

# Habt ihr schon gewusst - 439 Papierflieger & Theorie

Schon in den Naturphänomenen ist der Bau von Papierflieger kein Problem. Vielfach findet man an den Schulen auch Wettbewerbe – z.B. wer baut den Papierflieger, der am längsten fliegt.

Was bedeutet eigentlich „... der am längsten fliegt?“

Wenn man diese Worte von Schülerinnen und Schülern deuten lässt, kommen ganz unterschiedliche „Präkonzepte“ zum Vorschein.

- ... der Flieger, der die größte Strecke fliegt  
... auf Nachfrage wird deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler unter „weit“ die Entfernung zwischen Start- und Landepunkt meinen. Dass die vom Papierflieger zurückgelegte Strecke im Regelfall aber viel länger ist, wird übergangen. Auf die Nachfrage, warum man automatisch die Entfernung Start-Landepunkt meint, kommt in Klasse 5 eine erstaunliche Antwort: „Weil man die andere Strecke nicht messen kann ...“
- ... der Flieger, der die größte Flugzeit zwischen Abwurfzeitpunkt und Landezeitpunkt hat. Diese Variante wird in Klasse 5 übrigens sehr selten genannt – die Begründung: „Weil man es schlecht abschätzen kann, wer die größere Flugzeit hat.“

Interessant in diesem Zusammenhang ist die „Begründungsebene“ in dem Sinne: Was man nicht messen kann, nicht erfassen kann, nicht beschreiben kann, wird automatisch „aussortiert“.

Selbstverständlich hat der Bau von Papierfliegern in bestimmten Situationen einen didaktischen Stellenwert. In der nächsten Stufe könnte man auf die Fragen interessierter Schülerinnen und Schülern eingehen und ein Papierflugzeug bauen, das nicht nur in dem „Nachfalten“ von „Papier-Flieger-Vorschlägen“ besteht ... sondern folgende Schritte geht:

1. Schritt: Aus welchen Bauteilen besteht ein Flugzeug
2. Schritt: Welche Form muss ein Flugzeug haben, damit es „selbststabil“ fliegt ... d.h. ohne „Rudermanöver“ einen möglichst geraden Kurs fliegt.
3. Schritt: Wie können wir dieses Wissen dazu verwenden, aus einem Karton ein Flugzeug zu bauen, das einen möglichst kleinen Gleitwinkel hat ... d.h. aus einer bestimmten Abwurfhöhe möglichst eine große Strecke fliegt, bevor es landet.

## Infos & Arbeitsaufträge

Ein Flugzeug hat einen Rumpf, Tragflächen, ein Höhenleitwerk und ein Seitenleitwerk. An den Tragflächen sitzen die Querruder, am Höhenleitwerk sitzt das Höhenruder, am Seitenleitwerk das Seitenruder.

- Unser Papiermodell muss, wenn es stabil fliegen soll, alle wesentlichen Bauteile eines richtigen Flugzeuges haben ... also einen Rumpf, zwei Tragflächen, ein Höhenleitwerk und ein Seitenleitwerk.
- Um den Rumpf zu bekommen, falten wir den DinA4-Karton der Länge nach in der Mitte, dann parallel dazu, so das in etwa folgende Form entsteht – siehe Bild 01
- Von vorne erscheint das Papier wie im Bild 02.
- Damit der „Rumpf“ stabil wird, kann man ihn mit einer Heftklammer zusammen klammern – oder mit ein wenig Klebstoff zusammen kleben.
- Mit diesem Rumpf hat unser Papierflieger automatisch ein Seitenleitwerk bekommen. Es wirkt eventuell etwas ungewöhnlich, denn bei einem normalen Flugzeug zeigt das Höhenleitwerk nach oben – bei unserem Papierflieger nach unten.
- ✚ Diskutiere mit deinem Team, welche Funktion das Seitenleitwerk an einem Flugzeug hat, wenn das Flugzeug durch eine Störung seitlich aus seiner Flugrichtung ausgelenkt wird.
- ✚ Das Seitenleitwerk stabilisiert das Flugzeug also gegenüber Drehungen um die Hochachse ... oder Stabilität gegenüber „Gieren“ um die Hochachse.

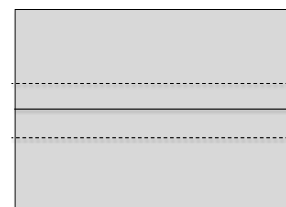


Bild 01



Bild 02



Bild 03

Wenn eine Störung das Flugzeug seitlich auslenkt, dann trifft die Luft seitlich auf das Seitenleitwerk und dreht das Flugzeug wieder zurück in die vorige Flugrichtung.

Diese Funktion übernimmt der Rumpf in unserem Modell. Dass der Rumpf hierbei nach unten zeigt, während das Seitenleitwerk bei einem Flugzeug nach oben zeigt, spielt dabei keine prinzipielle Rolle.

- Nun schneiden wir aus dem Papier die Tragflächen und die Höhenleitwerke aus. Gleichzeitig falten wir die vordere Tragfläche zu einer schrägen Form – siehe Bild 4
- ✚ Diskutiere mit deinem Team, welche Funktion das Höhenleitwerk an einem Flugzeug hat, wenn das Flugzeug durch eine Störung in seiner horizontalen Lage aus seiner Flugrichtung gekippt wird.
- ✚ Das Höhenleitwerk stabilisiert das Flugzeug also gegenüber Drehungen um die Querachse ... oder Stabilität gegenüber „Nicken“ um die Querachse.

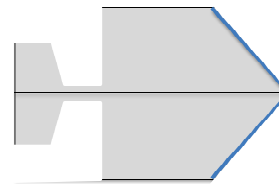


Bild 04

Wenn eine Störung dazu führt, dass die Flugzeugnase nach unten geht, dann trifft die Luftströmung auf das nach oben ragende Höhenleitwerk und dreht das Flugzeug wieder zurück in die horizontale Fluglage.

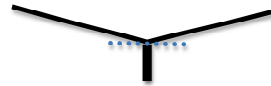


Bild 05

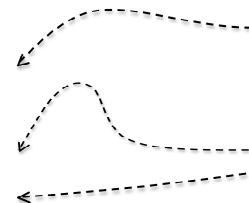
Die optimale Wirkung haben Tragflächen, wenn sie horizontal stehen. Würden sie vertikal stehen, hätten sie überhaupt keine Auftriebswirkung. Stehen sie in einer V-Form, dann erzeugen sie einen Auftrieb – aber nicht den maximal möglichen Auftrieb. Rollt das Flugzeug nun um seine Längsachse, dann drehen sich die Tragflächen ... eine Tragfläche kommt in eine „horizontale Lage“ und erfährt damit eine größere Auftriebskraft, die andere Tragfläche kommt in eine „steilere Stellung“ und verliert Auftriebskraft. Diese veränderten Auftriebskräfte führen dazu, dass das Flugzeug wieder in die vorige Flugstellung zurückgedreht wird.

- Nun biegen wir die Tragflächen in eine V-Form. Das Höhenleitwerk bleibt in etwa horizontal ausgerichtet.
- ✚ Wenn sich das Flugzeug um seine Längsachse dreht, dann spricht man vom „Rollen“ des Flugzeuges. Diskutiere mit deinem Team, warum ein Flugzeug, dessen Tragflächen in einer V-Form stehen, stabil gegenüber dem Rollen um die Längsachse des Flugzeuges ist.
- Wenn man das Modell im aktuellen Zustand abwirft, fliegt es nicht, sondern macht im besten Fall einen kurzen Steigflug, die Nase des Flugzeuges geht nach oben, dann wieder nach unten und das Flugzeug stürzt ab.
- ✚ Diskutiere mit deinem Team, welches Flugverhalten hat ein Flugzeug, dessen Schwerpunkt an der Flugzeugnase, am Flugzeugende sitzt.
- ✚ Diskutiere, warum die stabilisierenden Wirkungen der V-Form, des Seiten- und Höhenleitwerks nur wirken kann, wenn der Schwerpunkt des Flugzeuges unter den Tragflächen sitzt – also im vorderen Teil des Rumpfes liegt?
- Mit Heftklammern an der Nase des Modells stellen wir nun den Schwerpunkt des Modells so ein, dass es beim Abwerfen in einen geradlinigen Flug übergeht.
- ✚ Diskutiere mit deinem Team, welche Flugbahn sich einstellen wird, wenn (a) der Schwerpunkt zu weit vorne, (b) zu weit hinten oder (c) richtig liegt?

Der Schwerpunkt des Flugzeuges liegt an der völlig falschen Stelle ... etwas vor der Mitte des Flugzeuges. Warum die Lage des Schwerpunktes wichtig ist, liegt auf der Hand. Liegt der Schwerpunkt nämlich an der Spitze des Flugzeuges, würde das Flugzeug mit der Nase voran abstürzen. Würde der Schwerpunkt am Ende des Flugzeuges sitzen, würde es mit dem Ende voraus zu Boden stürzen.

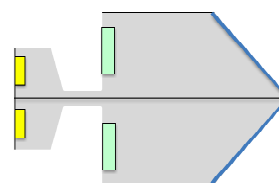
Würde der Schwerpunkt in der Mitte des Flugzeuges sitzen, dann würde bei einer Störung des Flugzeuges die Luftströmung nicht dazu führen, dass das Flugzeug in die vorige Lage zurückgedreht wird, sondern die Störung würde das Flugzeug eventuell sogar völlig aus seiner vorgesehenen Fluglage drehen.

Weil das Höhenleitwerk relativ weit hinter dem Schwerpunkt liegt, wirkt das sogenannte Hebelgesetz und kleine Kräfte des Höhenleitwerks führen zu der oben beschriebenen stabilisierenden Wirkung.



Will man die Funktionsweise des Höhenruders demonstrieren, kann man das Höhenleitwerk rechts und links etwas einschneiden und damit ein Höhenruder simulieren ... wird es nach oben oder unten gestellt, kann man die Wirkung im Flug beobachten. In gleicher Weise kann man am hinteren Ende des Rumpfes durch Einschneiden ein Seitenruder simulieren ... oder durch Einschneiden an der hinteren Kante der Tragflächen die Querruder simulieren.

- Unser Modell hat zwar Tragflächen, Höhenleitwerk und Seitenleitwerk – aber keine Ruder.
- ✚ Diskutiere mit deinem Team die Wirkung des Höhenruders, des Seitenruders und der Querruder, die an der Tragfläche sitzen.
- ✚ Wie könnte man an dem Modell die Funktionsweise dieser Ruder demonstrieren?



## ... anspruchsvolle Fragen

- ✚ Wie leitet ein Pilot einen **Steigflug** ein?
- ✚ Wie leitet ein Pilot einen **Sinkflug** ein? Genügt die Betätigung des Höhenruders?
- ✚ Welche Wirkung hat „im Prinzip“ ein **Querruder**?
- ✚ Welche Wirkung hat „im Prinzip“ ein **Seitenruder**?
- ✚ Welche Wirkung hat „im Prinzip“ ein **Höhenruder**?
- ✚ Wie fliegt ein Pilot eine **Kurve**?
- ✚ Ganz einfache **Modellflugzeuge** haben „nur“ ein Seitenruder – kein Höhenruder und keine Querruder. Welche Flugmanöver kann man mit diesem Flugzeug fliegen?
- ✚ Andere einfache Modellflugzeuge haben „nur“ ein Seitenruder und ein Höhenruder – kein Querruder. Kann man mit diesem Flugzeug eine Kurve fliegen?
- ✚ Wieder andere Modellflugzeuge haben „nur“ ein Querruder und ein Höhenruder. Welche Flugmanöver kann man damit ausführen?

## Tipps:

- ✚ Die Zusammenhänge bei einem Flugzeug sind komplex, denn man muss nicht nur den Impulserhaltungssatz (bzw. eine Kräftebetrachtung) beachten, sondern auch den Energieerhaltungssatz. Gleichzeitig ändern sich auch noch andere Flugparameter – so z.B. die Luftdichte.
- ✚ Wenn das Flugzeug durch das Verstellen des Höhenruders an Höhe verliert, gewinnt es gleichzeitig Fahrt – d.h. Lageenergie wird in Bewegungsenergie umgewandelt – das bedeutet aber eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeit – und das wiederum bewirkt einen höheren Auftrieb an den Tragflächen – und das führt dazu, dass das Flugzeug steigt.
- ✚ Ein Sinkflug entsteht z.B. wenn man den Vorschub reduziert.
- ✚ Wenn man nur das Querruder bedient, dreht sich das Flugzeug zunächst um die Längsachse.
- ✚ Wenn man nur das Höhenruder bedient, dreht sich das Flugzeug um seine Querachse.
- ✚ Wenn man nur das Seitenruder bedient, dreht sich das Flugzeug um seine Hochachse.
- ✚ Leider ist es aber nicht so einfach ... Wenn man nämlich das Querruder betätigt, dann geht z.B. das linke Querruder hoch, während das rechte Querruder nach unten geht. Die linke Tragfläche erfährt also einen Abtrieb, während die rechte Tragfläche einen Auftrieb erfährt.  
Aber gleichzeitig erhöht sich der Luftwiderstand der linken Tragfläche durch das nach oben stehende Querruder ... also dreht sich das Flugzeug um seine Hochachse nach links.  
Betätigt man das Querruder, leitet man nicht nur ein Rollen des Flugzeuges um seine Längsachse ein, sondern das Flugzeug giert auch um seine Hochachse.  
Man kann also ein Flugzeug auch „nur“ mit dem Querruder zu einem Kurvenflug bringen.
- ✚ Betätigt man das Seitenruder – z.B. nach rechts, dann dreht sich das Flugzeug um seine Hochachse nach rechts.  
Diese Rechtsdrehung führt aber dazu, dass die linke Tragfläche eine höhere Anströmungsgeschwindigkeit erfährt als die rechte Tragfläche. D.h. die linke Tragfläche erfährt einen höheren Auftrieb als die rechte Tragfläche – also dreht sich das Flugzeug um seine Längsachse nach rechts ...  
Man kann also ein Flugzeug auch „nur“ mit dem Seitenruder zu einem Kurvenflug bringen.
- ✚ Weill man einen „sauberen Kurvenflug“ einleiten, muss der Pilot das entsprechende Maß an Querruder und Seitenruder geben; wird das im richtigen Maße getan, dann steht ein in der Kanzel frei hängendes Lot so, dass es senkrecht auf den Boden des Flugzeuges zeigt und die Passagiere merken von dem Kurvenflug nichts, denn die resultierende Kraft wirkt senkrecht auf die Sitze – wie man das bei normalem Sitzen auch gewohnt ist ... eventuell spürt man eine geringe Zunahme der „scheinbaren Gewichtskraft“.
- ✚ UND zudem muss man beachten, dass bei einem Kurvenflug durch die „schräg“ in der Luft liegenden Tragflächen der Auftrieb auf die Tragflächen abnimmt ... d.h. wenn der Pilot einen Kurvenflug einleitet, muss er gleichzeitig in einem entsprechenden Maße „Höhenruder“ geben, wenn das Flugzeug eine horizontale Kurve fliegen soll.