

Spaß mit Luftwellengleitern: bauen, verstehen, fliegen



Herausgegeben mit freundlicher Unterstützung des Luftsport-Verbandes Bayern e. V.

www.lvbayern.de, Stand: Januar 2019

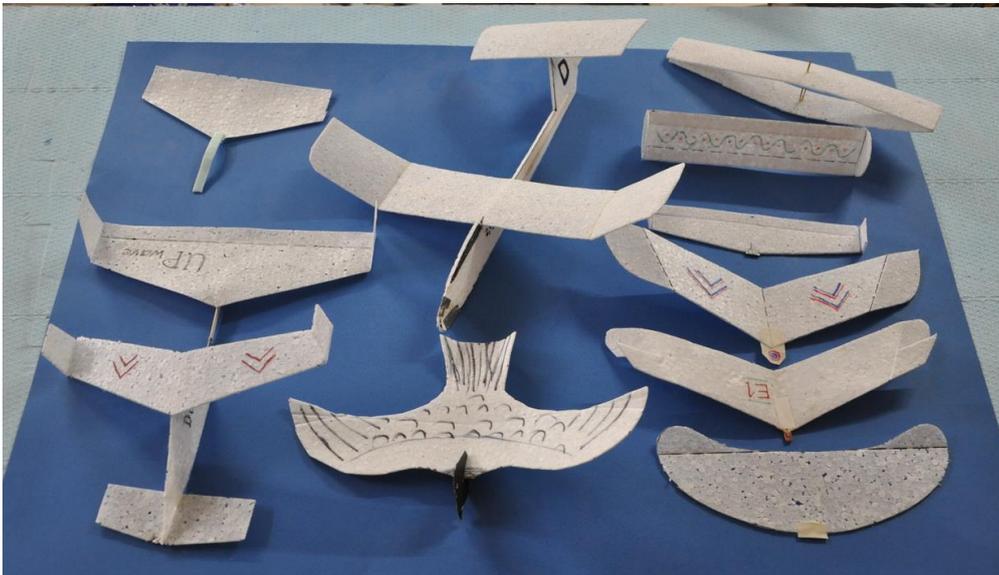
Das Fliegen wurde erfunden, um große Entfernungen von Kontinent zu Kontinent zu überbrücken. Aber kann man denn das Abenteuer „Fliegen“ auch in einem allseits begrenzten Raum erleben?

Die Antwort ist ja!

Wie so oft, schwappen neue Dinge über den Atlantik zu uns herüber. So kamen auch die „Walkalong Glider“ über den großen Teich. Da diese Gleiter von einer selbst erzeugten Luftwelle getragen werden, nenne ich sie treffender und zu gut deutsch: „Luftwellengleiter“. Im Internet wimmelt es geradezu davon, z. B. <http://www.sciencetoymaker.org/airSurfKit/index.htm>. Hier kann man sehen, wie Schüler mit einem Gleiter vor der Stirn durch den Klassenraum gehen. Ist da Hexerei im Spiel oder heiße Luft, die von einem überhitzten Kopf abgeht? Nichts dergleichen! Also partout keine Zauberkräfte!



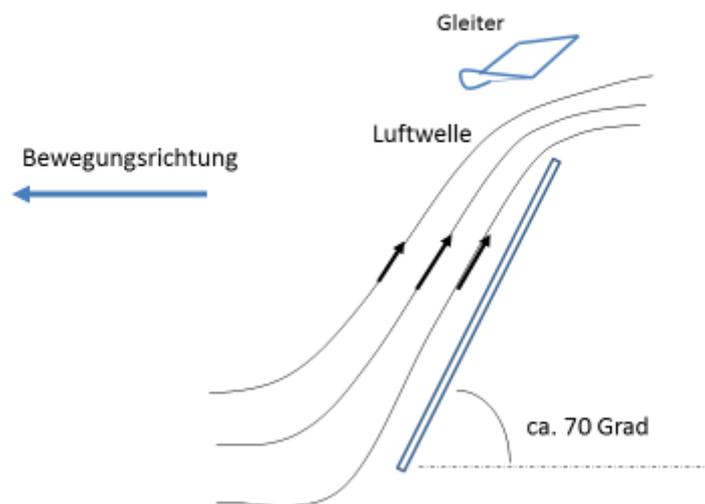
So macht es Spaß: den Karton steil knapp unter dem Modell führen, um eine Aufwindwelle zu erzeugen.



Verschiedene Luftwellengleiter aus Styropor

Wie entsteht die Luftwelle?

Der Körper erzeugt beim Gehen/Laufen eine Aufwindfront ähnlich dem Hangaufwind vor einer steilen Wand. Nur kommt der Wind nicht zum Hang, sondern ausnahmsweise bewegt sich hier der Hang und schiebt Luft vor sich her! Damit diese nicht allzu sehr seitlich ausweicht, benutzt man hilfsweise einen großen Karton. Je größer, desto wirkungsvoller – versteht sich. Prinzipiell geht auch ein Regenschirm, ein Tablett, ein Buch, eine breite Stirn oder – im Idealfall- die nebeneinander liegenden Hände.



Beim Schieben mit der Platte ist die Luftwelle knapp über dem Karton am stärksten.

Wichtig ist, dass der Gleiter sehr leicht ist (ca. 0,3 bis 0,5 g) und damit im Schrittempo fliegt. Der Karton wird ziemlich steil, etwa 70 Grad zur Horizontalen gehalten. Die obere Kante des Kartons befindet sich ca. 10 cm unterhalb des Gleiters. Ein zu flach geführter Karton bringt wenig Wirkung – wie auch ein zu flacher Hang! Karton und Modell müssen einen möglichst konstanten Abstand haben: der Karton soll etwa an der Hinterkante des Gleiters “kleben“. Im Idealfall steigt das Modell über Kopfhöhe - bis zu 1 m Überhöhung über Kopf wurde erreicht! Und jetzt kommt noch etwas sehr Spannendes hinzu: Man kann das Modell in die Kurve steuern, indem man den Karton seitlich zum Modell führt. Auf diese Weise kann man Hindernissen, wie Wänden, Möbeln, Personen usw. ausweichen. Kinder und Jugendliche lernen das sehr schnell! Übung macht den Meister!

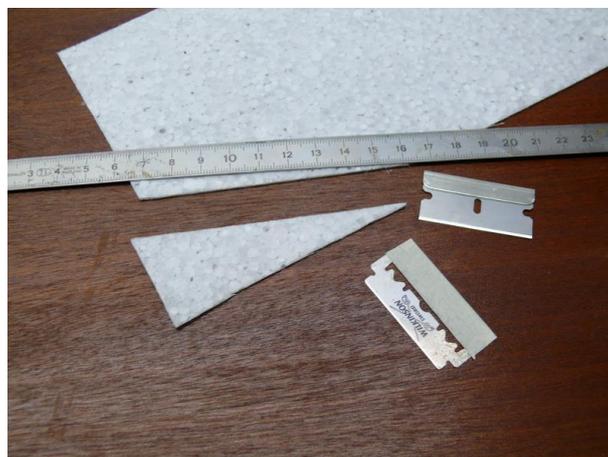
Welches Material benötigt man?

Gleich vorneweg: Depron und Styrodur sind zu schwer für den Luftwellen-Gleiterbau! Es eignet sich LOCKER GESCHÄUMTES Verpackungsstyropor. Styropor muss in Dicken von 0,7 bis 2 mm geschnitten werden, siehe Styropor-Schneideeinrichtung unten. Poren (Luftlöcher) im Styropor machen aerodynamisch nichts aus. Für die langsamsten Gleiter, die schon durch den Aufwind von den Händen oder dem Kopf geflogen werden können, benötigt man leichtes Styropor mit ca. 0,8 mm Dicke, das durchaus mit Luftporen durchsetzt sein kann.

Arbeitstechniken

Schneiden, Kleben

Für den Bau der Luftwellengleiter benötigt man im Wesentlichen eine scharfe Klinge und ein Stahllineal. Gerade Teile schneidet man am besten mit einer flach geführten Rasierklinge (eine Seite der Klinge aus Verletzungsgründen mit Klebeband abkleben!). Gebogene Umrissse sowie sehr dünnes Styropor wird mit einer scharfen Schere geschnitten, aber bitte ohne das Material zu „verwursteln“ und auszufransen. Wellen im Material, d. h. alle Abweichungen von einer planen Ebene, wirken sich im Flug z. T. verheerend aus: Der Gleiter fliegt nie mehr geradeaus! Wenn man welliges Material hat, kann man mit dem *Teigroller* kräftig darüber walzen und es damit wieder glattbügeln. Für Klebungen eignet sich Styropor-Kontaktkleber, z. B. UHU-Por o. ä.

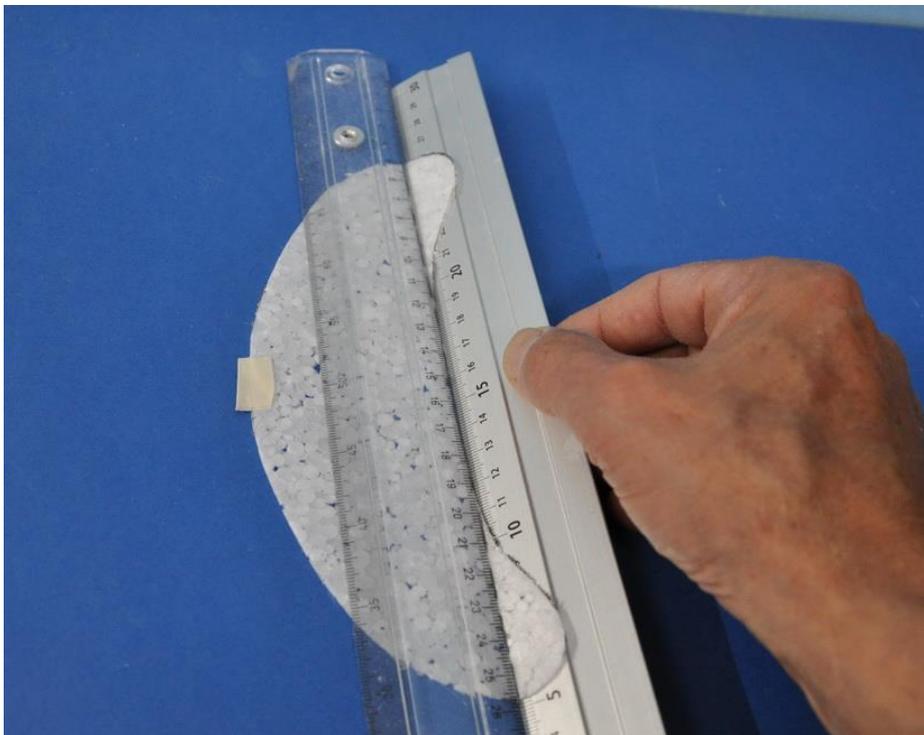


Werkzeuge: Rasierklinge und Stahllineal

Falzen



Falze drückt man mit einer scharfen Linealkante ein



Scharfkantiges Hochklappen der Ruderflächen mit Hilfe von 2 Linealen

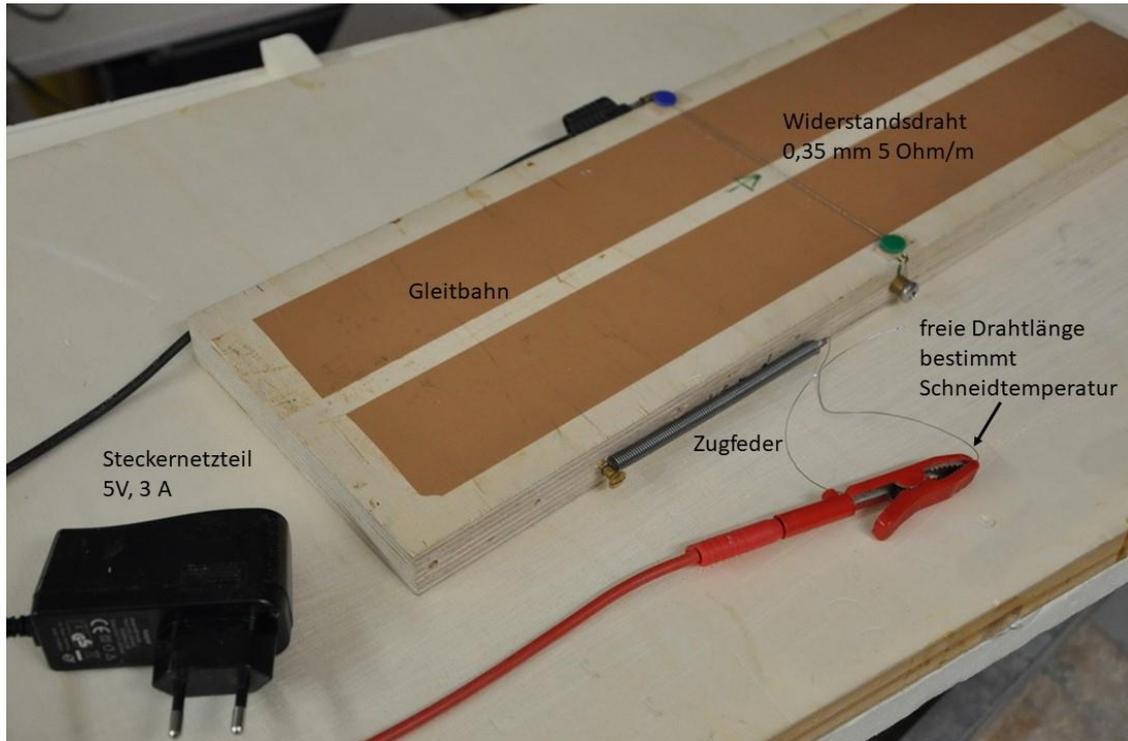
Styroporblatt wölben

Um die Wölbung in das Styroporblatt zu bekommen - z. B. beim Gleitschirm - benutzt man eine Rolle von ca. 3-4 cm Durchmesser mit einem angeklebten Karton. Das Styroporblatt wird in den Zwickel zwischen Rolle und Karton eingelegt und zusammen mit dem Karton unter Druck gerollt. Auch das Walzen auf einer mehrfach zusammengelegte Woldecke ist möglich.



Die Styropor-Schneideeinrichtung

Mit Widerstandsdraht 5 Ohm/m 0,35 mm oder 0,25 mm Dicke z. B. von Conrad Elektronik (Best. Nr. Bestell-Nr.:429909- 62) kann man eine Schneideeinrichtung leicht selbst herstellen (siehe Bild). Die Vorrichtung besteht aus einer glatten Auflage (möglichst mit Kunststoffbeschichtung) mit 2 Beilagen die etwas dicker sind als die zu schneidende Schicht (Abbrand durch Versuche ermitteln!). Mit einem Steckernetzgerät 5 Volt 3 Ampere den seitlich verlängerten Schneiddraht so ankleben dass der Draht gerade gut schneidet (Vorlaufänge bestimmt den Strom und die Temperatur). Zu heißer Draht macht viel Abbrand und eine unregelmäßige Oberfläche.

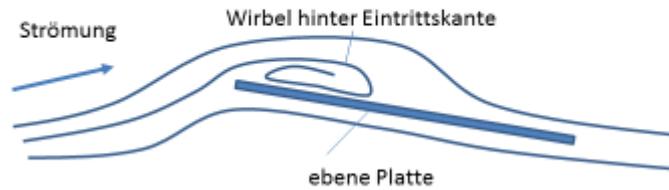


Beispiel einer Schneideeinrichtung, hier mit Umlenkung des Schneidedrahtes und Zugfeder. Zur Stromversorgung wird ein Steckernetzteil mit 5 Volt und 3 A verwendet. Die seitliche freie Drahtlänge bis zur Klemmstelle bestimmt die Schneidtemperatur. Beilagen unter den seitlich angebrachten Reißnägeln bestimmen die Schnitthöhe.

Styroporblätter, die auf der einen Seite noch die normale Oberfläche haben und die auf der anderen Seite mit dem Heißdraht geschnitten wurden, sind meist gewölbt. Ebene Scheiben bekommt man, wenn beide Oberflächen mit dem Heißdraht geschnitten wurden. Wellige Styroporblätter oder raue Schnittflächen lassen sich mit dem Teigroller unter Anwendung von Druck gut glätten. Am besten die Oberflächen von beiden Seiten walzen.

Ein kleiner Ausflug in die Aerodynamik

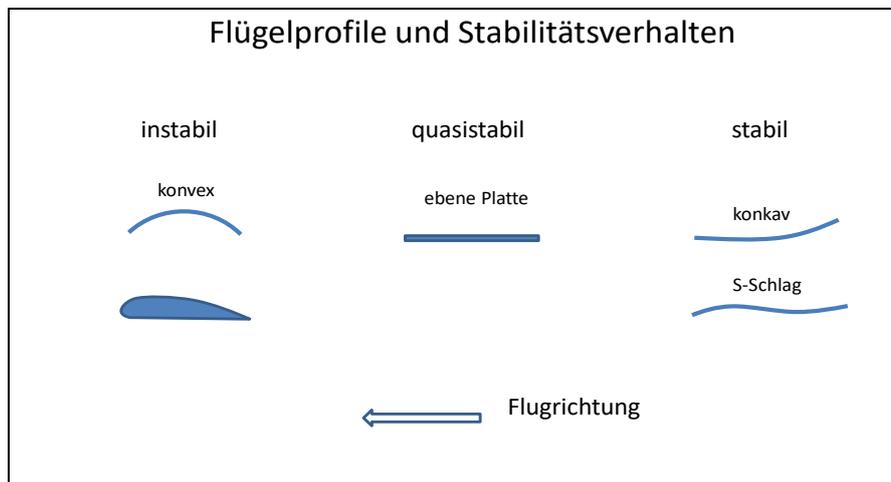
Wir bewegen uns hier im Bereich der Flugphysik von Käfern und Schmetterlingen, d. h. im Bereich der niedrigen Reynoldszahlen¹. Bei diesen niedrigen Geschwindigkeiten überwiegt die Zähigkeit der Luft gegenüber ihrer kinetischen Energie, und die kleineren Insekten beginnen bereits damit, im zähen Medium „Luft“ zu schwimmen. Deshalb schauen wir uns einmal an, wie diese Tiere fliegen: Die Flügelprofile sind z. B. ebene Platten (Schmetterling) oder auch gewölbte Platten (Deckflügel der Käfer). Auf keinen Fall finden wir hier dicke Flügelprofile wie bei einem Flugzeug! Die Eintrittskante der Schmetterlinge ist messerscharf um einen kleinen Wirbel an der Profilmase zu erzeugen, der dabei hilft, dass sich die Strömung besser anlegt. Besonders beim Schlagflug liefert dieser „Leading Edge Vortex“ (LEV) zusätzlichen Auftrieb, ohne den z. B. eine Hummel gar nicht flugfähig wäre (Bild)



Der Naseneintrittswirbel sorgt für zusätzlichen Auftrieb

Eine weitere Forderung bei Nurflüglern ist, dass der Flügel bei Störungen seine Lage von selbst korrigiert. Bäumt sich der Flügel zum Beispiel auf und hat damit einen größeren Anstellwinkel gegen die strömende Luft, dann muss er selbst ein Nickmoment (kopflastiges Drehmoment) erzeugen, das ihn wieder in die Normallage zurückdreht. Die ebene Platte ist bei richtiger Schwerpunktlage (ca. 25% der Flügeltiefe) bereits halbwegs flugstabil. Sie wird noch stabiler, wenn sie hinten etwas hochgewölbt ist oder ein S-Profil bildet. Eine konvex gewölbte Platte (s. Bild) ist dagegen ohne Zusatzflächen instabil und benötigt ein Leitwerk oder stabilisierende Flügel-Außenteile. Daraus folgt eigentlich schon, dass eine konkav gewölbte Platte genau das richtige Korrekturmoment erzeugt, nämlich ein der Störung entgegengesetztes Drehmoment! Ausprobieren!

- 1) Die Reynoldszahl ist eine Kennzahl die von der Größe und Geschwindigkeit des Flugobjektes abhängt. Sie berechnet sich näherungsweise zu $Re = V \cdot L \cdot 70$ (V Geschwindigkeit in m/s, L Länge des umströmten Objektes in mm). Flugkörper bzw. Flugzustände mit gleicher Reynoldszahl verhalten sich ähnlich.
- 2)



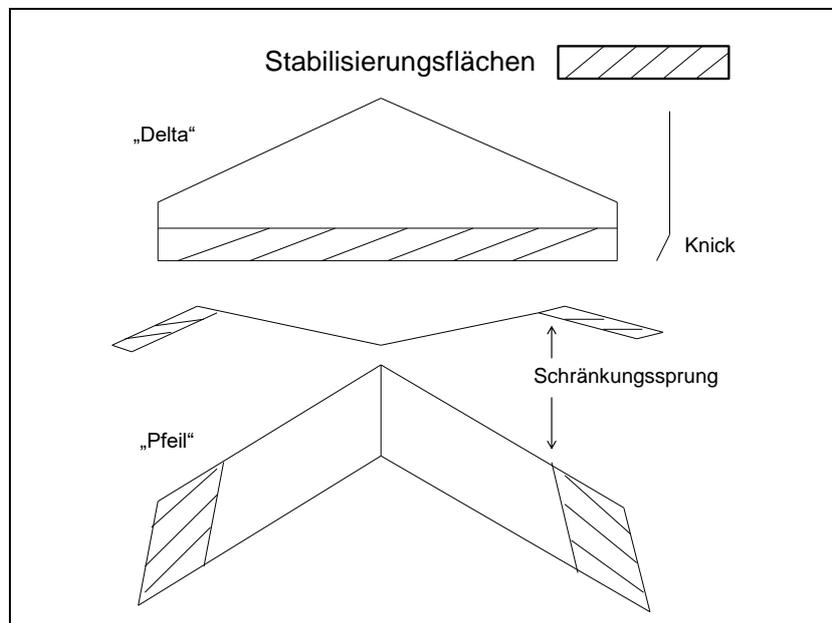
Flügelprofile mit stabilem und instabilem Verhalten

Gleiter-Typen

Geeignet sind u. a. Gleiter in **Deltaform** und **Pfeilform**.

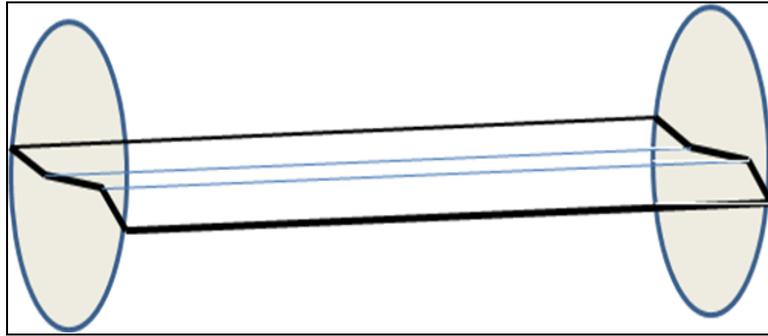
Modelle mit getrenntem Leitwerk („Leitwerksmodelle“) eignen prinzipiell auch zum Wellengleiten, siehe weiter unten. Beim Nurflügel liegen Stabilisierungsflächen und *tragende Fläche* räumlich eng zusammen, deshalb funktioniert das Schieben mit der Platte am besten.

Beim Delta wird die Stabilisierung durch Hochbiegen der Endkante erzeugt, beim Pfeilflügel dadurch, dass die Knicklinie („Mövenknick“) nicht in Flugrichtung, sondern schräg dazu verläuft. Hierdurch ist der Außenflügel gegenüber dem Innenflügel etwas negativ verschränkt, d. h. seine Ebene ist gegen die Flugrichtung gekippt, s. „Easy Glider“



Delta- und Pfeilflügel sind stabil fliegende Gleiterformen

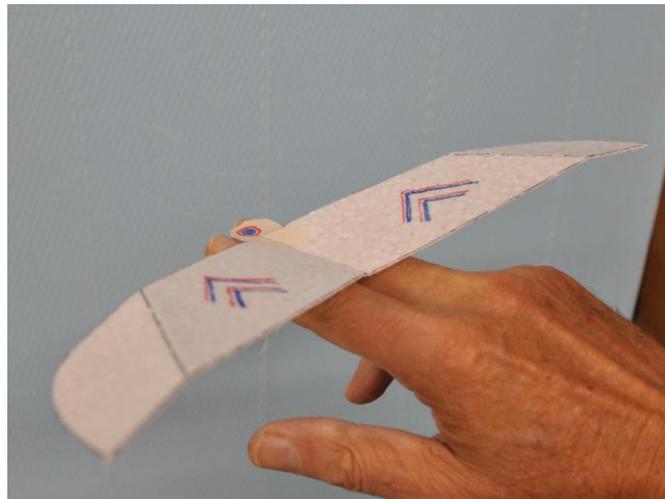
Dann gibt es noch die **Rotationsflügel** (Bild unten). Sie bestehen z. B. aus einem Z-förmigen Doppelprofil mit Endscheiben, die die Richtungsstabilität bewirken. Mit dem Schiebekarton muss man bei diesem Typ von Wellengleiter sehr dicht dranbleiben, darf den Flügel aber keinesfalls „überholen“. Bei den Rotationsflügeln kann der Karton evtl. etwas flacher geführt werden. Die beste Neigung und Position muss man „erfliegen“. Die rotierenden Flügel sollten horizontal in der Luft liegen. Das ist dann nicht der Fall, wenn sie geringe Asymmetrien besitzen (siehe Fehlerbeseitigung).



Prinzip des Rotationsflügels mit Z-Profil. Der rotierende Flügel funktioniert nach dem Magnuseffekt.

Startmethode

Folgende Methode hat sich am besten bewährt: Man legt das Modell auf eine Startrampe aus Zeige- und Mittelfinger (s. Bild). Mit dem Karton darunter beginnt man zu laufen. Das Modell hebt von selbst ab, sobald es genügend Aufwind „spürt“. Die besten Ergebnisse erzielt man mit Modellen, die leicht schwanzlastig sind, d. h. ohne Aufwindwelle beim Gleiten etwas „pumpen“. In der Welle fliegen sie dann ganz normal.



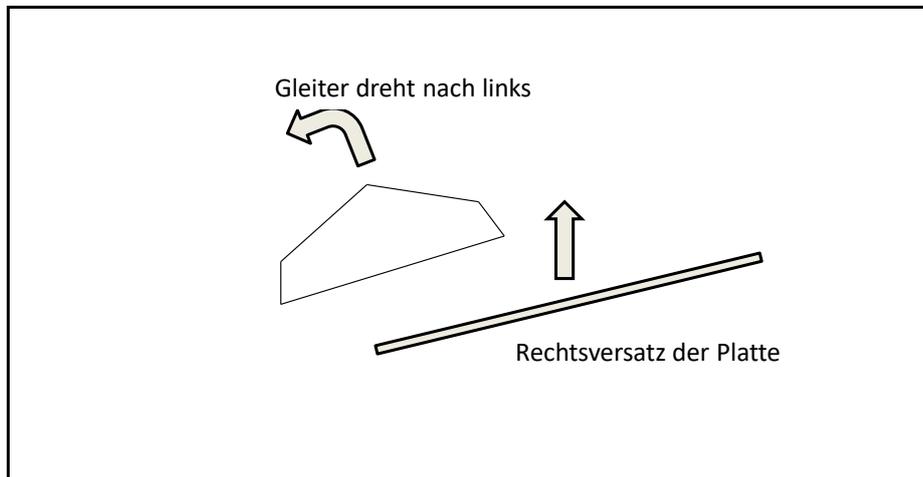
Der Gleiter wird auf die Fingergabel gelegt. Mit dem Karton unter dem Modell zu laufen beginnen, bis das Modell von selbst abhebt.

Fliegen und Steuern des Modells

Besonders am Anfang sollte man als Aufwinderzeuger eine größere Platte verwenden. Ein Karton oder eine Styroporplatte mit ca. 50 x 60 cm ist ideal. Je besser man die Technik beherrscht, desto kleiner kann die Platte sein. Für schwierig zu fliegende Modelle ist ein größerer Karton besser, denn er besitzt eine breitere und gleichmäßigere Aufwindfront. Das gilt insbesondere für Rotationsflügel und Leitwerksmodelle.

Wenn man die Platte etwas seitlich führt, beginnt das Modell in die entgegengesetzte Richtung einzudrehen. Mit dieser Technik kann man Kurven fliegen und Hindernissen ausweichen. Man muss dabei immer etwas vordenken und die Steuerbewegung rechtzeitig einleiten bzw. auch ausleiten.

Auf diese Weise lassen sich z. B. Slalomläufe um Torstangen und ähnliche sportliche Disziplinen durchführen. Auch das Durchfliegen von Hula-Hoop-Reifen ist sehr beliebt.



Prinzip des Steuerns durch Versetzen der Schiebepatte (Sicht von oben)

Mit den Händen „fliegen“

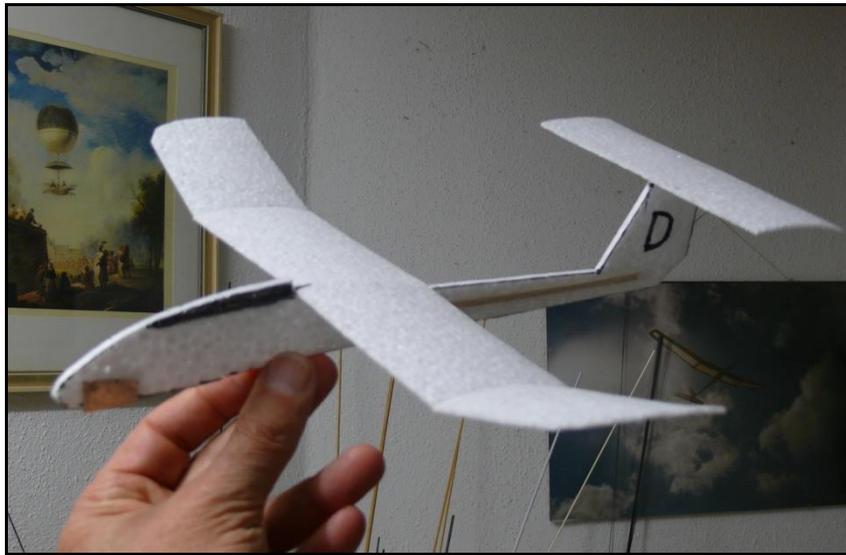
Das ist die wahre Herausforderung für Könner! Aus der Abbildung ist die Haltung ersichtlich: Der „Pilot“ versucht eine möglichst breite Aufwindfront zu erzeugen und muss dazu mit den gespreizten Händen immer genau unter und knapp hinter dem Modell bleiben.



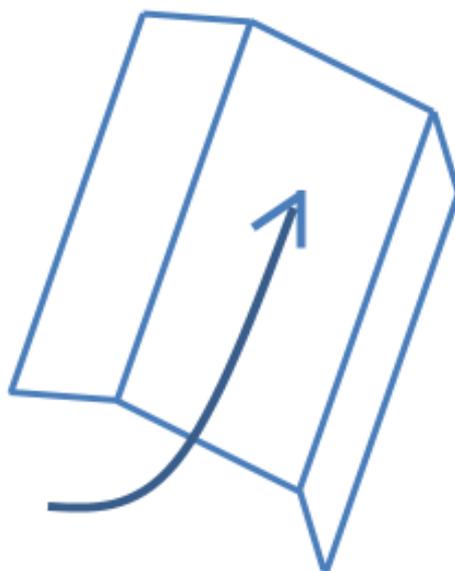
Mit gespreizten Händen versucht der „Pilot“ unter dem Gleiter eine Aufwindfront zu erzeugen.

Leitwerksmodelle

Neben den Nurflügel-Typen kann man auch Modelle mit Normalleitwerk in der Welle fliegen. Diese sollten einen kurzen Rumpf und ein hochgesetztes Leitwerk (T-Leitwerk) haben. Der Grund: der Aufwind ist unmittelbar an der Platte höher als in einiger Entfernung. Deshalb gehen Normalmodelle meist sofort auf den Kopf (werden kopflastig). Man muss ggf. mit der Stellung der Platte etwas experimentieren bis man den Bestpunkt für ein solches Modell findet. Vor allem eine große Platte verwenden! Der Normalgleiter wird - wie auch die Nurflügel - leicht schwanzlastig eingeflogen, d. h. er sollte im Gleitflug leichte Wellenbewegungen ausführen (in der Fliegersprache: „pumpen“). So getrimmte Modelle sind dann goldrichtig zum Fliegen in der Aufwindwelle!



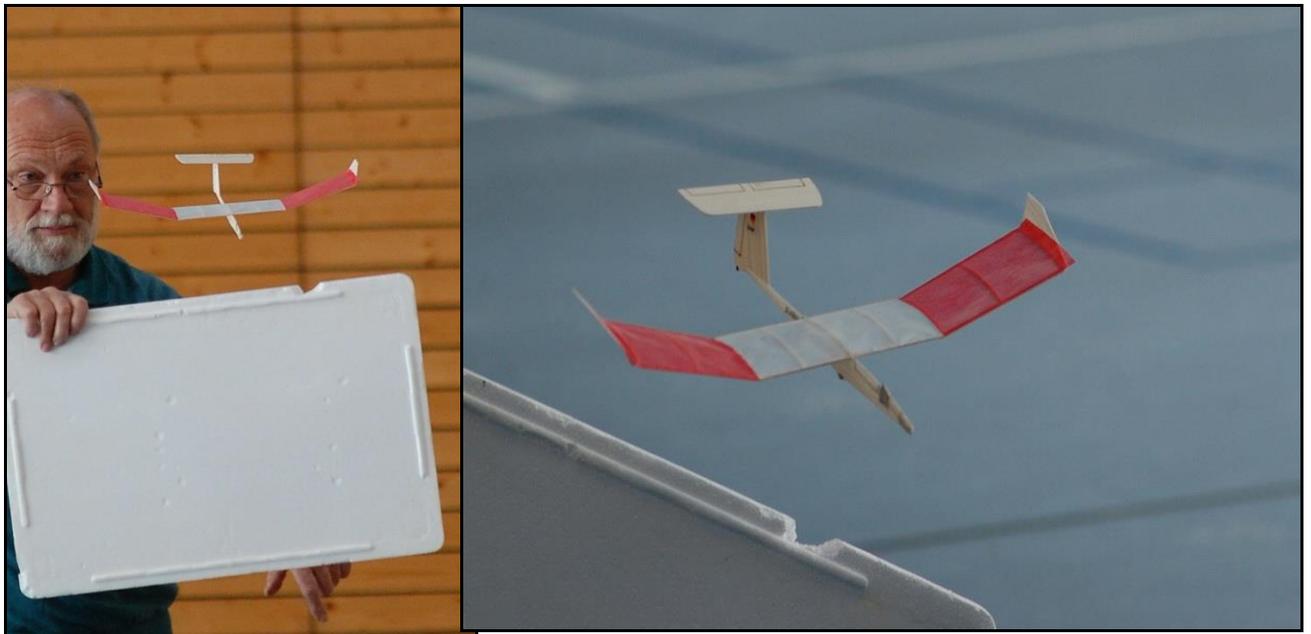
T-Leitwerkssegler zum Wellengleiten



Eine Vorrichtung, mit dem man auch ein Modell mit Normalleitwerk durch die Luft schieben kann: Die Schiebeplatte ist gewölbt oder besteht aus 3 Stücken (U-Form). Hierdurch entsteht eine Luftpüse in der die Luft nach oben gedrückt wird und die bei Leitwerksmodellen besonders gut wirkt.



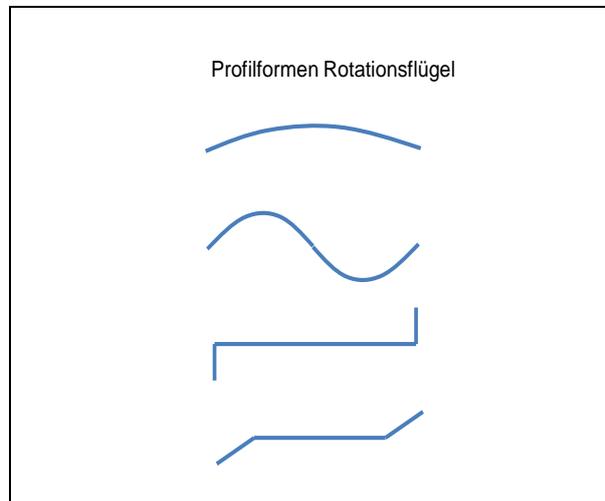
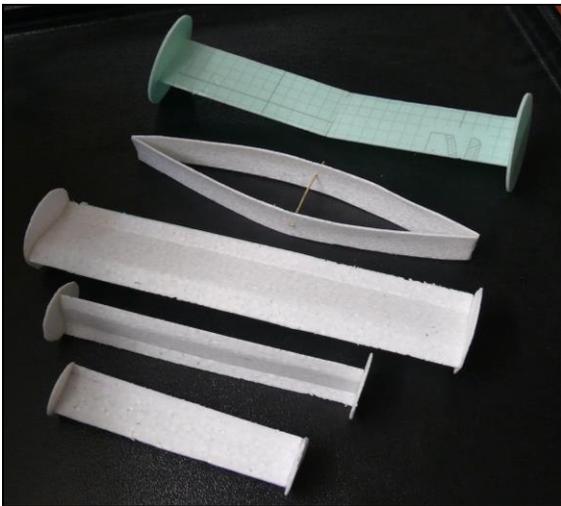
Auch ein großer Kartondeckel mit Rändern bildet eine Art Konzentrador für die Luftströmung



*Der „Teamracer“ von D. Aronstein, Normalmodell in Balsa-Strukturbauweise mit T-Leitwerk, Gewicht 2,8 g.
Man beachte das hochgesetzte Leitwerk und den kurzen Leitwerksabstand zum Flügel*

Drehflügler

Drehflügler sind einfach zu bauen und erzeugen schon ziemlich viel Spaß, wenn man sie nur von einem erhöhten Standort fallen lässt, z. B. in einem Treppenhaus oder von einer Galerie. Man kann Wettbewerbe veranstalten, um festzustellen, welches Modell am längsten in der Luft bleibt. Das Ausgangsmaterial ist ca. 2 mm dickes Styropor, das man sich mit der Heißdrahtsäge hergestellt hat. Das Profil kann z. B. eine Z-Form sein: die Falze werden von beiden Seiten mit dem Stahllineal eingedrückt und die Ränder mit Hilfe von 2 Linealen hochgeknickt. Beim Fliegen mit dem Karton muss dieser immer knapp hinter dem Rotor bleiben. Sobald man mit der Platte den Flügel überholt, ist der Auftriebs-Effekt weg. In Hallen mit Lüftungsanlagen gibt es Zonen in denen die Drehflügel sogar von selbst nach oben steigen. Auch vor einer sonnenbeschienenen Wand können sie hochsteigen – das ist ein gutes Anschauungsbeispiel für so genannte „Kaminthermik“ an sonnenbeschienenen Berghängen.



Verschiedene Formen von Drehflüglern



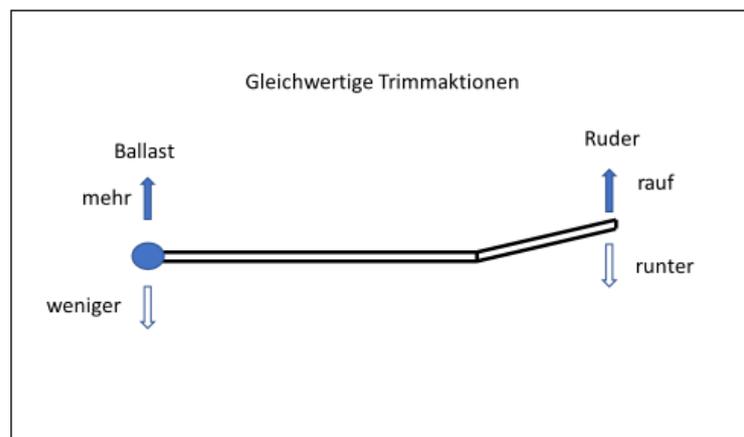
Ein Rotationsflügel fliegt am besten bei etwas flacher gehaltener Platte im Bereich des oberen Plattenrandes

Das Modell trimmen /Fehlerbeseitigung

Die Delta-Nurflügel werden an der Hinterkante immer ca. 20 Grad hochgebogen (negativ geschränkt). Nun wird so lange Ballast an die Flügelspitze gebracht, bis das Modell einen gestreckten Gleitflug ausführt.

Beim gepfeilten Nurflügel ist die Schrängung der Flügelaußenteile (die Außenteile haben einen kleineren Einstellwinkel zur Strömung als der mittlere Teil) infolge der schräg verlaufenden Knicke bereits eingebaut. Biegt man die Flügelaußenteile am Knick nach unten, erhöht sich die Schrängung (Modell wird schwanzlastiger) und umgekehrt.

Zur Einstellung des Schwerpunktes werden an der Flügelspitze als Trimmgewichte aus Strohhalmen, Knete oder Klebeband verwendet.

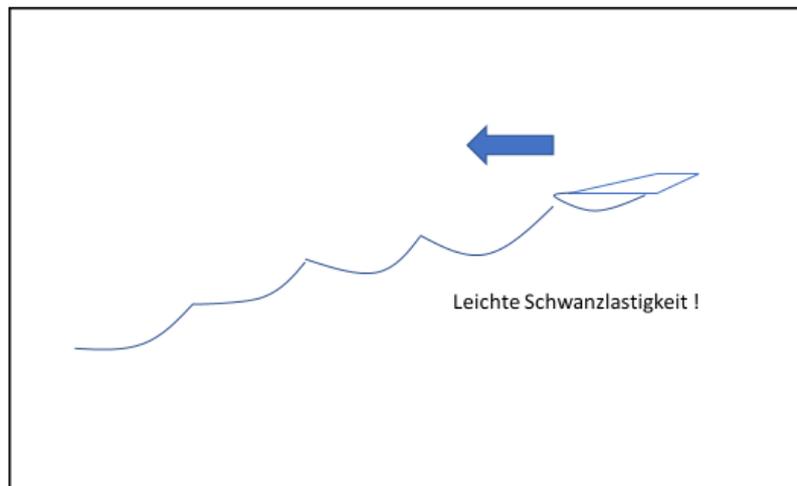


Trimmung von Nurflügeln: Aktionen mit gleicher Wirkung ²⁾:

Bei Schwanzlastigkeit: Mehr Trimmgewicht vorn oder Hinterkante herunterbiegen

Bei Kopflastigkeit: Weniger Trimmgewicht vorn oder Hinterkante nach oben biegen

Nochmals der wichtige Hinweis: Die Modelle müssen im Gleitflug etwas *schwanzlastig* eingeflogen werden, da sie beim Schieben mit der Platte aus den besagten Gründen immer etwas kopflastig werden. Ein leichter Wellenflug (leichtes Pumpen) beim Fliegen ohne Platte ist ideal! Nur so kann man entspannt fliegen!

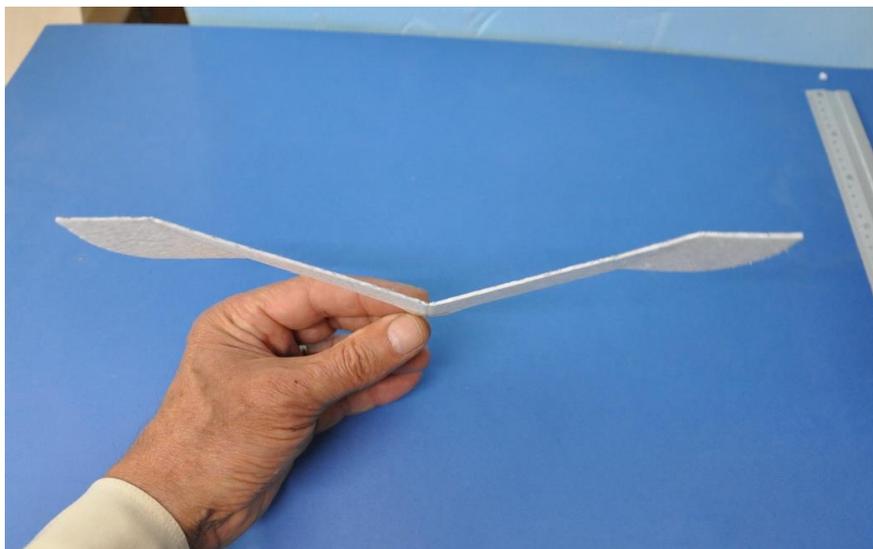


Das Modell fliegt nicht geradeaus:

den Flügel etwas verdrehen. Wenn das Modell z. B. nach links kreist, erzeugt die rechte Seite zu viel Auftrieb (Querruderwirkung). Die Endkante der rechten Flügelhälfte muss dann nach oben gebogen werden und umgekehrt.

Verzüge erkennen:

von hinten genau in Flugrichtung „durchvisieren“ (in der so genannten Messerlinie). Linke und rechte Seite des Fliegers müssen genau symmetrisch sein, s. Bild!



***Verzüge erkennen: exakt in Flugrichtung durchvisieren.
Unsymmetrien führen dazu, dass das Modell nicht geradeaus fliegt!***

Drehflügel (Rotor) dreht zur Seite und kippt ab:

hier ist eine Asymmetrie die Ursache. Genau durchvisieren und den Rotor in sich leicht verwinden. Wird der Effekt stärker, dann in die andere Richtung verwinden.

Ursache kann auch eine Gewichts-Unsymmetrie sein: auf der leichteren Seite ein Stückchen Klebeband anbringen und die Wirkung beobachten.

Fliegen in der Gruppe

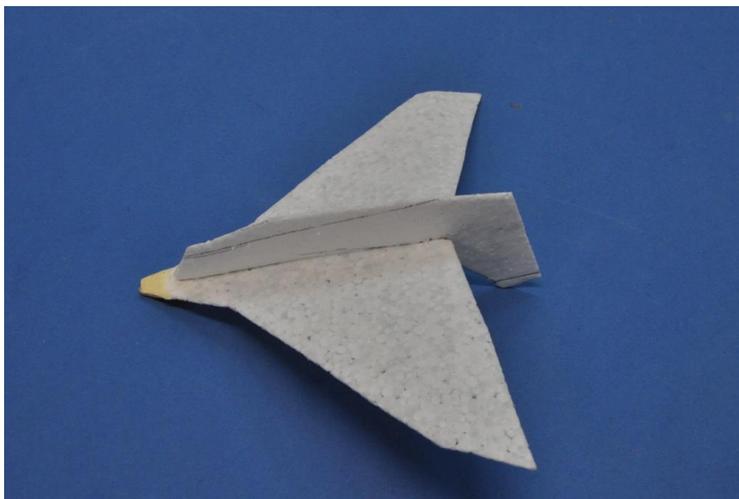
Wenn mehrere Schüler einen Luftwellengleiter gebaut haben, dann wollen natürlich alle sofort und möglichst zusammen fliegen. **Genau das geht jedoch nicht!** Die Gleiter sind gegenüber Luftwirbeln sehr empfindlich. Wenn eine Person durch den Raum läuft, dann zieht sie eine Wirbelschlepe hinter sich her. Rauchversuche haben gezeigt, dass die Luftwirbel etwa 10 Sekunden lang nachweisbar sind. Wenn also 10 oder 15 Schüler durcheinanderlaufen, ist das Wellengleiten unmöglich! In einer Normalturnhalle können höchstens 3 bis 5 Schüler gleichzeitig fliegen. Sie sollten sich auf begrenzte Flächen verteilen, möglichst ohne die Bahn des Mitschülers zu kreuzen. Insbesondere beim Start muss man darauf achten, in einen ungestörte -sprich wirbelfreie Zone - hineinzufiegen.

Modell-Pläne

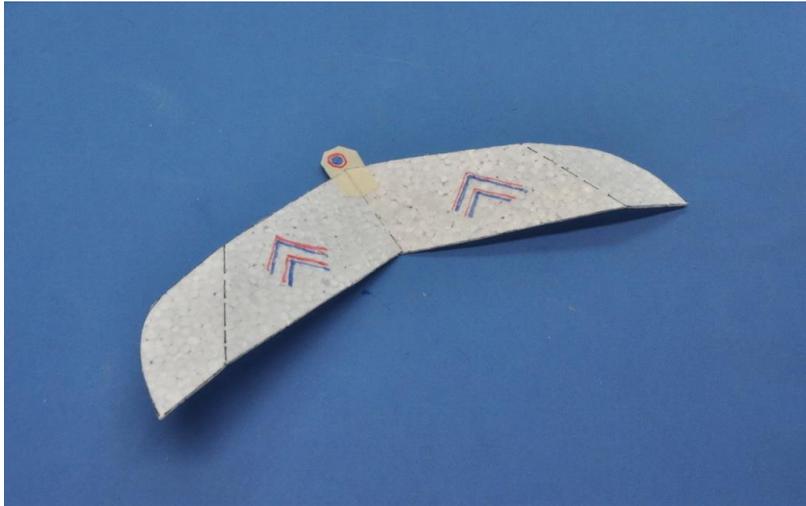
Im Anhang finden sich Pläne einiger bewährte Gleitertypen. Die Modelle kann man auch vergrößern oder verkleinern. Im Grunde ist die Vielfalt von Gleitertypen unbeschränkt. Beim größeren Modell ist normalerweise auch eine größere Materialdicke (2 mm) erforderlich, um die mechanische Stabilität zu wahren. Das Material ist immer Leicht-Styropor mit 0,5 bis 2 mm Dicke. Man kann einen Gleiter leicht selbst entwerfen, wenn man das Prinzip kennt: eine ebene Platte an der Hinterkante etwas aufbiegen und den Schwerpunkt mit einem kleinen Trimmgewicht an der Spitze des Flügels/Gleiters einstellen. Das Internet bietet hier eine Menge Anregungen (Stichworte: „Walkalong Glider“ „Luftwellengleiter“ „Schubsi“). Die Gewichte der Gleiter sollten für ein entspanntes Fliegen im Schrittempo nicht über 0,4 g liegen. Ideal ist unter 0,3 g, sieh Bild „Ventus“.



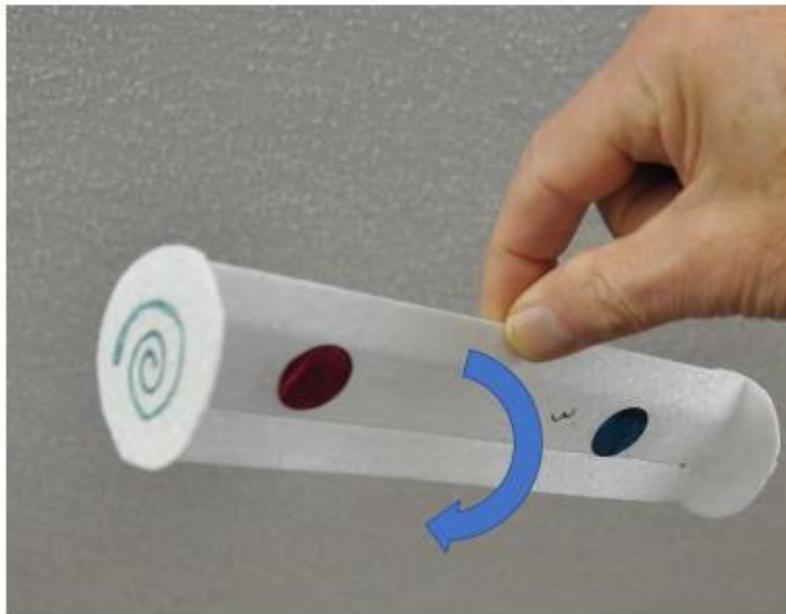
„Ventus“



„Phantom“



„Easy Glider“



Rotor

Startphase: Das hintere Ende (steht nach oben!) wird mit Schwung nach unten gedrückt



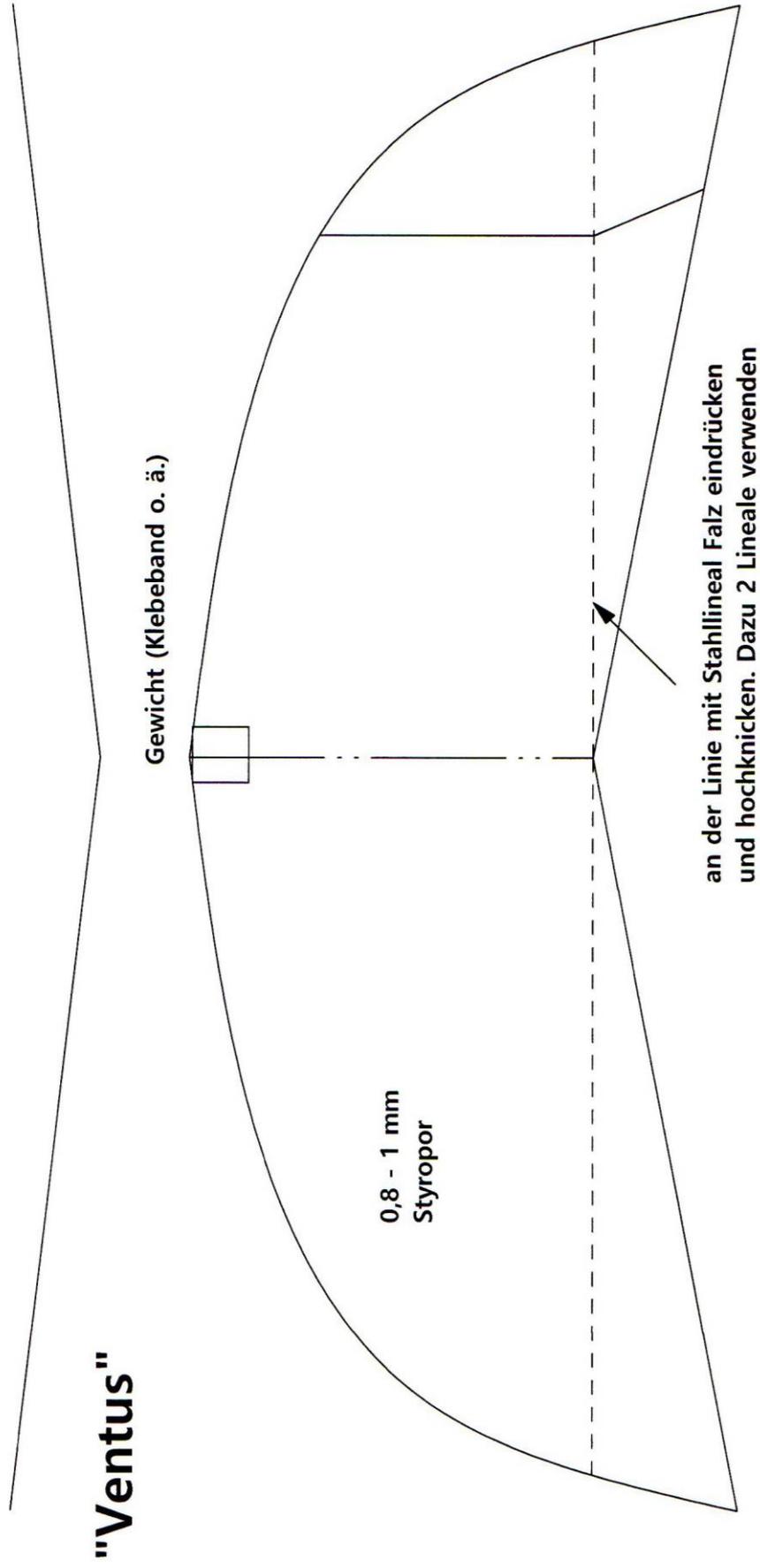
Der Gleitschirm im Flug

Schlussbemerkung

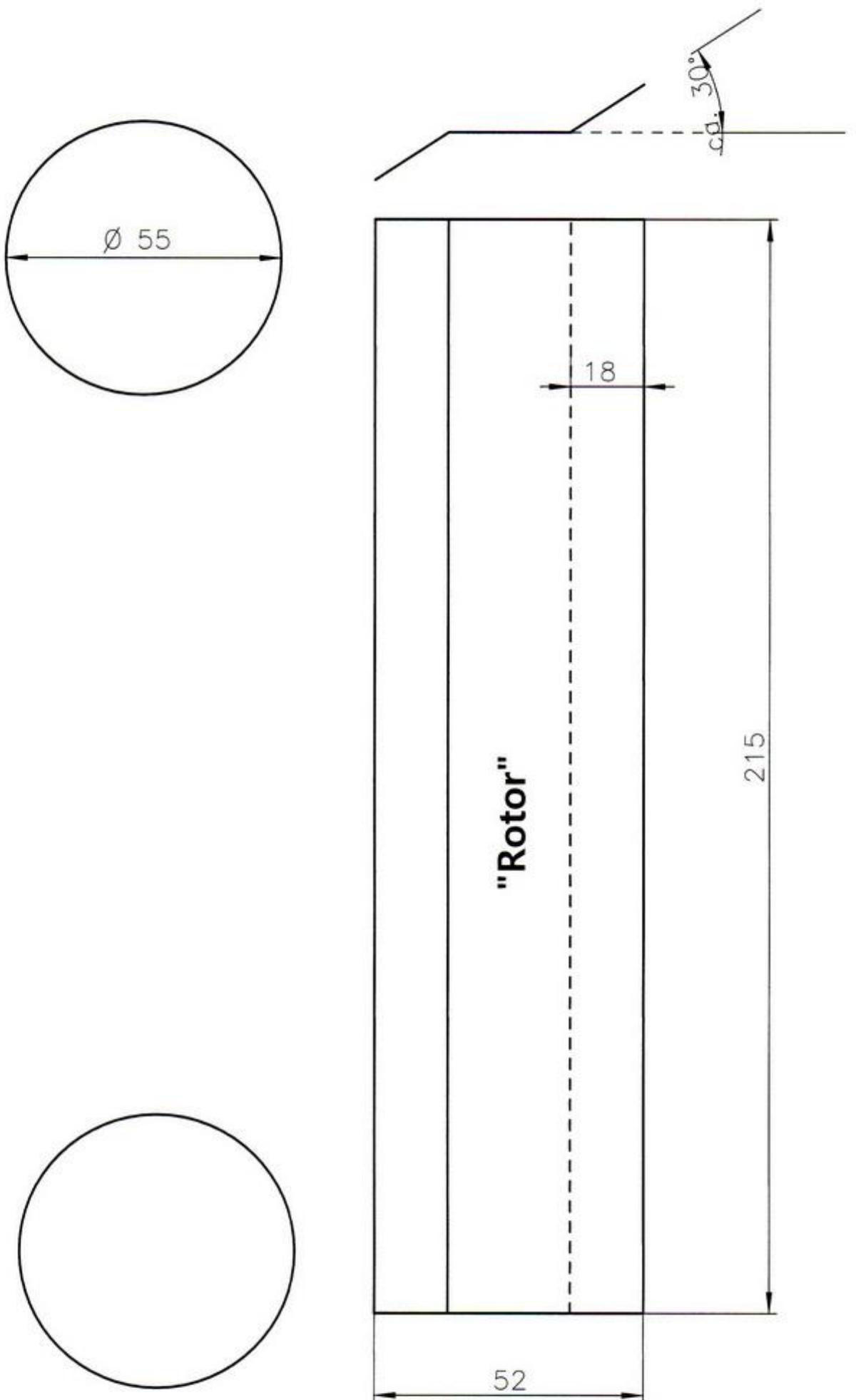
Die vorstehende Broschüre entstand aus den Erfahrungen bei den Workshops „Fliegende Objekte“ in der Flugwerft Schleißheim des Deutschen Museums unter Mitarbeit von Martin Meyr, Helmbrecht Haberl, Roland Oehmann und vielen anderen, denen mein herzlicher Dank gilt.

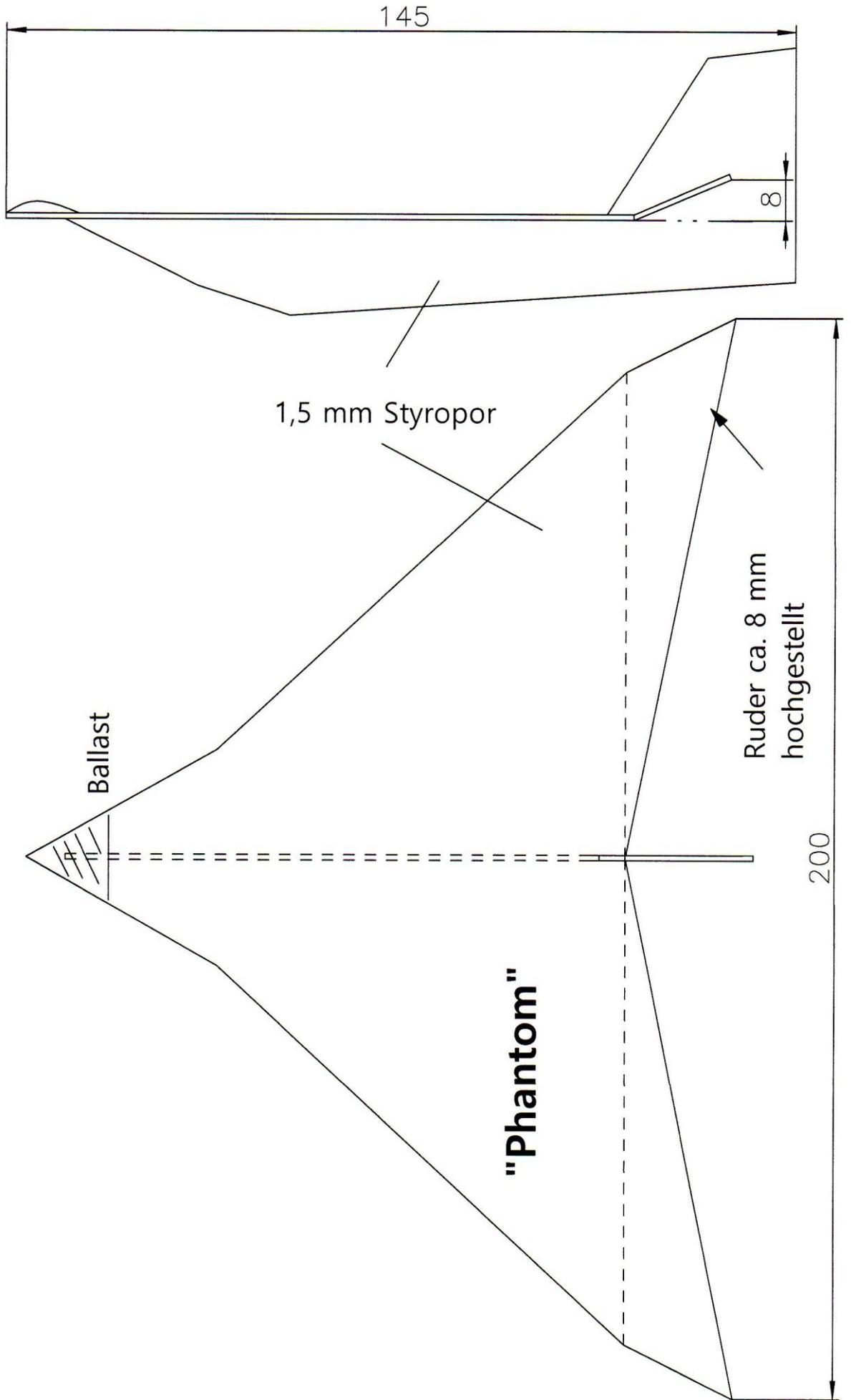
München, Januar 2019

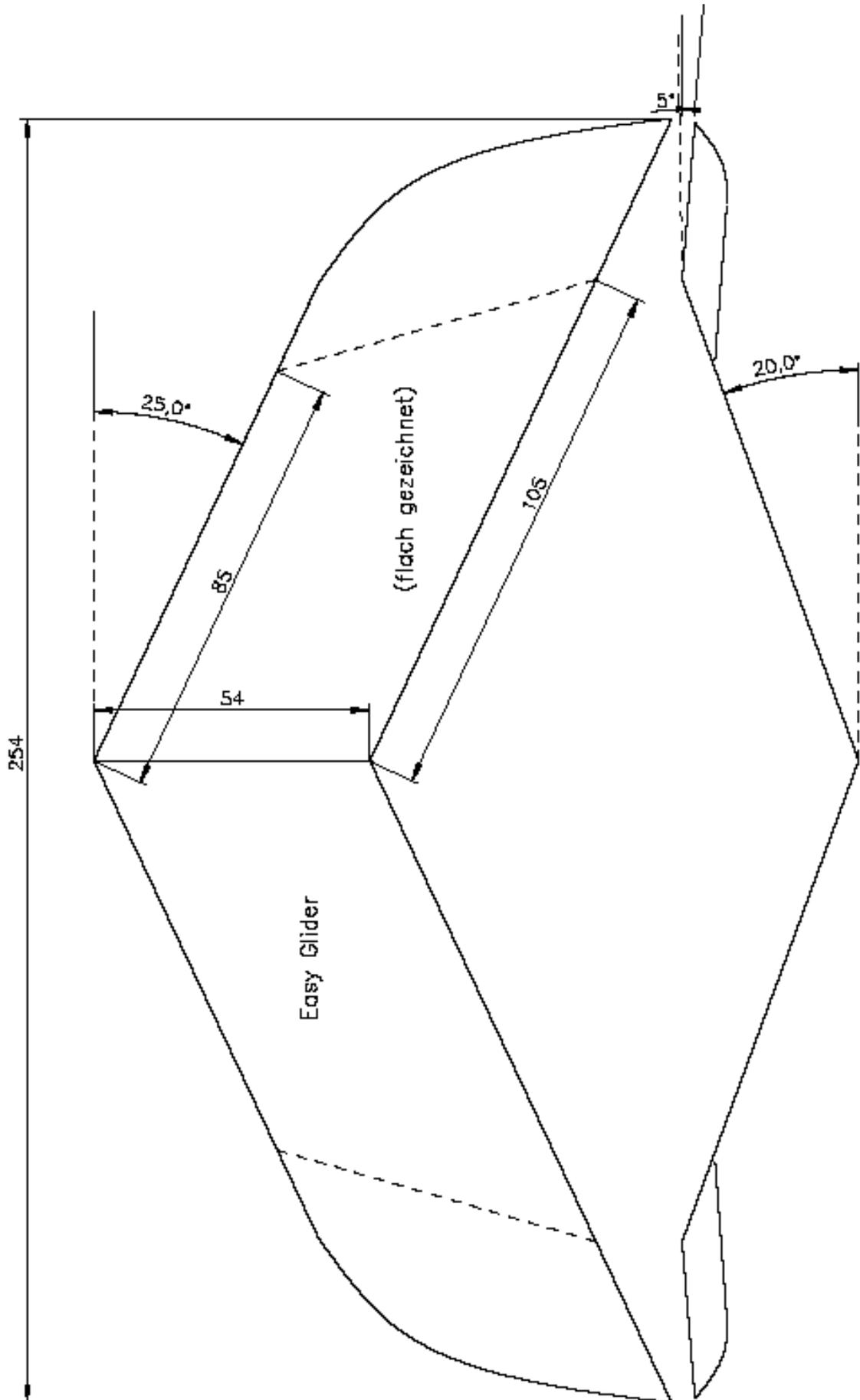
Dr. Heinrich Eder



"Ventus"







"Schubsi"-Gleitschirm

Modellentwurf: Martin Meyr

Spannweite: 230 mm, Gewicht ca. 0,5 g,

Material: locker geschäumtes Styropor

0,9 mm Dicke

(mit Hitzdraht geschnitten)

