,8	3,1	3,0	3,2	3,8	4,4	3,6	4,5
25	2,5	6,1	5,1	6,0	3,4	4,2	3,8	5,0	3,2	5,4
26	5,4	4,4	3,0	5,2	7,2	4,1	2,8	3,9	4,6	5,1
27										
Flugdauer [s]										
Modell/Wurf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	1,43	0,70	1,24	1,86	1,62	2,07	1,53	1,63	2,15	1,31
23	1,14	2,29	2,21	1,41	1,13	0,84	1,42	1,14	0,92	1,09
24	0,94	1,00	1,00	0,64	0,98	0,96	0,59	1,12	0,90	0,95
25	0,83	1,96	1,19	1,32	0,91	1,27	1,25	2,04	1,86	2,04
26	2,26	1,19	1,04	2,13	1,74	0,72	1,11	1,72	1,11	2,29
Geschwindigkeit [m/s]										
Modell/Wurf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	2,7	4,1	1,7	1,3	3,1	2,2	2,4	3,1	2,4	2,6
23	1,8	1,7	1,1	3,0	3,0	2,9	2,7	3,0	2,8	4,0
24	4,8	3,2	3,8	4,8	3,1	3,3	6,4	3,9	4,0	4,7
25	3,0	3,1	4,3	4,5	3,7	3,3	3,0	2,5	1,7	2,6
26	2,4	3,7	2,9	2,4	4,1	5,7	2,5	2,3	4,1	2,2

Tabelle 3 Messdaten der Versuche Nadelpfeil

Flugweite [m]										
Modell/Wurf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	2,0	3,0	3,3	3,2	4,1	4,8	4,4	3,9	4,2	4,8
32	5,4	5,4	5,5	3,0	5,1	5,2	4,7	4,2	4,3	4,8
34	5,2	4,9	4,4	4,0	3,6	5,1	4,0	4,5	5,0	5,1
35	5,5	5,4	4,2	5,8	6,0	4,1	5,1	4,3	5,0	5,1
36	5,2	6,1	4,8	4,0	4,9	5,9	5,3	6,0	5,1	5,3
37										
Flugdauer [s]										
Modell/Wurf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	1,44	1,24	1,28	0,79	1,07	1,84	1,62	1,25	1,56	1,63
32	1,94	2,16	1,63	2,20	2,13	2,37	1,63	1,69	1,07	1,76
34	1,21	1,45	1,15	1,13	1,29	1,21	1,01	1,01	1,00	1,33
35	1,96	1,67	1,08	1,13	1,22	1,34	1,21	1,41	1,60	1,16
36	0,99	1,19	1,09	1,14	1,39	1,04	1,38	1,23	1,04	1,05
37										
Geschwindigkeit [m/s]										
Modell/Wurf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	1,4	2,4	2,6	4,1	3,8	2,6	2,7	3,1	2,7	2,9
32	2,8	2,5	3,4	1,4	2,4	2,2	2,9	2,5	4,0	2,7
34	4,3	3,4	3,8	3,5	2,8	4,2	4,0	4,5	5,0	3,8
35	2,8	3,2	3,9	5,1	4,9	3,1	4,2	3,0	3,1	4,4
36	5,3	5,1	4,4	3,5	3,5	5,7	3,8	4,9	4,9	5,0

Tabelle 4 Messdaten der Versuche Rekord YZ (Pfeil)

Statistische Daten

Box-Plot-Daten Flugweite						
Flieger	arithm. Mittel	Median	Maximum	Minimum	Quartil 25%	Quartil 75%
11	4,6	4,8	5,6	3,2	4,2	5,0
12	5,4	5,8	7,1	3,7	4,4	6,1
13	6,1	5,9	7,4	5,1	5,3	6,8
14	6,2	6,3	7,7	4,4	5,1	7,1
15	4,5	4,4	5,6	3,2	4,1	5,3
16	4,5	4,5	6,3	3,0	3,9	5,2
17	5,2	5,2	7,7	3,0	4,2	5,9
Box-Plot-Daten Flugdauer						
Flieger	arithm. Mittel	Median	Maximum	Minimum	Quartil 25%	Quartil 75%
11	1,6	1,5	1,9	1,2	1,4	1,8
12	2,1	2,0	3,1	1,6	1,8	2,2
13	1,7	1,7	2,3	1,3	1,6	1,8
14	1,6	1,4	2,4	1,1	1,3	1,7
15	1,6	1,5	2,7	1,1	1,2	1,7
16	1,0	1,0	1,3	0,6	0,8	1,1
17	1,6	1,6	3,1	0,6	1,2	1,8
Box-Plot-Daten Fluggeschwindigkeit						
Flieger	arithm. Mittel	Median	Maximum	Minimum	Quartil 25%	Quartil 75%
11	3,0	3,0	3,7	1,8	2,6	3,4
12	2,7	3,2	3,5	1,3	2,1	3,4
13	3,6	3,6	4,5	2,3	3,4	4,0
14	4,1	3,9	5,1	3,2	3,4	4,7
15	3,1	3,2	4,7	1,6	2,4	3,7
16	4,7	4,7	6,0	2,6	4,5	4,9
17	3,5	3,4	6,0	1,3	2,9	4,2

Tabelle 5 Statistische Daten der Versuche Klassischer Pfeil

Box-Plot-Daten Flugweite						
Flieger	arithm. Mittel	Median	Maximum	Minimum	Quartil 25%	Quartil 75%
21	3,8	3,8	5,1	2,1	3,0	4,9
23	3,3	3,4	4,4	2,0	2,5	4,0
24	3,7	3,7	4,5	3,0	3,2	4,3
25	4,5	4,6	6,1	2,5	3,5	5,3
26	4,6	4,5	7,2	2,8	4,0	5,2
27	4,0	3,8	7,2	2,0	3,2	4,6
Box-Plot-Daten Flugdauer						
Flieger	arithm. Mittel	Median	Maximum	Minimum	Quartil 25%	Quartil 75%
21	1,6	1,6	2,2	0,7	1,3	1,8
23	1,4	1,1	2,3	0,8	1,1	1,4
24	0,9	1,0	1,1	0,6	0,9	1,0
25	1,5	1,3	2,0	0,8	1,2	1,9
26	1,5	1,5	2,3	0,7	1,1	2,0
27	1,4	1,2	2,3	0,6	1,0	1,7
Box-Plot-Daten Fluggeschwindigkeit						
Flieger	arithm. Mittel	Median	Maximum	Minimum	Quartil 25%	Quartil 75%
21	2,6	2,5	4,1	1,3	2,3	3,0
23	2,6	2,8	4,0	1,1	2,0	3,0
24	4,2	4,0	6,4	3,1	3,5	4,8
25	3,2	3,1	4,5	1,7	2,7	3,6
26	3,2	2,7	5,7	2,2	2,4	4,0
27	3,2	3,0	6,4	1,1	2,4	3,9

Tabelle 6 Statistische Daten der Versuche Nadelpfeil

	Box-Plot-Daten Flugweite					
Flieger	arithm. Mitte	Median	Maximum	Minimum	Quartil 25%	Quartil 75%
31	3,8	4,0	4,8	2,0	3,2	4,4
32	4,8	5,0	5,5	3,0	4,4	5,4
34	4,6	4,7	5,2	3,6	4,1	5,1
35	5,1	5,1	6,0	4,1	4,5	5,5
36	5,3	5,3	6,1	4,0	5,0	5,8
37	4,7	4,9	6,1	2,0	4,2	5,2
	Box-Plot-Daten Flugdauer					
Flieger	arithm. Mitte	Median	Maximum	Minimum	Quartil 25%	Quartil 75%
31	1,4	1,4	1,8	0,8	1,2	1,6
32	1,9	1,9	2,4	1,1	1,6	2,2
34	1,2	1,2	1,5	1,0	1,0	1,3
35	1,4	1,3	2,0	1,1	1,2	1,6
36	1,2	1,1	1,4	1,0	1,0	1,2
37	1,4	1,3	2,4	0,8	1,1	1,6
	Box-Plot-Daten Fluggeschwindigkeit					
Flieger	arithm. Mitte	Median	Maximum	Minimum	Quartil 25%	Quartil 75%
31	2,8	2,7	4,1	1,4	2,6	3,1
32	2,7	2,6	4,0	1,4	2,4	2,9
34	3,9	3,9	5,0	2,8	3,6	4,3
35	3,8	3,6	5,1	2,8	3,1	4,4
36	4,6	4,9	5,7	3,5	4,0	5,1
37	3,6	3,5	5,7	1,4	2,8	4,3

Tabelle 7 Statistische Daten der Versuche Rekord YZ (Pfeil)

8. Quellenangaben

Die Internetseiten wurden alle in der zweiten Januarwoche 2016 noch einmal aufgerufen, um sicher zu sein, dass sie noch aktuell sind.

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Papierflieger>
- [2] <http://www.papierfliegerei.de>
- [3] Jeffrey Rutzky, *Papierfliegerset*, Bassermann Verlag, 2011, ISBN 978-3-8094-2831-2
- [4] <http://brain.exp.univie.ac.at/ypapierflieger/papfs.htm>
- [5] <http://www.spielkeks.de/index.php/papierflieger.html>
- [6] <http://www.greatpaperairplane.org/>

Unterstützerleistungen:

- Karl Grebe; Küster der evangelischen Kirchengemeinde Hückeswagen
Bereitstellung des Gemeindesaals für die Experimente
- Dr. Silke Wolff; Betreuerin der Jugend forscht AG am Erzbischöflichen St. Angela-Gymnasium
Zeitmessung und beobachtende Unterstützung der Flugexperimente
Hilfe und Erklärung bei der EDV (Excel/Word) und Internetnutzung