

Ein MARK 20 im Wintereinsatz auf Ski. Diese Größe ist nur für harten Schnee verwendbar!



Dieses Bild des Anfluges eines BH 7-62 zeigt die Anstellung der Skier, um beim Bodenkontakt einen Spitzensalat zu vermeiden. In diesem Falle ist die Anstellung allerdings etwas übertrieben.

7. Motoreinbau

Die meisten Modellbauer wissen, daß die Verbrennungsmotoren die Ursache der Vibrationen im Modell sind. Wir wollen hier einmal kurz betrachten, weshalb der Motor diese unerwünschten Erscheinungen produziert. Dadurch, daß im Motor der Kolben immer von oben nach unten beschleunigt und wieder abgebremst werden muß, entstehen Kräfte, die nach dem Prinzip von Actio = Reactio ausgeglichen werden müssen. Da wir im Motor keine Reaktionskraft haben, muß das Modell selbst die Reaktionskraft liefern, indem es ein wenig beschleunigt wird. Durch die ungleichmäßige Rotation der Kurbelwelle entstehen noch weitere Kräfte, die aber wesentlich kleiner sind als die vorher erwähnten, sie werden deshalb hier auch gar nicht behandelt.

In einem Zweizylinder-Boxermotor erzeugt der eine Kolben gerade die Reaktionskraft für den zweiten, hier sind also die Massenkräfte erster Ordnung ausgeglichen.

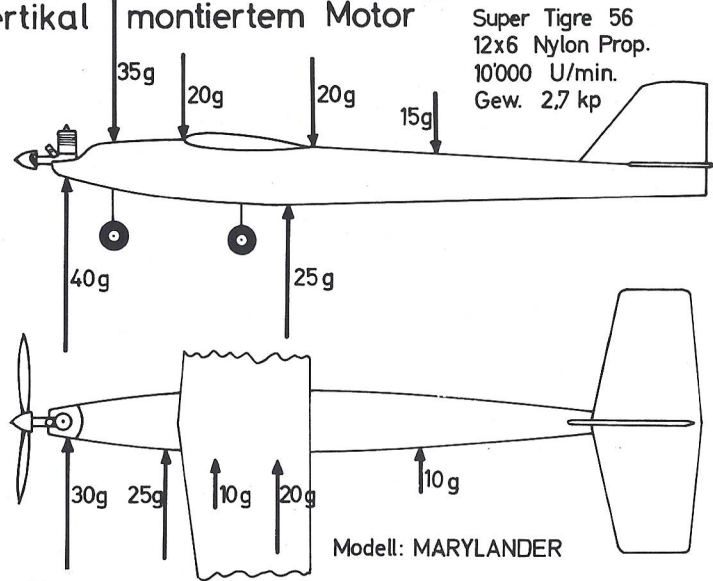
Die Massenkraft am Einzylindermotor ist eine fest gegebene Größe, sie ist abhängig von der Masse des Kolbens und von der Tourenzahl. Es hat sich gezeigt, daß es am besten ist, den Motor fest mit dem Modell zu verschrauben, je größer die effektive Masse des Modells ist, desto kleiner sind die darauf wirkenden Vibrationen. Die effektive Masse ist abhängig von der „Starrheit“ des Modells. Es hat sich auch gezeigt, daß es nicht möglich ist, den Motor flexibel zu lagern, da seine Masse viel zu klein ist, man müßte ihm daher einen viel zu großen Spielraum gestatten, in dem er sich frei bewegen kann (Größenordnung 4–7 mm).

Experimentelle Untersuchungen

In Amerika hat sich Dr. W. Good die Mühe gemacht, die Vibrationen in Modellflugzeugen zu messen, so daß man nicht mehr nur auf Vermutungen angewiesen ist, und die Diskussion endlich auf feste Füße stellen kann. Seine Resultate hat er im Radio Control Modeller vom Mai 1966 dargestellt, die mit * bezeichneten Figuren sind Meßresultate von Dr. W. Good. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind nun sehr interessant und für jeden Modellbauer von sehr großer Wichtigkeit.

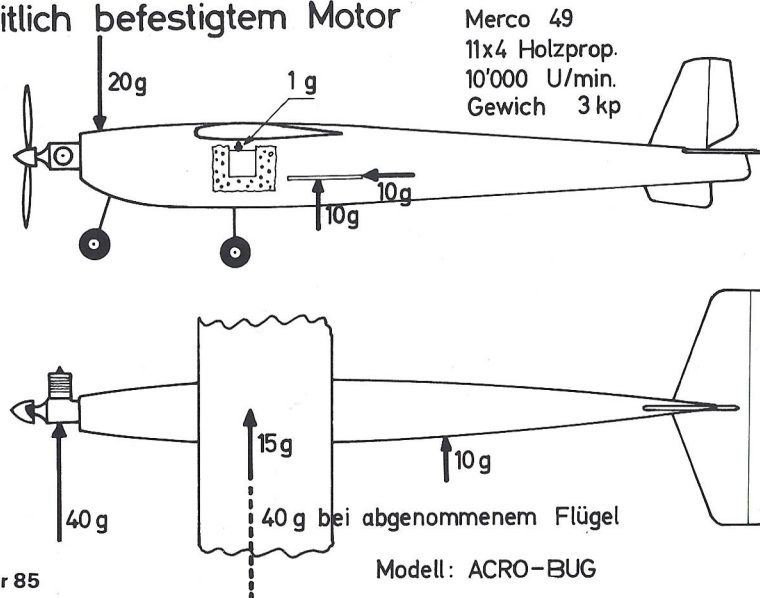
Die Messungen an zwei Modellen (Acro-Bug und Marylander) sind in Fig. 84 und 85 dargestellt. Die Länge der Pfeile gibt dabei die Stärke der Vibrationen an. Die erste auffällige Tatsache ist die, daß die Beschleunigung am Motor in Bewegungsrichtung des Kolbens ca. 40 g beträgt! Wenn man bedenkt, daß es Raketenkonstrukteuren schon ungemütlich wird, wenn die Vibrationen 10 g übersteigen, kann man erst ermessen, was diese Zahl bedeutet. Was wir aber aus diesen Meßwerten auch ersehen können, ist die Tatsache, daß die Vibrationen im Empfänger- und Servoraum bis zu 25 g betragen, ein Wert, den keine Fernsteuerung ohne Schäden ertragen kann. Die Vibrationen sind in der ganzen Zelle

Vibrationsmessungen an einem Schulterdecker mit vertikal montiertem Motor



Figur 84

Vibrationsmessung an einem Schulterdecker mit seitlich befestigtem Motor

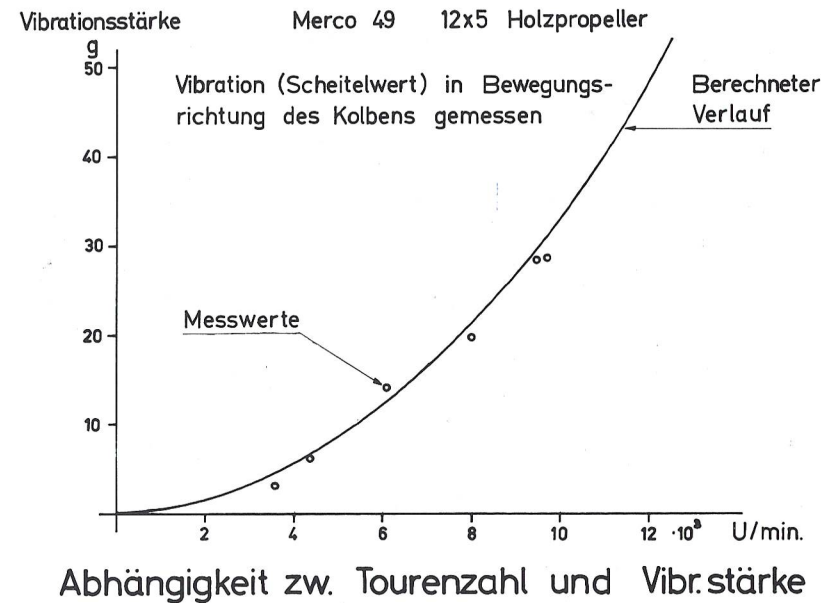


Figur 85

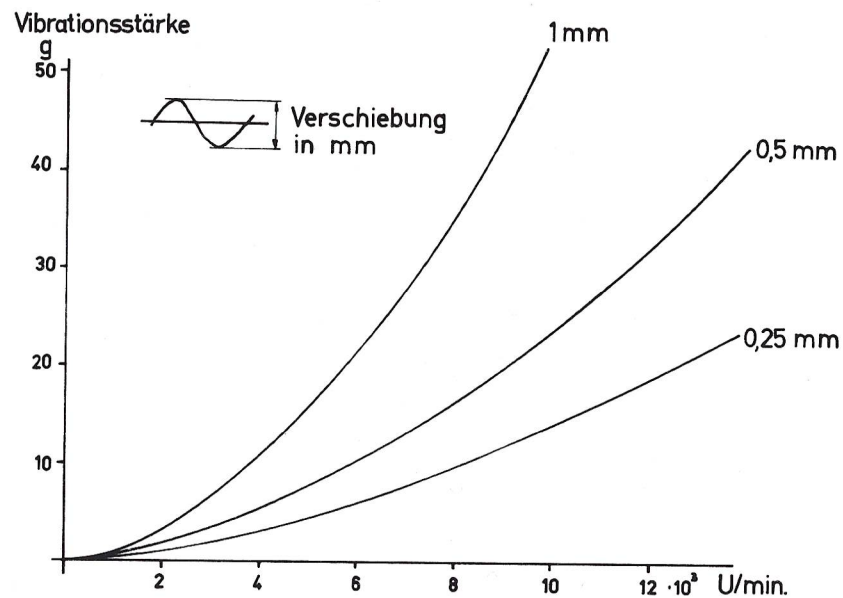
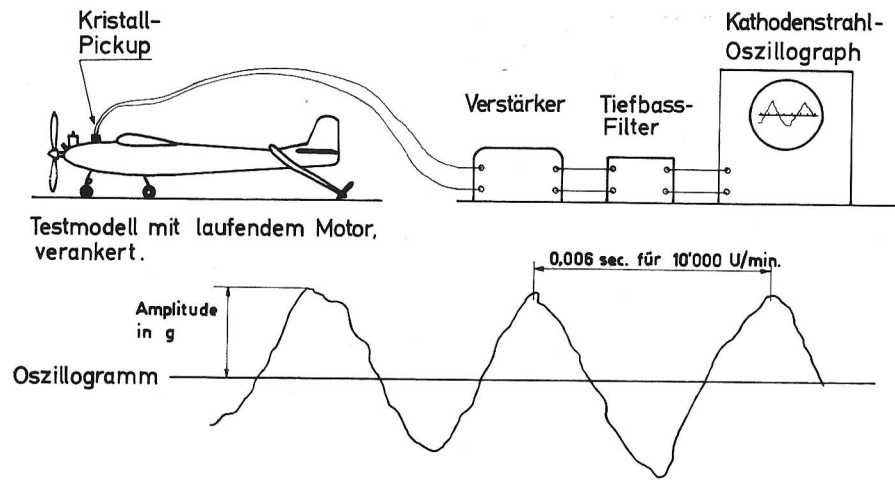
vorhanden, allerdings werden sie in der Regel immer schwächer, je weiter wir vom Motor entfernt sind. Allerdings dürften die Vibrationsstärken an keiner Stelle wesentlich unter 10 g liegen, dies wird durch die Tatsache erhärtet, daß es hier und da vorkommt, daß Ruder abgeschüttelt werden. Die Messung eines leichten Fesselflugmodells mit relativ starkem Motor hat auch gezeigt, daß in einem leichten Modell die Vibrationen sehr viel stärker sind, als in einem schweren. Wir müssen auch gerade in diesem Zusammenhang darauf verweisen, daß die Vibrationen erst beim frei fliegenden Modell die größten Werte erreichen, denn wenn wir das Modell irgendwie halten oder stützen, vergrößern wir die dämpfende Masse, und die Vibrationen werden entsprechend kleiner. Wenn wir deshalb bei einem Modell am Boden Vibrationsstörungen feststellen, können wir sicher sein, daß diese in der Luft größer sind, es hat deshalb keinen Wert, das Modell so fliegen zu lassen.

Fig. 86 zeigt den Zusammenhang zwischen Tourenzahl und Vibrationsstärke. Wir sehen, daß die Meßwerte nur ganz unwesentlich vom berechneten Verlauf abweichen.

Vibrationsmessung: Versuchsanordnung*



Figur 86 Abhängigkeit zwischen Tourenzahl und Vibrationsstärke.

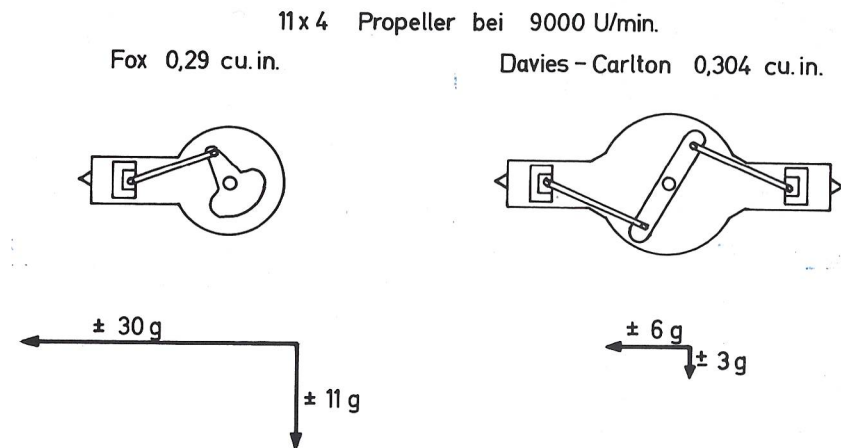


Vibr.stärke als Fkt. der Tourenzahl bei verschiedenen Auslenkungen

Figur 87

Vibrationsstärke als Funktion der Tourenzahl bei verschiedenen Auslenkungen.

Fig. 87 gibt uns den Zusammenhang zwischen Vibrationsstärke und Tourenzahl für verschiedene Verschiebungen an (für durchschnittliche Modellmassen). Infolge der Vibrationen verschiebt sich ja das Modell genau mit der Vibrationsfrequenz ein wenig. Falls man nun den Empfänger und die Servos vibrationsgesichert aufhängen will, muß man ihnen nur diese freie Verschieblichkeit gestatten, diese Bauteile bleiben dann infolge ihrer Massenträgheit praktisch an Ort stehen, während sich das Modell relativ zu ihnen bewegt. Mit einfachen Mitteln läßt sich so das Vibrationsproblem lösen, der Einbau des Empfängers in Schaumgummi reduziert die Vibration desselben auf ca. 1 g (gem. Messungen von Dr. W. Good!), dies ist aber ein Wert, den eine normale Fernsteuerung auch auf lange Zeit durchaus erträgt.



Vergleich der Vibrationsstärke eines Ein- und eines Zweizylindermotors

Figur 88 Vergleich Einzylinder-/Boxermotor.

Die Verhältnisse an Ein- resp. Zweizylindermotoren mit gleicher Leistung zeigt Fig. 88. Wir sehen, daß ein Boxermotor nur etwa ein Fünftel der Vibrationen eines gleichstarken Einzylindermotors hat. Weitere Messungen von Dr. W. Good bezogen sich auch auf die Propeller, wobei zusammenfassend gesagt werden kann, daß Nylon-Propeller infolge des höheren Gewichts stärkere Vibrationen erzeugen, als Holzpropeller. Dies machte sich vor allem bei den größeren Durchmessern extrem bemerkbar, das Vibrationsproblem konnte in vielen Fällen durch die Verwendung eines Holzpropellers an Stelle des Nylonpropellers gelöst werden.

Auswirkungen

Die Auswirkungen der Vibrationen auf Modell und Steuerung sind bekannt, wir wollen sie hier nur kurz streifen.

Die Zelle des Modells leidet sehr stark unter den Vibrationen. Sehr häufig treten an relativ stark beanspruchten Stellen Risse auf, Ruder werden abvibriert, und in Zusammenarbeit mit dem Treibstoff werden Leimstellen gelöst.

Am meisten leidet aber sicher die Steuerung unter den übermäßig heftigen Vibrationen. Da werden Transistorbeinchen abvibriert, Kabelanschlüsse an den Steckern brechen ab, Elektromotörchen werden zerstört, Getriebe ausgeleiert, Potentiometerbahnen durchgescheuert usw. usw. Sehr häufig kann beobachtet werden, daß die Steuerung bei laufendem Motor keinen Wank mehr tut, oder aber sonstwie spukt. Bei den neuen Proportionalanlagen, die auf dem Impuls-Verfahren basieren (Digital-Steuerungen), kann die Funktion der Anlage durch Knackimpulse, die durch Vibration metallischer Teile entstehen, beeinträchtigt werden.

Lösungsmöglichkeiten

Wir haben gesehen, daß Vibrationen im Modell vorhanden sind. An der Quelle können wir sie bekämpfen, indem wir den Motor möglichst starr mit dem Modell verschrauben. Dadurch erreichen wir eine möglichst große effektive Masse des Modells und damit eine minimale Vibrationsstärke. Als wesentlich hat sich die Richtung des Motoreinbaues erwiesen. Wenn wir nämlich den Motor mit horizontalem Kolben einbauen, sind die Vibrationen im Modell um etwa die Hälfte geringer als bei vertikalem Kolben. Diese Erscheinung hat eine sehr plausible Erklärung. Der Tragflügel wirkt natürlich bei der dämpfenden Masse des Modells auch mit. Falls die Hauptvibrationsrichtung aber vertikal steht, kann der Flügel relativ stark nachfedern, seine dämpfende Masse ist viel kleiner als seine Schwermasse. Wenn aber die Hauptvibrationen in der Längsachse des Flügels auftreten, setzt ihnen dieser seine gesamte Schwermasse als dämpfende Masse entgegen, da er in seiner Längsrichtung kein bißchen elastisch ist. Eine erste Maßnahme zur Verminderung der Vibrationen im Modell um die Hälfte ist also der horizontale Einbau des Motors.

Da die Masse des Motors gegenüber seiner Kolbenmasse so klein ist, ist es nicht möglich, eine Verminderung der Vibrationen im Modell durch elastische Aufhängung zu erreichen, es sei denn, man erlaube dem Motor eine sehr große Verschiebung. Eine Verminderung der Vibrationen an der Motorseite ist nur möglich durch die Verwendung von Mehrzylindermotoren. Reihenmotoren sind dabei prinzipiell ungünstiger als Boxermotoren, da durch die Anordnung der Zylinder Momente entstehen, die natürlich ihre Auswirkung auch in Vibrationen haben, während der Boxermotor durch die genau diametral gegen-

überliegende Anordnung der Kolben einen vollständigen Ausgleich der Massenkräfte erster Ordnung hat. Erst die Verwendung von Boxermotoren wird das Vibrationsproblem lösen können, es ist daher zu hoffen, daß sich die Motorhersteller wieder mit dem Problem befassen. Ich bin der Überzeugung, daß die meisten Modellbauer einen teuereren Motor in Kauf nehmen, wenn sie dadurch die Gewähr haben, daß die Lebensdauer der Steuerung um einige Größenordnungen verlängert wird.

Die Struktur der Zelle setzt den Vibrationen nur geringen Widerstand entgegen (die Dämpfung des Holzes ist zwar rel. groß), darum wandern diese im ganzen Modell herum. Die Messungen haben gezeigt, daß wir überall mit Vibrationen zu rechnen haben. Aus diesem Grund müssen wir die Teile, die am anfälligsten sind, vor diesen Beschleunigungen sichern. So, wie die Steuerungen heute aufgebaut sind, würde sie kein Raketenkonstrukteur auf der Welt größeren Vibrationen als 1 g aussetzen, und zwar weder Empfänger noch Servos, auch wenn keine elektronischen Bauteile in den letzteren vorhanden sind. Aus diesem Grund müssen wir danach trachten, jeden Kontakt der Zelle mit den Gehäusen von Empfänger und Servos zu vermeiden. Die beste Möglichkeit besteht darin, eine Zwischenlage von Schaumgummi vorzusehen. Dabei muß der Gummi um so dicker sein, je kleiner die Masse abzuschirmenden Elementes ist.

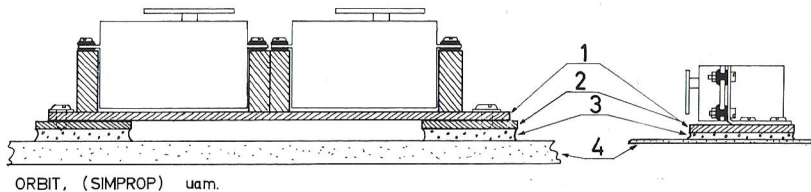
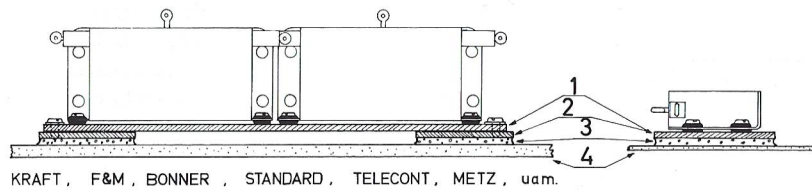
Der Empfänger wird allseitig in ca. 8 bis 10 mm dicken Schaumgummi eingepackt, wobei darauf zu achten ist, daß auch die abgehenden Kabelstränge die Zelle nicht berühren, da auch diese die Vibrationen übertragen können.

Beim Einbau der Rudermaschinen begnügt man sich, wenn es hoch kommt, diese mit den mitgelieferten Gummitüllen zu befestigen. Unsere Erfahrung hat aber gezeigt, daß dies vollständig ungenügend ist, da die freie Ausschwinglänge dadurch gar nicht gewährleistet ist, die übertragenen Vibrationen liegen immer noch zu hoch, so daß die Elektromotörchen und die Getriebe sowie auch die elektronischen Schaltungen beschädigt werden.

Wir haben deshalb eine vibrationssichere Befestigung der Rudermaschine entwickelt (vgl. Fig. 89). Die Rudermaschinen werden auf eine Montageplatte, auf der sie immer verbleiben, montiert. Auf der Zelle (4) wird eine Schaumgummi-Auflage von ca. 3 bis 5 mm (3) und darauf das Montagebrettchen aus 5 mm Sperrholz (2) mit Kontaktkleber aufgeleimt. Nun kann die Montageplatte mit den Rudermaschinen mit Parker-Schrauben einfach auf die elastisch gelagerten Montagebrettchen aufgeschraubt werden (Im Flügel wird die Rudermaschine direkt auf das Montagebrettchen geschraubt). Diese Befestigung schützt die Rudermaschine sehr wirkungsvoll vor einem vorzeitigen Ausfall durch Vibrationseinflüsse.

Sehr anfällig gegen Vibrationseinwirkungen sind auch die Kabelanschlüsse an Steckern usw. Diese müssen durch Kunststoffschläuche oder durch Vergießen

Einbau der Rudermaschinen



Figur 89 Einbauvorschlag für die Rudermaschinen.

in Silikonkautschuk gesichert werden. Wir gehen dabei so weit, daß wir alle elektronischen Schaltungen, die dies erlauben, in kaltvulkanisierendem Silikonkautschuk vergießen (weil defekte Teile nachher wieder ausgepackt werden können!)

Ein weiterer Aspekt ist die Schaumbildung im Brennstofftank infolge hoher Vibrationen. Es kann in einigen Fällen vorkommen, daß eine elastische Lagerung des Tanks nötig ist. Bei allen TELAVES-Modellen mußten wir aber noch nie zu dieser Maßnahme greifen, da durch den massiven Rumpfvorderteil die Vibrationen noch gut beherrscht werden können.

8. Steuerungseinbau

Dieser Abschnitt ist relativ schwierig zu schreiben, da hier die Ansichten sehr weit auseinandergehen und außerdem die technische Entwicklung am schnellsten vorangeht. Unabhängig vom Typ der Fernsteuerung sind wir immer bemüht, folgende Kriterien und Bedingungen zu erfüllen:

1. Schutz der Elektronik und Akkus gegen Vibrationen
2. Schutz der Kabel gegen Abbrechen, vor allem an den Steckern
3. Schutz der Servogetriebe bei Schlägen auf die Ruder
4. Schutz der Steuerung bei Abstürzen.

Aus dieser Aufstellung geht deutlich hervor, daß die Betriebssicherheit an erste Stelle gesetzt wurde.

Die vorhergehenden Kapitel haben uns das Rüstzeug zu Entwurf, Konstruktion und Bau von Modellflugzeugen gegeben. Zuerst müssen wir sicher sein, daß das Modell in bezug auf seine Festigkeit alle Belastungen des Flugs aushält; wenn ein Flugzeug beim Abfangen aus dem Sturzflug die „Ohren“ anlegt und sich wie ein Geschöß in den Boden bohrt, so ist dies eine grobe Fahrlässigkeit des Konstrukteurs — solche Sachen dürfen nicht auftreten. Dann muß das Modell auch aerodynamisch so ausgelegt sein, daß es immer steuerbar bleibt; wenn unbeherrschbare Flugzustände auftreten, so ist das Modell nicht sicher genug und sollte aus dem Verkehr gezogen werden.

Am meisten wird aber doch wohl bei der Steuerung und deren Einbau gesündigt. Hier darf man sich einfach keine Kompromisse gestatten. Die Steuerung ist noch immer der kritischste Punkt in der ganzen Fernsteuerungsflegerei, und hier treten immer die ersten Schwierigkeiten auf. Darum muß man möglichst alle Fehlerquellen ausschalten. Der Einbau soll so geschehen, wie es der Hersteller vorschreibt, besonders auch die Installation der Antenne. Die Rudermaschinen sollen eingebaut werden, so daß sie sich nicht bewegen können und auch nicht schon durch die Motorvibrationen losgerüttelt werden. Ein besonderes Augenmerk sollte den Rudergestängen geschenkt werden. Sie sollen zuverlässig sein, nicht daß sie sich im kritischen Augenblick verbiegen, abbrechen oder sonstwie abmelden. Die Verbindung zwischen Rudermaschine und Gestänge, bzw. zwischen Gestänge und Ruderhorn soll fest sein, so daß sie sich weder verstellen noch lösen kann. Ruderhörner und Scharniere sollen fest sein, so daß sich keine Ruder lösen können (was leider doch hie und da passieren kann!).

Ein besonderes Kapitel sollte eigentlich auch den elektrischen Steckverbindungen gewidmet werden, sie bilden eine Störungsquelle ersten Ranges. Gerade für Stecker und Schalter gilt der Grundsatz: „Nur das Beste ist gut genug!“, denn man muß sich klar sein darüber, daß unser Betrieb im Flugmodell nicht gerade sehr fein ist. Wir haben erstens sehr starke Vibrationen, so daß sich die Stecker lösen können, zudem haben wir immer wieder mit Öl zu tun, das die Kontakte bei jeder möglichen und unmöglichen Gelegenheit verschmutzen will, dabei müssen die Kontakte aber sehr kleine Spannungen und noch kleinere Ströme leiten, Forderungen, die nur schwer zu erfüllen sind. Wir sagen dabei immer, daß ein Stecker, den man in einer Weltraumrakete verwenden kann, für unsere Zwecke gerade gut genug ist!

Auch auf die zur Verdrahtung verwendeten Kabel muß man genau achten. Man sollte nur weiche Litze verwenden, die biegsam ist, und daher viel weniger Ge-

Modell

F. Huber



KONSTRUKTIONSBUCH

FÜR R/C-FLUGMODELLE

AERODYNAMIK - PROFILAUSSWAHL - STABILITÄT - VERMESSEN - AUSWIEGEN
MARK 1-20 - KUNSTFLUGKUR - SCALE-MODELLE - TABELLEN