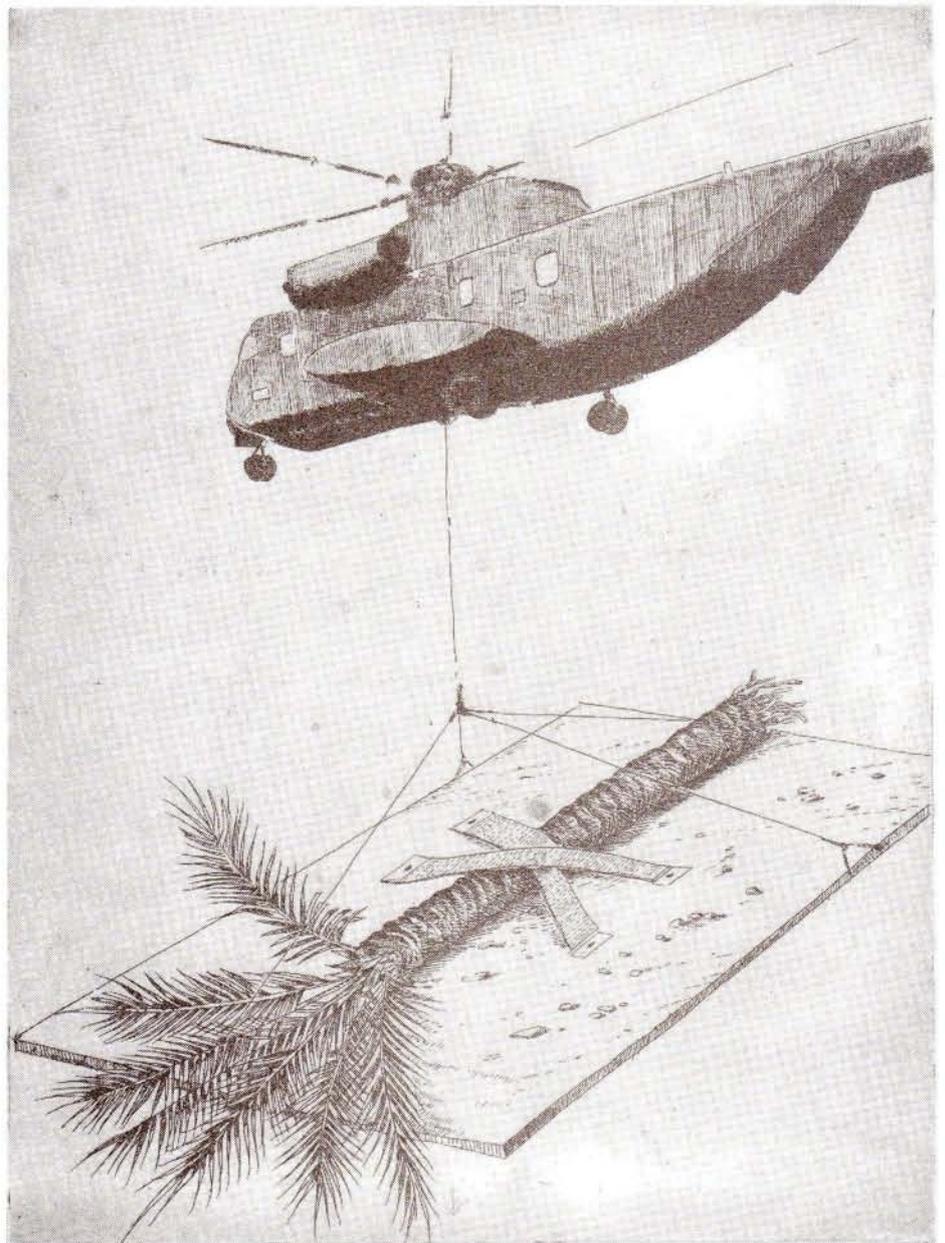


Soznat

Materialien für den Unterricht 26

FLIEGEN UND FLUGMODELLE



Klaus Hahne

Naturwissenschaften sozial

Klaus H A H N E

FLIEGEN und FLUGMODELLE

Segelflug - Heißluftballon - Rakete

Materialien zu einer Unterrichtsreihe

Marburg 1988

Redaktion: Armin Kremer, Ulrike Kron-Traudt, Lutz Stäudel

Graphik: Angela Bender

Skript: Petra Dröfke

Herausgeber: *AG Naturwissenschaften - sozial*

c/o Lutz Stäudel
Gesamthochschule
Kassel, FB 19
Heinrich-Plett-Str. 40
3500 Kassel

c/o Armin Kremer
AG Soznat
Universität Marburg, FB 21
Ernst-Giller-Str. 5
3550 Marburg

Titelbild:

"Air-Cargo III"

Farbradierung 1981
19,8 x 14,8 auf 40 x 30

Maarten THIEL

Wir bedanken uns für die Nachdruckerlaubnis
Lutz Stäudel Armin Kremer

CIP - TITELAUFNÄHME DER DEUTSCHEN BIBLIOTHEK

Hahne, Klaus:

Fliegen und Flugmodelle: Segelflug - Heißluftballon - Rakete;
Materialien zu e. Unterrichtsreihe / Klaus Hahne. Hrsg.: AG
Naturwiss. - Sozial. - 1. Aufl. - Marburg: Red.-Gemeinschaft
Soznat, 1988

(Soznat; Bd. 26)

ISBN 3-922850-48-0

NE: GT

1. Auflage 1988

(c) Redaktionsgemeinschaft Soznat Marburg
Postfach 2150 3550 Marburg

Druck: alp-Druck, Marburg

Alle Rechte vorbehalten - Kopien zu Unterrichtszwecken erlaubt

ISBN 3-922850-48-0

I N H A L T

	Seite
I. Einleitung	1
II. Problemorientierung: Ein Anlaß zum Basteln, Konstruieren und entdeckendem Lernen	3
1. Problemstellung: "Baut etwas, was sich möglichst lange in der Luft hält"	3
2. Erste Konstruktionen zur Bewältigung des Problems Fliegen	5
3. Umwege und Irrwege beim Ausprobieren von Fallschirm- konstruktionen	6
4. Erfolgreiche Konstruktionen setzen sich durch	13
5. Spielvorstellungen, die sich durchsetzten, ohne daß die Problemstellung beachtet wurde	15
6. Die Durchführung eines Flugwettbewerbs	16
III. Das Spektrum der Arbeitsgruppen	18
A. Überblick	18
1) Bau eines Heißluftballons	
2) Bau eines Segelflugzeugs	
3) Bau eines Papierdrachens	
4) Bau eines Helikopters	
5) Geschichte des Fliegens	
6) Berufsbild einer Stewardess	
7) Berufsbild eines Flugkapitäns	
8) Kriegsflugzeuge	
9) Bau eines Flughafensmodells	
10) Vogelflug	
11) Raketen-Autos	
12) Verkehrsflugzeuge und Tourismus	
13) Gemeinsame Tätigkeiten: Flughafenbesichtigung	
14) Ausstellung	

B. Typische Situationen, Schwierigkeiten in und Produkte aus den Arbeitsgruppen	22
1) Bau von Segelflugmodellen und Gleitern	22
2) Bau von Heißluftballons	49
3) Bau einer Rakete - oder "Gezündelt hätten sie ja doch!"	63
IV. Beispiele für eine fächerübergreifende Behandlung des Themas Fliegen	69
A. Fliegen als Mythos: Versuchung und Verwirklichung	69
B. Fliegen um zu vernichten - Faszination von Kriegsflugzeugen	74
V. Literatur	86
VI. Versuchsanleitungen	89
VII. Literatur zu den Versuchsanleitungen und Filme	141

Die vorliegende Unterrichtseinheit "Fliegen und Flugmodelle" ist die völlig überarbeitete Fassung der Unterrichtseinheit "Der FAN ist über hundert Meter weit geflogen" (Marburg 1980) von Klaus HAHNE und Annette SCHEITERLE. An den Versuchsanleitungen haben Fritz HEIDORN und Ulrich WÖRPEL mitgearbeitet.

I. Einleitung

Das Thema Fliegen in der Schulphysik

Die Behandlung des Stoffgebiets Fliegen in der Schulphysik kommt meist zu kurz, obwohl sich für dieses Thema besonders viele Schüler im Alter zwischen dreizehn und fünfzehn interessieren.

Der Grund, warum das Thema im Physikunterricht so gut wie nicht behandelt wird, liegt u.a. darin, weil Fliegen vor allem als Aerodynamik zu dem Bereich der Strömungslehre gerechnet wird. Die theoretischen Versuche sind für diese Altersstufe ebenso schwierig zu verstehen, wie etwa die praktischen Versuche zur Luftschraube oder zur Flugstabilität. Darüberhinaus sind die *normalen* physikalischen Versuche zur Aerostatik und Aerodynamik auch nicht in der Lage, die Interessen und Vorstellungen ernstzunehmen, die für Schüler dieser Altersstufe untrennbar mit Fliegen verbunden sind:

- Dinge von erhöhten Standpunkten herabfallen und gleiten lassen,
- Schwalben bauen und werfen,
- "fliegende Superhelden",
- Faszination durch einen startenden JUMBO,
- Drachen steigen lassen,
- Flugmodelle bauen,
- Vögel beobachten,
- einen "richtigen Flug" miterleben (viele unserer Schüler hatten schon Erlebnisse mit Urlaubsflügen oder lokalen Rundflügen gehabt),
- Pilot oder Stewardess werden wollen,
- Begeisterung für Militärflugzeuge
usw.

Kapitel über Fliegen in Jugendkalendern oder Jugendhandbüchern, in denen diese Aspekte häufig zu finden sind, vermitteln darüber einen weit intensiveren Eindruck als ein Physikunterricht, der etwa an einem Tragflächenstück mit Sonden erklären will, warum ein Flugzeug fliegt; aufgrund der sterilen Sammlungsgeräte kann ein Schüler zudem kaum die Verbindung zu Flugzeugen oder Versuchsflügen mit selbstgebauten Flugmodellen nachvollziehen.

Flugzeuge und Fliegen sind mit so vielen Bedeutungsgehalten behaftet, daß ihre Reduktion auf die Frage nach dem aerodynamischen Auftrieb, den Erfahrungen, dem Vorwissen, den Phantasien und Interessen der Jugendlichen nicht gerecht wird.

Zur Begründung eines problemorientierten Vorgehens

Der Unterricht soll die Schüler zu vielfältigen selbsttätigen Aktivitäten anregen. Ein Blick in die Realität der Schule zeigt jedoch, daß mit zunehmender Klassenstufe sich ein einseitig an Stoffplänen und an den fachwissenschaftlichen Grundlagen ausgerichteter naturwissenschaftlicher Unterricht durchgesetzt hat, der hierfür wenig Raum läßt. Allenfalls im naturwissenschaftlichen Bereich des Sachunterrichts der Grundschule haben Unterrichtsformen Eingang gefunden, in denen die Schüler Gelegenheit zum Erforschen von unbekanntem Phänomenen und zum eigenständigen spontanen Zugriff auf Bereiche der Objektwelt erhalten.

Will man das auch im naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I erreichen, so müssen auch dort verstärkt offene Situationen geschaffen werden, in denen die Schüler eigenständig Problemlösungen entwickeln können und ausreichend Zeit und Gelegenheit zum Konstruieren und Basteln erhalten, Um- und Irrwege mit eingeschlossen.

Möglichkeiten des Einsatzes

Das Thema Fliegen wurde als Projekt in Klasse 7 durchgeführt. Als Projekt bzw. in projektorientierter Form kann das Thema auch in den Klassen 8 - 10 behandelt werden: Im Wahlpflichtbereich z.B. mit zwei Wochenstunden oder für ein halbes Jahr in Klasse 9/I im Anschluß an das Stoffgebiet Mechanik. Darüberhinaus bietet sich auch ein fächerübergreifender Unterricht an, etwa in Zusammenarbeit mit den Fächern Polytechnik/Arbeitslehre, Werken, Geschichte, Kunst.

II. Problemorientierung:

Ein Anlaß zum Basteln, Konstruieren und entdeckendem Lernen

Fliegen bedeutet die Überwindung der Schwerkraft. Das Staunen über Fliegen - welches im Wagenschein'schen Verständnis Voraussetzung von Erkenntnissen ist - kann an verschiedenen Punkten einsetzen; so z.B.: Wie kommt ein so schweres Flugzeug in die Luft? Wie kann man etwas leichter machen als Luft und dadurch zum Fliegen bringen? (Begriffen werden muß hier zuerst, daß Luft "schwerer als etwas" ist). Wie kann man das Fallen von Gegenständen in Gleiten oder Fliegen verwandeln?

Mit unserer ersten Problemstellung, "Baut etwas, das eine Büroklammer möglichst lange in der Luft hält, wenn man sie vom zweiten Stock der Schule fallen läßt!", knüpfen wir an ein Grundphänomen des Fliegens an. Die Geschichte der Luftfahrt zeigt, daß - neben dem Ballonflug - die Bemühungen des Menschen Fliegen zu können, damit begannen, von erhöhten Standpunkten aus zu gleiten oder den Fall in einen Flug überzuleiten. Die Problemstellung vereinfacht das Problem Fliegen so weit, daß für ganz unterschiedliche Vorstellungen, Alltagserfahrungen und konstruktive Fähigkeiten der Schüler Raum gelassen wird. Andere denkbare Problemstellungen wie z.B. "Baut etwas, das vom Boden aus fliegt!" würden die Aktivitäten der Schüler vermutlich allzusehr - wegen der konstruktiven Schwierigkeiten bei der Erstellung flugfähiger Apparate - an dem einzigen rasch erfolgversprechenden und allseits bekannten Prinzip des gasgefüllten Luftballons ausrichten. Insofern scheint uns für diese Altersstufe das Problem, Fallen in Sinkflug umzuwandeln, den günstigsten Einstieg für die Beschäftigung mit dem Thema Fliegen zu bieten.

1. Problemstellung:

"Baut etwas, was sich möglichst lange in der Luft hält!"

Ihr bekommt eine Büroklammer.

Eine Büroklammer soll sich möglichst lange in der Luft halten können, wenn man sie vom 2. Stock des Schulgebäudes fallen läßt.

Ihr könnt alle Hilfsmittel, die Euch einfallen, zu diesem Vorhaben benutzen, um ein Gerät zu konstruieren, das sich möglichst lange in der Luft hält.

Die Zeit vom Fallenlassen der Büroklammer bis zum Auftreffen am Boden wird mit Hilfe der Stoppuhr gemessen und notiert.

Der sich an dieser Problemstellung anschließende Unterricht in zwei Klassen, der im folgenden mit Beispielen beschrieben wird, ging über vier Wochen.

In der ersten Stunde brachte der größte Teil der Schüler verschiedene Materialien mit: Kleber, Faden, Luftballons, Plastiktüten, Papier, Büroklammern, Scheren, Balsaholz, Drähte etc. Einige Schüler hatten sogar eine Liste angefertigt, was sie bauen und ausprobieren wollten. Andere Schüler hingegen hatten entweder die Problemstellung vergessen oder kein eigenes Material mitgebracht, weil sie sich auf die gewohnte Materialhilfe von der Lehrerin verlassen hatten.

Damit alle Schüler sofort mit dem Basteln und Konstruieren beginnen konnten, stellte die Lehrerin einen Karton mit folgenden Materialien bereit: Balsaholz, Blumenseidenpapier, Peddigrohr, Kleber, Zwirn, Bindfaden, Locher, Tesafilm, Klammerhefter, Lochverstärker sowie einen Becher mit Büroklammern.

In beiden Klassen fingen die Schüler an, Ihre Vorstellungen mit den verfügbaren Materialien umzusetzen. Die gesamte Zeit bis zum Wettbewerbstermin, den die Schüler immer hinausschoben, war mit Basteln und Konstruieren von Flugmodellen, Ausprobieren und Vergleichen der Leistungen dieser Modelle und dem Erkennen und Ausschalten von Fehlkonstruktionen ausgefüllt.

Folgende Lernprozesse mit ihren Irrwegen und oft verblüffenden Lösungsansätzen sind unserer Erfahrung nach typisch für problem- und handlungsorientiertes Lernen.

Wir stellten fest, daß zu Beginn der Lösungsversuche fast alle Schüler schon Ideen für Flugapparate hatten. Die ersten Versuche, diese Ideen mit den verfügbaren Materialien umzusetzen, führte zu teilweise eigentümlichen Konstruktionen, die keinen Bezug zu real umsetzbaren technischen Lösungen hatten.

Aus den gelungenen aber auch mißlungenen Flugkonstruktionen zogen die Schüler ihre je spezifischen Schlußfolgerungen, die allerdings nicht immer zum Erfolg führten. Erst aus dem gegenseitigen Vergleichen der Leistungen ihrer Konstruktionen ergaben sich erfolgreiche Flugprinzipien.

Neben den konstruktiven Ansätzen zur Problemlösung gab es Schüler oder Gruppen, die in der gesamten Zeit unbeirrt eine Spielidee verfolgten, z.B. den Bau eines Zeppelins oder eines Gleiters. Sie verfolgten die Problemstellung nur insoweit, als sie neben ihrer Spielkonstruktion eine rasch gefertigte einfache Konstruktion zur Problemlösung fertigten bzw. eine Ergänzung ihrer Spielkonstruktionen zur besseren Problembewältigung vornahmen (meist auch Anbringen von gefüllten Luftballons).

2. Erste Konstruktionen zur Bewältigung des Problems Fliegen

Bei den ersten Konstruktionen zeigte sich oft, daß die Schüler aus ihrer Alltagswelt eine gewisse Vorstellung darüber haben, was zum Fliegen taugt und was nicht.

Interessanterweise traten diese Vorstellungen nicht isoliert auf, sondern in originellen Verbund-Konstruktionen: ein Gasballon, an den zusätzlich Tragflügel aus Papier angeklebt wurden, ein Ballon der mit einem Fallschirm kombiniert werden sollte, Tragflächen, die mit Gasballons "leichter" gemacht wurden etc. Verbund-Konstruktionen entstanden oft auch dann, wenn sich Schüler mit unterschiedlichen Vorstellungen zu einer Arbeitsgruppe zusammenschlossen.

Diese Tragfläche mit Gasballons besteht aus einer Drahtkonstruktion, die mit Drachepapier bespannt war. Hier hatten sich ein Mädchen, das den Ballon mitgebracht hatte, und ein Mädchen, das eine Tragfläche bauen wollte, zusammengetan ohne ihre Konstruktionen vorher einzeln auszuprobieren.

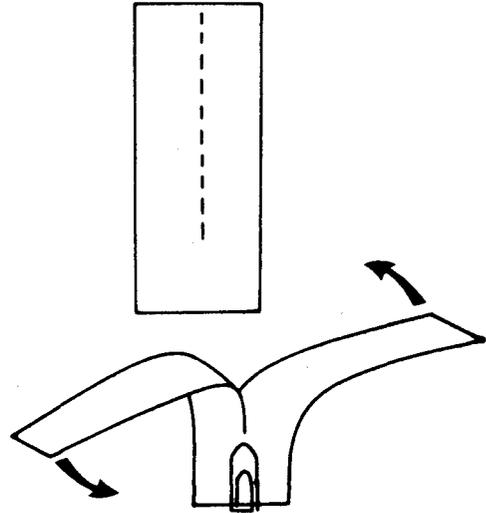


Ein Mädchen hatte die Büroklammer an einer Pappflügel befestigt. Ihre Freundin zog das Fallschirmprinzip zur Lösung der Aufgabe vor. Nachdem beide Konstruktionen für sich allein nicht das gewünschte Resultat erbrachten, entschlossen sie sich, ihre Produkte miteinander zu verbinden.



Andere Schüler konnten ihre Vorstellungen mit dem vorhandenen Material nicht unmittelbar realisieren. Ein Schüler wollte z.B. einen Fallschirm bauen. Es gelang ihm jedoch mit Balsaholz und Blumenseidenpapier keine halbkugelförmige Konstruktion, sondern nur ein kastenförmiges Gebilde mit der angehängten Büroklammer. Als sich der Fallschirm als nicht flugfähig erwies, gab der Schüler die Fallschirmkonstruktion auf, um seinen mühsam erbauten Kasten beibehalten zu können.

Wiederum andere Schüler verwendeten schon in der ersten Phase für Flugkonstruktionen fertige Gebrauchsmuster, die sie aus Medien oder von Spielzeugen kannten. So machte ein Schüler Fallversuche mit einer Papierschraube, die nach dem Prinzip der fallenden Luftschraube (vgl. Versuchsanleitungen) zu rotieren begann und zu einem langsamen Sinkflug führte.



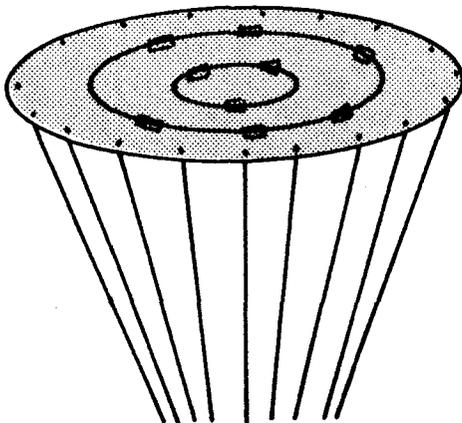
3. Umwege und Irrwege beim Ausprobieren von Fallschirm-Konstruktionen

Viele Schüler hielten das Fallschirmprinzip für die angemessenste Lösung des gestellten Problems. Ihre ersten Fallschirmkonstruktionen waren allerdings nicht immer erfolgreich. Zum Bau ihrer Fallschirme schnitten die Schüler aus mitgebrachten Einkaufstüten oder aus Blumenseidenpapier kreisförmige Flächen aus, versahen diese am Rand mit Löchern, durch die sie Fäden zogen und befestigten daran die Büroklammer.

Bei den ersten Flugversuchen im Klassenzimmer entfalteten sich die Fallschirme nicht, weil die Büroklammern als Gewicht zu leicht waren.

Einige schlugen vor, den Fallschirm mit Ringen aus Peddigrohr zu verstärken, "damit er auseinandergefaltet bleibt". Ein Schüler, der dagegen hielt, daß der Fallschirm dadurch noch schwerer würde, unternahm weitere Flugversuche mit seinem leichten Fallschirm aus Blumenseidenpapier. Um genügend Höhe für seinen Fallschirm zu bekommen, stellte er sich auf einen Stuhl, den er auf einen Tisch gestellt hatte, und achtete schon beim Loslassen des Fallschirms darauf, daß er auseinandergefaltet war. Schließlich klemmte er als Zusatzgewicht noch einen Groschen in die Büroklammer, was zu einem guten Fallschirmflug führte.

Als der Fallschirm sich beim Probeflug nicht entfaltete, kommen die Schüler auf die Idee, dem Fallschirm durch Verstärkungen aus Peddigrohr die richtige Form zu geben.



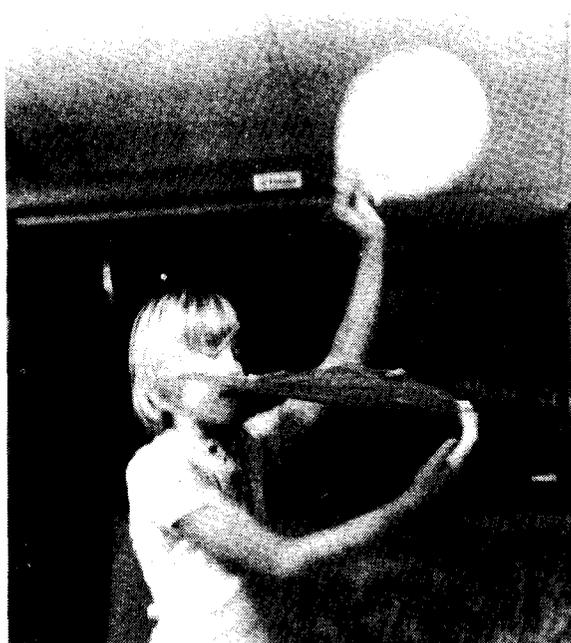
Währenddessen verfolgten die anderen Schüler die Idee mit dem Peddigrohr weiter. Sie klebten in ihre Papier- oder Plastikfallschirme Ringe aus Peddigrohr, um eine fallschirmähnliche Form zu erzielen und erzeugten auf diese Weise eine Art von "fliegenden Scheiben".

In der Idee der Schüler, die richtige Form des Fallschirms durch eine stabile Stützkonstruktion zu gewährleisten, zeigte sich zwar eine richtige Vorstellung von der funktionellen Flugform des Fallschirms. Das Prinzip des Fallschirms war aber noch nicht begriffen, nämlich die Tatsache, daß der Fallschirm seine Form erst beim Fallen durch den Luftwiderstand erhält, wobei eine dazu notwendige Fallbeschleunigung durch ein ausreichendes, unter dem Fallschirm angebrachtes Fallgewicht erzeugt werden muß.

Interessant war, wie die Schüler auf die Mißerfolge ihrer Peddigrohrkonstruktionen reagierten, denn die durch Peddigrohr verstärkten Fallschirme waren in der Mehrzahl so schlecht, daß sie schnell zu Boden stürzten.

Ein Schüler, der auf seine "fliegende Scheibe" (den verstärkten Fallschirm) nicht verzichten wollte, griff einfach auf ein früher von ihm angewandtes

Flugprinzip zurück: einen gefüllten Luftballon, der mit einer Büroklammer einen sehr langsamen Sinkflug vollführte. Er versuchte daher Ballon und fliegende Scheibe zu kombinieren. Beim Flugversuch kippte jedoch die schwere Scheibe immer wieder nach unten. Der Schüler erkannte, daß der Schwerpunkt in der Scheibe liegt, setzte die Büroklammer in die Scheibenmitte und ließ jetzt das Ganze umgekehrt fallen, wobei der Ballon als Fallschirm diente. Der Flug war jetzt stabil und die Sinkgeschwindigkeit blieb aufgrund des Gewichts der Scheibe hoch.



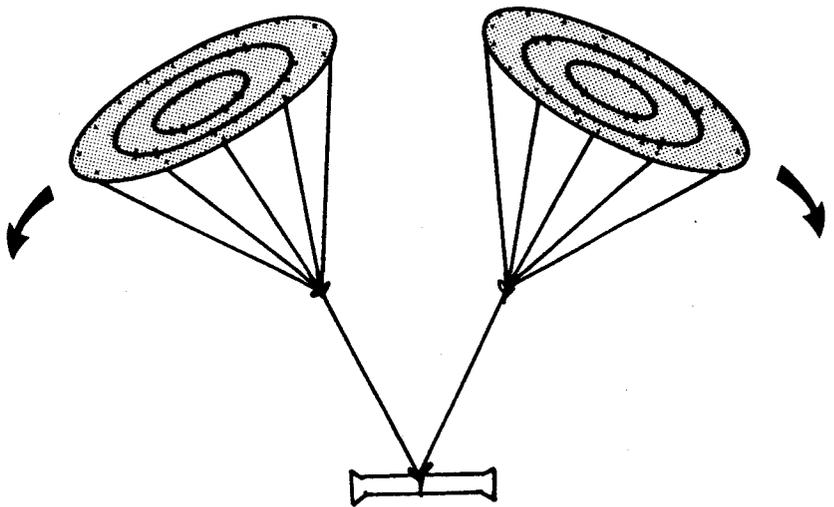
Erst später erkannte der Schüler aus erfolgreichen Fallschirmversuchen anderer Schüler mit Fallschirmen ohne Verstärkung, aber mit größerem Fallgewicht, worin die Fehlfunktion seiner "fliegenden Scheibe" bestand.



Einige Mädchen, deren Plastikfallschirme nicht funktionierten, schlossen sich mit anderen Mädchen zusammen, die zwei Plastikfallschirme und eine kleine Papptragfläche mit Büroklammer kombinierten. Beim Flugversuch entfalteten sich die Plastikfallschirme nicht, sondern sanken sogar noch schneller als die Papptragfläche mit der Büroklammer zu Boden.

Daraufhin griffen auch die Mädchen zu dem bereitgestellten Peddigrohr und befestigten mit Tesafilm mehrere Ringe an ihren Plastikfallschirmen, um diesen die richtige Form zu geben. Natürlich waren die Fallschirme nun noch schwerer geworden und kippten noch schneller an der im Vergleich dazu flugtauglicheren Büroklammer-Tragfläche nach unten.

Die Mädchen erkannten daraufhin, daß die Tragfläche mit der Büroklammer "als Gewicht nicht reicht". Auf die Idee, daß die Fallschirme durch die Ringe zu schwer waren, kamen sie jedoch erst später, nachdem auch andere Schüler ihre Verstärkung aus den Fallschirmen entfernten.



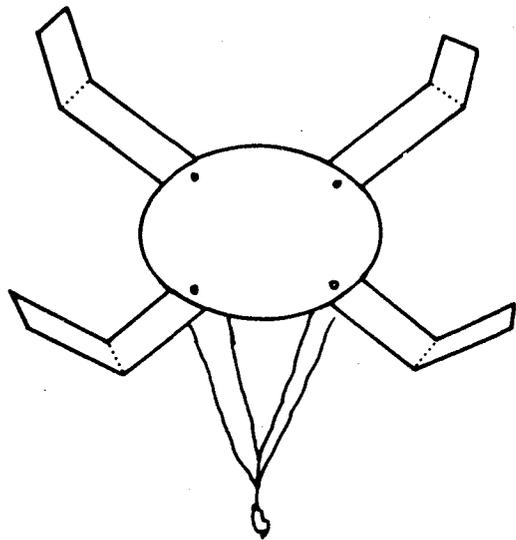
Der Lernweg vieler Schüler bestand u.a. darin, daß sie das Überkippen der fliegenden Scheiben bzw. der verstärkten Fallschirme so interpretierten, daß ihre am Fallschirm befestigten Konstruktionen (z.B. die Büroklammer mit der Tragfläche bzw. die Büroklammer mit Ballon) "zu leicht" seien und schwerer gemacht werden müßten. "Wenn sich's nach unten beugt (gemeint waren die Peddigrohrfallschirmscheiben), ist das Gewicht zu leicht". Auf diese Weise vergrößerten sie bei ihren Verbund-Konstruktionen zuerst das Fallgewicht und stellten dabei fest, daß sie auch durch weitere Vergrößerungen des Fallgewichts den Fall nicht in einen Fallschirmsinkflug verwandeln konnten, und nahmen deshalb das Peddigrohr wieder heraus. Sobald sie das machten, brauchten sie das zu große Fallgewicht meist nur noch auf ein für die Fallschirmgröße günstiges Maß zu reduzieren.

Bei anderen Schülergruppen entwickelte sich die Erkenntnis des richtigen Fallschirmprinzips nur langsam. Dabei war die genaue Beobachtung der Fehlversuche der wichtige erste Schritt. Die Schüler stellten zuerst fest, daß die verstärkten Konstruktionen einfach nach unten kippten. Daraus schlossen sie, daß die Fallschirme "zu schwer" seien und nahmen daher das Peddigrohr heraus, um wieder zu ihrem Ausgangspunkt zurückzukehren. Aus der gewonnenen Erkenntnis, daß die Form des Fallschirms während des Fallens entstehen muß, nicht aber durch

schwere Verstärkung vor dem Fall bewirkt werden kann, begannen sie - oft erst spielerisch - an ihre Fallschirme viele Büroklammern sowie größere Gewichte zu hängen und hatten dabei meist Erfolg. Eine typische Schüleräußerung: "Der Fallschirm fliegt so nicht. Wir brauchen Blei, die Büroklammer reicht nicht."

Dieses Mädchen hat zusätzlich seinen Armreifen am Fallschirm befestigt, um eine ausreichende Fallbeschleunigung zum Entfalten des Schirms zu erreichen. Der Junge daneben probiert einen Sichelgleiter aus, den er nach einer Vorlage aus einer Zeitschrift ausgeschnitten hat.

Ein einzeln arbeitender Schüler wollte das Fallschirmprinzip mit einer einfachen kreisförmig ausgeschnittenen Papierscheibe bewältigen, an der er die Büroklammer an vier Fäden aufhing.



Da der Fallschirm beim Probeflug wie ein gewöhnliches Papierblatt zu Boden flatterte, brachte der Schüler Steuerungsstreifen zum Ausbalancieren an. Jetzt kam ein einigermaßen stabiler, wenn auch zu rascher Sinkflug zustande. Der Schüler entdeckte jedoch, daß seine Konstruktion schneller sank als andere Fallschirmkonstruktionen mit größeren Gewichten, weil er die gerundete Fallschirmform mit seiner einfachen Papierscheibe nicht erreichen konnte.



Zwei Lösungen, wie ein Gewicht symmetrisch an Plastikfallschirmen befestigt werden kann.

Nachdem die Schüler einen ersten Zusammenhang von Fallgewicht und Fallschirmform herausgefunden hatten, entdeckten sie im Verlauf der Probeflüge weitere Bedingungen des günstigen Fallschirmfluges:

- Ein zu flacher Fallschirm taumelt und fliegt nicht richtig, trotz eines größeren Gewichts, das an ihn gehängt ist. Kommentar einer Schülerin: "Die Luft muß unterm Fallschirm sein" und eine andere verbesserte sie "... im Fallschirm!"

Im weiteren Verlauf zogen die Schüler aus ihrer Entdeckung Konsequenzen, indem sie ihren flachen Fallschirm aus Plastikmaterial so ausbeulten, daß er ein halbkugeliges Aussehen erhielt.

- Das Problem des Torkelns des Fallschirms wurde dahingehend gelöst, daß die Schüler in ihn ein Loch schnitten, was dazu führte, daß der Fallschirm tatsächlich besser flog.

Vielleicht haben die Schüler diese Entdeckung des Steuerschlitzes aus Büchern oder aus dem Fernsehen entwickelt. Vielleicht haben sie aber auch das Phänomen beobachtet, daß die unter dem Fallschirm *gefangene* Luft, nirgends abfließen kann und zu völlig unkontrollierten Entweichungen führt, die den Fallschirm taumeln oder ihn zusammenklappen lassen. Die Schüler erklären ihre Verbesserung: "Etwas Wind muß entweichen."

- Da viele Fallschirme aufgrund der nicht symmetrisch angebrachten Gewichte Schlagseite bekamen bzw. sich nicht völlig entfalteten, gingen die Schüler dazu über, durch mehrere Fäden, die möglichst kreisförmig, außen an der Fallschirmhülle befestigt wurden, eine Stabilität herzustellen und dafür zu sorgen, daß alle Fäden gleich lang waren bzw. daß auf jeden Faden die gleiche Zugkraft entfiel.

Dabei lösten die Schüler auftretende Materialprobleme mit der Befestigung der Fäden an der Hülle aus Plastik oder Blumenseidenpapier, indem sie die Löcher mit Lochverstärkerringen unterlegten.

Dieser Plastikfallschirm hat durch Ausbeulen eine sehr günstige Halbkugelform erhalten.



4. Erfolgreiche Konstruktionen setzen sich durch

Nachdem die Schüler zahlreiche Sinkflugmodelle mit mehr oder minder guten Flugeigenschaften konstruiert hatten (Luft- und Gasballons, Gleiter, Luftschrauben, fliegende Würfel, Scheiben und Gondeln, kleine Flugzeugmodelle, Papierschalben, Fallschirme und Zeppeline), konzentrierten sich im Laufe der Zeit die Arbeiten auf Konstruktionen von Gasballons und Fallschirmen.

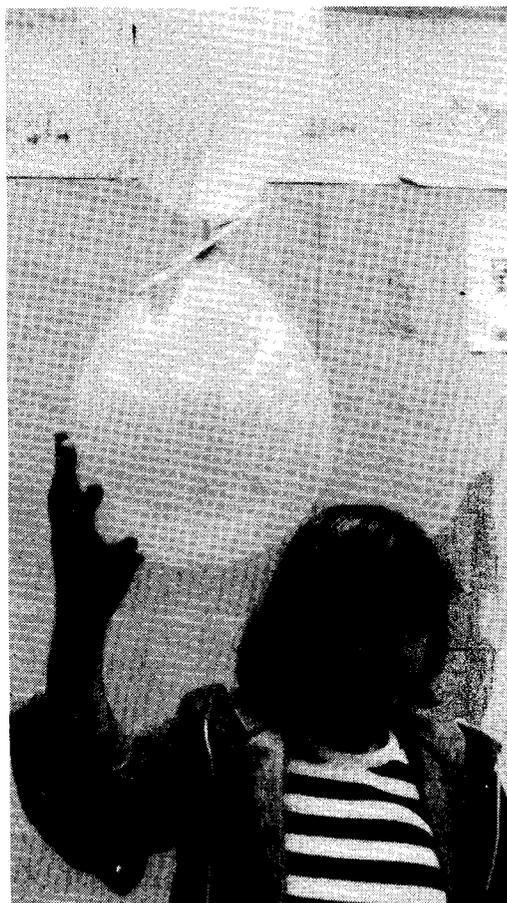
Diejenigen Schüler, die mit wasserstoffgefüllten Ballons experimentierten, stellten fest, daß die Ballons einen gewissen Auftrieb hatten. Sie hingen solange Büroklammern daran, bis die Ballons einen ganz langsamen Sinkflug bewerkstelligten. In einem kleinen Probewettbewerb stoppten sie die Zeit des längsten Sinkfluges der austarierten Gasballons.

Im weiteren Verlauf zeigte sich, daß sich die Schüler nicht mit einfachen Ballon-Büroklammer-Verbindungen begnügten. Sie akzeptierten zwar das Ballonprinzip für die Problemlösung, verfolgten aber im weiteren anschauliche Spielideen, die sie mit dem Ballon verbanden.

Auffällig war neben dem Fortbestehen von Spielvorstellungen auch, daß es den Schülern immer recht schwer fiel, sich von irgendeinem selbstgebastelten Konstruktionsteil zu trennen, selbst wenn sich seine Unbrauchbarkeit für die Bewältigung der Problemstellung erwiesen hatte.

Auch die (als Konkretisierung von Spielvorstellungen) gebauten Gondelkonstruktionen wurden beibehalten, selbst wenn sie sich für den Sinkflug als zu schwer erwiesen. In allen Fällen besorgten sich die Schüler lieber zusätzliche Ballons für den Auftrieb, als auf ihre Konstruktion zu verzichten.

Diese Schülerin hatte anfangs eine fluguntaugliche Balsatragfläche mit Büroklammer gebaut. Hier kombiniert sie ihre Tragfläche mit Ballons. Dieses Modell gewann übrigens später den Wettbewerb der Klasse.



Diese Schülerinnen haben eine flugfähige Konstruktion aus Seidenpapier mit aus Balsaholz verstärkten Tragflächen gebaut. Als sich das Ballonprinzip durchsetzte, behielten sie ihre Konstruktionen bei und verwendeten sie nun als "Ballongondel".



Diese Schüler hatten das Problem, daß ihr Ballon zu viel Auftrieb hatte, durch eine würfelförmige Gondel gelöst, die mit kleinen Gewichten (Bleischrot) solange gefüllt werden konnte, bis sie austariert war und einen superlangsamen Sinkflug (von Tisch zum Boden: 23 sec.) vollführte. Ihre eigentliche Zielvorstellung bestand jedoch in der Idee ein Luftschiff zu bauen, was durch die Form der Ballons auch nahegelegt wurde. Daher befestigten sie ihre Gondel mit vier Fäden so an dem Ballon, daß dieser genau waagrecht, wie ein richtiges "Luftschiff", über der Gondel schwebte. Nachdem ihnen das gelang, malten sie außen auf die kleine Gondel kleine Sandsäcke auf: "Für den Ballast."



Bis zum Tag des Flugwettbewerbs hatten sich in der Schülergruppe, die mit dem Luftballon experimentierte, Konstruktionen durchgesetzt, die mit einem oder mehreren wasserstoffgefüllten Luftballons flugfähig gemacht wurden, während sich bei einer anderen Schülergruppe das Fallschirmprinzip durchgesetzt hatte.

Letztere erprobten ihre Fallschirmkonstruktionen, indem sie Probeflüge von einem Fenster im zweiten Stock aus unternahmen. Dabei zeigte sich, daß starke Winde und unberechenbare Luftströmungen viele Fallschirme an die Hausmauer drückten und abstürzen ließen. Einige Fallschirme, die von der Mauer freikamen, erzielten dennoch lange Flugzeiten.

Die Schüler verarbeiteten diese widersprüchlichen Ergebnisse mit einer Doppelstrategie:

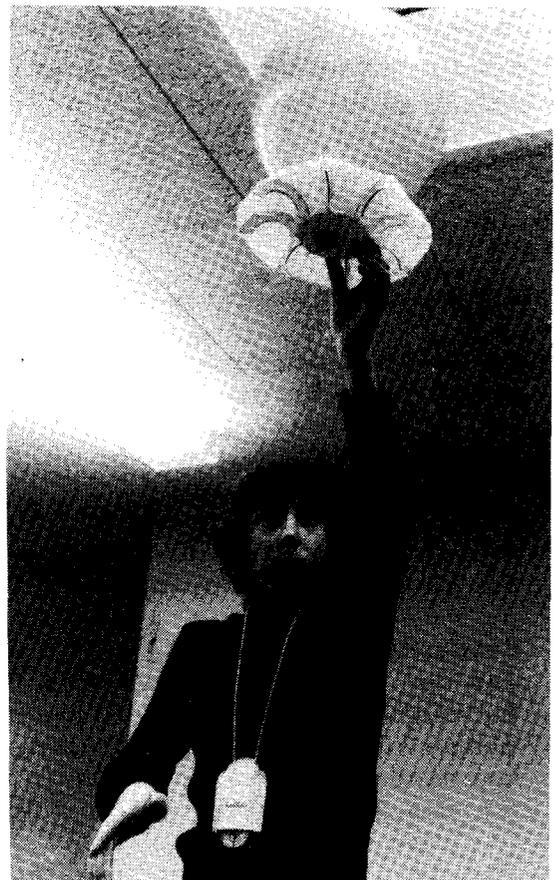
Zum einen verbesserten sie ihre Fallschirme, und zum anderen fertigten sie aus Sicherheitsgründen für schlechte Wetterbedingungen diverse Papierschwalben und Gleiter an, denen sie bessere Sturmflugeigenschaften zutrauten.

5. Spielvorstellungen, die sich durchsetzten, ohne daß die Problemstellung beachtet wurde

Es fiel auf, daß sich einzelne Schüler und Schülergruppen am Anfang kaum bzw. nicht mit der Problemstellung befaßten, sondern eigene Ideen verfolgten.

Ein Schüler hatte sich aus den Bastelvorschlägen einer Jugendzeitschrift die Vorlage eines "Ufo-Modells" mitgebracht und baute sich nach dem vorgegebenen Bauplan ein "Ufo" zusammen.

Als sich der Wettbewerbstermin näherte und die Mitschüler ihre Konstruktionen in Versuchsflügen verglichen, machte der Schüler einen Flugversuch mit seinem "Ufo", indem er das "Ufo" wie einen Fallschirm benutze, an den mehrere Büroklammern als Fallgewicht angebracht waren. Obwohl das "Ufo-Modell" gar nicht für Flugversuche vorgesehen war, hatte es keine schlechten Flugleistungen. Ermutigt durch diesen Probeflug - Lehrer und Mitschüler hatten bis dahin in ihren Kommentaren die Flugfähigkeit des "Ufos" angezweifelt - begann der Schüler sich auf den Wettbewerb vorzubereiten, indem er - ohne auf seine Spielidee zu verzichten - das Gasballonprinzip aufgriff. Er befestigte einen wasserstoffgefüllten Luftballon auf dem "Ufo", und konnte dadurch die Flugfähigkeit noch weiter verbessern.





Ein Schüler wollte von Anfang an einen Zeppelin bauen. Er hatte offensichtlich eine klare Vorstellung, wie der Zeppelin aussehen sollte, denn er fing sofort ohne Vorlagen an, die Drähte zurecht zu schneiden und zu biegen. Als er beim Löten merkte, daß die Lötstellen sehr klobig und daher schwer wurden, kommentierte er: "Das macht nichts, dann ist kein zusätzliches Gewicht mehr nötig."

Allmählich wurde dem Schüler aber klar, daß der Zeppelin zu schwer war, so daß er darauf verzichtete, eine Gondel anzubringen. Stattdessen behielt er die Spielvorstellung des Zeppelinmodells bei und versuchte, sich den nötigen Auftrieb für seine Konstruktion durch eine größere Anzahl wasserstoffgefüllter Luftballons zu verschaffen.

6. Die Durchführung eines Flugwettbewerbs

Die Organisationsschritte waren:

- Aufstellen eines Flugplans, in den jedes Flugmodell mit einer Startnummer eingetragen werden mußte.
- Kennzeichnung der Modelle mit Startnummern.
- Einüben des Messens mit den Stoppuhren. (Die Schüler hatten bei ihren Probeflügen die Erfahrung gemacht, daß zwei verschiedene Zeitmesser selten die gleiche Zeit stoppen.)
- Bestimmen, was als Flugzeit zu gelten habe. Die Schüler einigten sich darauf, daß der Starter das Kommando *Fertig, los* geben sollte. Bei *Los* mußte der Teilnehmer sein Flugobjekt loslassen, ohne es zu werfen. Die drei Zeitmesser, die sich vor dem Schulgebäude befanden, sollten im Moment des Startkommandos *Los* die Stoppuhr in Gang setzen und die Zeit bis zum Auftreffen des Flugobjektes auf den Boden nehmen.
- Eintragen der gemessenen Zeiten von einem Listenführer in den Flugplan.

Folgende Organisationspositionen ergaben sich:

- Flugleiter oben (Starter)
- Drei Zeitmesser (unten)
- Listenführer (unten)

Die Schüler verfolgten den Wettbewerb mit Spannung. Trotz eines gewissen Konkurrenzdenkens überwogen konkurrenzlose Anerkennung der Flugleistungen und gegenseitige Hilfeleistungen. Auch wurden Tips gegeben, wie das jeweilige Modell am besten gestartet werden müßte.

Nach der Berechnung einer Rangreihe der acht besten Flugleistungen wurden die Schüler gefragt, worauf sie die Erfolge oder Mißerfolge der einzelnen Konstruktionen zurückführten. Viele Schüler hatten die unterschiedlichen Wetterbedingungen bemerkt - es herrschten böige Abwinde - und diese für den Erfolg bzw. Mißerfolg ihrer Wettflüge verantwortlich gemacht. Aber auch auf die Fehler ihrer Konstruktionen gingen sie ein: "Das Gewicht am Flugkörper war teilweise zu leicht oder zu schwer." "Der Wind muß sich unter'm Fallschirm fangen, damit er gut sinken kann." "Man muß darauf achten, daß man das Gewicht richtig verteilt." "Das Flugzeug muß ausbalanciert werden, sonst kippt jedes Modell nach einer Seite und stürzt ab."

Auch die Schüler, die sich mit den Luftballons beschäftigten, führten einen Flugwettbewerb durch, den sie ebenfalls selbständig organisierten.

III. Das Spektrum der Arbeitsgruppen

A. Überblick

Mit einem offenen Fragebogen wollten wir von den Schülern erfahren, für welche Projektthemen im naturwissenschaftlich-technischen Bereich sie sich interessieren. Dabei zeigte sich, daß das Thema Fliegen auf das größte Interesse stieß.

Als Arbeitsgruppenvorschläge wurden genannt:

Praktische Tätigkeiten/Modellbau
 Segelflugmodelle (Gleiter)
 Fliegende Modellflugzeuge
 Ferngesteuerte Modellflugzeuge
 Ballonbau- und Flugversuche im Windkanal.

Als gemeinsame Tätigkeiten wurden vorgeschlagen:

Flugplatz, Flugzeuge und Hubschrauber besichtigen.

Um den Schülern die Entscheidung für eine Arbeitsgruppe zu erleichtern, wurden ihnen zu Beginn zwei Fernsehfilme (über einen Heißluftballon und über das Segelfliegen) vorgeführt.

In den nächsten Stunden hatten die Schüler die Möglichkeit, physikalischen Grundlagen und Arten des Fliegens an folgenden Beispielen nachzugehen:

- Fallen (Stein), Gleiten, Schweben von Papiergleitern (mit Büroklammer).
- Fallversuch im Vakuum, mit der Vakuumröhre.
- Hat Luft Gewicht?: Evakuieren und Wägen eines Erlenmeyerkolbens.
- Spezifisches Gewicht von Luft und Wasserstoff: Füllen von Luftballons mit Atemluft und Wasserstoff; Steigenlassen.
- Hubschrauber-Prinzip anhand eines Spielzeug-Hubschraubers.
- Vortrieb beim Propellerflugzeug: Flug eines Gummiflugmodells.
- Bedeutung der Tragfläche für den Auftrieb: Man entfernt beim Gummiflugmodell die Tragfläche und versucht, das Modell fliegen zu lassen.
 Bau von Papiergleitern mit verschiedener Tragflächengröße und -form.
- Rückstoßprinzip: Mithife eines aufgeblasenen Luftballons, der losgelassen wird, und der Druckluft/Wasser-Rakete von PHYWE.

An dieser Stelle wurden die ersten Erklärungsmodelle der Schüler gesammelt und die Versuche zu den physikalischen Grundlagen eingehend diskutiert und erklärt.

Nach dieser Informationsphase, die stark vom Lehrer gelenkt wurde, folgte die Phase des selbständigen Arbeitens. Die Schüler schlossen sich zu Arbeitsgrup-

pen zusammen, die ein funktionsfähiges Modell anfertigten oder Erkundungen unternahmen, indem sie z.B. Informationen über Ausbildung und Tätigkeit von Flugpersonal und Flugbegleitern einholten.

In dieser relativ langen Phase des Projekts beschäftigten sich die Schüler mit folgenden Arbeitsschwerpunkten:

1. Bau eines Heißluftballons

Die Schüler bauten nach einer Anleitung (siehe S. 53 ff) einen Heißluftballon aus Seidenpapier, der mit einem Campingbrenner betrieben wurde. Die meisten Ballons stiegen auf, doch kam es auch vor, daß einige Ballons wegen unsauberer Klebestellen, Undichtigkeiten, zu großen Gewichten oder zu geringen Volumens nicht flugfähig waren. Die Mißerfolge wurden von den Schülern bewältigt, indem sie durch vielfältiges Experimentieren selbständig die Fehler fanden und den Ballon zum Fliegen bringen konnten.

2. Bau eines Segelflugzeuges

Der Bau eines hochstartfähigen Flugmodells SONNY nach einer komplizierten Anleitung bereitete den unerfahrenen Schülern ziemliche Schwierigkeiten. An dieser Stelle zeigte sich eine gute Kooperation: Die Schüler, die schon Erfahrung mit Modellbau hatten, halfen den anderen bei ihren Modellen. Die SONNYS wurden in der Halle und im Freien ausprobiert und lieferten recht gute Flüge. Einige Modelle dienten am Ende des Projekts für Versuche zur Vertiefung des Begriffs "Auftrieb".

3. Bau eines Papierdrachens

Einige Schüler, insbesondere Mädchen, bauten unter Hilfestellung des Lehrers Papierdrachen unterschiedlicher Form und Größe, an denen der Begriff "Anstellwinkel" erklärt wurde. Da die Witterung zu ungünstig war, konnten allerdings keine guten Flugversuche erzielt werden.

4. Bau eines Helikopters

Ein Schüler, der einen Hubschrauber bauen wollte, was aber aus Zeitmangel und technischer Schwierigkeiten nicht klappte, baute dafür einen großen Propeller mit Gummiantrieb, der das Rotorprinzip eindrucksvoll demonstrierte.

5. Geschichte des Fliegens

Einige Schülergruppen stellten zu diesem Thema Literatur zusammen und fertigten Overheadfolien und Berichte an.

6. Berufsbild einer Stewardess

Mit diesem Thema beschäftigten sich ausschließlich Mädchen, die ihren "Traumberuf" untersuchen wollten. Sie arbeiteten Interviews aus und fuhren zum Flughafen Langenhagen. Leider hatten nur wenige Mädchen Gelegenheit, eine Stewardess zu interviewen, da viele Stewardessen aus Zeitknappheit nicht bereit waren, ihre Fragen zu beantworten und die Mädchen wohl auch nicht ernst nahmen. So konnten die Schülerinnen nur mit dem Bodenpersonal sprechen, was für viele frustrierend war.

7. Berufsbild eines Flugkapitäns

Dieses Thema war ein Berufswunsch von einigen Jungen, der leider auch nicht erkundet werden konnte, da die Schüler nur auf Literaturangaben angewiesen waren.

8. Kriegsflugzeuge

Für die Schüler in dieser Arbeitsgruppe war der Bau von kleinen Kriegsflugzeugen ein Hobby. Die militärische Bedeutung und die Auswirkungen von Bombenkriegen konnte leider nicht ausführlich behandelt werden.

9. Bau eines Flughafenmodells

Zwei Schülergruppen bauten nach dem Besuch des Flughafens Langenhagen ein großes Abbild des Flughafens aus Pappe, das die Einrichtung und Sicherheitsmaßnahmen eines Verkehrsflugplatzes demonstrierte.

10. Vogelflug

Die Gruppe beschäftigte sich mit den Flugkünsten verschiedener Vögel. Sie besuchten die Vogelkäfige des Zoos Hannover, beobachteten Wasservögel am Berenbosteler See und filmten Start, Flug und Landung von Enten, um diese komplizierten Flugmanöver den anderen Schülern zu zeigen.

11. Raketenautos

Dieses Thema begeisterte sehr viele Schüler. Einige brachten einen selbstgebauten Raketenwagen mit in die Schule, den sie mit einer gefährlichen Pulvermischung aus Unkrautex (Natriumnitrat) und Zucker betrieben. Nachdem wir die Schüler über die Gefährlichkeit ihrer "Spielereien" aufgeklärt hatten, konnten sie ihre Raketenwagen unter Einhaltung der Schutzmaßnahmen und des entsprechenden Sicherheitsabstandes auf dem Schulgelände vorführen.

Zusätzlich wurden Versuche mit der Druckluft/Wasserrakete von PHYWE durchgeführt, durch die die Schüler in quantitativen Versuchen das Prinzip "actio - reactio" erarbeiteten.

12. Verkehrsflugzeuge und Tourismus

In dieser Arbeitsgruppe beschäftigten sich die Schüler mit verschiedenen zivilen Flugzeugtypen, mit Luftverkehrsgesellschaften, Flugtourismus und Flugsicherheit. Ihrer Arbeit schloß sich der Besuch des Flughafens Langenhagen und die Besichtigung einer Boeing 727 an.

13. Gemeinsame Tätigkeiten: Flughafenbesichtigung

Für die Schüler war der Höhepunkt des Projekts der Besuch des Flughafens Langenhagen. Sie hatten Gelegenheit, sich das Flughafengelände anzusehen, eine Rundfahrt auf dem Flugfeld zu machen, und eine Abordnung durfte sich die Flugsicherungszentrale ansehen. HAPAG LLOYD ermöglichte ihnen außerdem die Besichtigung einer Boeing 727, ihrer Werkshallen und Reparaturwerkstätten.

14. Ausstellung

Den Abschluß fand das Projekt am "Tag der offenen Tür" der IGS Garbsen, an dem die Schüler über ihre Arbeit im Projekt "Fliegen und Flugmodelle" berichteten, den Besuchern Versuche vorführten und ihre Produkte und Modelle zeigten.

B. Typische Situationen, Schwierigkeiten in und Produkte aus den Arbeitsgruppen

Im folgenden werden typische Situationen, Schwierigkeiten in und Produkte aus den folgenden Arbeitsgruppen "Bau des Segelflugmodells SONNY", "Bau von Heißluftballons" und "Bau von Raketen" vorgestellt.

Das Bauen eines Modellflugzeugs nach einem vorgefertigten Modellplan stellt für Schüler, die sich nicht in ihrer Freizeit damit beschäftigen, eine erhebliche Anforderung an Verständnis und Geschicklichkeit dar. Denn das Zurechtschneiden und Zusammensetzen vorgefertigter Teile nach einem Bauplan zwingt die Schüler, vorgegebene Konstruktionsprinzipien genau nachzuvollziehen und bedeutet damit grundsätzlich etwas anderes, als die kreative Umsetzung von Ideen in Konstruktionen.

Andererseits nehmen Schüler diese Anstrengungen auf sich. Zum einen, weil das zu erstellende Produkt für sie einen Gebrauchswert hat, egal ob das Flugzeug gut fliegt oder nicht, und zum anderen, weil sie stolz sind auf die damit erbrachte Arbeit.

1. Bau von Segelflugmodellen und Gleitern

Das bekannteste hochstartfähige Segelflugmodell, für das sogar regelmäßig Flugwettbewerbe veranstaltet werden, ist das Modell KLEINER UHU (Graupner).

a) Das Segelflugmodell SONNY

Aufgrund eigener Bau Erfahrung schien uns dieses Modell für Schüler der 7. Klasse allerdings zu hohe Anforderungen an Geschicklichkeit und Genauigkeit zu stellen. Auch war der Preis für die Beschaffung der notwendigen Zahl von Bausätzen zu hoch. Daher entschlossen wir uns zum Kauf des billigeren und einfacheren Modells SONNY (ebenfalls von Graupner).



Während des Bau's des Modells SONNY stellte sich heraus, daß viele Schüler mit der Spantenbauweise Schwierigkeiten hatten. Um die Bauzeit zugunsten von Experiment und Flugversuchen abzukürzen, entschlossen wir uns in einer nochmaligen Durchführung, das Modell FAN zu wählen, weil dieses gewölbte Balsastücke als Tragfläche hat.



Der Rumpf des SONNY besteht aus mehreren Balsastücken, die zum Vorderteil des Flugzeugs zusammengeklebt werden, und einer Holzleiste, an deren Ende das Leitwerk befestigt ist.

Der vordere Rumpfteil muß nach dem Zusammenleimen an den Kanten stromlinienförmig abgeschmirgelt werden.

Eine kleine Schwierigkeit besteht darin, auf dem glattgefeilten Rumpfberteil die gewinkelten Flügel so aufzukleben, daß der Schwerpunkt eingehalten und eine gerade Fluglage erreicht wird.



Die Tragflächen müssen aus Quer- und Längsspannten zusammengesetzt werden. Probleme gab es hierbei vor allen Dingen mit der Verwechslung der Flügelhinterkante und der Flügelvorderkante (verschiedene Spantenformen) sowie mit dem Zusammensetzen der beiden Flügelhälften in einem bestimmten Winkel, der durch einen gewinkelten Mittelspant vorgegeben war.

Die fertigen Flügel werden mit Spannpapier bespannt und mit Spannlack lackiert.



Danach werden die Flügel auf die am Rumpf befestigte Auflage gebracht. Nach dem letzten Schliff erhält das Flugzeug eine Beschriftung aus Abziehbildern und eine abschließende Lackierung.

Gespannt erwarteten die Gruppen die ersten Flüge. Zuerst wurden die Flugzeuge in vorsichtigem Gleitflug in der Halle und an windgeschützten Stellen im Freien ausprobiert und in den richtigen Trimm gebracht. Heck- und Buglastigkeit konnten leicht mit Bleikugeln in der Ballastkammer ausgeglichen werden, schwieriger zu beheben war dagegen die Links- und Rechtslastigkeit. Sie entstand zum einen durch Ungenauigkeiten bei der Tragflächenherstellung (eine Seite der Tragfläche schwerer als die andere) und zum anderen durch Verwindungen der beiden Tragflächenebenen gegeneinander oder die des Leitwerks gegenüber Rumpf und den Tragflächen. Die Fehlerbehebung durch leichte Biegekorrekturen erwiesen sich als recht schwierig und führten auch nicht immer zum Erfolg.

Das Bemühen der Schüler, ihren Flugzeugen die richtige Flugstabilität zu verleihen, bot die Möglichkeit zu gezieltem Experimentieren (vgl. S. 39 ff).

Der erste Wurfstart im Freien.



b) Experimente zum aerodynamischen Auftrieb

Die Segelflugmodellbaugruppen führten verschiedene Experimente zum aerodynamischen Auftrieb durch, um die Frage erklären zu können, warum ein Flugzeug fliegen kann. Motiviert hierzu waren die Schüler insbesondere durch den Bau ihrer Tragflächen. Beim Bau der Modelle FAN und SONNY erkannten die Schüler, daß Anstellwinkel und Profil für die Flugfähigkeit von entscheidender Bedeutung sind.

Eine Schülergruppe prüfte mit einem Stück Pappe im Luftstrom die These, daß ein Flugzeug dann fliegt, wenn die Tragflächen von unten angeblasen werden.



Um die Ursachen der Fluchtüchtigkeit der Segelflugzeuge herauszubekommen, hingen die Schüler unter Anleitung eines Lehrers verschiedene Flugmodelle an Federwaagen auf und stellten sie in den Luftstrom eines Winderzeugers.

Andere Schüler sind den Fragestellungen, wieso ein Flugzeug fliegt und was das mit dem Profil der Tragfläche und dem Anstellwinkel zu tun hat, durch verschiedene Experimente weiter nachgegangen.

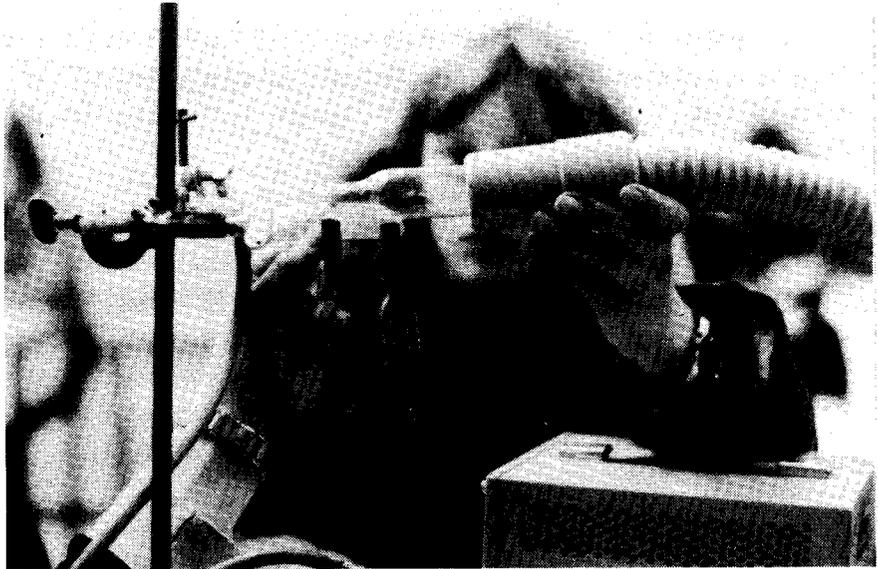


Die angeströmten Flugzeuge werden, wie an den Federwaagen abgelesen wurde, deutlich leichter. Bei dieser einfachen Anordnung hängt allerdings die Größe des Auftriebs von der Stellung des Flugzeuges im Luftstrom (Entfernung Flugzeug - Winderzeuger, Anstellwinkel) ab. Obwohl die Anordnung einige Mängel hatte (z.B. der Luftwiderstand, der sich auch als Zug auf die Kraft (Federwaage) auswirken kann), hatte der Versuch für die Schüler eine große Erklärungsmächtigkeit.

Diese Schüler erarbeiten die Unterschiede des Auftriebs an einer ebenen und an einer gewölbten Tragfläche bei jeweils gleichem Anstellwinkel. Schwierig war die Justierung der beiden Tragflächen mit einem so geringen Anstellwinkel, daß die angeströmte, gewölbte Tragfläche nach oben ging, die angeströmte gerade Tragfläche aber nicht.



Diese Schülergruppe arbeitete nach Anleitung mit einem Venturirohr

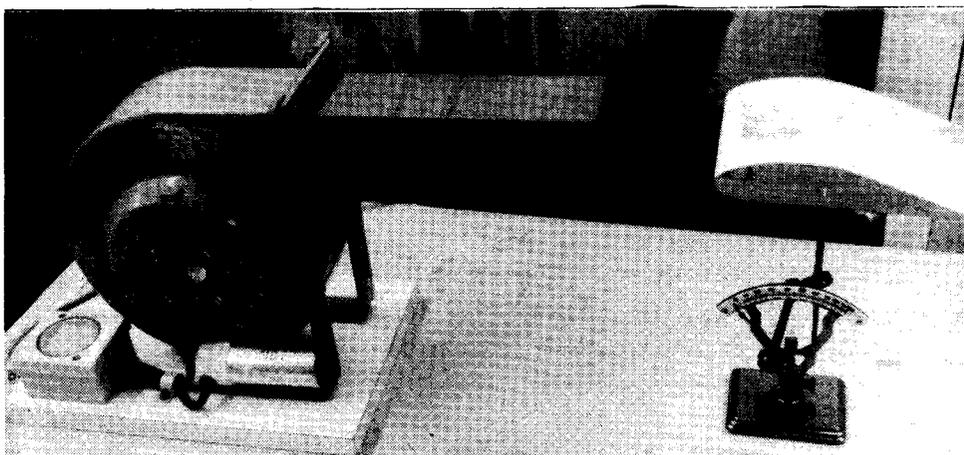


Hält man einen Tragflächenspannt in die Wölbung des Venturirohrs, so zeigt sich, daß das Venturirohr genauso geformt ist wie die Tragflächenoberseite. An den Manometern kann man ablesen, daß vor dem Venturirohr ein Überdruck und im Venturirohr ein deutlicher Unterdruck besteht. Die Schüler generalisierten mit Hilfe des Lehrers die Meßergebnisse am Venturirohr und übertrugen sie auf die Druckverhältnisse an der Tragfläche. Dem Überdruck vor der Tragfläche entspricht der Luftwiderstand, dem Sog an der engsten Stelle des Venturirohrs entspricht der Unterdruck über einer angeströmten gewölbten Tragfläche, der wichtigsten Komponenten des aerodynamischen Auftriebs.

Im Venturirohr entsteht die Sogwirkung (Unterdruck) an der engsten Stelle durch die erhöhte Geschwindigkeit des Luftstromes in der Düse. Bei der gewölbten Tragfläche muß der Fahrtwind über der Wölbung einen größeren Weg zurücklegen als unter der Tragfläche, die Luft fließt schneller und erzeugt daher über der Tragfläche den Unterdruck (den Auftrieb).

Für die Schüler war die Erarbeitung dieser physikalischen Zusammenhänge oftmals ebenso schwierig wie die Übertragung der Ergebnisse vom Venturirohr auf das Tragflächenprofil.

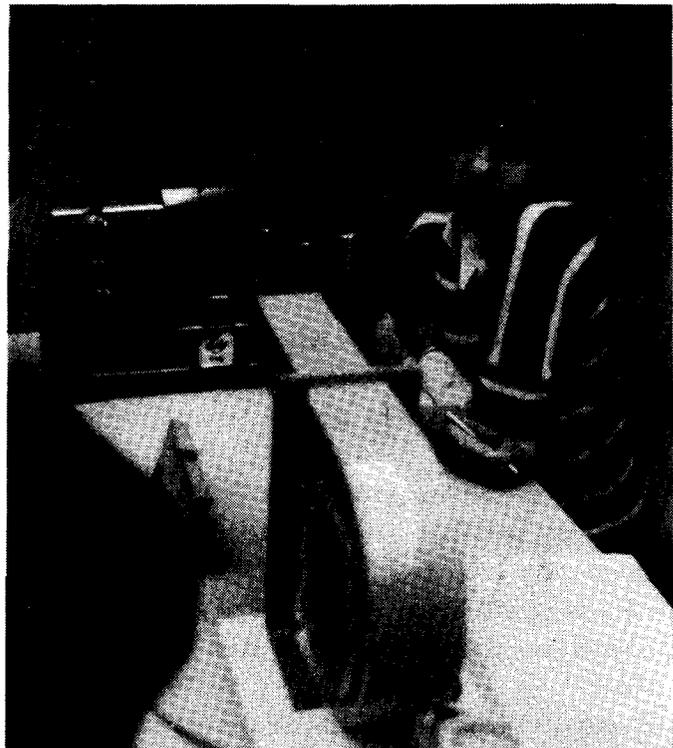
Diese umgebaute Briefwaage zum Testen verschiedener selbstgebauter Trag-



flächen-Querschnittsmodelle erbrachte recht genaue Resultate. Aber auch hier mußten die Schüler lernen, daß die Meßergebnisse von vielen Variablen abhängig sind:

- vom Abstand der Tragflächen vom Winderzeuger,
- von der Größe der Auftriebsfläche des Tragflächenstückes,
- daß die Tragflächen im gleichen Anstellwinkel sind,
- daß die Windmaschine auf einen gleichen Luftstrom eingestellt wird und
- daß jeweils die Differenz zwischen nichtangeströmter und angeströmter Tragfläche (das ist die Auftriebskraft) abgelesen wird und nicht die absoluten Zahlen (die Tragflächen sind nie gleich schwer).

Diese Mädchengruppe arbeitete mit einer Balkenwaage und wollte mit Hilfe eines Arbeitsblattes (vgl. Versuchsanleitung D.1.1) herausfinden, mit welchem Anstellwinkel die Tragfläche den größten Auftrieb hat.



Zuerst mußte die Waage mit dem Tragflächenmodell sorgfältig austariert werden. Dabei ist es sinnvoll, alle Ausgleichsgewichte für Tragflächen und Stativ nur auf einer Seite aufzustellen, damit man später mit den Messungen nicht durcheinander kommt.

Strömt man die Tragflächen an, so hebt sich die Seite der Tafelwaage und muß mit zusätzlichen Gewichten wieder ins Gleichgewicht gebracht werden.

Anstellwinkel und Flügelwölbung werden normalerweise um so größer gewählt, je langsamer das Flugzeug ist. Im Experiment läßt sich dies mit einem regulierbaren Winderzeuger nur in Ansätzen erarbeiten. Um so eindrucksvoller ist

dagegen bei einem Flughafenbesuch die Demonstration der verschiedenen Landeklappen, bei denen das Flügelprofil eines großen Jets für den langsamen Landeanflug verändert werden kann.



c) Bau von 6 verschiedenen Zimmergleitern aus Balsaholz*)

Aufgabe:

Es sollen 6 verschiedene Zimmergleiter nach einem Plan gebaut und eingeflogen werden.

Material:

Balsabrettchen 2 mm, Styropor-Untertapete 2 mm, verzinkter Eisendraht ca. 0,8 mm, Weißleim, Dämmplattenstücke als Montagebretter, 15 mm hohe Leistenabschnitte zum Unterlegen der Tragflügel, Schneidebretter, Kartons für Transport und Aufbewahrung der Modelle.

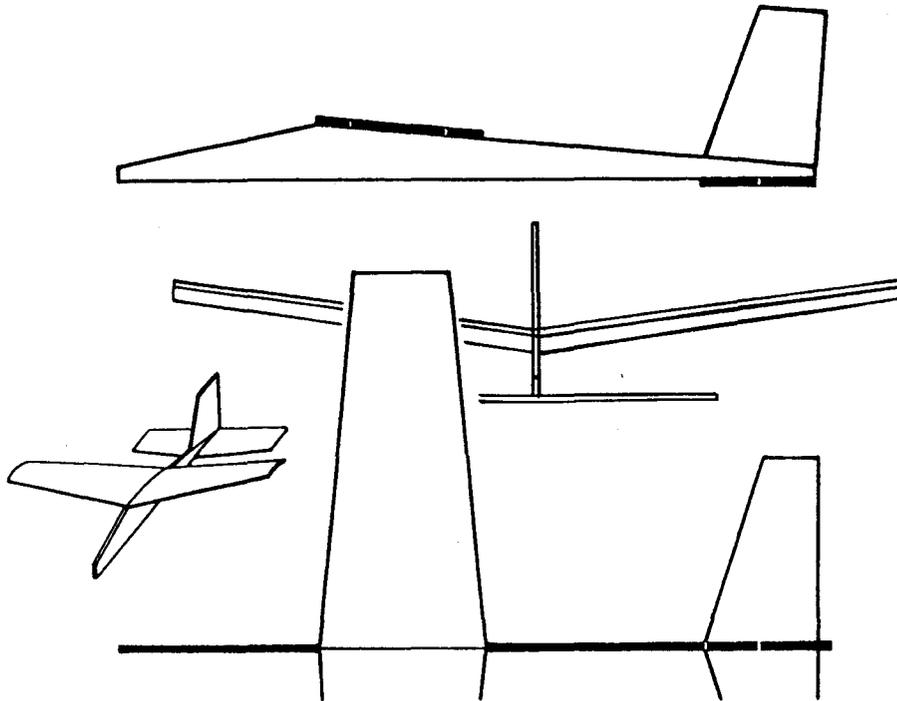
Werkzeug:

Balsamesser, Scheren, Bleistifte und Lineale, Schleifklötze mit 120er Körnung, Glaskopfstecknadeln, Kneifzange, Flachzange.

*) Nach: KJER/PAKUSA 1974, S. 29f

Normalmodell

Vom Balsabrettchen werden 22 cm lange Stücke abgeschnitten. Das ergibt jeweils 6 Rümpfe. Die Rumpfform wird mit Hilfe einer Schablone übertragen. Dabei werden gleich die Positionen der Flächen und des Schwerpunktes markiert. Der Rumpf wird mit einem scharfen Balsamesser (Klinge möglichst flach ansetzen) auf dem Schneidebrett ausgeschnitten. Die Schnittrichtung muß dem Maserungsverlauf entsprechen. Mit dem Schleifklotz glättet man vorsichtig den Rumpf.



Für die Tragflügel werden von der Styropor-Untertapete in Querrichtung 7 cm breite Streifen abgeschnitten. Die natürlichen Wölbungen des Streifens tragen zum einen zur Stabilisierung des Tragflügels bei, zum anderen erhöhen sie den Auftrieb. Die Tragflügelform wird nun auf der Unterseite des Streifens aufgezeichnet und die Mittellinie markiert. Nach dem Ausschneiden wird die Mittellinie leicht geschlitzt. Zur Herstellung der V-Form wird der Tragflügel in der Mitte mit dem Leistenabschnitt unterlegt, die Enden nach unten geknickt, auf der Montageplatte mit Nadeln fixiert und der Schlitz mit etwas Weißleim gefüllt. Nach dem Trocknen hält so der Tragflügel die V-Form.

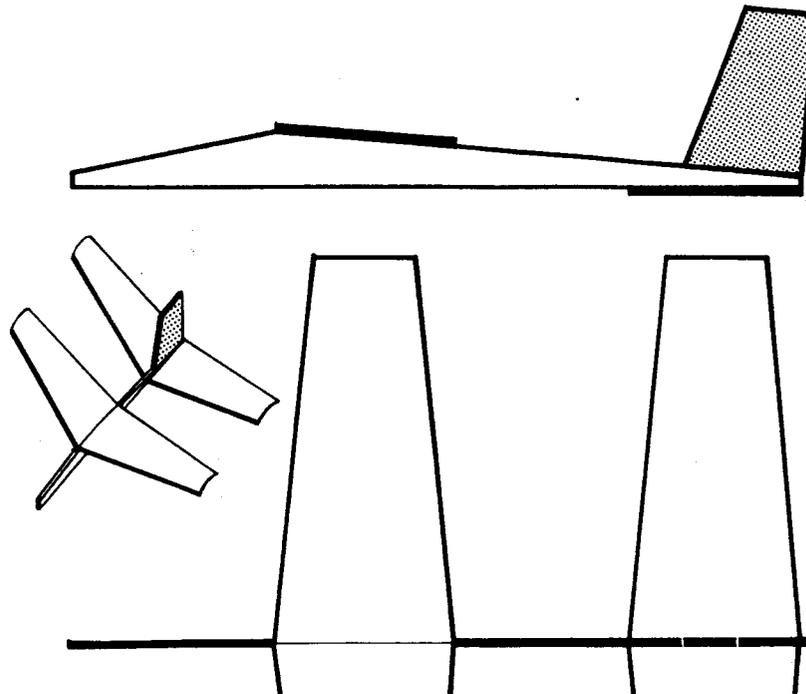
Inzwischen werden die Leitwerke hergestellt. Hier würden sich die Wölbungen ungünstig auswirken. Deshalb "bügelt" man einige Stücke der Styropor-Folie bei geringer Temperatur unter einem feuchten Tuch plan. Diese flachen Stücke werden ausschließlich für die Leitwerke verarbeitet.

Das ausgeschnittene Höhenleitwerk wird auf die Montageplatte gelegt, das Rumpffende senkrecht aufgeleimt und der Rumpf mit Nadeln festgesteckt. Das Seitenleitwerk und der Tragflügel werden an den markierten Stellen auf die Rumpfoberkante geleimt und ebenfalls mit Nadeln befestigt. Durch Peilen von vorn überzeugt man sich vom richtigen Sitz der Flächen auf dem Rumpf.

Nach dem Trocknen wird das Modell getrimmt. Als Ballast dienen Drahtklammern, die aus dem Eisendraht gebogen werden. Sie werden von vorn auf die Rumpfnase aufgeschoben und mit etwas Leim gesichert.

Tandem

Das Tandem unterscheidet sich von dem Normalmodell dadurch, daß an die Stelle des Höhenleitwerks ein zweiter Tragflügel tritt, der auch V-Form haben muß. Der Schwerpunkt liegt weiter hinten. Sonst wird genauso verfahren wie beim Bau des Normalmodells.



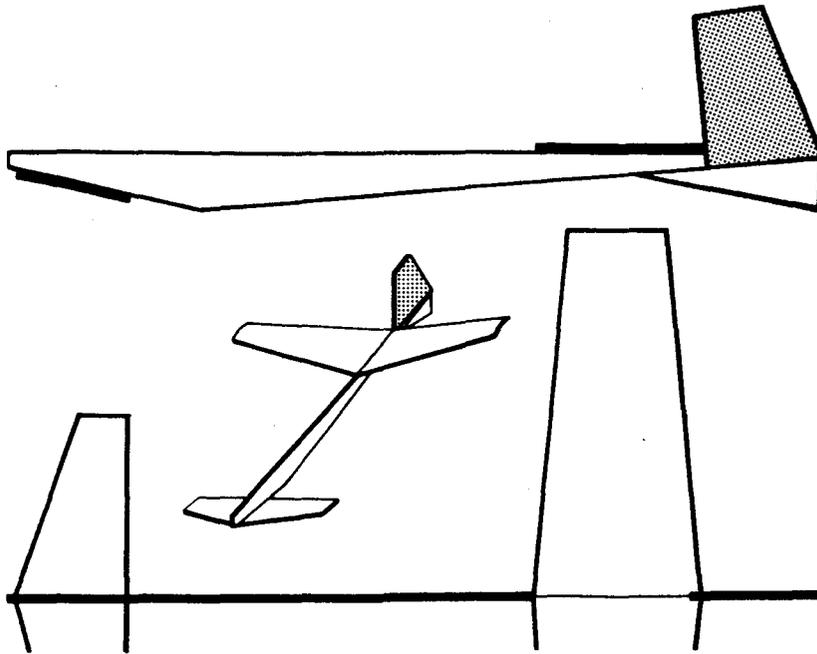
Ente

Die Ente ist als Flugzeugtyp für die Schüler am ungewöhnlichsten, weil sie diesen Typ meistens noch nie gesehen haben. Die Ente zeigt ein ideales Gleitverhalten und ist absturzsicher.

Zum Erreichen der richtigen Schwerpunktlage wird in der Regel kein Ballast gebraucht.

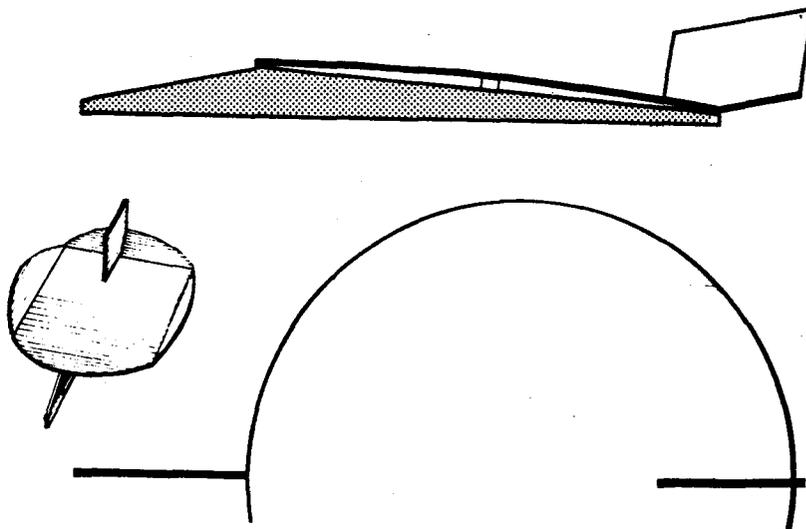
Der Rumpf für die Ente wird am Ende durch das Dreieck verlängert, das beim Ausschneiden des Rumpfes vorn abfällt. Den für die Ente erforderlichen größeren Einstellwinkel des Höhenleitwerks wird durch Drehen des Rumpfes um die Längsachse erreicht. Alle Flächen werden dem Plan entsprechend angeleimt.

Es kommt gelegentlich vor, daß man bei der Ente den Ballast am Rumpffende (!) anbringen muß, wenn sie kopflastig ist.



Scheibe

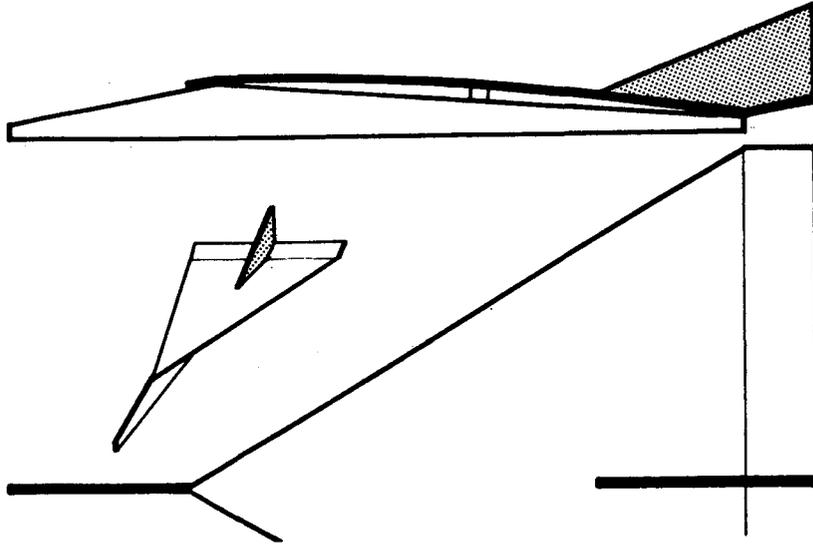
Die Scheibe erzielt, wenn sie gut eingeflogen ist, den günstigsten Gleitwinkel. Das Höhenleitwerk fehlt, stattdessen wird die Hinterkante der Scheibe etwas angewinkelt und durch den vorgegebenen Winkel des aufgesetzten Seitenleitwerks in dieser Lage festgelegt. Die seitlichen Kreisabschnitte werden zu Ohren hochgezogen.



Die Scheibe wird nur vorn und hinten am Rumpf verleimt, um die Wölbung der Fläche zu erhalten. Diese Wölbung kann man am höchsten Punkt mit etwas Styropor unterfüttern. Die Scheibe braucht viel Ballast und einen stärkeren Startschwung.

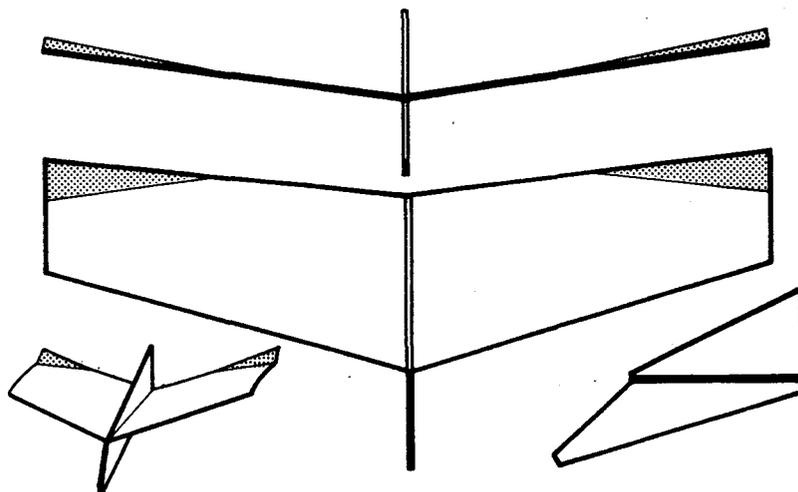
Delta

Das Deltamodell ist sehr einfach zu bauen. Die Fläche wird - wie bei der Scheibe - an der Hinterkante angewinkelt und mit dem Seitenleitwerk verbunden. Auch die Befestigung am Rumpf erfolgt nur vorn und hinten, in der Mitte wird wieder unterfüttert. Der Gleitwinkel ist nicht so günstig. Hier zeigt sich, daß diese Form extrem schnellen Flugkörpern entspricht. Beim langsamen Gleitmodell ist die Auftrieb liefernde Fläche zu klein.



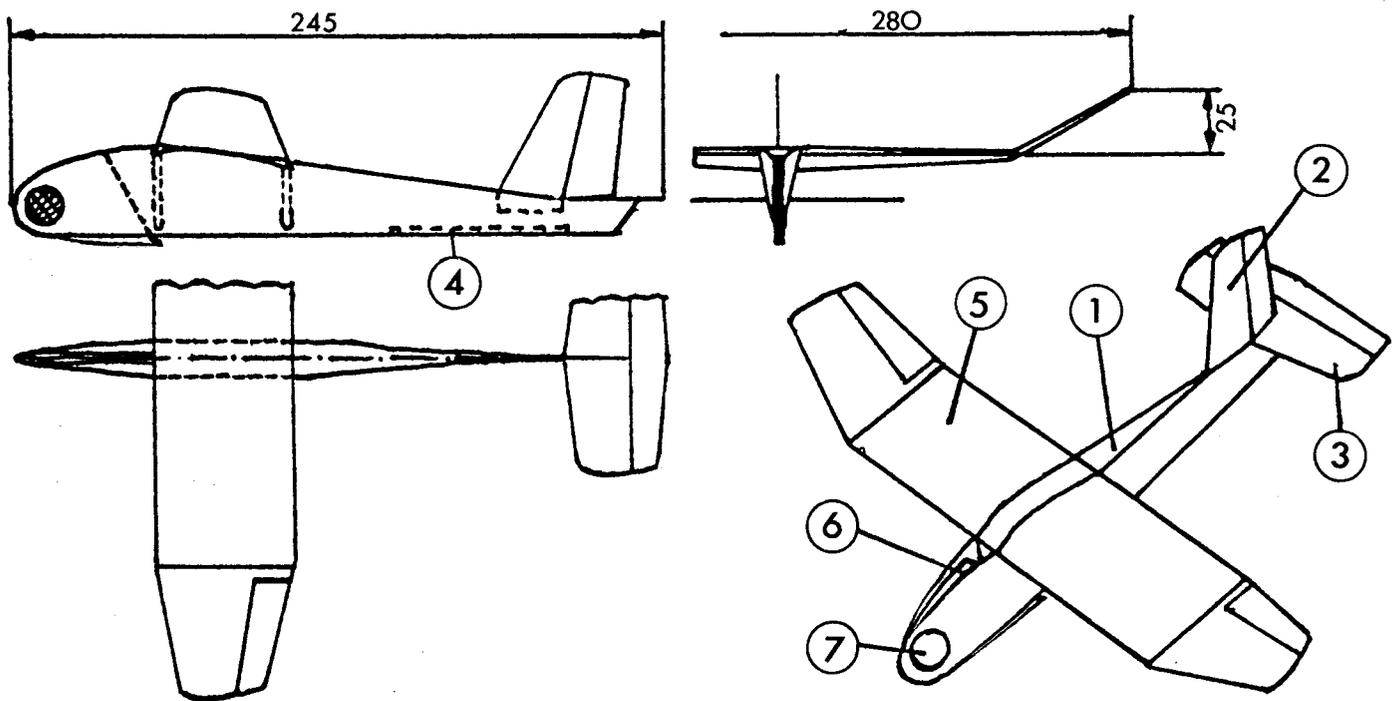
Nurflügelmodell

Im allgemeinen sind die Nurflügelmodelle schwer zu einem stabilen Flugverhalten zu bringen. Bei unserer Gemischtbauweise hat das Modell ein gutes bis sehr gutes Gleitverhalten. Tragfläche und Rumpf weichen notwendigerweise von der normalen Form ab. Der Tragflügel hat V-Form und ist geschränkt und gepfeilt, um die Querstabilität zu sichern. Der Zusammenbau von Rumpf und Tragflügel erfolgt wie bei den anderen Modellen.



d) Wurfgleiter aus Zeichenkarton*)

Die Abbildung stellt in verkleinerter Form alle Teile dar, wie sie für das Originalmodell aus einem DIN A-4-Blatt geschnitten wurden (Bauplan). Um die Übersichtlichkeit zu wahren, sind nur die wichtigsten Maße eingetragen. Die anderen können mit Hilfe des Maßstabes leicht ermittelt werden. Große Bedeutung hat die richtige Kartonstärke, die die Dicke einer Postkarte haben soll. Es ist jedoch von Vorteil, die Dicke etwas stärker zu wählen, damit die Modellteile eine höhere Festigkeit erhalten. Eine zusätzliche Verstärkung läßt sich durch einen gut ausgehärtenden Klebstoff erreichen, beispielsweise Weißleim.



Übersichtszeichnung und perspektivische Darstellung des Wurfgleiters aus Zeichenkarton

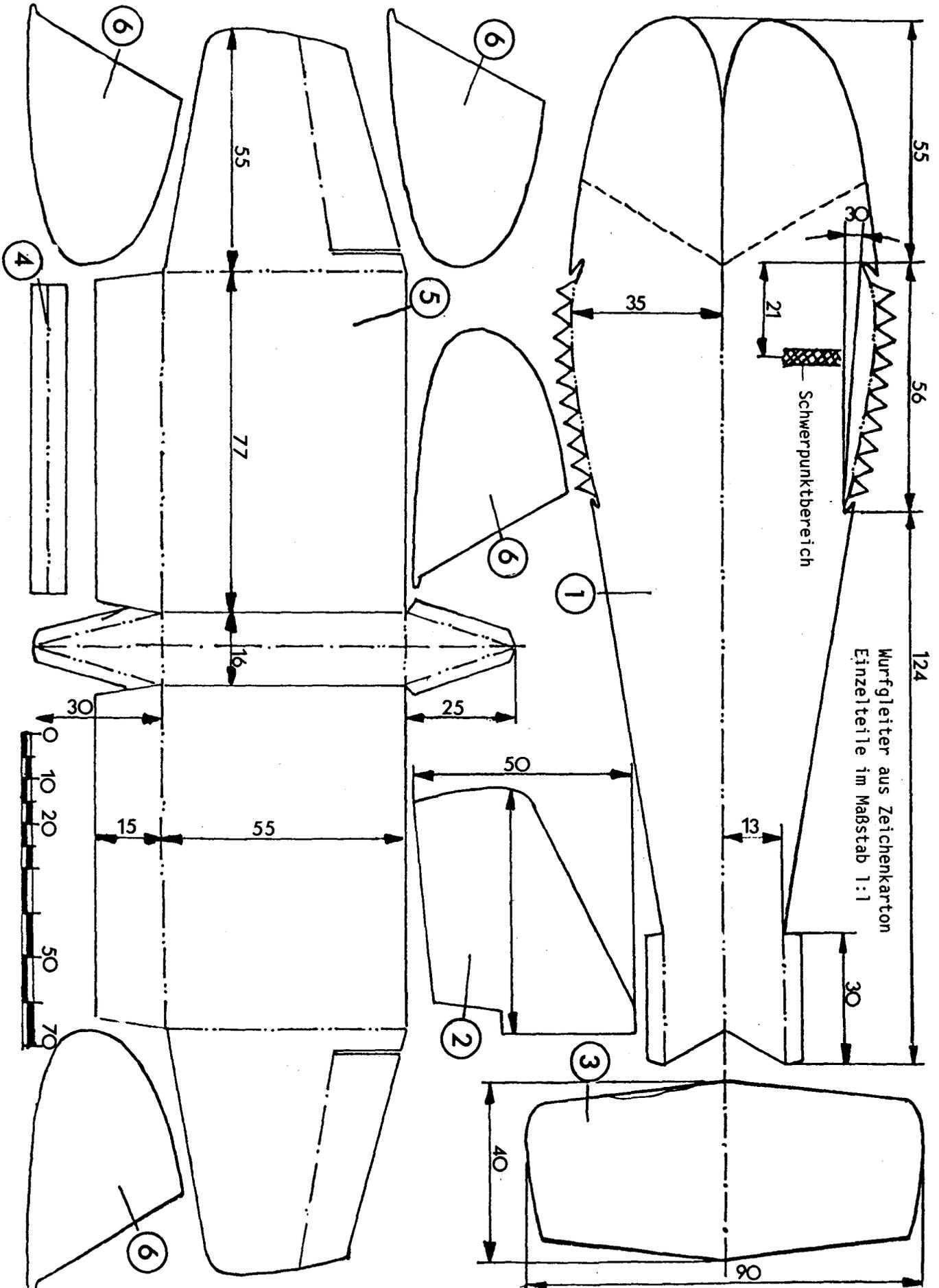
Die beiden Rumpfsseiten (1) werden genau gleich, wenn man auf eine Hälfte zeichnet, den Karton knickt und beide Seiten zusammen ausschneidet.

Die Zacken für die Flügelauflage werden nach außen gebogen, gleichfalls die Laschen am Heck für die Befestigung des Höhenleitwerks. Nun kann man Seiten- (2) und Höhenleitwerk (3) an den gezeigten Stellen festleimen. Am hinteren Rumpf wird noch ein Kartonstreifen (4) eingeleimt, damit der Schwanz eine größere Festigkeit bekommt und nicht so leicht abknickt.

*)Nach: THIES/ROLF 1975, S. 45 f

Die Verstärkung der Flügelvorderkanten ist zur Unterseite hin umzubiegen und festzukleben. Die zwei am Flügel (5) angebrachten Rumpfspanten sind nach unten zu biegen danach die Klebfalz nach hinten. Ehe der Flügel auf den Rumpf gesetzt wird, ist die Profilwölbung, wie sie die Flügelauflage besitzt, vorzubiegen. Nach dem Festkleben des Flügels erhält der Rumpf seine charakteristische Dreiecksform. Nun werden die Flügelohren an der gekennzeichneten Stelle beiderseits an der angegebenen Stelle gleichmäßig hochgeknickt. Wenngleich durch diesen Knick die Profilwölbung teilweise verlorenggeht, so reicht sie aus, um dem Gleiter ein gutes Flugverhalten zu sichern. Nach dem Einsetzen des Flügels ist alles nochmals (ehe der Kleber abbindet) auf rechtwinkligen Sitz zu überprüfen. Wichtig ist auch, daß der angegebene Einstellwinkel des Tragflügels von 4° (die Differenz von Höhenleitwerk zu Tragflügel) eingehalten wird.

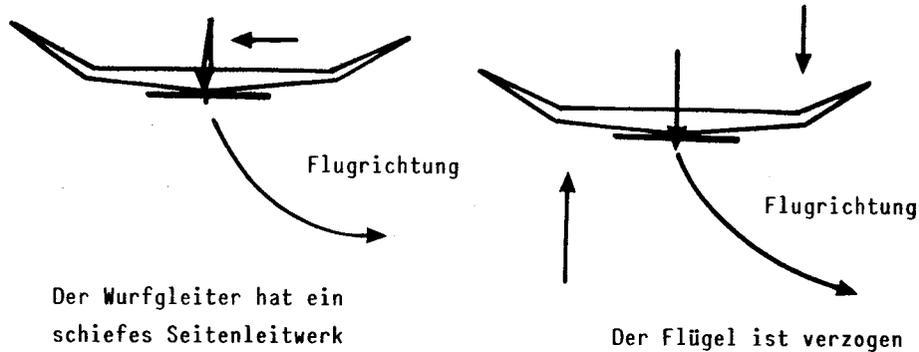
Zuletzt werden die vier Verstärkungen (6) des Rumpfkopfes mit Klebstoff eingesetzt. Wie die Perspektivdarstellung erkennen läßt, liegen die Rumpfsseiten nur im vorderen Bereich fest an; weiter hinten stehen diese Verstärkungen in Rumpfmittle, während die Rumpfsseiten sich zur Breite der Rumpfspanten auseinanderziehen. Sind alle Verklebungen gut getrocknet, geht es an das Auswiegen. Zu diesem Zweck setzt man das Modell im Bereich des Schwerpunktes, ungefähr 20 mm von Flügelvorderkante, auf die Spitze eines leicht gespreizten Zirkels. Dabei wird sich herausstellen, daß zum Erreichen der Fluglage (leicht nach vorn geneigter Rumpf) noch zusätzlich Trimmung am Rumpfkopf angebracht werden muß. Das kann ein kleines Geldstück sein oder auch eine Unterlegscheibe (7). Man leimt die Metallstücke außen fest und überklebt sie möglicherweise mit etwas Zeichenkarton.



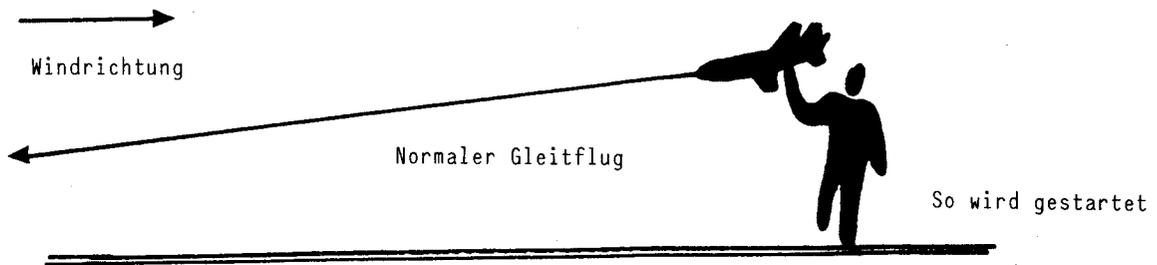
e) Das Einfliegen von Gleitern und Segelflugmodellen*)

Das Einfliegen wird im folgenden ausführlich geschildert, weil man mit dem Wurfgleiter gute Erfahrungen auch für nachfolgende, größere Modelle sammeln kann, ohne daß zunächst ein teures Flugzeug-Modell aufs Spiel gesetzt wird.

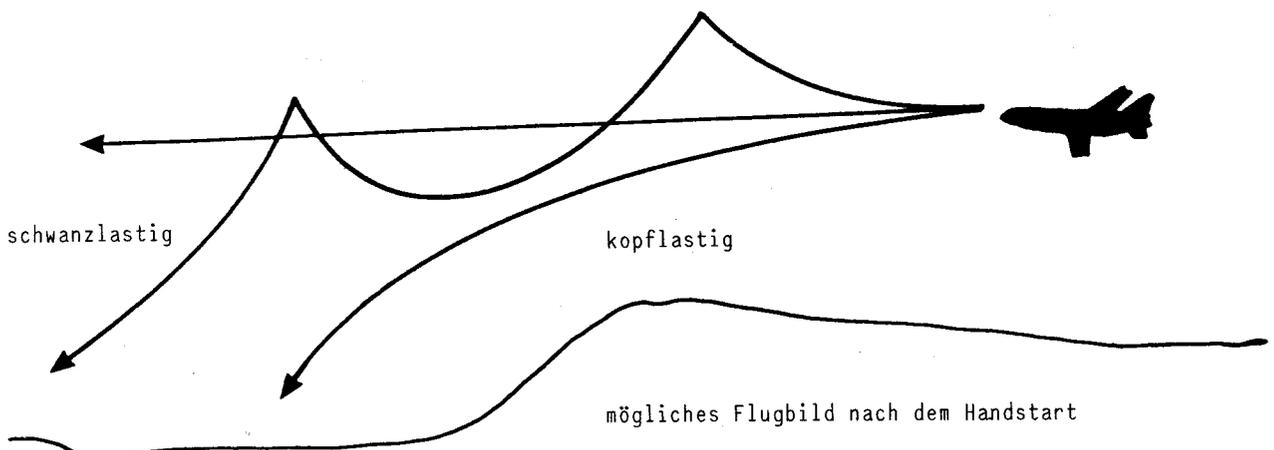
Als erstes werden am Gleit- bzw. Flugmodell mögliche vorhandene Verzüge ausgeglichen. Dann faßt man den Wurfgleiter unterhalb des Flügels an der Rumpf-



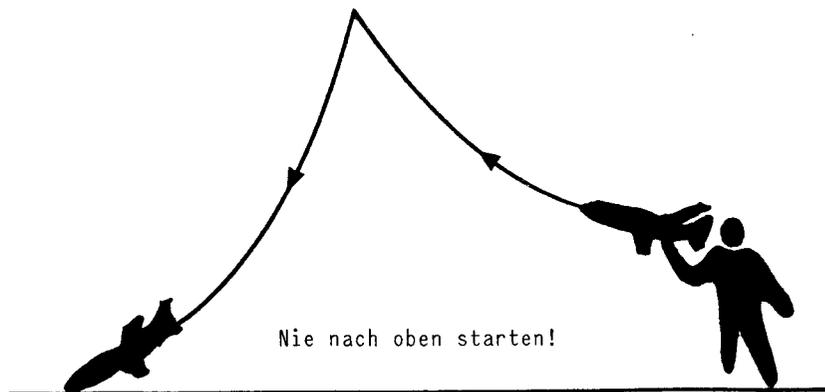
unterseite, hält das Modell in Gleitfluglage und schiebt es in dieser Stellung mit leichtem Schwung in die Luft. Sollte alles in Ordnung sein, so



wird das Modell geradeaus in einem langgestreckten Gleitflug fliegen. Die Praxis zeigt jedoch, daß meist noch Korrekturen notwendig sind. Oft fliegt das Modell nicht geradeaus, sondern beginnt mehr oder weniger stark zu kurven. Das kann eine Reihe von Ursachen haben. Entweder das Seitenleitwerk sitzt schief und/oder der Tragflügel ist verzogen.



*) Nach: THIES/ROLF 1975, S. 47f)



Neben Schwierigkeiten im Geradeausflug kann Kopflastigkeit vorkommen. Das äußert sich, indem das Modell nach dem Start schnell an Fahrt aufholt und immer steiler zu Boden geht. In diesem Fall ist zu viel Trimmgut am Rumpfkopf. Geringe Kopflastigkeit kann man durch Hochbiegen an der Hinterkante des Höhenleitwerks korrigieren. Notfalls entfernt man auch Trimmgut oder klebt am Schwanz einen Streifen Zeichenkarton an. Das ist wegen des langen Hebelarmes zum Schwerpunkt recht wirksam, doch wird auf diese Weise das Modell schwerer.

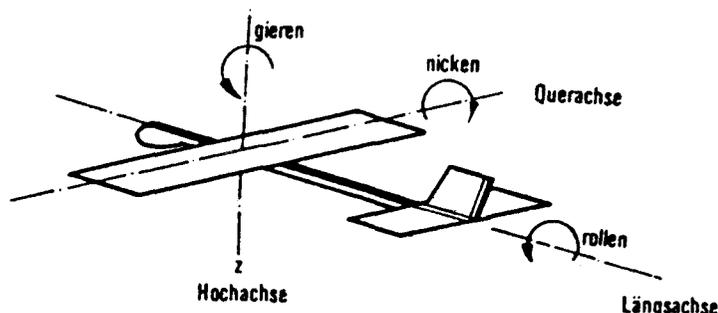
Umgekehrt ist es aber auch möglich, daß zu wenig Trimmgut am Rumpfkopf vorhanden ist (Schwanzlastigkeit). Hier fliegt das Modell nach dem Start zunächst auf gleicher Höhe, beginnt kurz zu steigen, kippt ab, holt Fahrt auf, um dann erneut zu steigen usw.. Es vollführt den charakteristischen Hakenflug (auch als "Pumpen" bezeichnet). In diesem Fall kann man zunächst versuchen, durch Verbiegen der Endkante des Höhenleitwerks nach unten eine Korrektur herbeizuführen. Erst wenn das nicht den gewünschten Erfolg bringt, muß man noch weiteres Trimmgut am Rumpfkopf befestigen, sollte aber dabei andererseits wieder Kopflastigkeit vermeiden.

Am besten lassen sich all diese Flugversuche in einem größeren Zimmer, einem Saal bzw. einer Turnhalle durchführen. In solchen geschlossenen Räumen herrscht Windstille, so daß keine Beeinflussung von außen auf das Modell eintritt. Anfänger sollten eine größere Anzahl von Starts durchführen und mit etwas unterschiedlichem Schwung (doch mit stets leicht abwärts geneigtem Rumpf) das Modell in die Luft geben. Eine bewährte Methode ist der sogenannte Laufstart. Hierbei hält die ausgestreckte Hand das Modell in Fluglage, während man zu laufen beginnt. Bald wird spürbar, wie am Modell genügend Auftrieb vorhanden ist, so daß man es loslassen kann.

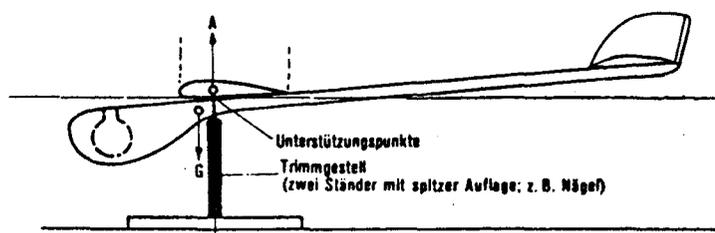
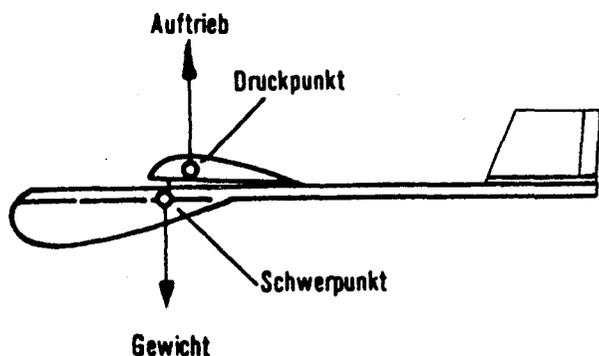
f) Flugstabilität von Flugzeugen^{*)}

Wenn etwas Wind herrscht, kann man zusammen mit einem Helfer das Modell mit einer Schnur hochziehen. Der Helfer hält das Modell mit eingeklinktem Ring leicht nach oben, während man auf ein Zeichen hin zusammen zu laufen beginnt – selbstverständlich gegen den Wind. Dabei sollte der Startende auf das Steigverhalten des Modells achten. Geht das Modell stark zur Seite, ist die Schnur sofort loszulassen, weil das Flugzeug sonst auf den Boden schlägt. Steigt es dagegen gerade, so ist mit dem Zug nachzulassen, wenn das Modell die größte Höhe erreicht hat, damit der Ring aus dem Haken fallen kann. In diesem Moment darf keine Spannung mehr auf der Schnur sein, weil sich das Flugzeug sonst aufbäumt.

Ein Flugzeug kann beim Fliegen außer seiner Vorwärtsbewegung verschiedene Eigenbewegungen ausführen, die zu einer Störung der Flugstabilität führen können.



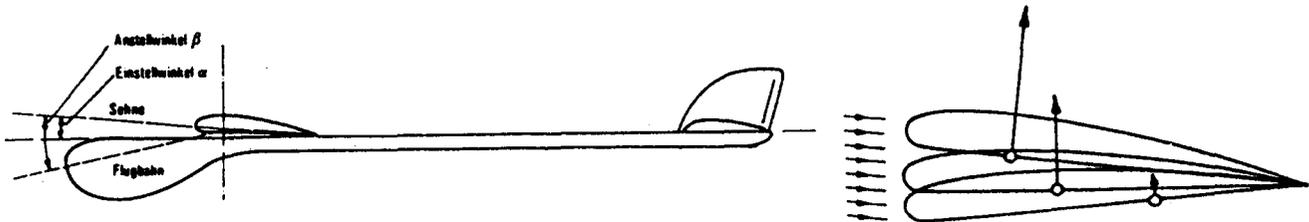
Die wichtigste Voraussetzung für die dynamische Eigenstabilität ist die Anordnung des Flugzeugschwerpunktes, der etwas vor dem Druckpunkt liegen muß. Mit einem Trimmgestell kann man das Flugzeug am Druckpunkt beweglich aufstellen und so ausbalancieren (durch Gewichte und durch Verschieben der Tragflächen auf dem Rumpf), daß das Flugzeug, wie in der Skizze, leicht nach vorn pendelt.



Der Druckpunkt an einem Flugzeug ist jedoch im Unterschied zum Schwerpunkt nicht fest, sondern hängt vom Einstell- und vom Anstellwinkel der Tragflächen ab. Der leichte Winkel zwischen Tragfläche und Rumpf ist der Einstellwinkel (dieser Winkel ist fest). Je nachdem, welche Lage das Flugzeug nun zur Luftströmung einnimmt, hat es mit seiner Tragflächen einen veränderlichen Anstellwinkel.

Ganz deutlich kann man das beim Start und der Landung von Flugzeugen sehen: Der Bug ist viel höher in der Luft als das Heck. Die startenden und landenden Flugzeuge vergrößern auf diese Weise ihren Anstellwinkel, um so mehr Auftrieb trotz geringer Geschwindigkeit zu erhalten.

Bei der Veränderung des Anstellwinkels verändert sich auch der Druckpunkt: nimmt der Anstellwinkel zu, d.h. das Heck des Flugzeuges geht nach unten, wandert der Druckpunkt nach vorn; nimmt der Anstellwinkel ab, wandert der Druckpunkt nach hinten.



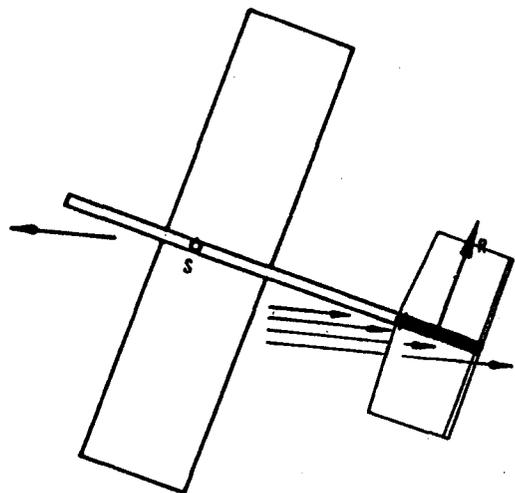
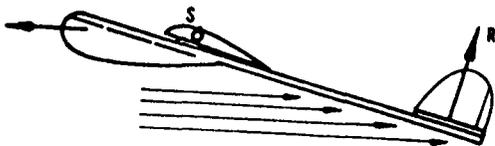
An- und Einstellwinkel

Druckpunktwanderung

Dieser Eigenbewegung des Flugzeuges wirkt das Leitwerk am Heck entgegen. Das Leitwerk besteht aus den hinteren Flügeln, dem Höhenleitwerk und dem senkrechten Seitenleitwerk.

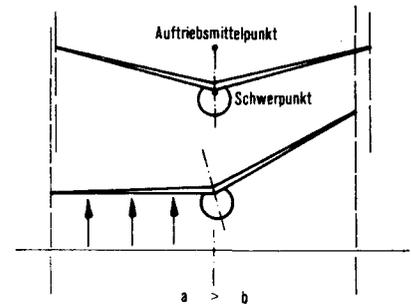
Das Höhenleitwerk dient der Längsstabilisierung des Flugzeuges. Senkt sich das Heck des Flugzeuges, so trifft die Luftströmung verstärkt auf das Höhenleitwerk und drückt dieses nach oben. Über den Flugzeugrumpf als Hebel wirkt nun das Höhenleitwerk auf die Fluglage des Flugzeuges. Entsprechend umgekehrt verläuft der Vorgang, wenn sich die Flugzeugnase senkt, das Heck sich also hebt.

Das Seitenleitwerk korrigiert das "Gieren" des Flugzeugs. Wenn das Heck seitlich ausbricht, drückt die Strömung auf das Seitenruder und bringt das Flugzeug wieder in eine gerade Lage.



Wirkung des Seitenleitwerks
(rechts)
Wirkung des Höhenleitwerks
(oben)

Dem "Rollen" des Flugzeugs um seine Längsachse begegnet man durch die V-förmig angeordneten Tragflächen. Senkt sich eine Tragflächenseite, so hat sie durch die V-Form einen größeren Auftrieb als die anderen Flächen und kommt dadurch wieder hoch, bis der Auftrieb der beiden Flächen wieder gleich groß ist. Gerade durchgehende Tragflächen haben diesen stabilisierenden Effekt nicht.



Flugverhalten, Ursachen und Fehlerkorrekturen *)

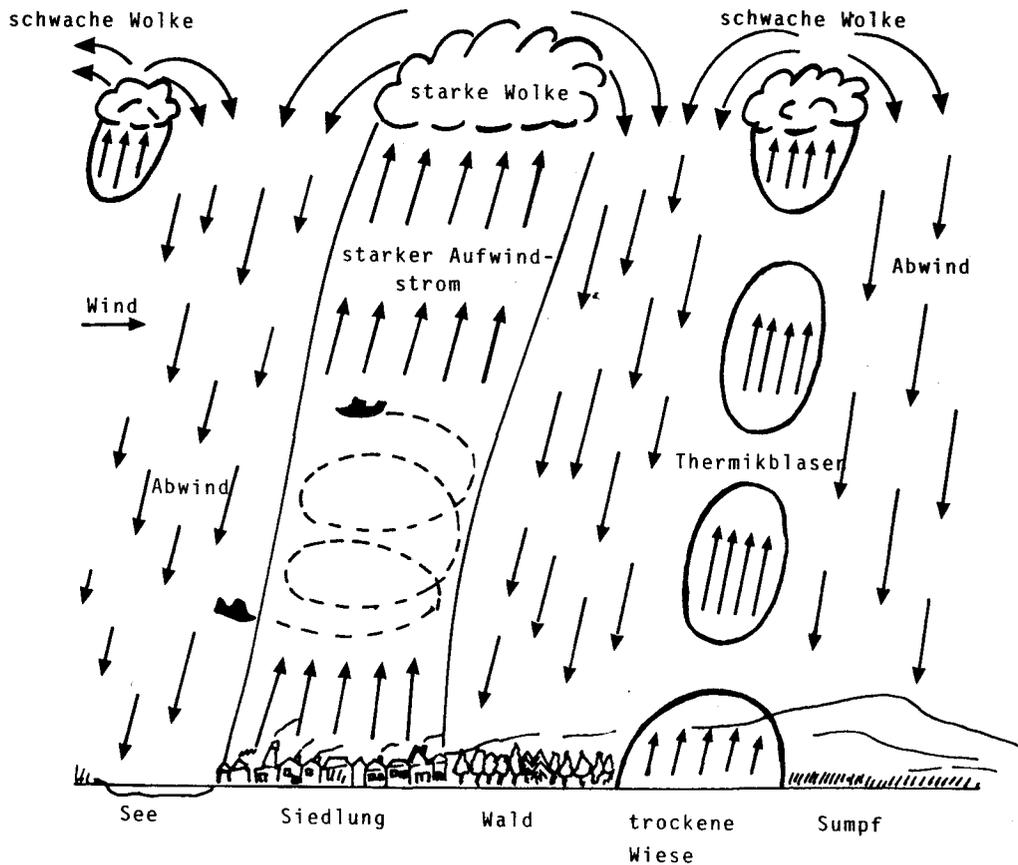
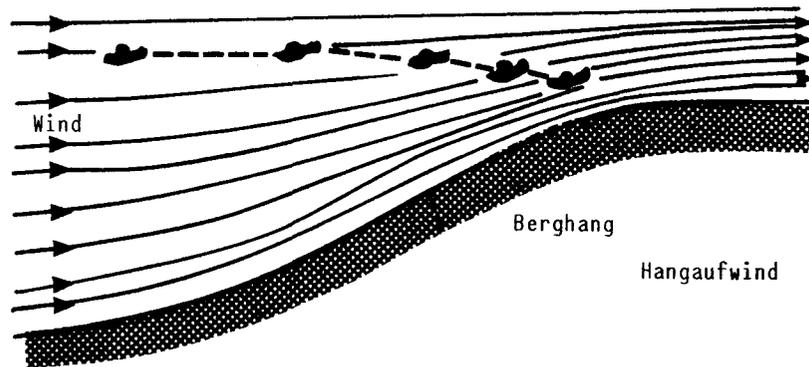
Flugverhalten	Mögliche Ursachen	Verbesserungsvorschläge
kippt steil nach vorn über	kopflastig; Schwerpunkt liegt zu weit vor Druckpunkt; zu kleiner (evtl. negativer) Einstellwinkel	z.B. Tragfläche nach vorn verschieben, Stabilisierungsfläche nach hinten verschieben, Rumpf vorne leichter machen (Blei), Einstellwinkel vergrößern (Keil unterschieben)
bäumt sich auf, stürzt evtl. nach einigen "Wellen" ab	schwanzlastig; Schwerpunkt liegt hinter Druckpunkt; zu großer Einstellwinkel	z.B. Tragfläche nach hinten verschieben, Stabilisierungsfläche nach vorn verschieben, Rumpf vorne schwerer machen (Ballast); Einstellwinkel verkleinern (Keil)
fliegt eine Kurve und rutscht evtl. über eine Tragfläche ab	keine ausreichende Richtungsstabilität durch verzogene (windschiefe) Tragfläche, verzogenes (windschiefes) Höhenleitwerk, verzogenes (windschiefes) Seitenleitwerk, ungleiche V-Stellung der Tragflächen, schräges Seitenleitwerk (nicht vertikal)	Flächenverzug oder Schrägstellung korrigieren (z.B. neu verleimen)
gestreckter Gleitflug	Flugzeug ist eigenstabil konstruiert und gebaut	

*) Nach: STÜHRMANN/WESSELS 1976, S. 144 f

g) Wodurch fliegt ein Segelflugzeug?

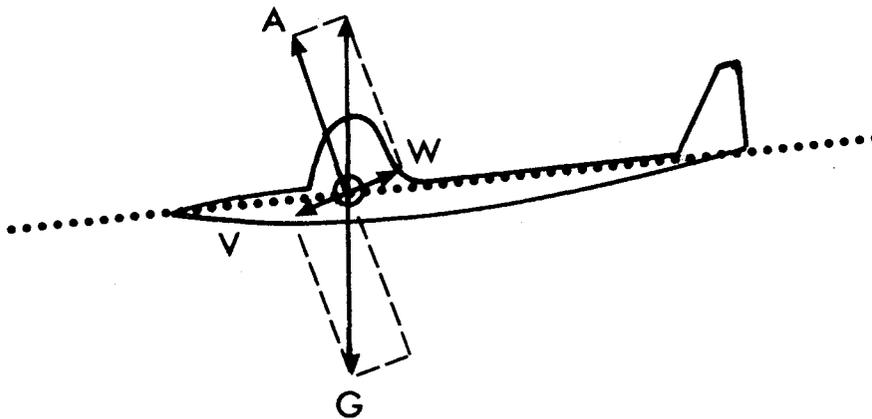
Das Aufsteigen

Aufsteigen kann ein Segelflugzeug nur durch eine Seilwinde (wie beim Hochstart), durch ein motorgetriebenes Schleppflugzeug oder aber dort, wo starke Aufwinde herrschen, d.h. nach oben gerichtete Winde. Diese Aufwinde entstehen z.B., wenn Wind gegen einen Berghang prallt und dort den "Prallwind" oder "Hangwind" erzeugt. Thermische Aufwinde entstehen dort, wo die Sonneneinstrahlung den Boden (z.B. Siedlungen, Kornfelder; Wiesen etc.) besonders erwärmen, wodurch sich auch die darüberliegende Luft aufheizt. Diese Luft beginnt nach oben zu steigen und erzeugt einen Aufwindstrom oder "Thermikblasen". Solange das Segelflugzeug im Aufwind kreist, kann es steigen.



So entsteht thermischer Aufwind

Verläßt das Segelflugzeug die Aufwindzone oder klinkt es sich von seinem Schleppseil los, so beginnt es im Gleitflug zu sinken. Es gleitet und stürzt nicht ab, weil ein Segelflugzeug (oder Gleitflugzeug) so konstruiert wird, daß der Gewichtsschwerpunkt etwas vor dem Auftriebsmittelpunkt (Druckpunkt) liegt. Dadurch entsteht ein kleines Drehmoment, welches das Segelflugzeug auf eine geneigte Flugbahn bringt. Diese Gleitfluglage bewirkt dann den Vortrieb.



Parallelogramm der Kräfte beim Gleitflug

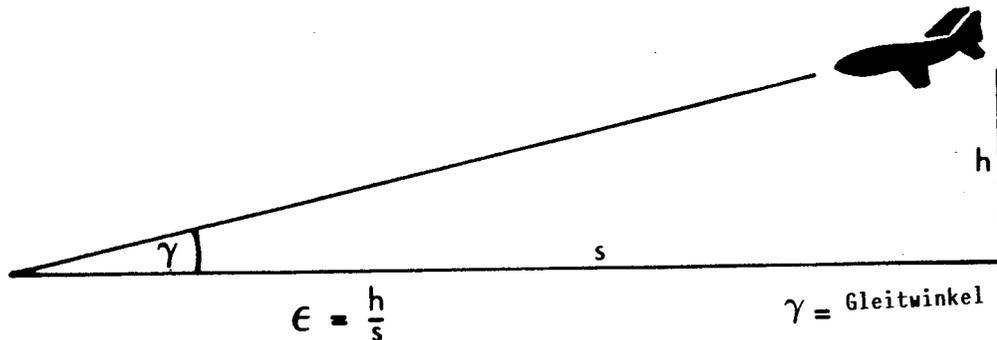
Folgende Kräfte treten beim Gleitflug auf:

Auf das Flugzeug wirkt die Schwerkraft G , die zum Erdmittelpunkt gerichtet ist (Gewicht des Flugzeuges). Das Segelflugzeug stürzt jedoch nicht senkrecht ab, weil durch den Luftwiderstand auf das Flugzeug folgende andere Kräfte wirken:

- die Auftriebskraft A , die der Tragflügel liefert
- die Vortriebskraft V , mit der das Flugzeug nach vorn beschleunigt wird, und
- die Widerstandskraft W , die das Flugzeug durch seinen Luftwiderstand (in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit) bremst.

Sind diese Kräfte im Gleichgewicht, so gleitet das Flugzeug mit konstanter Geschwindigkeit auf einem leicht zur Erde geneigten Kurs.

Die Güte von Segelflugzeugen wird durch die Gleitzahl ϵ angegeben. Sie ergibt sich aus dem Quotient von Gleitflugausgangshöhe h und die im Gleitflug zurückgelegte Entfernung s .



Je kleiner die Gleitzahl ϵ ist, desto besser ist das Flugzeug.

Fragen:

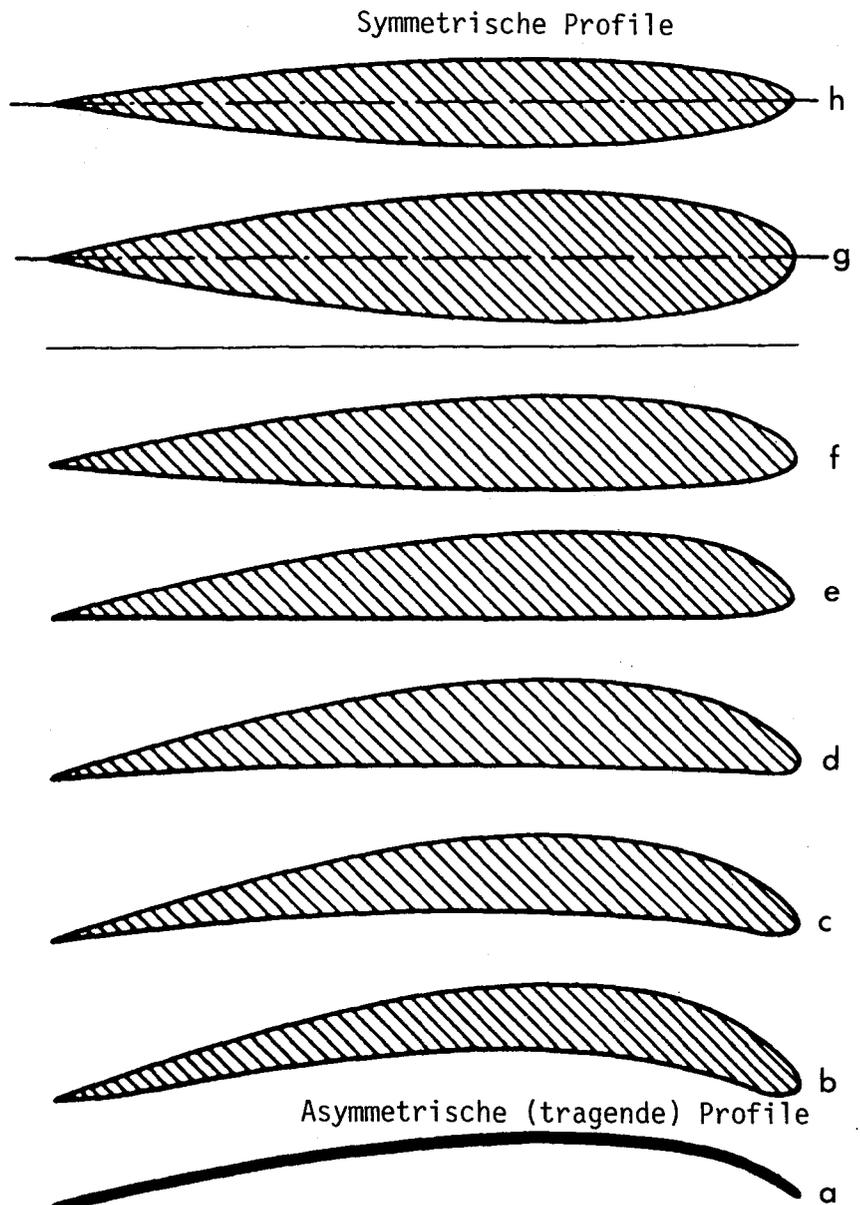
1. Warum entstehen Aufwinde über Ortschaften, Hängen und trocknen Feldern, nicht aber über Seen, Wäldern und Sümpfen?
2. Warum sind dicke Haufenwolken ein Anzeichen für starke Aufwinde?
3. Ermittelt die Gleitzahl ϵ Eurer selbstgebaute Gleiter und Segelflugmodelle (Wie müssen die dazu nötigen Flüge durchgeführt und welche Messungen müssen vorgenommen werden?).

Wie kommt es, daß die gebaute Flug-Modelle durch die Luft gleiten und nicht wie Steine zur Erde fallen? Jeder wird sofort antworten: "Weil Flügel vorhanden sind." Das ist richtig und deshalb lohnt es sich, den Flügelquerschnitt etwas näher zu betrachten. Bei der Papierschwalbe ist dieser vollkommen falsch, so wie das zur Herstellung benutzte Papier. Weil derartige Modelle sehr leicht sind und von ihnen auch keine besondere Flugleistung erwartet werden, kommt man dabei mit einem flachen Querschnitt aus.

Sorgt man jedoch für eine Wölbung des Flügels, wie sie Gleitermodelle aus Balsaholz besitzen, so lassen sich die Flugleistungen erheblich verbessern, obwohl diese Modelle gegenüber den Papierschwalben wesentlich schwerer sind. Eine weitere Steigerung der Flugleistung kommt zustande, wenn die Flügelunterseite annähernd gerade ist, während die Oberseite eine Wölbung aufweist. Damit erhält der Flügel zugleich eine gewisse Dicke; seine Festigkeit kann durch Versteifungen (dem Einbau von Halmen) erhöht werden. Den Querschnitt durch einen Flügel bezeichnet man als Profil. Es gibt eine außerordentlich große Zahl von Flügelprofilen, die alle ihre bestimmten Eigenschaften haben und dementsprechend verwendet werden. Die Abbildung bringt eine kleine Auswahl davon.

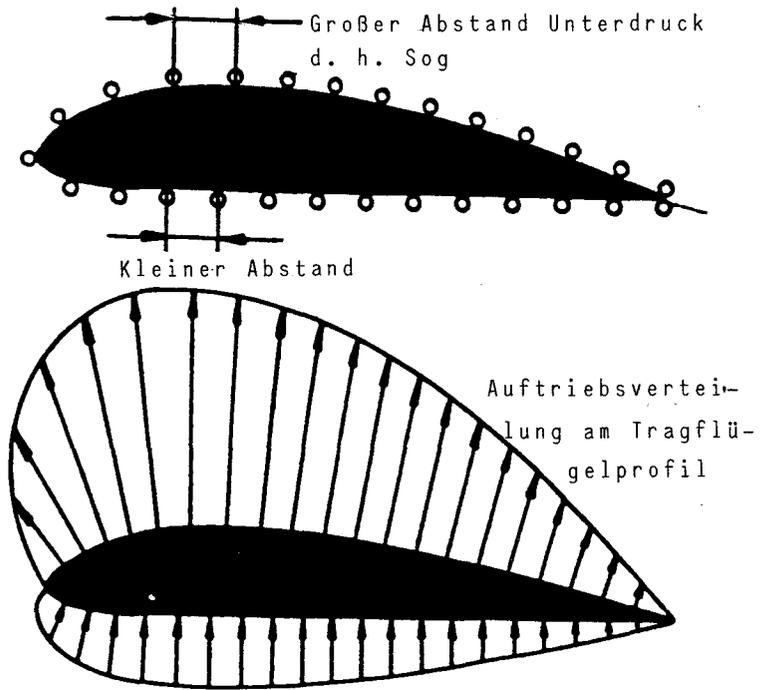
Dargestellt sind zwei Formen, die an der Ober- und Unterseite die gleiche Wölbung aufweisen, so daß hier eine Mittel- oder Symmetrielinie vorhanden ist. Aus diesem Grund werden sie auch als symmetrische Profile bezeichnet. Solche Formen werden vorwiegend beim Seitenleitwerk benutzt, häufig aber auch im Höhenleitwerk. Symmetrische Profile erzeugen, wenn die Luftströmung genau von vorn kommt, d.h. parallel zur Mittellinie, keinen Auftrieb. Die Profilform ergibt aber eine stabilisierende Wirkung, was für ein Leitwerk von großer Bedeutung ist.

Tragende Profile verhalten sich demgegenüber ganz anders: Bei den fünf abgebildeten charakteristischen Formen fällt auf, daß sie vor allem an der Oberseite eine kräftige Wölbung haben, während sie an der Unterseite entweder gerade oder schwach nach innen oder außen gewölbt sind.



Flügel-Profile a) gewölbte Platte, b+ c) Profile für Freiflugmodelle, d-f) Profile für Fernlenkflugmodelle, g+h) symmetrische Profile

Diese auffällig starke Oberseitenwölbung erzeugt den Auftrieb. Das läßt sich durch folgenden Umstand erklären. Wegen des größeren Weges entlang der Oberseite im Verhältnis zur Unterseite müssen die Luftteilchen oben schneller fließen, wobei sie sich auseinanderziehen. Dieses Auseinanderziehen bedeutet eine Verringerung des Luftdruckes, so daß über dem Flügel ein schwach luftverdünnter Bereich entsteht. Das ergibt den charakteristischen Sog an der Flügeloberseite. Dieser trägt zur Auftriebserzeugung weit stärker bei als der Staudruck unter dem Flügel. Es ist also falsch anzunehmen, daß ein Flügel in erster Linie durch die unter ihm hinwegströmende Luft nach oben gedrückt wird. Man leitet diese Annahme fast immer von der Wirkungsweise des Drachens ab, der tatsächlich allein durch den Staudruck der Luft getragen werden. Das reicht hier aus, da jeder Drache an einer Schnur hängt und man sich passenden Wind aussuchen kann.



Druckverteilung an einem Flügelprofil

h) Der Bau von Styroporgleitern

Styropor ist leicht, relativ fest, billig und kann gut bearbeitet werden.

Die "Jumbo-Gleiter" zeigen bei Wurfstarts und bei Flügen aus den Fenstern hervorragende Flugeigenschaften, was vor allem auf die großen Tragflächen zurückzuführen ist.

Baumaterial

1 Platte Styropor (50 x 100 x 1,5 cm), (gibt's in Baugeschäften oder Bastelläden),
 Tube Styroporkleber,
 scharfes Küchenmesser (ohne Sägeschliff) und
 Schmirgelpapier (mittelfein)

Die Maße der Einzelteile der Zeichnung werden mit Filzstift auf die Platte übertragen. Mit sägender Bewegung schneidet man dann die Teile mit dem Messer aus der Platte.

Tragflächen und Höhenleitwerk bekommen nun ihr richtiges Profil. Beachte, daß das Profil der Tragflächen anders aussieht als das des Leitwerks. Die Form wird mit dem Messer vorgeschnitten; den richtigen Schnitt erhalten die Tragflächen mit dem Schmirgelpapier.

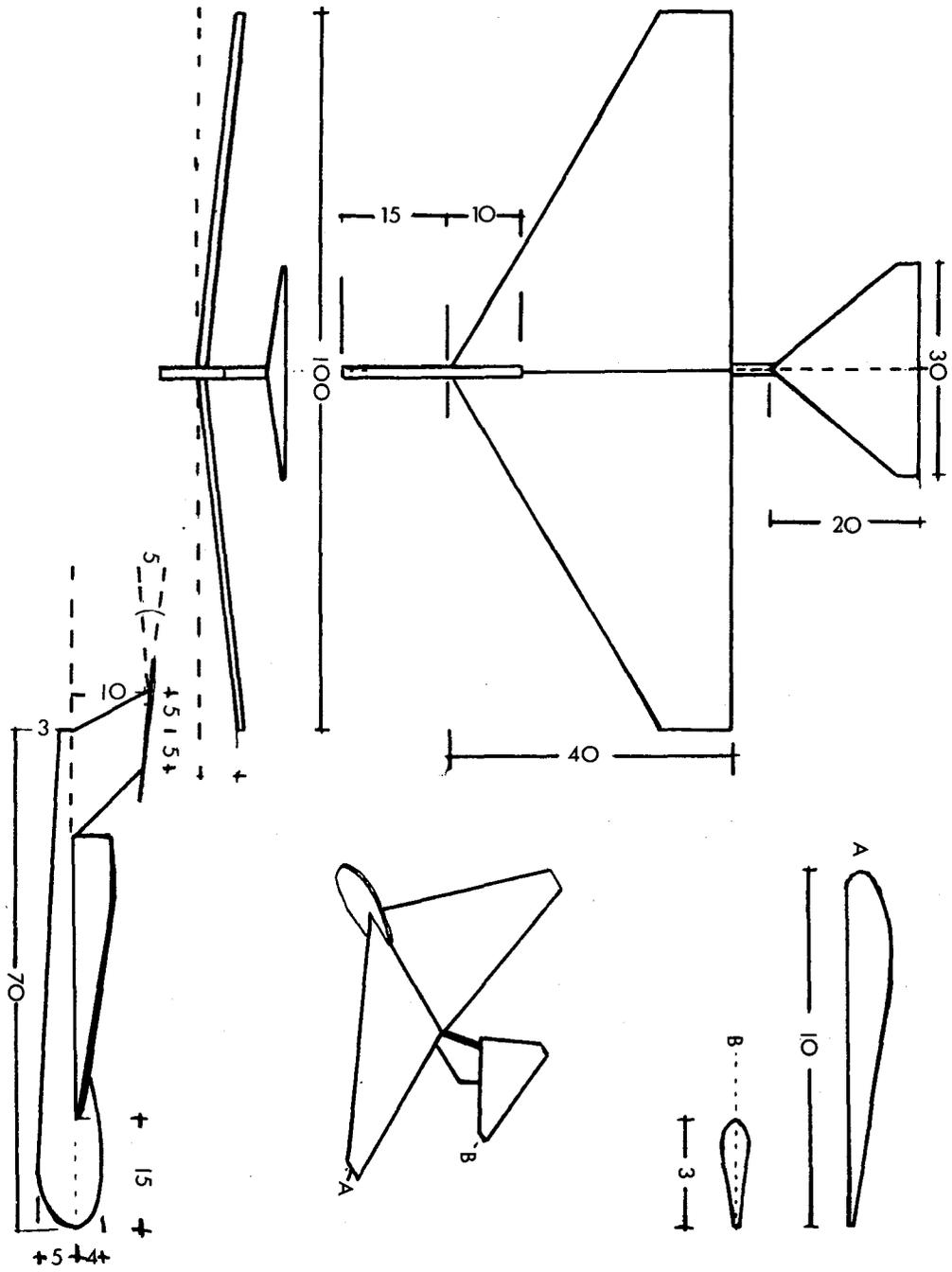
Beim Zusammenkleben der Teile muß darauf geachtet werden, daß der Styroporkleber ein Kontaktkleber ist, bei dem beide Seiten eingestrichen werden und ca. 10 Minuten trocknen müssen. Beim Zusammendrücken beider Teile sitzt dafür gleich alles ganz fest. Verschieben geht also nicht mehr!

Beachte, daß die Tragflächen einen Winkel bilden und das Leitwerk einen Anstellwinkel von ca. 5 Grad hat.

Damit der Segler nicht allzu bruchempfindlich ist, kann man den Rumpf beidseitig mit einem Streifen Balsaholz bekleben. Es geht allerdings auch mit steifem, nicht zu schwerem Karton.

Beim Einfliegen sollte es möglichst windstill sein. Einige Holzschrauben unterschiedlicher Größe sollten griffbereit sein, weil das Flugzeug vorn sicher zu leicht ist. Das sieht man daran, daß es beim Start sofort nach oben geht und dann mit "pumpenden" Bewegungen bald abstürzt.

Mit Hilfe einer in den Rumpf gedrehten Schraube (etwa 6 x 50 mm) probiert man durch Hinein- und Herausdrehen solange bis der Segler fliegt.



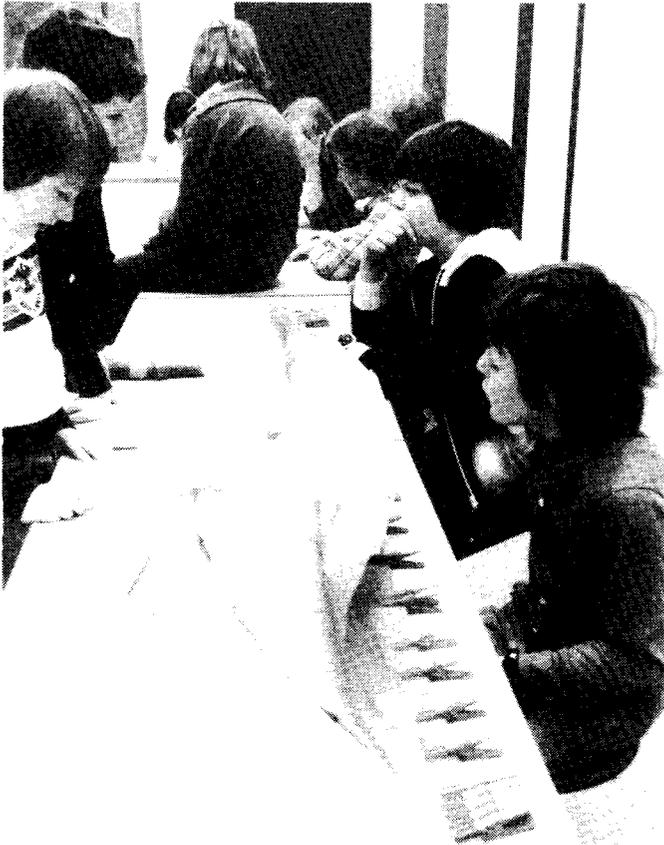
2. Bau von Heißluftballons

Der Bau eines Heißluftballons erwies sich für das selbständige Arbeiten als besonders günstig. Mit Hilfe einer Bauanleitung (vgl. MÜNZINGER 1976) konnten die Schülergruppen ihre Arbeitsschritte meist ohne Lehrerhilfe planen und durchführen.

Im ersten Arbeitsschritt wurden die Blumenseidenbögen aneinandergesetzt und in der Mitte der Länge nach gefaltet. An der Faltseite wurden die Bögen mit Wäscheklammern zusammengehalten und auf der anderen Seite der fischförmige Ballonumriß eingezeichnet und ausgeschnitten.



Nach dem Ausschneiden der Fischform wurden die Schnittkanten gezählt, nummeriert und nach der Anleitung geklebt.



Der Ballon wird um den Schlauch des Luftstromerzeugers zusammengehalten.

Wegen schlechter Wetterbedingungen fanden die ersten Ballonstarts in der Aula der Schule statt. Zu diesem Zeitpunkt heizten wir die Ballons noch nach einer sehr umständlichen Anleitung mit Campinggasbrennern statt mit Spiritus, das sich später besser bewährte. Das Vorgehen war bei fast allen Gruppen das gleiche: Ein großer Schüler auf einem Stuhl oder einer Bank hielt den Ballon oben fest, während andere unten die Hülle fest- und vom Ofenrohr fernhielten. Teilweise mußten auch die Bahnen an der Seite auseinandergehalten werden, damit der Ballon nicht immer in sich zusammenfiel.



Da nicht alle Ballons flugfähig waren, stellten die Schüler verschiedene Vermutungen an:

- "er ist zu schwer",
- "seine Hülle ist undicht",
- "es ist zu kalt, da kann die Luft in der Hülle nicht warm werden",
- "die Brenner geben zu wenig heiße Luft",
- "das Volumen des Ballons ist zu klein",
- "der Ballon wird nicht richtig prall".

Die Schüler überprüften nacheinander diese Hypothesen. Sie bliesen den Ballon mit einem Fön auf und entdeckten einige Undichtigkeiten, die sie mit Tesafilm überklebten. Als der Ballon dennoch nicht flog, wogen sie auf Anraten des Lehrers die Hülle und verglichen sie mit dem Gewicht der Hülle eines gut fliegenden Ballons. Dabei zeigte sich allerdings, daß ihre Hülle nur wenig schwerer war. Also konnte das nicht der Hauptgrund für die fehlende Flugfähigkeit sein. Erst jetzt bemerkte ein Schüler die unterschiedliche Form ihres Ballons im Unterschied zu den flugfähigen Modellen. "Unser Hals ist viel enger als bei den anderen Ballons, da geht viel weniger heiße Luft rein."

Daraufhin entschlossen sich die Schüler, die Hülle an einer Naht zu trennen und einige zusätzliche Bahnen einzubauen. Nachdem dadurch das Volumen des Ballons erheblich vergrößert war, flog der Ballon.

Eine Arbeitsgruppe fertigte in einer Projektwoche - einige Zeit später - aus 48 Bogen einen großen Heißluftballon an und startete ihn unter günstigeren Wetterbedingungen vor großem Publikum.





Die runde Form des Ballons erhält man dadurch, daß man auf die gefalteten Seitenbahnen keine Fischform, sondern eine Bogenform aufzeichnet.

Methodischer Hinweis

Wenn man einen solchen Heißluftballon bauen will, dann nimmt man 48 Blätter Seidenpapier und geht nach folgender Anleitung vor:

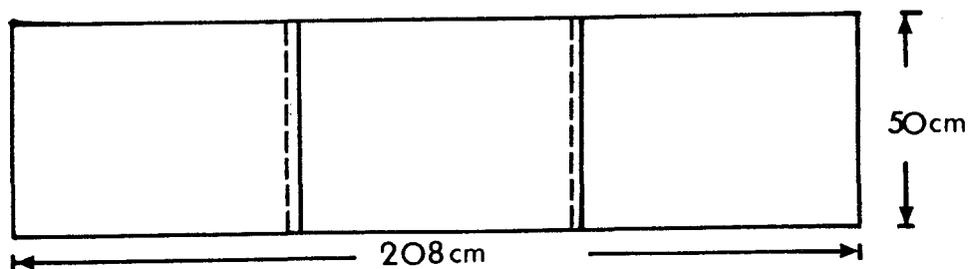
Das Seidenpapier (vielleicht in zwei Farben) wird in 12 Bahnen zu je 4 Bögen zusammengeklebt. Die einzelnen Bahnen werden der Länge nach in der Mitte zusammengefaltet. Die 12 gefalteten und geklebten Bahnen legt man auf einen Stapel und sichert sie an der Faltstelle mit Wäscheklammern gegen Verrutschen. Jetzt wird die Form des Ballons auf die oberste Bahn mit einem Filzstift gezeichnet. Dabei ist zu beachten, daß am unteren Ende, an der späteren Luftöffnung, ein Abstand von etwa 10 cm von der Faltkante eingehalten wird. Am oberen Ende läuft die Kontur spitz aus. Mit Bindfaden wird später die obere Spitze luftdicht verschlossen. Es ist darauf zu achten, daß die Kontur (etwa die eines halben Fisches) am dritten Bogen von unten seine dickste Stelle hat.

a) Bau- und Steiganleitung für einen Heißluftballon (Nach: MÖNZINGER 1976)

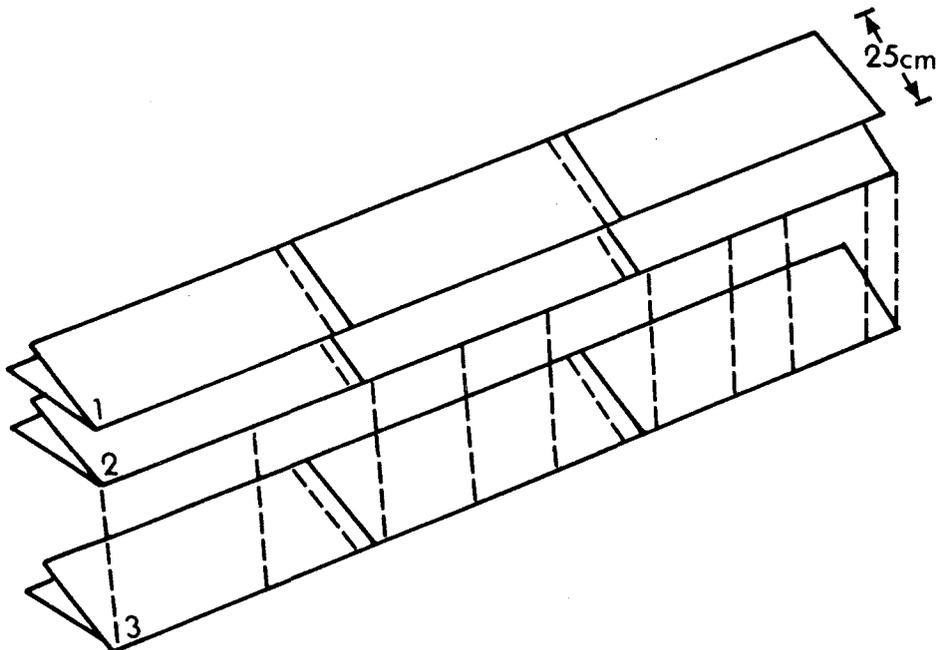
Baumaterial:

- Ungeleimtes Seidenpapier, (Blumenseidenpapier Nr. 1050)
(27 Blätter in der Größe von 50 mal 70 cm für einen ungefähr 2 Meter großen Ballon). Das Seidenpapier sollte verschiedenfarbig sein, damit es ein bunter Ballon wird.
- Nicht zu schnell abbindender, flüssiger Klebstoff.
(Pelikan Gummi-Kleber)
- Ca. 2 m langen und 1 mm dicken Aluminiumdraht.
(Ein etwas dünnerer Eisendraht tuts auch)
- Schere
- Ein Band, wie man es zum Verpacken von Weihnachtsgeschenken benutzt.
(Etwas Drachenschnur tuts auch)
- Ca. 16 starke Wäscheklammern
- Ein ca. 60 cm langes Ofenrohr, Asbestplatte, Watte, Brennspirit.

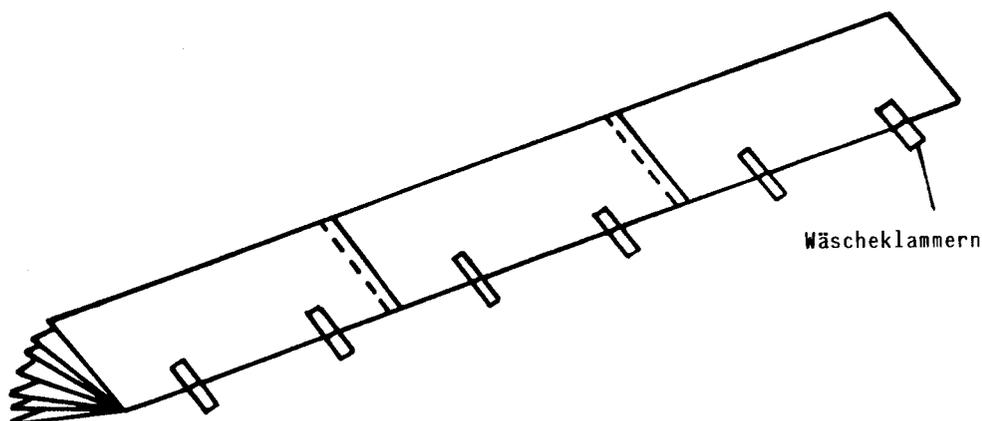
Jeweils 3 Seidenpapierbogen werden mit den kürzeren Seiten aneinander geklebt (etwa 1 cm überlappen lassen und keine ungeklebten Nahtstellen lassen).



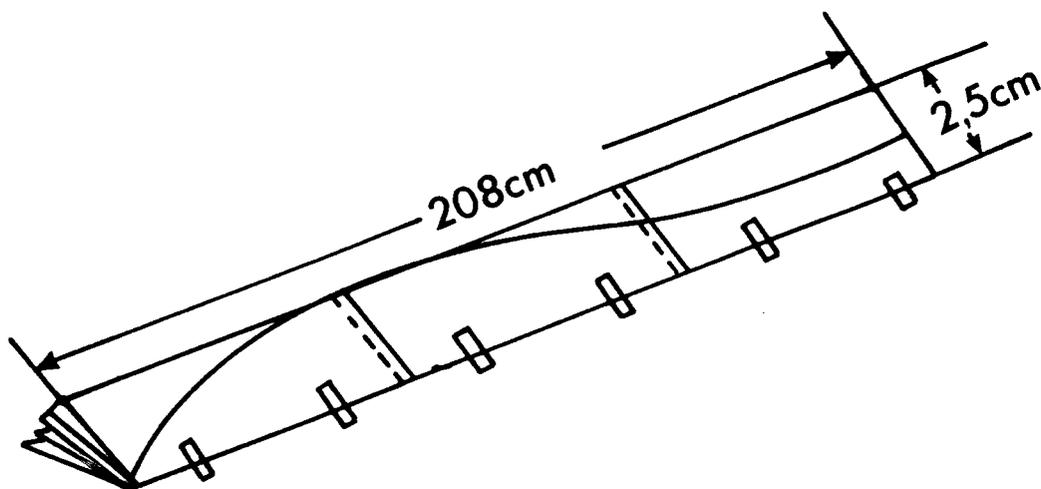
Man stellt insgesamt 9 Streifen aus je 3 Bogen her, faltet die Streifen der Länge nach und legt sie einzeln aufeinander. Nie ineinander!



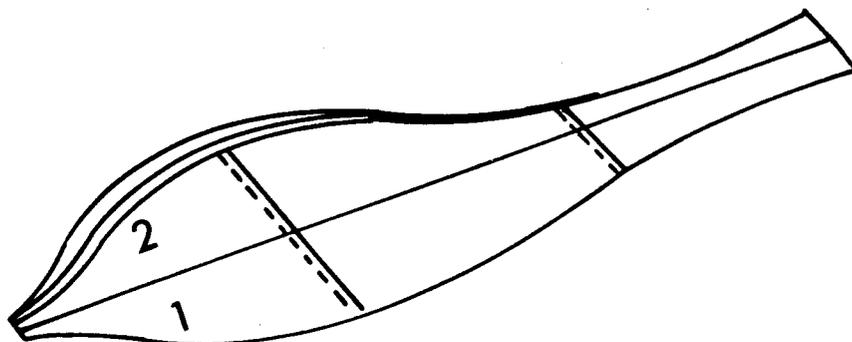
Den ganzen Stapel der 9 gefalteten Streifen hält man am besten im Knick mit Wäscheklammern zusammen.



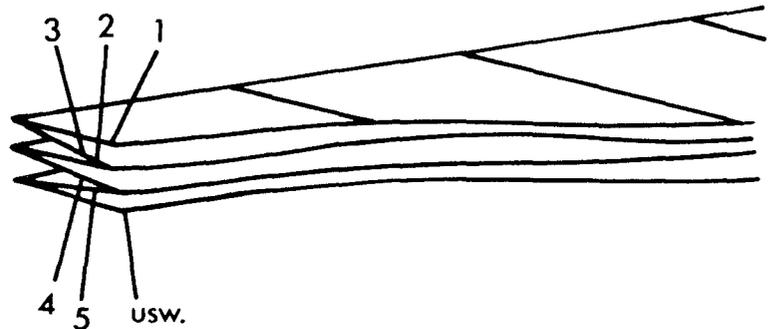
Jetzt wird der Umriß eines langen "halben Fisches" vorsichtig auf den obersten Bogen aufgemalt und alle Bogen werden auf einmal nach diesem Fisch ausgeschnitten.



Es dürfen keinesfalls Tüten geklebt, d.h. die Kanten einer Bahn zusammengeklebt werden, sondern: Man nummeriert fortlaufend von oben die Schnittkanten der Bögen. So bleibt vorerst die 1. Kante frei, die 2. Kante wird mit der 3. Kante (2. Bogen), die 4. Kante mit der 5. usw. verklebt. Am Schluß wird die letzte Kante mit Nr.1 verklebt; der Ballon ist jetzt geschlossen.

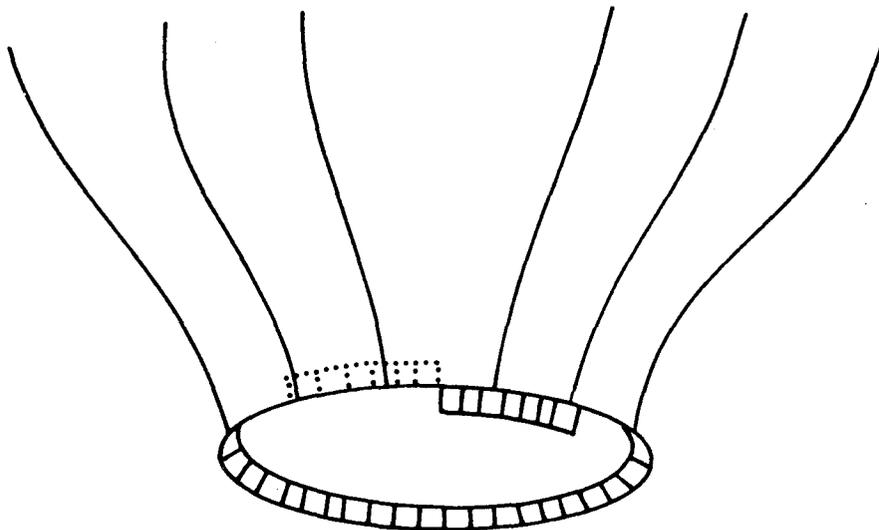


Beim Kleben muß man dafür sorgen, daß die Klebebahn durchgehend dicht ist, damit die warme Luft nicht entweichen kann!



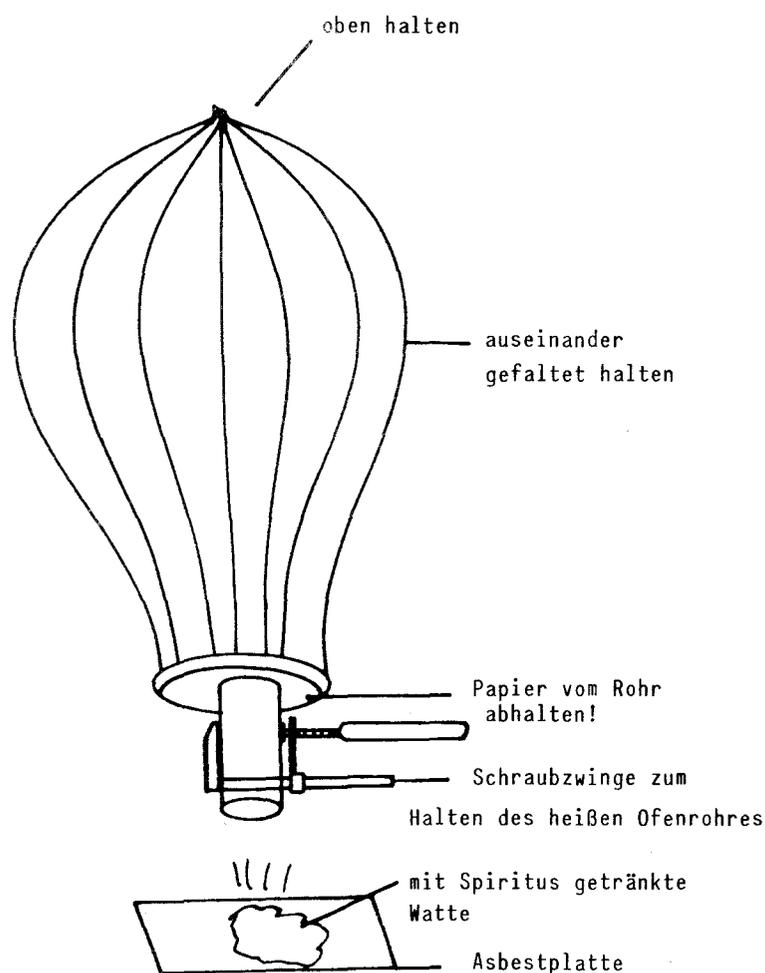
Zwei Personen entfalten den Ballon und untersuchen ihn auf ungeklebte Stellen oder Risse.

Oben wird der Ballon mit dünnen Band fest zugeschnürt. Unten - am Hals - macht man rundum kleine Einschnitte und klebt die kleinen Saumstreifen um einen zuvor hergestellten Drahring, der den Hals offen hält.



Zum Starten des Ballons legt man die ganze Hülle am besten auf einen trockenen Boden, so daß mehrere Personen die Hülle auseinanderfalten und sie noch heben können. Eine Person hält mit einer Zange das Ofenrohr in die Öffnung des Ballons.

Die warme Luft erzeugt man mit Watte und Brennspritus. Die Watte wird auf die Asbestplatte gelegt und gut (aber nicht zuviel) mit Spiritus getränkt und angezündet. (Vorsicht, bei Sonne ist die Flamme kaum zu sehen). Das Ofenrohr wird jetzt über die Flamme gehalten, so daß sich der Ballon blähen kann. Man benötigt Hilfe dazu, denn die Flamme und das heiße Ofenrohr dürfen keinesfalls das Seidenpapier erreichen, da dieses sofort abbrennen würde. Spürt man wie der Ballon *in den Fingern zieht*, kann man ihn steigen lassen.



Sicherheitshinweis beim Startvorgang:

Auf keinen Fall auf den abgebrannten Wattebausch Spiritus nachschütten, sondern – wenn erforderlich – einen neuen Wattebausch außerhalb des Gefahrenbereiches mit Spiritus tränken. Die Spiritusflasche darf nicht in die Nähe der Flamme kommen.

Die Flugsicherung schreibt vor, daß ein Flugkörper nicht schwerer sein darf als 500 Gramm und daß keine Massenstarts veranstaltet werden dürfen.

Soll der Ballon nicht wegfliegen, befestigt man ihn an einer Drachenschnur.

Für einen längeren Freiflug des Heißluftballons ist zu beachten, daß der Ballon nur nach starken Regen- oder Schneefällen gestartet werden darf, da sonst wegen des unkontrollierten Niedergehens des Ballons Brandgefahr besteht. Für solche Langflüge muß der Ballon eine Spiritusflamme mit sich führen. Hierzu befestigt man im unteren Draht ring eine Haltekonstruktion für einen spiritusgetränkten Wattebausch. Das kleine brennende Spiritusbündel sollte aber erst in das Drahtkreuz gebracht werden, wenn der Ballon schon genügend heiße Luft aufgenommen hat.

b) Erster bemannter Aufstieg eines Heißluftballons (1783)

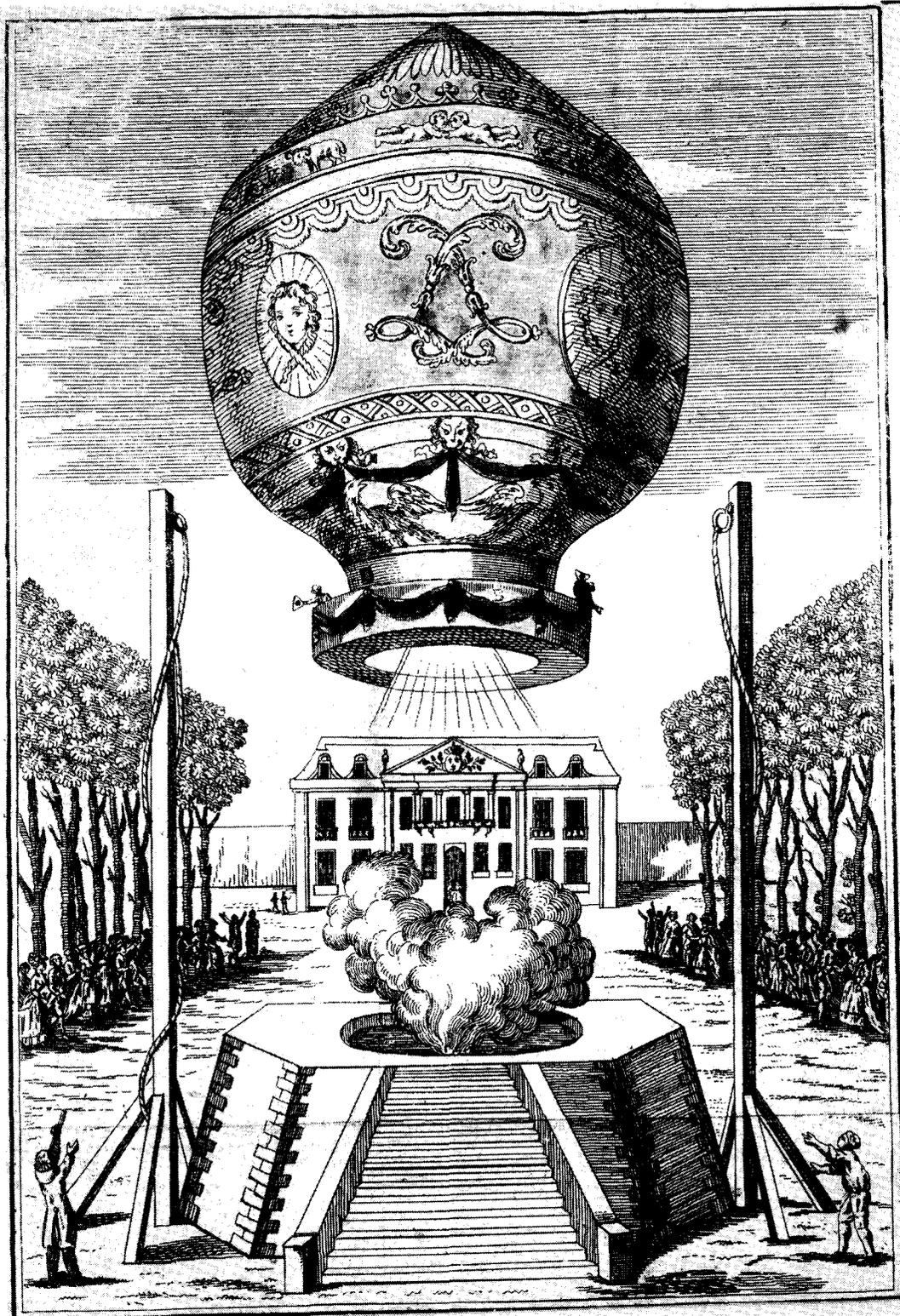


Photo Deutsches Museum München: Erster Aufstieg einer bemannten Montgolfiere am 21. November 1783 im Garten des Schlosses von La Muette bei Versailles. (Kupferstich nach dem Pariser Original.) Die ersten beiden Luftfahrer waren Pilatre de Rozier und der Marquis d'Arlandes.

1. Beschreibe das Bild und versuche, den Startvorgang zu erklären.
2. Vergleiche die "Montgolfiere" (so genannt nach ihren Erfindern, den Gebrüdern Montgolfier) mit Euren selbstgebaute Heißluftballons.

Die Gebrüder Montgolfier "hatten den Schriften Priestleys über die Luftfahrten entnommen, daß Luft sich ausdehnt, wenn man sie erhitzt, damit leichter wird und in die Höhe strömt. ... Die Montgolfiers wollten das zum Fliegen ausnutzen und fanden bei Priestley ziemlich zutreffende Maße darüber, wie stark sich Luft ausdehnt, die man erwärmt.

Danach klebten sie einen großen Sack aus Papier, wozu die väterliche Papierfabrik das Material lieferte, hingen ihn über ein Gestell und zündeten darunter Feuer an.

Beim ersten Versuch, den sie 1782 in Annonay unternahmen, blies die heiße Luft den Sack alsbald auf, und er entschwebte. Noch im gleichen Jahr konnten sie ihren Versuch vor dem Hof in Versailles wiederholen. Sie wurden bewundert, belohnt und in jeder Weise gefördert.

Nun vergrößerten und verbesserten sie ihren Ballon, steckten ihn in ein Netz aus Schnüren, so daß er Lasten heben konnte, und bauten um die untere Öffnung ein ringförmiges festes Gestell. Dem vertrauten sie am 17. September 1783 einen Hammel, eine Ente und einen Hahn an, denn man mußte erst einmal sehen, ob lebende Wesen eine Fahrt durch die Luft überstehen können. Als das erwiesen zu sein schien, bestieg als erster Mensch Pilatre de Rozier den Ring und flog damit so hoch, wie ein Strick reicht, womit man den Ballon vorsichtshalber am Boden festgebunden hatte.

De Rozier war für seinen Forschermut bereits berühmt. Er hatte bei seinen Experimenten mit Wasserstoffgas eine Explosion im Munde überdauert, die ihm beide Wangen zerrissen hatte. Am 21. Oktober (1783) dann wagte de Rozier zusammen mit dem Marquis d'Arlandes die ersten Fahrt im Freiballon. In 25 Minuten fuhren sie über Paris hinweg und landeten in La Butte au Cailler.

Der Marquis d'Arlandes hat uns von diesem ersten Menschenflug folgenden Bericht hinterlassen:

Wir fuhren aus dem Garten des Schlosses 'La Muette' um 1 Uhr 54 Minuten ab. Ich war erstaunt über die Stille und über die geringen Bewegung, die unsere Auffahrt unter den Zuschauern hervorgebracht hatte; ich war der Ansicht, daß das Erstaunen und der Schrecken über dieses neue Schauspiel die Leute erstarren ließen und daß sie eines Trostes bedurften. Deshalb grüßte ich mit dem Arm hinab, jedoch mit geringem Erfolg. Nachdem ich aber mein Taschentuch herausgezogen und damit lebhaft gewinkt hatte, bemerte ich eine sehr lebhaftere Aufregung im Garten von La Muette.... In diesem Augenblick war es, als Herr Pilatre zu mir sagte: "Sie tun ja gar nichts, und wir kommen nicht in die Höhe!" "Verzeihen Sie!" antwortete ich und warf ein Bund Stroh ins Feuer, schürte ein wenig darin und drehte mich dann schnell um. Aber La Muette konnte ich nicht wieder finden. Erstaunt warf ich einen Blick auf den Lauf des Flusses; ich folgte ihm mit den Augen, da erblickte ich den Zusammenfluß mit der Oise. Dort lag also Conflans....

In diesem Augenblick rief mir Herr Pilatre wieder zu: "Da liegt der Fluß, und wir gehen abwärts; rasch, lieber Freund, schüren Sie das Feuer!"

Ich schürte im Feuerherd und warf dann mit meiner Gabel ein Bund Stroh hinein. Es war wahrscheinlich zu dicht gedreht und ging daher schwer an. Deshalb hob ich es wieder heraus und schüttelte es mitten über der Flamme aus. Einen Augenblick danach fühlte ich mich emporgehoben, als wenn mich jemand an den Schultern emportrüge, und ich sagte zu meinem lieben Gefährten: "Aber jetzt steigen wir doch?" - "JA, wir steigen!" antwortete er, während er gerade aus dem Inneren des Rings hervorkam, wo er wahrscheinlich einige Beobachtungen angestellt hatte.

In diesem Augenblick hörte ich am oberen Teil der Maschine ein Geräusch, als wenn der Ballon geplatzt wär. Ich sah hinauf, konnte aber nichts Derartiges finden. Als ich so meine Augen fest nach oben gerichtet hatte, empfand ich einen Stoß; dieser blieb der einzige, den ich auf der ganzen Reise erfahren habe. Dabei ging die Richtung der Bewegung von oben nach unten. Ich fragte meinen Gefährten: "Sie tanzen wohl?" - "Nein", antwortete er, "ich rühre mich nicht von der Stelle." "Um so besser!" erwiderte ich. "Dann sind wir wohl in eine Luftströmung geraten, die uns hoffentlich über den Fluß führen wird." ... Ich hörte ein neues Geräusch in der Maschine. Ich bemerkte, daß die gegen Süden gekehrte Wand voll runder Löcher war, worunter sich einige von ziemlicher Größe befanden. Ich rief meinem Gefährten zu: "Wir müssen uns zur Erde herablassen!" - "Warum?" - "Sehen Sie nur selbst!" Bei diesen Worten ergriff ich auch einen der großen nassen Schwämme, die wir vorsorglich mitgenommen hatten, und löschte mit leichter Mühe das Feuer aus, das an den von mir erreichbaren Löchern fraß. Als ich mich nun auch überzeugen wollte, ob der untere Teil des Ballons noch fest an dem ihn umschließenden Ring hielt, und leicht daran zog, bemerkte ich, daß beide sich sehr leicht voneinander lösten. Darum wiederholte ich meinen Zuruf: "Wir müssen hinunter!" Pilatre blickte hinab und antwortete: "Wir schweben über Paris!" - "Gleichviel", erwiderte ich. "Sehen Sie nach, ob auf ihrer Seite keine Gefahr ist! Hält noch alles zusammen?" - "Ja!"

Ich selbst untersuchte meine ganze Seite und sah, daß nichts zu befürchten war. Ich tat noch mehr: ich schlug mit meinem Schwamm an alle mir erreichbaren Hauptteile, und alle erwiesen sich als fest. Nur zwei Stricke hatten sich abgelöst. Darauf rief ich meinem Freund zu: "Wir können über Paris hinausfahren."

Während dieser Vorgänge hatten wir uns sehr merklich den Dächern der Stadt genähert; wir schürten das Feuer und stiegen sogleich wieder mit großer Leichtigkeit empor. ...

Links von uns erblickte ich ein kleines Gehölz, daß ich für den Luxembourg-Garten hielt. Wir flogen quer über den Boulevard hin, und ich rief: "Jetzt aber hinab auf die Erde!" ...

Sobald wir den Boden berührten, erhob ich mich von der Galerie, indem ich mich mit beiden Händen auf die Geländer stützte. Ich fühlte, wie der Oberteil des Luftballons leicht auf meinen Kopf drückte, stieß ihn zurück und sprang über die Brustwehr auf den Boden. Als ich mich nach der Kugel umblickte, glaubte ich sie noch immer gefüllt zu finden, sah aber zu meinem Erstaunen, daß sie vollkommen flach in Falten dalag. Ich sehe nirgends Herrn Pilatre de Rozier und eile daher auf seine Seite, um ihm aus dem ihn überflutenden Meer von Leinwand herauszuhelfen. Aber bevor ich noch zu ihm gelangt war, sah ich ihn unter seinem Leinenberg in Hemdärmeln hervorkriechen. Denn er hatte, bevor wir niedergingen, den Oberrock ausgezogen und in den Korb gelegt.

Wir waren allein und beide nicht stark genug, um die Galerie umstürzen und das brennende Stroh hervorziehen zu können, damit es nicht die ganze Luftmaschine in Brand steckte. Wir meinten nun, daß es das beste sei, die Leinwandhülle entzweizureißen, um ein Brandunglück zu verhüten. Daher faßte Herr Pilatre an seiner Seite und ich an der anderen an, und wir fanden nach heftigem Zerren den Feuerherd. Sobald dieser jedoch von der über ihm lastenden Leinwandhülle befreit war und Zufuhr von frischer Luft erhielt, schlug auch das Stroh sogleich in hellen Flammen empor.

Nun kamen Leute herbei, die sich des Oberrocks von Herrn Pilatre bemächtigten und die Stücke unter sich teilten. Endlich erschien auch die Polizei, mit deren Hilfe unsere Maschine binnen zehn Minuten in Sicherheit gebracht wurden. Eine Stunde später traf sie bereits wieder in dem in der Stadt liegenden Garten des Herrn Reveillon ein, wo Herr Montgolfier sie erbaut hatte!"

(CHRISTMANN 1976, S. 100f)

Fragen:

1. Versuche mit einem Atlas (Karten von Paris) die Flugstrecke von Marquis d'Arlandes und Pilatre de Rozier zu finden.
2. Was passiert, wenn Stroh ins Feuer nachgeworfen wird?
3. Worin bestand die besondere Gefahr beim Flug von Montgolfier?
4. Welche Vorversuche waren nötig, bevor die ersten Menschen mit dem Ballon fliegen konnten.?

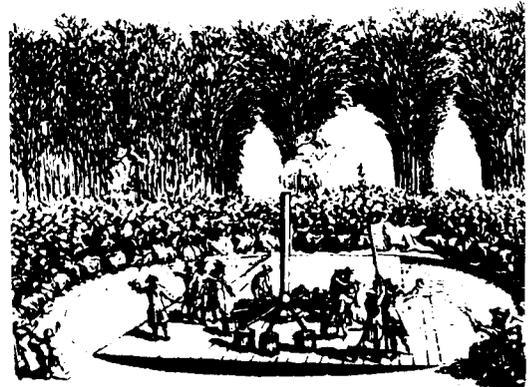
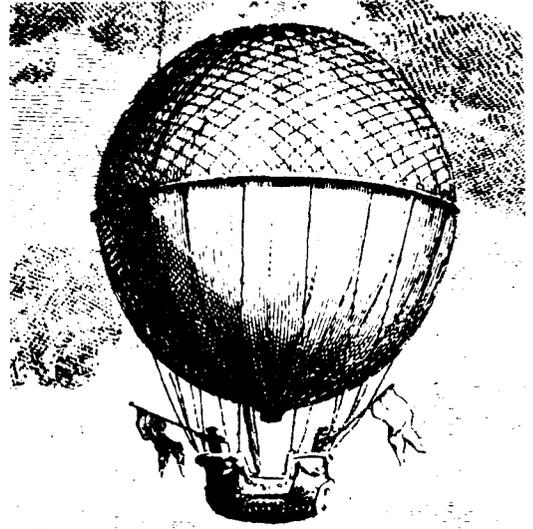
c) Montgolfiere und Charliere - zwei konkurrierende Ballonarten

Aufstieg einer "Charliere" (Wasserstoffballon)
am 1.12.1783 in Paris. Deutlich ist die Füll-
anlage zu erkennen (CHRISTMANN 1976, S. 102)

"Am 1. Dezember 1783 stieg der erste bemannte Gasballon mit seinen Erfindern Jaques Charles und dem älteren der Brüder Robert, Nicolas, zu einem Flug von 22 Meilen auf. Eine riesige Zuschauermenge erlebte den Start in der Tuileries, schweigend, zwischen Angst, Ungläubigkeit und Überraschung schwankend. Als Orientierungshilfe wurde ein Pilotballon vorausgeschickt, ein kleiner Ball, der Richtung und Geschwindigkeit des Windes anzeigen sollte. Charles übergab ihn in nobler Geste Joseph Montgolfier, der im Kreis der Mitglieder der Akademie dem Start beiwohnte, mit den Worten: Ihnen, mein Herr, gebührt es, uns den Weg in den Himmel zu öffnen. Nach der glücklichen Landung der Charliere in Nesle, im Norden von Paris, setzte Charles noch einmal allein den Flug für kurze Zeit fort und erreichte eine Höhe von 3300 Metern.

Zwei Möglichkeiten des Leichter-als-Luft-Prinzips hatten sich für die Ballonfahrt als erfolgreich erwiesen: die Anwendung von Heißluft und die Füllung mit Gas (Wasserstoff). Es standen sich die Erfindungen der Brüder Montgolfier und die Charliere gegenüber. Schon in ihrer äußeren Gestalt unterschieden sie sich in charakteristischer Weise: die reich geschmückten farbenreichen Ballonhüllen im Geschmack des späteren Rokoko der Brüder Montgolfier erscheinen wie Symbole eines ausgehenden Zeitalters. Der Ballon der Charliere dagegen, nur sphärisch-geometrisch gegliedert, weist in seiner Nüchternheit in die Zukunft, in der zweckentsprechende Rationalität die Herstellung und Ausgestaltung von Maschinen im Dienst des Menschen bestimmen wird. Nur bei der Gestaltung der Gondel - aus größerer Entfernung jedoch kaum im Detail zu erkennen - ahmt man auch hier Kutschen- und Schiffsformen des Rokoko nach.

Die Vorteile des Gasballons hatten sich am 1. Dezember 1783 auf dem langen Flug herausgestellt. Die Montgolfieren waren bei tüchtiger Feuerung in wenigen Minuten aufgeblasen und startklar. Sie mußte jedoch ständig aufgeheizt werden, um nicht bei kurzer Abkühlung rasch Runzeln zu bekommen und zusammenzufallen. Sie mußte also auch während des Fluges bedient werden. Wasserstoffgas bleibt jedoch erhalten, wenn man in der Lage ist, eine dichte Haut zu schaffen.



Charles war dies mit Firnissen und Kautschuklösungen gelungen. Da man jedoch noch keine Erfahrungen in der Herstellung von Wasserstoff besaß, war die Füllung des Gasballons langwierig und kostspielig. Drei Tage arbeitete man bei der ersten Charliere daran und verbrauchte zur Gaserzeugung 1000 Pfund Eisen- späne und 195 Pfund Vitriolöl (Vitriolöl ist eine alte Bezeichnung für Schwefel- säure, d. Verf.). Während des Fluges erforderte ein solcher Ballon kein Nach- füllen, erlaubte dagegen bei entsprechenden Vorrichtungen durch Volumenminde- rung Regulierungen bei veränderten Luftdruckverhältnissen und zum Höhenverlust. Charles hatte diese Vorrichtungen für seinen Ballon entwickelt. Am Nordpol der Kugel war ein Ventil eingebaut, das mit Hilfe einer durch den Ballon geführten Leine von der Gondel aus geöffnet werden konnte. Aus dem Südpol ragte ein Schlauch, durch den auch das Füllen erfolgte und in den eine Klappe eingebaut war, die dem beim Steigen des Ballons durch Abnahme des äußeren Luftdrucks entstehenden Überdruck des Gases einen Ausweg verschaffte, so daß der Ballon nicht platzen konnte. Sollte Höhe verloren oder zur Landung abgestiegen werden, konnte man durch Bedienung der Ventilleine das leichtere Gas nach oben aus- strömen lassen. Dadurch wurde die Tragkraft vermindert und der Ballon begann zu sinken.

Weitere Neuerungen, die die Manövrierbarkeit der Charliere erhöhte, waren die von Charles eingeführten, mit Sand gefüllten Säcke am Boden des Gondelschiffes, der Ballast. Durch dosierten Abwurf läßt sich die Sinkgeschwindigkeit regulie- ren. Außerdem führte Charles einen Anker mit, mit dessen Hilfe bei zu starkem Wind des Gefährt am Boden gehalten werden konnte. Barometer- und Thermometer- messungen in der Gondel erlaubten es Charles, die Höhe festzustellen, während dies bislang von der Erde aus geschehen mußte." (ECKERT 1978, S. 25 ff)

Fragen:

1. *Suche die Textstellen auf, wo Montgolfier eine Rolle spielt und überlege, warum und wie Charles ihn ehrt.*
2. *Vergleiche die Flüge der Charliere nach Flugdauer und Leistung mit der Montgolfiere und beurteile die Brauchbarkeit beider Prinzipien.*
3. *Versuche durch Experimente oder Nachforschungen in Fachbüchern heraus- zufinden, wie sich die Auftriebskraft von warmer Luft und von Wasserstoff messen und unterscheiden läßt. Welches Prinzip ist günstiger?*

3. BAU EINER RAKETE – ODER "GEZÜNDELT HÄTTEN SIE DOCH!"

Für Martin Wagenschein ist die Rakete ein besonders günstiges

"Beispiel dafür, wie heute die Technik in der Schule auf den Weg zur Physik führen kann. ... Sie kann des allseitigen Interesses der Kinder gewiß sein. Sie wirkt auf den ersten Blick undurchschaubar. Aber im Prinzip ist sie einfach gebaut, also sehr geeignet, das physikalisch Prinzipielle, NEWTONS Grundsatz $actio = reactio$ auszugraben. Die Kinder werden von Raketen gehört und gelesen haben. Vielleicht haben sie einen Start im Film gesehen mit der hinten hinausdonnernden Wolke. Die Frage ist: Was geht hier vor? Stößt sie sich von dem Erdboden ab? Und später? Wie kann sie im angeblich leeren Weltraum weiterfliegen?" (WAGENSCHIN 1962, S. 260)

Der Lehrer versucht nun, diese Fragen nicht theoretisch zu beantworten, sondern mit einem die Kinder ebenfalls interessierenden anschaulichen Phänomen zu konfrontieren:

"... und von dem die Kinder aber zunächst nichts ahnen werden, daß es Dasselbe ist: eine Vorrichtung, um in der Fastnachtzeit Donnerschläge zu erzeugen. Ich sah es auf einem Dorfe. Eine Büchse mit Deckel zum Eindrücken hat seitlich ein Loch. Durch dieses Loch wird mit einem Zündholz innen entwickeltes Carbid-Gas entzündet. Der Deckel fliegt mit Getöse heraus. Das für die Rakete Interessante ist eine Nebensache: Der Knabe, der diesen Schlag auslöst, setzt den Fuß auf die (waagrecht auf dem Boden liegende) Büchse. Wenn er es nicht tut, dann fliegt nämlich auch die Büchse fort: nur nicht so weit.

Der Deckel entspricht den ausgeschleuderten Gasen, die Büchse dem Raketenkörper. Wenn der Lehrer das behauptet, wird er Kopfschütteln hervorrufen: Das Gas, der Druck, die Explosion, die Kraft wirft bei der Rakete also Büchse und Gas auseinander? Ist denn Gas etwas? Etwas woran man sich abstoßen kann?

Hier können hübsche Spielereien helfen, z.B. eine Dampf rakete: Das Wasser kocht in einer Büchse oder auch einem leeren Ei, das hinten ein Loch hat. Das Ganze sitzt, mit Kerze, auf einem Holzschiffchen. ...

Nun werden die Kinder vielleicht meinen, der Dampf stoße sich an der Luft ab, wie an einer Wand. Dann könnte die Rakete im leeren Weltraum nicht gehen?

Es wird gut sein, dann eine Wasserrakete zu bauen, die hinten Wasser auslaufen läßt. Hierbei wird die Luft schon als weniger notwendig verstanden. Wasser ist schon mehr Körper. Noch deutlicher wird es, wenn man den Rückstoß beim Schießen anführt und sich eine Rakete vorstellt, die dadurch angetrieben wird, daß sie nach hinten ein Maschinengewehr abfeuert, und man sich fragt, ob dabei die atmosphärische Luft nötig ist. So wird stufenweise deutlich, daß alles, was Trägheit (Masse) hat, geeignet ist, sich von ihm abzustoßen, indem man es von sich wirft. ...

Die Frage wird rasch nach vielen Seiten ausstrahlen. Zwei Kinder auf Rollschuhen (ein schweres und ein leichtes), die sich voneinander wegdrücken oder mit einem Seil aneinander heranziehen. ..." (WAGENSCHIN a.a.O., S. 260f)

Unsere Versuchsplanung war der Wagenschein'schen Vorgehensweise sehr ähnlich: Fernsehaufzeichnungen und Dias über große Raketen, freies und gelenktes Experimentieren mit Luftballons, leicht bewegliche Schienenwagen von denen mit Federkraft verschiedene Massen fortgestoßen werden, der Luft-Wasser-Rakete, ein Knallgas- und ein Dampftraketenauto, ein Rollschuhläufer, der kleine und große Medizinbälle aus der Hocke stößt, waren das Angebot (vgl. LINCKENS 1974, HEINEL 1965).

Daß mit Luft und Wasser eine Rakete betrieben werden kann, die beachtliche Höhen (bis zu 30 m) erreicht, ist für alle Schüler, selbst noch für Schüler eines 10. Jahrgangs überraschend.

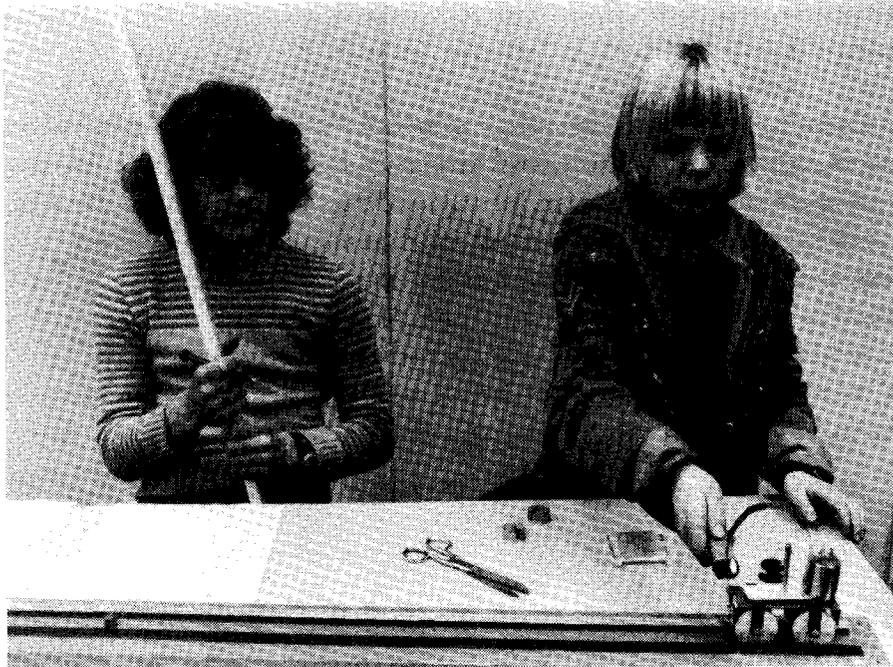


Hier wird die Rakete mit abgemessenen Wassermengen gefüllt.



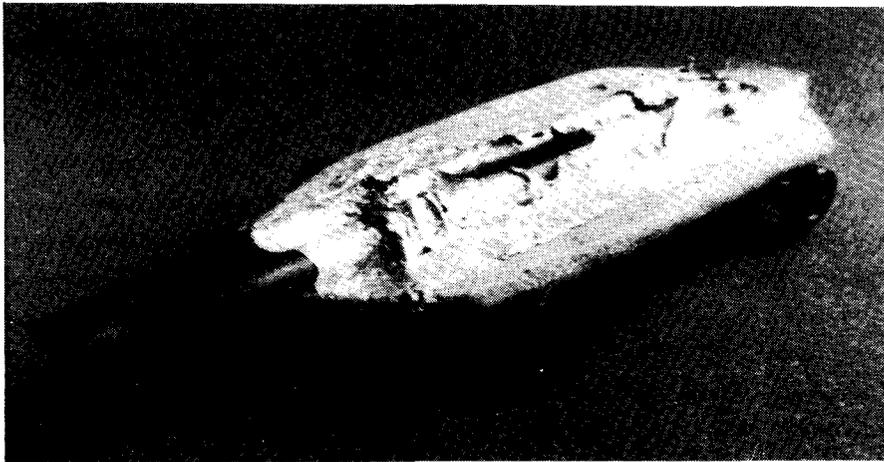
Die mit Wasser gefüllte und gestartete Rakete zieht einen Wasserschleier hinter sich her.

Zunächst ließen wir (nach gewissen Sicherheitshinweisen) die Schüler selbständig Versuche mit einer Luft-Wasser-Rakete durchführen. Zwar machte das Spielen und Experimentieren den Schülern Spaß, aber sie stellten nicht von selbst die Wagenschein'schen Fragen nach der Ursache der ermittelten Ergebnisse. Daraufhin bereiteten wir für die Schüler eine Reihe von Versuchen mit leichtgängigen Wagen vor, von denen mit unterschiedlicher Kraft unterschiedliche Massen weggestoßen werden; dabei sollte jeweils der Rückstoß des Wagens als Entfernung gemessen werden. Nach kurzer Zeit wandten einige Jungen gegen solche Versuche ein, daß sie sich unter Raketen und Raketenautos etwas anderes vorgestellt hätten, und rückten schließlich damit heraus, daß sie schon länger mit "richtigen Raketenautos" experimentierten. Daraufhin vereinbarten wir, daß sie ihre "Wagen" mitbringen sollten.



Bei diesem Versuch wurde deutlich, daß der Rückstoß des Wagens (als Entfernung gemessen), von der Federkraft und der Masse der weggeschleuderten Gewichtsstücke abhängt. Beim Start des Schienenwagens wird mit einem Feuerzeug der Faden, der die Feder zusammenbindet, durchgebrannt.

Der von den Schülern gebaute und schon länger in heimlichen Versuchen betriebene Wagen bestand aus einem einfachen Holzbrett mit Rädern als Fahrgestell und zwei darauf genagelten am Ende zugehämmerten Kupferrohren als "Rakete". Die Düsen bestanden in einer ebenfalls durch Hämmern erzielte Verengung der offenen Enden der Rohre.



Dieser mitgebrachte Wagen wurde mit einer explosiven Mischung aus Unkraut-Ex (75% NaClO) und Zucker betrieben, ein "Geheimrezept", das seit Schülergenerationen unter den Jugendlichen bekannt ist.

Daß die Schüler ihre "Fahrzeuge" in die Schule mitbrachten, lag zum einen daran, den anderen Schülern den Wagen einmal vorzuführen, zum anderen aber auch an dem Umstand, daß sie vom Lehrer Hilfe erwarteten, ihre meist nicht richtig funktionierenden Raketenautos, die zum Teil nur explodiert waren, fahrtüchtig zu machen.

Unter der Einhaltung von Sicherheitsbestimmungen wurde nur der Raketenwagen ausprobiert. Dabei zeigte sich, daß die Schüler keine Möglichkeit entwickelt hatten, den Raketenwagen gefahrenlos zu zünden. Als ihre Züandschnüre immer wieder versagten, wollten sie direkt am Rohrende mit ihrem Feuerzeug den Treibsatz in Brand setzen, was wir jedoch unterbanden.



Bei dem Start von selbstgebauten Raketenautos muß ein besonders großer Sicherheitsabstand eingehalten werden. Die Schutzscheiben im Vordergrund dienen der besseren und sicheren Zündung durch Windabschirmung.

Nachdem mit neuen, selbst hergestellten Züandschnüren schließlich eine sichere Zündung gelang, zeigte sich, daß der Wagen zwar zischende Flammen spuckte, aber nur ruckartige, zentimeterweite Bewegungen ausführte. Die Schüler waren dennoch von dem Schauspiel begeistert und von den geringen Fahrleistungen in keiner Weise enttäuscht.

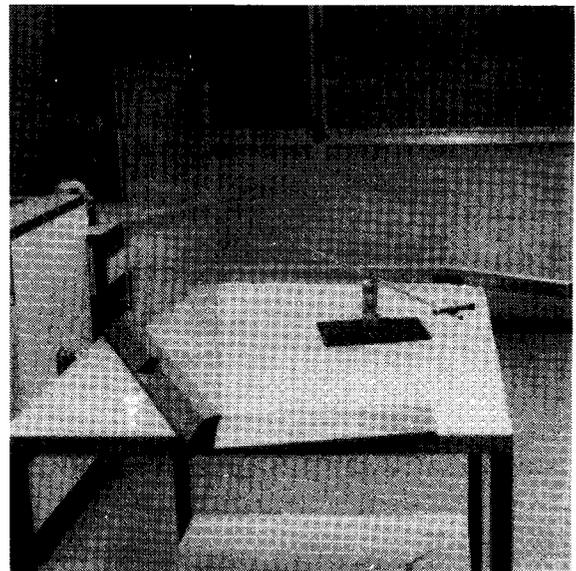
Zur Frage, warum das Raketenauto nicht richtig fuhr, äußerten die Schüler verschiedene Hypothesen, die von der Unbrauchbarkeit des Pulvers über die Größe der Düsenöffnungen ("Wir müssen die Rohre noch viel enger zukneifen") bis zur Überlegung reichten, daß der Wagen "zu schwergängig" sei.

Im folgenden interessierte die Schüler nur die Frage: Wie klappt es beim nächsten Startversuch? Die Räder wurden leichtgängiger gemacht und die Rohre weiter zugehämmert. Gespannt wartete alles auf den neuen Start. Diesmal sprang der Wagen hoch und explodierte. Das Ziel der Arbeitsgruppe bestand jedoch nach wie vor darin, einen "richtigen" Raketenwagen zu konstruieren.

Es war uns wie den Schülern zwar klar, daß wir irgendwie auf dem Holzweg waren und die Versuche mit allen möglichen Metallrohren als Raketenhülle nicht fortsetzen konnten. Die sichere Luft-Wasser-Rakete war in den Augen der Schüler (und inzwischen auch in unseren) kein Ersatz. Ein feuerspeiendes "richtiges" Raketenauto, "richtige" Pulverraketen mußten es sein. Wir erarbeiteten daher zuerst mit den Schülern in verschiedenen Experimenten die Gefährlichkeit der Verwendung von Kupferrohren als Raketenhülle, indem wir nachwiesen, daß durch die hohe Wärmeleitfähigkeit des Kupfers der Treibsatz nicht gleichmäßig abbrannte, sondern überall explodieren kann und entwickelten verschiedene sichere Zündschnüre.

Schließlich bauten wir aus Papier und Tapetenkleister brauchbare und ungefährliche Raketenhüllen, bei denen wir richtige Düsen formen konnten.

Unsere selbstgebauten kleinen Papierraketen testeten wir, indem wir sie hinter Sicherheitsscheiben im Rauchabzug an einem leicht drehbaren Stab befestigten und anzündeten. Die Zahl der Umdrehungen des Stabes dienten uns als Beurteilungsmaßstab für den entwickelten Schub, bzw. für die Brauchbarkeit der Düsenform und des Treibsatzes. Auf diese Weise lernten die Schüler und wir, wie man explosions sichere, schubstärkere Pulverraketen herstellen und gefahrlos zünden kann.

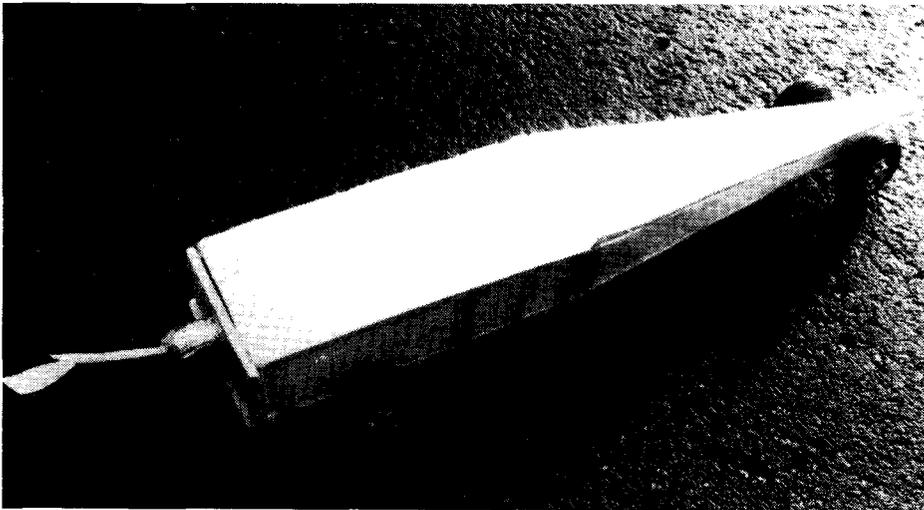


Im weiteren Verlauf merkten wir, daß Versuche, den Schülern das actio = reactio-Prinzip nahe zu bringen, weniger gut ankam, als der konkrete Bau und Start des "richtigen" Raketenautos. Die Schüler erwarteten offensichtlich keine physikalischen Erklärungen des Raketenprinzips, d.h. des Rückstoßes und seiner Faktoren (Ausstoßmasse pro Zeiteinheit, Strahlgeschwindigkeit, Massenverhältnis etc.), sondern eine Bestätigung ihrer "Pionierarbeit" und den Bau von besser funktionierenden Raketenautos. Zwar machten sie auch alle von uns vorgeschlagenen Experimente zum Rückstoß (vgl. Versuchsanleitung zu E) freiwillig mit und erkannten relativ selbständig, daß der Rückstoß von der Kraft und der Größe der weggeschleuderten Masse abhängt. Diese Erkenntnisse hielten sie jedoch für weniger wichtig.

Nachdem auf der Kreisbahn auch die Effektivität verschiedener Pulvermischungen ausprobiert wurde, füllten die Schüler einen selbstgebauten Raketenwagen vorsichtig mit der besten Mischung.



Der krönende Abschluß: Ein Raketenwagen aus Balsaholz mit einer Papierrakete ist startklar.



Im Unterschied zum Wagenschein'schen Vorgehen begaben sich unsere Schüler nicht auf den Weg zur Physik, sondern auf den Weg der Behebung von Fehlern bis sie das hatten, wonach sie suchten: Ein funktionierendes Raketenauto. Nicht primär die physikalischen Ursachen interessierten die Schüler am Raketenauto, sondern ihr Funktionieren.

IV. Beispiele für eine fächerübergreifende Behandlung des Themas Fliegen

A. Fliegen als Mythos: Versuchung und Verwirklichung

Bei der fächerübergreifenden Behandlung des Themas Fliegen ist es unserer Erfahrung nach recht reizvoll, von der Bedeutung des Fliegens als einer der Ursehnsüchte der Menschen auszugehen.

Wir wählten folgende Texte aus:

"Mit Daidalos fing es einmal traumhaft an. Vor ihm vermochten allein Götterboten den Luftraum fliegend zu überwinden. Ovid erzählt, wie der kundige Athener als Gefangener des Königs Minos von Kreta sich ein Flugzeug konstruierte, um dem Labyrinth zu entfliehen. Er fertigte große Flügel aus Vogelfedern, die er mit Fäden und Wachs verband. Eigene Muskelkraft trug ihn mit Ikarus, seinem Sohn von einer Sklavin, empor. Ikarus, so erzählt die Sage, stürzte ins Meer, weil er der Sonne zu nahe gekommen war. So strafte die Götter menschliche Hybris. Sonderbar genug, daß man von Ikarus, dem gescheiterten Piloten, durch die Jahrtausende häufiger spricht als von Daidalos, dem Könner, der die Ägäis fliegend bezwang." (FLIEGEN - EIN TRAUM. ... 1977).

Obwohl von etlichen Schülern dieser Text nicht ernst genommen wurde ("Völliger Blödsinn, mit Flügeln zu fliegen", "mit Wachs und Federn kann das gar nicht gehen", "so hoch bis zur Sonne kommt er nicht, daß das Schmelzen kann", "das wird doch kälter da oben"), lasen wir anschließend die Sage von Daidalos und Ikarus:

Daidalos und Ikarus

"Niemand konnte sich wohl mit dem kunstreichen Daidalos messen, der als der größte Baumeister und Bildhauer seiner Zeit galt. Aber Eitelkeit und Neid führten ihn auf den Weg des Verbrechens. Er hatte einen jungen Schüler, der ihn zu überflügeln drohte. Da trieb die Eifersucht den Lehrmeister dazu, den Knaben zu töten.

Daidalos mußte nun heimlich aus seiner Vaterstadt Athen flüchten. Unstet irrte er im Lande umher, bis er schließlich mit seinem Sohn Ikarus auf Kreta eine neue Heimat fand. Minos der König der Insel, wußte die künstlerischen Fähigkeiten seines Gastes zu schätzen und stellte ihm die Aufgabe, für den Minotauros, das gräßliche Ungeheuer, das halb Mensch, halb Stier war, eine Unterkunft zu schaffen.

Daidalos war es, der damals das kunstreiche Labyrinth, den Irrgarten mit der verwirrenden Vielzahl von Gängen und Kammern, errichtete.

Aber trotz aller Ehren, mit denen Minos die Arbeit des Künstlers zu lohnen wußte, quälte Daidalos der Gedanke an das verlorene Vaterland. Bitteres Heimweh überfiel ihn, und als Minos, der den kunstfertigen Mann nicht gehen lassen wollte, von seiner Sehnsucht vernahm, wurde die Freistadt für Daidalos zum Gefängnis. Wo er ging und stand, umgaben ihn auf des Königs Geheiß

mißtrauische Wachen. Unmöglich war es, zu Schiff die Insel zu verlassen.

Der kunstreiche Daidalos aber wußte einen Ausweg, der ihm Rettung verhiess. Mag Minos mir Land und Wasser versperren, rief er aus, mir bleibt die freie Himmelsluft! Dort werde ich unseren Weg finden! Mag Minos überall seine Macht ausüben, in der Luft versagt seine Herrschergewalt!

Daidalos' Erfindergeist bezwang die Kräfte der Natur: Er nahm Vogelfedern und legte sie der Größe nach in eine genaue Reihenfolge, daß man glauben mochte, sie seien in solcher Ordnung gewachsen. Er verband die Federn in der Mitte mit Fäden und fügte sie an den Kielen mit Wachs zusammen. Nun bog er sie leicht zurück, daß sie ganz die Form von Flügeln annahmen.

Voll Eifer hielt Ikarus sich an des Vaters Seite und beobachtete, wie das Werk unter den kunstfertigen Händen wuchs. Bald war die letzte Hand an das Wunderwerk gelegt. Daidalos band sich selbst die Flügel an, fand schnell das richtige Gleichgewicht und hob sich leicht in die Lüfte. Zur Erde zurückgekehrt, schnürte er dem Sohn das Flügelpaar, das er für ihn angefertigt hatte, an die Schultern. Dann mahnte er ihn mit väterlicher Sorge: Ikarus halte dich immer in der Mitte, ich bitte dich! Denn wenn du zu tief fliegst, so werden die Wellen dir die Flügel beschweren und dich hinabziehen! Steigst du aber zu hoch empor, dann kommst du der Sonne zu nahe, deine Federn fangen Feuer, und das Wachs schmilzt in der Hitze. Zwischen den Wellen und der Sonne halte deinen Flug, folge stets nur meiner Führung!

Tränen rannen dem Greis die Wangen hinab, als er noch einmal sein Werk überprüfte. Innig umarmte er den Jungen, und dann erhoben sich beide in die Luft. Der Vater flog davon, das Herz voll Sorge, so wie eine Vogelmutter, die ihre zarte Brut aus dem Nest zum ersten Male in die freie Luft führte. Folge mir getrost, rief er zurück, und dabei bewegte er selber voll Sorgfalt die Schwingen, um den Sohn die schwere Kunst zu lehren. Doch der Vater durfte sich schnell beruhigen, als er sah, wie sicher der Knabe seinen Weisungen folgte.

In schnellem Fluge überquerten sie das blitzende Meer; schon lagen die ersten Inseln des heimatlichen Griechenlands hinter ihnen, als dem jungen Ikarus der Übermut trieb, des Vaters Gebot zu mißachten. Der glückliche Verlauf seines ersten Fluges ließ ihn so sehr auf seine eigene Kraft vertrauen, daß er des Vaters Spur verließ und sich auf seinen Flügel in höhere Regionen erhob. Voll Angst wollte Daidalos seinen Sohn zurückrufen, aber es war schon zu spät.

Kaum war der Knabe der Sonne nähergekommen, da erweichte unter der Gewalt ihrer Strahlen das Wachs, das die Fittiche zusammenhielt, und ehe Ikarus es recht gewahr wurde, waren die Federn aus ihrem Gefüge gelöst und flatterten durch die Lüfte davon. Nur noch einen Augenblick konnte der Junge sich in der Luft halten, dann griffen seine bloßen Arme ins Leere - sie fanden keine Stütze mehr, und haltlos stürzte Ikarus in die gähnende Tiefe.

So schnell war das Unglück gekommen, daß er nicht einmal mehr Zeit fand, einen Schrei auszustoßen. Als Daidalos wieder die Blicke zurückwandte, konnte er zu seinem Entsetzen nichts mehr von seinem Sohn erblicken. Die Flut hatte ihn schon verschlungen.

'Ikarus, Ikarus!', schrie der unglückliche Vater in seiner Verzweiflung, 'wo nur, wo soll ich dich suchen?'

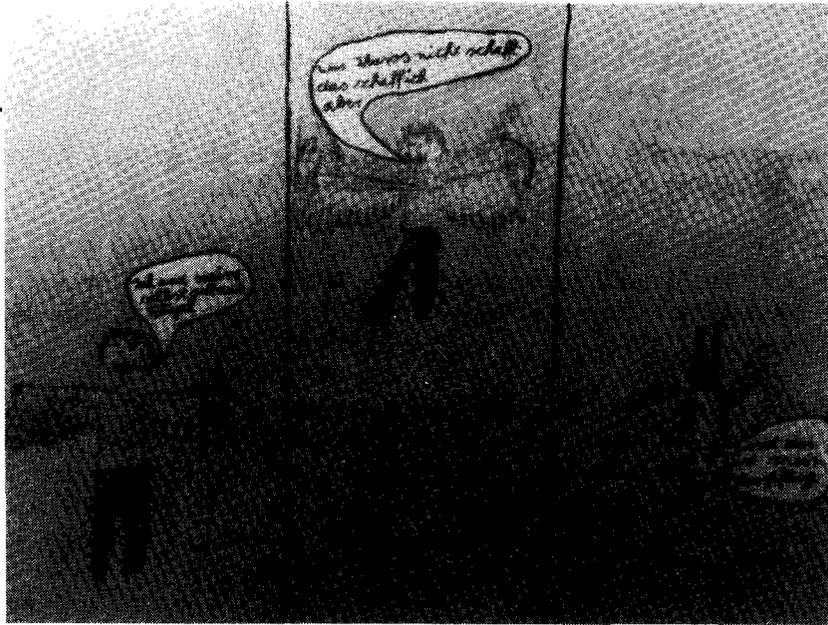
Da endlich, als er in die Tiefe schaute, erkannte er einige Federn, die einsam auf dem Wasser trieben.

Das Herz voll Trauer, flog Daidalos an Land; er legte die Flügel ab und irrte am Ufer der kleinen Insel umher, bis die Wellen den Leichnam ans Gestade spülte. Dort begrub er den geliebten Sohn und gab dem Eiland für alle Zeiten den Namen Ikaria.

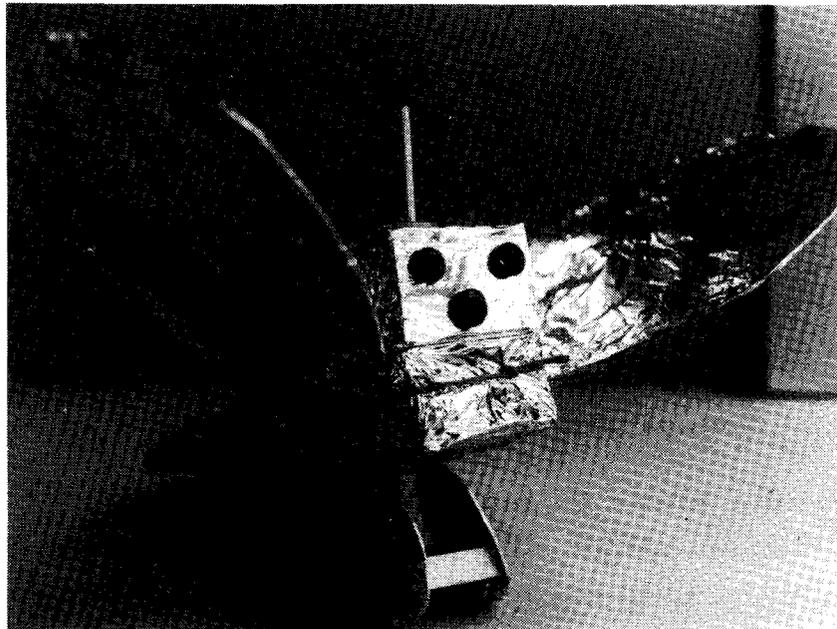
Es wird berichtet, daß der kunstfertige Daidalos später auf der Insel Sizilien zu großen Ehren kam. Aber nach dem Tode seines Sohnes hat er seinen Seelenfrieden niemals wiedergefunden. Die Schuld, die er einst durch die Ermordung seines Schüler auf sich geladen und für die er nun eine so harte Strafe erlitten hatte, sollte bis an sein Lebensende nicht mehr zur Ruhe kommen lassen." (CORDES u.a. 1974)

Fragen:

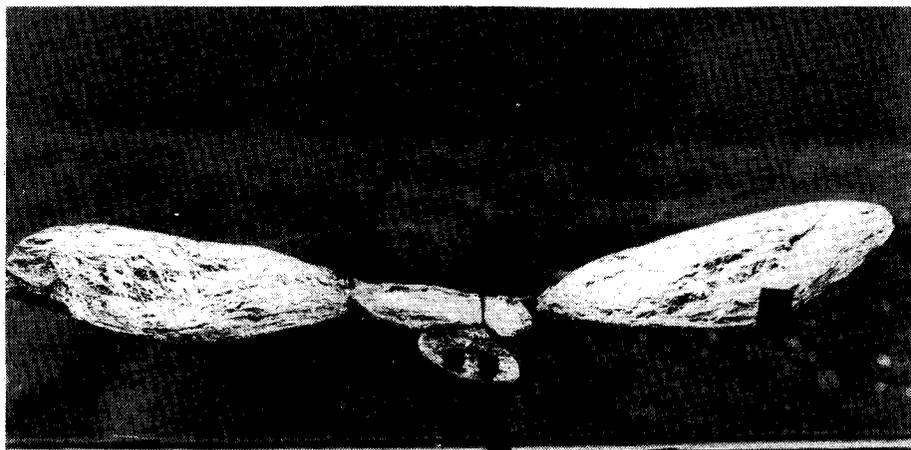
- *Warum kommt Daidalos darauf das Fliegen zu erfinden?*
- *Woher nimmt Daidalos seine Idee vom Fliegen und wie versucht er sie umzusetzen?*
- *Wie schätzt Du Daidalos' Erfindung ein? Ist sie technisch zu verwirklichen?*
- *Welche Materialien hättest Du zum Flügelbau verwendet?*



Schülercomic-Traumgeschichte unter dem Eindruck der Ikarus-Sage.

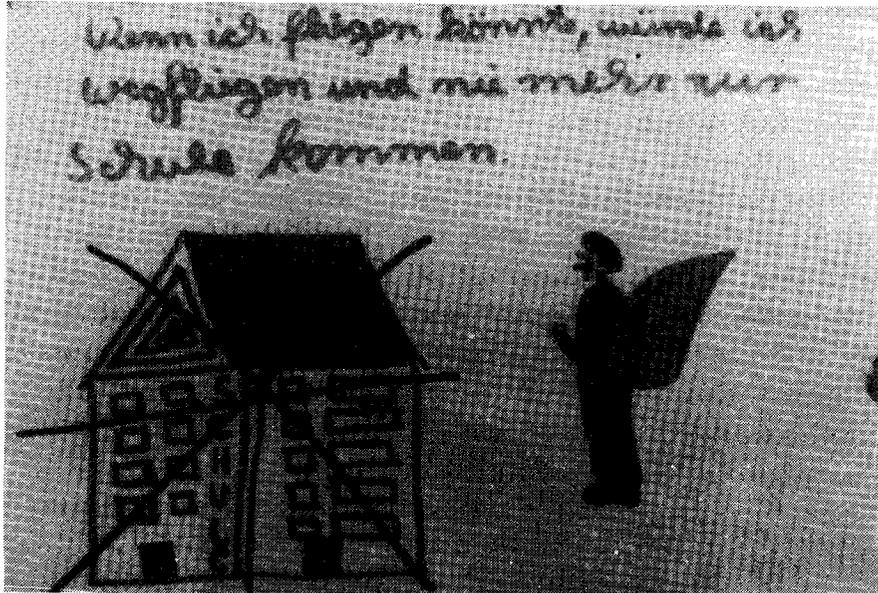


Mit diesem Modell wollte die Schülerin offensichtlich eher ein altes Motorflugzeug als ein fliegendes Tier darstellen, wie an den Rädern und der geraden Antenne zu erraten ist.



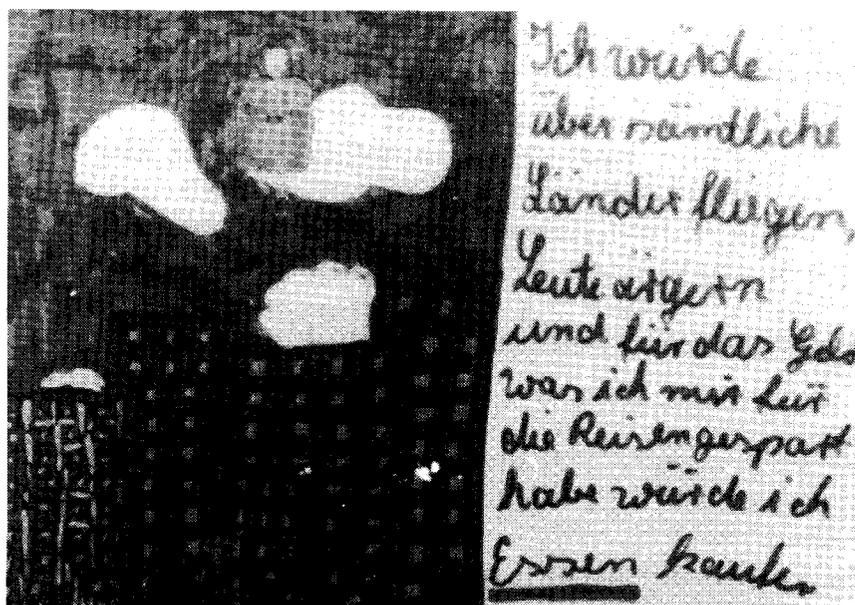
Viele Mädchen gestalteten ihre Plastiken schmetterlingsähnlich. Das tierhafte und lebendige der Gebilde wurde häufig durch Augen und Fühler betont.

Als Übergang von der Darstellung des Fliegens in der Sage zu der Darstellung des Fliegens in Comics wurden den Schülern verschiedene Götterbilder gezeigt (siehe: FLIEGEN - EIN TRAUM. ... 1977). Danach betrachteten wir Comics, in denen fliegende Superhelden aller Art auftraten. Parallel zu der Behandlung von Comics fertigten die Schüler im Kunstunterricht Traumgeschichten zum Thema "Ein Tag, an dem ich fliegen konnte", an, wobei sie ihren Machtphantasien freien Lauf ließen.



Fliegen als Befreiung von Zwängen, denen man anders nicht entkommen kann (das ist das klassische Ikarus-Motiv). Die hier ausgedrückte Schulflucht wird durch die herausgestreckte Zunge noch unterstrichen.

Obwohl die Schüler die Darstellungen in der Sage und in den Comics als unrealistisch betrachtet hatten, waren ihre gemalten Darstellungen nicht weniger unrealistisch.



Hier wird die mythische Fähigkeit zum Fliegen von einer Schülerin für die Verwirklichung unmittelbarer Bedürfnisse beansprucht.

B. Fliegen um zu vernichten – Faszination von Kriegsflugzeugen

Insbesondere Jungen sind stark von der Militärluftfahrt fasziniert. In ihren Spielen verwenden sie oft Modelle von Kriegsflugzeugen, und beim Basteln greifen sie unter Bezug auf ihre Phantasie und Spielvorstellung häufig auf Bausätze von Militärflugzeugen zurück. Die Aufmachung von Kriegsspielzeug, die Darstellung von Krieg und Gewalt in Comics, Jugendliteratur und Filmen, aber auch "Tage der offenen Tür" und andere Werbeveranstaltungen der Bundeswehr formen, verstärken und transzendieren Phantasien der Jugendlichen auf denen sie gleichzeitig aufbauen.

In Phasen der freien Arbeitsgruppenwahl bildeten sich während des Projektes immer wieder Schülergruppen heraus, die sich mit "Militärluftfahrt" beschäftigten.

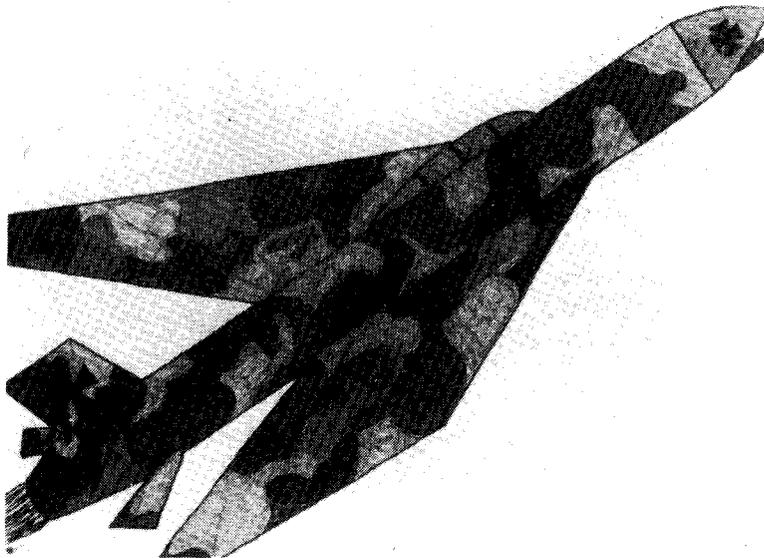


Bild einer Jagdbomber in Tarnfarben von einem Schüler der 7. Klasse gemacht.

In der Regel listeten sie verschiedene Flugzeugtypen auf und verglichen die Leistungen von Bombern, Jägern und ähnlichen Flugzeugen verschiedener Zeiten und Nationen. Wenn sie dabei beispielsweise die Vor- und Nachteile von Bombern des 2. Weltkriegs diskutierten, so hatten sie auf Befragen keine Vorstellung darüber, warum dieser Krieg geführt wurde und welche Folgen etwa Bombenabwürfe für Angriffsziele (Soldaten, Zivilisten, Städte ...) hatten.

Da uns die Frage nach den politischen/militärischen Beweggründen für den 2. Weltkrieg in dieser Jahrgangsstufe aufgesetzt erschien und wir moralische Appelle vermeiden wollten, wählten wir folgenden Weg: Den Schülern wurden Texte, die über die verheerenden Bombenangriffe im 2. Weltkrieg und über den Atombombenabwurf über Hiroshima berichteten, sowie entsprechendes Bildmaterial vorgelegt (siehe FLIEGEN – EIN TRAUM ..., 1977).

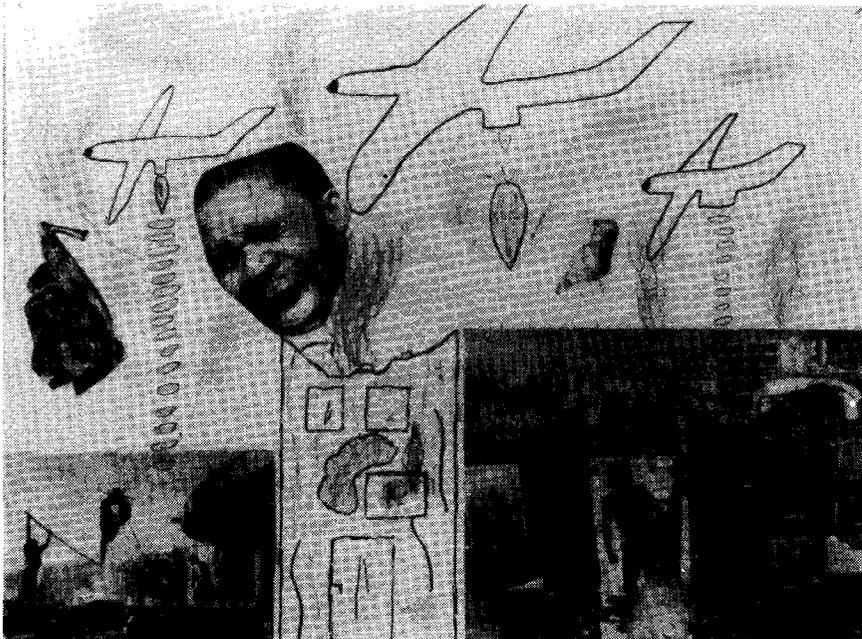
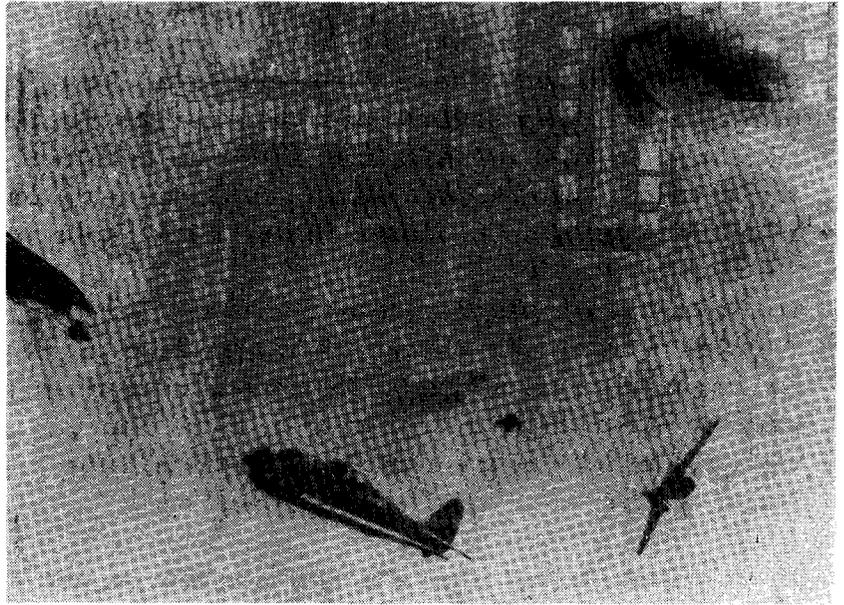
Mit dem Bildmaterial war die Absicht verbunden, daß sich die Schüler gestalterisch mit dem Thema Zerstörung und Vernichtung durch Bombenkriege auseinandersetzen sollten, und wir dadurch die Möglichkeit hatten, uns mit ihnen über ihre *Assoziationen* zu unterhalten. Mit Filz- und Bleistiften sowie Spielzeug-Werbekatalogen, in denen sehr viele Kriegsspielzeuge abgebildet sind, sollten die Schüler Bilder/Kollagen anfertigen.

Die Technik, die verwendet wurde, war "Berußen" und "Anbrennen": Beim Berußen wurden die Blätter über blakenden Kerzenflammen angeruht und beim Anbrennen ausgeschnittene Häuserzeichnungen an den Ecken angebrannt und dann in die Collage aufgeklebt. In diese "Kokelcollagen" zeichneten dann die Schüler Flugzeuge und Bomben sowie Hubschrauber und andere Militärflugzeuge aus den Spielzeugkatalogen ein.

In den Gesprächen über die Kollagen wurde uns deutlich, daß die Schüler darin ihre - z.T. spezifischen - Spiel- und Potenzphantasien darstellten/auslebten, und die Diskussionen, die sich an die Texte anschlossen, zeigten, daß die Schüler durchaus in der Lage waren, zwischen *Spiel* und *Ernst* zu unterscheiden.

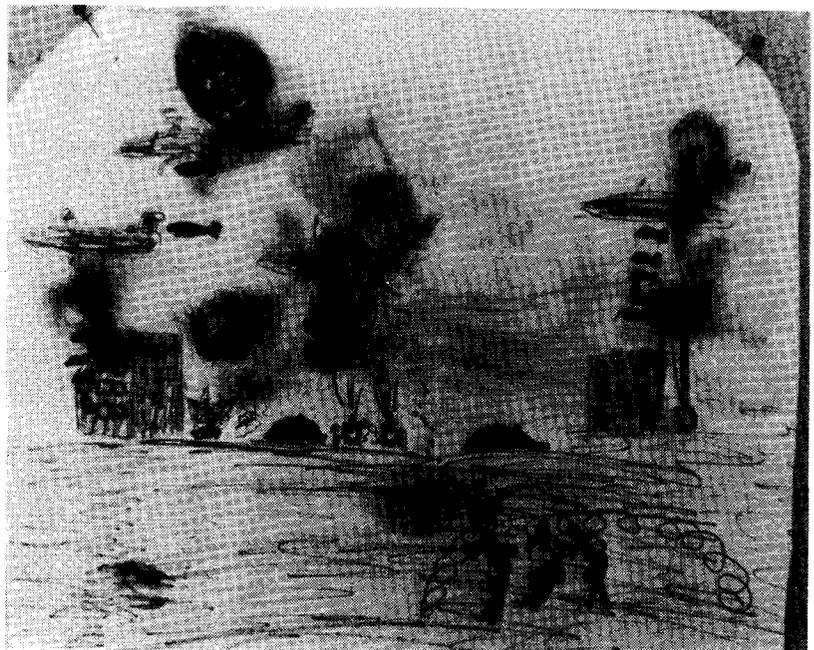
Wenn man sich eingehender, und nicht nur am Rande, wie in unserem Projekt, mit dem Thema Krieg und Kriegsfolgen beschäftigen will, dann möglichst in einem eigens mit Schülern geplanten und gestalteten Projekt. Dabei kann es nicht darum gehen, etwa durch Filme und/oder Texte bei den Schülern *emotionale Betroffenheit* zu erzeugen bzw. für dieses Thema auszunutzen. Denn daß Krieg keine menschenfreundliche Sache ist, und daß ein Atomkrieg die Hölle bedeutet, das wissen schon Schüler in der Primarstufe! Vielmehr kommt es darauf an, bei diesem Thema die Zusammenhänge zwischen Kriegsursachen, Kriegsauswirkungen und den Repräsentanten der kriegsführenden Staaten anzusprechen bzw. darüber aufzuklären.

**Einfach berußte Collage
unter Verwendung ausge-
schnittener Kriegflugzeuge.**



**Collage aus illustrierten-
Bildern und gezeichneten
Bombenflugzeugen.**

**Eine berußte Zeichnung mit
einem eingebrannten Loch
links oben. In ihr dominieren
die Momente der militärischen
Auseinandersetzung.**



Der Untergang Dresdens am 13. Februar 1945

"Schon kurze Zeit nach dem ersten Angriff hatte sich der Feuerring geschlossen. Damit war das Todesurteil über die Bevölkerung ausgesprochen und vollzog sich mit minutiöser Präzision.

Wer in den Kellern blieb, erstickte oder verbrannte. Wer sich herausgewagt hatte, sah sich von Flammen umgeben.

Den Altmarkt füllte eine tobende Menschenmenge. Umgehängte nasse Decken und angefeuchtete Kleider trockneten rasch in der steigenden Siedehitze. Sie begannen zu brennen. Dazu erstickender Qualm. Ein Feuersturm, der Staub, Ruß, Dreck, Mörtel als glühende Funken in die Gesichter der Menschen peitschte, in kürzester Zeit die Augen verschloß und kaum noch ein Atmen ermöglichte, machte die Unglücklichen wahnsinnig. Das Einatmen der glühenden Luft erzeugte einen würgenden Hustenreiz. Das große Sterben begann.

Wer zusammenstürzte, brannte beim Berühren des Asphalttes im nächsten Augenblick lichterloh. Das Ende kam dann rasch. Aber die Menschen verbrannten nicht zu Asche. Sie wurden kleiner und schrumpften immer mehr zusammen. Arme und Beine brannten ab. Und zum Schluß blieb nichts weiter übrig als ein dreiviertel Meter langer schwarzer Torso, der einem verkohlten Baumstamm glich.

In der Todesangst erklommen die verzweifelten Menschen die Böschungen der Wasserbecken. Sie tauchten Tücher, die sie über den Gesichtern trugen, Decken und was sie sonst als Schutz gegen die Flammen benutzten, hinein. Andere, deren Kleidung Feuer gefangen hatte, sprangen in die Becken.

Panik ergriff die Menschen. Wasser - nur Wasser! Alles andere war gleichgültig! Wasser, das kühle nasse Wasser, sollte sie aus dieser Gluthitze erlösen. Die Gaumen ausgetrocknet, vom Rauch der Flammen bedroht, zog sie das Wasser in seinen Bann.

Und sie sprangen hinein. Immer mehr folgten. Die wenigsten konnten schwimmen. Sie bedachten nicht, daß die Becken zweieinhalb Meter tief waren. Nur ein Gedanke beherrschte sie: Wasser, den Durst löschen können, Schutz vor Verbrennung!

Und sie ertranken alle. Einer wie der andere. Wer schwimmen konnte, wurde von Ertrinkenden fest umklammert und mit hinuntergerissen in die Tiefe der Wasserbecken. Wer an den Rändern der Becken hochklettern wollte, kam nicht heraus. Die schrägen Betonwände, mit Algen und Moos bewachsen, gaben den krallenden Fingern keinen Halt. Die Hände rutschten ab. Die Menschen standen vor den Bassins. Sie sahen, was sich dort unten abspielte. Auch das Wasser brachte den Tod. Sie wollten zurück. Sie konnten nicht! Von den Nachdrängenden wurden sie in die Becken hinuntergestoßen. ... in den sicheren Tod.

Zum Schluß brodelte das Wasser, als ob es kochte, als ob ein Wasserbehälter mit unzähligen Fischen gefüllt sei. Gellende Schreie, ein Johlen, ein Schrillen. Unvorstellbar die Laute Todgeweihter, Ertrinkender.

Aber mit der fortschreitenden Verwesung stieg auch die Seuchengefahr. Verbrennung der Leichen auf Scheiterhaufen schien der einzige Ausweg zu sein. Wer diesen Gedanken zuerst aussprach, blieb unbekannt; es war eine Idee, die nur die Not gebären konnte. Man war sich anscheinend darüber klargeworden, daß die Leichen nur durch ein radikales Mittel beseitigt werden konnten.

Seit undenkbaren Zeiten hatte die ärztliche Wissenschaft durch hygienische Maßnahmen die Seuchen, wie Cholera, Pest und wie sie alle heißen, gebannt. Man kannte die Ursachen dieser Seuchen, die ganze Städte und Landstriche entvölkerten. Dresden mußte zur Brutstätte einer fürchterlichen Gefahr werden. Deshalb wurde der Gedanke, die Leichen auf Scheiterhaufen zu verbrennen, Wirklichkeit.

Was seit dem dunkelsten Mittelalter nur noch aus Geschichtsbüchern, bestenfalls aus Erzählungen bekannt war, wurde in Dresden zur Wirklichkeit, wenn auch unter anderen Voraussetzungen.

Aber wo gibt es eine Parallele? Wo sah sich in den letzten Jahrhunderten ein Volk gezwungen, die unzähligen Opfer weniger Stunden verbrennen zu müssen, weil eine Bestattung einfach unmöglich war? Es gibt kein Beispiel.

Gegenüber dem Kaufhaus Renner wurden riesige Roste aus Eisenträgern errichtet. Sie erhoben sich ein halben Meter über dem Erdboden. Krematorium unter freiem Himmel.

Man legte die Toten übereinander. Eine Schicht nach der anderen. So, wie man sie eben angefahren hatte.

Wie wenig Platz ein toter Mensch doch beansprucht! Hunderte wurden zu Haufen getürmt. Ein Scheiterhaufen enthielt 450 bis 500 Menschen. Es schienen viel weniger zu sein.

Jede Schicht wurde mit Benzin getränkt. Brennmaterial lag unter den Rosten. Ein Streichholz, ein winziges kleines Streichholz entfachte das Feuer. Und dann loderten die Flammen empor.

Die Scheiterhaufen loderten Tag und Nacht. Kilometerweit roch es nach verbranntem Fleisch, nach brennender Kleidung. Hügel von Knochenresten und Asche türmten sich auf.

Man konnte die Stadt nur mit einer Gasmaske oder mit einem nassen Tuch vor Mund und Nase betreten. Der süßliche Geruch erzeugte Übelkeit.

Die Flammen loderten ohne Unterbrechung Tag und Nacht und Nacht und Tag. Und immer fanden sie neue Nahrung. Die Zufuhren wollten kein Ende nehmen"

(RODENBERGER in: KUBY (Hrsg.) 1955, S. 42 ff).

**Dresden: Ein Verbrechen gegen die Menschheit -
oder wer hat mit dem Bombenkrieg angefangen?**

"Im Februar 1945 gab es keine militärische Notwendigkeit für die anglo-amerikanischen Terrorangriffe gegen Dresden. Das bestätigte der britische Luftmarschall Sir Robert Saundby, der engste Mitarbeiter von Sir Arthur Harris, dem Oberbefehlshaber der britischen Luftwaffe, der den Befehl zum Angriff auf Dresden gab. Sir Robert Saundby stellte in einem Vorwort zu Irvings Buch "Der Untergang Dresden" fest, daß Hitlerdeutschland zu dieser Zeit schon besiegt war. Vor dem Bombenabwurf auf Dresden brauchten die Angreifer keinen militärischen Gegner niederzuzwingen, denn ein solcher existierte nicht mehr. Diese Tatsache bestätigte der englische Historiker David Irving, der in seinem obenerwähnten Buch auf Grund der ihm zugänglichen amtlichen britischen Informationen berichtet, daß es für den Masterbomber (Masterbomber: ein Leitbomber, von dem die anderen Bombenflugzeuge geführt werden, d. Verf.) schon bei Beginn des ersten Angriffs feststand, 'daß Dresden in Wirklichkeit ohne Flakabwehr war. Er konnte die schweren viermotorigen Lancaster ohne Risiko heruntergehen und aus geringer Höhe bombardieren lassen, wodurch ein gleichmäßiger Bombenteppich über dem Angriffssektor erzielt wurde'. Daß die britischen Flieger eine ihnen ohne Verteidigungsmittel ausgelieferte Stadt zerstörten, beweist auch ein von einer mit Filmkameras ausgerüsteten Lancaster-Maschine aufgenommener Film, der während der Bombardierung 'das ganze Geschehen dort unten für die RAF-Filmabteilung' festhielt. 'Der 130 Meter lange Film, der sich jetzt in den Filmarchiven des Imperial War Museum befindet, stellt eines der schaurigsten Dokumente des zweiten Weltkrieges dar. Dieser Film lieferte jedoch den endgültigen Beweis, daß Dresden unverteidigt war: Kein Scheinwerfer, kein Flakfeuer ist auf dem ganzen Filmstreifen zu sehen.'

Das bestätigt außerdem noch ein amtlicher amerikanischer Bericht, der auf Grund von nach dem Kriege geführten Untersuchungen über die Wirkung des anglo-amerikanischen Luftkrieges gegen Deutschland erarbeitet wurde. Darin wird festgestellt, daß im Verlauf des Krieges 'im allgemeinen nur etwa 20 Prozent der Bomben, die auf die Zielpunkte gerichtet waren, innerhalb der Zielfläche niederfielen. Eine Spitzenleistung von 70 Prozent wurden im Februar 1945 erreicht.'

Februar 1945 - das war der Bombenangriff auf Dresden. Die 70 Prozent der Ziele, die befehlsgemäß angegriffen und getroffen wurden, waren das kulturhistorische Zentrum der alten Kunststadt, das waren die Wohnviertel in der Innenstadt und in den Arbeiterwohnbezirken, das waren der Große Garten und die Elbewiesen, jedoch kaum ein militärisches Objekt.

Begonnen wurde der barbarische Luftkrieg gegen offene Städte von der nazistischen Luftwaffe. Nach der Entfesselung des zweiten Weltkrieges folgten die Angriffe auf Warschau, Rotterdam, London, Coventry und andere Städte. Der 'Berliner Lokalanzeiger' schrieb am 11. September 1940: 'Die Abrechnung mit England wird fürchterlich werden, und die Briten werden ausgerottet. London ist nur der Auftakt. In dem Inselreich wird kein Stein auf dem anderen bleiben.'

Am gleichen Tage stellte die 'Essener Nationalzeitung' die Frage, wie lange London noch durchhalten werde, wenn der Hauptstadt Englands das gleiche Schicksal bereitet würde wie den von der deutschen Luftwaffe zerbombten Städten Warschau und Rotterdam. Und Hitler sprach in einer Rede am 4. September 1940 die in der ganzen Welt berüchtigt gewordene Drohung aus, daß er die Städte Englands mit seinen Luftangriffen ausradieren werde.

Das war zu jener Zeit, als Hermann Göring, der Reichsluftmarschall und oberster Chef der faschistischen Luftwaffe, verkündet hatte: 'Ich will Meier heißen, wenn es auch nur einem einzigen feindlichen Flugzeug gelingt, eine einzige Bombe auf eine deutsche Stadt zu werfen.' Nicht allzu lange nach dieser Prahlerei hagelte es Bomben auf deutsche Städte, und die deutsche Zivilbevölkerung hatte unter den Auswirkungen der Luftangriffe nicht weniger zu leiden als früher die polnische, holländische, englische und französische Zivilbevölkerung unter den Terrorangriffen der deutschen Luftwaffe.

Unwiderlegbare geschichtliche Wahrheit ist, daß die deutschen Faschisten mit dem ihrer Luftwaffe befohlenen Angriff gegen unbewaffnete Städte den barbarischen Luftterror gegen Frauen und Kinder begonnen haben. Diese Verbrechen berechtigten das anglo-amerikanische Oberkommando jedoch nicht, nach dem Vorbild der deutschen Faschisten Terrorangriffe auf deutsche Städte durchzuführen, für die es keine militärische Notwendigkeit gab und die nichts zum Sieg über die schon nicht mehr funktionsfähige Hitlersche Kriegsmaschine beitrugen.

Vor dem Urteil der Geschichte war und bleibt die Zerstörung der Kunststadt und die damit verbundene Hinmordung von Zehntausenden wehrlosen Frauen und Kindern für alle Zeit ein unauslöschliches Verbrechen gegen die Menschlichkeit'

(SEYDEWITZ 1975, S. 196 ff).

Fragen:

- *Wer begann mit der Bombardierung von Städten im 2. Weltkrieg und was waren die Gründe?*
- *Von wem und warum wurde Dresden zu einer Zeit, als die Nazi-Herrschaft nahezu besiegt war, zerstört? Warum war die Trefferwirkung bei der Bombardierung von Dresden so besonders groß?*
- *Wenn "Dresden: Ein Verbrechen gegen die Menschheit" war, warum werden dennoch Kriege geführt?*

Die Atombombe von Hiroshima:

"Vor dreißig Jahren, am 6. August 1945, morgens um 8 Uhr 16 Minuten, klinkte ein Bomber der US-Luftwaffe die erste Atombombe der Welt über Hiroshima aus. Die Bombe trug den saloppen Namen Big Boy - Großer Junge - und tötete 200 000 Menschen. Heute hat Hiroshima gelernt, ohne die Erinnerung an die Bombe zu leben.

Natürlich wächst längst Gras darüber, ganz normales Gras. Und natürlich sind längst normale Häuser gewachsen, schöne und unschöne Straßen mit Kaufhäusern, Banken, Wohnhäusern, Restaurants, Nightclubs. Die Straßen sind voll von ganz normalen Menschen mit normalen Gliedmaßen - alles ist in Hiroshima ganz normal.

Die Stadt mit ihren rund 800 000 Menschen will leben und deshalb nicht immer an den zweihunderttausendfachen Tod denken, der am 6. August 1945 morgens um 8.16 Uhr und 8 Sekunden genau 570 Meter über dem Shima-Hospital im Zentrum der Stadt mit 300 000 Hitzegraden und mörderischen Radioaktivität explodierte. Hiroshima will, wenn nicht vergessen, so doch verdrängen - natürlich.

Viele der noch lebenden 108 690 'Hibakusha', Menschen, die den ersten Atombombenabwurf vor genau 30 Jahren überstanden, müssen mit 30 Jahren alten Narben weiterleben. Aber die Stadt muß es nicht. Sie muß arbeiten, konkurrieren, verdienen, Geschäfte machen, Mazda-Autos mit Wankelmotor produzieren, Möbel herstellen, Schiffe bauen, Austern verarbeiten.

Die 700 000 in der Stadt, die nicht hier oder noch gar nicht geboren waren, als die Bombe fiel, und vor allem die Geschäftsbesucher, die zu Abschlüssen in die modernen Industriebetriebe Hiroshimas kommen, wollen nicht dauernd an den schlimmen Morgen vor 30 Jahren erinnert werden. Sie werden auch nicht erinnert.

Wo einmal die Hauswand stand, auf der ein menschlicher Schatten bezeugte, daß hier ein Opfer von der Bombe in nichts aufgelöst wurde, steht jetzt eine schicke Marmormauer der Somitome-Bank, die ihren Kunden schließlich nicht zumuten konnte, immer diesen gräßlichen, gespenstischen Schatten zu sehen.

Wo die 150 Kinder der Daiichi-Schule in Flammen aufgingen, macht heute ein Textilhändler Geschäfte. Soll er Konsumlust abtöten, indem er Kunden daran erinnert, daß da, wo nun die Sonderangebote ausliegen, einmal 150 Kinder starben, ehe sie auch nur nach ihren Müttern um Hilfe rufen konnten?

Wo vor 30 Jahren Menschen plötzlich brannten und ein paar Tage später Durchfall und Fieber bekamen, ihre Haare verloren und nicht essen und bald auch nicht mehr leben konnten - denn sie waren, was man bis dahin nicht kannte, strahlenkrank - dort steht heute ein Baseball-Stadion. Wenn das einheimische Team die Gäste aus Kobe oder Osaka oder Tokio schlägt,

herrscht auf den Rängen prächtige Stimmung - darf man das Publikum erinnern?

Wo den Menschen vor 30 Jahren Augen und Zunge aus den Köpfen gepreßt wurden und knapp 10 000 Menschen darüber andere Menschen in einem Flugzeug vollen Erfolg an ihre Vorgesetzten meldeten, wird heute in Großraumbüros mit japanischem Fleiß gearbeitet, verdient - ganz normal.

Gewiß, Hiroshima war einmal ein Missionar gegen den Atomtod, und alle Welt bekam eine Gänsehaut, wenn sie den Namen der Stadt hörte. Aber in dem Maße, in dem die Welt des Missionsthemas müde wurde und mit der Bombe zu leben lernte, ist, wie begreiflich, auch der Eifer des Missionars erlahmt, der nun selber mit der Bombe zu leben gelernt hat. So gibt es heute in der Stadt nur mehr ein paar Sektierer, die noch immer 'nie wieder' rufen, an ihnen, den lästigen Erinnerern, lebt das neue, dynamische Hiroshima vorbei....

Die Welt wird immer gleichgültiger

Eine Stadt, die längst wieder Tritt gefaßt hat und mit der Zeit geht, in der inzwischen zehntausend Hiroshimas möglich geworden sind.

Sie werden finden, sagte Herr Kaoru Ogura, daß von den 800 000 Bürgern der Stadt höchstens 50 000 in den Park kommen, wenn wir am 6. August unsere Erinnerungsfeier machen - die meisten wollen sich nicht erinnern, und ich denke, das ist begreiflich: Vergessen kann besser als Erinnern sein.

Gewiß, aber was macht Miyoko Matubara? Sie war zwölf, als die Bombe fiel, ein hübsches Mädchen, ein bißchen eitel nach Mädchenart und sie war voller Pläne. Eigentlich ist sie seit 30 Jahren tot. Sie erlitt Verbrennungen, ihr Gesicht ist entstellt. Als ihre Mutter ihr acht Monate nach dem 6. August 1945 erstmals gestattete, in einen Spiegel zu sehen, brach Miyoko zusammen, und ganz hat sie sich in den 30 seither vergangenen Jahren nie wieder aufrichten können. Während um sie herum Hiroshima emsig seine Narben kaschierte, weinte sie, denn ihre Narben waren nicht zu kaschieren. Als Hiroshima wieder aufgebaut und Miyoko eine junge Frau war und einen Job sucht, weinte sie immer noch, denn sie fand keinen Job - wer stellte schon in Hiroshima eine junge Frau mit einem erinnernden, entstellten Gesicht ein? Sie weinte, weil sie keinen Mann fand - natürlich fand sie keinen Mann, denn die Stadt war inzwischen wieder voller hübscher junger Frauen, und wer heiratet schon eine schrecklich zugerichtete Grimasse?

Miyoko fand schließlich Arbeit bei den Blinden der Stadt, denn die konnten keine ästhetischen Bedenken gegen sie haben. Heute ist sie Sekretärin im Friedenszentrum von Hiroshima, wo eine Handvoll Frauen und Männer, Rufer in der Wüste, die Menschheit davon überzeugen möchte, daß nie wieder eine Atombombe geworfen werden darf. Aber die Welt, sagt Miyoko, und nun weint sie schon wieder, wird immer gleichgültiger ...

Der Besucher redete mit anderen, die es überlebten und seither Narben haben - es war immer dasselbe: Sie klagten, höfliche Japaner, ihre Stadt nicht an, aber sie waren alle, sozusagen, Contergankinder an einem deutschen Strandbad - mitleidsvoll beglötzt, denn die Nähe des Unglücks bedrückt.

Der Besucher ging ins Atombombenkrankenhaus, in dem immer noch, 30 Jahre danach, in 140 Betten an der Bombe gestorben wird. Er sah die durchweg an Krebs leidenden Menschen, die noch immer fast täglich die Zahl der bisher amtlich registrierten 84 803 Toten in die Höhe treiben (120 000 Opfer gelten amtlich, unfromme Lüge, als vermißt). Sie redeten nicht mehr, sie litten nur noch; allein Dr. Tetsuya Hironaka, der medizinische Direktor des Krankenhauses längst mit dem Atomtod auf vertrautem Fuß, redet und sagt: 'Wir wissen wenig über die Gefahren, die noch in dieser Stadt sind. Vielleicht müssen noch Kinder von Überlebenden, vielleicht auch noch deren Kinder sterben. Die Kinder der Opfer aber wollen das gar nicht wissen, sie wollen leben und in der Fassaden-Normalität ihre eigene Normalität sehen'.

Doch leicht fällt ihnen das nicht. Dr. Hironaka sagte: 'Am schlimmsten für diejenigen, die überlebten oder als Kinder von Überlebenden geboren wurden, ist die Furcht, sie könnten schließlich doch noch erkranken. Sie kriegen irgendeine Entzündung und denken: *Krebs!* Sie wollen es nicht lesen, aber sie lesen in der Zeitung, daß wir in den letzten Jahren eine uns unerklärliche Steigerung von Magenkrebsfällen unter den Überlebenden feststellen, und dann kriegen sie Magenbeschwerden und denken: *Das ist es nun also - Magenkrebs!* Die seelische Belastung der Überlebenden ist enorm. Dann mußte Dr. Hironaka das Gespräch abbrechen, denn mit einem Leukämiekranken ging es zu Ende, 30 Jahre danach.

Im Hijiyama-Park, ... sitzen in der Stiftung zur Erforschung von Strahleneffekten die Buchhalter des Grauens ...

Sie berichten von Späteffekten auf das Gefäßsystem der Überlebenden, auf die Bauchspeicheldrüse und von einer Zunahme strahlenverursachter Augenkrankheiten. Sie wissen von komplexen Abnormalitäten der Chromosomen unter solchen Überlebenden, die zur Zeit des Bombenabwurfes noch in den Körpern ihrer Mütter waren, von geistiger und körperlicher Zurückgebliebenheit von Kindern, die deutlich kleinere Köpfe haben. Sie berichten von einer hohen Zahl von Brustkrebsfällen unter den überlebenden Frauen, die zur Zeit der Explosion jung waren und in das Alter erhöhter Anfälligkeit kommen, ein deutlich größeres Brustkrebsrisiko haben werden.

Sie schlossen aus ihren Untersuchungen: Es gibt keine Beweise für die Annahme, daß der Gipfel der strahlenverseuchten Krebsfälle erreicht ist. Im Gewebe der Überlebenden fanden sie Hinweise darauf, daß der Altersprozeß unter denen, die der Bombe ausgesetzt waren, beschleunigt ist.

Da unten lag die Stadt, über die sie redeten. Hübsch sah sie aus auf den sieben Inseln des Ota-Flußdeltas - ist nicht ihre Schönheit heute so trügerisch wie vor jenem 6. August?

Damals wußte das Gerücht in der bis dahin wunderbarerweise vom Bombenkrieg fast völlig verschonten Stadt, die Amerikaner würden Hiroshima seiner Schönheit wegen nicht zerstören. Dabei schonten die Amerikaner in Wahrheit die Stadt nur, um sie um so eindrucksvoller und auf einen Schlag vernichten zu können. Auch heute wieder, so referierten die Doktoren der Stiftung auf dem Berg des ruhenden Tigers, trägt die Schönheit und versteckt Tragik, die da unten in den geschäftigen Straßen der Stadt immer noch wohnt und noch lange wohnen wird. Aber das sieht man nicht, denn Hiroshima, das eigentlich der Welt eine böse Wahrheit sagen sollte, lügt, weil niemand böse Wahrheiten liebt.

Nein, der Besucher hat keinen Zugang zum normalen Hiroshima gefunden, obwohl die Stadt nur vernünftig ist. Er hat der Stadt ihre glatte Normalität nicht verziehen, nicht den Touristen im Friedenspark ihre vergnügten Gruppenfotos, nicht der Somitome-Bank ihre schicke Marmormauer.

Er ist an seinem letzten Tag in der Stadt am frühen Morgen in den Friedenspark gegangen, über dem einmal der Detonationspilz stand und der menschenleer wie am 6. August 1945 eine Minute nach dem Ereignis war. Er stand vor dem Denkmal der Sadako Sasakj, die zwei Jahre alt war, als der amerikanische B-29-Bomberpilot Paul Warfield Tibbets jr. in seiner Todesmaschine, die er nach seiner Mutter Enola Gay genannt hatte, nach japanischer Darstellung erst einmal über Hiroshima hinwegflog, bis er sicher sein konnte, daß unten das Entwarnungssignal gegeben war und die Menschen aus ihren Kellern gekommen und auf dem Weg zu Arbeit auf den Straßen waren. Dann ging er mit der Enola Gay wieder auf Kurs Hiroshima und durfte hoffen, nicht bloß 20 000 - wie es gewesen wäre, hätten die Menschen noch in ihren Kellern gesessen -, sondern 200 000 Menschen umbringen zu können. Dann gab Tibbets den Befehl, die von der Besatzung scherzhaft Big Boy genannte Bombe auszuklinken, und der Große Junge, drei Meter lang, 70 Zentimeter dick und 4064 Kilo schwer, traf auch die kleine Sasako, obwohl sie anfangs ganz unversehrt schien.

Zehn Jahre später mußte sie ins Hospital, Leukämie, und sie ging lachend und zuversichtlich. Sie sagte, sie würde 1000 kleine Kraniche aus Papier falten, denn Papierkraniche bringen Glück, und sie würde wieder gesund werden. Sie begann, und als sie den 643. kleinen Kranich aus Papier gefaltet hatte, war sie tot"

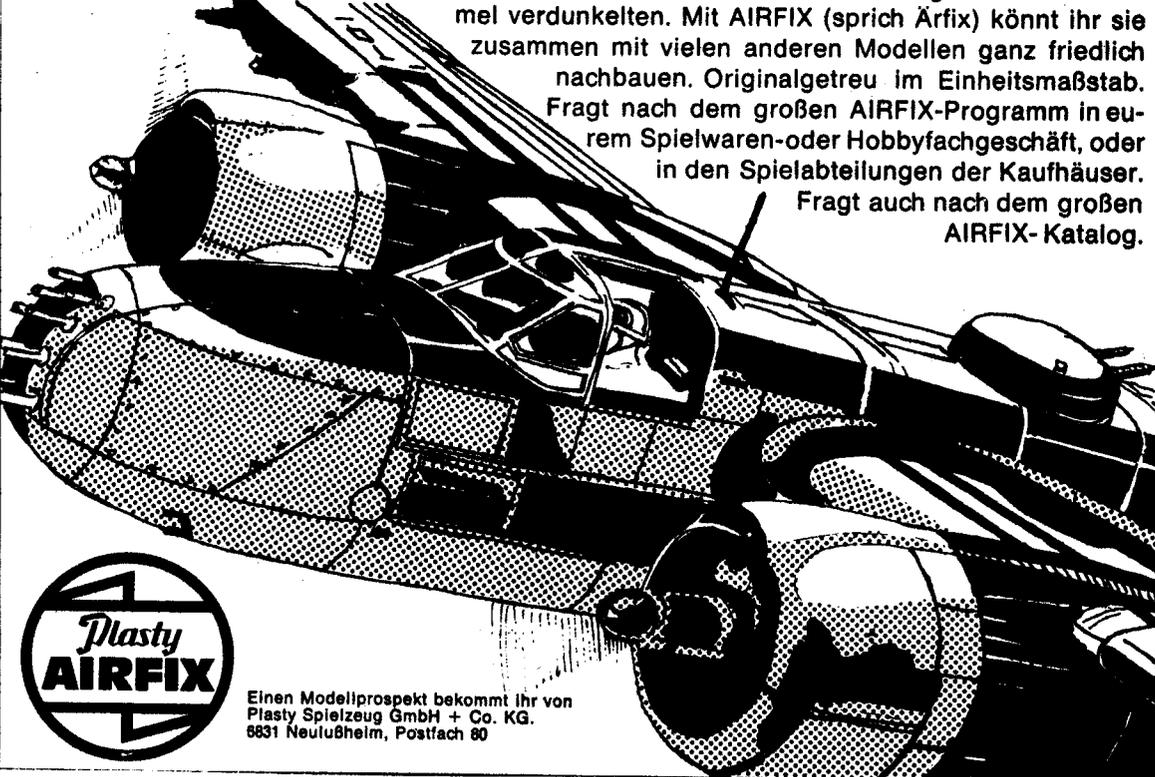
(WINTER 1975; weitere Zeugnisse und Dokumente über den Atombombenabwurf über Hiroshima befinden sich in TASHIRO, TASHIRO 1983²)

Fragen:

- *Woran liegt es, daß im öffentlichen Leben von Hiroshima heute fast nichts mehr an den Atombombenabwurf erinnert?*
- *Welches Leben müssen die überlebenden Opfer führen?*

Werbung: Der Schrecken der Lüfte

SCHRECKEN DER LÜFTE so wurden diese Bomber genannt, wenn sie mit ihrer Bombenlast aufflogen und den Himmel verdunkelten. Mit AIRFIX (sprich Ärfix) könnt ihr sie zusammen mit vielen anderen Modellen ganz friedlich nachbauen. Originalgetreu im Einheitsmaßstab. Fragt nach dem großen AIRFIX-Programm in eurem Spielwaren-oder Hobbyfachgeschäft, oder in den Spielabteilungen der Kaufhäuser. Fragt auch nach dem großen AIRFIX-Katalog.



Plasty AIRFIX

Einen Modellprospekt bekommt ihr von
Plasty Spielzeug GmbH + Co. KG.
6831 Neulußheim, Postfach 80

Fragen:

- *Bestellt Prospekte von Firmen die Modellflugzeuge herstellen und schaut euch die Kataloge und deren Aufmachung an.*
- *Schaut im Schaufenster eines Spielwarengeschäftes die Bilder auf den Packungen von Kriegsspielzeug an:*

Wie wird der Krieg hier dargestellt?

Überlegt wie diese Werbung bei Interessenten und Käufern ankommt bzw. ankommen soll.

Vergleiche diese Darstellung des Krieges mit den Berichten über Dresden und Hiroshima.

V. Literatur:

- ALLEN, J. E.: Aerodynamik. München 1970
- BACK, W. u.a.: Das Hobbythek-Buch 1. Verlagsgesellschaft Schulfernsehen. Köln 1964
- BAUER, R.: Flugtechnik für Jedermann. München 1964
- BERNAL, J.: Sozialgeschichte der Wissenschaften (Science in History). 4 Bde. Reinbek 1970
- BIESTERFELD, F.W.: Styropor-Flugmodell. Offenburg/Baden 1964
- BRETSCHNEIDER, E. u.a.: Die Physik in Versuchen - Mechanik. Göttingen 1973¹⁵
- BÜCHLER, T., GEIST, P.: Der fächerübergreifende Bezug im Technischen Werken - dargestellt am Thema "Fliegen" - Flugzeugbau. In: Die Scholle, H. 5/1973, S. 321 - 329
- CHRISTMANN, H.: Technikgeschichte in der Schule. Ravensburg 1976
- CLARKE, A. C.: Menschen und Weltraum. Reinbek 1970
- CORDES, H. u.a. (Hrsg.): Kritisches Lesen 1. Lesebuch für 5. Schuljahr Frankfurt/M. 1974
- CUNY: Grundlagen der Chemie. Hannover 1975⁹
- DE VERE, N.: Fantastische Flugzeuge, die es wirklich gibt. Stuttgart 1974
- DENZIN, K.H.: Bauen und Fliegen. Villingen 1971²
- DIE WERKSTUNDE: Werkpädagogische Arbeitsblätter
 Nr. 13 - Grundbegriffe des Fliegens 1
 Nr. 33 - Grundbegriffe des Fliegens 2 / Steuerung von Flugzeugen
 Nr. 45 - Grundbegriffe des Fliegens 3 / Der Luftwiderstand
 Nr. 57 - Grundbegriffe des Fliegens 4 / Der Auftrieb
 Nr. 65 - Grundbegriffe des Fliegens 5 / Gummimotorflugmodell
 (ALS-Verlag, Postfach 700661, 6000 Frankfurt)
- ECKERT, A.: Zur Geschichte der Ballonfahrt. In: Leichter als Luft - Ausstellungskatalog zur Ausstellung vom 14.9. - 16.11.1978, hrsg. vom Westfälischen Landesmuseum für Kunst und Kulturgeschichte Münster, Landesverband Westfalen-Lippe 1978
- EGE, L.: Ballons und Luftschiffe. Zürich 1973
- EGEN, H.: Die Steuerung des Flugzeuges als Gegenstand des technischen Werkens. In: Zeitschrift für Technik in Wirtschaft und Unterricht 1/1975, S. 20 - 26
- FLIEGEN - EIN TRAUM - FASZINATION, FORTSCHRITT, VERNICHTUNGSWAHN. Ausstellungskatalog Städtische Kunsthalle Recklinghausen, Ruhrfestspiele Recklinghausen 1977

- GÖTTRUP, H.: Über Raketen. Berlin 1959
- HECK, H.-D.: Der Flug. Frankfurt/M. 1977
- HEEPMANN, B.: Flug und Fliegen - Natur und Technik-Unterrichtseinheiten. (Lehrerheft und Schülerheft), Berlin 1973
- HEIDEMANN, K.: Weshalb Ballons, Drachen und Flugzeuge fliegen können - Versuche für Arbeitsgemeinschaften. (PHYWE-AG) Göttingen o.J.
- HEINEL, O.: Raketentechnik und Weltraumfahrt im Physikunterricht der Volksschuloberstufe, 1.-4. Teil. In: Welt der Schule Nr. 5-8, 1965
- HELMS, D.: Studien zu Flugobjekten. In: Kunst und Unterricht, H. 41/1977, S. 58-60
- HIGHLAND, H.J.: Was ist was - Buch über Fliegerei. Homburg o.J.
- JACOBS, W.: Verständliche Wissenschaft - Fliegen, Schwimmen, Schweben. Heidelberg 1954, S. 1-136
- KJER, O., PAKUSA, R.: Fallschirm, Gleiter, Flugmodell - Reihe Technikunterricht - Praxis und Theorie. Villingen-Schwenningen 1974
- KUBY, E. (Hrsg.): Das Ende des Schreckens. Dokumente des Untergangs Januar bis Mai 1945. München 1955
- LINCKENS, P.-H.: Der Raketenantrieb als Unterrichtsgegenstand der Sekundarstufe I. Köln 1974
- LUGE, W.: Unterrichtsreihe: Flugmodellbau Unterrichtsbeispiele zum Technikunterricht in der Hauptschule. In: Zeitschrift für Technik in Wirtschaft und Unterricht, H. 4/75, S. 21-31
- MANDER, J., u.a.: Das große Internationale Papierflieger-Buch. München 1979
- MEIER, H.W.: Wir bauen einen Styropor-Jet. Unterrichtsbeispiel für die Orientierungsstufe. In: Die Scholle, H. 9/1976 S. 571-579
- MÜNZINGER, W.: Ballonfahrt, Segelflug, Motorflug - "Die Luft hat doch Balken". Ravensburg 1976
- NEPPERT, J., SCHIETZEL, C.: Flugzeuge und Raketen. In: Westermanns Pädagogische Beiträge, Heft 2/1962
- PACILIO, V.: Das große Experimentierbuch der Luft- und Raumfahrt. Hamburg 1969
- PELHAM, D.: DuMont's Bastelbuch der Drachen. Köln 1976
- RINGBRUNNER, H.: Raketenantrieb. Braunschweig 1959
- SEIDLER, F.: Einführung in die Aerodynamik. Stuttgart 1962

- SEYDEWITZ, M.: Dresden, Museen und Menschen - Ein Beitrag zur Geschichte der Stadt, ihrer Kunst und Kultur. Berlin 1975
- SPROCKHOFF, G.: Physikalische Schulversuche, 5. Teil. Berlin 1965, S. 9-96
- STEVER, H., HAGGERTY, J.: Der Flug. Reinbek 1970
- STUHR, H.-W.: Grundlagen der Strahltriebwerke. Braunschweig 1970
- STÜHRMANN/WESSELS: Lehrerhandbuch für den Technischen Werkunterricht, Bd. 1, Maschinentchnik in Unterrichtsspielen. Weinheim 1978⁴
- TASHIRO, B., TASHIRO, J.K.: Hiroshima - Menschen nach dem Atomkrieg. München 1983²
- TERSTEGGE, G.: Film im Unterricht - einmal anders (I). In: Naturwissenschaften im Unterricht, Biologie, Heft 2/1977, S. 33-38
- THIES, W., ROLF, W.: Flugmodelle bauen und einfliegen. Wiesbaden 1975, S. 23-109
- VOIGT, E., HEYER, P.: Das Fliegen - Planungsbeispiele für eine sachkundliche Unterrichtseinheit in der 4. Klasse. In: Heimann u.a.: Unterricht, Analyse und Planung, Hannover 1972⁶
- VOIT, F.: Strömungslehre. In: A. Friedrich (Hrsg.): Handbuch der experimentellen Schulphysik. Köln 1962, S. 191-271
- WAGENSCHHEIN, M.: Die Pädagogische Dimension der Physik. Braunschweig 1962
- WALZ, A.: Physik Bd.1 (Ausgabe S), Hannover 1972²
- WDR-Westdeutsches Fernsehen - Hobbythek: Wir basteln einen Heißluftballon. Köln 1975 (vervielf. Manuskript).
- WEINKOPF, G.: Zimmer- und Saalflugmodelle. Stuttgart o.J.
- WILHELM, B.S.J.: An der Wiege der Luftschiffahrt. Hamm/Westf. 1909
- WILLIAM, G.R.: Das große Buch der Modellfliegerei - international. Frankfurt 1974
- WILLIAMS, B.: Luftfahrt - Reihe Tessloff Wissen Bd. 2. Hamburg 1974
- WINTER, R.: Die vergessene Bombe. In: Stern Nr. 32/1975
- ZACHARIAS, Th.: Empor zu den Wolken. Nürnberg 1961
- ZEIER, E.: Mechanik der Gase. In: A. Friedrichs (Hrsg.): Handbuch der Experimentellen Schulphysik. Köln 1962, S. 75-87

VI. Versuchsanleitungen

A. Arten des Fliegens - Ein Überblick

- A.1 Luft hat Gewicht (Schülerversuch)
- A.2 Luft hat Volumen
- A.3 Wir leben auf dem Grund eines Luftmeeres

B. Aerostatik I

- B.1 Warme Luft ist leichter als kalte
- B.2 Warum Luft beim Erwärmen leichter wird
- B.3 Warum ein Heißluftballon fliegt
- B.4 Das Prinzip der Montgolfiere
- B.5 Versuche mit Kerze und Spirale

C. Aerostatik II

- C.1 Wir füllen einen Luftballon mit Wasserstoffgas
- C.2 Die Messungen des Auftriebs

D. Aerodynamik

- D.1 Aerodynamischer Auftrieb
- D.1.1 Warum Flugzeuge leichter werden können:
Auftrieb an einem Flugmodell
- D.1.2 Versuch mit einem Luftballon mit Gewicht unterhalb
eines Luftstroms
- D.1.3 Messung der Zugkräfte an einem angeströmten Ballon
mittels einer Federwaage
- D.1.4 Zum Vergleich der Stärke des aerodynamischen und des
aerostatischen Auftriebs an einem Ballon
- D.1.5 Auftriebsunterschiede an einer ebenen und gewölbten
Fläche
- D.1.6 Drachen mit verschiedenen Anstellwinkeln und Schwänzen
- D.1.7 Versuche zur Veranschaulichung der Druckverhältnisse
an einem umströmten Tragflächenmodell
- D.1.8 Demonstration des Sogs der Luftströmung in einem
Venturirohr
- D.1.9 Messung der Druckverteilung an einer umströmten
Tragfläche bei verschiedenen Anstellwinkeln
- D.1.10 Messungen des Auftriebs eines Tragflächenmodells mit
Hilfe einer Tafelwaage (bei verschiedenen Anstellwinkeln)

- D.2 Untersuchungen zum Widerstand fester Körper in Strömungen (Luftwiderstand)
- D.2.1 Es liegt am Luftwiderstand, wenn Körper mit unterschiedlichem Gewicht und unterschiedlicher Form verschieden schnell fallen oder gleiten
- D.2.2 Versuche zur Untersuchung des Strömungswiderstands an verschiedenen Widerstandskörpern

- D.3 Aerodynamischer Vortrieb durch Luftschrauben
- D.3.1 Kerze im Luftstrom eines ebenen Papp-Propellers
- D.3.2 Kerze im Luftstrom eines verwundenen Propellers
- D.3.3 Die Luftschraube gibt Vortrieb
- D.3.4 Statt des Gummimotor-Flugzeugs wird ein Experimentierwagen mit Gummimotor benutzt
- D.3.5 Nachweis der Zugkraft einer mit einem Antriebsmotor versehenen Luftschraube

E. Rückstoßprinzip

- E.1 Demonstrationen zum Rückstoßprinzip mittels aufblasener Luftballons
- E.2 Beruht der Rückstoß auf dem Prinzip des Abstoßes an irgendwelchen Teilchen?
- E.3 Demonstration des Rückstoßprinzips durch Rollschuhläufer
- E.4 Experimente mit einer Modellrakete
- E.5 Die Herstellung von pulvergefüllten Raketen (Feststoffraketen)
- E.6 Versuch zur Demonstration des Rückstoßes bei selbstgebauten Raketen
- E.7 Schubkraftmessung an kleinen Modellraketen
- E.8 Start von fliegenden Raketen bzw. Raketenwagen
- E.9 Knallgasraketenauto

VII. Literatur zu den Versuchsanleitungen und Filme

Die Versuche zu den verschiedenen physikalischen Grundlagen des Fliegens entstammen einerseits der jeweils angegebenen Literatur, andererseits sind sie von Lehrern und Schülern selbst entwickelt und durchgeführt worden.

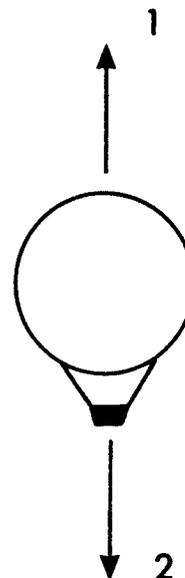
Die Versuche sollten den Schülern nicht einfach vorgesetzt werden, etwa in der Form, daß auf Schülerfragen fertige Antworten gegeben werden.

Das selbständige (Herum-)Experimentieren sollte vielmehr im Vordergrund stehen. Insofern haben die hier vorgestellten Versuche lediglich den Charakter von Ideenangeboten.

A. Arten des Fliegens – Ein Überblick

Der aerostatische Auftrieb

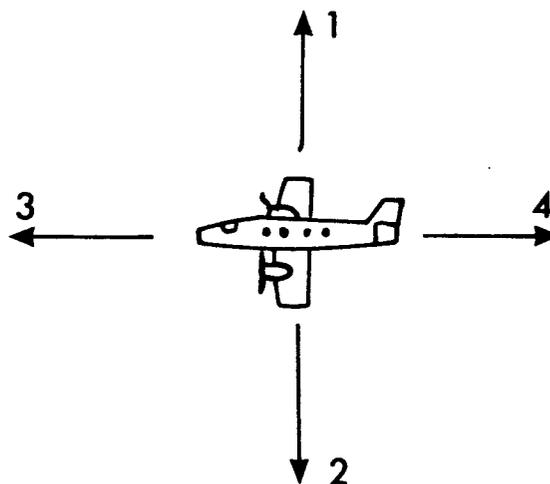
Damit ein Objekt vom Erdboden in die Luft steigen kann, muß die Auftriebskraft (1) größer sein als die Erdanziehungskraft (2): $\text{Erdbeschleunigung} \cdot (g) \cdot \text{Objektmasse} (m)$. Bei Objekten, die mit aerostatischem Auftrieb fliegen, wird die Auftriebskraft (1) durch Gase mit geringerer Dichte als der verdrängten Luft erzeugt. Der aerostatische Auftrieb in der Ballon- und Zeppelinluftfahrt wird durch Heißluft oder durch Wasserstoff oder durch das nicht brennbare Helium (ein Gas mit geringem spezifischem Gewicht) erzeugt (vgl. Teil B und C).



Der aerodynamische Auftrieb

Bei einem fliegenden Flugzeug sind folgende Kräfte von Bedeutung: Die Auftriebskraft (1), die Schwerkraft (2), der Vortrieb (3) und die bremsende Kraft des Luftwiderstandes (4).

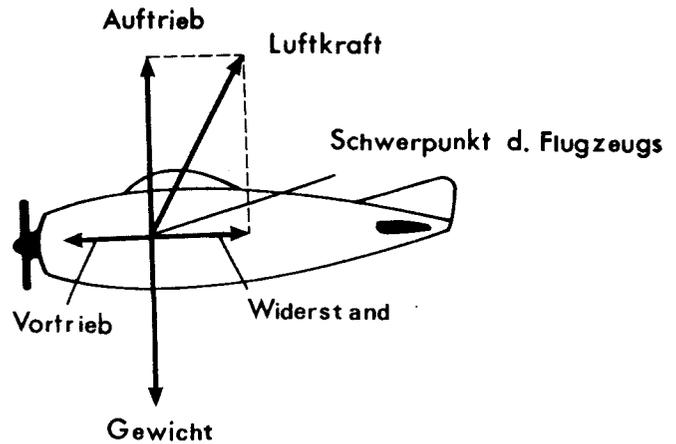
Damit ein Flugzeug aus eigener Kraft fliegen kann, muß der aerodynamische Auftrieb (1) größer sein als die Erdanziehungskraft, d.h. die auf die Flugzeugmasse wirkende Erdbeschleunigung (2).



Der aerodynamische Auftrieb durch Vortrieb und Tragflächen

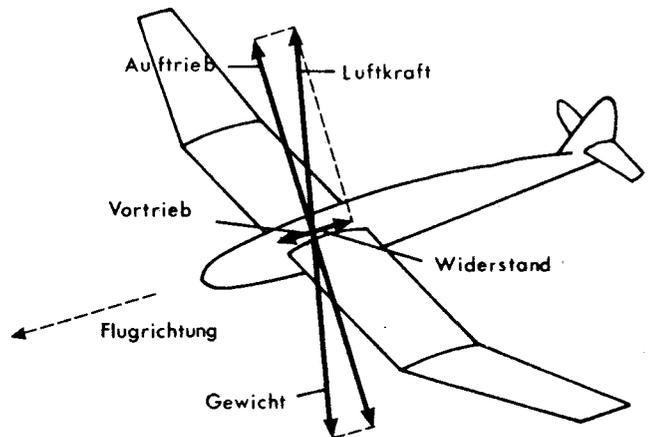
Das angetriebene Flugzeug erzeugt seinen aerodynamischen Auftrieb (1) mit Hilfe der umströmten Tragfläche. Die Strömung entsteht durch den Vortrieb (3) der durch den Luftwiderstand (4), der exponentiell zur Geschwindigkeit anwächst, gebremst wird.

Der hinderliche Luftwiderstand kann durch Stromlinienformgebung verringert werden (vgl. Teil D).



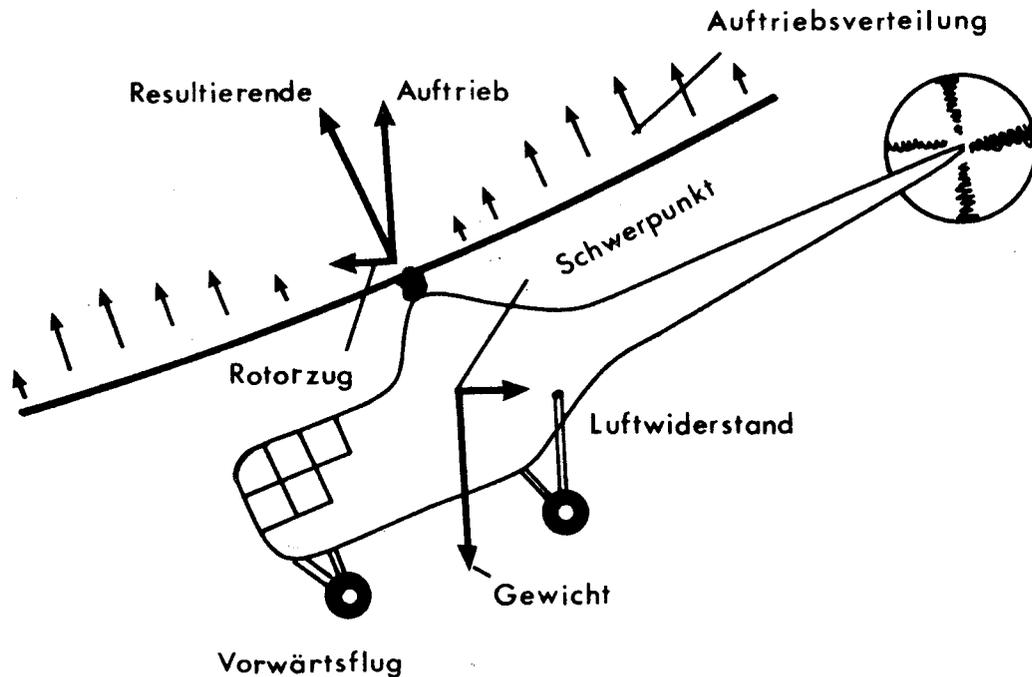
Der Auftrieb beim Gleitflug

Einen Sonderfall stellt der Segelflug dar, weil bei ihm der Vortrieb nicht durch eine Luftschaube erzeugt wird, sondern dadurch, daß die auf das Flugzeug wirkende Schwerkraft durch die extrem großen Tragflächen in einen Sink-Gleitflug umgesetzt wird. Die dabei angeströmten Tragflächen geben dem Flugzeug Auftrieb, so daß das Segelflugzeug bei geringem Sinken in der Höhe große Entfernungen zurücklegen kann. Steigen kann das Segelflugzeug nur durch eine Seilwinde, hinter einem Schleppflugzeug oder in einer nach oben gerichteten Luftbewegung (Prallwind oder Thermik).



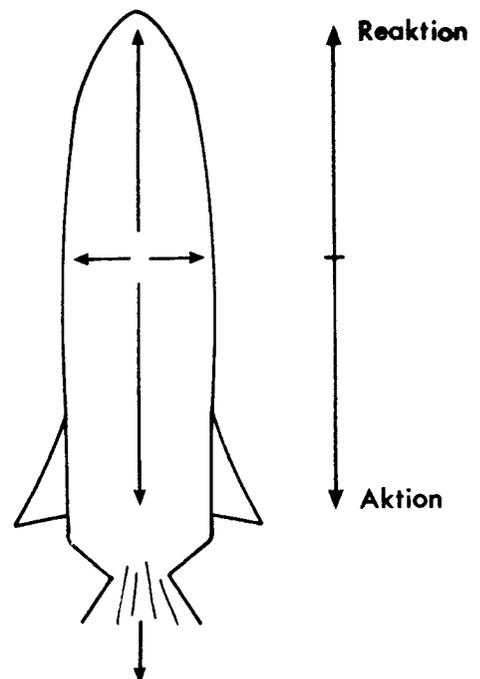
Auftrieb durch Luftschrauben

Während beim Flugzeug die rotierenden Luftschrauben den Vortrieb erzeugen, erzeugt beim Hubschrauber eine senkrechte Rotationsachse den Auftrieb und eine schräg gestellte Rotationsachse den Auf- und Vortrieb zugleich.



Das Rückstoßprinzip (Raketenflug)

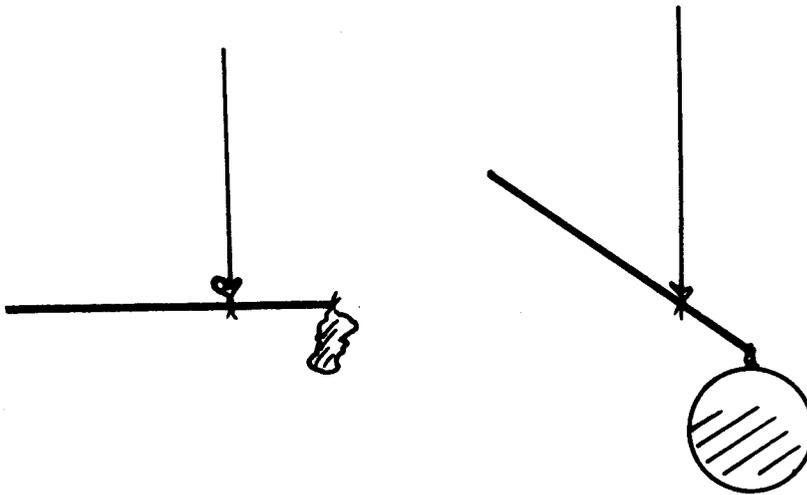
Das Fliegen nach dem Rückstoßprinzip setzt im Unterschied zu den aerostatischen und aerodynamischen Flugprinzipien keine Luft-hülle voraus. Nach dem Actio-Reactio-Prinzip beruht der Rückstoß einer Rakete auf dem Wegstoßen einer Partnermasse (Verbrennung mit großer Kraft ausgestoßener Verbrennungsgase) und nicht dem Abstoßen an irgendwelchen Luftteilchen. Damit eine Rakete von der Erdoberfläche starten kann, muß die Schubkraft (1) größer sein als die Erdanziehungskraft (2). (vgl. Teil E)



A.1 Luft hat Gewicht (Schülerversuch)

Ein gerader Draht (ca. 30 - 40 cm lang) wird durch das Ende eines nicht aufgeblasenen Luftballons gesteckt und an einem Faden waagrecht aufgehängt.

Dann wird der Ballon aufgeblasen und an der gleichen Stelle am Draht befestigt. Man sieht, daß sich die Ballonseite des Drahtes senkt - die Luft im Ballon hat Gewicht.



A.2 Luft hat Volumen

Material:

Erlenmeyerkolben

Stopfen mit einer Bohrung

Stopfen mit zwei Bohrungen

1 Filter der auf Bohrung paßt

1 Winkelglasrohr

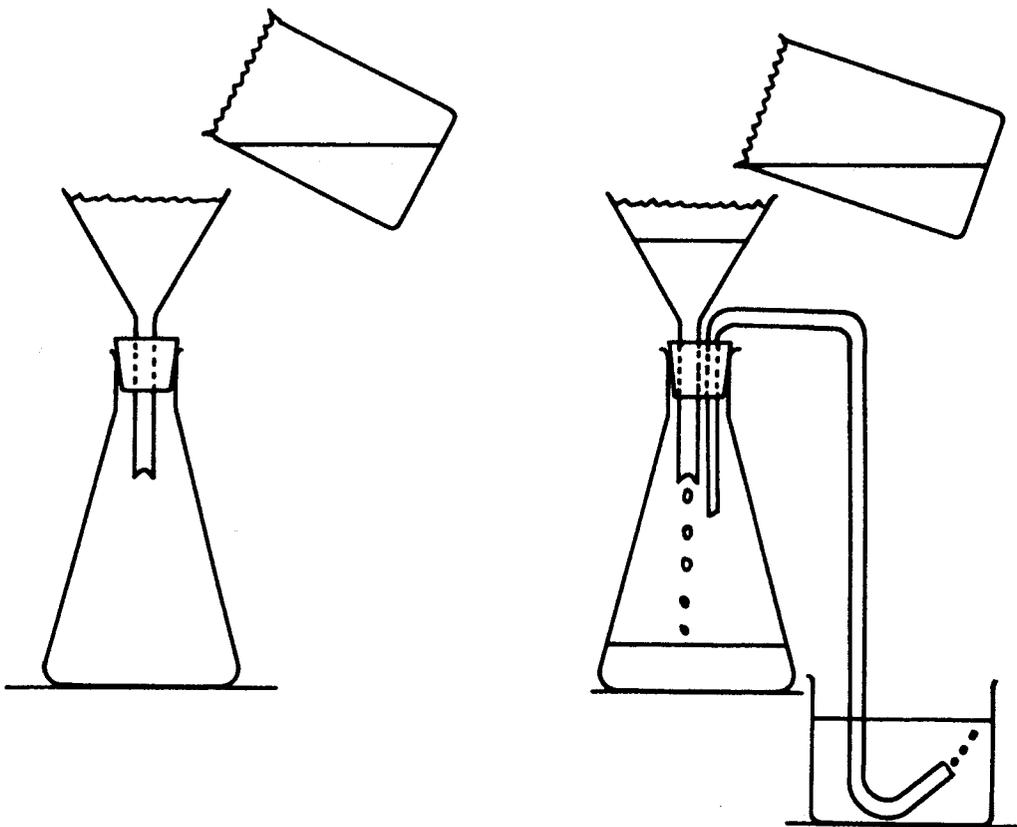
1 Schlauch

2 Standzylinder mit Wasser

Auf einen Erlenmeyerkolben wird ein einfach durchbohrter Gummistopfen gesetzt, der mit einem Trichter versehen wird. Versucht man nun den Kolben mit Wasser zu füllen, stellt man fest, daß das nicht möglich ist.

Erst wenn die im Kolben befindliche Luft entweichen kann, läßt sich der Kolben mit Wasser füllen. Das kann man erreichen durch die Verwendung eines mit zwei Löchern versehenen Stopfens. Die ausströmende Luft kann durch einen Schlauch in ein tieferliegendes Wasserglas geleitet und sichtbar gemacht werden.

(Nach SCHRÖDER u.a. 1973).



A.3 Wir leben auf dem Grund eines Luftmeeres

Sticht man ein Loch in den Deckel einer Kondensmilchdose und versucht, die Milch auszugießen, stellt man fest, daß das nicht gelingt. Nur dann, wenn man auf die Dose drückt, kommt Milch heraus.

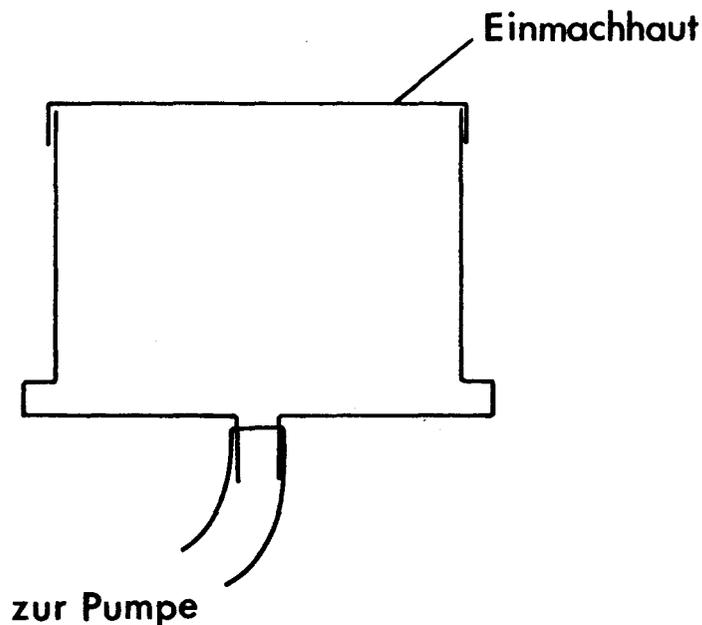
Der Luftdruck hindert die Milch am Ausfließen. Erst wenn man ein zweites Loch in den Deckel sticht, kann die Milch ungehindert ausfließen, da die Luft in den freiwerdenden Raum eindringen kann.

Versuch zum Nachweis der Kraft des Luftdrucks

Material: Ringgefäß mit Anschluß zur Wasserstrahlpumpe, "Einmachhaut"

Man pumpt ein Ringgefäß aus, das mit einer "Einmachhaut" verschlossen ist, und sieht, daß die "Einmachhaut" platzt.

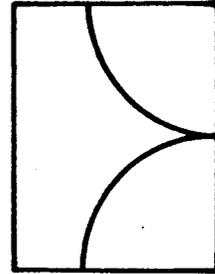
Die umgebende Luft übt einen Druck auf die "Einmachhaut" aus. Dieser Druck ist nur solange unwirksam, solange im Innern des Gefäßes der gleiche Luftdruck herrscht wie außen.



B. Aerostatik I

B.1 Warme Luft ist leichter als kalte

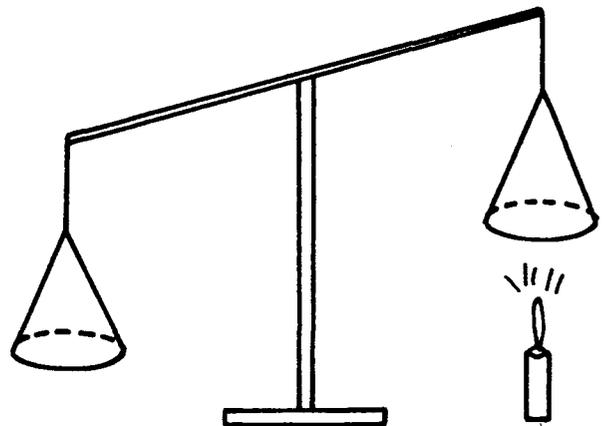
An die Enden einer Balkenwaage hängt man zwei Papiertrichter, die man vorher aus einem DIN-A4-Blatt geschnitten und zu spitzen Tüten zusammengeklebt hat, so daß sich die Waage im Gleichgewicht befindet.



Unter einen Papiertrichter stellt man eine brennende Kerze und stellt fest, daß sich diese Seite der Waage nach oben bewegt.

Im Trichter befindet sich heiße Luft. Diese muß leichter sein als die nicht erwärmte Luft im anderen Trichter (vgl. HEPPMANN 1973).

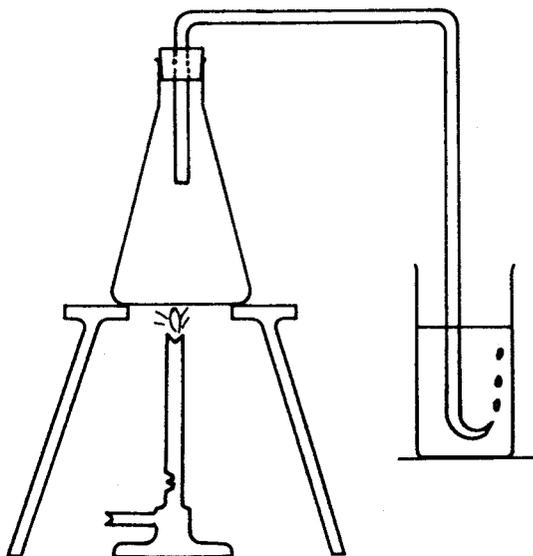
Auf Fragen, warum sich die Seite der Waage mit dem Hütchen über der Kerze hebt, könnten die Schüler statt der richtigen Erklärung, daß heiße Luft leichter sei, auch vermuten, daß es leichtere Verbrennungsgase seien, die sich im Hütchen fangen würden. Sollte diese Theorie auftauchen, bietet sich die Zusatzversuche B.5 an, in denen nachgewiesen wird, daß Verbrennungsgase schwerer sind als Luft.



B.2 Warum Luft beim Erwärmen leichter wird

Ein Erlenmeyerkolben wird auf einen Dreifuß über einen Bunsenbrenner gestellt, mit Stopfen und Glasrohr versehen und mit einem wassergefüllten Zylinder verbunden. Beim Erwärmen der im Erlenmeyerkolben befindlichen Luft dehnt sich diese aus und entweicht durch das Glasrohr in den wassergefüllten Zylinder.

Läßt man die (verbliebene) Luft im Erlenmeyerkolben abkühlen, stellt man fest, daß durch den entstandenen Unterdruck im Kolben die im Glasrohr befindliche Wassersäule etwas ansteigt.



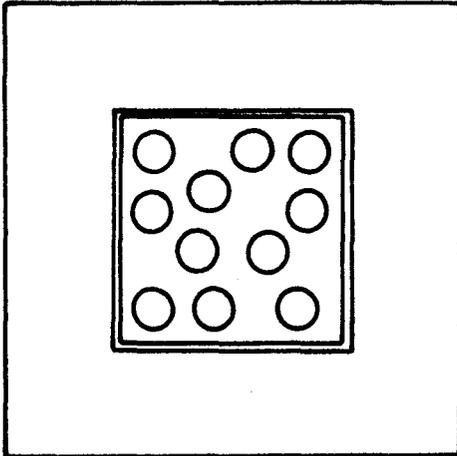
Daß warme Luft (Gase) leichter ist als kalte, ist auf der phänomenologischen Ebene für Schüler leicht einsehbar.

Warum das physikalisch so ist, kann anhand von Versuchen nicht unmittelbar erfahrbar gemacht werden. Hier können (anschauliche) Modellvorstellungen weiterhelfen.

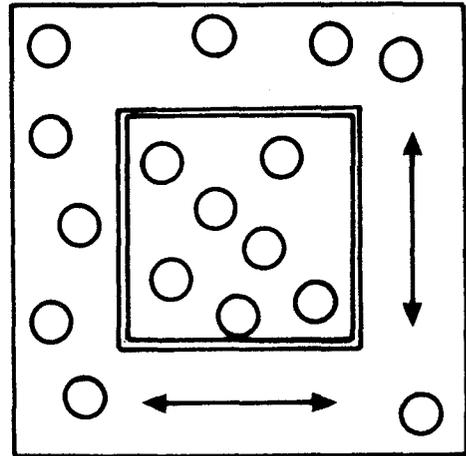
Im Unterschied zu der sonst üblichen Methode, mit Hilfe des spezifischen Gewichts zu argumentieren – eine Methode, die unserer Erfahrung nach vielen Schülern große Schwierigkeiten bereitet – wählen wir den Weg, das Phänomen mit Hilfe der Brownschen Molekularbewegung zu erklären. Hierzu müssen die Schüler die Vorstellung bekommen, daß Luft (Gase) aus kleinen Teilchen besteht (bestehen), die ungeordnete Bewegungen vollführen, und daß bei Wärme-/Energiezufuhr diese Teilchenbewegungen "schneller" werden.

Wir führen folgenden (Modell-)Versuch durch (u.U. kann man auch zwei Filme vorführen; siehe FWU-Verzeichnis, Film Nr. 36 0024 bzw. 36 0025):

In ein auf einem Tablett aufgemaltes Quadrat legen wir eine Anzahl von Murmeln (oder Holzkugeln, Erbsen, ...) zur Veranschaulichung der Luft-/Gas-teilchen. Rüttelt man das Tablett etwas (Veranschaulichung der Wärme-/Energie-zufuhr), so rollen einige Murmeln aus dem Quadrat. Weniger Murmeln (Teilchen) pro Flächeneinheit (genauer: Volumeneinheit) bedeutet also ein geringeres Gewicht.



**a) Vor der Energiezufuhr
(vor dem Rütteln):
Mehr Teilchen pro
Volumeneinheit.**

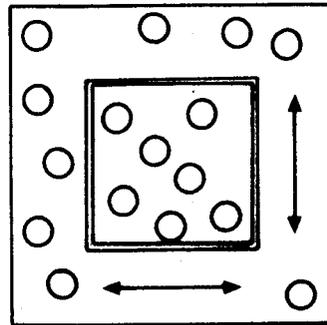
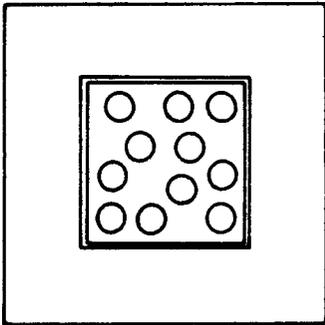


**b) Nach der Energiezufuhr
(nach dem Rütteln):
Weniger Teilchen pro
Volumeneinheit.**

Dieser Sachverhalt lässt sich auf das Problem "Statischer Auftrieb" beim Heißluftballon übertragen (vgl B.3).

ARBEITSBLATT

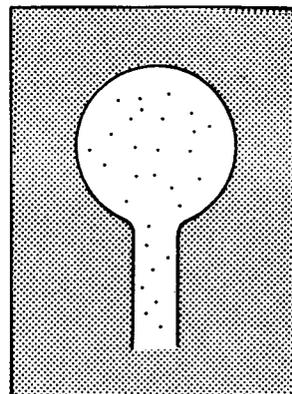
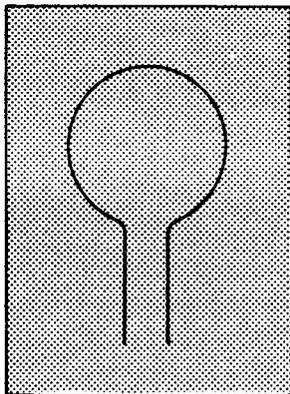
B.3 Warum ein Heißluftballon fliegt



Tablett mit Murmeln vor dem Rütteln

Tablett mit Murmeln nach dem Rütteln

Begründe mit Hilfe der beiden Versuche, warum warme Luft leichter ist als kalte.



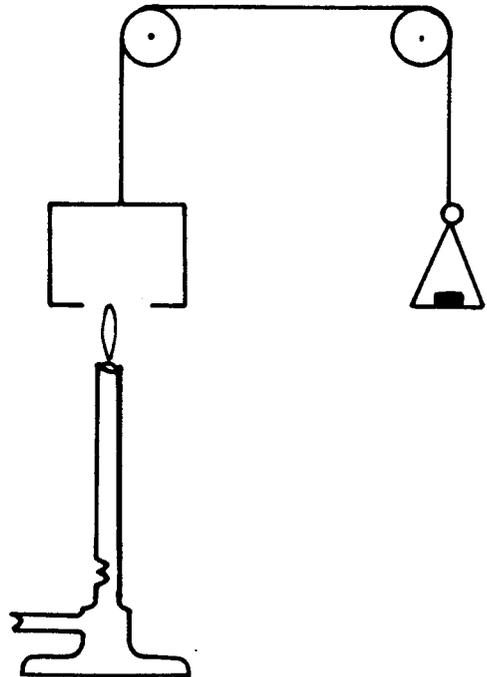
Zwei Heißluftballons mit Luftteilchen

Welcher der beiden Heißluftballons kann fliegen? Begründe!

B.4 Das Prinzip der Montgolfiere

Damit ein Ballon steigen kann, muß er mit einem Gas gefüllt sein, das spezifisch leichter ist als die umgebende Luft (zum spezifischen Gewicht siehe WALZ 1972², S. 13 f).

Man klebt aus leichtem Karton einen Zylinder von etwa 400 mm Höhe und 200 mm Durchmesser und läßt in der unteren Kreisfläche eine Öffnung von 80 mm Durchmesser. Durch den Deckel zieht man mit einer Nähnadel einen Faden, der unterhalb des Deckels durch einen dicken Knoten gehalten wird. Der Faden wird über 2 Rollen geführt und am anderen Ende eine Waagschale aus Karton angebracht. Schließlich wurde die Anordnung mit Schrot austariert.



Unter die Öffnung des Zylinders stellt man einen Bunsenbrenner und hält gleichzeitig den Faden fest, damit der Zylinder nicht bereits durch das ausströmende Gas in Bewegung kommt. Wenn sich der Zylinder hinreichend mit erwärmter Luft gefüllt hat (was nur wenige Sekunden dauert), nimmt man dem Brenner weg und läßt den Faden los. Der Zylinder steigt hoch. Bei den angegebenen Größen beträgt die gemessene Steigung ca. 3 p. Zur Messung kann man eine empfindliche Federwaage am Zylinder befestigen, die sich soweit ausdehnt, daß der Zylinder nicht steigen kann.

Die Steigkraft eines Luftballons wird aus seinem Volumen V , dem Gewicht S von 1 m^3 Luft und s von 1 m^3 Füllgas von 760 Torr und dem Gewicht G , bestehend aus Ballonhülle, Netz, Gondel und Ballast, berechnet.

$$\text{Steigkraft} = V (S - s) - G$$

Bei einem Freiballon, dessen Einfüllstutzen immer offen bleibt, werden S und s beim Aufstieg im selben Verhältnis kleiner.

$S_1 = S * k$ und $s_1 = s * k$, wobei $k = b/760$ Torr bedeutet ($b =$ Barometerstand in der vom Ballon gerade erreichten Höhe).

Der Ballon steigt bis

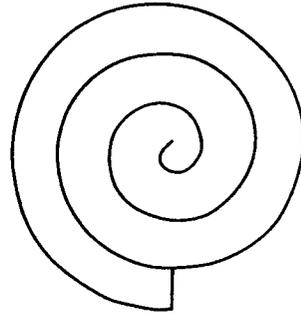
$$V (S_1 - s_1) = V (S - s) k = G$$

oder

$$V (S - s) * b/760 \text{ Torr} = G \text{ ist.} \quad (\text{nach ZEIER (Hg.) 1962, S.180})$$

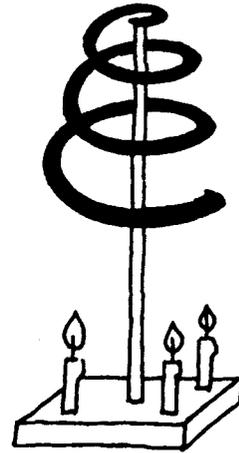
B.5 Versuch mit Kerze und Spirale

Man schneidet aus einem leichten Kartonbogen eine Spirale aus, sticht durch die Mitte des inneren Endes der Spirale eine Stecknadel, die man in einen Korken steckt. Dann befestigt man den Korken an einer Klemme, die an einem Bunsenstativ befestigt ist, so daß die Spirale senkrecht an dem Stecknadelkopf zu hängen kommt.



Unter die Spirale stellt man eine brennende Kerze: Die Spirale beginnt sich zu drehen.
(vgl. MÜNZINGER 1976, SCHRÖDER u.a. 1973)

Die warme Luft steigt nach oben und erzeugt einen Luftstrom, in dem sich die Spirale, die mit dem Luftstrom nicht aufsteigen kann, wie eine Schraube bewegt.



Analoge Modelle:

Weihnachtspyramide und Windmühle (als horizontale Variation)

C. Aerostatik II

C. 1 Wir füllen einen Luftballon mit Wasserstoffgas

Ein Luftballon wird mit Wasserstoffgas gefüllt. Läßt man den Ballon los, steigt er auf, weil sein Gewicht geringer ist als das der von ihm verdrängten Luft.

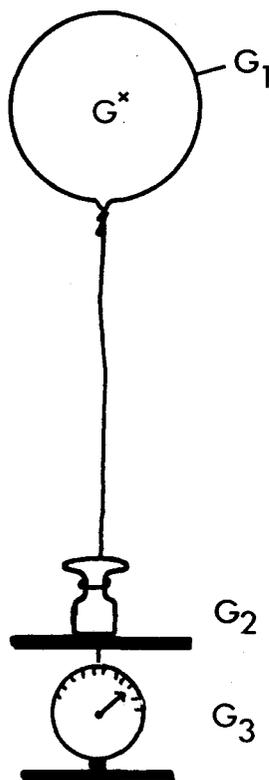
Dichte der Luft:	1,293 g/l
Dichte von Wasserstoff:	0,09 g/l

C. 2 Die Messung des Auftriebs

Man füllt einen Luftballon, dessen Leergewicht G_1 beträgt, mit Wasserstoff oder Leuchtgas. Damit er nicht aufsteigen kann, wird ein Faden mit einem Gewicht angebracht. Dieses Gewicht legt man auf eine Waage (Briefwaage). Die Waage zeigt nicht das Gewicht G_2 des Wägestücks an, sondern ein kleineres Gewicht G_3 . Daraus läßt sich der Auftrieb A berechnen:

$$A = (G_1 + G_2 + G^* \text{ (Gewicht der Gasfüllung)}) - G_3$$

(nach ZEIER (Hrsg.), 1962, S.179)

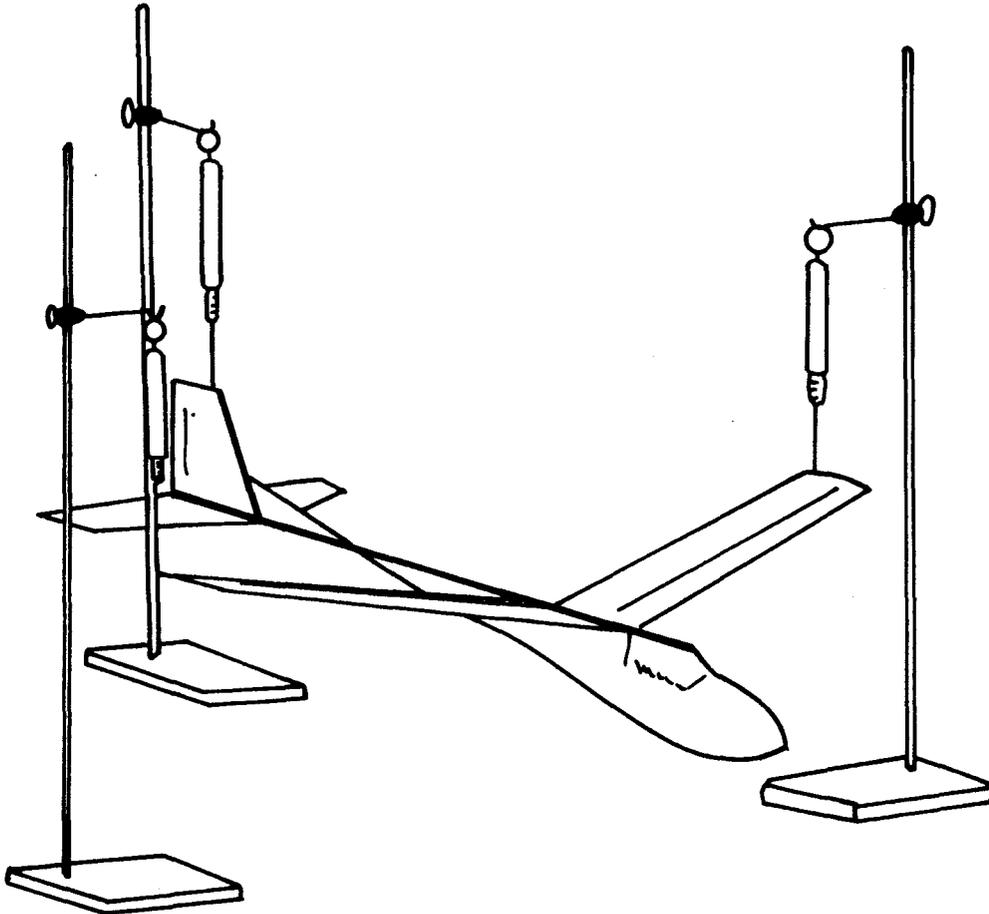


D Aerodynamik

D.1 Aerodynamischer Auftrieb

D.1.1 Warum Flugzeuge leichter werden können: Auftrieb an einem Flugmodell

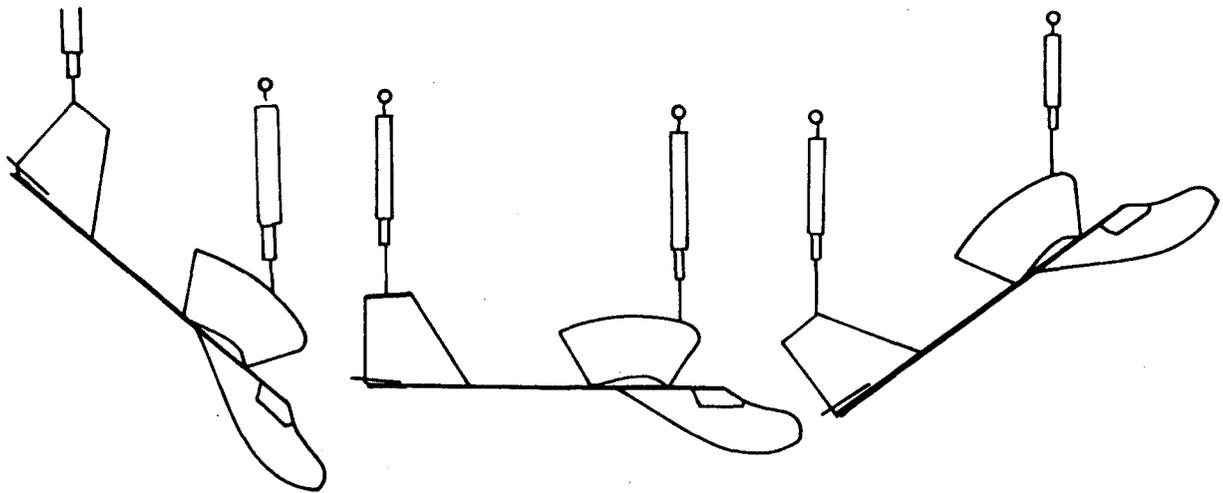
Ein Flugmodell wird in der skizzierten Weise an drei Kraftmessern aufgehängt.



Bei der Befestigung des Modells ist darauf zu achten, daß die beiden seitlichen Federwaagen kurz vor dem Schwerpunkt liegen, das Modell ohne die hintere Federwaage also "schwanzlastig" ist.

Durch ein Höherstellen der hinteren Federwaage bekommt das Flugmodell einen negativen Anstellwinkel. Wird die Federwaage abgesenkt, so erhält das Flugzeug einen positiven Anstellwinkel.

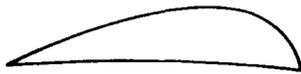
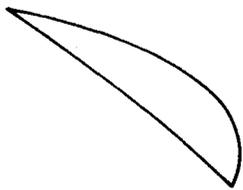
Mit Hilfe der 3 Federwaagen lassen sich unterschiedliche Anstellwinkel einrichten.



Negativer Anstellwinkel

Ohne Anstellwinkel

Positiver Anstellwinkel



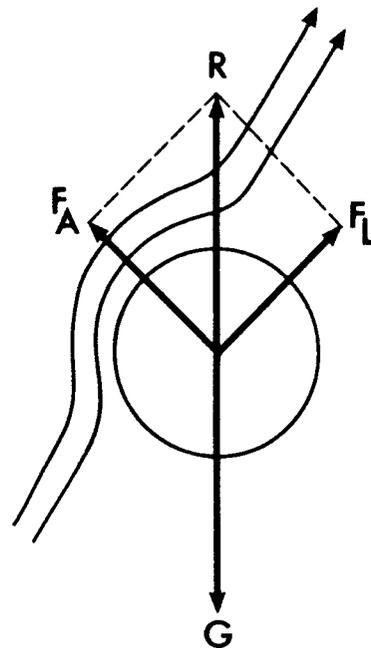
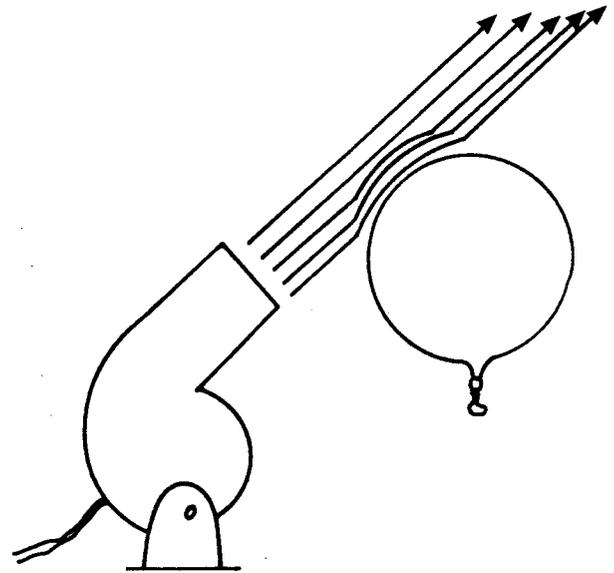
Zu diesem Versuch sind folgende Überlegungen hilfreich: Warum stürzt das Flugzeug nicht wie ein Stein ab? Wenn es Luftpolster sind, die das Flugzeug tragen, warum bilden sich diese augenscheinlich nur bei einer Vorwärtsbewegung?

Den Schülern soll deutlich werden, daß das Flugmodell nicht steht, sondern sich bewegt und dadurch die Luftteilchenbewegungen an den Tragflächen zustande kommen.

Bei Inbetriebnahme des Winderzeugers zeigen die Federwaagen ein deutlich geringeres Gewicht. Das Flugzeug beginnt sich leicht zu heben. Das bedeutet: Werden gewölbte Flächen von einem Luftstrom umflossen, so entsteht an ihrer Oberfläche ein Sog. Diese Kraft wird als Auftrieb bezeichnet. Weiter helfen die Versuche D.1.5 und D.1.6.

D.1.2 Versuch mit einem Luftballon mit Gewicht unterhalb eines Luftstroms

An einem mit Luft gefüllten Ballon wird mit Draht ein kleines Gewicht befestigt, sodaß der Ballon auf den Boden sinkt. Hält man jedoch den Ballon in einen schräg aufgerichteten Luftstrom eines Winderzeugers (z.B. Fön), so pendelt sich der Ballon an einer bestimmten Stelle am unteren Rand des schrägen Luftstroms ein und sinkt nicht zu Boden. Der gewölbte Rand des Ballons wird von der Luftströmung angeströmt, so daß ein Sog entsteht. Der Sog ist darauf zurückzuführen, daß die Luft über der Wölbung einen größeren Weg zurückzulegen hat und daher schneller fließt. Dieser Sog ist die Ursache des Auftriebs, den der Ballon erhält. Der am Rande des Windstrahls hängende Ballon stellt sich von selbst so ein, daß die Resultante R seiner Gewichtskraft G gleich ist. Dabei resultiert die Kraft R aus dem Auftrieb F_A und der Kraft der aufprallenden Luftteilchen F_L .

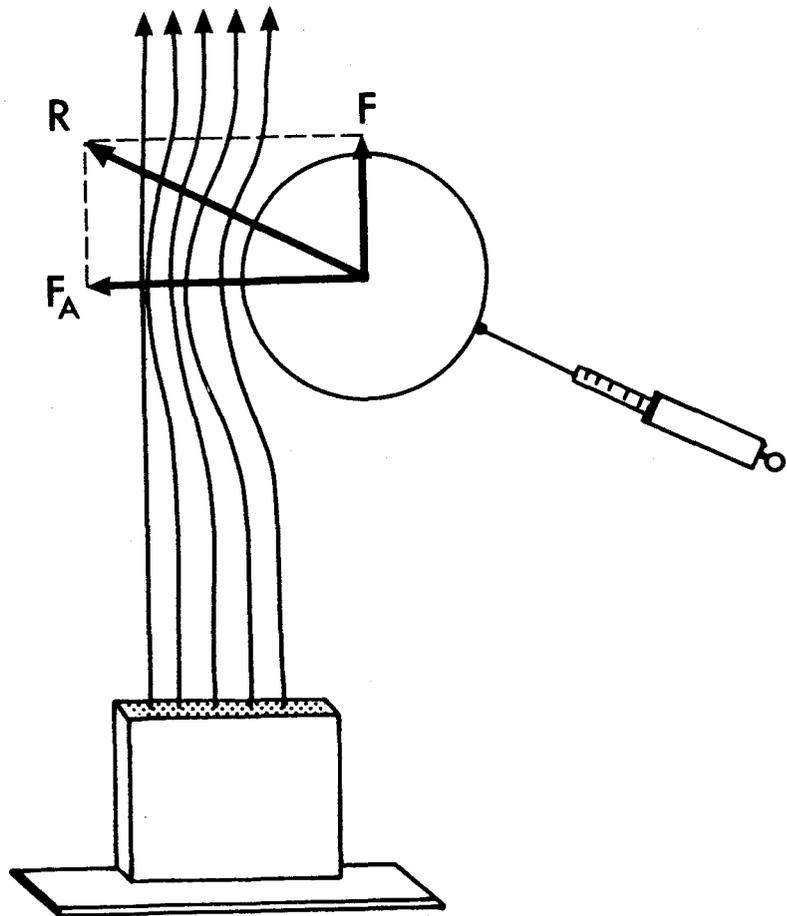


(vgl. HEEPMMANN 1973, ESTEL u.a. in: GIRKE-SPROCKHOFF 1965)

D.1.3 Messung der Zugkräfte an einem angeströmten Ballon mittels einer Federwaage

Der aufgeblasene Ballon wird an einer Federwaage (im Meßbereich von 100 p) befestigt und in den Luftstrom gehalten. Durch Ausziehen der Federwaage läßt sich nun die "Saugkraft" an der umströmten Wölbung des Ballons messen.

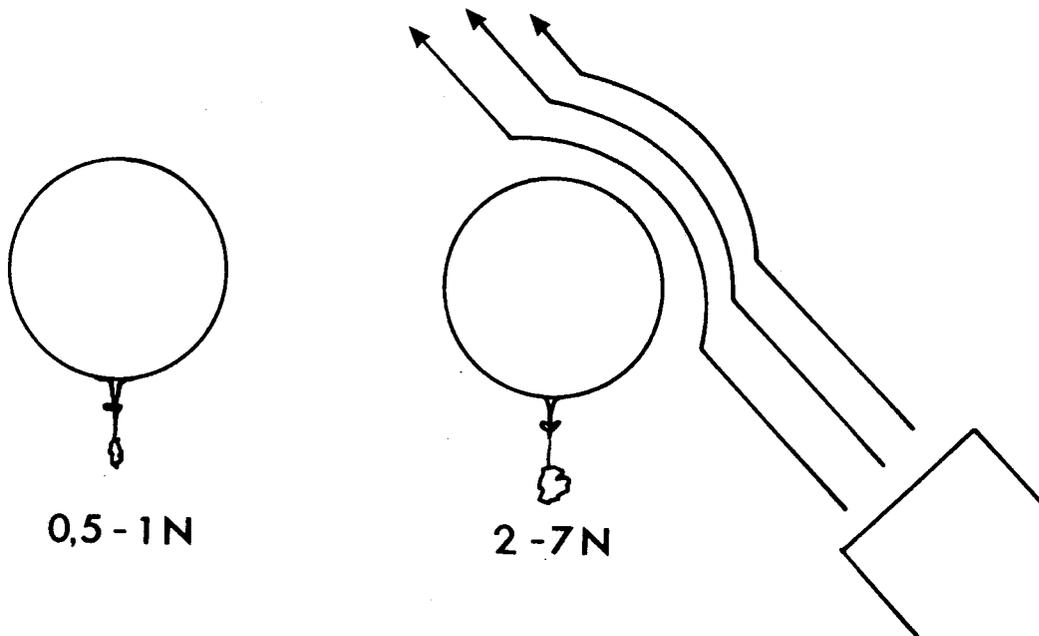
(nach HEEPMMANN 1973)



D.1.4 Zum Vergleich der Stärke des aerodynamischen und des aerostatischen Auftriebs an einem Ballon

Um zu veranschaulichen, daß bei Objekten gleicher Größe der aerodynamische Auftrieb effektiver zu nutzen ist als der aerostatische, kann folgender Versuch unternommen werden.

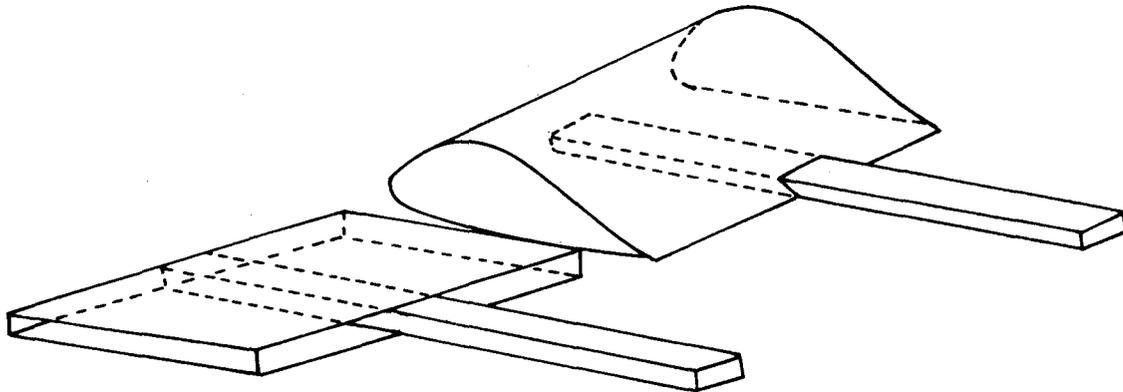
Ein Luftballon wird mit Wasserstoffgas, und ein weiterer Luftballon mit Luft so weit gefüllt, daß sie den gleichen Umfang besitzen. Mit kleinen Gewichten, die man an den Wasserstoffballon hängt, ermittelt man dessen Auftriebskraft. Man befestigt so viele Gewichte, daß er gerade noch fliegt (ca. 0,5 N).



An den mit Luft gefüllten Ballon (der keinerlei aerostatischen Auftrieb hat) befestigt man ebenfalls ein Gewicht von 0,5 N und hängt den Ballon unter die Strömung einer schräggestellten Windmaschine. Der Ballon wird nun so lange mit Gewichten beschwert, bis er ca. 40 cm oberhalb der Mündung der Windmaschine ruhig hängt. Ein Vergleich der Tragfähigkeit des angeströmten Ballons mit dem gasgefüllten Ballon zeigt, daß die durch die umströmte Wölbung entstehende Kraft um ein vielfaches größer ist, als die Auftriebskraft am gleich großen mit Wasserstoff gefüllten Ballon.

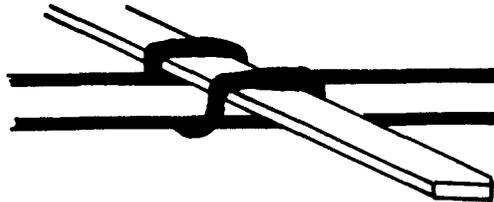
D.1.5 Auftriebsunterschiede an einer ebenen und gewölbten Fläche

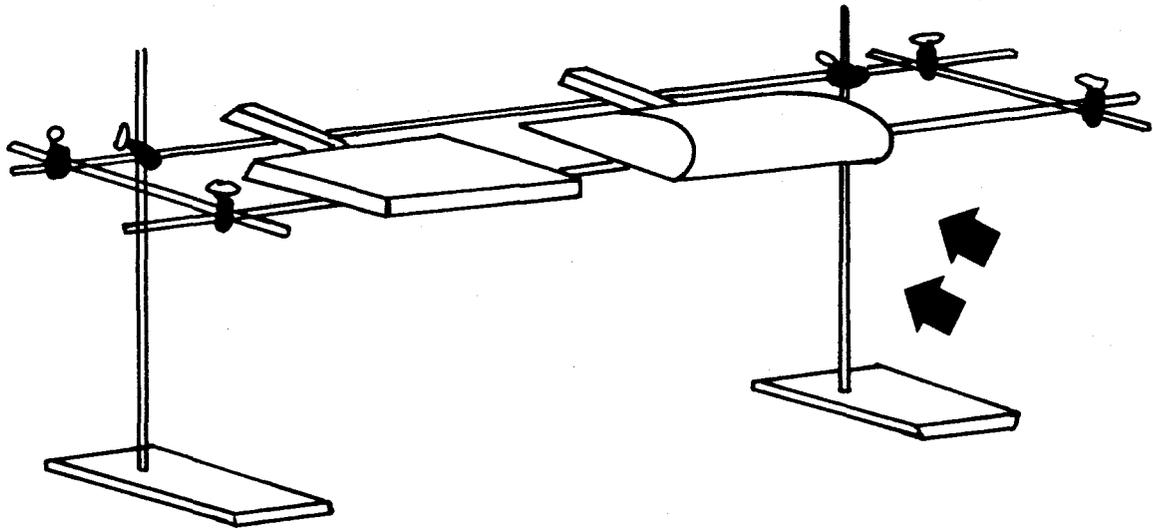
Für diesen Versuch ist der Selbstbau zweier unterschiedlicher Flächenteile
- bestehend aus Karton und Holzleisten - notwendig:



Diese Flächenteile werden in den u.a. Aufbau aus Stativmaterial eingebaut.

Die Flächenteile sollten
wie abgebildet mit einem
Wollfaden an der Stativ-
stange befestigt werden.





Bei der Justierung vor Durchführung des Versuchs ist darauf zu achten, daß beide Flächen leicht negativ angestellt werden, ca. 5 Grad - Probieren bringt da die richtige Lösung!

Wird das Gebläse nun eingeschaltet, so zeigt sich, daß sich die ebene Fläche (wegen des negativen Anstellwinkels) nicht bewegt; die gewölbte Fläche dagegen hebt sich - trotz des geringen negativen Anstellwinkels - und kippt nach hinten.

Trotz des geringen Anstellwinkels erfährt die angeströmte gewölbte Fläche einen Unterdruck auf der Flächenoberseite. Bei der geraden Fläche ist dies nicht der Fall.

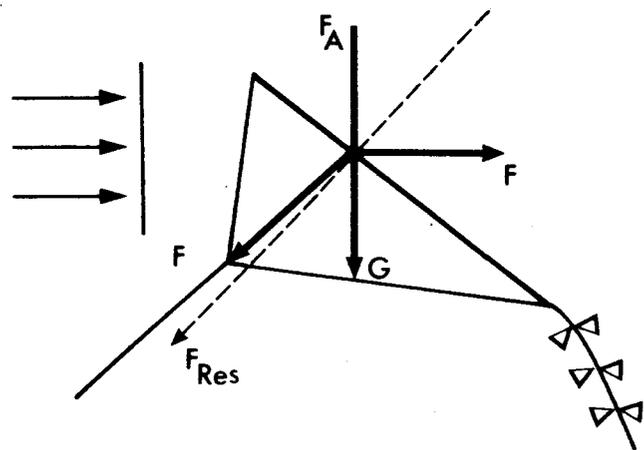
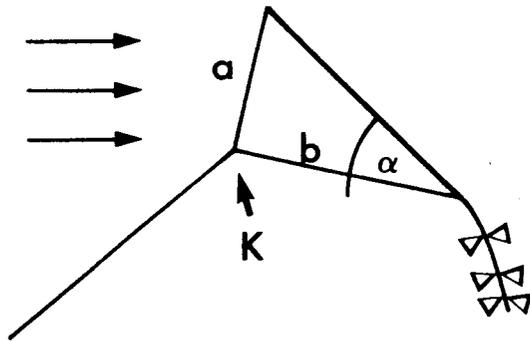
Wird durch Höherstellen der vorderen Stativstangen der ebenen Fläche ein positiver Anstellwinkel verliehen, so wird diese Fläche ebenfalls nach oben/hinten kippen. An diesem Prinzip läßt sich auch demonstrieren, warum ein Drachen fliegt (siehe D.1.6).

D.1.6 Drachen mit verschiedenen Anstellwinkeln und Schwänzen

Die meisten Schüler haben Erfahrungen mit dem Steigenlassen von Drachen. Die Frage, warum ein Drache fliegt, wird vermutlich mit einem Vorwissen dahingehend beantwortet, daß mehr oder weniger richtig die Schnur und der Wind für den Auftrieb verantwortlich gemacht werden.

Bei Versuchen einen Drachen steigen zu lassen, sollte der "Anstellwinkel" dadurch vergrößert und verkleinert werden, daß das Verhältnis der Seiten a und b durch Verschieben des Knotens K verändert wird.

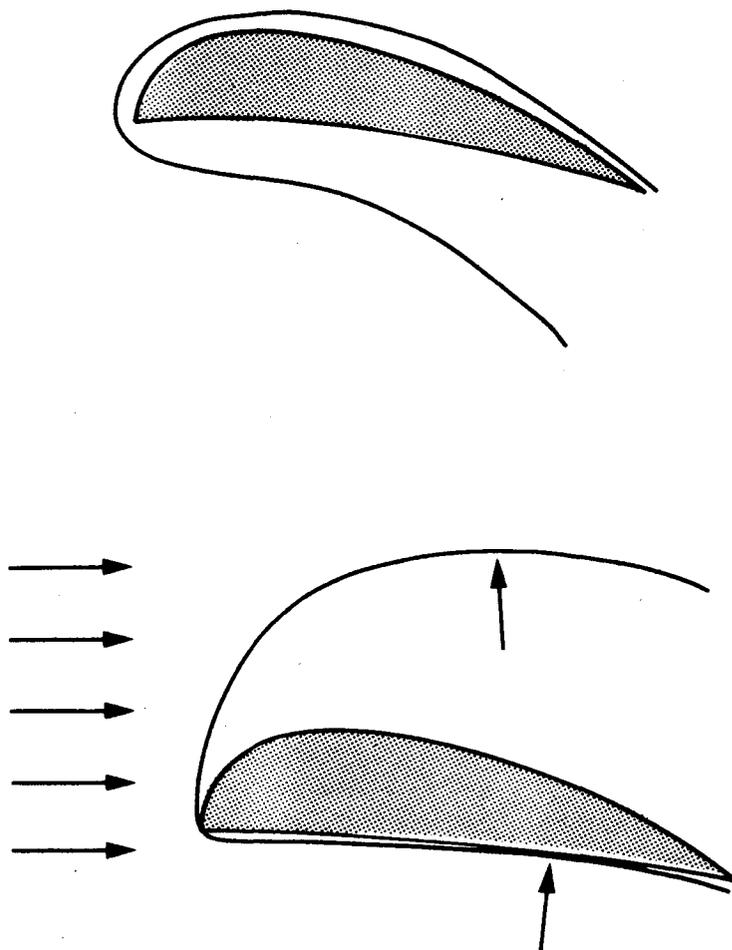
Die am Drachen auftretenden Kräfte müssen sich ausgleichen. Bei zu kleinen bzw. zu großen Anstellwinkeln "schießt" der Drache oder stürzt ab (nach HEEPMMANN 1973).



D.1.7 Versuch zur Veranschaulichung der Druckverhältnisse an einem umströmten Tragflächenmodell

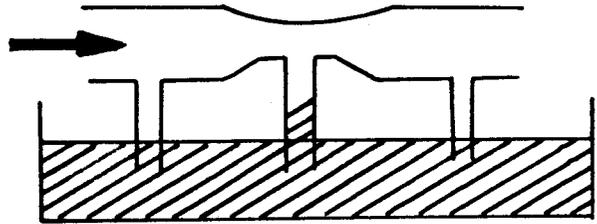
Ein Tragflächenmodell (z.B. PHYWE Nr. 02788.00) wird durch ein zurecht-geschnittenes Papierblatt umhüllt. Das Papier wird so gebogen, daß es an der Wölbung der Tragfläche anliegt.

Wird nun die umkleidete Tragfläche in den Luftstrom eines Winderzeugers gebracht, so zeigt sich, daß das Papier über der Wölbung abhebt und unter dem Flügel eng anliegt - an der Unterseite der Tragfläche herrscht Druck, an der Oberseite Sog (Unterdruck).

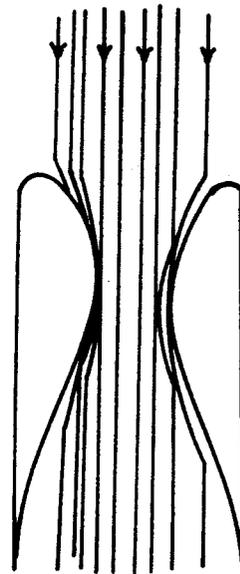


D.1.8 Demonstration des Sogs der Luftströmung in einem Venturirohr

Man bläst mit einem Gebläse (Fön) durch ein Venturirohr, dessen Ansatzröhrchen in einer mit gefärbtem Wasser gefüllten Schale stehen. Dabei stellt man fest, daß im Röhrchen, das mit der Verengung verbunden ist, das Wasser hochsteigt.

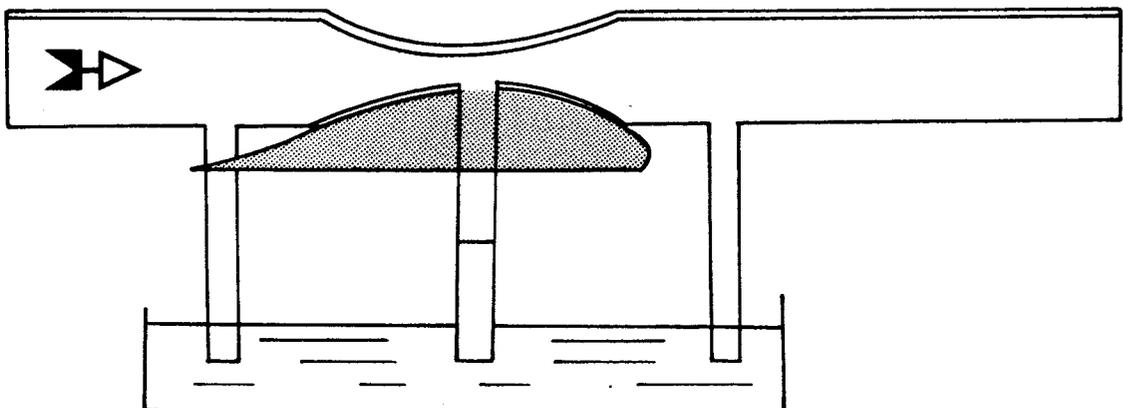


In der Verengung ist die Strömungsgeschwindigkeit der Luft größer als an den weiten Stellen des Rohres. Diese Geschwindigkeitserhöhung bewirkt eine Senkung des auf die Rohrwandung ausgeübten Drucks, sodaß ein Sog (Unterdruck) im Ansatzrohr entsteht.



Um den Schülern die Bedeutung des Unterdrucks für den aerodynamischen Auftrieb zu veranschaulichen, kann der Hinweis sinnvoll sein, die untere Linie der Verengung des Venturirohres mit dem oberen Profil einer Tragfläche zu vergleichen.

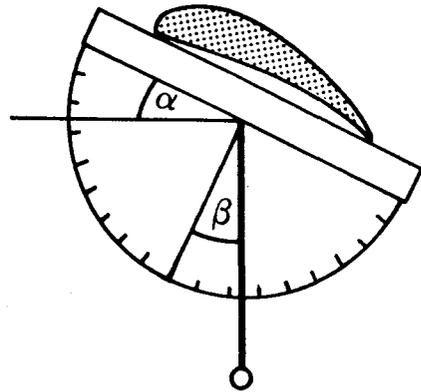
Der Schnitt von dem Tragflächenmodell zum Venturi-Rohr.



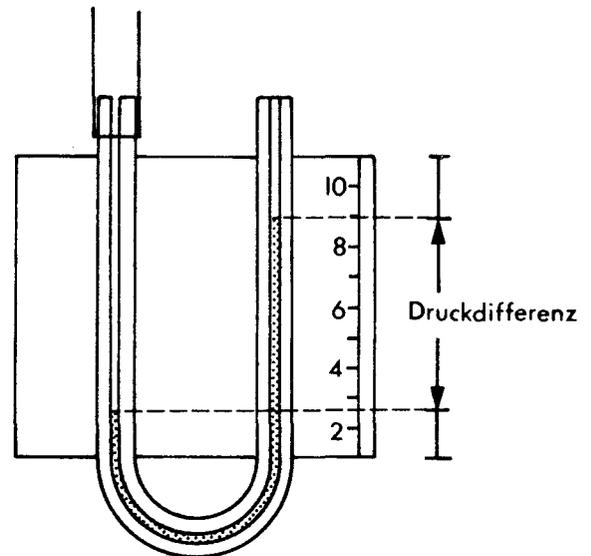
Tragflächenprofil aus Pappe als Abstraktionshilfe

D.1.9 Messungen der Druckverteilung an einer umströmten Tragfläche bei verschiedenen Anstellwinkeln

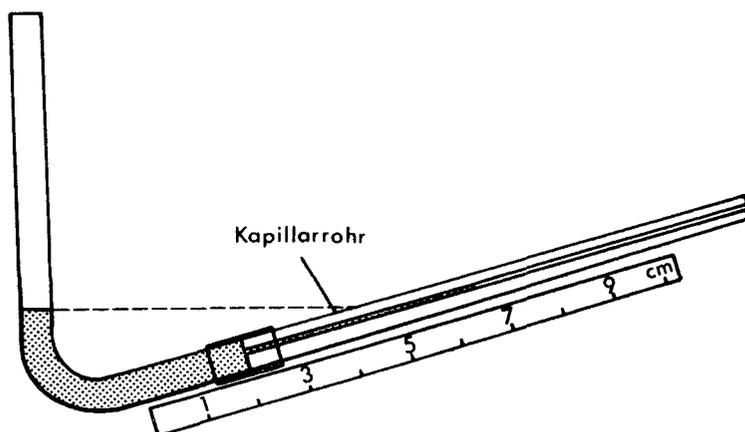
Um den Anstellwinkel einer Tragfläche zu bestimmen, ist der Tafelwinkelmesser sehr hilfreich, der mit einem Lot versehen wird. Man mißt den Anstellwinkel zwischen dem Lot rechts und der 90° Marke. Fällt das Lot rechts von der 90° Marke, so ist der Anstellwinkel positiv, ist das Lot links davon, so ist der Anstellwinkel negativ. Mit den Anstellwinkeln 0°, +10° und -10° sollten Messungen an den Meßdüsen gemacht werden.



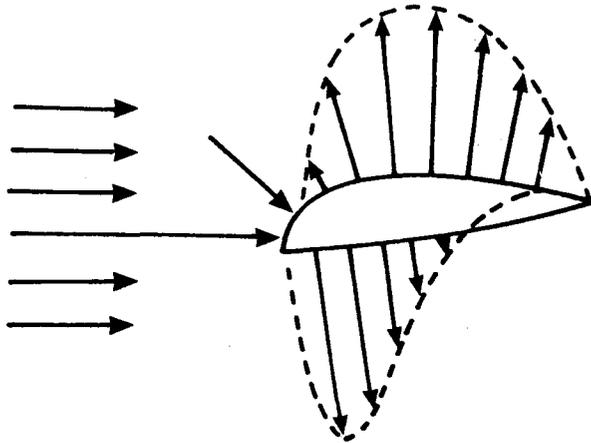
Befestigt man an einem U-Manometerröhrchen eine Pappe mit Millimeterpapier, so läßt sich durch Messungen an den Meßdüsen bei den 3 Anstellwinkeln (+10°, 0°, -10°) eine Tabelle erstellen, aus der man ein Kräfteprofil entwickeln kann. Hierzu werden die abgelesenen Millimeterdifferenzen mit dem Faktor 2 - 8 multipliziert und als Pfeil in eine Querschnittszeichnung an die Stelle der entsprechenden Meßdüse eingetragen. Sollten die Druckunterschiede mit einem U-förmigen Manometer nicht abzulesen sein, weil sie zu gering sind, so kann man auch Mikromanometer verwenden (nach ESTEL u.a. in GIRKE-SPROCKHOFF 1965).



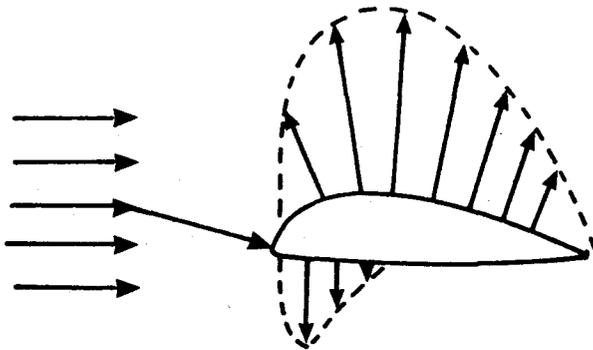
Diese selbstanfertigbaren Manometer aus Pappe, Millimeterpapier und Glas- bzw. Kapillarrohr sind sehr gut für die Druckmessung an der Tragfläche geeignet. Als Anzeigeflüssigkeit sollte z.B. Wasser mit Eosin als Färbemittel verwendet werden. Eine besonders gute Ablesegenauigkeit ergibt sich bei der Verwendung sehr feiner Kapillarrohren.



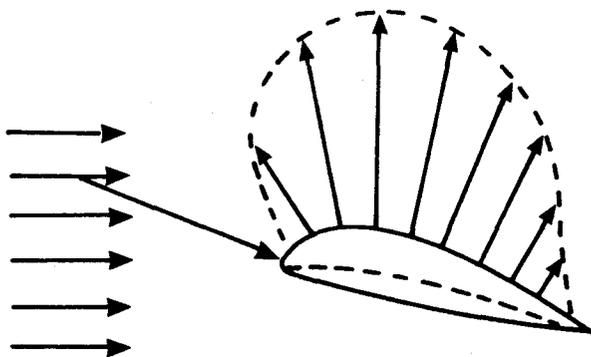
Unterdruck-Kräfte (Soge) sind von der Düse nach außen und Überdruck-Kräfte sind von der Düse nach innen gerichtet.



Anstellwinkel - 10°



Anstellwinkel 0°

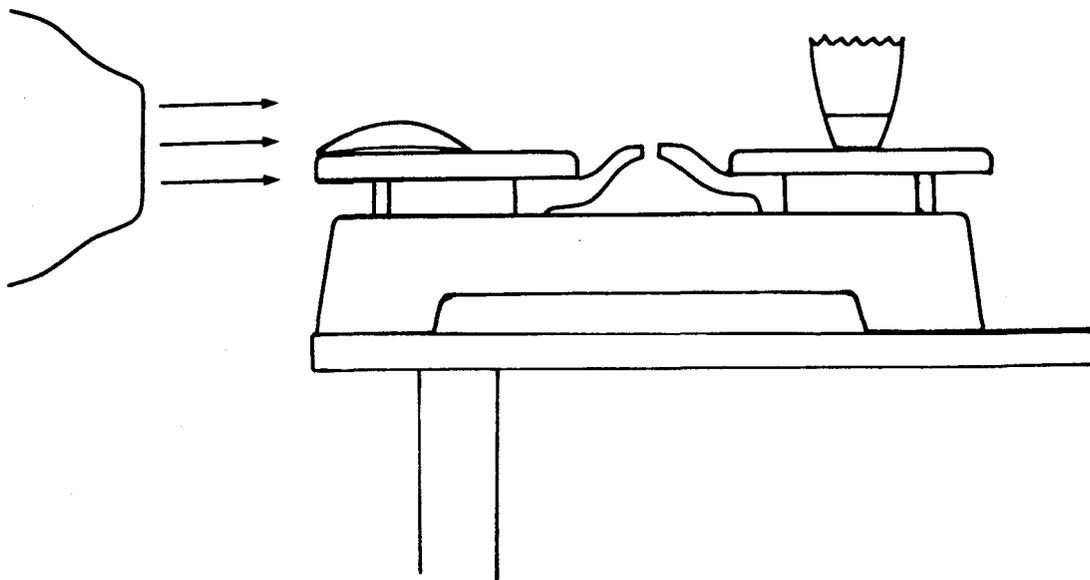


Anstellwinkel + 10°

D.1.10 Messungen des Auftriebs eines Tragflächenmodells mit Hilfe einer Tafelwaage (bei verschiedenen Anstellwinkeln)

Ein Tragflächenmodell wird mit seinem Stiel mit Hilfe von Klammern an einer Tafelwaage festgeklemmt und durch Gewichte auf der anderen Seite der Waage austariert. Mit Hilfe eines Tafel-Winkelmessers mit Lot wird ein bestimmter Anstellwinkel eingestellt. Die Messungen können mit den Anstellwinkeln -20° , -10° , $+20^\circ$, $+30^\circ$, $+40^\circ$ erfolgen. In einem Abstand von der Tragfläche wird ein Gebläse aufgestellt, dessen Luftstrom waagrecht ausgerichtet ist. (Der Abstand muß bei allen Versuchsmessungen gleich bleiben!)

Schaltet man das Gebläse ein, so gerät die Waagschale ins Ungleichgewicht (bei negativen Anstellwinkeln über 10 Grad wird sie nach unten gedrückt, sonst nach oben). Durch Ausbalancieren mit Bleischrot in einem Glas kann die Waage gegen die Auftriebskräfte wieder ins Gleichgewicht gebracht werden. Wiegt man anschließend den Bleischrot, so hat man ein Äquivalent für die Auftriebskraft (nach ESTEL u.a. in GIRKE-SPROCKHOFF 1965).

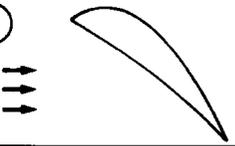
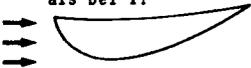
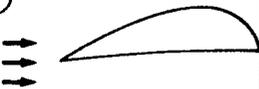


ARBEITSBLATT

Welche Stellung muß das Tragflächenmodell in der Luftströmung haben, um möglichst viel Gewicht tragen zu können?

Stellt zunächst Vermutungen an!

Danach überprüft ihr eure Vermutungen, indem ihr Messungen durchführt.

	Was wird passieren? (Vermutung)	Gemessener Auftrieb bzw. Abtrieb in Pond (g)
① 		
② 		
③ 		
④ 		
⑤ Was ist hier anders als bei 1? 		
⑥ Fliegt ein Flugzeug so? 		
Wir haben außerdem probiert:		

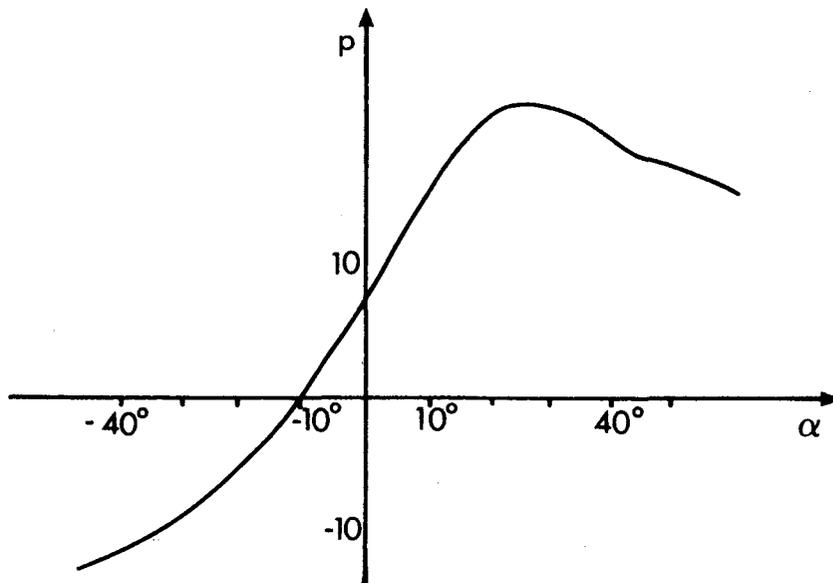
Material:

Tafelwaage, 2 Klemmen, Winderzeuger, Gewichtssatz, Glas, Tarierschrot, gestieltes Tragflächenmodell, Winkelmesser mit Lot.

Wie mißt man den Auftrieb oder Abtrieb?

1. Tragfläche und Waage werden so aufgebaut, daß die Tragfläche genau im Strom des Gebläses steht.
2. Danach bringt man die Waage ins Gleichgewicht (die Gewichte notieren!).
3. Man neigt die Tragfläche so, wie das in der Tabelle angegeben ist und stellt das Gebläse an.
4. Man beobachtet, ob die Tragfläche leichter oder schwerer wird (Flieger sagen, "einen Auftrieb oder Abtrieb erhält") und notiert das.
5. Man legt so lange Gewicht auf die Waage, bis sie wieder im Gleichgewicht ist. Paßt dabei auf, daß Ihr die neuen Gewichte von den alten unterscheiden könnt, die schon vorher auf der Waage waren!

Führt man die Messungen bei verschiedenen Anstellwinkeln und gleichbleibendem Windstrahl durch, so kann sich in etwa folgendes Diagramm ergeben.



(nach ESTEL u.a. in GIRKE-SPROCKHOFF 1965)

Eine Variation dieses Versuchs besteht darin, bei einer drosselbaren Windmaschine die Windgeschwindigkeit bei gleichem Anstellwinkel zu variieren. Auch hierdurch kann eine Änderung des Auftriebs erfolgen.

Daß nicht alle modernen Flugzeuge einen so großen Anstellwinkel haben, wie er als der wirksamste herausgefunden wurde (z.B. + 20 Grad), hängt mit der Zunahme des Luftwiderstandes einer umströmten Tragfläche bei zunehmendem Anstellwinkel zusammen.

D.2 Untersuchungen zum Widerstand fester Körper in Strömungen (Luftwiderstand)

D.2.1 Es liegt am Luftwiderstand, wenn Körper mit unterschiedlichem Gewicht und unterschiedlicher Form verschieden schnell fallen oder gleiten

Ein eindrucksvoller Versuch zur Demonstration des Luftwiderstands bei fallenden Körpern ist der mit einer zu evakuierenden langen Röhre, einer sog. Fallröhre, in der sich ein Stein und eine Feder befinden.

Nimmt man die Röhre senkrecht in die Hand und dreht sie um 180 Grad, so sieht man, daß der Stein sofort fällt, während die Feder langsam nach unten schaukelt. Die Erklärung der Schüler werden meist auf das unterschiedliche Gewicht, vielleicht aber auch auf die unterschiedliche Form beider Körper abzielen.

Um so verblüffender ist dann der Effekt, wenn die Röhre luftleer gepumpt wird und nun der Stein und die Feder beinahe gleich schnell fallen.

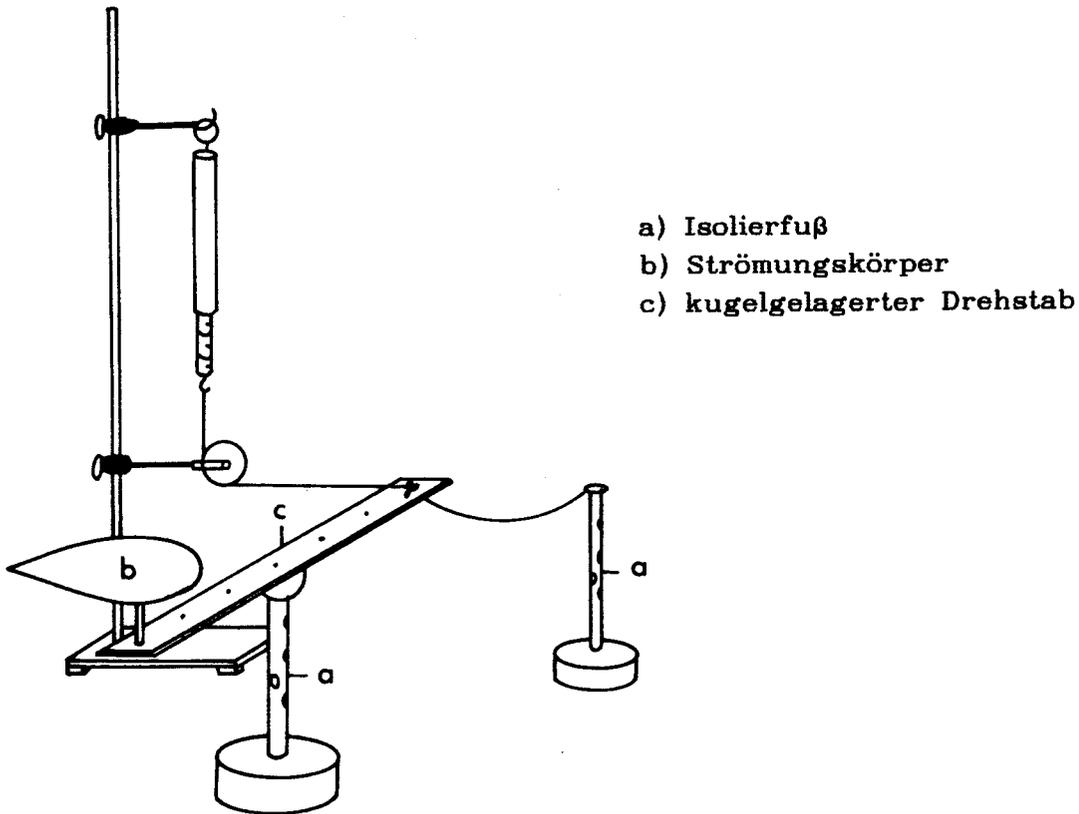
Hinweis: Beim Pumpen Ventil öffnen, dann schließen und dann erst den Schlauch der Pumpe abziehen.

In der Luft ist die Fallzeit von Körpern von ihrem Gewicht und ihrer Form abhängig. Da die Luft dem fallenden Körper einen Luftwiderstand entgegensetzt, hängt von diesem Luftwiderstand die Fallzeit ab. Nur im Vakuum ist die Fallzeit unabhängig von Gewicht und Form des Körpers.

Material:

Fallröhre (z.B. von PHYWE, Nr.02500.00) mit Ventil, Feder und Stein, Vakuumpumpe mit Schlauch

D.2.2 Versuch zur Untersuchung des Strömungswiderstandes an verschiedenen Widerstandskörpern



- a) Isolierfuß
- b) Strömungskörper
- c) kugelgelagerter Drehstab

Grundlage des Versuchsaufbaus bildet ein Drehstab, der kugelgelagert ist und auf eine Isolierstütze montiert werden kann.

Bei diesem Versuch können die Strömungskörper sowohl aus starkem Karton oder aus Knetmasse hergestellt werden.

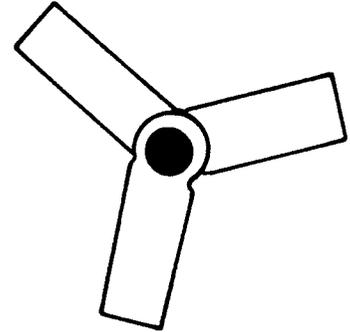
Bei der Herstellung der Strömungskörper sollte darauf geachtet werden, daß der Strömungskörperquerschnitt stets gleich groß sein sollte, da sonst die Messungen nicht vergleichbar sind.

Vielleicht läßt man die Schüler ohne diesen Hinweis arbeiten, nach einigen "Fehlschätzungen" kommen sie auch allein auf diese Gesetzmäßigkeit.

D.3 Aerodynamischer Vortrieb durch Luftschrauben

D.3.1 Kerze im Luftstrom eines ebenen Propellers

Auf Pappe wird eine dreiblättrige Propellerschraube gezeichnet und ausgeschnitten. Dieser Propeller wird in der Mitte durchbohrt, auf die Drehwelle eines Elektromotors gesetzt und mit etwas Klebeband so befestigt, so daß er sich drehen kann. In etwa zwanzig Zentimetern vor dem Propeller wird eine brennende Kerze aufgestellt. Stellt man den Elektromotor an, so zeigt sich, daß die Kerze kaum flackert.



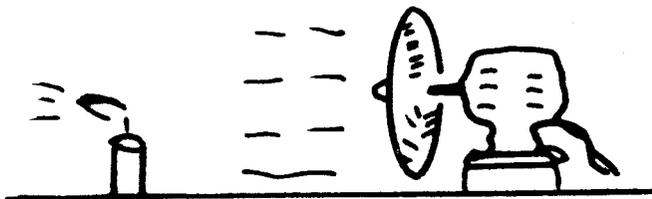
Der Propeller vermag keinen ventilatorähnlichen Luftstrom zu erzeugen, weil seine Blätter nicht verwunden sind.

D.3.2. Kerze im Luftstrom eines verwundenen Propellers

Verwindet man die drei Blätter des Papp-Propellers durch eine Rechtsdrehung am Ende der drei Blätter und wiederholt den Versuch D.3.1, so zeigt sich, daß die Kerze flackert.

Der verwundene aerodynamische Propeller erzeugt einen Luftstrom (Anwendung: Ventilator).

Der Versuch kann auch mit einem zweiblättrigen Propeller gemacht werden (vgl. HEEPMANN 1973)



D.3.3 Die Luftschraube gibt Vortrieb

Bei einem gummitorgetriebenen Modellflugzeug (im Spielwarenhandel erhältlich) wird die Luftschraube in der dem geforderten Umlauf entgegengesetzten Richtung aufgezogen. Mit festgehaltenem Propeller wird das Flugzeug nun auf den Fußboden gesetzt und losgelassen.

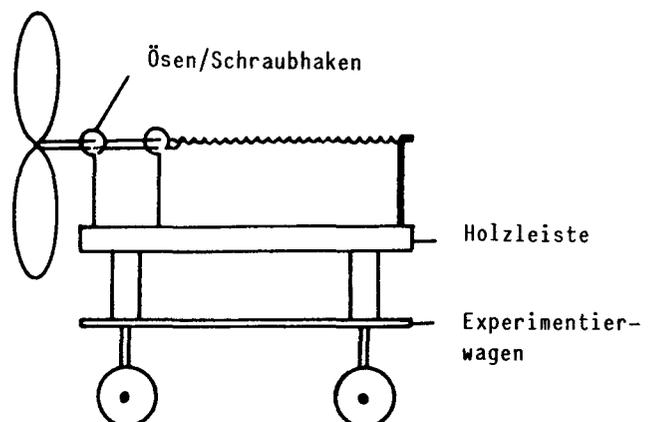
Das Flugzeug wird nach vorne beschleunigt und rollt oder hebt sogar vom Boden ab. Läßt man das Gummitorflugzeug von einem Tisch aus starten, so fliegt es.

Der drehende Propeller erzeugt einen Vortrieb, der das Modell zieht.

D.3.4 Statt des Gummitor-Flugzeugs wird ein Experimentierwagen mit Gummitor benutzt

Statt des Gummitor-Flugzeugs kann man auch einen leichtgängigen Experimentierwagen benutzen, auf den man einen (durch Lehrmittelfirmen lieferbaren oder selbst erstellbaren) Gummitor mit Luftschraube setzt.

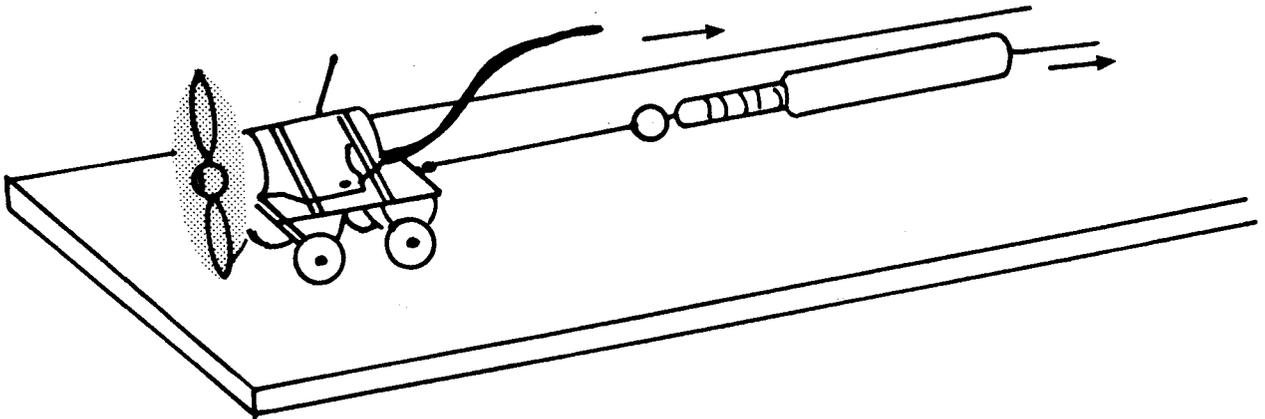
Beim Eigenbau eines Gummitors ist darauf zu achten, daß möglichst Gummis mit quadratischem Querschnitt verwendet werden (ruhig mehrere Stränge). Die Schraube muß auf einer drehbaren Welle sitzen, die von zwei Ösen gehalten wird (vgl. HEEP MANN 1973, NEPPERT/SCHIETZEL 1962).



D.3.5 Nachweis der Zugkraft einer mit einem Antriebsmotor versehenen Luftschraube

Eine Luftschraube wird auf die Drehwelle eines kleinen Elektromotors gesetzt, der mit Gummis o.ä. auf einem leichtgängigen Experimentierwagen befestigt ist.

Am Wagen wird an dem dem Propeller entgegengesetzten Ende ein Kraftmesser (Federwaage 100 p) angebracht. Schaltet man den Elektromotor ein, so zeigt die Federwaage die Zugkraft des Propellers an (nach ESTEL u.a. in GIRKE-SPROCKHOFF 1965).



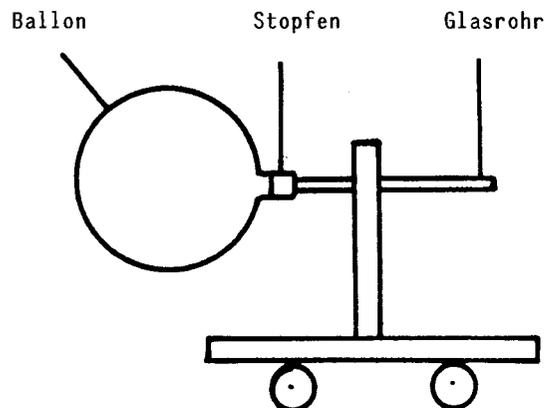
Zum Nachweis der Abhängigkeit der Zugkraft und Schubkraft einer Luftschraube von ihrer Drehzahl sowie zur Messung des Auftriebs einer Luftschraube siehe HEEP MANN 1973 und VOIT 1962).

E Rückstoßprinzip

E.1 Demonstration zum Rückstoßprinzip mit aufgeblasenem Luftballon

Ein Luftballon wird aufgeblasen und ohne Verknotung losgelassen.

Auf einem leicht gängigen Experimentierwagen wird eine Klemme befestigt, die an einem durchbohrten Stopfen ein waagrecht Glasrohr in Fahrtrichtung hält. Man bläst den Luftballon auf und zieht das Mundstück des Ballons über den durchbohrten Gummistopfen. Der Stopfen mit dem Ballon wird auf das Glasrohr gesetzt, wobei das andere Ende des Glasrohrs zugehalten wird. Läßt man nun das Glasrohr los, so setzt sich der Experimentierwagen in Bewegung.



Die im Luftballon durch den Zug der Hülle zusammengepreßte Luft strömt aus und erzeugt einen Rückstoß.

E.2 Beruht der Rückstoß auf dem Prinzip des Abstoßes an irgendwelchen Teilchen?

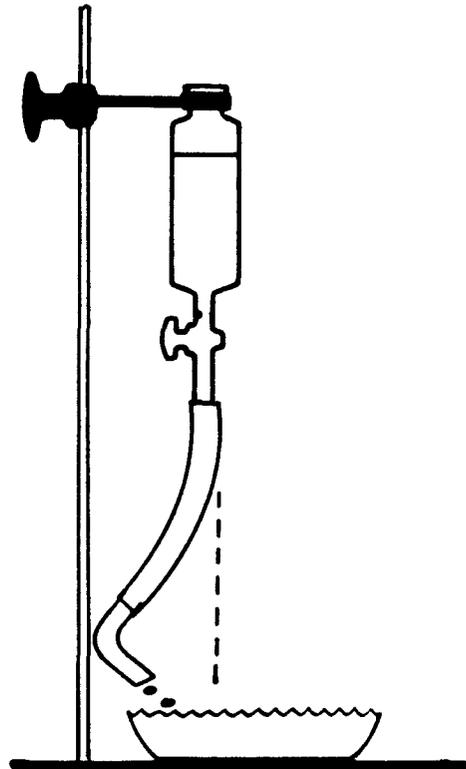
Bei der Erklärung des Rückstoßes können die Schüler auf die Annahme kommen, daß das bei dem Versuch E 1 gezeigte Phänomen auf das Abstoßen der austretenden Teilchen an der Luft zurückzuführen sei.

Sollte diese Erklärung gegeben werden, so empfiehlt sich zur Richtigstellung der nachfolgende Versuch.

An einem Stativ wird ein Scheidetrichter mit einem Gummischlauch angebracht, an dessen Ende ein gewinkeltes und vorne zugespitztes Glasrohr steckt.

Nachdem man in den Trichter Wasser gefüllt und das Ventil geöffnet hat, sieht man, daß das Winkelrohr einen Rückstoß erhält. Man wiederholt den Versuch, indem eine Scheibe ca. 10 cm von der Glasrohrspitze entfernt senkrecht in den Wasserstrahl gehalten wird.

Wäre die "Abstoß-am-anderen-Körper-Theorie" richtig, so müßte durch Hineinhalten der Scheibe ein zusätzlicher Rückstoß entstehen, d.h. das Winkelrohr müßte noch weiter zurückgehen. Eine solche Wirkung tritt jedoch nicht auf (es sei denn, man hält die Scheibe unmittelbar ans Ende des Winkelrohres, wobei andere Phänomene auftreten).



E.3 Demonstration des Rückstoßprinzips durch Rollschuhläufer

Ein Schüler schnallt sich Rollschuhe an und stößt erst einen Handball und danach einen Medizinball mit aller Kraft von sich. Dabei achtet er darauf, daß er mit den Beinen keine Bewegungen macht, die ihn ins Rollen bringen (zur Erhaltung des Gleichgewichts ist es am besten, wenn er dabei in die Hocke geht).

Wenn der Schüler den Handball von sich stößt, rollt er kaum zurück. Wenn er dagegen den Medizinball von sich stößt, rollt er ein ganzes Stück zurück.

Da die Kraft des Schülers vermutlich gleich bleibt, muß es die größere Masse sein, die den größeren Rückstoß verursacht hat (vgl. SCHRÖDER u.a., 1973).

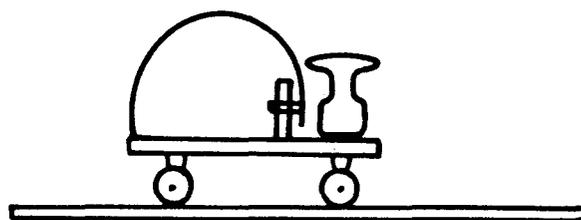
ARBEITSBLATT

Abstoßen von Massen - Schülerversuch zur quantitativen Bestimmung.

Material:

- Ein Schienenwagen, an dem eine Blattfeder befestigt ist,
- Zwirn, um die Feder zusammenzubinden,
- eine Schiene, auf der der Wagen läuft,
- ein Zollstock,
- ein Gewichtssatz.

Binde (wie in der Zeichnung) die Feder zusammen, stelle den Wagen an das Ende der Schiene und markiere die Position durch einen Kreidestrich. Setze das Gewicht hinter der Feder auf den Wagen und brenne den Faden durch.



Führe den Versuch mit folgenden Gewichten durch:

Gewicht (g)	Wegstrecke, die der Wagen zurückgestoßen wird (cm)
10	
20	
50	
100	
200	

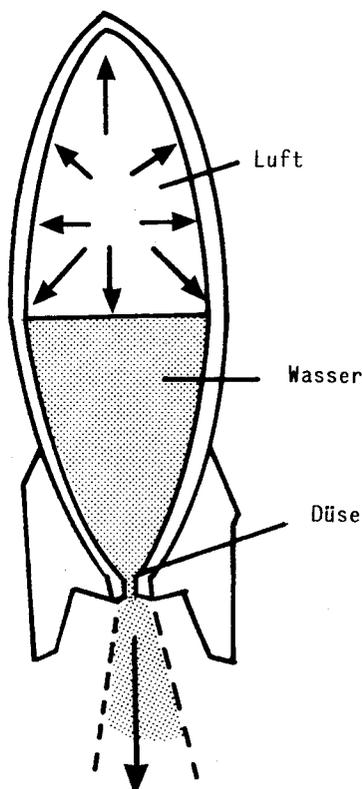
Wovon hängt der Rückstoß ab, den der Wagen erfährt?

E.4 Experiment mit einer Modellrakete

Den folgenden Versuch kann man - wie hier beschrieben - mit einer Modellrakete durchführen, die mit Wasser und (Druck-)Luft oder mit Kohlendioxid angetrieben wird (zu letzterem vgl. VOIT 1962).

Rakete mit Wasser-/Druckluft-Treibsatz

Zum Senkrechtstart steckt man (im Freien!) einen dünnen, aber tragfähigen Draht als Startrampe in den Boden, an den die Rakete mit den dafür vorgesehenen Ösen gehängt wird. Die Rakete füllt man zur Hälfte mit Wasser und pumpt mit Hilfe einer Luftpumpe bei geschlossenem Verschlusriegel Luft in sie (20 - 30 Pumpstöße). Durch Ziehen an der Startschnur wird der Verschlusriegel gelöst und die Verbindung zwischen Luftpumpe und Modell aufgehoben. Durch die Druckluft wird das Wasser mit großer Geschwindigkeit aus der Rakete gepreßt und das Raketenmodell so durch Rückstoß beschleunigt.



Mit Hilfe der Modellrakete und dem nachstehenden Arbeitsblatt können Schülerarbeitsgruppen herausfinden, daß die Schubkraft der Rakete einerseits um so größer ist, je mehr Masse ausgestoßen wird (beobachtbar an der Flughöhe und Flugzeit), und daß sie andererseits auch von der Kraft abhängt, mit der diese Masse ausgestoßen wird (der Stärke der komprimierten Luft).

Arbeitsblatt

Versuche mit der Luft-Wasser-Rakete

Material: Modellrakete (z.B. von PHYWE), Pumpe, Wasserbehälter, Meßzylinder, Trichter, Stoppuhr, Draht.

Setzt im freien Gelände (ohne Publikumsverkehr) den Draht als Startrampe in die Erde. Füllt die Rakete mit Wasser und jeweils mit 25 Pumpenstößen Luft. Achtet darauf, daß der Sicherungsbügel die Rakete hält. Führt die Rakete mit ihren Ösen über den Draht (Startrampe), bis die Pumpe fast am Boden ist, und startet sie durch Abziehen des Sicherungsbügels an der Pumpe. Meßt mit einer Stoppuhr die Zeit bis zur Rückkehr der Rakete auf den Boden und schätzt jeweils die Flughöhe der Rakete (zu letzterem kann ein Baum oder ein Hochspannungsmast, dessen Höhe man bestimmt hat, herangezogen werden).

Anzahl der Luftstöße	Wasserfüllung (ml)	Flugzeit (sec)	Flughöhe (m)
25	0		
25	10		
25	30		
25	50		
25	70		
25	90		
25	110		
25	130		
25	150		
gehen hier noch 25 Stöße Luft rein?	180		
	200		

Wasserfüllung (ml)	Stöße Luft (ml)	Flugzeit (sec)	Flughöhe (m)
110	0		
110	5		
110	10		
110	15		
110	20		
110	25		
110	so viele, bis keine Luft mehr reingeht		

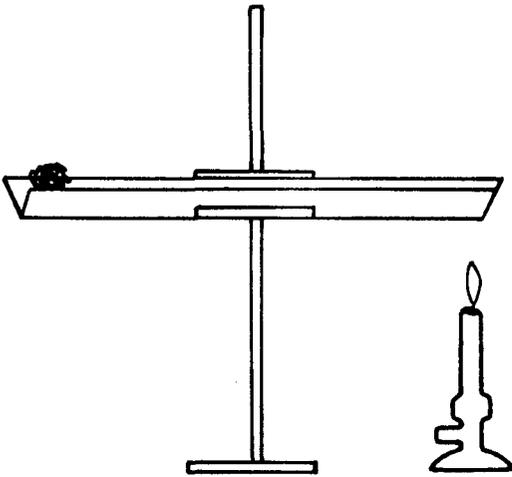
Wovon hängen Flugzeit und Steighöhe der Rakete ab? Warum fliegt die Rakete nicht dann am höchsten, wenn sie ganz mit Wasser gefüllt ist?

E 5 Die Herstellung von pulvergefüllten Raketen (Feststoffraketen)

Zur Feststoffrakete gibt es nur wenig Literatur mit empfehlenswerten Unterrichterversuchen. Unsere selbst entwickelten Raketenversuche kommen dem Drang Jugendlicher entgegen, mit kleinen Raketen (und Feuerwerkskörpern) zu hantieren.

Herstellung der Raketenhüllen

Von der Verwendung von Metallröhrchen als Raketenhülle ist aus zwei Gründen dringend abzuraten: Metall hat eine hohe Wärmeleitfähigkeit; daher brennt das Pulver in solchen Hüllen nicht immer gleichmäßig von der Düse zur Raketenspitze ab, sondern kann sich auf Grund der Metallerwärmung überall selbst entzünden, sodaß es leicht zur Explosion kommt.



Ein ca. 20 cm langes Blech- oder Messingstück wird an einem Ende mit explosivem Pulver bestreut. Das Metallstück befestigt man an einer hitzebeständigen Stativklemme so, daß sich das andere Ende über der Flamme eines Bunsenbrenners befindet. Nach kurzer Zeit wird sich das Pulver entzünden. Die Zeit kann gemessen werden.

Zum Vergleich kann der gleiche Versuch mit einem nicht-leichtentflammbar und nicht so stark wärmeleitenden Stoff (Glas oder Holz) durchgeführt werden.

Metalle, wie Messing oder Blech, haben ein relativ hohes spezifisches Gewicht und eine gewisse Festigkeit gegen Zerstörung und Verformung. Bei einer Raketenhülle aus Metall, die explodiert, wird der Explosionsdruck relativ lange zurückgehalten. Metallstücke können mit erheblicher Durchschlagkraft vom Ort der Explosion weggeschleudert werden.

Aus Sicherheitsgründen und auf Grund der Verletzungsgefahr können als Materialien für eine Raketenhülle nur solche in Frage kommen, die keine starke Wärmeleitung haben, den Explosionsdruck nicht zurückhalten und die relativ leicht sind. Für kleine Raketen kann man aus Papier, Aluminiumfolie, Tapetenkleister oder Wasserglas Raketenhüllen formen.

Man nimmt flüssiges Natronwasserglas (mit einer Dichte zwischen 1,34 und 1,41) oder rührt einen Topf mit Tapetenkleister an und nimmt Umdruckpapier, das man in ca. 10 - 14 cm dicke Streifen schneidet. Diese Streifen bestreicht man

einseitig dick mit Wasserglas und rollt sie um einen Bleistift, so daß ein Röhrchen entsteht. Das eine Ende des Röhrchens wird dann umgelegt und zu einer Spitze zusammengedrückt. Ca. 1 cm vor dem Ende des Röhrchens drückt man das Röhrchen so ein, daß eine Verengung (Düse) entsteht. Danach wird das Röhrchen von außen noch einmal dick mit Wasserglas bestrichen (oder Tapetenkleister) und getrocknet.



Nach dem Trocknen erhält das Röhrchen noch eine Hülle aus Aluminiumfolie, die verhindern soll, daß sich während des Abbrennens des Röhrchens leicht brennende Teile von der mit abbrennenden Hülle lösen können.

Treibstoffe

Die Treibstoffe von Feststoff- wie auch von Flüssigkeitsraketen enthalten einen Brennstoff sowie einen Sauerstoffträger. Die Composit-Treibstoffe von Feststoffraketen bestehen z.B. aus einem Gemenge von Chloraten, Perchloraten oder Nitraten (als Sauerstoffträger) und hochpolymeren Plasten, Puderzucker oder Schwefel (als Brennstoffkomponenten).

Als brauchbare, leicht herzustellende Treibstoffmischung haben wir eine Mischung aus Unkraut-Ex (Vorsicht, Unkraut-Ex ist giftig!) und Puderzucker im Verhältnis 2:1 verwendet. Hierbei fungiert das im Unkraut-Ex zu 75% enthaltene Natriumchlorat (NaClO_3) als Sauerstoffträger und der Zucker als Brennstoff. Zum Vermischen zerreibt man die Komponenten einzeln und mischt sie dann vorsichtig - am besten mittels einer Vogelfeder.

Vorsicht! Eine Mischung von Chloraten und oxidierbaren Substanzen explodiert auf Schlag und beim Verreiben!

Statt des Puderzuckers kann man auch Schwefelblüte oder pulverisierten Kohlenstoff verwenden.

Züandschnüre

Man stellt eine gesättigte Lösung von Natriumnitrat (NaNO_3) in Wasser her. In diese Lösung taucht man Filterpapier, trocknet dieses mit einem Fön (oder im Trockenschrank) und zerschneidet es anschließend in schmale Streifen.

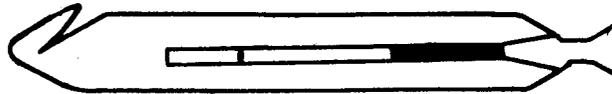
Alternative:

Man stellt eine gesättigte Lösung einer Mischung von 70% Unkraut-Ex und 30% Zucker her und verfährt wie oben.

Füllen der Raketen

Die einfache Pulverrakete wird nach dem Trocknen der Hülle gefüllt, indem mit Hilfe eines Trichters das Pulver durch die Düsenverengung geschüttet wird, bis die Rakete voll ist.

Die richtige Feststoffrakete unterscheidet sich von der Pulverrakete dadurch, daß der Treibstoff in fester Form von einer konusartigen Brennkammer (sog. Führungsbrenner) umgeben ist. Die Treibstoffmischung aus Unkraut-Ex und Zucker wird dazu mit Wasser verrührt, bis eine gießbare Masse entstanden ist, und diese anschließend in die Raketenhülle gegossen. In die fast flüssige Masse wird Draht zur Formung der Brennkammer bis zu ca. 2/3 der Treibmittelkammer eingeführt. Wenn die Masse nach etwa 1 bis 2 Tagen soweit getrocknet ist, daß sie nicht mehr in sich zusammenfließt, wird er Draht mit leichten Drehungen vorsichtig herausgezogen.



Herstellung schubstärkerer Raketentreibsätze

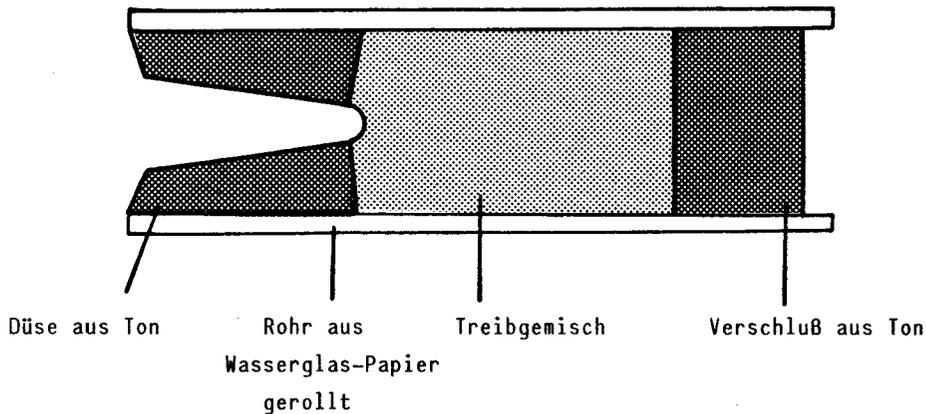
Die bisher beschriebenen Papierraketen entwickeln nur relativ schwache Schübe. Will man selber flugfähige Raketen mit größerer Schubkraft herstellen, so müssen wie bei den käuflichen Spielzeugraketen, Triebwerk und Raketenkörper getrennt werden.

Ein leistungsfähiges Raketentriebwerk erhält man dadurch, daß man eine Papp- röhre durch Tapetenkleister (oder Wasserglas) verstärkt. Man kann auch ein 10 bis 15 cm langes Rohr mit ca. 2,5 bis 4 mm Wandstärke und einem inneren Durchmesser von ca. 2,5 cm aus Papier und Wasserglas selber anfertigen.

Das eine Ende des Rohres wird mit einer ca. 2 cm dicken Tonschicht verschmiert. Dann erfolgt die Füllung mit Treibstoff (entweder pulverförmig oder als Feststoff mit einem Brennraum in der Mitte), wobei mindestens 3 cm Rohrlänge freibleiben. Nachdem der Feststoff vollständig getrocknet ist, wird am offenen Ende des Rohres aus Ton eine Düse geformt, indem man in die Mitte des offenen Rohrendes einen Holzstab mit ca. 3 - 4 mm Durchmesser bis zur Pulverfüllung bzw. zum Verbrennungsraum im Festtreibstoff einführt.

Damit der düsenförmige Trichter entsteht, wird das Rohr nach dem Anhärten des Tons beim Herausziehen kreisförmig bewegt; mit einem entsprechend zugespitzten Holzstab formt man dann den Düsentrichter möglichst gleichförmig und glatt aus.

Raketentriebwerk mit aus Ton geformten Düsen



Vorsicht! Treibpulver, die Chlorate oder Perchlorate enthalten, dürfen NICHT in die Hülle hineingedrückt oder -gepreßt werden, da Explosionsgefahr bei Schlag und Reibung besteht!

Vorgänge in der Düse

Die Formung der Düse ist für die Schubkräfte einer Rakete deshalb so wichtig, weil sie die Geschwindigkeit der Rakete beeinflusst.

Der Schub F hängt ab von der pro Zeiteinheit ausströmenden Masse m und von der Strahlgeschwindigkeit v :

$$F = m/t \cdot v$$

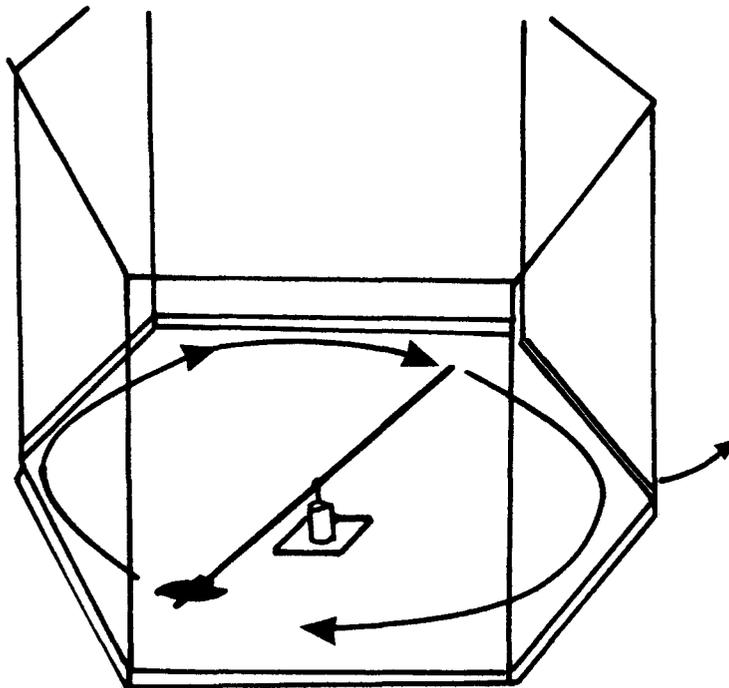
Will man den Schub vergrößern, muß man zuerst die Strahlgeschwindigkeit durch bessere Düsenformung erhöhen - wenn man den unrentableren Weg, eine größere Gasmenge in gleicher Zeit ausstoßen zu lassen, vermeiden will (vgl. SCHRÖDER u.a. 1973, S. 200).

E.6 Versuch zur Demonstration des Rückstoßes von Raketen

Die Verbrennungsgase einer Rakete entweichen durch die Düse mit großer Geschwindigkeit, und die austretenden Teilchen der Verbrennungsgase geben der Rakete einen gleichgroßen Impuls (actio-reactio-Prinzip) in entgegengesetzter Richtung, den Schub.

Kleine Raketen werden mit biegsamem Draht am Ende eines leicht beweglichen Drehstabes befestigt. Die Rakete am Drehstab wird auf eine (Eternit-)Platte gesetzt und - wegen der starken Raumentwicklung - in den Abzug gestellt. Um die Kreisbahn der Rakete herum werden als zusätzliche Sicherheit zu den Sicherheitsscheiben des Abzugs zwei Sicherheitsscheiben so aufgebaut, daß sie die Bahn der Rakete nicht behindern.

(Dieser Versuch kann unverändert auch im Freien durchgeführt werden, wenn die Anordnung zusätzlich oben mit einer (Eternit-)Platte gesichert wird.)



Nachdem man den Abzug eingeschaltet hat, wird die Zündschnur in Brand gesetzt und die Sicherheitsscheiben des Abzugs geschlossen. Die Rakete entwickelt eine deutlich sichtbare blau-violette Stichflamme und beginnt den Drehstab in Bewegung zu setzen.

Durch grobe quantitative Vergleiche kann untersuchen, wovon der Schub abhängt:

Zwei gleichgroße Raketen mit gleicher Füllung aber mit unterschiedlich großen Düsenöffnungen werden gezündet und die Umdrehungen am Drehstab gezählt. Es zeigt sich, daß die Rakete mit der kleineren Düsenöffnung mehr Umdrehungen (und höhere Umlaufgeschwindigkeiten) erreicht. Der Schub hängt also bei gegebener Brennstoffzusammensetzung und -menge von der Größe der Düsenöffnungen ab.

Gleich große Raketenhülsen werden mit unterschiedlichen Treibstoffen gefüllt, gezündet und bzgl. ihrer Umdrehungszahl verglichen. Ebenfalls möglich sind Vergleiche von Pulverraketen und Feststoffraketen mit gleichen Starkgewichten und gleichem Düsenquerschnitt.

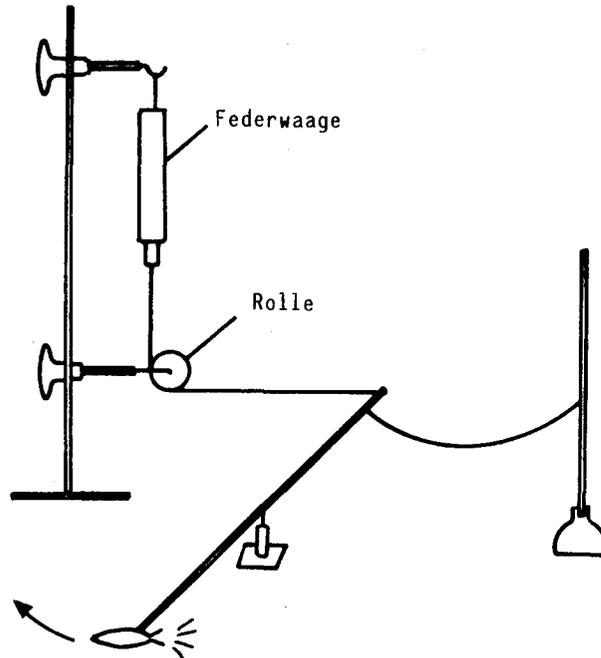
Vergleich von Raketen mit unterschiedlichem Massenverhältnis: Das ist das Verhältnis der Gesamtmasse der Rakete (Startgewicht) zur Leermasse (Gewicht der Rakete nach Verbrennen des Treibstoffs).

$$\text{Startgewicht} / \text{Leergewicht} = \text{Massenverhältnis}$$

Je größer das Massenverhältnis ist, desto größer wird die erreichbare Endgeschwindigkeit einer Rakete. Da bei den Papiermodellraketen auch Teile der Hülle mit verbrennen, empfiehlt es sich, das Massenverhältnis durch Wiegen der Hülle vor und nach der Pulverfüllung zu ermitteln.

E.7 Schubkraftmessung an kleinen Modellraketen

Innerhalb der gleichen Versuchsanordnung wie in Versuch E.6 wird die Rakete mit Draht an einem Ende des leicht beweglichen Drehstabs befestigt. Am anderen Ende des Drehstabs wird ein Kraftmesser mit einem Zwirn über eine Umlenkrolle befestigt. Ein zweiter Zwirn wird an einem Stativ zum Ruhighalten des Drehstabs und zum Einstellen der Federwaage vor Versuchsbeginn befestigt.



Nachdem man die Rakete gezündet hat, wird am Kraftmesser der größte Auszug während der Brenndauer notiert.

Wie in Versuch E.6 kann untersucht werden, wovon der Schub abhängt:

Vergleich gleicher Raketen mit unterschiedlichen Düsenformen.

Vergleich gleicher Raketen mit gleichem Massenverhältnis, aber verschiedenen Treibstoffen (der Schub hängt von der chemischen Zusammensetzung der Treibstoffe ab).

Vergleich von Raketen mit unterschiedlichem Massenverhältnis; es kann geprüft werden, ob der Schub ausreichen würde, um eine Modellrakete "fliegen", d.h. senkrecht starten zu lassen.

E.8 Start von fliegenden Raketen und Raketenwagen

Ein nach Versuch E.5 hergestelltes Triebwerk wird in eine aus Pappe geformte Raketenhülle eingesetzt und festgeklebt. Die Raketenhülle, in deren Heck das relativ schwere Triebwerk sitzt, wird mit Leitwerkflossen versehen sowie mit zwei Ösen an der Seite, die der Rakete an einem Stab oder Draht als Starkgerüst die notwendige Richtungsstabilität beim Starten oder Abheben geben.

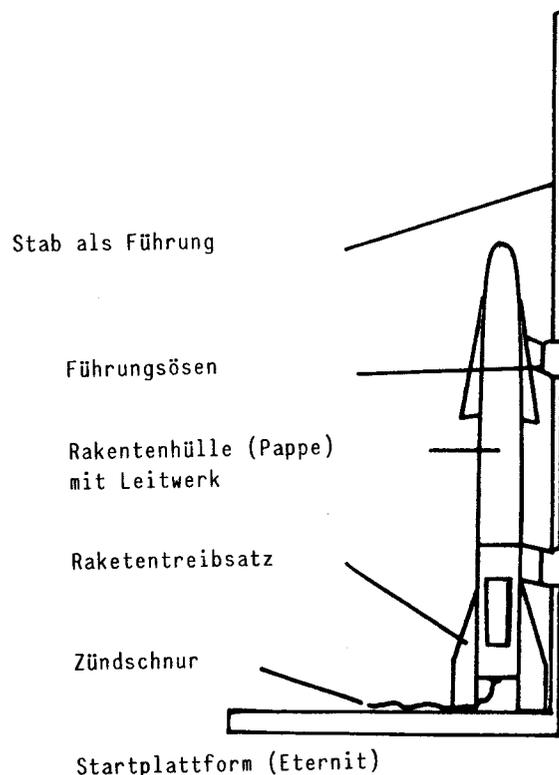
Bei selbsthergestellten Triebwerken kommt es häufig zu Fehlstarts: Zu wenig Schub, unregelmäßige Verbrennung, Explosion, wenn sich die Düse zusetzt, Explosion, weil die Düse zu klein ist ...

Von daher ist die Einhaltung von Sicherheitsvorschriften besonders wichtig: Die Starts von Raketen und Raketenwagen dürfen nur im Freien, auf übersichtlichem Gelände erfolgen.

Die Starts von fliegenden Raketen müssen von einer Startrampe aus erfolgen. Der Führungsstab der Startrampe ist von der Vertikalen um etwa 15° in Richtung offenes Gelände zu neigen, damit die Rakete auch bei Fehlstart niemand verletzen kann.

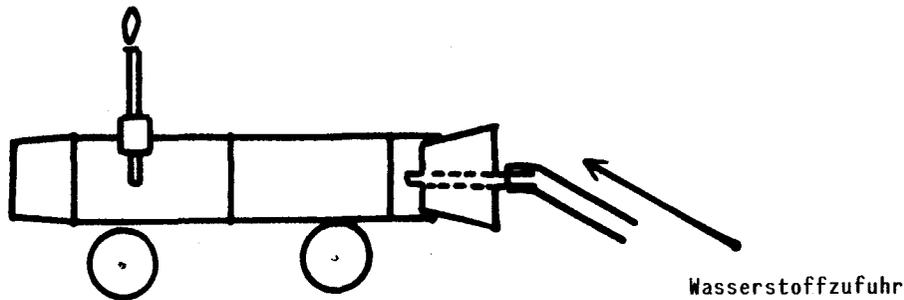
Es ist darauf zu achten, daß sich in Flugrichtung weder leicht entzündbares Gras noch Bäume befinden, denn es muß bei selbstgebauten Raketen immer damit gerechnet werden, daß Triebwerk und Hülle in Brand geraten. Vor dem Start müssen sich alle Schüler/Zuschauer in eine Sicherheitszone (mindestens 10 m) zurückziehen.

Bei Fehlstarts (z.B. bei nicht vollständigem Abbrennen der Zündschnur oder nur teilweisem Abbrennen des Treibsatzes) darf man sich der Rakete erst nach einer Wartezeit von einigen Minuten nähern. Es empfiehlt sich, solche Raketen durch Übergießen mit Wasser funktionsunfähig zu machen.



E.9 Knallgasraketenauto

Man befestigt eine hohe Konserverdose geringen Durchmessers auf einem leicht gängigen Wagen. In die Längsseite der Dose wird ein Loch von ca. 1 cm Durchmesser gebohrt. In dieses steckt man einen Stopfen, in dem sich ein dünnes Glasröhrchen befindet. Die offene Bodenplatte wird mit einem großen Stopfen locker verschlossen, in dessen Bohrung ein Glasrohr steckt. Durch dieses Glasrohr läßt man Wasserstoff einströmen, bis die Luft aus der Dose entwichen ist. Danach zündet man den Wasserstoff am oberen Glasröhrchen an und entfernt die Gaszuleitung.



Durch das offene Glasrohr dringt Luft in die Konserverdose ein. Ist ein explosionsfähiges Wasserstoffgemisch entstanden, so findet eine schlagartige Verbrennung (Explosion) statt. Durch den großen Druck wird der Bodenplattenkorken herausgeschleudert, und der Wagen bewegt sich in die entgegengesetzte Richtung. Der Impuls der ausströmenden Verbrennungsgase und des herausfliegenden Korkens erzeugt einen gleichgroßen Gegenimpuls (vgl. VOIT 1962).

Literatur zu den Versuchsanleitungen und Filme

- ALLEN, J. E.: Aerodynamik. München 1970
- BANNOW u.a.: Astronautik. Berlin 1974
- BAUER, R.: Flugtechnik für Jedermann. München 1964
- BRETSCHNEIDER, E. u.a.: Die Physik in Versuchen - Mechanik. Göttingen 1973¹⁵
- EIMEIS, W.: Schulversuche zur Physik des Raketenantriebs. Köln 1963
- ESTEL u.a.: Strömungslehre. In: Gierke - Sprockhoff: Physikalische Schulversuche, 5. Teil. Köln 1965
- GERHARDT u.a.: Natur und Technik 2, Schülerband. Berlin 1966
- HEEPMANN, B.: Flug und Fliegen - Natur und Technik-Unterrichtseinheiten. (Lehrerheft und Schülerheft), Berlin 1973
- JACOBS, W.: Verständliche Wissenschaft - Fliegen, Schwimmen, Schweben. Heidelberg 1954
- KNOKE, S., u.a.: Chemie in einfachen Versuchen. Hannover 1971
- KÖHLER, H.W.: Feststoffraketenantriebe I. Essen 1972
- LINCKENS, P.-H.: Der Raketenantrieb als Unterrichtsgegenstand der Sekundarstufe I. Köln 1974
- MÜNZINGER, W.: Ballonfahrt, Segelflug, Motorflug - "Die Luft hat doch Balken". Ravensburg 1976
- NEPERT, J., SCHIETZEL, C.: Flugzeuge und Raketen. In: Westermanns Pädagogische Beiträge, Heft 2/1962
- PACILIO, V.: Das große Experimentierbuch der Luft- und Raumfahrt. Hamburg 1969
- SEIDLER, F.: Einführung in die Aerodynamik. Stuttgart 1962
- SCHRÖDER u.a.: Natur und Technik - Lehrerband I und II. Berlin 1973
- SPROCKHOFF, G.: Physikalische Schülerversuche. Mechanik IV. Molekulare Eigenschaften der Flüssigkeiten und Gase und Strömungslehre. Köln 1981

THIES, W., ROLF, W.: Flugmodelle bauen und einfliegen. Wiesbaden 1975,

VOIT, F.: Strömungslehre. In: A. Friedrich (Hrsg.): Handbuch der
experimentellen Schulphysik. Köln 1962, S. 191-271

ZEIER, E.: Mechanik der Gase. In: A. Friedrichs (Hrsg.): Handbuch der
Experimentellen Schulphysik. Köln 1962

Filme

Faszination des Vogelflugs

G. Ruppel, Institut für wissenschaftlichen Film, Göttingen

Luft hat keine Balken

NDR-Serie; Produktionsleitung W.D. Kaminski, Produktion
CO-Film (NDR)

Warum weht der Wind?

FWU 322832