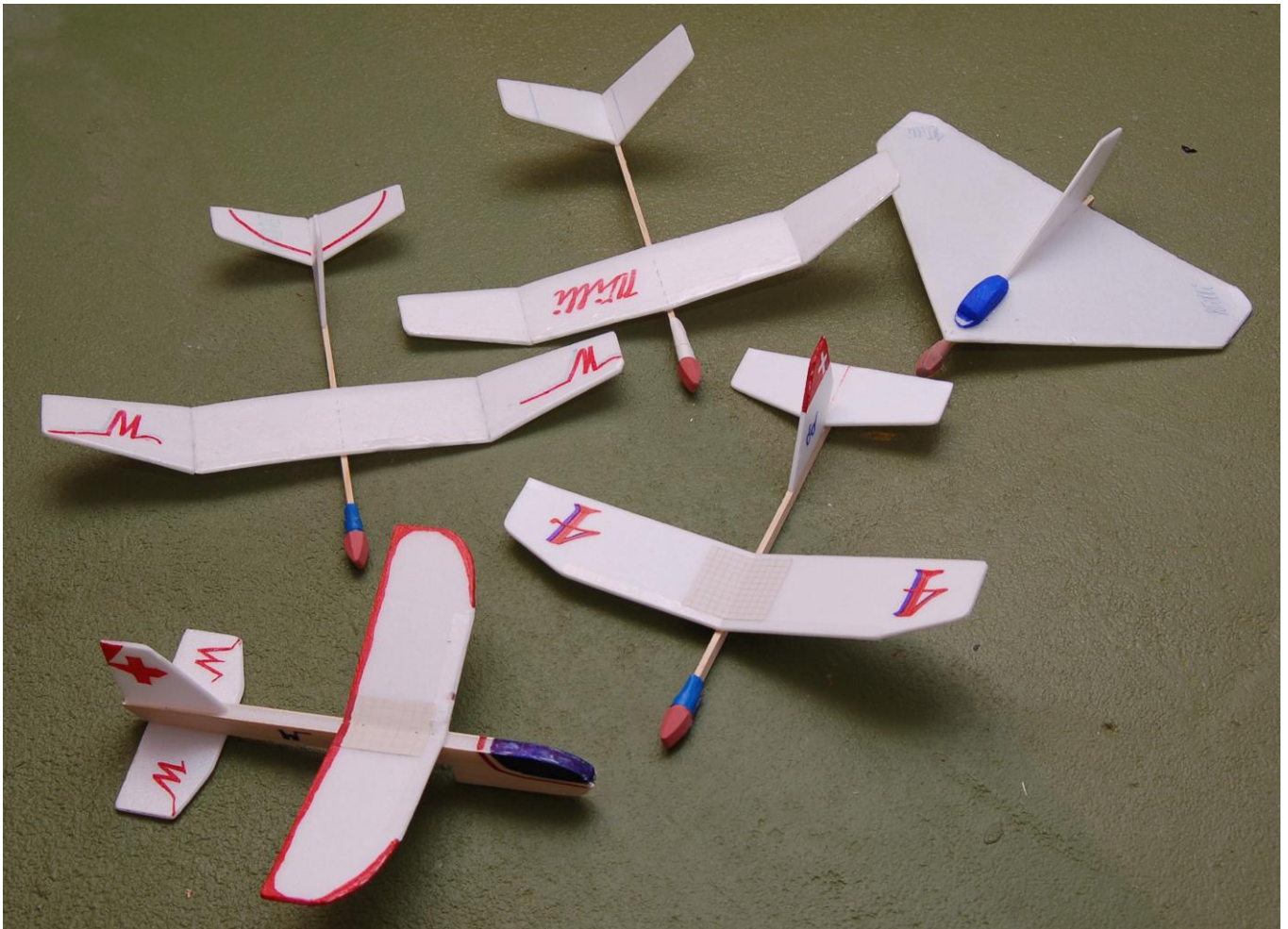


Aerodynamik: Wurfgleiter, -einfach und billig hergestellt!

Eine Lektionsreihe für interessierte Lehrpersonen

zusammengestellt von
Willi Steiner und Andreas Merz



1. Vorbemerkungen und Beschrieb

Fliegen ist seit Jahrhunderten ein Menschheitstraum. Nicht umsonst feiern wir in der Schweiz momentan mit millionenschwerem finanziellem Einsatz „100 Jahre Schweizer-Luftverkehr“!

Mittlerweile ist es für uns alle fast zur Selbstverständlichkeit geworden, jährlich ein bis zwei Mal im Düsenjet das ferne Urlaubsziel anzuvisieren. Sportflugzeuge und Helikopter (sogar unerlaubterweise unter der minimalen Höhe operierend) rufen kaum mehr noch Reaktionen hervor..!

Und trotzdem: Landet irgendwo ein Hubschrauber, sammeln sich innert Kürze zahlreiche Menschen an, welche das Geschehen gefesselt mitverfolgen! Flugmeetings weisen zunehmende Erfolgszahlen auf!

Ein Grund für die Verfasser dieser Anleitungen, diese Thematik (einmal mehr) in die Schule einzubringen. Zwar existieren auf unzähligen Portalen schon Hunderte von Publikationen zur Thematik „Rund um die Fliegerei“!

Erstaunlicherweise – das ist zwar rein empirisch ermittelt – wird die Fliegerei im Technischen Gestalten unter den Lehrpersonen jedoch eher stiefmütterlich behandelt. Dieser Beitrag soll aufzeigen, wie mit wenig Geld fünf verschiedene, kleine Gleiter entstehen können, welche ihren Namen auch wirklich verdienen. Die Modelle können durchaus ab der vierten Schulstufe realisiert werden.

2. Instrumentelle Lernziele

- ☞ Allgemein: **feinmotorische Fertigkeiten** schulen
- ☞ einfache **Baupläne übertragen** bzw. **einmessen**
- ☞ Genaues **Zuschneiden** von **Fichtenleisten** und **Depron-Abschnitten**
- ☞ **Einzelteile** exakt **verschleifen** und **zusammenfügen** (versch. Klebetechniken)
- ☞ Den **Aufbau** der „**Sandwich-Bauweise**“ **kennen**
- ☞ **Flugverhalten** exakt **beobachten** und entsprechende (Gegen)**massnahmen treffen**
- ☞ *Fakultativ für einzelne SchülerInnen:* einen **eigenen Gleiter entwerfen, bauen und tarieren**

3. Allgemeines

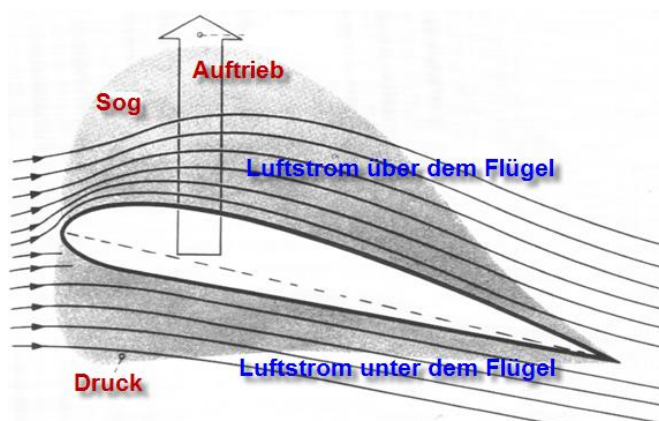
In einem ersten Teil zeigen wir mögliche Einstiege in die Thematik auf, widmen uns dem Auftrieb und gehen auf verschiedene Flugzeugtypen ein. Mittels eines Links informieren wir über den Umgang mit dem Material *Depron*. Schlussendlich erklären wir exemplarisch aber detailliert an zwei Modellen das Bauvorgehen (separate Dokumente mit 1:1-Plänen).

Es sei der Lehrperson überlassen, welche oder welches Modell schlussendlich mit den Schülern gebaut wird.

4. Grundlagen

4.1 Physikalische Gegebenheiten

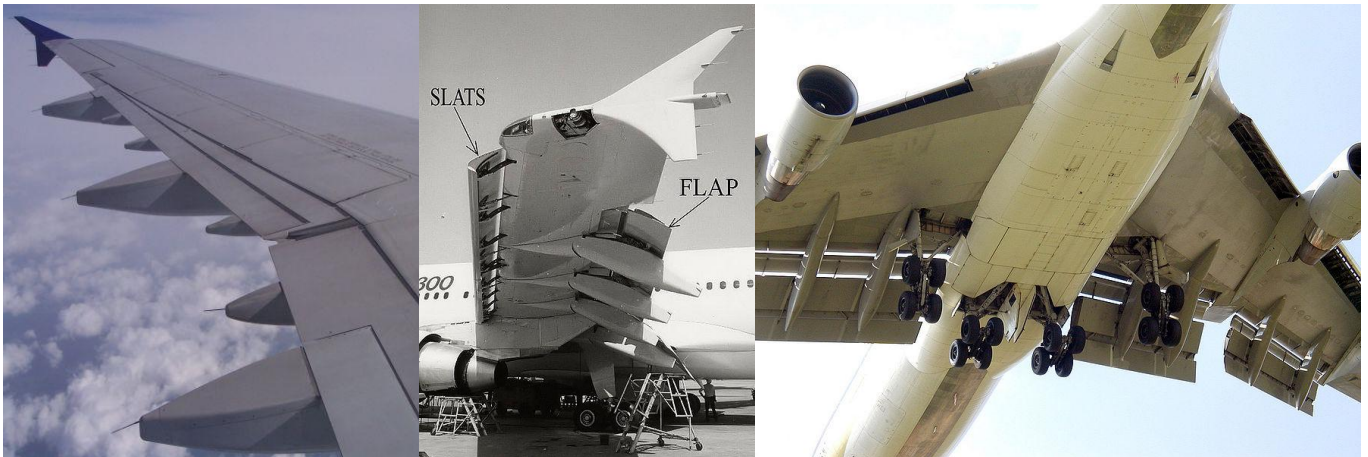
Im Mittelpunkt steht natürlich die Frage, weshalb ein Flugzeug durch die Luft gleitet und nicht wie ein Stein zur Erde fällt. Die Reaktion der Kinder: „Weil es Flügel hat“. Diese lapidare Antwort ist an und für sich richtig. Es lohnt sich aber trotzdem, einen Flügelquerschnitt genauer zu betrachten: Bei einfachen Papierfliegern und unseren Gleitern ist dieser flach. Solche Modelle sind sehr leicht, auch nicht sonderlich leistungsfähig und deshalb kommt man dabei mit einem flachen Querschnitt der Flügel aus. Im manntragenden Flugzeug oder bei grösseren Flugmodellen funktioniert dies jedoch nicht mehr! Die Flügelquerschnitte – man spricht dabei von *Flügelprofilen* – sind oben gebogen, unten gerade oder sogar konkav geformt (es gibt aber auch Ausnahmen).



Der Auftrieb eines Flugzeuges entsteht durch seine Flügelwölbung: Auf der Flügeloberseite müssen die Luftteilchen einen längeren Weg zurück legen als auf der Unterseite des Flügels. Dadurch strömt die Luft an der Tragflächen-Oberseite etwas schneller, was zu einer Sogwirkung führt. Dieser Sog macht ca. 2/3 des Gesamtauftriebes aus! Da der Flügel zudem leicht schräg angestellt ist, entsteht auf der Tragflächen-Unterseite ein Druck, der ebenfalls zum Auftrieb beiträgt (ca. 1/3). Bei **hoher Geschwindigkeit entsteht mehr Auftrieb** als bei

niedrigem Tempo. Nicht umsonst heisst es deshalb in der Pilotensprache: „**Geschwindigkeit ist das halbe Pilotenleben!**“. Beim Landen eines Flugzeuges werden deshalb – nebst anderen

Clappen – die sog. Flaps nach unten gestellt (das sind hydraulisch steuerbare Klappen, welche am Tragflächenende angebracht sind). Der Pilot bewirkt dadurch eine noch grössere Flügelkrümmung, was ihm bei weniger Tempo gleichen Auftrieb, allerdings auch erhöhten Widerstand verschafft. Ohne diese Massnahme könnte ein Flugzeug bei den heute gängigen Anfluggeschwindigkeiten (und damit verbundenen Pistenlängen) nicht landen! Bei zu niedriger Geschwindigkeit reisst die Strömung an den Flügeln nämlich ab (in der Fachsprache nennt man das „aushungern“): Der Flieger wird automatisch in einen Sturzflug übergehen, bis er erneut genügend Tempo aufgenommen hat und sich wieder in die Horizontale aufrichtet. Voraussetzung ist dabei natürlich, dass dem Flugzeug genügend Luftraum zur Verfügung steht! – Ein Vorgang, welcher im Passagierflug, dies am Rande bemerkt, nicht unbedingt wünschenswert ist, da dabei mehrere g an Belastung auftreten können...



Natürlich ist das Prinzip von Bernoulli (und Venturi) in Wirklichkeit wesentlich komplexer als hier dargestellt. Aber für das Verständnis der Primarschulkinder reicht dies völlig aus.

4.2 Unterrichtseinstiege

Oftmals sind die Autoren mit Sechstklässlern mittels einiger klassisch gefalteten Papierfliegern in das Reich der Aviatik eingestiegen. Und immer wieder waren wir erstaunt, mit welchem Enthusiasmus die Kinder ans Falten gingen. Noch mehr erstaunte uns allerdings der Umstand, dass unsere Jungen kaum mehr im Stande sind, etwa eine „Schwalbe“ oder einen „Düsenjet“ zu falten! Da hat sich scheinbar mittlerweile etwas geändert! Ein Versuch, mit papiernen „Faltflugis“ einzusteigen, lohnt sich jedenfalls! Hier noch ein paar weitere Versuche:



Material: Kunststofftrichter, Pingpong-Ball, ev. Desinfektionslösung
Wir wetten mit den Kindern, dass es ihnen nicht gelingt, einen Tischtennis-Ball aus einem Trichter zu blasen. Dabei können wir ihnen ruhig eine Belohnung versprechen; - die kids werden die Wette verlieren! Je stärker sie nämlich in den Trichter blasen, desto grösser wird der Sog und umso hartnäckiger wird der Ball im Trichter „kleben“ bleiben!

Davon ausgehend, können wir den Lernenden nun anhand einer WT-Zeichnung den Strömungsverlauf bei einem Flügel aufzeigen.



Material: Industrieföhn, Pingpong-Ball

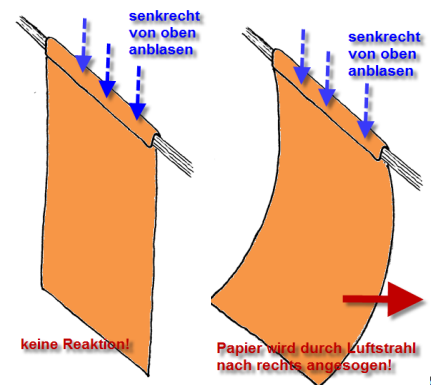
Der senkrecht gestellte Föhn wird eingeschaltet (Position auf „kalt“!!) und ein Pingpong-Ball vorsichtig in den Luftstrom gebracht. Der Ball schwebt in der Luft und dreht sich. Auch wenn man den Föhn nun allmählich zur Seite neigt: Der Ball wird erstaunlicherweise im Luftstrom „gefangen“ bleiben!

Da der Ball (Kugel!) von allen Seiten her gleichmässig angeströmt wird, hält ihn die rundherum entstehende Sogwirkung in der Schwebelage.



Material: Postkarte oder Tonpapier (A6), Stricknadel oder Bleistift

Wir wickeln das Papier derart um eine Stricknadel oder um einen Bleistift, sodass es frei daran hängen und drehen kann. Dann wird das Papier senkrecht von oben her angeblasen. Es passiert nichts; - das Papier wird höchstens etwas vibrieren. Jetzt ziehen wir es ein, zweimal über eine Tischkante, damit es gemäss rechter Abbildung gebogen wird und wiederholen den Versuch! Vermutung? Das gebogene Papier (= Flügelprofil!) wird deutlich nach der konvexen Seite hin angesogen!



Natürlich gibt es noch viele andere Versuche, welche auf eindrückliche Art und Weise die Prinzipien aerodynamischer Sachverhalte aufzeigen. Wir haben hier aber nur das Auftriebsprinzip dargestellt und weitere Gegebenheiten (wie etwa Thermik, Propellerantrieb usw.) ausser Acht gelassen. Die interessierte Lehrperson findet auf dem Büchermarkt und im Internet genügend Materialien!

4.3 Verschiedene Flugzeug-Typen und Flügel-Formen

a) in Bezug auf die Flügelbefestigung



Hoch- oder Schulterdecker: Flügel oben, Rumpf „hängt“ daran

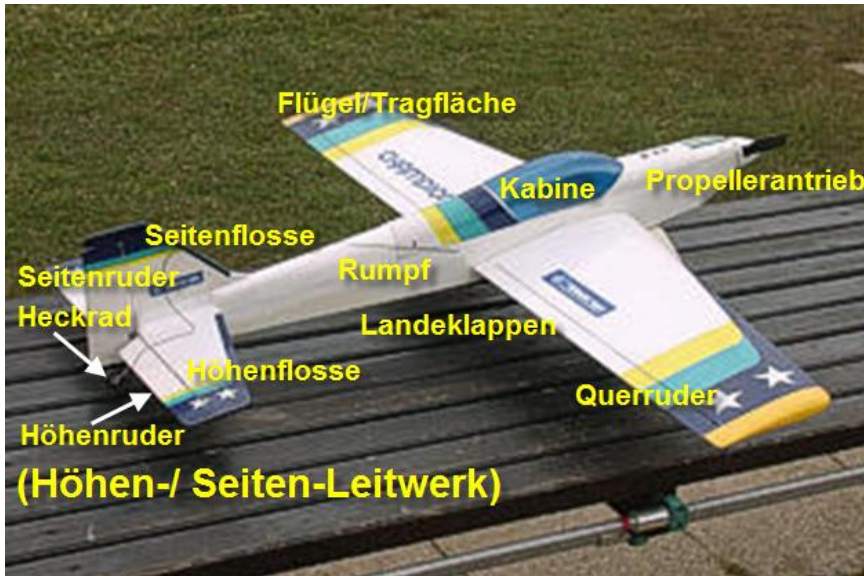


Tiefdecker: Flügel an Rumpf-Unterseite

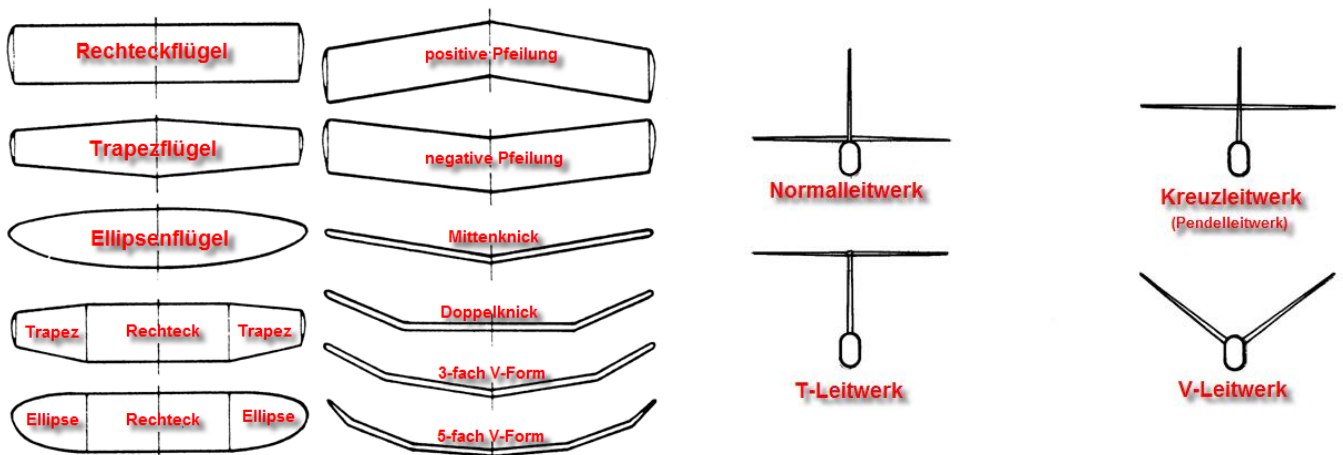


Mitteldecker: Flügel in Rumpfmittle

Die korrekte Benennung der Flugzeugteile:



b) Flügel- und Leitwerksformen



Hier ist eine breite Palette an Formen bzgl. der Flügelformen und der Leitwerksanordnungen vorhanden. Für die Kinder eignen sich vorwiegend Rechteck- und Trapezflügel kombiniert mit Mitten- oder Doppelknick (einfacheres Schneiden der Depronplatten!).

Besonders begabten Kindern stellen wir vielleicht sogar zusätzliches Material zur Verfügung, damit sie ihren eigenen Gleiter entwerfen und bauen können. Es wäre auch ein Wettbewerb „Wer kommt mit seinem Gleiter am Weitesten?“ denkbar (mit Vorgaben von Maximaldimensionen usw.). **Wichtig:** die Kinder anhalten, **nicht zu kleine Leitwerke** zu entwerfen!

5. Der Umgang mit Polystyrol-Hartschaumplatten („Depron“, „Selitron“)

Depron®, **Selitron**® oder **Opitron**® sind Markennamen für geschäumtes [Polystyrol](#). Die Oberflächen der Platten sind dank ihrer geschlossenen Zellenstruktur glatter und feiner als die von Styropor. Solche Hartschaumplatten werden als Isolationsmaterial, z. B. bei Untertapeten, als Lebensmittelverpackung (XPS-Schalen) und im Modellbau verwendet. Depron hat ein Raumgewicht von 35 bis 40 kg (!) pro Kubikmeter, ist also sehr leicht. Von Modellfliegern früher eher belächelt, hat Depron mittlerweile jedoch auch im Modellflug enorm an Bedeutung gewonnen (Indoor-Fliegerei, Slow- und Parkflyer)!

Unter dem folgenden Link wird man auf eine Seite von „*Basteltipps*“ geführt, welche viele Tipps im Umgang mit Hartschaumplatten vermittelt (Seiten 1-5):

http://www.basteltipps.net/wp-content/uploads/2008/01/bauanleitung_luftkissenfahrzeug.pdf

6. Material

Gemessen am Spass, kommt man eigentlich mit sehr wenig Geld zu den nötigen Materialien:



Materialliste:

- 1 Hartschaumplatten „Depron“, 3mm und 6mm
<http://www.aduis-basteln.ch/SearchResults.aspx>
<http://ch.opitec.com/opitec-web/pages/start.jsf>
<http://www.swiss-composite.ch/?qclid=CMismsP9k6QCFRlqDgodH0xNGw>
- 2 Balsaholz, 1mm für Sandwich-Bauweise (Baumarkt, Do-it)
- 3 Kiefernleisten 3x8 mm (Baumarkt, Do-it)
- 4 Aufsteckradierer (Papeterie, Migros)
- 5 Isolierband, farbig (Do-it, Baumarkt)
- 6 Häuschenpapier für Verstärkungen (Schulmaterial)
- 7 Schrauben, div. Grössen als Ballast (Baumarkt, Do-it)
- 8 Tesa-Film, transparent zur Verstärkung der Flügelnasen
- 9 Kugelschreiber zum Übertragen der Formen, (ev. dünner Faserschreiber, wasserfest)
- 10 Holzleim/Weissleim (Baumarkt, Do-it)
- 11 Kontaktkleber für Hartschaum, z.B. UHU por (Baumarkt, Do-it)
- 12 Japanmesser, klein, mit kompletter Klinge (Schulmaterial)

13

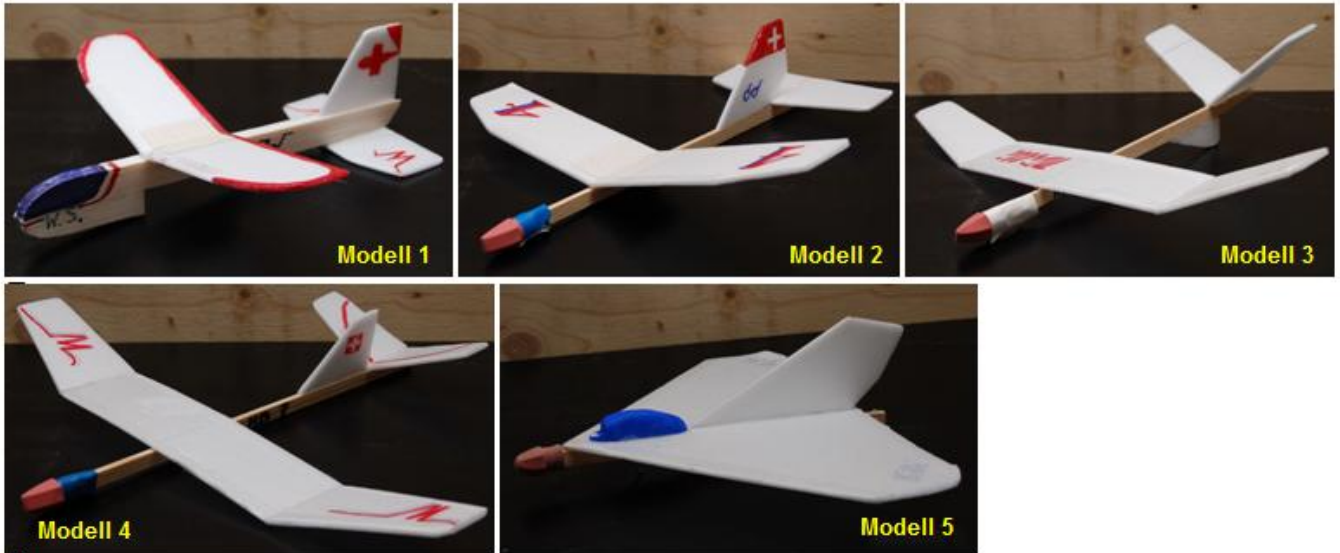
Masstab und wenn möglich Stahl- oder Aluschiene zum sicheren Schneiden (Schulmaterial)

14

Diverse Filzschreiber in verschiedenen Farben, gross, zur Bemalung der Modelle (Schulmaterial)

7. Allgemeines zum Bau der Gleiter

Die Baupläne für folgende Gleiter stehen zur Verfügung – und können natürlich jederzeit selber abgeändert werden:



- Modell 1:** Gleiter in Sandwich-Bauweise (Rumpfkern aus Depron, mit Balsa beidseits beplankt). Flügel in V-Form (Mittelnick), Leitwerk in konventioneller Art
- Modell 2:** ähnlicher Gleiter wie 1, jedoch mit Leistenrumpf. Flügel in V-Form (Mittelnick), Leitwerk in konventioneller Art, Seiten- und Höhenflossen versetzt
- Modell 3:** Gleiter mit Leistenrumpf, Flügel mit Doppelknick (sog. „Ohrenflügler“), Leitwerk in V-Form mit Hecksporn
- Modell 4:** Gleiter mit Leistenrumpf, Flügel mit Doppelknick (sog. „Ohrenflügler“), Leitwerk in V-Form mit zusätzlicher Seitenflosse zur (Seiten)stabilisation
- Modell 5:** Gleiter mit Leistenrumpf, Flügel in Deltaform mit Seitenflosse. Dieser Gleiter kann auch als Schleudersegler (Abwurf mit Gummizug) eingesetzt werden.

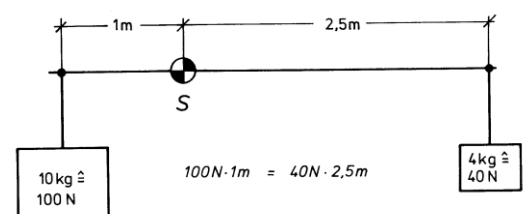
Bei der Ausführung obiger Modelle wurde ganz bewusst die Funktionalität der Ästhetik vorgezogen! Die Gleiter mögen „klotzig“ daherkommen; - dafür widerstehen sie weitgehendst dem „harten Schülereinsatz“!

Ein angestrebtes exaktes Bauen ist das Eine. Das korrekte Einfliegen bzw. Variieren ist das Andere! Schlussendlich entscheidet hier die fachliche Überhöhung der Lehrperson über Erfolg oder Misserfolg einer solchen Lektionsreihe. Aus diesem Grund seien hier die folgenden Fakten dargeboten:

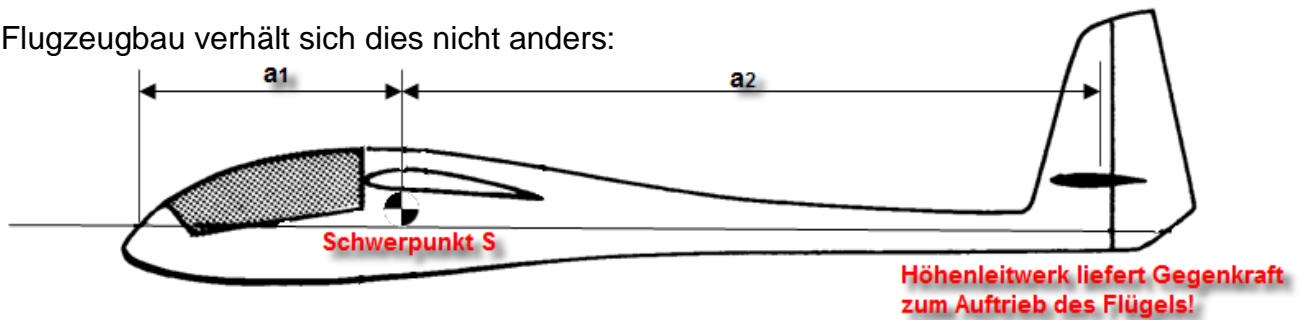
7.1 Der Schwerpunkt eines Flugzeuges

ist in der aviatischen Fachliteratur ein zentraler Punkt dieses physikalischen und hoch mathematischen Themas und nimmt seitenweisen Raum ein. Es würde den Rahmen dieses Artikels jedoch bei Weitem sprengen, wenn wir zu eingehend dieses Thema behandeln. Deshalb halten wir uns an stark vereinfachte, rudimentäre Aussagen!

In der Statik wird von einem Kräfteverhältnis (Hebelarm) ausgegangen. Die Skizze veranschaulicht dies: Das Produkt aus Hebelarm und Masse ist beidseits des Schwerpunktes gleich gross.



Im Flugzeugbau verhält sich dies nicht anders:

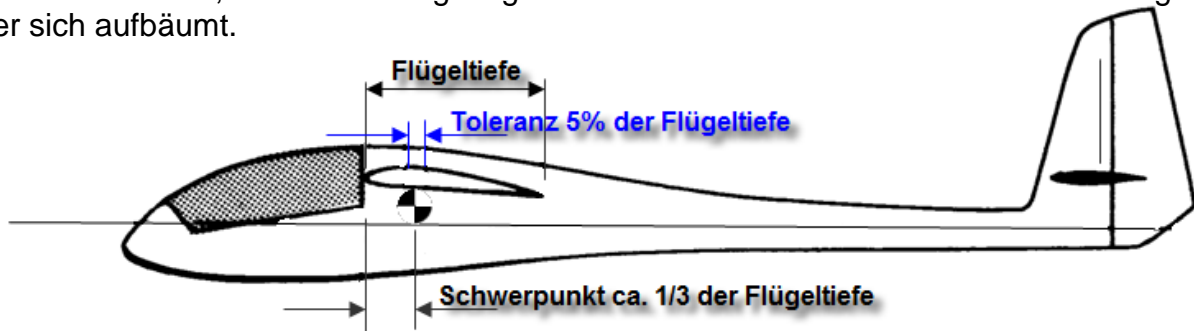


Ein Flugzeug ist dann längenstabil, wenn sich seine Gewichtsverteilungen vor und hinter dem Masseschwerpunkt die Waage halten und die Auftriebskraft mindestens gleich seiner Masse ist.

Je mehr Ballast (Masse) innerhalb a_1 , desto mehr wandert der Schwerpunkt nach vorn und das Flugzeug wird kopflastig.

Je schwerer das Heckteil (Masse also innerhalb a_2), desto mehr wandert der Schwerpunkt nach hinten; - der Flieger wird hecklastig.

Durch eine Längsneigung des Flugkörpers nach vorne oder nach hinten verändern sich aber auch die Neigung des Flügels und damit verbunden die Auftriebsgrösse. Dies bewirkt im Extremfall wiederum, dass das Flugzeug instabil wird und entweder in den Sturzflug übergeht oder sich aufbäumt.

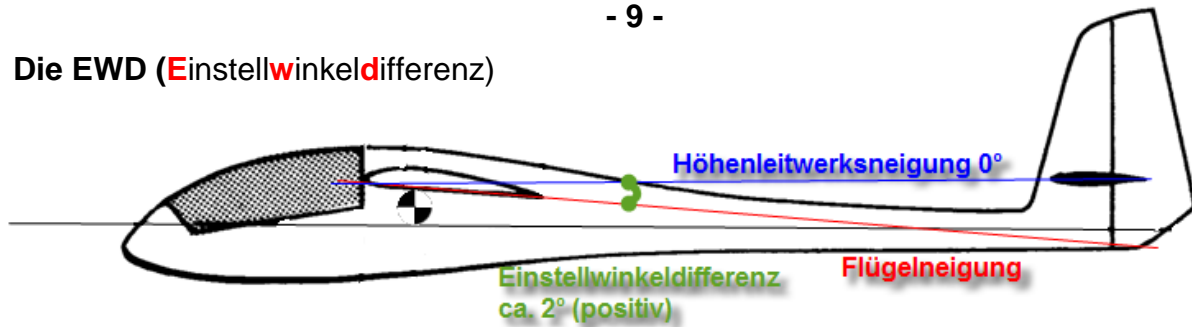


Eine Faustformel besagt nun, dass der Schwerpunkt in etwa im vorderen Drittel der Tragfläche liegen sollte. Wird das Flugzeug in Rumpfnähe unter den beiden Tragflächen am Schwerpunkt unterlegt, sollte es – mit der Nase leicht nach unten geneigt – in der Balance bleiben.

Es versteht sich von selbst, dass unsere Gleiter diesen Gesetzmässigkeiten nur bedingt entsprechen, da sie ja ein gerades Flügelprofil aufweisen. Trotzdem ist es für die Lehrperson gut zu wissen, dass auch unsere Gleiter kopf- oder hecklastig sein können und was man dagegen unternehmen kann:

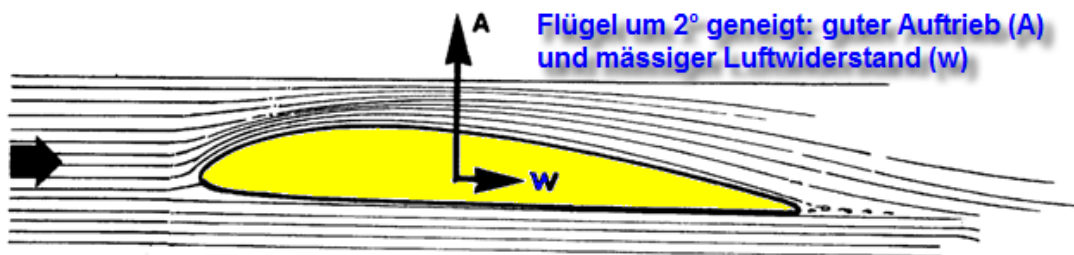


7.2 Die EWD (Einstellwinkeldifferenz)

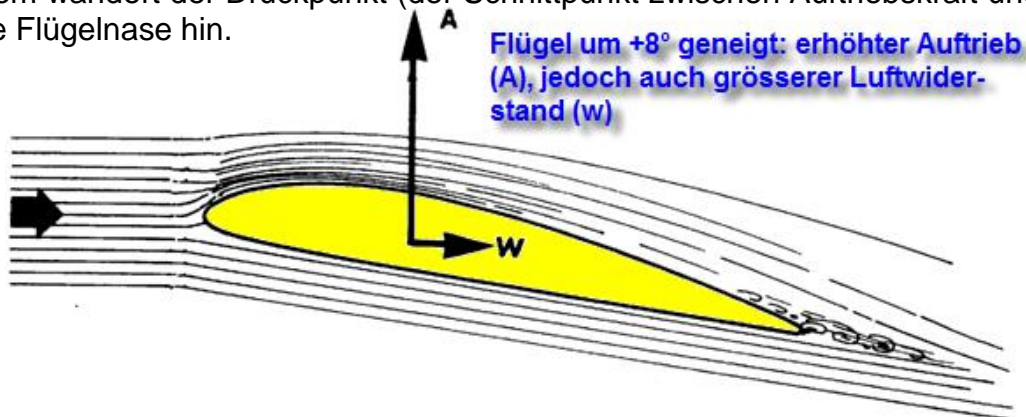


Unter dem Begriff EWD versteht man den Unterschied zwischen der Neigung der Tragfläche und derjenigen des Höhenleitwerkes.

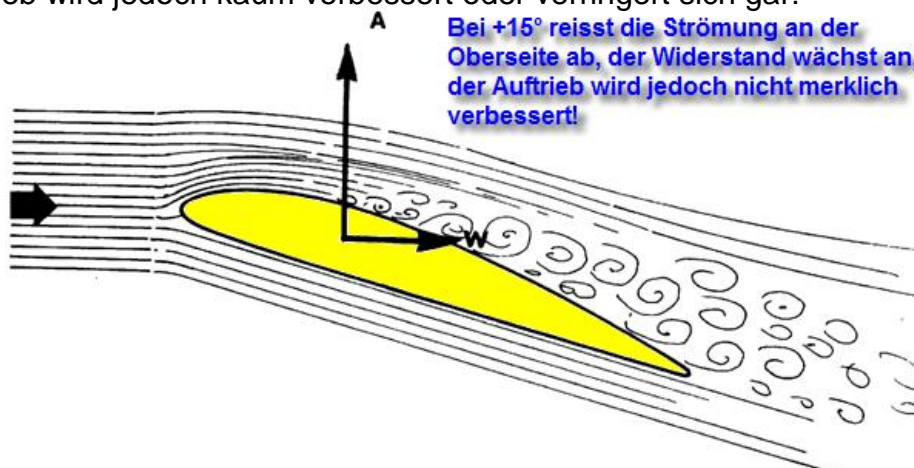
Zum Verständnis holen wir etwas aus: Die folgende Zeichnung zeigt die Luftströmung um eine Tragfläche, welche mit 2° positiv gegen die Luft angestellt wird. Es stellt sich eine sog. laminare Flügelumströmung ein (laminar: ohne Turbulenzen und Verwirbelungen). Der Auftrieb ist optimal, der Widerstand des Flügelprofils ist relativ gering.



Wird die Tragfläche nun steiler gegen die sie umströmende Luft angestellt, erhöht sich zwar der Auftrieb, jedoch vergrössert sich auch der Widerstand. Am Flügelende bilden sich Verwirbelungen. Zudem wandert der Druckpunkt (der Schnittpunkt zwischen Auftriebskraft und Widerstand) gegen die Flügel Nase hin.



Jetzt wird der Flügel noch steiler gegen den Luftstrom gestellt! An der Flügeloberseite reisst die Strömung ab, es kommt zu turbulenten Strömungen, welche den Widerstand stark erhöhen. Der Auftrieb wird jedoch kaum verbessert oder verringert sich gar!



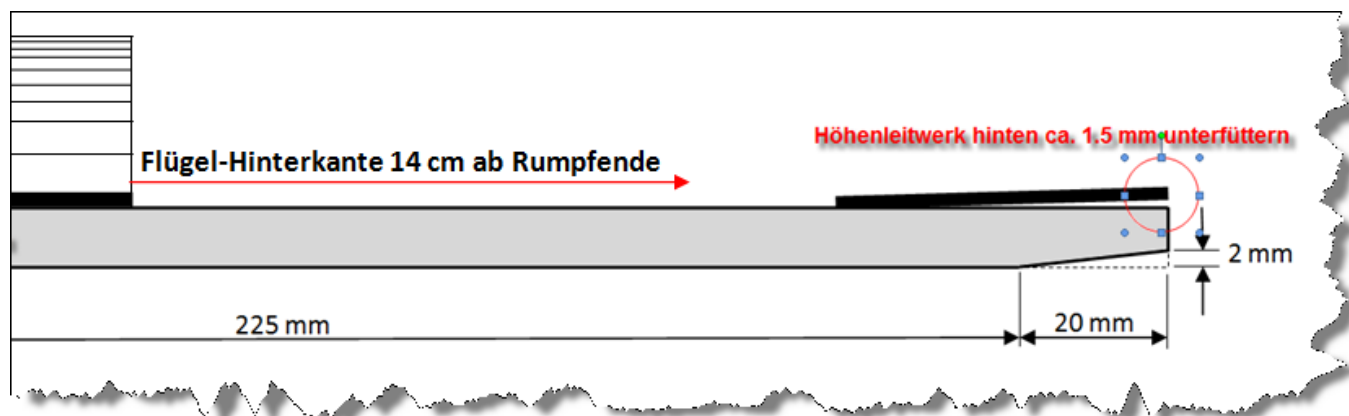
Die vorgängig beschriebenen Kräftespiele sind bei $+8^\circ$ und bei $+15^\circ$ für einen möglichst langgestreckten Gleitflug zwar nicht optimal; sind bei der Landung eines Flugzeuges jedoch durchaus berechtigt: Für den Langsamflug ist ein höherer Auftrieb vorhanden und der grössere Widerstand verkürzt die Landestrecke (siehe auch Seite 3).

Wir fassen zusammen:

- Eine Flügelneigung von ca. $+2^\circ$ ist optimal.
- Jede höhere Neigung erzeugt Widerstand und verkürzt den Gleitflug.
- Bei steigendem Anstellwinkel des Flügels verschiebt sich der Angriffspunkt der Auftriebskräfte zur Flügel Nase hin (sog. Druckpunktwanderung). Deshalb ist ein genügend grosses Höhenleitwerk zur Flugstabilisation wichtig!

Bei grösseren Flugmodellen wird meist der Flügel positiv angestellt und die Leitwerksneigung ist neutral, also 0° .

Aus konstruktiven Gründen (Kieferleiste mit gerader Oberseite) sind wir bei den Deprongleitern den umgekehrten Weg gegangen: Wir haben die EWD dadurch erreicht, indem wir das Höhenleitwerk hinten etwas anhaben, - also eine negative Neigung erwirkt haben.



Dadurch wird die Schwanzflosse im Flug leicht nach unten gedrückt und der Tragflügel richtet sich entsprechend auf. Diese kleine Massnahme verbessert die Stabilität und somit die Flugeigenschaften erheblich. Man könnte auch den Flügel vorne anheben. Uns scheint die vorgeschlagene Lösung bautechnisch einfacher zu realisieren.

7.3 Das korrekte Starten der Gleiter

Dazu wird der Gleiter mit Daumen und Zeigefinger unter den Flügeln und etwas hinter dem Schwerpunktbereich festgehalten, die Nase zeigt leicht nach unten. Mit angewinkeltem oder gestrecktem Arm wird das Flugzeug zügig in die Luft abgegeben. Der Bewegungsablauf ist in etwa vergleichbar mit der Pfeilabgabe beim Dartspiel. Keinesfalls darf der Gleiter nach oben geworfen werden; ein Absturz wäre die Folge. Erfahrungsgemäss legen die Kinder zu viel Kraft in die Abgabe und geben das Modell in einem vertikalen „Bogenschuss“ weg. Mit den meisten Jugendlichen muss man diese Bewegung zuerst trainieren.



a) und b): so wird das Modell festgehalten

c) und d): mit gestrecktem Arm wird das Modell der Luft übergeben. Nicht nach oben werfen!

In den beiden Dokumenten „Baubeschrieb Modell 1“ und „Baubeschrieb Modell 2“ findet man einen genauen Arbeitsbeschrieb zweier in der Praxis bewährten Gleiter. Wir haben diese beiden Modelle deshalb ausgewählt, weil verschiedene Arbeitstechniken (Rumpf) zur Anwendung gelangen.

Daneben stellen wir die Baupläne von drei weiteren Modellen (Nr. 3, 4 und 5) interessierten Lehrpersonen zur Verfügung. Hier haben wir auf detaillierte Bauanleitungen verzichtet, da die Arbeitsabläufe im Wesentlichen die gleichen sind, wie sie für die Modelle 1 und 2 beschrieben wurden.

Die beiden Autoren wünschen viel Erfolg beim Bauen und Fliegen!

Für besonders interessierte Leser seien an dieser Stelle noch Literaturhinweise aufgeführt:

Verfasser	Buchtitel	Verlag	ISBN-Nr.
Hinrik Schulte	Das Depron-Buch	vth (Verl. f. Technik und Handwerk GmbH)	3-88180-741-1
Winfried Kassera	Flug ohne Motor (Lehrbuch f. Segelfl.)	Motorbuch Verlag Stuttgart	3-613-01256-1
Werner Thies	Ferngelenkte Motorflugmodelle	Falken-Verlag GmbH	3-8068-0400-1
Werner Thies	Ferngelenkte Segelflugmodelle	Falken-Verlag GmbH	3-8068-0446 X
Werner Thies	Ferngelenkte Elektroflugmodelle	Falken-Verlag GmbH	3-8068-0700-0
Erich Rabe	Segelflugmodelle	Pflaum-Verlag, München	3-7905-0363-0
Erich Rabe	Motorflugmodelle	Pflaum-Verlag, München	3-7905-0555-2
Peter Holland	Flugmodelle erfolgreich bauen	vth (Verl. f. Technik und Handwerk GmbH)	3-88180-039-5
Franz Perseke	Das Segelflugmodell, Teil 1	Neckar-Verlag Villingen	3-7883-1154-1
Franz Perseke	Das Segelflugmodell, Teil 2	Neckar-Verlag Villingen	3-7883-1160-6
Franz Perseke	Das Segelflugmodell, Teil 3	Neckar-Verlag Villingen	3-7883-0197-X
Helmuth Brauer	Motorflugmodelle selbst konstruieren	vth (Verl. f. Technik und Handwerk GmbH)	3-88180-701-2
Ken Blackburn/Jeff Lam-mers	Weltrekorde zum Nachbauen (Papierflugzeuge)	Könemann Verlagsgesellschaft mbH, Köln	3-8290-0514-8