

**Zeitschrift:** Schweizer Schule

**Herausgeber:** Christlicher Lehrer- und Erzieherverein der Schweiz

**Band:** 32 (1945)

**Heft:** 22: Sondernummer : Versuche mit einem Experimentier-Flugmodell und dessen Bestandteilen

**Artikel:** Versuche mit einem Experimentier-Flugmodell und mit dessen Bestandteilen

**Autor:** Schmuki, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-536805>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# SCHWEIZER SCHULE

HALBMONATSSCHRIFT FÜR ERZIEHUNG UND UNTERRICHT

OLTEN + 15. MÄRZ 1946

32. JAHRGANG + Nr. 22

## Versuche mit einem Experimentier-Flugmodell und mit dessen Bestandteilen

**Vorbemerkung.** Wäre zur Zeit der ersten Eisenbahnen in einer Lehrerzeitschrift ein Sonderheft über das neue Verkehrsmittel erschienen, hätte man lächelnd den Kopf geschüttelt und für die Arbeit wohl kaum das nötige Verständnis aufgebracht. Vielleicht wird es uns ähnlich ergehen, wenn wir eine ganze Nummer unserer „Schweizer Schule“ dem Flugproblem widmen! Vielleicht!... Wahrscheinlich werden wir aber doch grösserem Interesse begegnen und sicher jenen Lehrern, die die brennende Frage in ihrem Physikunterricht zu verarbeiten wissen, wertvolle Anregungen bieten.

### I. Einleitung

Der Schüler muss im naturwissenschaftlichen Unterricht lernen, seine Sinne richtig zu gebrauchen, scharf zu beobachten, das Beobachtete richtig zu beschreiben und schliesslich, unter Führung des Lehrers und des eigenen Verstandes, das Gesetzmässige heraus zu finden.

Es ist am ehesten möglich, dieses Ziel dadurch zu erreichen, dass jene Anschauungen, Experimente und Gesetzmässigkeiten in den Vordergrund gestellt werden, die im praktischen Leben und im Interessenkreis des Schülers eine dominierende Stellung einnehmen. Alte, vielfach heissgeliebte, lebens- und bildungsuntaugliche Apparate dürfen verschwinden. Das Bildungsziel wird besser erreicht, wenn wir den neuzeitlichen Belangen eine

Hauptstellung im Unterricht einräumen. Das Interesse des Schülers wird dadurch geweckt und wach gehalten.

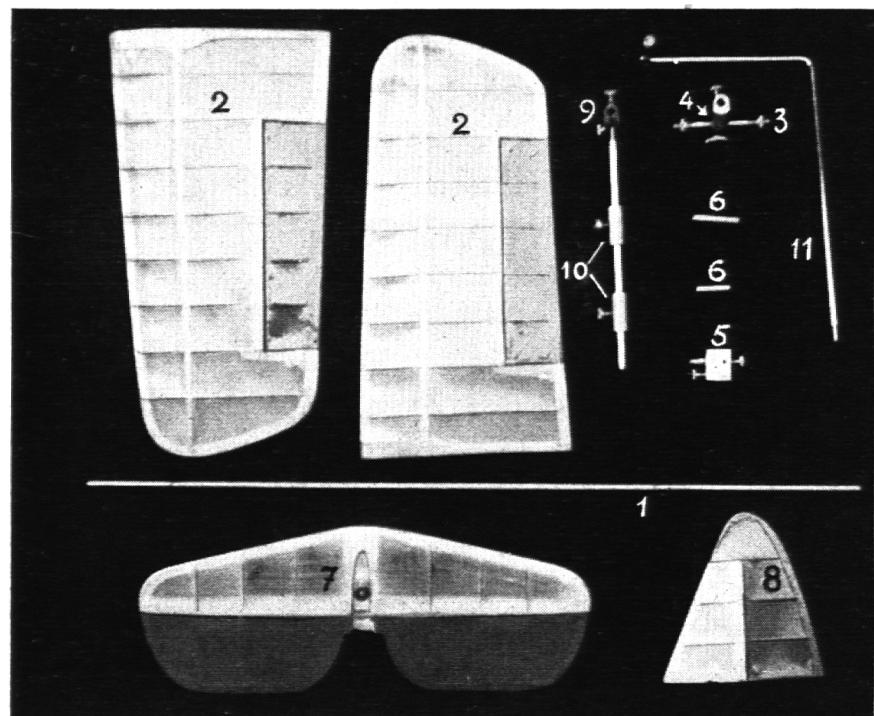
Die Ausbildung des Beobachtungsvermögens erhält in der Physik darum eine besondere Berücksichtigung, weil vielfach nicht ruhende Körper beschrieben werden, sondern ein ganzer Ablauf von Vorgängen richtig gesehen, genau aufgefasst und klar wiedergegeben werden muss.

Die Fluglehre ist in den letzten Jahren auch in den Unterricht der Sekundarschule aufgenommen worden. Dazu ist ein gutes Recht vorhanden. Gerade bei diesen Experimenten muss der Schüler konzentriert beobachten und nachher zuverlässig beschreiben können. Sehr viele Grundbegriffe der Mechanik erfahren hier eine neue, interessante Anwendung. Das hoch entwickelte Flugzeug ist ein Kind unserer Zeit. Ob Krieg oder Frieden, es wird nicht mehr wegzudenken sein. Die Entwicklung der Gesetze, auf denen das Fliegen beruht, liegt stark im Interessenkreise des Schülers.

Im Folgenden soll nicht in die Fluglehre eingeführt werden, sondern es soll vorerst die Anwendung eines Flugmodells zur Einführung in die Behandlung der Gleichgewichtsarten gezeigt werden. Im zweiten Teil wird gezeigt, wie man dasselbe zur abschliessenden Behandlung der Fluglehre, nämlich der Kapitel über Stabilität und Steuerung, verwenden kann.

Fig. 1 Experimentierflugmodell in seine Teile zerlegt.

- 1 Rumpfstab aus Leichtmetall
- 2 Tragfläche
- 3 Leichtmetallstück zur Verbindung der Tragflächen
- 4 Leichtmetallbefestigungsstück zur Aufnahme des Rumpfstabes und des Verbindungsstückes der Tragflächen
- 5 Aufhängevorrichtung zur Aufhängung des Flugmodells am Haken
- 6 Leichtmetallfeststellhülsen
- 7 Profiliert gebautes Höhenleitwerk mit Stabilitätsfläche und beweglichem Ruder
- 8 Seitenleitwerk mit Seitenstabilitätsfläche und beweglichem Seitenruder
- 9 Stab mit Bride zur Schwerpunktsverschiebung
- 10 2 Schiebegewichte für die Festlegung des Schwerpunktes
- 11 Aufhängehaken zur Befestigung des Flugmodells am langen Arm des Umlaufgeräts



## II. Bestandteile und Aufbau des Experimentier-Flugmodells

(Siehe Figur 1.)

1 Rumpfstab aus Leichtmetall als Längsachse<sup>1</sup>.

1 profilierte, trapezförmige, abgerundete, V-förmige Tragfläche<sup>2</sup>, die beiden Seiten über oder unter dem Rumpfstab durch ein Leichtmetallstück<sup>3</sup> verbunden, sodass jede Seite für sich abgelöst werden kann. Die Verbindung ist an der Profilnase mittels Leichtmetallschrauben herstellbar.

1 Leichtmetall-Befestigungsstück<sup>4</sup>, in der Längsrichtung durchbohrt zur Aufnahme des Rumpfstabes, feststellbar durch eine Schraube, in der Querrichtung durchbohrt zur Aufnahme des Verbindungsstückes der beiden Tragflächenhälften. Dieses Verbindungsstück ist drehbar und feststellbar durch eine Schraube, so dass jeder beliebige Anstellwinkel eingestellt werden kann.

1 Aushängeprisma<sup>5</sup>, auch aus Leichtmetall, mit zwei Bohrungen. Die Längsbohrung

nimmt den Rumpfstab auf. Damit sich Aufhängeprisma und Rumpfstab gegenseitig nicht mehr drehen können, ist eine Arretierschraube vorhanden. Die zweite Bohrung geht parallel zur Querachse des Modells und nimmt den Aufhängehaken auf. Auch hier besteht die Möglichkeit, die Bewegung des Modells um den Aufhängehaken frei zu lassen oder durch ein Schräubchen zu arretieren. Am untern Teil befindet sich eine Hülse für die Versuche über die Seitenstabilität.

2 Leichtmetallhülsen<sup>6</sup> werden vor und hinter dem Aushängeprisma über den Rumpfstab geschoben, sodass sie sich auf demselben festklemmen. Sie dienen dazu, dass sich das vorhin erwähnte Aushängeprisma nicht mehr in der Richtung der Längsachse auf dem Rumpfstab verschieben kann. Zugleich gestatten sie, dass man die Aufhängung an einer beliebigen Stelle anbringen kann, und zwar durch einfaches Verschieben der klemmenden Hülsen.

1 profiliert gebautes Höhenleitwerk<sup>7</sup>, bestehend aus keilförmiger Höhenstabilitätsfläche, die durch eine Klemmschraube am Rumpfstab befestigt wird und nach Ermessen vor- oder rückwärts verschoben werden kann. An der Höhenstabilitätsfläche ist das rechteckige, abgerundete Höhenruder beweglich befestigt, so dass man letzteres beliebig anstellen kann.

1 Seitenleitwerk<sup>8</sup> kann in eine Aussparung in der Höhenstabilitätsfläche mittels eines Zapfens eingesetzt werden. Dasselbe besteht analog aus der Seitenstabilitätsfläche und dem Seitenruder. Letzteres kann auch beliebig angestellt werden.

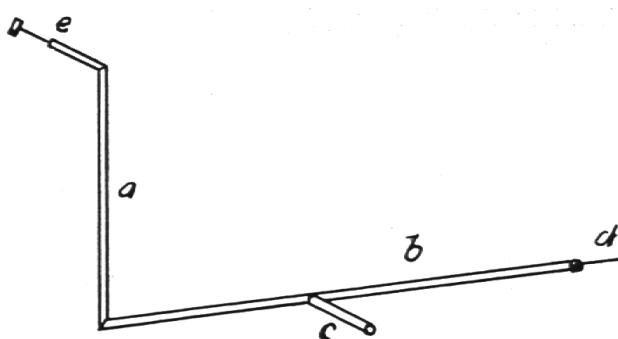


Fig. 1a Aufhängehaken

2 mal rechtwinklig gebogen

a = kurzer Schenkel

b = langer Schenkel

c = Befestigung am Umlaufgerät

d = Ansatz für Drehung um die Hochachse

e = Befestigung des Flugmodells mittelst  
[Aufhängeprisma]

1 Stab mit Bride für Schwerpunktverschiebung<sup>9</sup>. Das Modell muss in bezug auf einen zweckmässig gewählten Schwerpunkt ausgewogen werden. Zu diesem Zwecke werden auf dem Rumpfstäbe direkt oder auf einem zweiten kürzeren Stab, der eine Bride trägt, damit man ihn am Rumpfstab befestigen kann, Schiebegewichte angebracht. Durch diese Vorrichtung ist es möglich, den Schwerpunkt vor- oder rückwärts, auf- oder abwärts zu verlegen.

2 Schiebegewichte<sup>10</sup> aus Messing.

1 Aufhängehaken<sup>11</sup> und Figur 1a. Derselbe ist zweimal rechtwinklig gebogen und wird mit dem kürzeren Teil in das auf den Rumpfstab geschobene Aufhängeprisma gesteckt. Am zweiten rechten Winkel befindet sich ein seitliches Stück, das zur Befestigung am Umlaufgerät oder an einem passenden Stativ dient.

1 gerader Eisenstab dient dazu, mit dem Rumpfstab allein oder mit einem zweckentsprechenden Teilstück des Experimentiermodells Schwerpunktsversuche auszuführen.

- Das Experimentiermodell kann so zusammengebaut werden, dass der Rumpfstab über dem Verbindungsstück der Tragflächen läuft (Tiefdecker == TD.) Fig 2b, oder aber unter demselben (Hochdecker == HD.), Fig. 2a.

### III. Versuche über Gleichgewichtslagen mit den Bestandteilen des Experimentierflugmodells

#### 1. Versuch: Indifferentes Gleichgewicht.

Material: Rumpfstab, Aufhängevorrichtung (z. B. Eisenstab, Klemme, Bunsenstativ).

Wir suchen den Schwerpunkt des Rumpfstabes durch Auflegen auf eine scharfe Kante. Nun bohren wir den Stab genau an dieser Stelle an, setzen ihn auf die Aufhängevorrichtung und prüfen die indifferenten Gleichgewichtslage.

Ergebnis: Ist der Körper im Schwerpunkt aufgehängt, dann ist er in jeder Lage im Gleichgewicht. Bei jeder Drehung bleibt der Ort

des Schwerpunktes derselbe. Er wird weder gehoben noch gesenkt.

#### 2. Versuch: Indifferentes Gleichgewicht (Fig. 4 und 5).

Material: Wie bei Versuch 1. Dazu noch Schiebegewichte.

Wir bringen auf den Rumpfstab ein Schiebegewicht. Nun ist das Gleichgewicht gestört. Wir suchen den Schwerpunkt nach gleicher Methode wieder, bohren den Stab in diesem

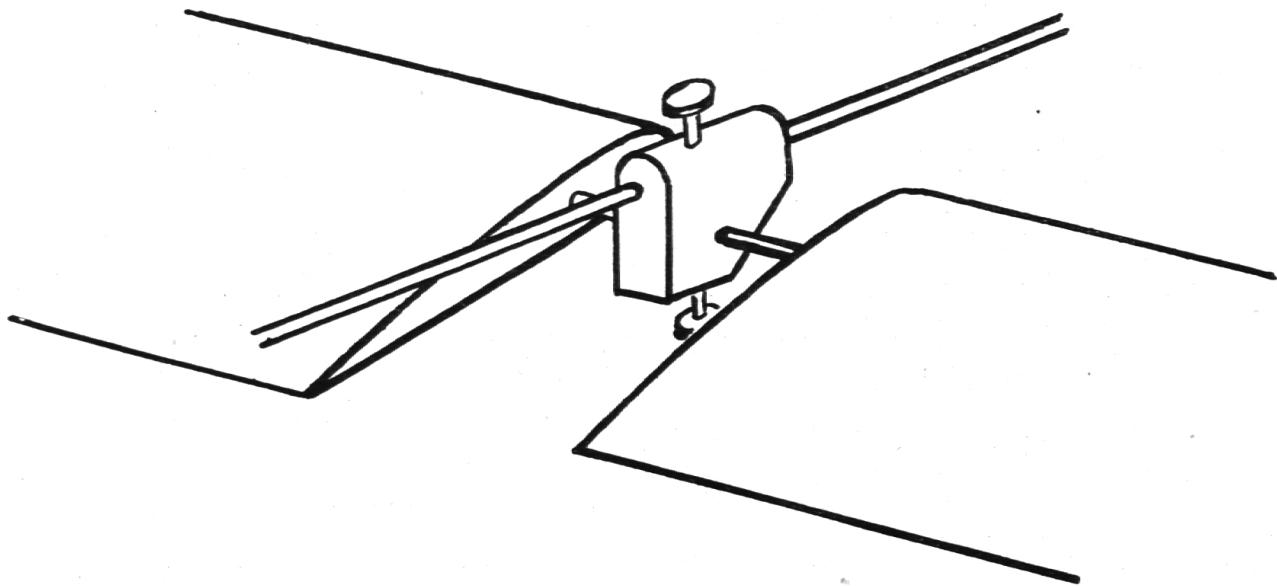


Fig. 2b Zusammenbau als Tiefdecker  
Das Verbindungsstück der Tragflächen ist unter dem Rumpfstab geführt

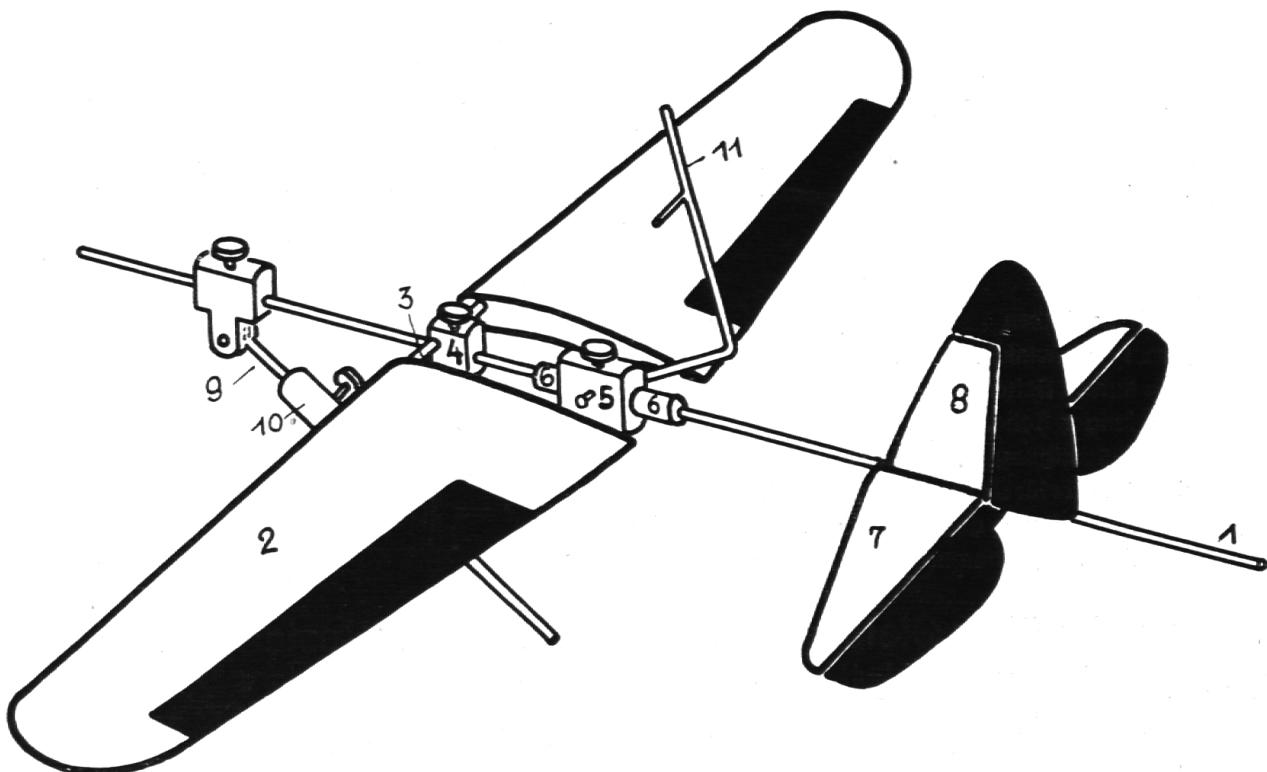


Fig. 2a Zusammengesetztes Experimentierflugmodell (Hochdecker HD)

1 Rumpfstab	7 Höhenleitwerk
2 Tragfläche	8 Seitenleitwerk
3 Verbindungsstück	9 Stab mit Bride
4 Verbindung von Tragflügel mit Rumpf	10 Schiebegewicht
5 Aufhängevorrichtung	11 Aufhängehaken
6 Leichtmetallfeststellhülsen	

Punkte wieder an, hängen ihn wieder frei beweglich auf und prüfen das indifferente Gleichgewicht.

Ergebnis: Ist der Körper unregelmässig gebaut, dann liegt der Schwerpunkt näher dem schweren Teil.

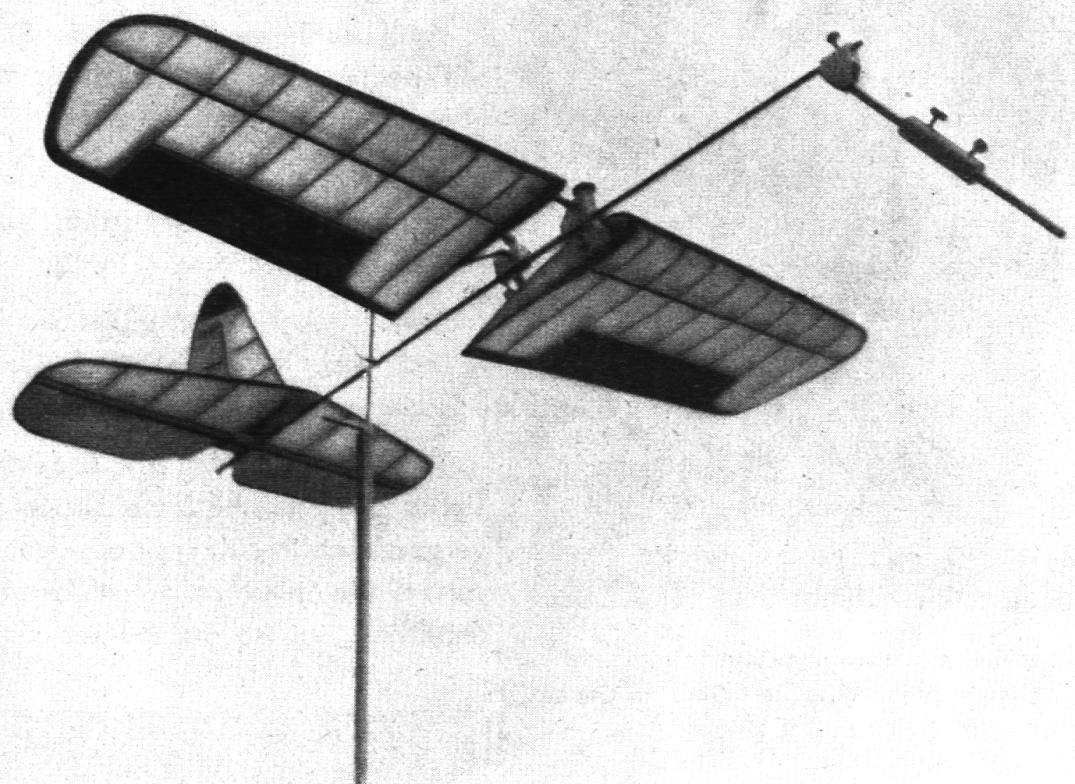


Fig. 3 Experimentierflugmodell auf einem Stativ für Beschreibungen und Erklärungen des Modells in Ruhe. Die verschiedenen Gleichgewichtslagen des Flugmodells in der Ruhe können auf diese Weise vorgeführt werden

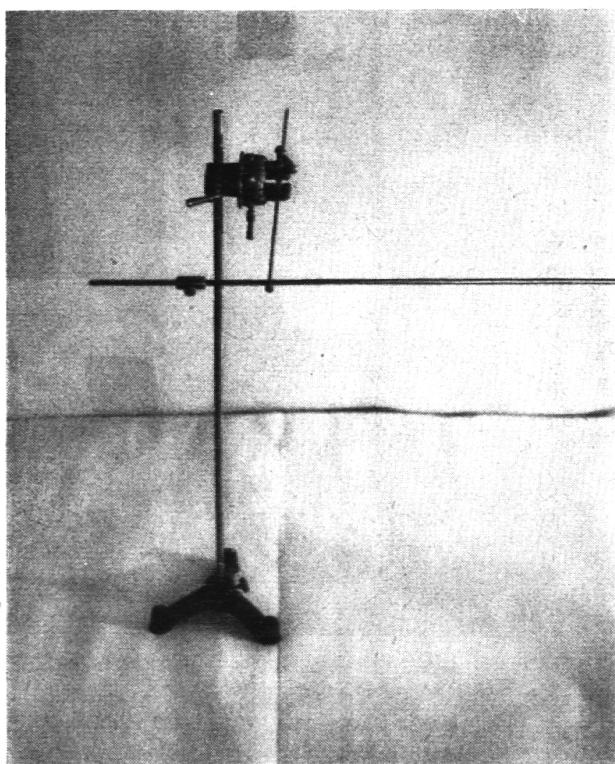


Fig. 4 Indifferentes Gleichgewicht  
Der Schwerpunkt liegt näher dem schwereren Teil

### 3. Versuch: **Stabiles Gleichgewicht** (Fig. 6).

Material: Wie bei Versuch 2.

Ohne die Lage des Schiebegewichts zu verändern, hängen wir den Rumpfstab wieder in der ersten Bohrung auf. Jede Prüfung zeigt, dass der Stab nun nur noch, nachdem er angestossen wird, in einer Lage ins Gleichgewicht kommt. Nehmen wir ihn aus dieser Lage heraus, dann wird der Schwerpunkt gehoben.

*Ergebnis: Der Schwerpunkt hat das Bestreben, die tiefstmögliche Lage einzunehmen, die senkrecht unter dem Aufhängepunkt liegt.*

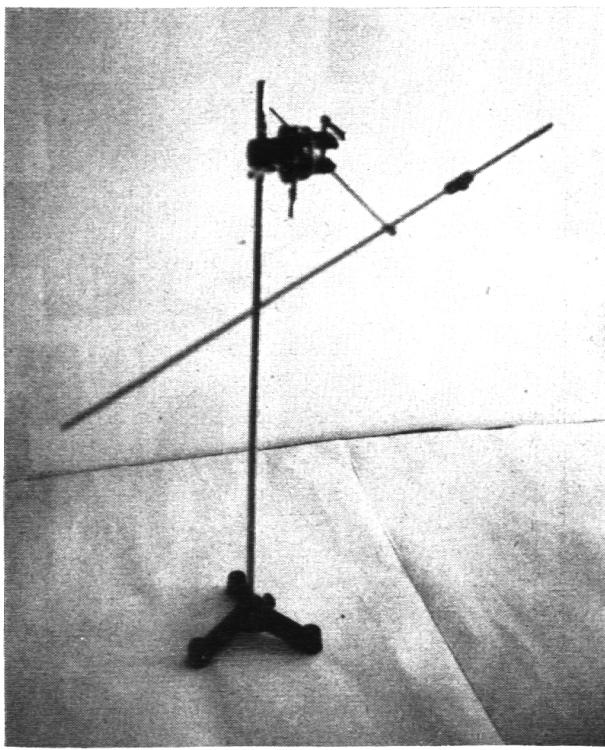


Fig. 5 Indifferentes Gleichgewicht  
In jeder Stellung ist der Stab im Gleichgewicht

Aus dieser Lage heraus muss bei einer Gleichgewichtsstörung der Schwerpunkt gehoben werden.

#### 4. Versuch: Rückdrehende Momente (Fig. 7).

Material: Wie bei Versuch 2.

Wir nehmen den Rumpfstab verschieden weit aus der Gleichgewichtslage heraus, heben also den Schwerpunkt verschieden hoch und lassen dann den Stab zurück schwingen. Die Geschwindigkeit, mit der er durch die Gleichgewichtslage schwingt, ist umso grösser, je höher wir den Schwerpunkt gehoben haben.

Ergebnis: In den verschiedensten Lagen A, B, C ist die Ursache der Rückdrehung, das rückdrehende Moment, verschieden gross, obwohl in allen Fällen die wirkende Kraft gleich bleibt. Die Hebelarme sind verschieden.

Begriffe, die von der Besprechung des Hebels her bekannt sein sollen:

**Drehpunkt**, das ist der Punkt, um den sich der Hebel dreht, dessen Lage also bei der Drehung unverändert bleibt.  
**Hebelarm**, das ist der (senkrechte) Abstand des Drehpunktes von der Kraffrichtung.  
**Drehmoment**, das ist das Produkt aus Kraft mal Hebelarm derselben.

#### 5. Versuch: Schwerpunkt ausserhalb des Rumpfstabes (Fig. 8).

Material: Wie bei den bisherigen Versuchen. Dazu Stab mit Bride zur Schwerpunktsverschiebung. Schiebegewicht.

Wir bringen an das eine Ende des Rumpfstabes den Stab mit Bride zur Schwerpunktsverschiebung, auf den wir das Schiebegewicht setzen. Die Stelle, an der wir den neuen Stab anbringen, soll so gewählt werden, dass der

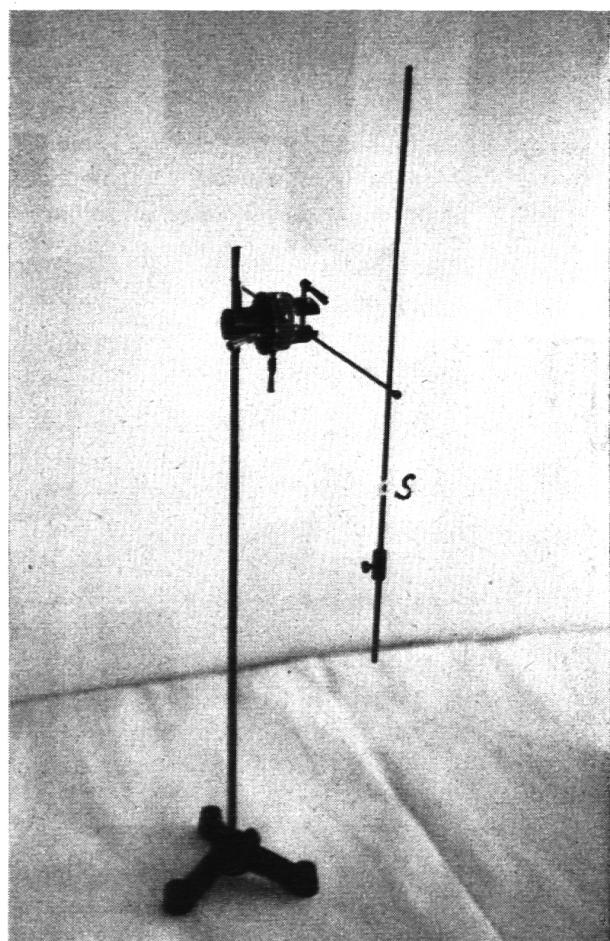


Fig. 6 Stabiles Gleichgewicht  
Bei jeder Lageänderung wird der Schwerpunkt gehoben

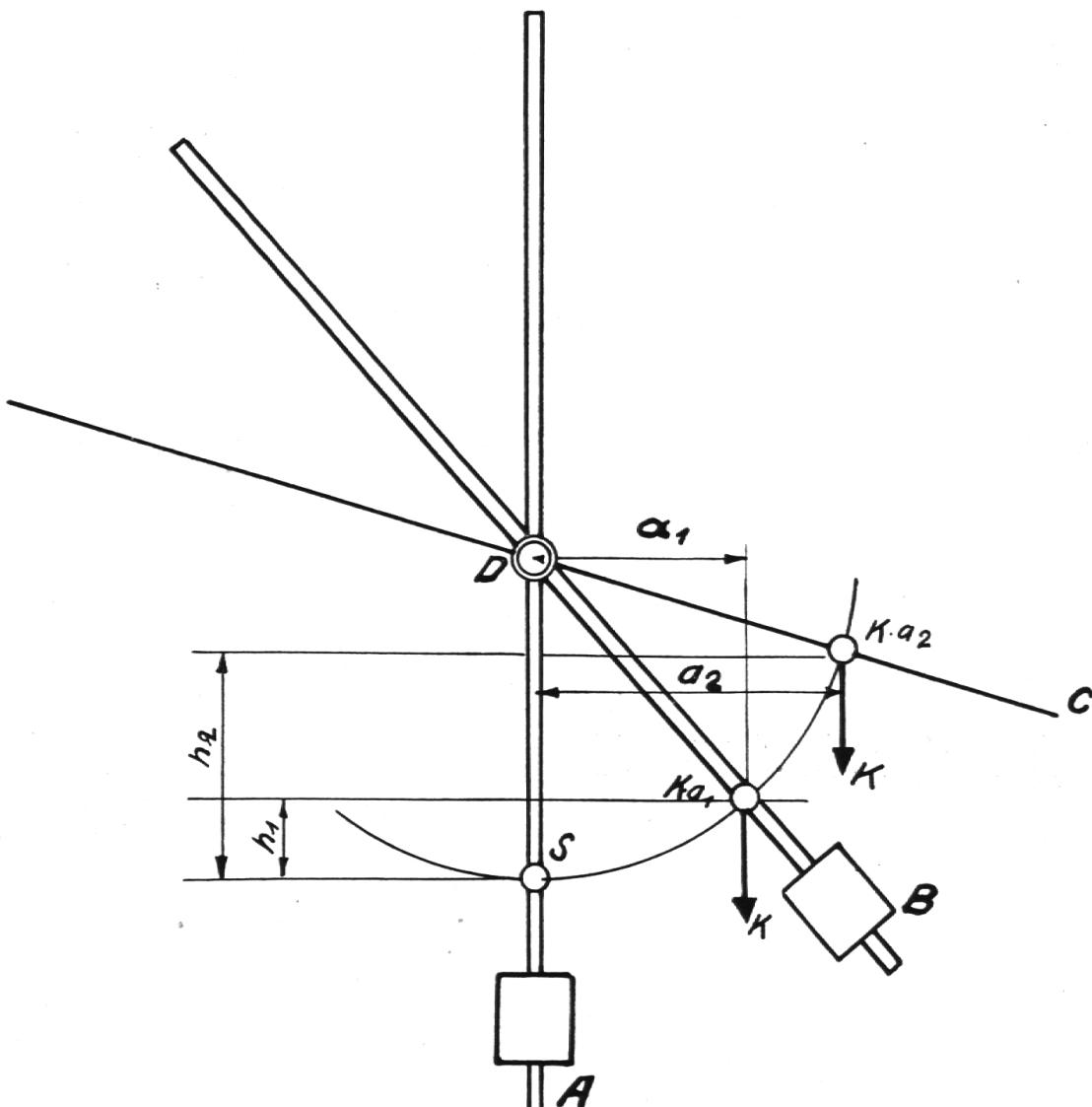


Fig. 7 A = Stabiles Gleichgewicht

$a_1, a_2$  = Hebelarme;  $K \cdot a_1$  } rückw. wirk. Drehmomente

S

h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>

= Schwerpunkt;  $K \cdot a_2$  } höher, um die der Schwerpunkt gehoben wird

Rumpfstab, ausserhalb der Mitte frei beweglich aufgehängt, ins Gleichgewicht kommt.

Wir stellen den Stab mit Gewicht höher oder tiefer. Dadurch ist es möglich,

1. den Schwerpunkt ausserhalb des Rumpfstabes zu legen,

2. den Schwerpunkt höher oder tiefer zu nehmen, sodass das Gleichgewicht mehr oder weniger stabil wird. Zur Prüfung des Stabilitätsgrades lassen wir das ganze System um die Ruhelage schwingen. Wir können auch kleine Gewichte auf die eine Seite des Rumpfstabes setzen und prüfen, wie weit das System aus der Ruhelage ausgeschwenkt wird.

Ergebnis: Der Schwerpunkt kann bei einem zusammengesetzten Körper auch ausserhalb desselben liegen. Die Stabilität kann mehr oder weniger gross sein.

#### 6. Versuch: Bestimmung des Schwerpunktes des zusammengesetzten Körpers (Fig. 9).

Material: Wie bei den bisherigen Versuchen, dazu ein leichtes Senkblei.

Wir gehen davon aus, dass der Schwerpunkt senkrecht unter dem Aufhängepunkt liegt. Wenn wir also im Versuch 5 die Lotrechte vom Aufhängepunkt aus mit dem Senkblei be-

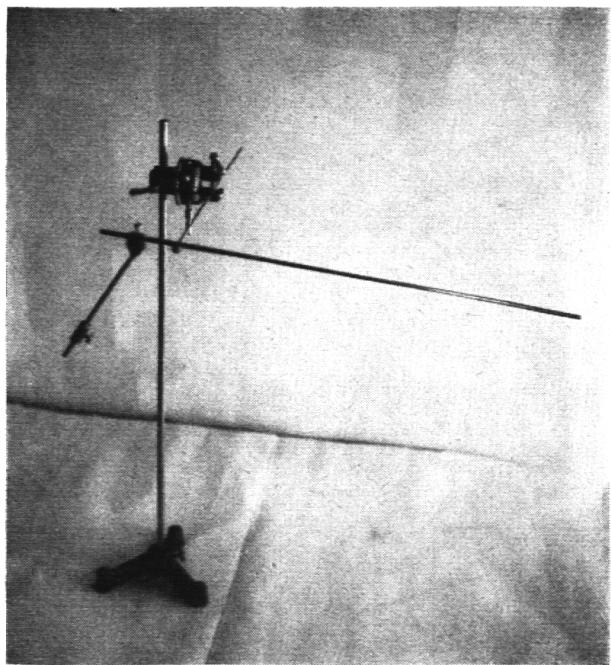


Fig. 8 Schwerpunkt ausserhalb des Rumpfstabes  
Er liegt auf der Senkrechten, gefällt vom Aufhängepunkt aus

stimmen und dieselbe mit einem aufgeklebten Papierstreifen markieren, dann erhalten wir eine Linie, die durch den Schwerpunkt geht. Diese stellt einen geometrischen Ort des Schwerpunktes, also eine Schwerlinie dar.

Hängen wir den Rumpfstab wieder in der Mitte auf, dann erhalten wir eine zweite Schwerlinie, die wir wieder mit dem Senkblei feststellen. Im Schnitt dieser beiden Schwerlinien liegt der Schwerpunkt, den wir durch eine Marke deutlich herausheben.

#### IV. Versuche über Gleichgewicht im Fluge und Steuerung

Die Versuche dieses Abschnittes der Fluglehre schliessen sich an die experimentelle Behandlung des Auftriebes, des Widerstandes und des Propellers an. Die Apparate, die der Volkschule dazu zur Verfügung stehen sollten, sind Umlaufgerät und Strömungswanne. Beides kann in einfacher Form von einem werktätigen Lehrer auch selbst hergestellt werden. Über diese ausgezeichneten Lehrmittel der Experimentalphysik kann in der einschlägigen Literatur

nachgelesen werden, soweit sie eben heute noch erhältlich ist.

Es handelt sich in erster Linie darum, diejenigen Versuche, die für die Sekundarschule in Betracht fallen, zu kennen und ausführen zu können. Zu letzterem braucht es einiges Einüben, was ja für den einwandfrei experimentierenden Lehrer immer nötig ist.

Es gibt viel Bewegung in allen diesen Versuchen. Sie sind darum für den Schüler außerordentlich fesselnd. Es wird z. B. eine profilierte Tragfläche an den langen Hebelarm des Umlaufgerätes gebracht und im Kreise bewegt. Wir beobachten, wie sich die Tragfläche mit dem Hebelarm hebt und so den Auftrieb anzeigen. Oder es wird hinter einer flachen Kreis-

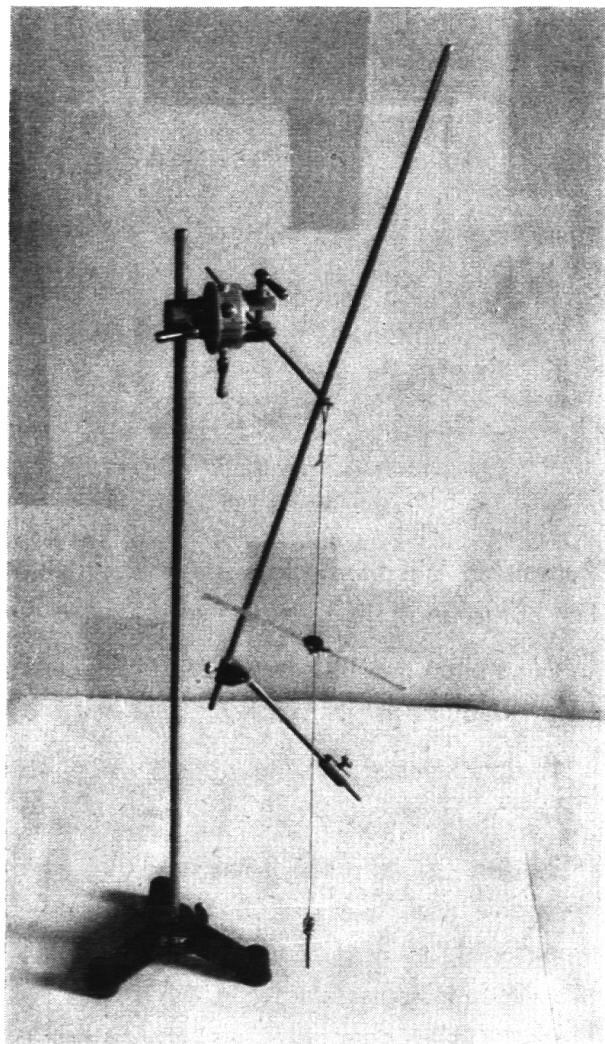


Fig. 9 Bestimmung des Schwerpunktes von zwei unter einem Winkel zusammengefügten Stäben

scheibe etwas Benzin auf Watte entzündet und das Ganze zum Kreisen gebracht. Wir beobachten das hinter der Kreisscheibe entstehende Wirbelgebiet vermittelst der züngelnden Flamme. Schüler und Lehrer gleich interessierende Vorgänge laufen ab, wenn in der Strömungswanne das mit parallelen Stromlinien laufende Wasser auf einen Profilquerschnitt stößt. Es zeigen sich der Staupunkt, die beschleunigten Strömungslinien über und die verzögerten unter der Tragfläche. Wenn nun vorher der Zusammenhang zwischen Druck und Geschwindigkeit durch Versuche mit Wasser und Luft gezeigt worden ist, erscheint es klar, dass über der Tragfläche Sog, unter derselben Druck entsteht, die beide zusammen den Auftrieb darstellen.

Den jungen Leuten wird durch diese anregenden und fesselnden Versuche ein bleibender Eindruck geschaffen und darum das Lernen, also Einprägen der Gesetzmäßigkeiten, sehr erleichtert.

Dem Physiklehrer steht für das Studium Literatur zur Verfügung. Das famose, von Walter Ackermann verfasste Buch „Fliegt mit“ orientiert in den wichtigen flugtechnischen Fragen in ansprechender und genussreicher Art. Für das Einarbeiten in die wissenschaftlichen Grundlagen und Zusammenhänge, die der seinen Lehrgang selbständig gestaltende Lehrer beherrschen muss, stehen uns die in den Jahrbüchern 1943 und 1944 der Sekundarlehrerkonferenzen der Ostschweiz erschienenen Arbeiten über Aerodynamik von Dr. Fritschi, Seminar Rorschach, zur Verfügung. Der Sekundarschulstufe speziell angepasste Versuche wurden in besonderen Kursen für die Sekundarlehrerschaft vom Verfasser gezeigt. Das Lehrbuch der Physik von Seiler, Hardmeier, Zürich, gibt für die Aerodynamik ebenfalls wertvollen Aufschluss. Dieses letztere Buch würde mehr nach der praktischen Seite hin durch das Handbuch der schweizerischen Segelflieger, „Segelflug“, von Hermann Rütschi, erschienen im Verlag Otto Walter in Olten, ergänzt.

Gute Dienste leisten auch die heute allerdings schwer erhältlichen Experimentier- und Lehrbücher: Schütt, Einführung in die Physik des Fliegens (mit Versuchen, die teilweise Freihandversuche sind), Sprenger, Fluglehre mit einfachen Mitteln (Versuche mit Umlaufgerät, Strömungswanne und Windkanal), Roller, Schulversuche zur Fluglehre, sowie Schnippenkötter, Die Physik der Luftfahrt.

Bei den nachfolgenden Versuchen mit dem Experimentier-Flugmodell setzen wir also die Grundlagen der Fluglehre voraus.

### Die Achsen des Flugzeuges.

Erinnern wir uns nochmal, was wir über die Achsen des Flugzeuges wissen müssen.

1. Längsachse. Sie geht in der Richtung des Rumpfes durch das Flugzeug. In unserm Falle ist sie dargestellt durch den Rumpfstab.
2. Querachse. Sie geht in der Richtung der Tragflächen durch das Flugzeug und steht senkrecht zur Längsachse.
3. Hochachse. Sie ist nach oben gerichtet und steht senkrecht zu den beiden vorhin genannten Achsen. Für unsern Fall können wir sie in der Richtung des Senkbleis durch den Aufhängepunkt denken.

Alle drei Achsen schneiden sich rechtwinklig im Schwerpunkt des Flugzeuges.

Das Flugzeug muss im Fluge in bezug auf diese drei Achsen stabil sein, d. h. nach störenden äusseren Einflüssen, die dem Apparat eine neue Lage, also eine Drehung um eine dieser drei Achsen geben, sollen rückdrehende Momente auftreten, die ihn in die ursprüngliche Lage zurückdrehen. Diese störenden äusseren Einflüsse sind z. B. Böen im Gegensatz zu den vom Piloten gewollten und durch die Steuerung eingeleiteten Lageänderungen.

### Versuche über Längsstabilität.

Unter Längsstabilität verstehen wir die Eigenschaft des Flugzeuges, sich den äussern

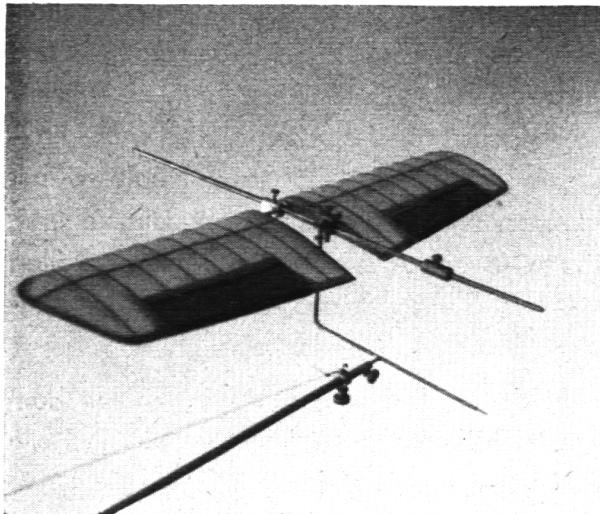


Fig. 10 Die Tragfläche allein, ohne Leitwerk, auf dem Arm des Umlaufgeräts befestigt. In der Ruhe ist sie im Gleichgewicht

Einflüssen, die ein Kippen der Längsachse (Drehung um die Querachse) erzeugen, durch rückdrehende Momente zu widersetzen.

**1. Versuch: Es soll gezeigt werden, dass das Flugzeug, nur mit der Tragfläche allein, nicht im Stande ist, längsstabil zu fliegen (Fig. 10 und 11).**

Material: Rumpfstab, Tragfläche (Anstellwinkel 15°), Aufhängeprisma mit Feststellhülsen. Aufhängehaken. Umlaufgerät.

**Versuchsaufbau.**

Tragfläche als Tiefdecker (TD) ungefähr in der Hälfte des Rumpfstabes angebracht. Aufhängung bei den ersten Versuchen ca. in der Mitte der Profiltiefe. Das Ganze durch Verschieben von Tragfläche und Aufhängung nun so ausgleichen, dass um die Querachse stabiles Gleichgewicht herrscht. Das kann geprüft werden durch Aufhängung am Haken. Das Modell auf das Umlaufgerät setzen. Gleichgewicht herstellen.

Anstellwinkel ca. 15°.

Antriebsgewicht 1000 g.

Schiebegewicht auf den hinteren Teil des Rumpfstabes.

Teil b des Aufhängehakens mit Vorteil horizontal stellen.

Drehbewegung um die Querachse frei geben, andere Bewegungen arretieren.

Höhen- und Seitenbewegung am Umlaufgerät frei geben.

Die Bewegung ist anfänglich beschleunigt. Nachher entsteht unter der Wirkung des Luftwiderstandes eine gleichförmige Bewegung. Der grosse Hebelarm des Umlaufgeräts wird hochgezogen. Es kann also Auftrieb festgestellt werden.

Bei einer bestimmten Geschwindigkeit beginnt sich das Modell aber um die Querachse zu drehen. Die Bewegung wird unregelmässig. Der grosse Hebelarm des Umlaufgeräts steigt und sinkt. Der Auftrieb schwankt also je nach der Stellung der Tragfläche. Es entsteht ein Guirlandenflug. Die Tragfläche ist unstabil.

**Ergebnis:** Die Tragfläche allein erzeugt wohl Auftrieb, aber sie ist für sich allein nicht im Stande, die Stabilität in bezug auf die Querachse zu halten. Es fehlt der Tragfläche allein die Längsstabilität.

**2. Versuch: Es ist die Längsstabilität der Tragfläche bei einem Anstellwinkel von 0° zu prüfen.**

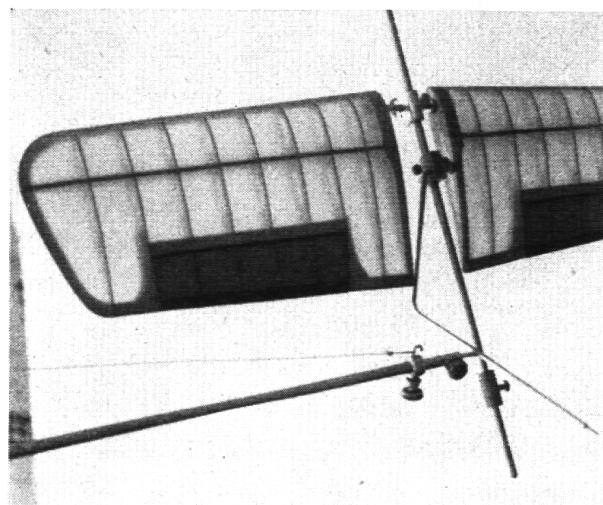


Fig. 11 In der Bewegung bleibt die Tragfläche nicht mehr in der horizontalen Lage. Sie ist instabil geworden

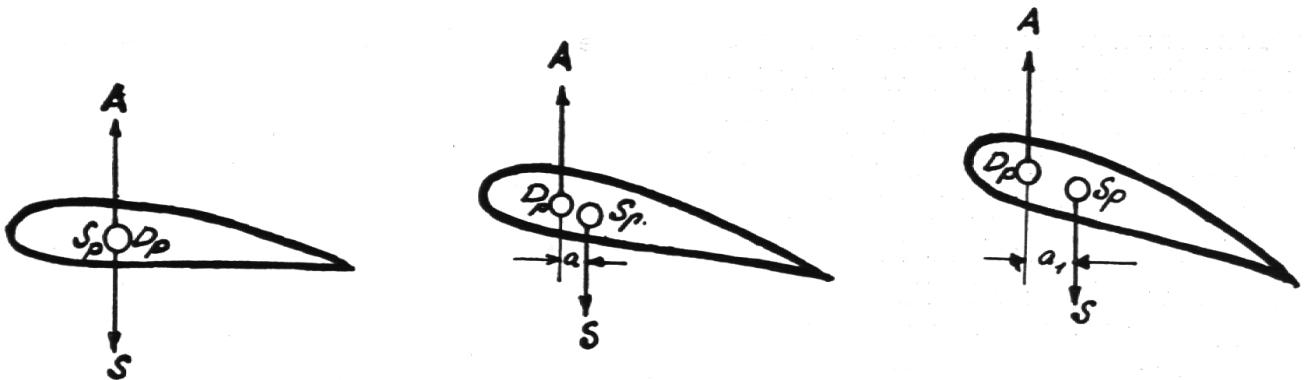


Fig. 12 Druckmittelpunktwanderung

Schwerpunkt und Druckmittelpunkt fallen zusammen. Der Auftrieb hat kein Drehmoment in bezug auf den Schwerpunkt, weil der Hebelarm Null ist. Im Fluge würde die Tragfläche stabil bleiben.

A = Auftrieb

Sp = Schwerpunkt

Eine Störung hat die Tragfläche etwas aufgebäumt. Darum ist der Auftriebsmittelpunkt nach vorne gewandert. Der Auftrieb hat in bezug auf den Schwerpunkt als Drehpunkt einen Hebelarm  $a$ . Das Drehmoment  $A \cdot a$  bäumt die Tragfläche noch mehr auf.

S = Schwerkraft

Dp = Druckmittelpunkt

Darum wandert der Druckmittelpunkt noch weiter nach vorne. Der Auftrieb bekommt also einen weiter wachsenden Hebelarm  $a_1$ . Dementsprechend wird das aufbäumende Drehmoment noch größer.

$a \quad a_1$  } = Hebelarme

Material: Gleich wie bei Versuch 1.

Ergebnisse: 1. Die Geschwindigkeit nimmt sehr rasch zu und wird grösser als im Versuch 1. (Je geringer der Anstellwinkel, desto kleiner der Widerstand.)

2. Auftrieb geringer, aber doch noch vorhanden.
3. Bei einer bestimmten Geschwindigkeit beginnt das Modell wieder den Guirlandenflug.

### 3. Versuch: Es ist die Längsstabilität zu untersuchen, wenn der Aufhängepunkt — zugleich Drehpunkt und Schwerpunkt — näher gegen die Profilhinterkante gerückt wird.

Material: Gleich wie bei den beiden ersten Versuchen, dazu noch Schiebegewichte zur Herstellung des Gleichgewichts. Anstellwinkel  $20^\circ$ .

Wenn wir den Schwerpunkt gegen die Flügelhinterkante rücken, dann ist es nötig, zur Herstellung des stabilen Gleichgewichts im Ruhezustand in bezug auf die Querachse zwei

Schiebegewichte auf den hintern Teil des Rumpfstabes zu setzen.

Ergebnisse: 1. Schon bei verhältnismässig geringer Geschwindigkeit kippt die Tragfläche um die Querachse hoch.

2. Die Tragfläche geht nicht mehr in die ursprüngliche Lage zurück.

Begründung für die Ergebnisse der bisherigen Versuche: Der Angriffspunkt des Auftriebes fällt nicht mit dem Schwerpunkt, der zugleich Drehpunkt ist, zusammen.

### 4. Versuch: Es soll der Begriff des Druckmittelpunktes eingeführt und der Zusammenhang mit dem Schwerpunkt erklärt werden (Fig. 12).

Material: Wie bei den letzten Versuchen.

Wir verlegen den Aufhängepunkt und Schwerpunkt allmählich nach dem vorderen Drittel der Tragfläche.

Wir beobachten nun, dass das Profil beim Flug durch die Luft bedeutend stabiler geworden ist. Es wird sogar möglich, dass es ohne Störung des Gleichgewichts fliegt.

**Erklärung.** Es kommt also für die Stabilität im Fluge sehr darauf an, wo der Schwerpunkt, der am frei beweglichen Flugzeug zugleich Drehpunkt ist, liegt. Es wirkt aber am Flugzeug nicht nur die Schwerkraft, sondern auch der Auftrieb. Nun kommt es auch wieder darauf an, wo diese zweite Kraft angreift. Wir müssen also Schwerkraft und Auftrieb mit ihren Angriffspunkten in gegenseitige Beziehung bringen.

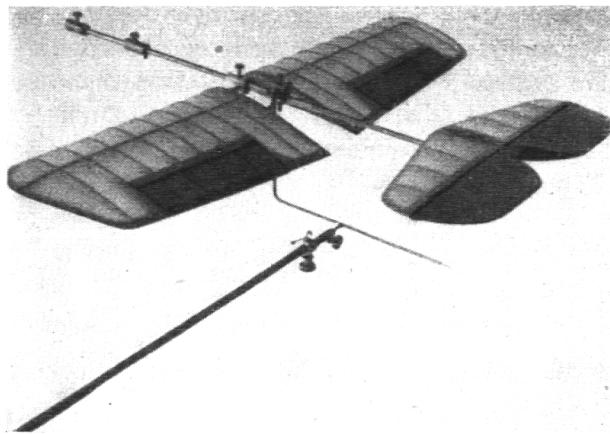


Fig. 13 Damit das Flugzeug Längsstabilität erhält, wird eine Höhenstabilitätsfläche angebracht. Dieselbe wirkt den Störungen um die Querachse entgegen

Den Angriffspunkt des Auftriebes bezeichnet man als **Druckmittelpunkt**. Dies ist ein ausserordentlich markanter Punkt der Tragfläche. Liegt nun, wie wir das in den ersten drei Versuchen gezeigt haben, der Schwerpunkt hinter der Mitte oder ist er sogar gegen die Hinterkante des Profils gerückt, dann beobachten wir, dass die Nase des Profils nach oben kippt und so die Unstabilität einleitet.

Daraus müssen wir schliessen, dass der Druckmittelpunkt weiter vorne liegt. Unser Versuch 4 bestätigt nun das, denn wir haben dort gefunden, dass bei einer Lage des Schwerpunktes und damit des Drehpunktes in einem Drittel der Profiltiefe von vorne gerechnet, das Kippen während des Fluges in ruhiger Luft verschwindet.

**Ergebnis (aus Versuch und Ueberlegung):** Der Druckmittelpunkt liegt im ersten Drittel der Profiltiefe von der Profilnase aus.

Es lässt sich also dieser Druckmittelpunkt so finden, dass wir den Schwerpunkt und damit den Aufhängepunkt solange verschieben, bis die Tragfläche in der Bewegung weder nach vorwärts noch nach rückwärts kippt.

Dann sind nämlich Schwerkraft und Auftrieb in der gleichen Wirkungslinie. Der Auftrieb hat also gegenüber dem Schwerpunkt als Drehpunkt keinen Hebelarm. Das Drehmoment wird also null.

Es ist nun aber nicht möglich, mit der Tragfläche allein einen längsstabilen Flug heraus zu bringen, und zwar darum, weil z. B. eine Böe von unten genügt, um den Anstellwinkel zu vergrössern. Dann ändert der Druckmittelpunkt seine Lage. Er wandert nach vorne. Jetzt ist ein Auftriebsdrehmoment vorhanden, das die Tragfläche noch mehr anstellt, sodass sie doch zum Kippen kommt.

Zur Bestätigung der Unstabilität der Tragfläche allein können wir mit den Versuchen so weiterfahren, dass wir den Schwerpunkt nach vorne, also gegen die Profilnase legen.

Aehnliche Versuche lassen sich auch ohne Umlaufgerät mit einem frei fliegenden Zimflugmodell, das eine verstellbare Tragfläche hat, durchführen.

##### 5. Versuch: **Es soll bewiesen werden, dass das Flugzeug längsstabil wird, sobald eine Höhenstabilitätsfläche angebracht wird.** (Fig. 13 und Fig. 13a)

Material und Versuchsanordnung ähnlich Versuch 2, dazu aber noch die Höhenstabilitätsfläche.

Versuchsanordnung: TD. Anstellwinkel  $0^\circ$ . Am Ende des Rumpfstabes Höhenstabilitätsfläche aufsetzen. Aufhängepunkt im Druckmittelpunkt. Schiebegewichte gehören auf den vorderen Teil des Rumpfstabes.

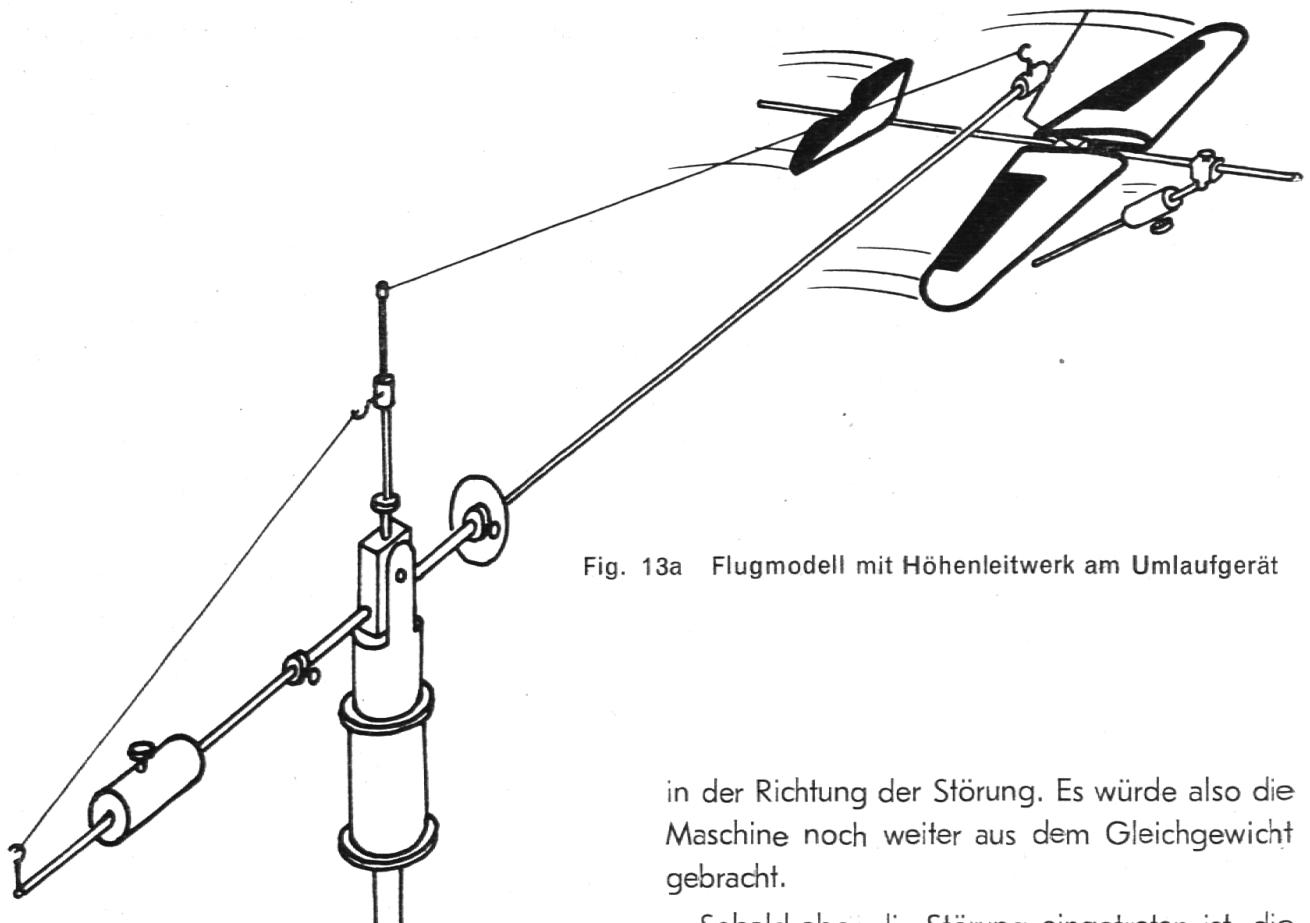


Fig. 13a Flugmodell mit Höhenleitwerk am Umlaufgerät

Durchführung der Versuche wie bisher.

- Ergebnisse:**
1. Bei jeder Geschwindigkeit bleibt das Flugmodell um die Querachse stabil. Es ist also Längsstabilität vorhanden.
  2. Wenn man dem Rumpfstab einen Stoss gibt und dadurch den Anstellwinkel verändert, (z. B. mit einem leichten Stäbchen), dann geht das Modell nach sehr wenig Schwingungen um die Querachse wieder in die ursprüngliche Fluglage zurück.

**Erklärung.** Nehmen wir den einfachsten Fall, dass das Flugzeug geradeaus fliege. Der Schwerpunkt und der Auftriebsmittelpunkt fallen zusammen. Dann ist also kein Drehmoment vorhanden, hervorgerufen durch den Auftrieb, weil sein Hebelarm in bezug auf den Schwerpunkt null ist. Wenn nun eine Störung der Gleichgewichtslage um die Querachse eintritt, so z. B., dass sich das Flugzeug mit der Nase des Profils hebe, dann wandert der Auftriebsmittelpunkt nach vorne. Jetzt hat der Auftrieb ein Drehmoment zur Folge, und zwar gerade

in der Richtung der Störung. Es würde also die Maschine noch weiter aus dem Gleichgewicht gebracht.

Sobald aber die Störung eingetreten ist, die Flugzeugachse vorne gehoben wurde, hat die Höhenstabilitätsfläche einen Anstellwinkel gegenüber der anströmenden Luft erhalten. Diese Fläche erhält darum ebenfalls einen Auftrieb, dessen Hebelarm vom Schwerpunkt aus senkrecht zur Kraftrichtung geht. Dieser Hebelarm ist gross, sodass die an der Stabilitätsfläche entstehende Auftriebskraft, die im entgegengesetzten Sinne wirkt wie das Störmoment, verhältnismässig gering sein darf.

Also: Das Drehmoment der Gleichgewichtsstörung wird aufgehoben durch das grössere Drehmoment der Auftriebskraft an der Stabilitätsfläche.

### Versuche über Höhensteuerung.

- 6. Versuch:** **Es soll gezeigt werden, dass das Flugzeug mit Hilfe des Höhensteuerns steigen oder sinken kann.** (Fig. 14 u. Fig. 15.)

**Material:** Gleich wie im vorhergehenden Versuch.

**Versuchsanordnung:** Nur mit der Abänderung, dass das Höhensteuer nach auf- oder abwärts gestellt wird. TD. Aufhängung im Auftriebsmittelpunkt. Anstellwinkel 0°.

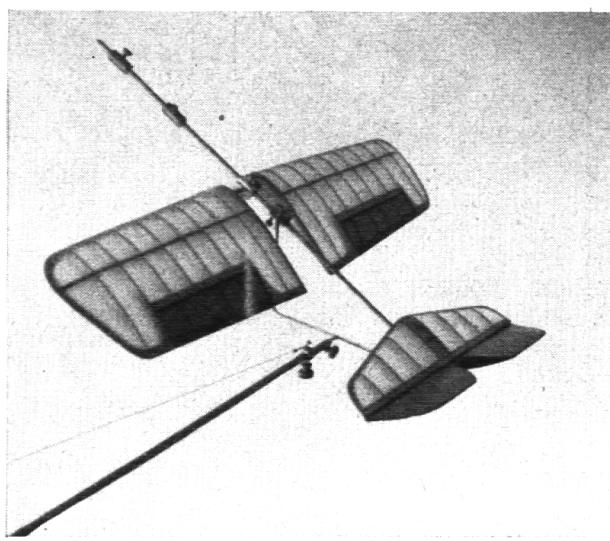


Fig. 14 Flugmodell mit Höhenleitwerk, dessen Ruder nach oben ausgeschlagen ist. (Ziehen.) Die Rumpfachse hebt sich vorne (Steigflug)

1. Schlagen wir das Höhenruder nach aufwärts aus (Pilot zieht am Steuerknüppel), dann stellt sich die Modellachse mit dem vorderen Teil nach aufwärts. Das Flugzeug will steigen. (Steigflug.)
2. Wenn wir das Ruder aber nach abwärts stellen (Pilot drückt am Steuerknüppel), dann neigt sich die Modellachse in entgegengesetzter Richtung. Das Modell will sinken.

**Erklärung.** Wenn das Höhenruder gegenüber der Stabilitätsfläche angestellt ist, dann bilden beide eine gewölbte Tragfläche. Auf der nach aussen gewölbten Seite, wo Stromlinienbeschleunigung eintritt, entsteht ein Unterdruck, ein Sog. Anderseits, bei Stromlinienverzögerung, entsteht ein Druck. Beide zusammen erzeugen eine Auftriebskraft, die wieder am langen Hebelarm angreift, der durch den Rumpf geht.

**Ergebnis:** Wenn wir das Modell genau im Auftriebsmittelpunkt aufhängen, dann entsteht

die geneigte Stellung der Längsachse nicht etwa durch ein Drehmoment der Auftriebskraft der Tragfläche, sondern durch ein solches der Leitwerksfläche.

**7. Versuch: Derselbe Versuch soll durchgeführt werden, jedoch mit der Abänderung, dass das Modell als Hochdecker zusammengestellt wird. (Fig. 13 a, 16 bis 18.)**

**Material:** Zusätzlich Bride mit Stab. Anstellwinkel 0°.

**Versuchsaufbau:** Wenn wir das Versuchsmode l als Hochdecker bauen, dann würde, falls die Anordnung der Schiebegewichte gleich bleiben würde, das Modell in der Ruhe ins labile Gleichgewicht kommen. Also müssen wir den Schwerpunkt verschieben.

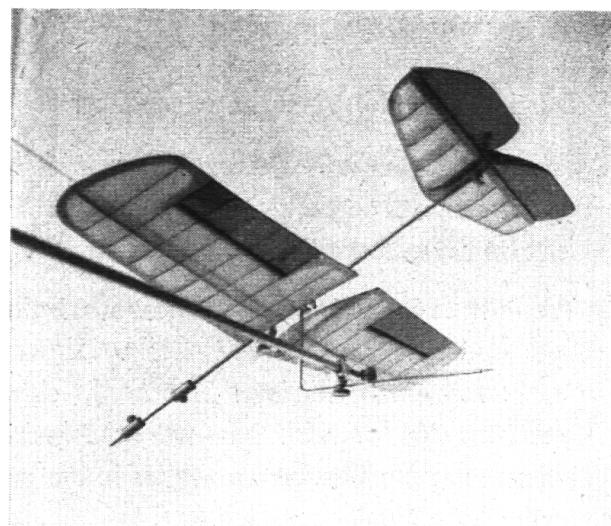


Fig. 15 Flugmodell mit Höhenleitwerk, dessen Ruder nach unten ausgeschlagen ist. (Drücken.) Die Rumpfachse senkt sich vorne

1. Stab mit Bride am Rumpfstab anbringen (Fig. 18) und darauf die Schiebegewichte setzen. Durch Auf- oder Abwärtsschieben der Gewichte und durch seitliches Schwenken des Stabes den Schwerpunkt an den richtigen Ort setzen, sodass das Modell im leicht stabilen Gleichgewicht ist. Hoch sitzendes Höhenleitwerk.) (Fig. 16.)

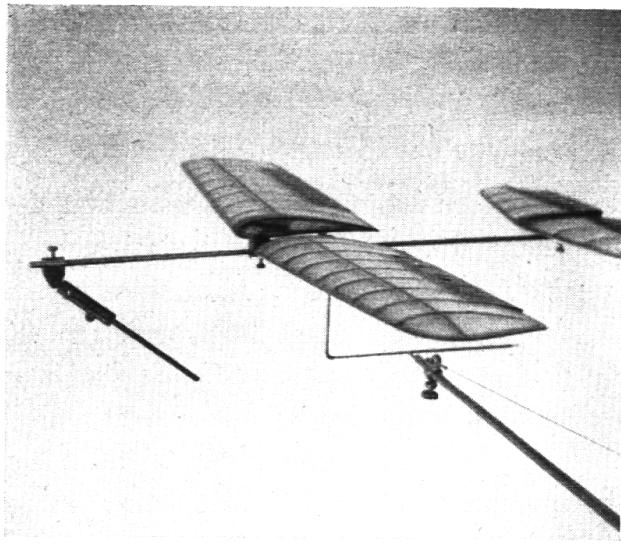


Fig. 16 Flugmodell als Hochdecker zusammengestellt. Damit der Schwerpunkt nicht zu hoch kommt und damit das Experimentiermodell in das labile Gleichgewicht käme, sind die Schiebegewichte unter den Rumpfstab gesetzt

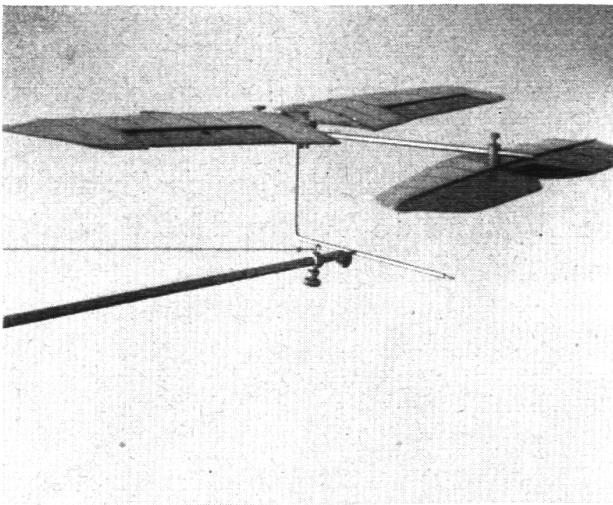


Fig. 17 Flugmodell als Hochdecker zusammengestellt. Damit der Schwerpunkt nicht zu hoch kommt, ist das Höhenleitwerk unter dem Rumpfstab angebracht

2. Wir können die Schiebegewichte auf dem Rumpfstab lassen, dafür aber die Höhenstabilitätsfläche nicht auf, sondern unter dem Rumpfstab aufsetzen. (Tief sitzendes Höhenleitwerk.) (Fig. 17.)

**Ergebnis:** Auch hier zeigen sich die gleichen Wirkungen der Stabilitätsfläche und der Ruder.

## Versuche über Richtungsstabilität.

Unter Richtungs- oder Seitenstabilität verstehen wir die Eigenschaft des Flugzeuges, nach einer Drehung um die Hochachse und seitlicher Anblasung wieder von selbst in die ursprüngliche Richtung zu gehen.

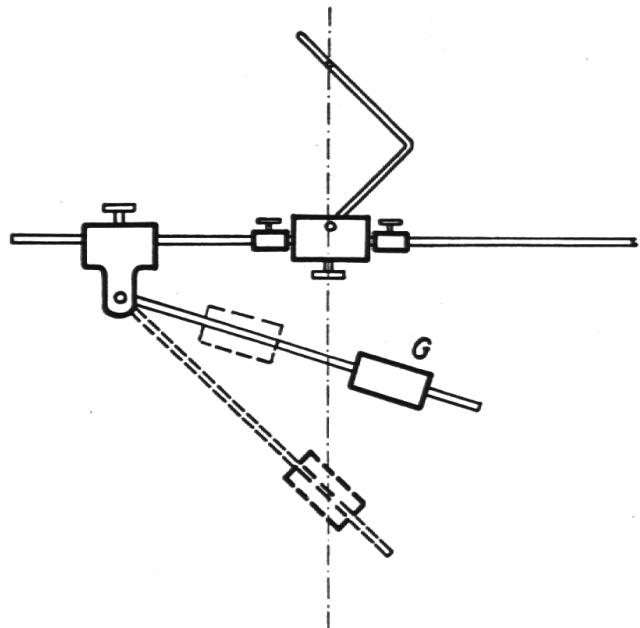


Fig. 18 Mittelst Stab mit Bride kann der Schwerpunkt vor- oder rückwärts, hoch oder tief genommen werden

8. Versuch: Es soll gezeigt werden, dass das Modell in der bisherigen Bauausführung keine Richtungs- oder Seitenstabilität hat. (Fig. 19, aber ohne Seitenstabilitätsfläche.)

Material: Wie bisher.

Versuchsanordnung: Anstellwinkel  $0^\circ$ . Höhensteuer auf dem Rumpfstab. Nun wird in der Hand das indifferente Gleichgewicht um die Hochachse folgendermassen geprüft: Aufhängeprisma im Druckmittelpunkt festmachen. In die untere Hülse stecken wir den Teil d des Aufhängehakens. Teil b desselben horizontal halten. Das Modell bewegt sich in vertikaler Ebene.

Nach dieser Prüfung bringen wir das Experimentiermodell auf das Umlaufgerät, sodass der Teil b des Aufhängehakens senkrecht

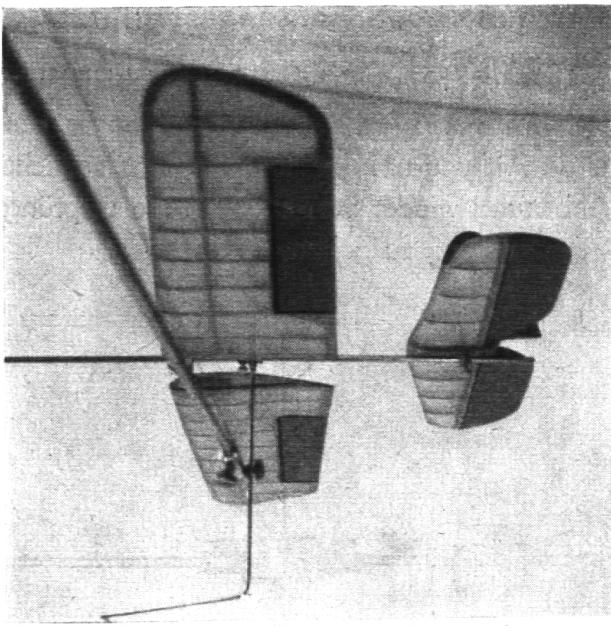


Fig. 19 Das Modell ist, um die Hochachse drehbar, auf dem Umlaufgerät. Der Teil d des Aufhängehakens trägt das Experimentiermodell mittelst der Hülse am Aufhängeprisma

steht. Nun kann es sich in horizontaler Ebene um die Hochachse drehen.

Drehbewegung des Umlaufgerätes freigeben.

Wir beobachten, dass das Modell ohne Seitenstabilitätsflächen bei einem geringen Stoss (Böe) Drehungen von  $360^{\circ}$  um die Hochachse ausführt. Diese Drehbewegungen kann das Modell auch von selbst einleiten.

Dann würde die Richtung der anströmenden Luft geändert. Ein Flügel kann aber nur dann tragen, wenn er von vorne angeblasen wird.

**Ergebnis.** Ohne Seitenstabilitätsflächen ist das Experimentiermodell in bezug auf die Hochachse nicht stabil.

#### 9. Versuch: Es soll gezeigt werden, dass das Modell mit Hilfe der Seitenstabilitätsflächen richtungsstabil gemacht werden kann. (Figur 20.)

Material: Wie bisher. Dazu die Seitenstabilitätsfläche.

Versuchsanordnung. Nachdem die Seitenstabilitätsfläche auf die Höhenstabilitätsfläche

aufgesetzt ist, muss das indifferentie Gleichgewicht um die Hochachse wieder neu hergestellt werden.

Gewichte ganz vorne am Rumpfstab.

Nun lassen wir unser Modell wieder auf dem Umlaufgerät kreisen. Es kreist nicht mehr um die Hochachse, selbst dann nicht, wenn wir ihm in dieser Richtung einen Stoss versetzen. Es ist richtungsstabil geworden. (Sollte die Längsachse nicht im rechten Winkel zum langen Hebelarm des Umlaufgerätes stehen, dann sind entsprechende kleine Gewichtsverschiebungen nötig.)

**Erklärung.** Sobald sich das Flugzeug schräg zur Anblasrichtung stellt, sodass also auch das Seitenleitwerk am Rumpf schräg dazu steht, entstehen an demselben Kräfte, die am langen Hebelarm des Rumpfes wirken. Das entstehende Drehmoment bewirkt die Einstellung in die ursprüngliche Richtung.

**Ergebnis.** Seitenstabilitätsflächen erfüllen den Zweck, das Flugzeug richtungsstabil zu machen.

Hier ist auch die Wirkung der Pfeilstellung der Flügel auf die Richtungsstabilität zu erklären.

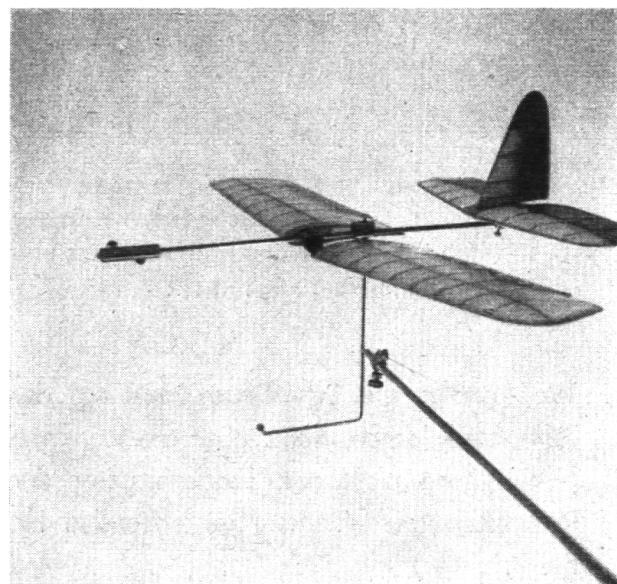


Fig. 20 Auf das Höhenleitwerk ist das Seitenleitwerk aufgesteckt. Dadurch wird das Modell seitenstabil

## Versuche über Seitensteuerung.

### 10. Versuch: Es soll die Wirkung der Seitenruder erklärt werden. (Fig. 21.)

Material: Gleichbleibend.

Versuchsanordnung: Damit wir einen möglichst langen Hebelarm für die entstehende Kraft am Seitenruder erhalten, verschieben wir die Tragfläche nach Möglichkeit nach vorne.

Wir richten zuerst das Modell so ein, dass es bei nicht angestelltem Seitenruder mit der Längsachse im rechten Winkel zum langen Hebelarm fliegt. Geben wir nun die Seitenruder auf die eine oder andere Seite, dann verändert sich dieser Winkel. Die Längsachse stellt sich entsprechend nach einwärts oder auswärts.

Ergebnis. Die Seitenstabilitätsfläche mit dem angestellten Seitenruder bilden zusammen gleichsam eine Tragfläche, an der bei der Anströmung Kräfte entstehen, die am langen Hebelarm des Rumpfes wirkend, die Drehung um die Hochachse erzeugen. Dadurch entsteht die Richtungsänderung.

## Versuche über Querstabilität.

Unter Querstabilität verstehen wir die Eigenschaft des Flugzeuges, durch die es bei der Einwirkung eines ungewollten Kippmoments um die Längsachse durch automatisch wirkende stärkere Gegendrehmomente die richtige Fluglage wieder herstellt.

### 11. Versuch: Es soll gezeigt werden, wie beim Flugzeug Querstabilität erreicht werden kann.

Material: Ein zweites Paar Tragflächen, jedoch ohne V-Form. Sind diese Tragflächen nicht vorhanden, dann kann die Querstabilität am V-förmigen Tragflächenpaar erklärt werden.

Wir führen zwei parallele Versuche durch, und zwar das erste Mal mit einem Tragflächenpaar mit und das zweite Mal ohne V-Form. Jedesmal wird das Modell in bezug auf die

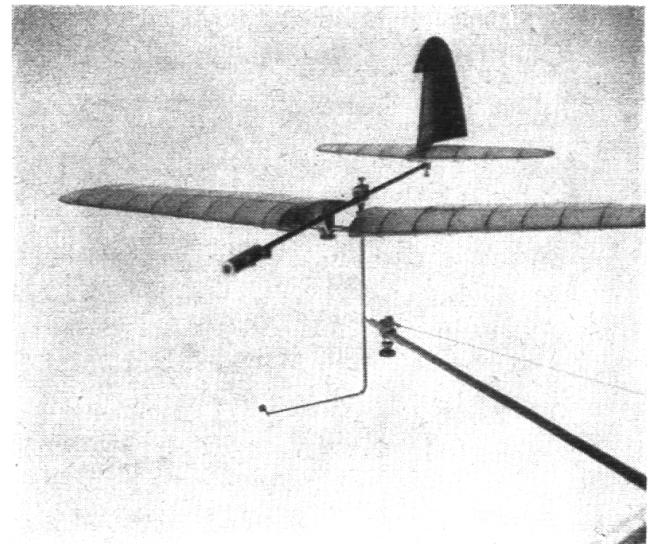


Fig. 21 Das Seitenruder hat gegenüber der Seitenstabilitätsfläche einen Anstellwinkel erhalten. Entsprechend demselben ändert der Rumpfstab seine Richtung

Längsachse in das leicht stabile Gleichgewicht gebracht.

Ergebnis. Das Modell mit V-Form stellt einer Änderung des Gleichgewichts um die Längsachse mehr Widerstand entgegen als jenes ohne V-Form. (Begründung dieser Tatsache!)

## Versuche über Quersteuerung.

### 12. Versuch: Es soll die Wirkung der Querruder gezeigt werden. (Fig. 22a und 22b.)

Material: Gleich wie bei den vorhergehenden Versuchen.

Versuchsanordnung: Die Drehung um die Längsachse wird frei gegeben, die andern Drehmöglichkeiten werden arretiert. Das Modell muss aber vorher in bezug auf den Aufhängepunkt ins Gleichgewicht gebracht werden sein. Teilstück des Aufhängehakens muss horizontal, also genau parallel der Längsachse stehen. Das Modell ist so gebaut, dass es sich in dieser Aufhängung um 360° um die genannte Achse drehen kann.

1. Der Schwerpunkt wird vermittelst Stab mit Brüde und Schiebegewichten ziemlich tief

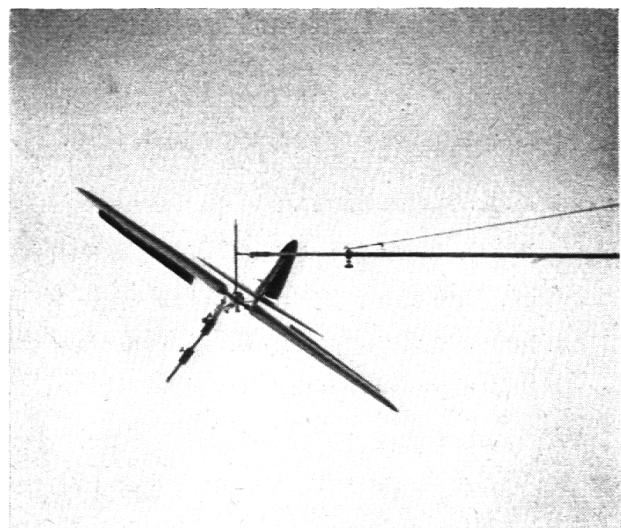
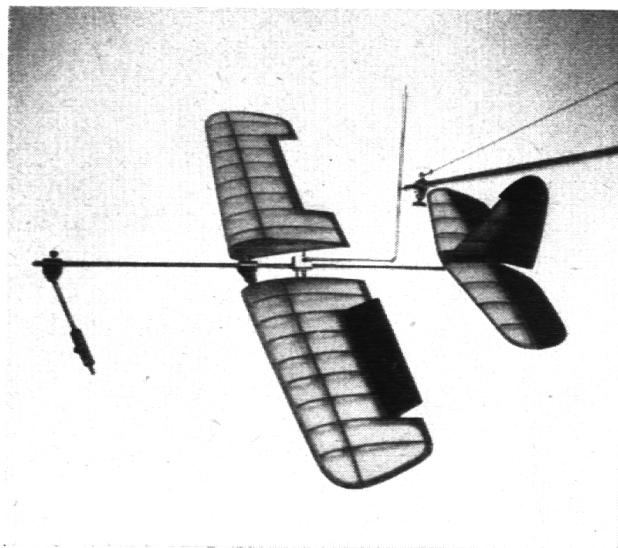


Fig. 22a und 22b Das Modell ist um die Längsachse drehbar. Die Querruder sind entsprechend der beabsichtigten Drehung angestellt, das äussere Ruder ist nach abwärts und das innere Ruder nach aufwärts ausgeschlagen

genommen. Das Modell dreht sich nun auf der kreisförmigen Bahn des Umlaufgerätes selbst in die Schräglage, trotzdem die Querruder nicht angestellt sind. Der Grund liegt in der Zentrifugalkraft, die auf den Schwerpunkt des Modells einwirkt und diesen nach aussen ziehen will.

2. (Fig. 22.) Die Querruder werden nun an-

gestellt, und zwar das äussere nach abwärts, das innere nach aufwärts.

*Ergebnis. Das Modell geht in eine weit stärkere Schräglage. An den Querrudern wirken Kräfte, sodass die äussere Tragfläche gehoben, die innere gesenkt wird.*

Die Querruder haben also ihre Bedeutung besonders für den Kurvenflug.

(Erkläre die Zusammenwirkung von Schwerkraft und Zentrifugalkraft und die sich daraus ergebende Schräglage des Flugzeuges.)

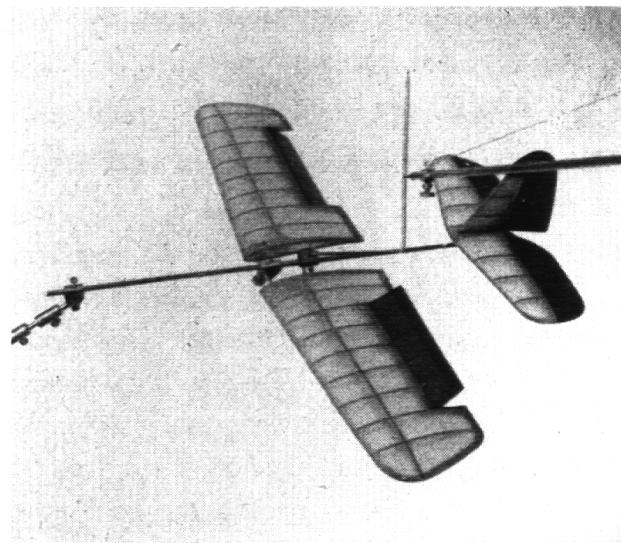


Fig. 23 Der Schwerpunkt ist verhältnismässig hoch genommen, sodass das Modell im leicht stabilen Flug fliegt. Anstellwinkel 0°. Es beginnt nun jetzt die Drehung um die Längsachse

### 13. Versuch: **Das Modell soll Drehungen um die Längsachse ausführen. (Rolle).** (Fig. 23 und 24.)

Material: Wie bei den vorhergehenden Versuchen.

Versuchsordnung: Die zwei Schiebegewichte werden nun auf dem Stab mit Brüde hoch genommen, sodass das Modell im leicht stabilen Gleichgewicht ist. Gleichgewicht in bezug auf die Querachse herstellen und diese Bewegung nachher arretieren. Dann auch Gleichgewicht in bezug auf die Längsachse kontrollieren und diese Bewegung frei lassen. Teil a des Aufhängehakens und Rumpf-

stab genau horizontal stellen. Nur so ist eine leichte Bewegung des Modells um die Längsachse möglich.

Durch die Wirkung der Querruder kommt das Modell in die Schräglage. Der Schwerpunkt wird dabei gehoben. Der Hebelarm (Abstand des Aufhängepunktes von der Wirkungslinie der Schwerkraft) ist bei hoher Lage des Drehpunktes verhältnismässig klein, sodass das rückdrehende Moment auch gering wird. Letzterem wirken nun die Drehmomente der Kräfte an den Querrudern entgegen und bewirken, dass der Schwerpunkt in die höchste Lage kommt, das Modell also Linkenflug ausführt. Anschliessend dreht sich das Modell in die Ausgangslage zurück, worauf die Bewegung von neuem beginnt.

Gibt man einen Anstellwinkel von ca.  $15^\circ$ , dann bleibt das Modell in der Rückenlage. (Begründung mit Zeichnung.)

**Ergebnisse.** 1. Bei nicht zu tiefer Lage des Schwerpunktes und bei angestellten Querrudern ist es möglich, dass das Modell fortlaufende Drehbewegungen um die Längsachse ausführt (Rolle).

2. Bei nicht zu tiefer Lage des Schwerpunktes und genügend Anstellwinkel ist es möglich, dass das Modell in die Rückenlage geht und dort bleibt. (Rückenflug.)

Akrobatikmaschinen haben gegenüber den Verkehrsmaschinen einen höher gelegenen Schwerpunkt und sind darum weniger stabil, also wendiger.

## Versuch über Auftrieb.

**14. Versuch: Es soll gezeigt werden, dass das Experimentiermodell je nach Grösse des Anstellwinkels verschiedenen Auftrieb erhält. (Fig. 25.)**

Material: Gleich.

Versuchsanordnung: Gleich wie beim Versuch 12. Der Schwerpunkt soll also nicht hoch genommen werden. Drehbewegungen um die

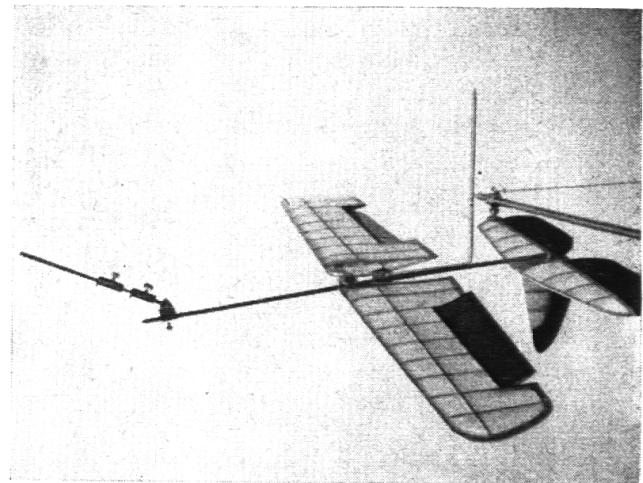


Fig. 24 Das Modell hat sich mit Hilfe der Querruder in die Rückenlage gedreht und bewegt sich nun in die Ausgangslage zurück, um die Rotation von neuem zu beginnen

Längsachse frei geben, damit sich das Modell in die Schräglage bringen kann. Antriebsgewicht 500—1000 g.

Wir geben der Tragfläche anfänglich einen Anstellwinkel von  $0^\circ$ . Am Maßstab, der neben dem Umlaufgerät steht, können wir Auftrieb feststellen. Die Geschwindigkeit, mit der sich der grosse Hebelarm des Umlaufgeräts bewegt, lässt auf geringen Widerstand schliessen. Nun geben wir der Tragfläche immer grössere Anstellwinkel bis ca.  $20^\circ$ . Wir beobachten eine geringere Umfangsgeschwindigkeit. Der Widerstand ist also grösser geworden. Um die gleiche Geschwindigkeit zu erhalten, geben wir also mehr Antriebsgewicht. Nun beobachten wir, dass das Modell bei gleichbleibender Geschwindigkeit und grösserem Anstellwinkel grösseren Antrieb erhält.

Bei zu grossem Anstellwinkel kann der überzogene Flug mit stark schwankendem Auftrieb gezeigt werden.

**Ergebnis.** 1. Der Auftrieb wird um so grösser, je grösser der Anstellwinkel ist.

2. Er ist aber von der Geschwindigkeit abhängig. Je grösser dieselbe ist, desto grösser ist der Auftrieb. (Quadratisches Verhältnis der Geschwindigkeit.)

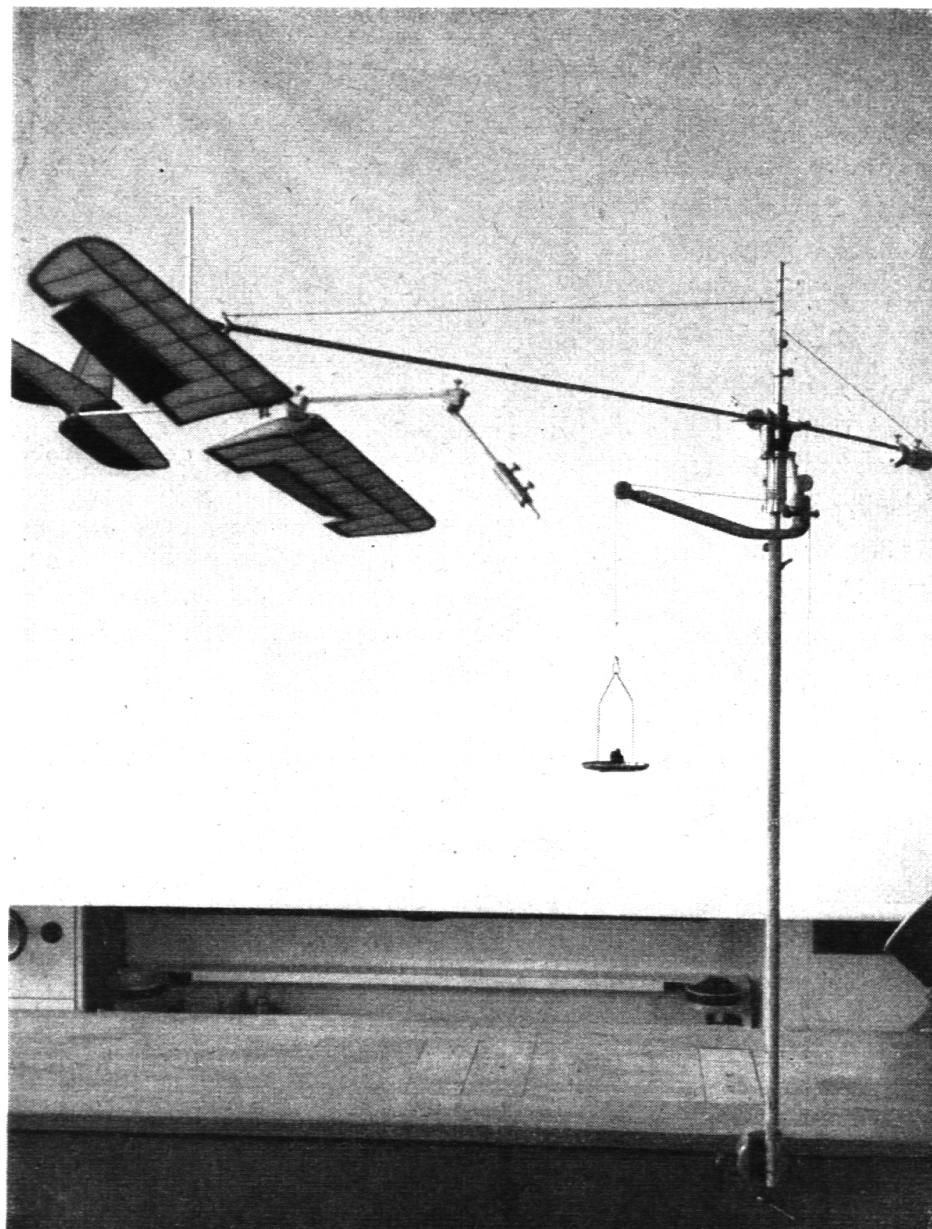


Fig. 25 Experimentier-Flugmodell am Umlaufgerät. Am langen Arm des Umlaufgeräts bewegt sich das Flugmodell. Die Energie des fallenden Gewichts liefert die notwendige Bewegungsenergie. Der Arm des Umlaufgeräts wird durch den entstehenden Auftrieb in die Höhe genommen

## V. Schluss

Die Versuche, die mit Hilfe des eben beschriebenen Experimentier-Flugmodells ausgeführt werden können, sind hier nicht erschöpfend behandelt. Es sollte vornehmlich eine Linie gezeigt werden, die man bei der Behandlung der Stabilität und Steuerung verfolgen kann, sodass der Sekundarschüler, der schon über Kenntnisse der Mechanik verfügt, den Experimenten mit Gewinn zu folgen vermag und unter Anleitung die richtigen Schlüsse zu ziehen versteht.

Der Lehrer selbst muss sich einige Uebung im Experimentieren mit einem Experimentiermodell verschaffen. Verschiebungen des Schwerpunkts, des Auftriebmittelpunkts oder des Anstellwinkels geben vielfach ein anderes als das erwartete Resultat. Aber gerade das zwingt den Lehrer zu neuem Nachdenken und bringt ihn den flugtechnisch interessanten Problemen näher.

A. Schmuki.