

Die Entwicklung von Schwimmern für RC-Flugmodelle (I)

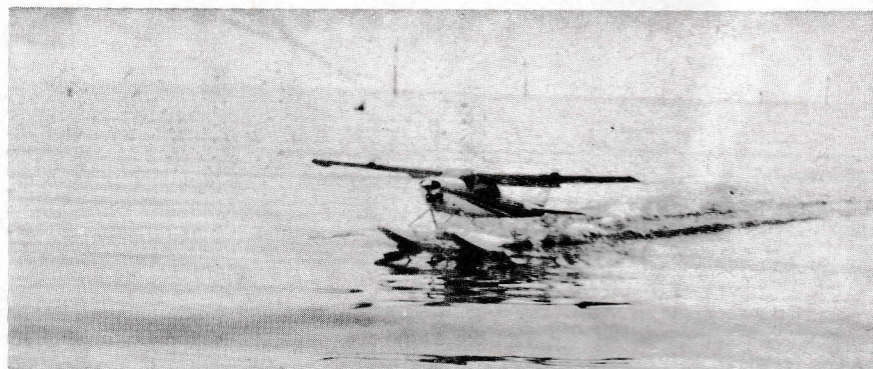
Im Heft 1 und 2 1972 von „Modell“ habe ich ausführlich über die Entwicklung der Cessna 282 Skylane als GFK-Scale-Modell berichtet und bereits angekündigt, daß ich mich als nächstes mit der Wasserversion dieses sehr verbreiteten und erfolgreichen Flugzeugmusters befassen würde. Dabei setzte ich mir das Ziel, die Schwimmer für das Cessna-Modell weitgehend maßstabs- und vorbildgetreu zu konzipieren wie das Modell selbst.

Die Schwimmer sollten darüber hinaus sehr robust sein und sich leicht auch für andere Flugmodelle verwenden lassen. Was lag bei dieser Zielsetzung näher als an eine Schwimmerauslegung in GFK-Bauweise zu denken, zumal solche zumindest auf unserem heimischen Markt meines Wissens bislang noch nicht verfügbar ist.

Es wäre nun relativ einfach, beispielsweise an Hand von Original-Dreiseitenansichten des Schwimmwerks für das zum Vorbild genommene Cessna-Flugzeugmuster maßstabgerecht verkleinerte Modellschwimmer aufzuzeichnen und danach zu bauen. Jedoch würden solcher Art hergestellte Schwimmer mit Sicherheit nicht die Erwartungen hinsichtlich guter Wasserstarteigenschaften des Modells erfüllen.

Vielmehr müssen für die Verkleinerung gewisse hydrodynamische Grundgesetze Beachtung finden, die dann unter weiterer Berücksichtigung der unterschiedlichen Abhebgeschwindigkeiten sowie des Motorzugs und der Gewichtsverhältnisse zwischen Originalflugzeug und Flugmodell zu Kompromissen bei der Modellschwimmergestaltung zwingen.

Es sei an dieser Stelle schon vorweggenommen, daß Flugmodellschwimmer bei sonst gleichen maßstäblichen Formverhältnissen gegenüber der Großausführung eine erheblich größere Stufenhöhe aufweisen müssen, auf deren Einfluß später noch eingegangen werden soll.



Was blieb mir also anderes übrig, als mich zunächst einmal mit der Hydrodynamik von Flugzeugschwimmern und Flugbootrümpfen an Hand der in unserer Dornier-Werksbibliothek verfügbaren Literatur zu befassen (Literaturhinweise am Schluß dieses Berichts). Zum besseren Verständnis der für die Schwimmerauslegung relevanten Zusammenhänge soll nun im folgenden zunächst etwas über die Schwimmer-Formparameter und deren Einfluß auf die Schwimmwerkseigenschaften ausgesagt werden.

Neben den bereits in der Zielsetzung erwähnten Anforderungen an die Schwimmer sind grundsätzlich für Großflugzeug- wie auch für Modellschwimmer die folgenden weiteren Eigenschaften wünschenswert:

Der Wasser- und Luftwiderstand sollen gering sein, dabei soll der kurz vor dem Abwassern durch Ziehen des Höhenruders zu erreichende Anstellwinkel des Schwimmergleitbodens so groß werden, daß der Flügel bei hohem Anstellwinkel Maximalauftrieb erzeugt.

Die Spritzwasserbildung soll gering sein, damit kein Leistungsverlust durch „Wasserschlagen“ der Luftschraube oder durch Wasseransaugen des Vergasers eintritt. Außerdem ist eine zu starke „Bewässerung“ des Leitwerks unerwünscht.

Die bei Start und Landung auf die Schwimmer einwirkenden Stoßkräfte sollen klein bleiben, damit die Maschine nicht springt und die Strukturbelastung nicht zu groß wird (Schwimmerfestigkeit, Baugewicht).

Beim Manövrieren auf dem Wasser soll die Maschine schnell und wirkungsvoll auf die Schwimmerruder ansprechen.

Die Schwimmer sollen ohne Wasserruderbetätigung eine gute Richtungsstabilität aufweisen.

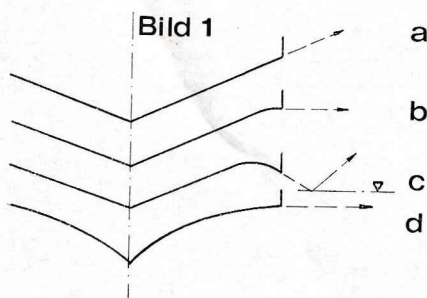
Ausgehend von der ureigensten Aufgabe der Schwimmer, nämlich das Flugzeug auf dem Wasser zu tragen, erhebt sich für die ersten Entwurfs-

überlegungen zunächst die Frage nach der erforderlichen Schwimmergröße, das heißt dem Gesamtvolumen der Schwimmer bzw. ihrer Wasserverdrängung. Damit das Flugzeug überhaupt von den Schwimmern getragen wird, müssen diese bekanntlich eine Wassermenge verdrängen, die genau dem Flugzeuggewicht zuzüglich dem Schwimmereigengewicht entspricht. Nun wird man die Schwimmer nicht so klein auslegen, daß sie bereits unter der Flugzeugbelastung voll eintauchen, sondern es ist ein Reservevolumen notwendig, das rund 100 Prozent betragen soll, das heißt, bei einem Modellgesamtgewicht von 4,5 kg müßten die beiden Schwimmer voll eingetaucht etwa 9 kg Wasser verdrängen.

Bei ausgesprochenen Rennmodellen, bei denen es nicht auf die Scale-Ausgewogenheit zwischen Flugzeug und Schwimmer, ankommt, kann man durchaus mit nur 50 bis 60 Prozent Verdrängungsreserve auskommen und spart damit an Schwimmergewicht und Luftwiderstand.

In der einschlägigen Literatur ist zu finden, daß der hydrodynamische Auftrieb von Schwimmern proportional $L^2 \cdot B$ wächst, wobei L die Gesamtlänge und B die größte Breite des Schwimmers etwa im Bereich der Stufe bedeutet. Zwar nimmt die Spritzwasserbildung mit wachsender Breite (im Verhältnis zur Länge) ab, jedoch haben planmäßige Versuche gezeigt, daß Schwimmer mit einem Streckungsverhältnis von $L/B = 8$ bis 9 die günstigsten Werte hinsichtlich Widerstand und Schwimmstabilität erbringen, wobei die Spritzwasserbildung durch geeignete Maßnahmen gering gehalten werden kann, wie später gezeigt wird.

Ein konstruktives Mittel, die auf die Schwimmer wirkenden und bekanntlich sehr harten Wasserstoßkräfte zu mildern, ist die Kielung des Gleitbodens, der durch eine mehr oder weniger stark ausgeprägte V-Form bzw. Wellenbinderform gegenüber einem ebenen Gleitboden eine höhere



Strukturstabilität aufweist und dadurch zwecks Gewichtsersparnis mit geringerer Wandstärke ausgeführt werden kann.

Zudem läuft ein gekielter Boden in welligem Wasser weicher und erlaubt auch weiches Aufsetzen auf dem Wasser.

Es sei nicht verschwiegen, daß gekielte Gleitböden neben den oben erläuterten Vorteilen auch einen Nachteil haben, der allerdings bei starker Modellmotorisierung kaum ins Gewicht fällt: Gekielte Böden haben gegenüber flachen Gleitböden einen größeren Widerstand. Die Erklärung dafür ist, daß Schwimmer besonders bei größerer Kielung auch größere benetzte Oberflächen haben, die ihrerseits einen höheren Reibungswiderstand erzeugen. Während bei kleinen Geschwindigkeiten praktisch noch kein Einfluß spürbar ist, wächst der Widerstand ab ungefähr 40 Prozent der Abhebegeschwindigkeit rapide mit dem anwachsenden Kielwasser an.

Versuche haben ergeben, daß ein Kielungswinkel von ca. 120° in Schwimmermitte etwa an der Stufe ein guter Wert ist. Während man früher im Wasserflugzeugbau bei Flugbooten und Zweischwimmerflugzeugen den Kielwinkel des Boots- bzw. des Schwimmerteils ca. 1,5 Breiten vor der Stufe konstant hielt, ist man heute dazu übergegangen, den Kielwinkel vor der Stufe kontinuierlich anwachsen zu lassen.

Die einfache V-Form des Gleitbodens gemäß Bild 1 a ist hinsichtlich der Spritzwasserführung nicht günstig, da das Spritzwasser in zu großem Bogen aufsteigen kann. Ein Flachhalten (Bild 1 b) des Wassers wird erreicht, wenn es im Bereich der Gleitbodenkante in die Waagerechte umgelenkt wird, dabei darf der Krümmungsradius nicht zu klein sein, weil sonst der sogenannte Coanda-Effekt eintreten kann, daß nämlich das Spritzwasser zum Schwimmkörper hin abgelenkt wird.

Bei stark ausgeprägter Umlenkung gemäß Bild 1 c wird das Wasser zwar auf die Wasseroberfläche gelenkt, jedoch reflektiert es bei dieser starken Umlenkung von dort wieder, was auch nicht erwünscht ist. Auch auf den Landestoß wirkt sich eine über die Waagerechte hinauslaufende Gleitbodenkrümmung bereits sehr ungünstig aus.

Die Idealkontur stellt nach Bild 1 d die sogenannte Wellenbinderform dar, die das Wasser gleichmäßig umlenkt und in die Waagerechte führt. Ein weiterer Vorteil dieser konkaven Formgebung des Gleitbodens besteht darin, daß hierdurch die Richtungsstabilität der Schwimmer erhöht wird.

Der optimalen Ableitung des Spritzwassers kommt insofern erhöhte Bedeutung zu, als das Spritzwasser in Abhängigkeit von der Höhe des Drucks, mit welcher der Gleitboden die Wasseroberfläche durchschneidet, seitlich mit hohen Geschwindigkeiten austritt und bei schlechter Ablenkung die Triebwerksanlage sowie Flügel und Leitwerk beaufschlagen kann.

Es darf als bekannt vorausgesetzt werden, daß Flugbootrümpfe und natürlich auch Schwimmer immer zumindest eine Stufe im Gleitboden aufweisen müssen. Gleitböden ohne Stufe würden wegen des entstehenden Unterdrucks im Bereich des hinteren Gleitbodenteils überhaupt nicht vom Wasser abheben können. Die Aufgabe der Stufe ist es, die gleichmäßige Wasserströmung entlang des Gleitbodens etwa an der Stelle zu brechen, an der der normale Druck des Wassers wieder abnimmt und sich weiter hinten in Unterdruck, das heißt Sog, wandelt. Darüber hinaus sorgt eine richtig ausgelegte Stufe für eine ausreichende Luftschicht unter dem Schwimmerboden, die verhindert, daß das Spritzwasser am Gleitboden hochsteigt.

Aufgrund von systematischen, in der Fachliteratur umrissenen Versuchen hat sich gezeigt, daß man die günstigste Stufenlage bei Schwimmern bei

$L_v/L_g = 50$ bis 55 bekommt. (L_v = Vorschwimmerlänge, L_g = Schwimmergesamtlänge).

Bei der Schwimmerkonzipierung ist in diesem Zusammenhang darauf zu achten, daß die Resultierende des hydrodynamischen Auftriebs (Auftriebsschwerpunkt des Schwimmers) vor der Stufe liegt, was für die Trimmmung des Flugzeugs bzw. des Modells Vorteile bringt. Die erforderliche Stufenhöhe hängt direkt ab von der flugzeugeigenen Abhebegeschwindigkeit. Grundsätzlich kann man folgendes sagen: langsame Flugzeuge mit relativ geringen Abhebegeschwindigkeiten (geringe Flächenbelastung, auftriebstarke Flügelprofile) benötigen eine große Stufe. Bei schnelleren Modellen wählt man insbesondere mit Rücksicht auf eine Herabsetzung des Luftwiderstands eine geringere Stufenhöhe. (Es gibt ganz raffinierte Großflugzeuge, bei denen die Stufe einziehbar ist!)

Die in der Fachliteratur zu findenden Angaben über zweckmäßige Stufenhöhen bei Wasserflugzeugen sind für den Modellbau nicht oder nur mit erheblicher Einschränkung brauchbar, wie ich selbst durch eigene Versuche feststellen konnte, und über die ich im Rahmen dieses Aufsatzes noch berichten werde.

Wie schon eingangs angedeutet, ist der Grund für die Nichtübertragbarkeit einer maßstabsgerechten Stufenhöhe in den unterschiedlichen Verhältnissen zwischen Trägheits- und Reibungskräften, ausgedrückt durch die Reynoldszahl, beim Großschwimmer und Modellschwimmer zu suchen.

Um beim Modell gleichgute mechanische und hydrodynamische Schwimmerereigenschaften zu erhalten, müßten die Reynoldszahlen vom Großschwimmer und Modellschwimmer gleich sein, was in der Praxis aber nicht der Fall ist.

Die Schwimmerkiellinie des Schwimmerteils vor der Stufe sollte in der seitlichen Projektion des Schwimmers möglichst weit ohne Krümmung und

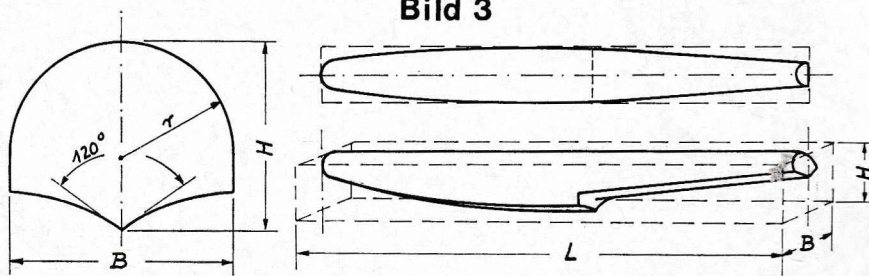


Bild 3

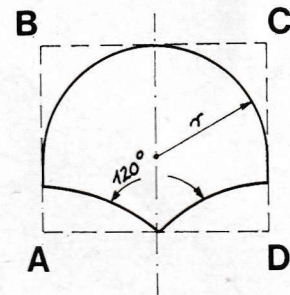


Bild 4

nahezu parallel zum Schwimmerdeck durchgeführt werden, damit beim Startvorgang der in planmäßigen Versuchen ermittelte optimale Anstellwinkel von 4 bis 6 Grad des vorderen Schwimmerbodens möglichst nicht überschritten wird.

Die Heckschränkung, das ist der Winkel, gebildet aus der Linie zwischen Stufe und Heck und der Kielkontur unmittelbar vor der Stufe, ist weitgehend abhängig von der Kielung, Belastung und Geschwindigkeit. Es hat sich jedoch gezeigt, daß 7 bis 9 Grad bei Modellen hierfür gute Werte sind. (Bei großen Flugzeugen ist dieser Winkel etwa 7 Grad wegen der im Verhältnis geringeren Stufenhöhe.) Bild 2

Ein relativ einfaches Hilfsmittel für die Festlegung und Überprüfung gutausgewogener und bewährter Längen-, Breiten-, Höhen- und Querschnittsverhältnisse bei der Schwimmerkonzipierung stellt die Koeffizientenmethode dar, die im folgenden kurz erläutert werden soll.

Man bedient sich vierer Koeffizienten:

- (a) Querschnittsflächen-Koeffizient
- (b) Güte-Koeffizient
- (c) Block-Koeffizient
- (d) Linear-Verhältnis-Koeffizienten.

(a) ist dabei definiert als das Verhältnis der Schwimmerquerschnittsfläche in Schwimmermitte zu dem Rechteck, das diese Querschnittsfläche umgibt.

(b) ist das Verhältnis der senkrecht projizierten Schwimmergrundrißfläche zu dem Rechteck, das diese Fläche umgibt.

(c) ist das Verhältnis des Schwimmervolumens zu dem Volumen eines Blocks mit der Länge, Breite und Höhe des Schwimmers.

(d) drückt die Längenverhältnisse zwischen Länge, Breite und Höhe des Schwimmers aus, wobei H (größte Höhe) = $1,1 \cdot B$ (größte Breite) und L (Gesamtlänge) = 8 bis $9 \cdot B$ sein sollte. Bild 3

Der Koeffizient (a) sollte etwa einen Wert von 0,7—0,75, der Koeffizient (b)

einen solchen von 0,6—0,7 und der Koeffizient (c) etwa 0,4—0,5 haben.

Will man beispielsweise einen Schwimmer bauen, der unter Berücksichtigung der in Kapitel 2 b gegebenen Erläuterungen zur Wasserverdrängungsreserve etwa ein Gesamtvolumen von 4,5 kg haben soll, dann lassen sich die Hauptabmessungen des Schwimmers, also die Länge, Breite und Höhe mit Hilfe der Koeffizienten auf folgende Weise leicht berechnen:

$$0,45 \cdot L \cdot B \cdot H = \text{Gesamtvolumen} = 4500 \text{ cm}^3 = 4,5 \text{ kg}$$

$$0,45 \cdot 9 B \cdot B \cdot 1,1 B = 4500 \text{ cm}^3$$

$$B^3 = 4500 / 4,45$$

$$B = \sqrt[3]{1010} = 10 \text{ cm}$$

$$L = 9 \cdot B = 90 \text{ cm}$$

$$H = 1,1 \cdot B = 11 \text{ cm.}$$

Mit dem Kielungswinkel von 120 Grad läßt sich nun der größte Schwimmerquerschnitt (an der Stufe) aufzeichnen. Wenn man die von der Kontur umschlossene Fläche — die sich mit Hilfe von Millimeterpapier oder einem Planimeter ermitteln läßt — ins Verhältnis setzt zur Fläche des umschließenden Rechtecks ABCD, dann sollte sich etwa der Wert 0,75 (Koeffizient [a]) ergeben. Bild 4

Mit einem Kielwinkel von beispielsweise 90 bis 100 Grad an der Schwimhernase, 140 bis 150 Grad am Schwimmerheck, der gezeichneten Draufsicht und Seitenansicht des Schwimmers kann man dann beliebige Spantquerschnitte konstruieren.

Die für die beschriebene Schwimmerauslegung benutzten Koeffizienten ergeben sich als Mittelwerte aus einer größeren Anzahl ausgeführter Wasserflugzeugschwimmer, und man kann in erster Näherung davon ausgehen, daß

nach dieser Methode konzipierte Flugmodellschwimmer ebenfalls gute Gesamteigenschaften erbringen, sofern das in dem vorhergehenden Kapitel Gesagte hinsichtlich Stufenhöhe und Gleitbodengestaltung Berücksichtigung findet.

Bisher war noch nichts über die Formgebung des Schwimmerdecks ausgesagt worden. Es hat sich gezeigt, daß — neben verschiedenen anderen Formen — die sog. Schildkrötenform die meisten Vorteile bringt, so z. B. wird durch diese eine besonders hohe Struktursteifigkeit erreicht, außerdem ist der Luftwiderstand gering, und das Wasser kann gut ablaufen. Die Decksmittellinie kann im einfachsten Fall über die ganze Schwimmerlänge eine Horizontale sein. Die Schwimhernase rundet man zweckmäßigerweise ab. Ein weiteres „Herunterziehen“ der vorderen Deckslinie zu einer „Zigarrenform“ für die Verbesserung der aerodynamischen Formgebung ist jedoch problematisch, weil der Schwimmer dann leicht in den Wellen unterschneidet und erheblichen Zusatzwiderstand erzeugt.

Die sorgfältigst entworfenen und gebauten Schwimmer können ihre Aufgabe nicht zufriedenstellend erfüllen, wenn sie in Relation zum Rumpf und Flügel des Modells falsch angeordnet sind. Um hier Kardinalfehler zu vermeiden, möchte ich deshalb an dieser Stelle besonders für die noch nicht so erfahrenen Wasserflieger einige Tips geben.

Zunächst ist daran zu denken, daß die Propellerblattspitzen einen genügend großen Abstand von der Wasseroberfläche haben müssen, damit durch Welleneinfluß und Spritzwasser kein

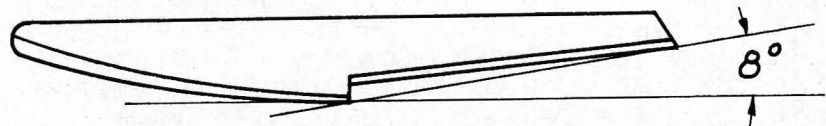


Bild 2

Bild 6

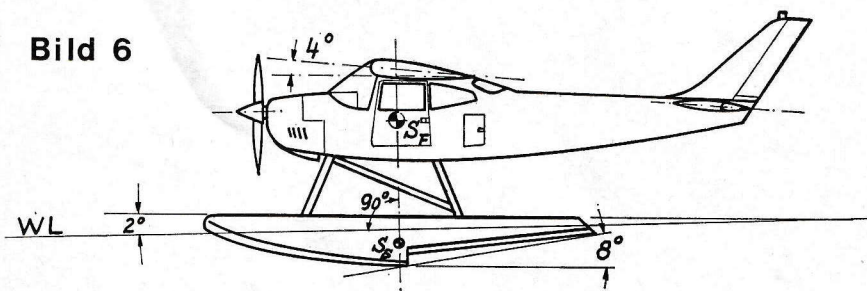
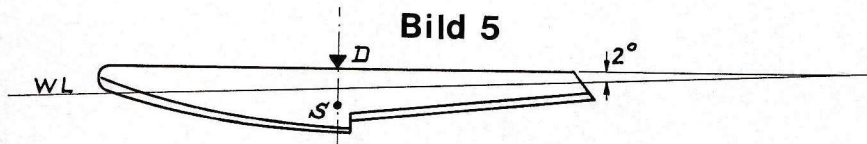


Bild 5



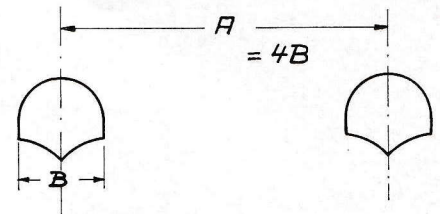
Leistungsverlust eintritt. Für Wasserflugmodelle von üblicher Größe sollte dieser Abstand bei normal belasteten Schwimmern wenigstens 8 cm betragen.

Die Zuordnung der Schwimmer zum Modell in der Seitenansicht ist abhängig von der Lage des „Auftriebschwerpunktes“ der Schwimmer. Man kann das Zentrum des Schwimmerauftriebs experimentell dadurch hinreichend genau ermitteln, daß man einen Schwimmer quer in der Mitte mit einem beidseitig festgehaltenen runden Bleistift oder ähnlichen Gegenstand etwa bis zur Hälfte eintaucht und diejenige Bleistiftdruckstelle markiert, bei der die Schwimmerdecklinie gegenüber der Wasserlinie einen Winkel von ca. 1 bis 2 Grad bildet. Diese Lage sollten später auch die am Modell montierten Schwimmer im Wasser einnehmen. Bild 5

Nun verschiebt man den bzw. die Schwimmer so weit nach vorn oder hinten, bis die durch den Druckpunkt gezeichnete und auf der Wasserlinie senkrecht stehende Linie durch den Schwerpunkt des Modells läuft.

Eine bewährte Schwimmeranordnung mit entsprechenden Winkelverhältnissen läßt sich am besten an obigem Bild veranschaulichen. Bei diesem Beispiel wird davon ausgegangen, daß die Flügel-Profilsehne mit der Schwimmerdecklinie einen Winkel von 4 Grad bildet und die Schwimmerdecklinie gegenüber der Wasserlinie um 2 Grad abfällt. Der Flügelanstellwinkel ist in Wasserruhelage des Modells somit $4 \text{ Grad} + 2 \text{ Grad} = 6 \text{ Grad}$.

Unter der Voraussetzung, daß die Kielinie unmittelbar vor der Stufe etwa parallel zur Decklinie ist, die Schränkung 8 Grad beträgt und durch Höhenruderziehen erreicht wird, daß das



Der seitliche Abstand sollte nicht zu klein sein, damit keine Instabilität um die Längsachse auftritt. Faustformel: $A = 4 \times B$.

Modell kurz vor dem Abheben praktisch nur noch mit den Schwimmerstufen und den Hecks die Wasserfläche tangiert, würde also die Maschine mit einem maximalen Anstellwinkel von $6 \text{ Grad} + (8 \text{ Grad} - 2 \text{ Grad}) = 12 \text{ Grad}$ abheben.

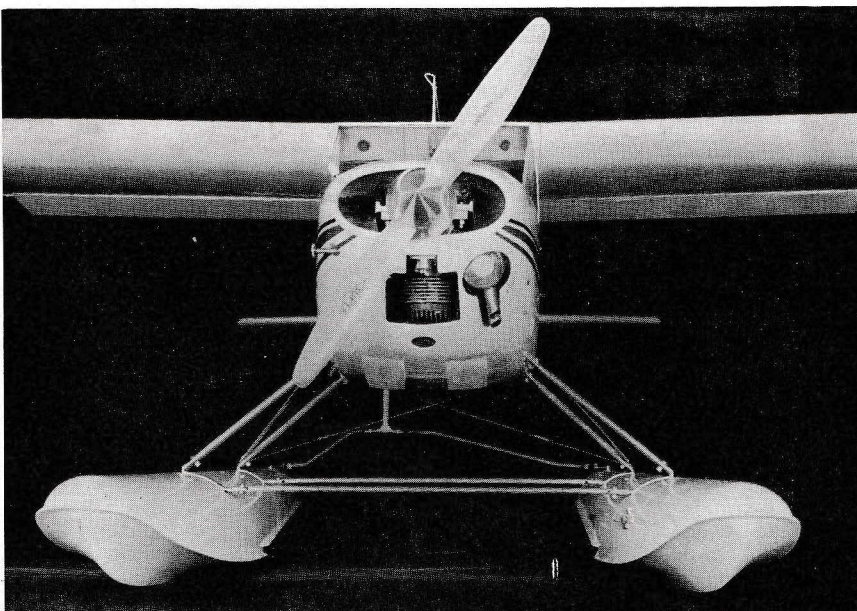
Dieser Anstellwinkel liegt bei den gängigen im Modellbau verwendeten Flügelprofilen etwa 2 bis 3 Grad unter dem Anstellwinkel, ab welchem normalerweise Abreißen der Strömung eintritt. Bei dieser Schwimmer-Flügelzuordnung läßt sich also ein sicherer Start mit einem Maximum an Flügelauftrieb und kurzer Anrollstrecke durchführen.

Aber auch für den Schnellflug ist diese Winkelwahl vernünftig, da aus Windkanal-Modellmessungen bekannt ist, daß der Schnellflug bei leicht gewölbtem Profil und normaler Profildicke etwa um 3 Grad Flügelanstellwinkel erfolgt. Bei symmetrischem Flügelprofil dürfte der Reiseflug-Anstellwinkel 1 bis 2 Grad höher liegen. Die Schwimmer werden dann etwa in Längsrichtung angeströmt und erzeugen nur wenig Widerstand.

Bei relativ dünnen Tragflügelprofilen mit weniger als 12 % Dicke und kleinen Nasenradien tritt Abreißen der Strömung schon bei geringeren Anstellwinkeln ein, so daß man diesem Sachverhalt natürlich bei der Festlegung des Flügelanstellwinkels in Relation zum Schwimmer Rechnung tragen sollte.

Auskünfte über Liefermöglichkeiten von Kunststoff-Schwimmern durch

Dipl.-Ing. Heinz Dittmar,
799 Friedrichshafen, Rebhalde 12,
Telefon 0 75 44 / 33 80



Gut aussehend und funktionell, das sind die Schwimmer der Cessna. Baupläne und detaillierte Beschreibung folgen im nächsten Heft.