

## Großes Höhenleitwerk - kleiner Hebelarm

## Kleines Höhenleitwerk - großer Hebelarm

Ein Grundproblem des Freiflugs liegt in der einwandfreien Längsstabilisierung des Modells. Es ist zwar bis heute noch nicht vollständig gelöst, da sich aber viele Hunderte von Modellfliegern jahrelang mit diesem Thema praktisch befaßt haben, sind doch allerlei Tatsachen und Zusammenhänge herausgefunden worden.

Wenn wir uns von der Überschrift leiten lassen, kommen wir zunächst auf das Gebiet der Physik und müssen uns erstlich mit dem Hebelgesetz beschäftigen. Auf ihm beruht sowohl die Waage als auch ein so zartes Ding wie das Mobile; für robustere Naturen sei auf das Prinzip der Brechstange verwiesen. Jedemal halten sich zwei Kräfte (Gewichte) an zwei Hebelarmen das Gleichgewicht. Gleichgewicht ist rechnerisch dadurch gegeben, daß das Produkt aus Hebelarm und wirkender Kraft beide Male gleich groß ist. Die wirkende Kraft kann ein Gewicht, die Muskelkraft oder auch, wie in unserem Fall, der Auftrieb z. B. des Flügels oder des Leitwerks sein (Abb. 1).

Aus der Schule ist vielleicht (noch) bekannt: Last mal Lastarm ist gleich Kraft mal Kraftarm. Das ist das Hebelgesetz. Dazu wollen wir noch erwähnen, daß man die hierbei auftretenden Produkte aus einer Kraft und einem Hebelarm Drehmomente oder einfach Momente nennt.

Auf das Modell bezogen, können wir den Flügelauftrieb als die Last ansehen, die vom Leitwerksauftrieb als Kraft ausgeglichen werden soll.

Das Flügelmoment hat einen ganz bestimmten Wert. Es hängt davon ab, wie groß der Auftrieb ist und wie weit der Schwerpunkt und der Auftriebsmittelpunkt auseinanderliegen. Diesem Moment soll vom Leitwerksmoment das Gleichgewicht gehalten werden. Wie das bewerkstelligt wird, haben wir schon in der Überschrift zum Ausdruck gebracht: bei einem kleinen Leitwerkshebelarm muß ein großes Leitwerk und bei einem langen Hebelarm eine kleinere Leitwerksfläche konstruktiv vorgesehen werden, damit im einen wie im anderen Fall die gleiche Wirkung eintritt (Abb. 2).

Legt man die Werte für Höhenleitwerksfläche und Leitwerkshebelarm fest, so gilt die folgende Faustregel: *jedesmal, wenn das Produkt aus Höhenleitwerksfläche und Leitwerkshebelarm den gleichen Wert ergibt, erhält man auch die gleiche Stabilisierungswirkung. Ein kleinerer Wert gibt (innerhalb einer Klasse) eine schlechtere, ein größerer Wert eine bessere Stabilisierung.*

Von dieser aus Erfahrung festgestellten Gesetzmäßigkeit gingen die Modellflieger aus, wenn sie es einmal mit langem und ein andermal mit kurzen Rümpfen versuchten. Leider sind jedoch die Gesetzmäßigkeiten des Hebels nicht die einzigen, die man berücksichtigen muß. Es gibt noch andere, die sogar teilweise in ihren Auswirkungen sehr unangenehm und kompliziert sein können. Ehe wir diese behandeln, kurz ein ...

### ... historischer Überblick.

Nach dem Krieg fingen die Modellflieger bei uns mit den konstruktiven Ideen wieder an, mit denen ihre Vorgänger einstmals aufgehört hatten, und so bauten sie ihre Modelle nach alten Plänen. Diese waren allerdings noch nicht auf Leistung konstruiert, zumal man damals hauptsächlich Hangstartmodelle haben wollte. Für sie galt die Faustregel, die Leitwerksfläche sollte  $\frac{1}{3}$  der Flügelfläche groß sein. Beim Entwurf und bei der Erprobung von Hochstartleistungsmodellen bemerkte man dann, daß diese Formel nicht den neuen Anforderungen entsprach, und man begann herumzuprobieren. Der „Bussard“ von Gustav Sämann hatte noch eine Höhenleitwerksfläche von  $33\%$  der Flügeltiefe. Das war 1951. Eine neue Entwicklungstendenz ließen gleichzeitig die anders aussehenden Modelle erkennen, bei denen man möglichst viel Fläche aus dem Höhenleitwerk abzog und dafür den Flügel vergrößerte. Wegen des größeren Anstellwinkels und der größeren Re-Zahl ( $70 \times$  Flügeltiefe in mm  $\times$  Geschwindigkeit in m/sec) wird nämlich die Fläche, die der Tragflügel hat, viel besser zur Auftriebserzeugung ausgenützt als die des Leitwerks. Einen hohen Auftrieb zu erreichen bemühte man sich aber vor allem, seitdem das Augenmerk mehr auf die Sinkgeschwindigkeit

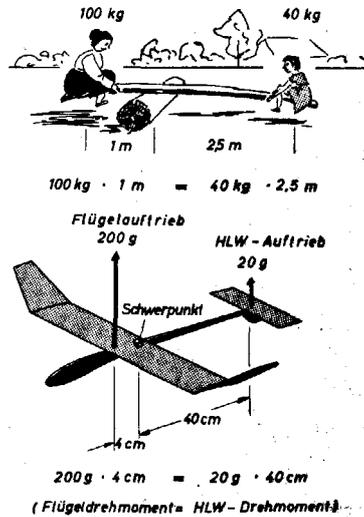


Abb. 1 Zweimal das Hebelgesetz und die Gleichgewichtsbedingung. Die Drehmomente sind auf beiden Seiten gleich. Der Auflagepunkt der Wippe entspricht dem Schwerpunkt des Modells

als auf die Gleitzahl gerichtet worden war. Modelle, bei denen man das Höhenleitwerk aus diesen Gründen besonders klein gebaut hatte, zeigten in jenen Jahren schon O. Czepa mit seinem „Zahnstocher“ (1951), Max Hacklinger mit dem „MP 10“ (1952) und Rudi Lindner mit den verschiedenen Ausführungen der „Spinne“. Diese Baumuster hatten jedoch die Eigenart, daß sie durchwegs schwierig zu fliegen waren, worin sie sich beträchtlich von Sámanns „Bussard“ unterschieden (Abb. 3).

Bei der Klasse W trat eine ähnliche Entwicklung ein. Man war hier bestrebt, möglichst viel Gummi im Rumpf unterzubringen und kam damit zu sehr langen Strängen. Ein damals in Amerika populáres Ein-Strang-Modell von Hank Cole wurde in Abb. 4 im Größenvergleich zu Günter Ruppss Siegermodell von den DMM 1961 dargestellt. In der Zwischenzeit hatte man herausgebracht, daß sich die Leistung bei sehr langen Rumpfen und kleinem Leitwerk doch nicht in dem Maße verbessert, wie es erwartet worden war. Vor allem nahm aber die Flugstabilität ab, wenn man die Höhenleitwerksfläche einfach nach dem Hebelgesetz festlegte. Darauf ist es zurückzuführen, daß man allgemein wieder dazu übergegangen ist, kürzere Modelle zu bauen. Endgültige Regeln gibt es immer noch nicht. Jede Neukonstruktion verlangt vom Modellflieger einen Kompromiß, der zwischen Leistung und Flugsicherheit abzuschließen ist.

Nur in ganz groben Zügen kann man dennoch vom Hebelgesetz ausgehen, wenn man die Proportionen des Modells festlegt: für einen doppelt so langen Leitwerkshebelarm braucht man dann nur noch ein etwa halb so großes Höhenleitwerk. In der Praxis gibt es aber noch weitere Faktoren, die berücksichtigt sein wollen.

Zu entscheiden wären hier die Fragen:

1. des Gewichts,
2. der effektiven Wirksamkeit einer Leitwerksfläche,
3. des Trägheitsmoments und
4. andere Fragen wie z. B. die der Kurvenfähigkeit.

Auf sie soll jetzt etwas näher eingegangen werden.

#### Das Gewicht

Wenn wir das Hebelgesetz in der Form zur Anwendung bringen, in dem wir es weiter oben als Faustregel formulierten, müßte es gleichgültig sein, ob man für ein A2-Modell ein Leitwerk von z. B. 6 dm<sup>2</sup> mit 50 cm Hebelarm verwendet, oder ein Leitwerk von 1 dm<sup>2</sup> an einem Hebelarm von 3 m. Das Produkt ist nämlich beide Male gleich (6×50=300) (1×300=300). Obwohl die Rechnung stimmt, dürfte sie uns im zweiten Fall reichlich unsinnige Proportionen geliefert haben. A2-Rümpfe von solchen Ausmaßen würden entweder zu schwer oder zu bruchempfindlich werden. Unseren Möglichkeiten zur Anwendung des Hebelgesetzes sind also natürliche Grenzen gezogen. Näheres über die Gewichtsverteilung erfahren wir später im Abschnitt über das Trägheitsmoment.

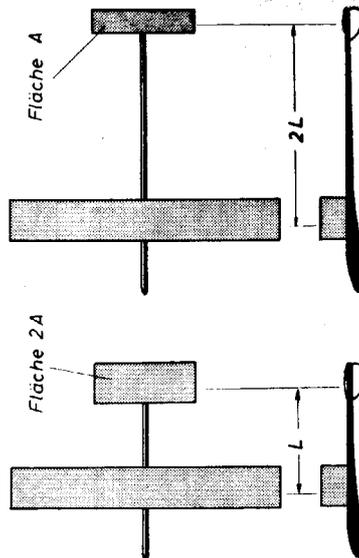


Abb. 2 Gleiche Stabilität mit verschiedenen Leitwerkshebelarmen und HLW-Flächen

#### Einfluß von Re-Zahl und Streckung

Die Wirksamkeit eines Leitwerks für die Stabilisierung hängt weitgehend von seiner Streckung ab. Gemeinhin kann man sagen, daß sie umso besser sein wird, je länger und schmaler man das Höhenleitwerk baut, so sah man z. B. auf der DMM 1961 ein A2-Modell mit der Leitwerksstreckung 10. Andererseits hängt aber die Wirksamkeit auch von der Profiltiefe ab. Jedes Profil arbeitet nur oberhalb einer bestimmten Reynoldsschen Zahl (Re-Zahl) einwandfrei.

Fällt die Flügeltiefe zu klein aus, so kommt man unter diese Grenze und die Strömung wird wahrscheinlich abreißen. Schafft man dadurch Abhilfe, daß man die Tiefe vergrößert, so sinkt bei vorgegebener Fläche die Streckung. Die beiden baulichen Veränderungen führen also zu entgegengesetzt wirksamen Ergebnissen. Im Interesse einer besseren Wirksamkeit wird es dennoch gut sein, das Leitwerk nicht zu klein zu wählen (Abb. 5). Bei rundnasigen Profilen empfiehlt es sich, einen Turbulator anzubringen; am einfachsten verwendet man dafür eine Stolperleiste oder einen aufgeklebten Faden in 3/8 der Tiefe auf der Profilloberseite. Will man ohne Turbulator auskommen, so sind die kleinsten Tiefen möglich, wenn die ebene Platte zum Einbau kommt. Sie hat aber schlechte Abreißigenschaften und ist deshalb bestimmt nicht das beste Leitwerksprofil. Allgemein seien hier folgende Anhaltswerte gegeben: die untere Grenze für die Profiltiefe des Leitwerks ist 5–8 cm. Eine Erhöhung der Streckung lohnt sich etwa bis 7. Was darüber hinausgeht, erbringt keine beträchtlich verbesserte Wirksamkeit.

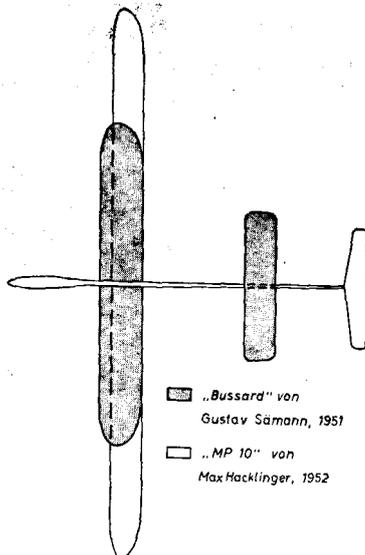


Abb. 3 Der „Bussard“ und zum Vergleich das Hacklinger-Modell „MP 10“, 1951—52

#### Das Trägheitsmoment

Die Frage des Trägheitsmoments bereitet nicht nur den Modellfliegern, sondern auch den Konstrukteuren großer Flugzeuge etliches Kopfzerbrechen. Man kann sich das Trägheitsmoment so vorstellen, als sei es der Schwung, den ein Körper hat, wenn er eine Drehbewegung ausführt. Einen solchen Schwung erhält das Modell z. B. beim Pumpen, wobei dem Höhenleitwerk auf Grund seiner stabilisierenden Wirkung die Aufgabe zufällt, ihn möglichst schnell wieder zu beseitigen, damit das Modell zur Ruhe kommt. Mit Ausnahme seiner Vorwärtsbewegung dreht sich das Modell bei allen Bewegungen in der Luft um seinen Schwerpunkt. Dabei kommt es darauf an, daß der Schwung immer möglichst klein gehalten werde, weshalb alle Schwungmassen dicht bei der Drehachse, also in der Nähe des Schwerpunktes liegen sollen. Maßgeblich für den Schwung, den ein Modell beim Pumpen erhält, sind nämlich gerade die Massen, die weit vom Schwerpunkt entfernt liegen. Massen in der Nähe des Schwerpunktes sind dagegen ziemlich unschädlich. Um das Trägheitsmoment nicht unnötig zu vergrößern, wird man also den Rumpf nicht übermäßig lang bauen und dies ist ein weiterer Grund, der gegen besonders lange Leitwerkshebelarme spricht. Aus diesen Überlegungen ergibt sich eine ganz einfache Schlussfolgerung: es ist sehr wichtig, daß man das Leitwerk und die rückwärtigen Rumpfteile möglichst leicht baut. Auch sollte man andererseits keine zu lange Rumpfnase vorsehen.

Da ein Gewicht, das in der Nähe des Schwerpunktes liegt, sowieso unschädlich ist, erscheint es reichlich unsinnig, das ganze Modell leicht zu bauen, um dann die etwa fehlenden 100 g in Form von Blei in den Schwerpunkt zu legen.

528

Viel vernünftiger ist es, wenn man den Rumpf, dicht hinter und vor der Fläche sowie die Flügelansätze, im Rahmen des zulässigen Gesamtgewichts möglichst fest baut und das Gewicht in Schwerpunktnähe auf konstruktive Weise zum Einsatz bringt; wegen seines geringen Abstandes vom Schwerpunkt (gemeinhin weniger als 20 cm) ist der Einfluß auf das Trägheitsmoment verhältnismäßig gering. Dies ist eine Tatsache, die auch von manchem erfahrenen Modellbauer oftmals nicht beachtet wird. Vielfach bekommt man auch die Empfehlung, die Flügelspitzen besonders leicht zu bauen. Das aber hat nur einen Einfluß auf die Querlage des Modells und damit auf seine Kurveneigenschaften. Gute Modelle sind hier von sich aus nicht sehr empfindlich, so daß eine entsprechende bauliche Vorsorge an dieser Stelle weit weniger wichtig ist als am Rumpfe. Ausnahmen können in dieser Hinsicht RC-Segler sein. Es sei auch auf die ausführliche Behandlung dieser Fragen in MECHANIKUS 10/59, S. 440-445, verwiesen.

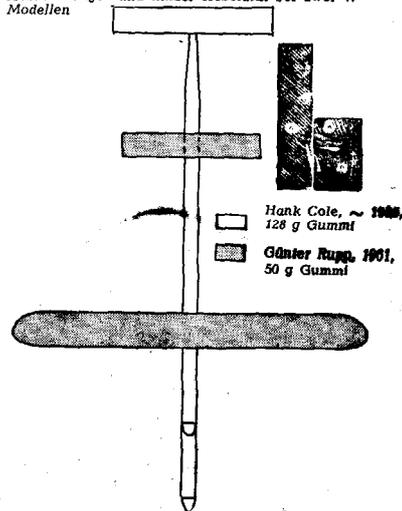
#### Weitere Einflüsse

Die Einflüsse, die wir bisher behandelt haben, kann man selbst untersuchen, indem man zu Hause sein Modell in die Hand nimmt und nachsieht, wie die Dinge liegen. Beim freien Flug treten dagegen noch ganz andere Einflüsse auf. So hat es sich z. B. gezeigt, daß Modelle mit kurzen Rümpfen bessere Kurveneigenschaften besitzen als andere, die einen langen Leitwerkshebelarm haben. Die sperrigen Modelle eignen sich wohl für das Mondscheinfliegen, sie sind aber schlecht für den Thermikflug auf Wettbewerben. Auch die etwas umstrittene Frage der Böenempfindlichkeit wird man wohl zu Gunsten der kurzen Modelle entscheiden müssen.

#### Die Sonderstellung der Motormodelle

Bisher wurden die verschiedenen Klassen der Flugmodelle nur nebenbei erwähnt. Selbstverständlich treten in jeder einzelnen Kategorie

Abb. 4 Langer und kurzer Hebelarm bei zwei W-Modellen



Hank Cole, ~ 1966,  
128 g Gummi

Günter Rupp, 1961,  
50 g Gummi

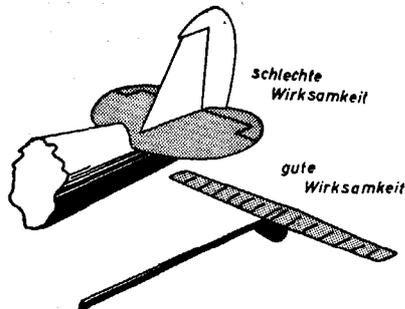
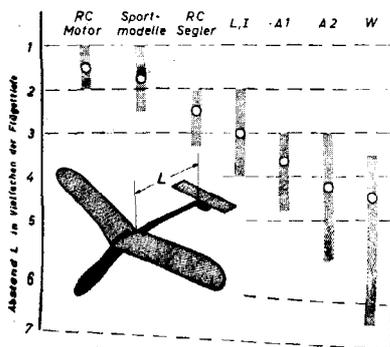


Abb. 5 Die Wirksamkeit eines Leitwerks für die Stabilisierung hängt von der Streckung ab

auch deren spezielle Probleme auf. Was wir bisher erwogen hatten, betraf sowohl die Segelflugmodelle der Klassen A1 und A2 als auch die W-Modelle, was insbesondere darauf zurückzuführen ist, daß sie in der Art vergleichbar sind, in welcher sie ihre Leistung erlangen. Bei den Klassen L und I haben wir nun jedoch mit Sondererscheinungen zu rechnen, da diese Modelle primär auf einen guten Steigflug konstruiert sind. Die Sinkgeschwindigkeit ist bei ihnen oft von sekundärer Bedeutung, so daß der Hauptgrund wegfällt, nach dem man in anderen Fällen einen langen Rumpf und ein kleines Höhenleitwerk baulich vorgesehen hatte. Der Steigflug dieser Modelle erfolgt mit einem kleineren Anstellwinkel als der Gleitflug, ersterer etwa mit  $0^\circ$ , letzterer mit  $3^\circ - 6^\circ$  Anstellwinkel des Flügels gegen die strömende Luft. Für diesen Wechsel, insbesondere aber für den sicheren Steigflug muß das Höhenleitwerk größer sein als z. B. bei einem A2-Modell. Aus diesem und auch noch aus anderen Gründen kam man bei der Konstruktion von Verbrennungsmotormodellen nicht so sehr in Versuchung, lange Rümpfe zu verwenden. Dennoch sind auch bei ihnen im Gleitflug wieder die gleichen Verhältnisse zu erwarten, wie wir sie eingangs dargestellt hatten. Sie treffen ja auch für alle anderen Modelle zu, soweit diese über einen Rumpf und ein Höhenleitwerk verfügen.

Hier sei nun noch eine Bemerkung zu den W-Modellen angefügt. Manchmal sieht man bei dieser Klasse Modelle, deren sehr langer Leitwerksträger noch über das hintere Ende des Gummistranges hinaus fortgesetzt wurde. Diese Bauweise ist gewiß nicht sehr rationell, denn infolge des hohen Trägheitsmoments

Abb. 6 Leitwerksabstände für die verschiedenen Klassen. Der Kreis gibt den empfohlenen Wert, der gerasterte Streifen die heute allgemein benützten Werte an.



bringt der lange Hebelarm kaum noch Vorteile hinsichtlich der Längsstabilität. Dazu kommt, daß solche Modelle oft überstabil werden. Man sollte daher das Rumpfenende nur so lang machen, daß sich der Leitwerksabstand noch in vernünftigen Grenzen hält. Auch für das Nachdrücken im Steigflug genügt ein Leitwerksabstand von 600 mm vollkommen.

#### Empfehlenswerte Hebelarme

Um einen Anhalt für Neukonstruktionen zu geben, sind in Abb. 6 für alle vorkommenden Modelltypen die zweckmäßigsten Leitwerkshebelarme eingezeichnet. Man mißt die Entfernung von der Endleiste des Flügels bis zur Nasenleiste des Leitwerks und rechnet das gefundene Maß in Vielfache der Flügeltiefe um. Ist z. B. der Leitwerksabstand 60 cm, die Flügeltiefe 15 cm, so ergibt sich  $\frac{60}{15} = 4$

Die eingezeichneten Kreise geben die am häufigsten

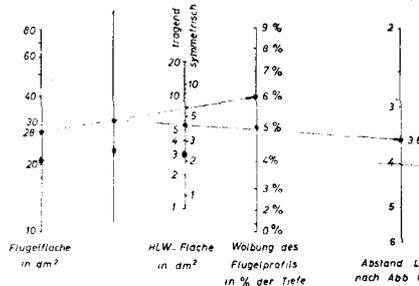
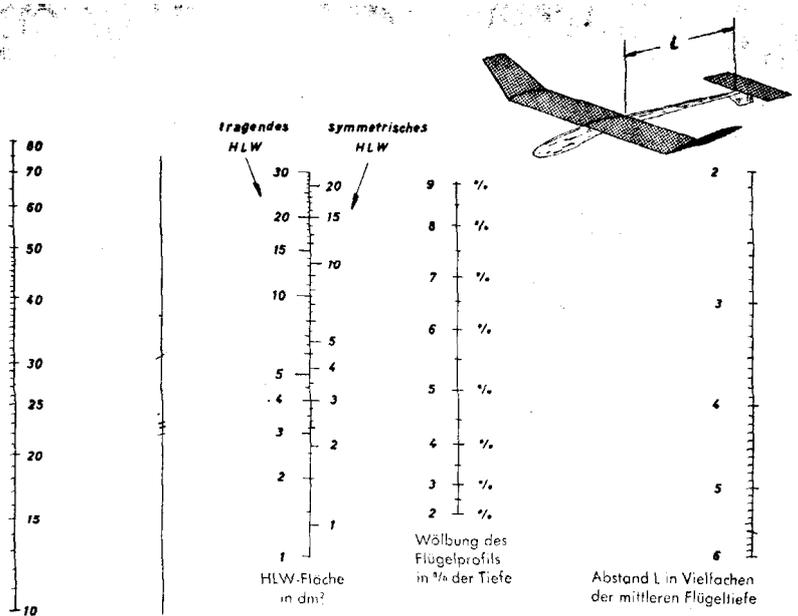


Abb. 7 Mit zwei Strichen nur ist der Leitwerksabstand oder die HLW-Fläche bestimmbar. Erläuterung im Text

verwendeten oder auf Grund der Stabilitätsbetrachtung empfohlenen Leitwerksabstände an. Das gerasterte Gebiet bezeichnet den Bereich, der heute bei guten Modellen vorkommt. Die Werte wurden aus vielen Veröffentlichungen in Jahrbüchern und Zeitschriften ermittelt. Man sollte die durch Kreise bezeichneten Werte bevorzugen und nur in Ausnahmefällen L-Werte verwenden, die unterhalb der Kreise liegen. Das gilt besonders für die Klasse W, aber auch für A2, A1, L und I.

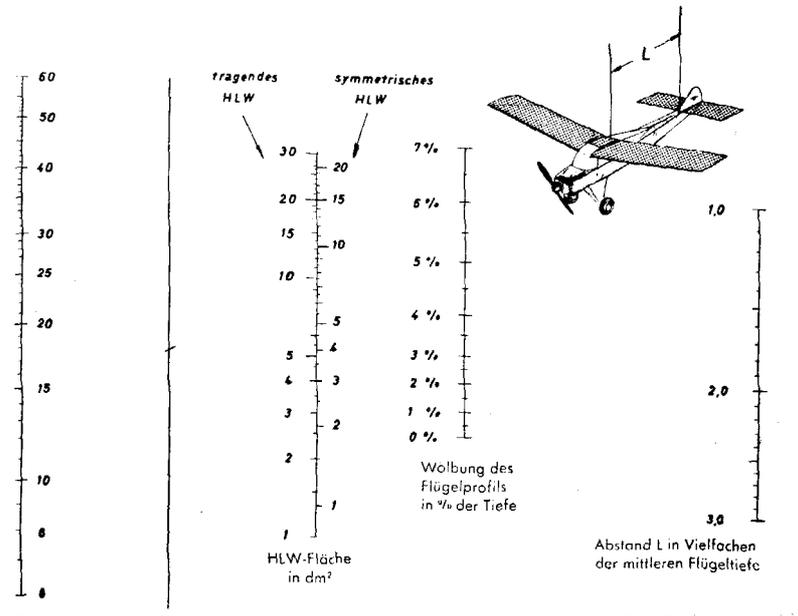
#### Zum Schluß die Höhenleitwerksfläche

In engem Zusammenhang mit der Festlegung des Leitwerkshebelarms steht die Frage, wie groß das Höhenleitwerk sein muß. Da die Höhenleitwerksgröße von mehreren Faktoren abhängt, haben wir zu ihrer Bestimmung die Methode des Nomogramms gewählt. Mit Nomogrammen kann man wahlweise den Leitwerkshebelarm bestimmen, wenn man zuvor schon die Höhenleitwerksfläche festgelegt hat, oder aber man ermittelt die Höhenleitwerksfläche, sofern der Leitwerkshebelarm nach den Werten aus Abb. 6 bekannt ist. Um mit den Nomogrammen rechnen zu können, benötigt man nicht viel mehr als ein Lineal und einen spitzen Bleistift. Weil die einzelnen Klassen ihre besonderen Eigenschaften haben, wurden



Flügelfläche in dm<sup>2</sup>

Abb. 8 Nomogramm zur Bestimmung von Leitwerksabstand oder Höhenleitwerksfläche für Modelle der Klassen A1 und A2 sowie RC-Segler



Flügelfläche in dm<sup>2</sup>

Abb. 9 Nomogramm zur Bestimmung von Leitwerksabstand oder Höhenleitwerksfläche für Sportmodelle und RC-Motormodelle

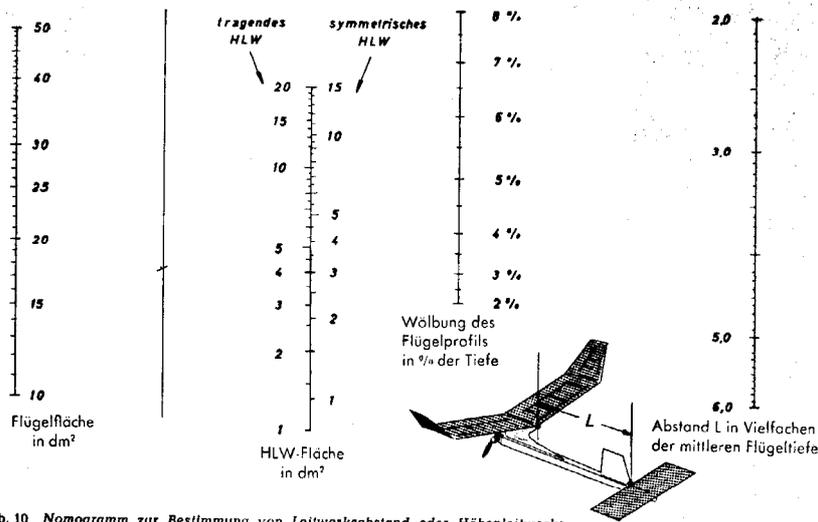


Abb. 10 Nomogramm zur Bestimmung von Leitwerksabstand oder Höhenleitwerksfläche für Modelle der Klassen W, L und I.

die Nomogramme in folgende Gruppen aufgeteilt:

- 1 alle Segelflugmodelle, auch RC-Segler,
- 2 alle Sportmodelle sowie RC-Motormodelle,
- 3 Modelle der Klassen W, L und I.

**So konstruiert man mit dem Nomogramm**

In Abb. 7 ist schematisch die Arbeit mit einem solchen Nomogramm wiedergegeben. Es besteht aus fünf „Leitern“, von denen vier mit und eine (Hilfslinie) ohne Einteilung sind. Ausgangswert bei der Modellkonstruktion mit dem Nomogramm sei die Größe der Flügelgröße in  $dm^2$ . Darüber hinaus muß man noch die Wölbung des Flügelprofils in % der Flügeltiefe kennen. Will man nun die HLW-Fläche (Höhenleitwerksfläche) bestimmen, so legt man zuvor noch den Abstand L fest, der nach Abb. 6 bemessen und in Vielfachen der mittleren Flügeltiefe ausgedrückt wird; will man dagegen L bestimmen, muß man sich für eine Größe des Höhenleitwerks entschieden haben. Beispiel sei ein A2-Modell mit der Flügelgröße von  $28 dm^2$ , der HLW-Fläche  $5,5 dm^2$ , das ein tragendes Höhenleitwerk und ein Flügelprofil mit 6% Wölbung, z. B. das Benedekprofil B 635 6 b, aufweist. Man verbindet dann den Punkt „ $28 dm^2$ “ auf der 1. Leiter mit dem Punkt „6%“ auf der 4. Leiter. Die Verbindungslinie schneidet die 2. und 3. Leiter. Der Schnittpunkt mit der 3. Leiter hat keine Bedeutung. Vom Schnittpunkt mit der 2. Leiter aus zieht man jedoch eine weitere Linie durch den Punkt „ $5,5 dm^2$ “ auf der 3. Leiter und zwar an der Skala für tragendes Höhenleitwerk. Diese Linie verlängert

man dann bis zur 5. Leiter und kann dort den Leitwerksabstand L ablesen. Er soll das 3,6-fache der mittleren Flügeltiefe betragen. Der Schnittpunkt, der sich hierbei mit der Leiter für die Wölbung ergibt, hat keine Bedeutung. Tritt der andere Fall ein, daß L gegeben ist und die HLW-Fläche bestimmt werden soll, so verbindet man den Schnittpunkt auf der 2. Leiter mit dem entsprechenden Punkt auf der 5. Leiter, hier z. B. „3,6“. Am Schnittpunkt der Verbindungslinie mit der 3. Leiter kann man dann die HLW-Fläche für tragendes und symmetrisches HLW ablesen =  $5,5 dm^2$  bzw.  $4,1 dm^2$ .

Indem man etwas hin und her probiert, wird sich bei Aufteilung der eventuell vorgegebenen Gesamtfläche leicht ein passabler Wert für L und bei Vorgabe von L eine passende HLW-Fläche ergeben. In Einzelfällen kann es natürlich vorkommen, daß die im Nomogramm bestimmten Größen von denen entsprechender fertiger Modelle abweichen. Die Nomogramme ergeben nämlich Mittelwerte, sozusagen „sichere Werte“, mit denen das Modell weder über- noch unterstabil werden wird. Der erfahrene Modellflieger kann die Werte noch in die eine oder andere Richtung etwas abwandeln, so daß er z. B. für W-Modelle eine etwas kleinere, für I-Modelle eine noch größere HLW-Fläche verwendet, als sie das Nomogramm 3 ergeben würde. Nach einiger Übung werden die Nomogramme ein gutes Mittel sein, einen Überblick über eine neue Konstruktion zu gewinnen. Man kann mit ihnen auch die Möglichkeiten der Verwendung eines neuen Profils mit ungewohnter Wölbung abschätzen. K. P. Beuermann