

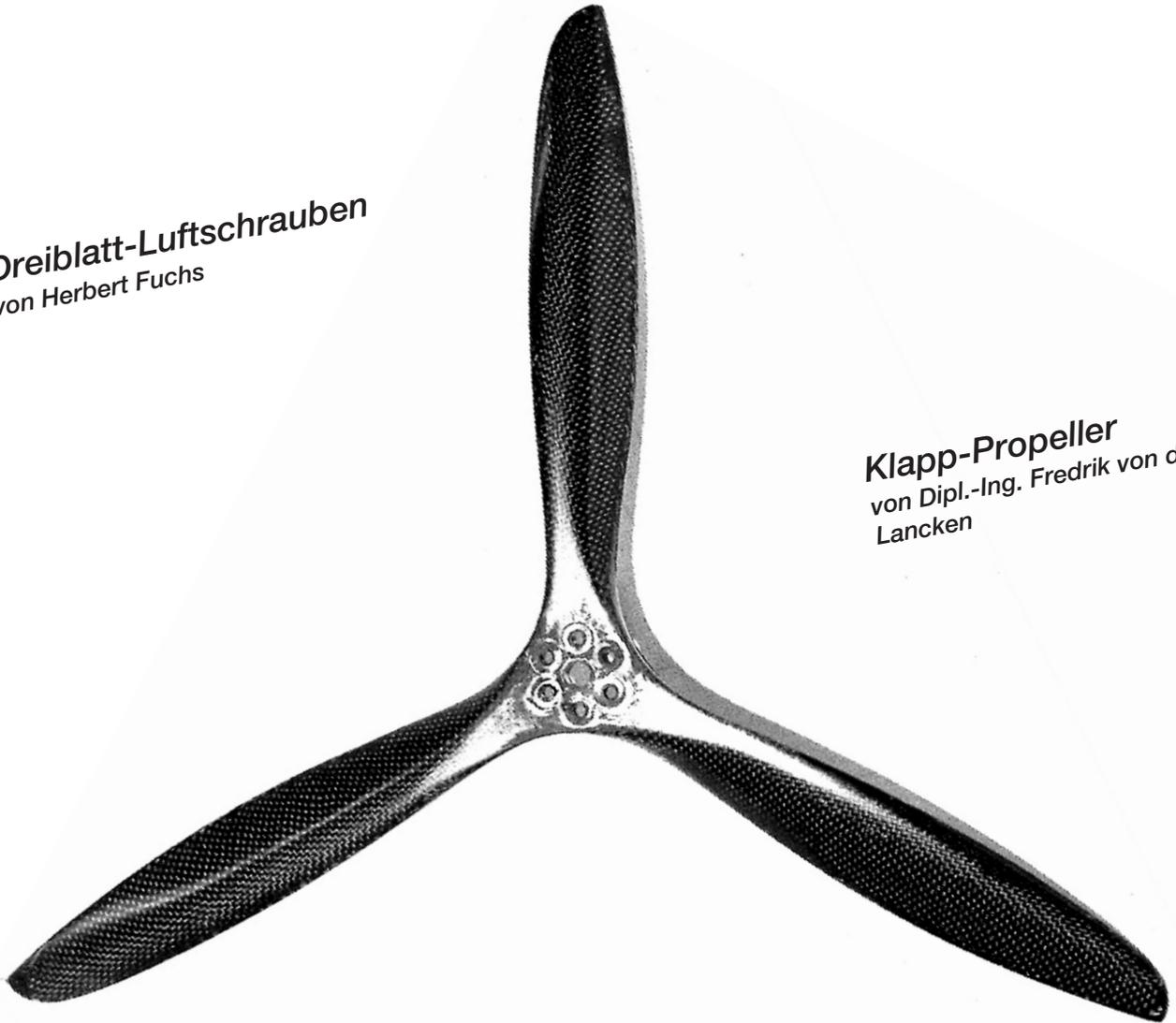
Wissen aus erster Hand

Luftschrauben für Modelle und Kleinflugzeuge

Formenbau und Luftschrauben-Herstellung

Dreiblatt-Luftschrauben
von Herbert Fuchs

Klapp-Propeller
von Dipl.-Ing. Fredrik von der
Lancken



Bestell-Nr. 900 107-1



4 9 0 1 3 3 1 5 0 6 4 9 9

Sonderdruck aus
FMT-EXTRA
Flug- und Modelltechnik
RC-Motorflug EX 3

Mit einem
RC-Motorflug-Beitrag
von Klaus Pohlmann



R&G GmbH · Faserverbundwerkstoffe · Postfach · D-71107 Waldenbuch
Telefon 0 71 57/53 04 60 · Fax 0 71 57/53 04 70 · e-Mail: info@r-g.de · www.r-g.de

Achtung!

Bei Luftschrauben handelt es sich um sicherheitsrelevante Bauteile, die enormen Belastungen ausgesetzt sind und daher bei unsachgemäßer Herstellung/Gebrauch gefährlichste Verletzungen bei Piloten und unbeteiligten Zuschauern verursachen können.

Der Verkauf selbstgefertigter Schrauben ist mit Vorsicht zu betrachten, da der Hersteller für Verletzungen aufgrund eines Fabrikationsfehlers haftbar gemacht werden kann!

Es ist generell ratsam, den Prop regelmäßig auf Risse, speziell an der Blattwurzel, zu kontrollieren.

Die Angaben dieser Broschüre basieren auf umfangreichen praktischen Versuchen und langjährigen Erfahrungen der Autoren.

Irrtümer und Fehler bleiben vorbehalten.

Eine Haftung, gleich welcher Art, wird nicht übernommen.

Dreiblatt-Luftschrauben

Von Herbert Fuchs

Lärmemissionen

Modellfliegen wird aufgrund erheblicher Lärmemissionen durch größere Motoren immer weiter erschwert. Dabei sind nicht die meist gut gedämpften Motoren die eigentliche Lärmquelle, sondern die Luftschrauben.

Diese drehen bei einem Zweiblattpropeller bereits im Überschallbereich - mit entsprechend großer Lärmentwicklung.

Wie kann abgeholfen werden?

1. Motordrehzal reduzieren, dadurch Leistungseinbußen.
2. Dreiblattpropeller anstelle von Zweiblatt, dadurch kleinere Durchmesser und geringere Geschwindigkeit der Blattspitzen.

Das Angebot an Dreiblattpropellern ist jedoch klein bzw. durch eine Holzbauweise nicht festigkeitsoptimiert.

Was ist zu tun?

Selbstbau, aber richtig!

Der erste Schritt

Zuerst wird die gewünschte Größe der Dreiblattschraube festgelegt.

Beispiel: Bei einem 70 cm³-Motor mit einem 2-Blattprop 22x12" wäre ein 19x12" oder 20x11" Dreiblatt ein adäquater Ersatz.

Als Urmodell können vorhandene Bauteile abgeformt werden. Dies wird von den Herstellern verständlicherweise nicht gerne gesehen, ist jedoch für den rein privaten Gebrauch gestattet.

Ohne Dreiblattvorlage empfehlen sich zwei Vorgehensweisen:

1. Zwei passende Luftschrauben zersägen und als Dreiblatt zusammenleimen, dabei auf genauen Rundlauf achten, dann abformen.
2. Eine Seite der passenden Luftschraube abformen, dieses eine Blatt dreimal abgießen (Epoxydharz), zusammensetzen, auf genauen Rundlauf achten, dann abformen.



Von diesen Urmodellen kann, wie nachfolgend beschrieben, eine hochpräzise Form abgenommen werden. Die Standzeit kann bei sorgfältigem Umgang mindestens einige hundert Stück betragen.

Motoren der besprochenen Größenordnung halten länger als eine Saison, so daß sich der Selbstbau einer passenden Luftschraube bezahlt r

Sicherheitsaspekte



Bei Luftschrauben handelt es sich um sicherheitsrelevante Bauteile, die enormen Belastungen ausgesetzt sind und daher bei unsachgemäßer Herstellung/Gebrauch gefährlichste Verletzungen bei Piloten und unbeteiligten Zuschauern verursachen können.

Wir empfehlen daher zum Bau ausschließlich Materialien, die vom Luftfahrt-Bundesamt für die Herstellung von Motor- und Segelflugzeugen zugelassen sind. Dies heißt nicht, daß andere, nicht zugelassene Materialien nicht geeignet wären. Ein gleichbleibend hoher Qualitätsstandard ist meist nur bei zugelassenen Produkten gewährleistet.

Die empfohlenen Epoxydharze LF und L 20, sowie die R&G Kohlegewebe und Glasgewebe mit Finish I 550 entsprechen diesen Anforderungen.

Neben der Wahl der richtigen Materialien ist die Festigkeit insbesondere von folgenden Parametern abhängig:

- sorgfältige Verarbeitung von Harz und Härter (speziell Mischungsverhältnis, Härtezeiten und Härtungstemperaturen beachten)
- ausreichende Dimensionierung der Gewebe- und Rovingverstärkung. Rechnerische Werte sollten mit einem Sicherheitsfaktor von min. 1,7 multipliziert werden.

Ungenaue Verarbeitung wie z.B. welliges Verlegen der Gewebe verringert die rechnerische Festigkeit!

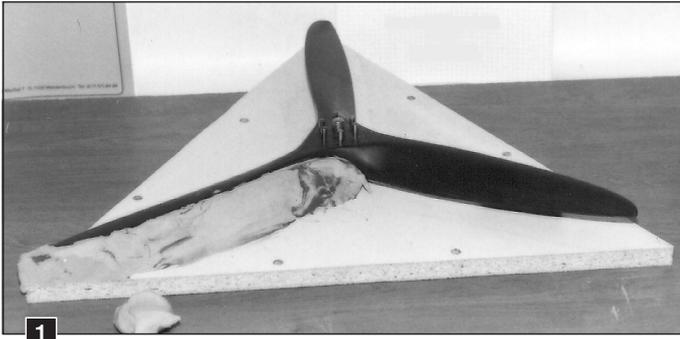


Noch Fragen?

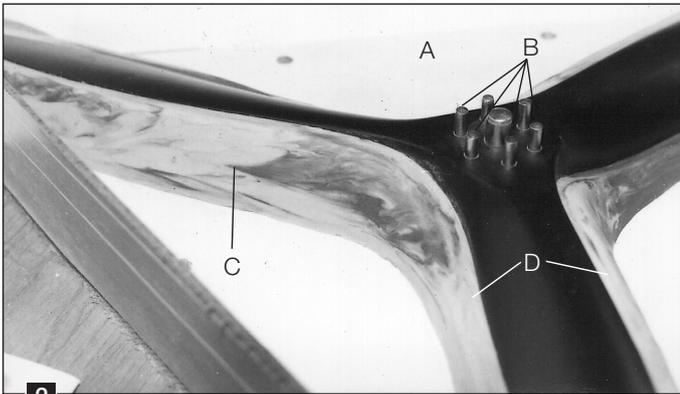
Umfangreiche technische Daten und Informationen enthält das aktuelle R&G-Handbuch Faserverbundwerkstoffe, das wir Ihnen gegen eine Schutzgebühr gerne zusenden.



Urmodell und Abformung



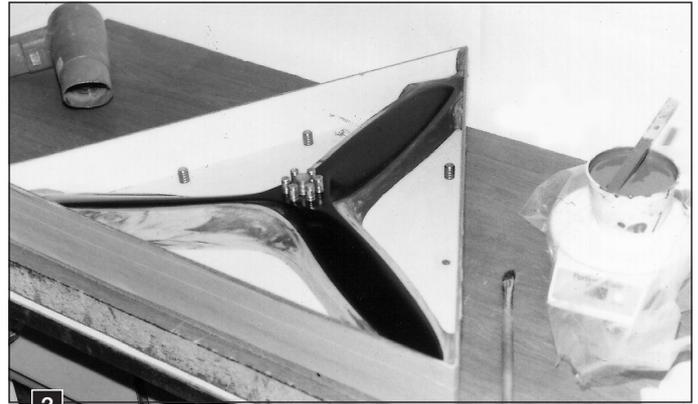
1) Urmodell sauber verschleifen und exakt vorbohren (alle Befestigungsbohrungen sollten in der abzuformenden Schraube bereits vorhanden sein). Anschließend mehrmals mit Grundierwachs einlassen und polieren.



2) Die Schraube auf einer beschichteten Spanplatte aufbauen (A). Dazu werden alle Befestigungsbohrungen um die Propellernabe im gleichen Durchmesser im Baubrett hergestellt. Die Schraube wird auf dem Baubrett befestigt, indem Paßstifte durch die Befestigungsbohrungen in die Spanplatte eingeführt werden (B).

Mittels Unterlegscheiben wird die Schraube ca. 10 mm vom Baubrett abgehoben. Die Blattspitzen werden durch Unterlegen mit Balsastückchen ausgerichtet. Anschließend wird die Schraube mit Modelliermasse (Best.-Nr. 310 100-1) unterfüttert und die plastische Masse dabei kegelförmig nach außen abgeschrägt (C).

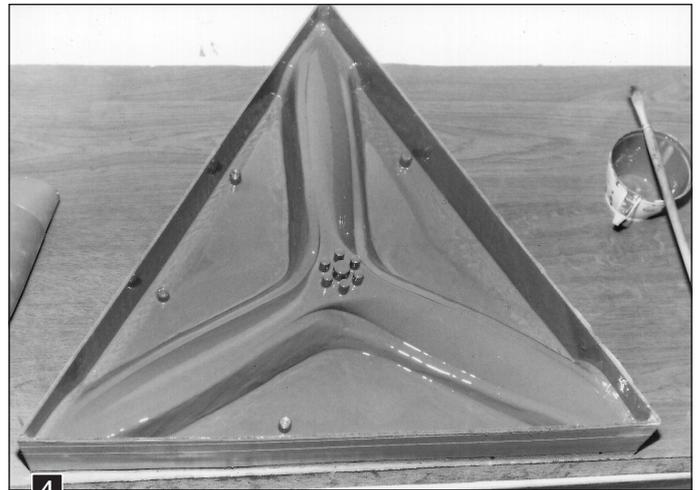
Wichtig ist die exakte Abformung der Mittellinie des Blattes. Von dieser Mittellinie sollte eine ca. 5 mm breite "Ebene" modelliert werden (D). Durch diesen kleinen Rand vermeiden Sie beim späteren Abformen das Ausrupfen einzelner Fasern beim gleitenden Zusammensetzen der Formhälften. In diesem Falle wären die Blätter unbrauchbar, da sich das nasse Laminat unkontrolliert verschiebt.



3) Die Luftschraube ist fertig eingebettet.

Weitere Arbeitsschritte:

- Oberfläche mit Folientrennmittel (Best.-Nr. 165 110-1) blasenfrei einstreichen. Verwenden Sie dazu einen Schaumstoff-Trennlackpinsel (Best.-Nr. 335 145-1).
- Modelliermasse nur am oberen Rand eintrennen
- Paßbüchsen mit H7-Bohrungen über die Paßstifte bis auf die Luftschraube aufdrücken
- zuletzt eine seitliche Formbegrenzung aufkleben. Als Wände können beschichtete Spanplatten verwendet werden.

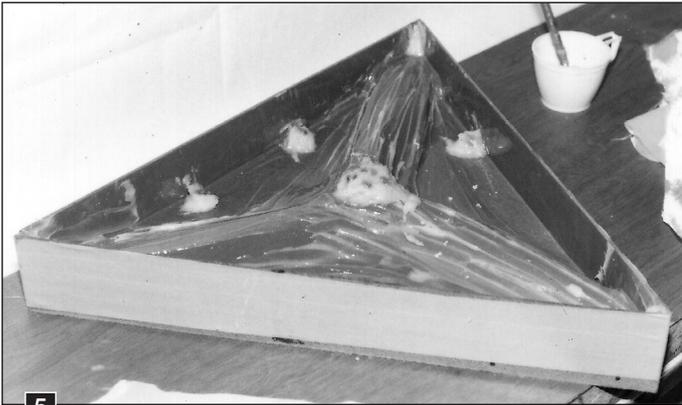


4) Das Formenharz

Eine letzte Sichtkontrolle - ist das Trennmittel sorgfältig aufgetragen?

In einem Becher werden 200 g Formenharz angemischt und mit einem Pinsel aufgetragen. Die erste Schicht wird dabei gründlich durchgekämmt, um Lufteinschlüsse zu verhindern. Sofort folgt eine zweite, dickere Schicht. Die Gesamtstärke liegt bei ca. 1 mm.

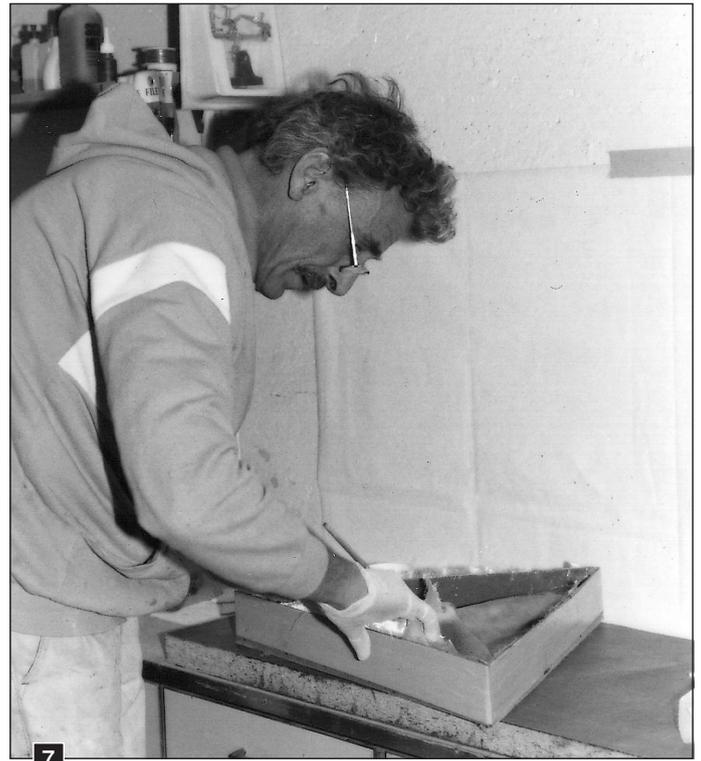
Die Abformung



5) Die Kupplungsschicht

Bei Raumtemperatur geliert das Formenharz je nach Härter innerhalb 1-2 Stunden klebrig an. Auf diese Oberfläche wird eine Kupplungsschicht, bestehend aus Epoxydharz, Glasfaserschnitzeln 3 mm und Baumwollflocken aufgetragen.

Mit dieser Mischung werden auch die Paßbuchsen an der Propellernabe eingebettet.



7) Das Laminat

Ein gesamter Laminataufbau von 4-5 mm Wandstärke ergibt eine ausreichende Steifigkeit. Nach dem Angelieren des Harzes wird das überstehende Gewebe mit einem scharfen Messer rundherum abgeschnitten.

Sollten diese Schichten ganz durchhärten, ist ein Bearbeiten nur noch mittels Trennscheibe oder Stichsäge möglich.

Die Form wird nun bei Raumtemperatur ausgehärtet.



6) Das Laminat

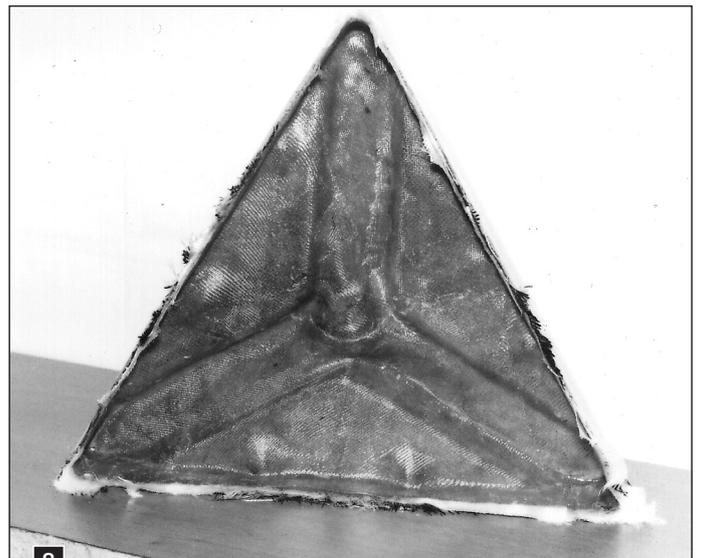
Die Arbeitsschritte:

- 1-2 Lagen Glasfilamentgewebe 80 g/m^2 auf die nasse Kupplungsschicht legen und mit dem Pinsel gut andrücken. Eventuelle Luft-einschlüsse lassen sich jetzt noch leicht beseitigen.

- weiterer Aufbau: jeweils 2-3 Lagen Glas 163 und 280/390 g/m^2

Alternative:

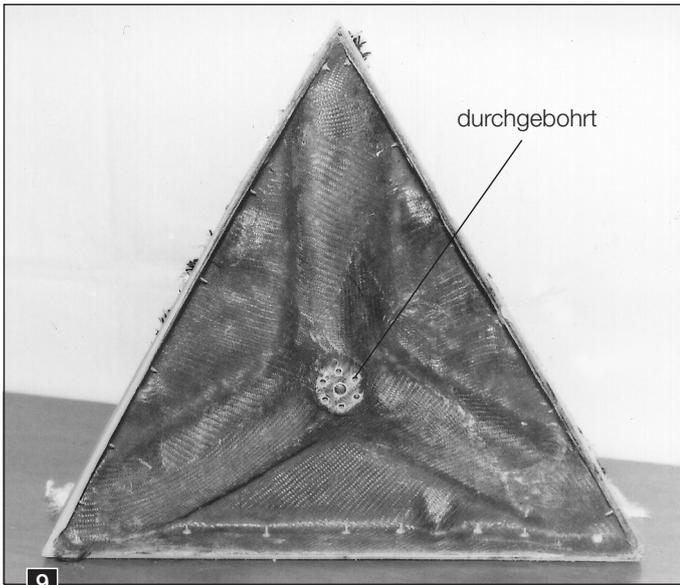
Laminat aus 3-4 Lagen Kohlegewebe $160\text{-}204 \text{ g/m}^2$. Kohlefaserformen sind bei geringer Wandstärke steif, leicht und auch in der Wärme (Temperstrahl) praktisch verzugsfrei.



8) Nach 24 Stunden Härtung werden Baubrett und seitliche Umrandung abgenommen und die Modelliermasse, die zum Unterfütern der Propellerblätter diente, entfernt. Auch kleinste Reste sollten mit einem sauberen Tuch ausgerieben werden. Wichtig: die Kante der Blätter. Entfernen Sie hier die Modelliermasse mit einem Zahnstocher. Achtung! Die Form behutsam behandeln, vor allem nicht

Die zweite Formhälfte

verwinden, denn die Luftschraube darf sich nicht lösen! In den Spalt zwischen Schraube und Form würde sonst Formenharz fließen, was zu Kantenversatz und Profilabweichungen führte. Ist dies der Fall, war die bisherige Arbeit praktisch umsonst. Aber keine Angst, in aller Regel sitzt das Urmodell fest genug!



9) Die Paßstifte um die Nabe werden nun vorsichtig herausgezogen und die Form durch die vorhandenen Löcher aufgebohrt.

Die zweite Formhälfte



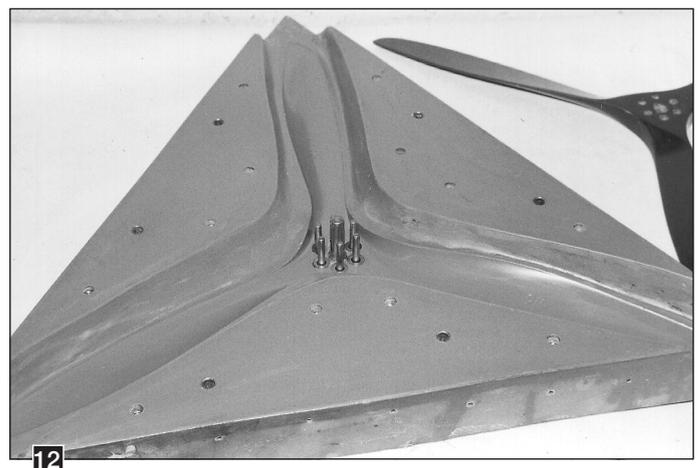
10) Die gereinigte Form wird mehrmals mit Grundierwachs behandelt. Paßstifte und Paßbuchsen wie vor beschrieben aufstecken. Auf dieser Formhälfte werden mit Wachsstreifen oder Modelliermasse 8-10 mm breite und ca. 2 mm dicke Streifen zwischen den Blättern angeformt; sie verlaufen vom Formrand hin zur Nabe und dienen als Überlaufkanal für überschüssiges Harz und als Öffnung zum Aufknebeln der Form. Wie das genau aussieht, ist auf den Bildern 11, 16 und 17 ersichtlich.



11) Wie zu Anfang wird eine neue Umrandung mittels Blechschrauben an der unteren Formhälfte angebracht.

Der weitere Arbeitsgang:

- die komplette Oberfläche (untere Formhälfte, Luftschraube und Umrandung) mit Folientrennmittel blasenfrei einstreichen und 20 Minuten trocknen lassen;
- Formenharz mit einem Pinsel in zwei dünnen Schichten von insgesamt 1 mm Stärke auftragen;
- nach dem Angelieren folgt eine Kupplungsschicht aus Epoxydharz, Baumwollflocken und Glasschnitzeln 3 mm;
- als vorläufiger Abschluß dient eine Lage Glasfilamentgewebe 80 g/m². Anschließend folgen noch weitere Gewebelagen, wie bei der ersten Formhälfte.



12) Nach min. 24 Stunden Härtung wird die Form geöffnet, das Propeller-Urmodell entnommen und die Form gereinigt.

Die Form wird danach wieder verschlossen und verschraubt. Anschließend erfolgt eine Wärmenachbehandlung. Im Falle des verwendeten, wärmefesten Formen- und Laminierharzes sind Temperaturen um 50 °C über einen Zeitraum von 12 Stunden ausreichend. Nach dieser Temperung ist die Form für Einsatzbereiche zwischen Raumtemperatur und etwa 60-70 °C geeignet.

Materialliste

Materialliste für die Herstellung einer Dreiblattschraube 20x11"



ca. 150 g luftfahrtzu-
gelassenes Epoxydharz

R&G LF + Härter LF 2
Bestell-Nr. 110 105-1 oder

L20 + Härter VE 3261
Bestell-Nr. 112 105-1

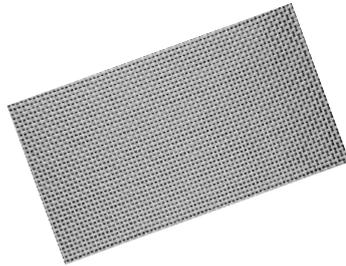
(jeweils 90 Minuten
Verarbeitungszeit)



Epoxydfarbpaste Schwarz
(Bestell-Nr. 130 130-0)



1 Einwegspritze
(Bestell-Nr. 330 154-1)



ca. 0,2 m²
Glasfilamentgewebe 80 g/m²
(Bestell-Nr. 190 110-1)



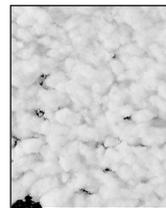
ca. 0,3 m² Kohlenstoff-
Filamentgewebe 204 g/m²
Orientierung der Längsfaser
(Kette) zum Blattende
(Bestell-Nr. 190 230-1)



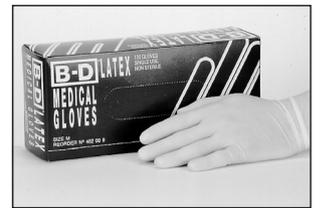
ca. 18 m Kohleroving
1610 tex
(Bestell-Nr. 205 100-1)



Thixotropiermittel
(Bestell-Nr. 210 120-1)



Baumwollflocken
(Bestell-Nr. 210 115-1)



Schutzhandschuhe Latex
(Bestell-Nr. 370 110-1)



Laminierpinsel 16 mm
(Bestell-Nr. 325 125-1)



Rührstäbchen
(Bestell-Nr. 325 100-2)



ca. 0,2 mm dicke PE-Folie
(R&G Folienschlauch oder auch
starke Haushaltsfolie)



3 Mischbecher
(Bestell-Nr. 320 100-2)

Weiterhin wird benötigt:

3 Schablonen eines Blattes, die mittels Filzstift in der Form auf Folie abgezeichnet werden (1 x Vorderseite, 1 x Rückseite, 1 Deckblattschablone ca. 3 mm kleiner)



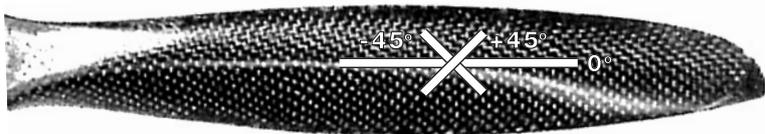
Über weitere Hilfsmittel wie
z.B. Scheren informiert der
große R&G-Katalog

Luftschauben-Herstellung



13) Eine mit Folie bespannte Spanplatte dient zum Tränken der Kohlerovings.

Auf einer weiteren Spanplatte wird eine Lage Glasgewebe 80 g/m² und darauf 1 Lage Kohlegewebe 200 g/m² aufgelegt. Die Menge sollte für 6 Blätter reichen. Die Faserorientierung erfolgt in +/-45°(Diagonal), also auf Torsion.



Faserorientierung +/- 45°

Drei Rovingstränge à 60 cm Länge werden zu einem Bündel zusammengefaßt. Zehn Bündel bilden die Hauptverstärkung.

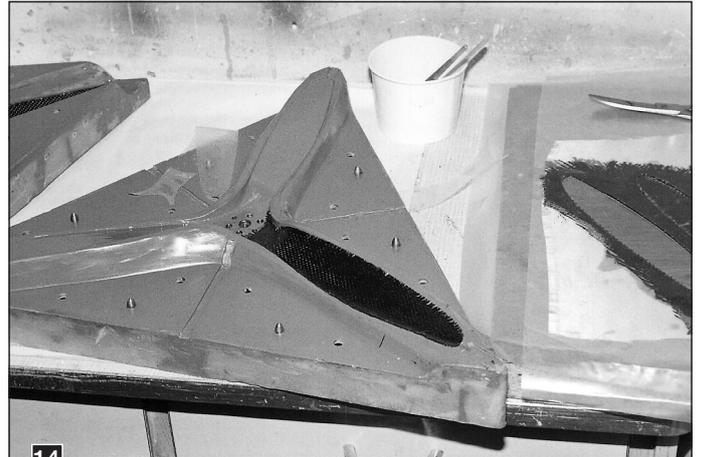
Anschließend wird die Luftschaubenform, nach vorherigem Eintrennen, mit einer Deckschicht versehen. Geeignet ist z.B. das R&G UP-Vorgelat in farblos oder weiß.

Nach dem Angelieren der Deckschicht tränken Sie das vorbereitete Glas- und Kohlegewebe mittels Schaumstoffwalze auf der Folie gut mit Epoxydharz. Überschüssiges Harz muß mittels Gummispachtel, Rührstäbchen oder Gummivalze herausgedrückt werden. Die Struktur des Gewebes soll deutlich sichtbar sein, glänzende, harzreiche Stellen sind trockenenzulegen.

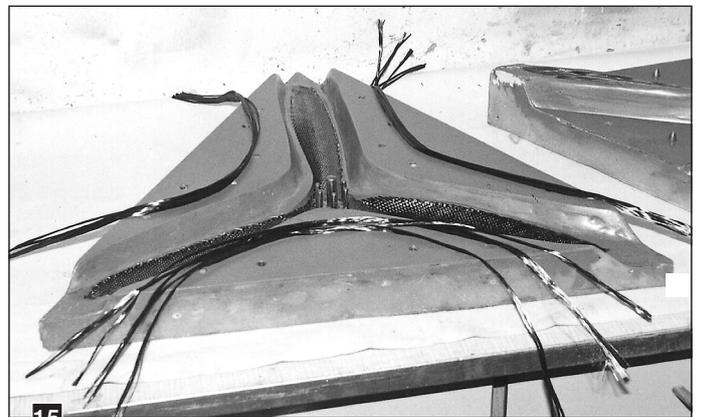
Legen Sie auf das getränkte Gewebe die vorbereitete Folienschablone der Blattrückseite auf. Das Laminat ist nun beidseitig in Folie gefaßt und kann mit einer Schere sauber entlang der Schablonenkontur ausgeschnitten werden.

Sie erinnern sich: Auf der Untergrundfolie wurde zunächst das Laminat in der Reihenfolge Glas (1. Schicht) und Kohle (2. Schicht) aufgelegt. Nach dem Tränken und Ausschneiden wird das Laminat umgedreht und die Folie an der Oberfläche vorsichtig abgezogen. Das Glasgewebe liegt nun offen. Mit dieser klebrigen Seite nach unten wird das Laminat in die Form eingelegt (**Bild 14**). Das Glasgewebe bildet die Außenschicht.

Nach sorgfältigem Andrücken können Sie die innere Folie entfernen.



14



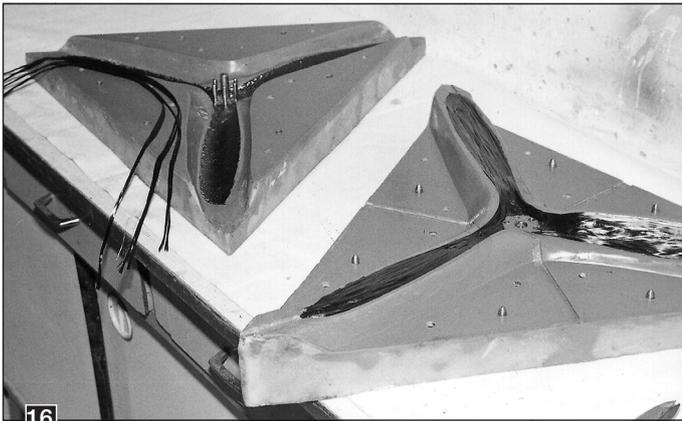
15

15) Sobald die Formhälften auslamiert sind, werden die Rovingstränge mit Harz eingestrichen und anschließend flach ausgedrückt. Die Orientierung verläuft von einer Blattspitze entlang der Kante zur nächsten. Von Hand werden die Stränge sauber angedrückt und Überstände an den Blattspitzen mit einer Schere abgeschnitten. War die Länge ausreichend bemessen, können die Abschnitte von ca. 8 cm Länge in der Mitte, um und zwischen den Stiften, eingelegt werden.

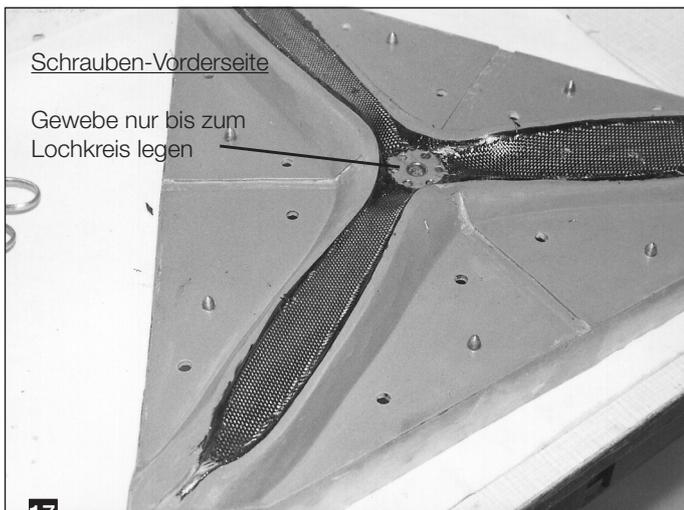
Sobald die 3x3 Rovingstränge eingelegt sind, darf in der Mitte eines jeden Blattes nur noch wenig Kohlegewebe sichtbar sein. Der vierte Roving wird um die Blattnabe gelegt, so daß die Enden in jeweils ein Blatt ragen. Ein fünfter Roving wird dann im dritten Blatt von der Spitze bis zur Nabe eingelegt. Abgeschnittene Reste werden auf gleiche Länge gekürzt und um die Nabe zwischen die Bolzen gedrückt.

Da bei der Schrauben-Vorderseite keine Stifte in der Mitte sind, dürfen die Gewebe nur bis zum Lochkreis gelegt werden. Die Rovings werden wie vor beschrieben eingelegt. Die Bohrungen dürfen nicht abgedeckt werden. Je genauer Rovings und Gewebe gelegt sind, umso leichter gelingt später das Auswuchten (**Bild 16**).

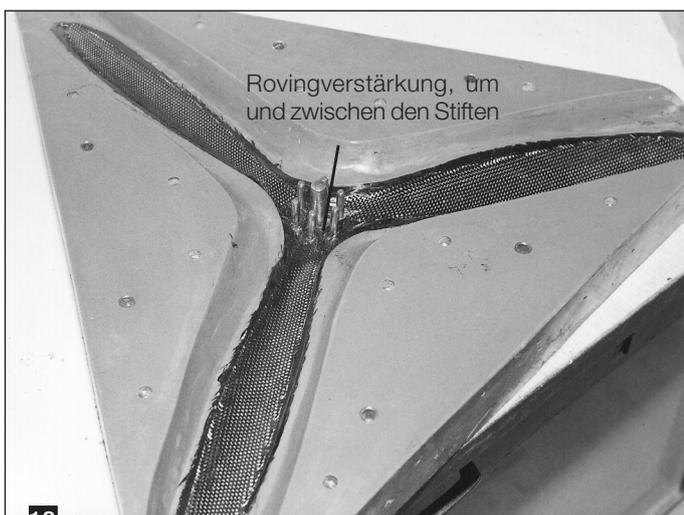
Luftschrauben-Herstellung



16) In jede Formhälfte wird nun ein trockenes, kleiner ausgeschnittenes Kohlegewebe eingelegt. Diese innere Decklage bildet den Abschluß. Das in den Rovings enthaltene überschüssige Harz reicht zum Tränken dieser Lage aus, ansonsten kann mit einem Pinsel sparsam Harz nachgetupft werden (Bild 17 + 18).



17

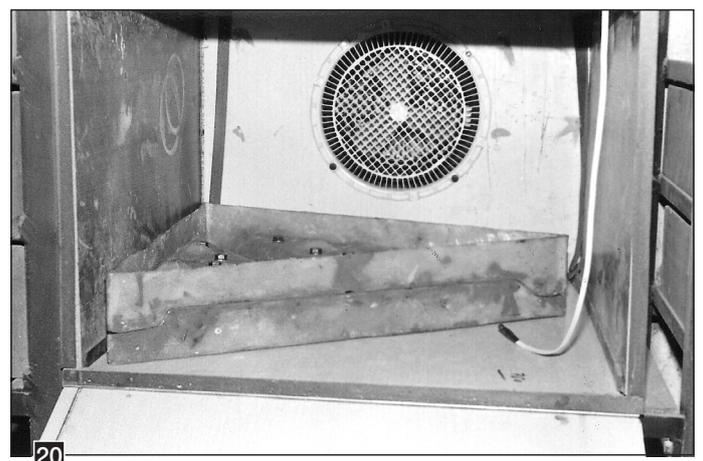


18

Vor dem Zusammensetzen der Formhälften dicken Sie etwas Epoxydharz mit Baumwollflocken ein. Das Harz sollte aus optischen Gründen schwarz eingefärbt werden. Mit einer Einwegspritze werden die Blätter einer Formseite an der Nasen- und Endleiste mit einer Harzraupe versehen. Diese dient zum kraftschlüssigen Verkleben beider Formhälften, wobei Lufteinschlüsse (Hohlräume) sicher vermieden werden.

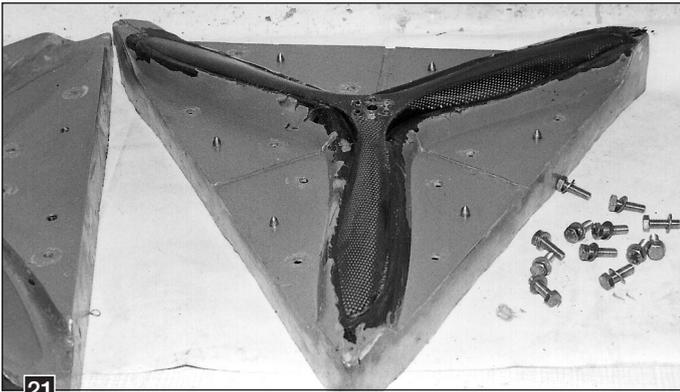


19) Der Rest des Harzes wird dann noch mit Glasschnitzeln aufgerührt und in der Mitte um und zwischen die Stifte eingedrückt. Die Schraube wird in diesem Bereich massiv bis etwa 2 cm in jedes Blatt hinein aufgefüllt. Überschüssiges Harz wird beim Zusammensetzen der Formhälften herausgedrückt.



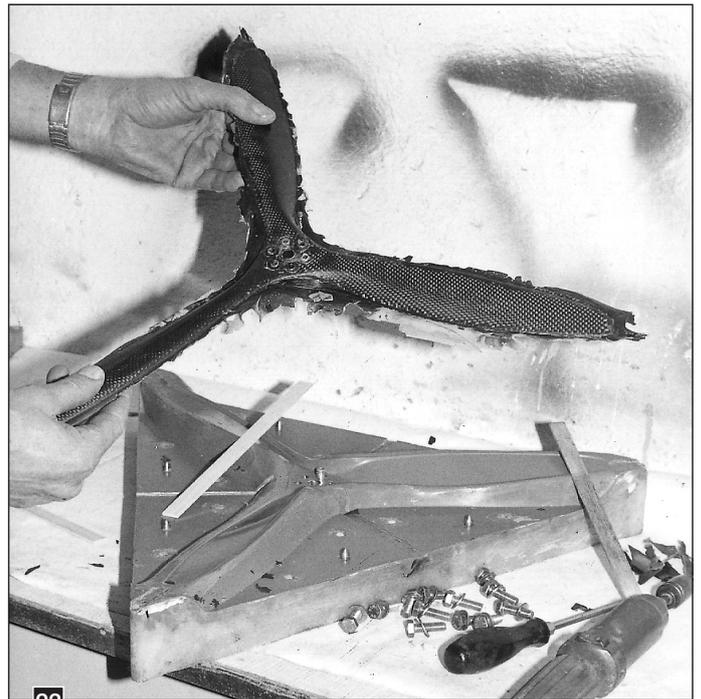
20) Die Form wird verschlossen, kräftig verschraubt und alle Paßstifte von der einen in die andere Hälfte getrieben. Die Stifte dürfen natürlich nicht herausgeschlagen werden, sondern müssen in beiden Formhälften gelagert sein. Jetzt wird die Form mit eingelegter Luftschraube bei 50-55 °C ca. 12 Stunden getempert.

Das Entformen

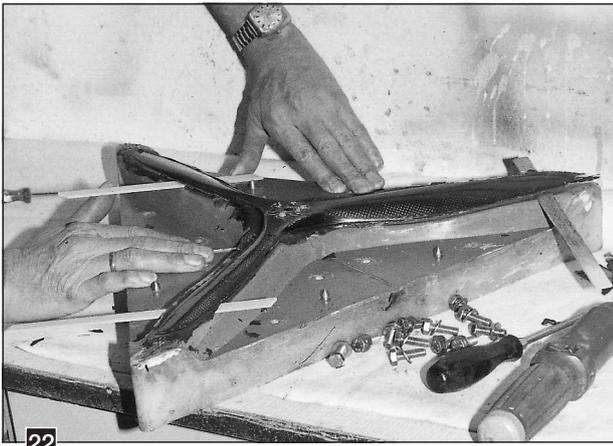


21) Ausformen nach dem Erkalten der Form.

Zuerst werden mittels eines Splinttreibers alle Paßstifte durchgeschlagen, dann die Schrauben gelöst und entfernt. Mit einem Schraubenzieher werden die Formhälften aufgeknüpelt, d.h. vorsichtig auseinandergedrückt. Schon bei der zweiten Ecke ist die Form offen. Die Schraube bleibt in einer Formhälfte liegen.



23) Nach dem Ausformen



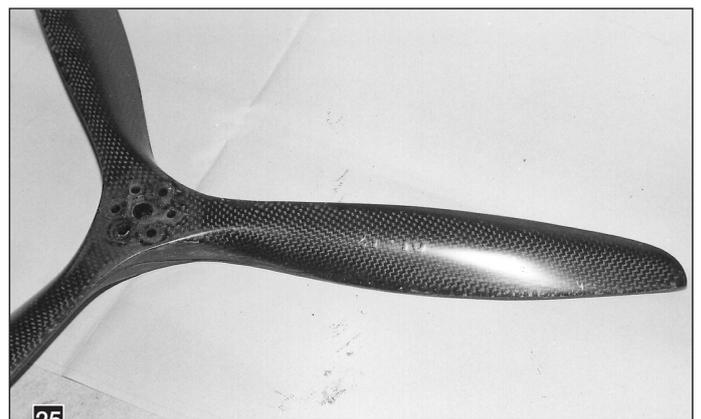
22) Zum Auslösen der Schraube heben Sie die an den Blattspitzen überstehenden Rovings mit einem Schraubenzieher vorsichtig an und unterlegen einen Holzrührstab. Wenn Sie so reihum verfahren, springt die Schraube beim Anheben der dritten Blattspitze aus der Form.

Der überstehende Rand (Grat) wird mit einer Feile sauber abgetrennt und unter fließend warmem Wasser mit feinem Naßschleifpapier nachgearbeitet. Dabei wird auch das anhaftende Folientrennmittel abgewaschen.

Sie haben jetzt eine hochglänzende Dreiblattluftschraube, die nach dem Auswuchten einsatzbereit ist.



24 + 25) Die fertigen Dreiblatt-Luftschrauben



Klapp-Propeller

Von Fredrik von der Lancken

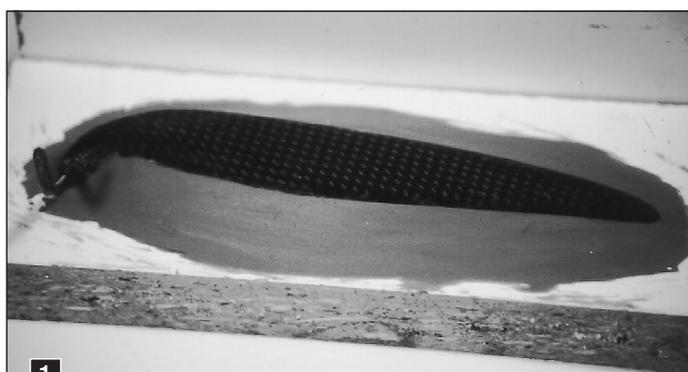
Der Weg zum eigenen, selbstgemachten Klapp-Propeller...

ist klebrig.

Wie nicht anders zu erwarten, führen mehrere Wege zum Ziel - ein möglicher soll hier aufgezeigt werden.

Als Urmodell kommt ein gekaufter Propeller in Frage, den man etwas verändert hat, um ihn besser an seine Modell/Motor-Kombination anzupassen. Man kann nicht nur Durchmesser und Steigung, sondern auch die Profildicke verändern, da diese bei handelsüblichen Nylonblättern aus Festigkeitsgründen meist sehr groß ist. Ohne wesentliche Veränderungen nachgemachte Blätter darf man aus rechtlichen Gründen nur für den eigenen Gebrauch anfertigen.

Der Verkauf selbstgefertigter Schrauben ist mit Vorsicht zu betrachten, da von rotierenden Propellern eine erhebliche Verletzungsgefahr ausgeht. Für Verletzungen aufgrund eines Fabrikationsfehlers kann der Hersteller haftbar gemacht werden! Es ist generell ratsam, den Prop vor jedem Flug -oder zumindest hin und wieder- auf Risse, speziell an der Blattwurzel, zu kontrollieren.

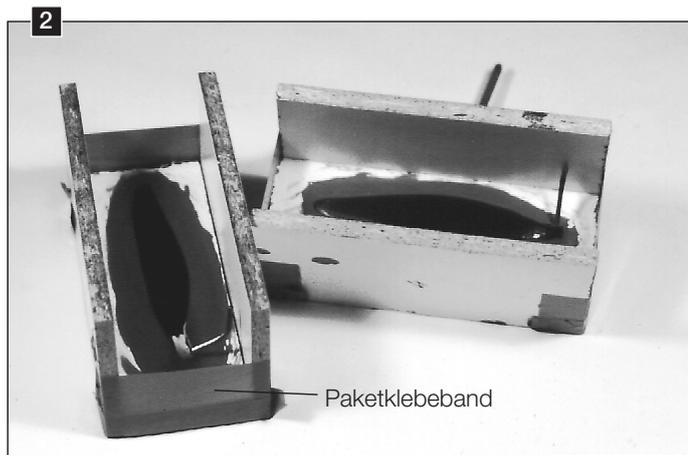


1) Zum Abformen muß das Urmodell in ein Trennbett z.B. aus Modelliermasse gelegt werden, da die Trennebene verwunden ist. Dazu wird das Propellerblatt auf ein Brett (beschichtete Spanplatte eignet sich wegen der glatten Oberfläche) gelegt und mit der Modelliermasse (R&G Bestell-Nr. 310 100-1) unterfüttert. Dabei ist darauf zu achten, daß keine Hinterschneidungen entstehen.

Wenn das Propellerblatt im Trennbrett liegt, wird der 3mm Stahlstift, der die Schwenkachse des Propellers darstellt, eingesetzt.

Propeller, Modelliermasse und das Brett werden mit Trennmittel behandelt, bevor die Seitenwände des Formrahmens angeschraubt werden. Dazu eignet sich z.B. ein Trennspray (R&G Bestell-Nr. 165 105-1) oder Grundierwachs und Folientrennmittel.

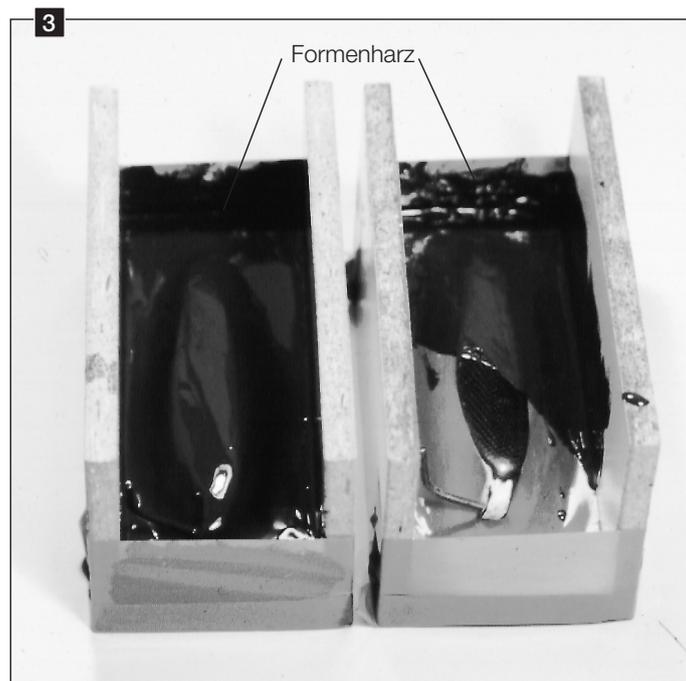
Die Stirnseiten des Formrahmens werden entweder mit beschichteter Spanplatte oder mit Paketklebeband verschlossen - der Formrahmen muß natürlich ebenfalls mit Trennmittel behandelt werden (Bild 2).



3) Das Formenharz wird dünn aufgetragen, dabei muß besonders im Bereich der Propelleroberfläche darauf geachtet werden, daß das Harz keine Luftblasen einschließt.

Das Formenharz wird auch am Formrahmen aufgetragen, da die Form später besser sauber zu halten ist, wenn die Oberfläche aus Formenharz besteht.

Die Kupplungsschicht aus Laminierharz und Baumwollflocken wird aufgetragen, wenn das Formenharz gerade geliegt.



4) In die nasse, etwa 1-2 mm dicke Kupplungsschicht wird das Glasgewebe in kleinen Stücken eingelegt und mit reichlich Harz durchtränkt. Je kleiner die Gewebestücke sind, desto leichter lassen sie sich ohne Einschluß von Luftblasen einlegen. Das Gewebe sollte am Formrahmen so weit hochlaminieren werden, daß die Form an der dünnsten Stelle mindestens 1-2 cm dick ist. Zwei bis drei Lagen 163er Glasgewebe sind ausreichend; mehr schadet nicht.

Ist die Form samt Rahmen mit Glasgewebe ausgelegt, wird bis zur gewünschten Höhe mit einem Gemisch aus Harz und Quarzsand aufgefüllt. Dieses Gemisch wird zurecht auch als Polymerbeton bezeichnet - es ist extrem hart und schwer. Quarzsand ist sehr preis-

Formenbau Klapp-Propeller

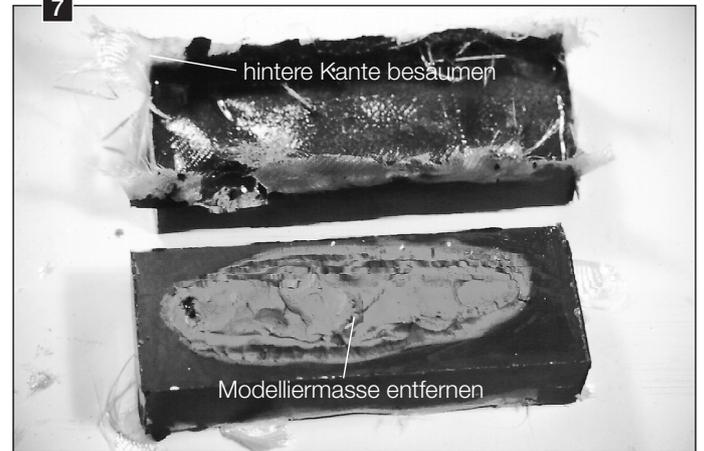
wert im Baustoffhandel zu haben, man sollte darauf achten, eine möglichst staubfreie Qualität zu bekommen. Das Volumen des Harzes läßt sich durch Zugabe von Quarzsand mehr als verdoppeln, das Gewicht verdreifachen.



4

Glasgewebe, das auf die Kupplungsschicht laminiert wird.

Wenn das Ganze zu einem Klotz ausgehärtet ist, wird als erstes der Formrahmen entfernt, und die hintere Kante besäumt. Danach wird die Knetmasse entfernt, wobei man vorsichtig zuwerke gehen sollte, um das Urmodell nicht etwa zu beschädigen oder gar aus der Form zu lösen.

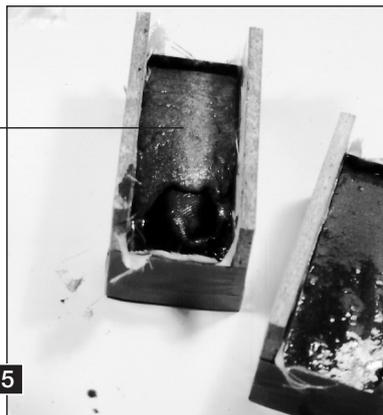


7

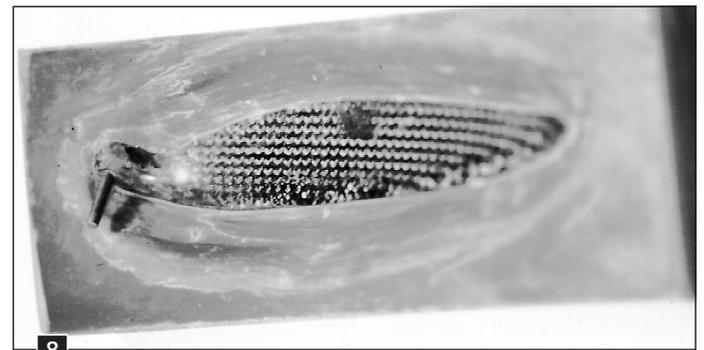
hintere Kante besäumen

Modelliermasse entfernen

Hinterfütterung aus Quarzsand



5

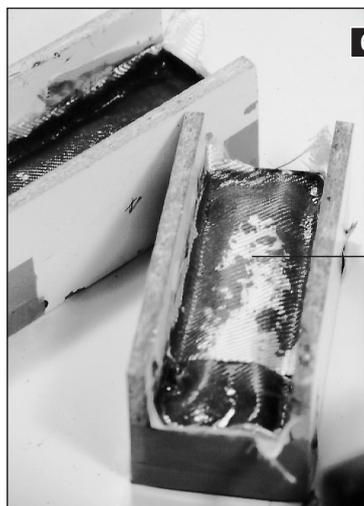


8

Wenn die Form aufgeschüttet ist, wird nach kurzer Zeit der Sand absacken und eine Harzschicht an der Oberfläche bilden, in die weitere Gewebelagen eingelegt werden können, um einen verzugsfreien, symmetrischen Aufbau der Form zu erreichen.

Nachdem die von der Modelliermasse befreite Form mit Trennmittel versehen ist, wird erneut ein Rahmen aus beschichteter Spanplatte drumherum gebaut und die zweite Formhälfte wird genauso wie die erste aufgebaut.

Nach Entfernen des Formrahmens, besäumen der neuen Formhälfte und Ausformen des Urmodells kann die Oberfläche noch mit der Schwabbelscheibe auf Hochglanz poliert werden.



6

abschließende Gewebelagen



9

Die fertigen Formhälften

Propeller-Herstellung

Propeller-Herstellung

Bevor der erste Propeller gebaut wird, muß die Form mehrfach mit Trennmittel versehen und poliert werden. Außerdem ist es ratsam, sich über die am Propeller auftretenden Kräfte klar zu werden und anhand der Werkstoffwerte sowie der Blattgeometrie eine überschlägige Dimensionierung durchzuführen.

Bei rotierenden Luftschauben hört der Spaß auf! Selbst wenn die Trümmer einer zerrissenen Luftschaube niemanden verletzen, kann sich der Flieger durch Unwuchtkräfte zerlegen und somit auch zur Gefahr werden. Lesen Sie bitte den folgenden Abschnitt aufmerksam durch!

Die **Zentripedalkraft** (oft fälschlicherweise Zentrifugalkraft genannt), die den Propeller belastet, berechnet sich zu:

$$F = r_s \cdot m \cdot \omega^2$$

- F = Zentripedalkraft (in Newton; 1 N = 0,102 kp)
 r_s = Abstand des Blattschwerpunktes von der Drehachse (in Meter)
 m = Masse des Propellerblattes (in kg)
 ω = $2 \cdot 3,141 \cdot n$
 ω = Kreisfrequenz
 n = Drehzahl des Propellers (in 1/s)

Diese Formel ist etwas vereinfacht; sie beinhaltet bereits einen Sicherheitsfaktor, da die Kraft in unmittelbarer Nabennähe berechnet wird - der Propeller aber erst weiter außen beginnt, wo die Kraft schon erheblich geringer ist.

Ein 8 Gramm schwerer Propeller, der seinen Schwerpunkt 8 cm außerhalb seiner Drehachse hat und mit 12000 Umdrehungen pro Minute dreht, wird also mit einer Kraft von ca. 1000 Newton oder rund 100 kg belastet - es muß sich also ein "ausgewachsener Mann" dranhängen können!

Diese Kräfte müssen von den Kohlefaserrovings in der Blattwurzel aufgenommen werden.

Es gibt zwei Möglichkeiten, den erforderlichen Querschnitt sowie die nötige Rovingzahl zu bestimmen:

1. Man gibt den Faservolumenanteil vor, berechnet die Festigkeit des Verbundmaterials und errechnet dann den erforderlichen Querschnitt sowie die Rovingzahl.

Da der Faservolumenanteil stark vom Verarbeitungsverfahren und dem Können des Erbauers abhängig ist und zur Berechnung der Festigkeit des Verbundwerkstoffes neben den technischen Daten des Matrixwerkstoffes auch das Berechnungsverfahren bekannt sein muß, soll hier der umgekehrte Weg beschritten werden:

Das Luftfahrtbundesamt erlaubt eine Belastung der Kohlefaser von 420 N/mm² im Verbund bei einem Faservolumenanteil von 35% - dieser Wert bezieht sich auf die übliche **HT-Faser** (**H**igh **T**enacity = hochfeste Faser). **HM** (= Hochmodul) - Faser darf im Propeller nicht verwendet werden, da dieser Fasertyp in engen Radien (wie an der Blattwurzel) bricht!

Nun zurück zur Auslegung: die reine Faser dürfte mit 1200 N/mm² belastet werden. Ein **Roving mit 24000 Einzelfilamenten** (R&G Kohleroving 1610 tex, Bestell-Nr. 205 105-1) hat im trockenen Zustand eine Querschnittsfläche von ca. 0,8 mm² und eine Zugfestigkeit von ca. 2700 N/mm².

Ein Sicherheitsfaktor von min. 3 ist hier anzustreben. Der Rovingquerschnitt muß also soweit erhöht werden, bis die geforderte Last + Sicherheitsfaktor getragen werden kann. Im obigen Beispiel sollte der Querschnitt der trockenen Rovings rund **2,5 mm²** betragen; das sind 75000 Einzelfilamente - also 12,5 x 6000er Rovings oder 6,25 x 12000er oder **3,125 x 24000er** oder 1,875 x 40000er. Halbe

Rovings sind selbstverständlich nach oben zu runden. Lieber doppelt soviele Rovings verwenden, als einen zuwenig - wegen der geringen Menge sind Kosten und Gewicht vernachlässigbar.

Beim "Handauflegeverfahren" (hier ist nicht die Wunderheilung durch Handauflegen gemeint) wird nach den Vorschriften des Luftfahrtbundesamtes mit einem Faservolumenanteil von 35% gerechnet, so daß sich im obigen Fall ein Querschnitt des Verbundmaterials von $2,5 : 0,35 = 7,14 \text{ mm}^2$ ergibt. Bei einem Standardanschlußmaß des Propellers von 8 mm ist also für die Rovings reichlich Platz.

Der Umweg über die reine Festigkeit des Rovings ist gut, weil so auch eine ausreichende Festigkeit erzielt wird, wenn nur ein Faservolumenanteil von 20% erzielt werden sollte.

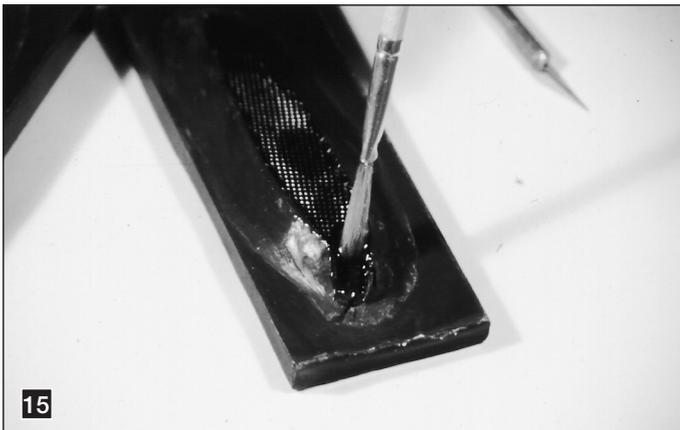
Bei einer gekröpften Blattaufnahme treten zusätzlich Schubkräfte auf, die es nötig machen, den Rovingstrang zu umwickeln und das zur Aufnahme der Torsionskräfte diagonal liegende Kohlefaserewebe bis in die Blattwurzel hineinzuziehen.

Bevor es an das Laminieren geht, wird die berechnete Anzahl Rovings und das Gewebe (mittels Schablone) genau zugeschnitten (**Bild 10 + 11 + 12**). Einer der Rovings wird etwas länger (ca. 10 cm) zugeschnitten, da dieser später um die restlichen Rovings herumgewickelt wird.



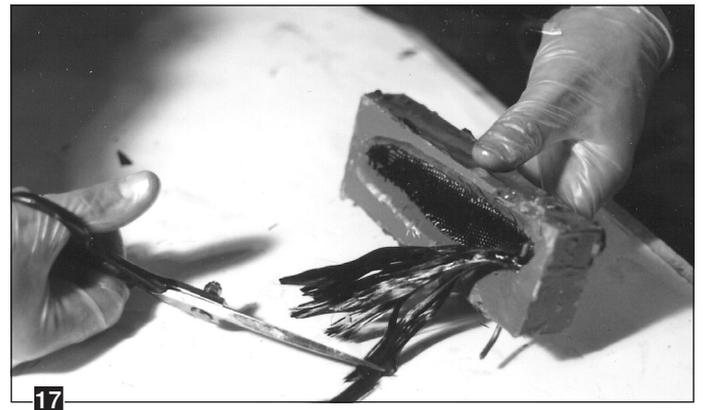
Propeller-Herstellung

Die Formoberfläche wird dünn mit Harz eingestrichen; danach wird zuerst das 49er Glasgewebe und dann das 93er Kohlegewebe blasenfrei eingelegt. Dabei ist darauf zu achten, daß das Kohlegewebe bis in die Blattwurzel hineinreicht (**Bild 13, 14, 15**).



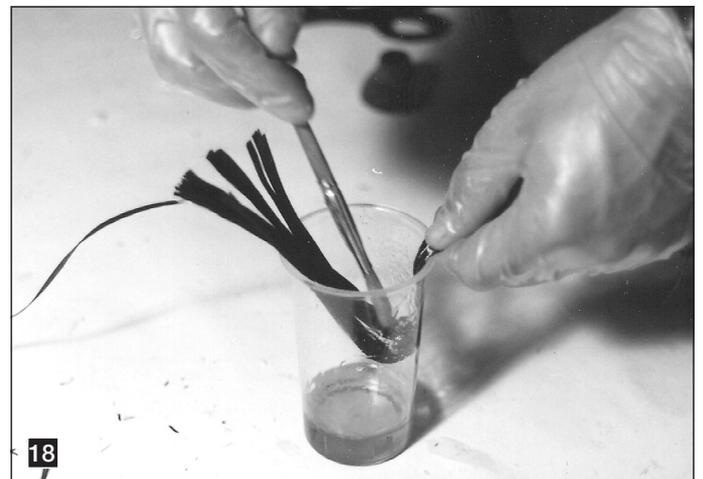
Der Rovingstrang wird in der Mitte vorgetränkt und um den Stahlstift gelegt. Mit dem längeren Roving wird der Strang fest umwickelt und einmal um den Stahlstift geknotet (**Bild 16**). Wenn der Stahlstift, der ja später die Blattlagerung darstellt, nur von Harz umgeben ist, schlägt die Lagerung sehr schnell aus. Ist der Knoten gelungen, wird auch der restliche Rovingstrang durch-

tränkt, nachdem er stufig auf Länge geschnitten wurde (**Bild 17**). Der Strang wird nun unter reichlich Harzzugabe in die Mitte der Form gelegt; dabei sollte darauf geachtet werden, daß die Rovings nicht in Schlangenlinien, sondern gerade liegen.

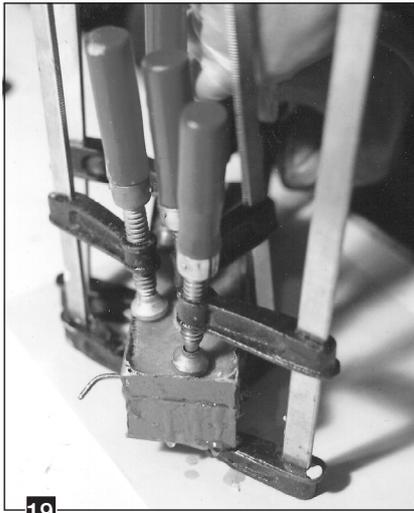


Beim Zusammenpressen der Form sollte überall gleichmäßig das überschüssige Harz hervorquellen.

18) Tränken der Rovings



Propeller-Herstellung



Die Form kann auch im Vakuum mit Harz gefüllt werden. Dies hat den Vorteil, daß keine Rovings mit dem austretenden, überschüssigen Harz herausgespült werden und keine Luftblasen im Propeller sind. Um dieses Verfahren anwenden zu können, muß in die Propellerform je ein Röhrchen an Blattwurzel und Blattspitze eingesetzt werden, durch welches das Harz in die Form gesaugt werden kann. Das Verfahren gleicht dem oben beschriebenen, jedoch wird ohne Harzüberschuß gearbeitet. Ist die Form geschlossen, wird der Trennsplatt abgedichtet und die Form evakuiert. Das Harz sollte im Vakuum entlüftet werden, bevor es in die Form gesaugt wird, da im Vakuum kleinste Luftblasen riesengroß werden. Das Harz wird an der Blattwurzel in die Form gesaugt, da bei umgekehrter Fließrichtung der Zufluß von zusammengestauchten Rovings verstopft werden kann. Es wird so lange Harz durch die Form gesaugt, bis am anderen Ende keine Luftblasen mehr im austretenden Harz sind; das kann man natürlich nur bei einem transparenten Schlauch beobachten.

Ich wünsche Ihnen viel Erfolg beim Nachbau!

Eine zweite Variante der Propeller-Herstellung

Es ist nicht so einfach, bei einem schmalen Propellerblatt noch eine Trennebene zu finden. Bei der hier beschriebenen zweiten Variante wird ohne Trennebene gearbeitet. Die Herstellung des eigentlichen Propellers unterscheidet sich jedoch nicht von der vorher beschriebenen Methode.

Arbeitsschritte

In eine beschichtete Spanplatte wird eine Achse senkrecht eingebohrt, welche dem Durchmesser der Propellerbohrung entspricht. Jetzt wird R&G Modelliermasse, im Umfang etwas größer als der abzuformende Propeller, aufgebracht und das Propeller-Urmodell fest eingedrückt, so, daß zwischen dem Prop und dem Grundbrett noch etwa 2 cm Modelliermasse verbleiben. Nun wird aber nicht eine Trennebene gesucht, sondern mit einem dünnen und scharfen Messer leicht abgeschragt - die bei der Draufsicht sichtbare Modelliermasse weggeschnitten. Etwas Vorsicht ist lediglich bei der Propellernabe geboten, hier muß man sich entscheiden, wo die Trennebene liegen soll.

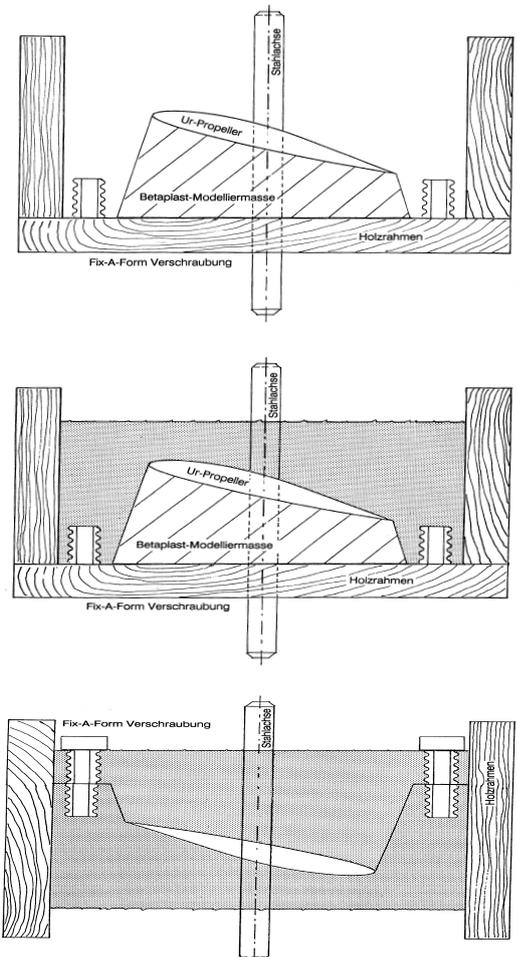
Wenn das Abschneiden nicht auf Anhieb klappt, kann jederzeit mit Modelliermasse nachgebessert und erneut abgeschnitten werden.

Nun wird um den Propeller eine Umrandung gebaut und der ganze Kegel mit Formenharz, Glasgewebe und möglicherweise Quarzsand oder Laminierkeramik abgeformt.

Nach dem Aushärten der Form wird diese umgedreht und der Kegel aus Modelliermasse sorgfältig entfernt. Der Propeller bleibt jedoch noch in der Formhälfte.

Die untere Form erhält ebenso eine Umrandung und so wird die zweite Formhälfte, wie die erste, abgeformt. Die Blattspitzen müssen dabei offen bleiben, damit beim Pressen das überflüssige Harz ablaufen kann.

Nach dem Entfernen des Ur-Propellers haben wir nun die eigentliche Propellerform mit einem konischen Preßstempel.



Wer kennt nicht die Situation: Am Sonntag ist Wettbewerb und freitags macht man schnell noch einen Probeflug. Beim Landeanflug stellt man fest, ein Fahrwerksbein fährt nicht aus! Also Fahrwerk wieder rein, Motor abstellen und – der Propeller bleibt senkrecht stehen. Wie dieser nach der Landung aussieht, kann sich jetzt jeder vorstellen.

Klaus Pohlmann

Der Kollege hat natürlich auch keinen Ersatz, der bisherige Lieferant kann leider nicht so schnell liefern, also

muß man wieder auf ein Plastikteil zurückgreifen. Spätestens jetzt wünscht man sich, selbst eine Form für seine Luftschraube zu besitzen, um schnell preiswerten, qualitativ hochwertigen Ersatz herzustellen.

Ich möchte in diesem Bericht einmal die Vorgehensweise aufzeigen, die zu hochwertigen Luftschrauben führt, die von gekauften Propellern nur daran zu unterscheiden sind, daß sie qualitativ hochwertiger sind, je nach verwendetem Material und Geschick. Beginnen wir mit der Form. Zuerst benötigen wir natürlich die Luftschraube. Hier sollte, wenn möglich, nur ein Original verwendet werden, da abgeformte Luftschrauben ca. 0,1–0,2 mm dicker sind als das Original. Weiterhin benötigen

wir einen Alu- oder VA-Stab, ca. 100 mm lang, im Durchmesser der Propellerbefestigungsschraube. Der Metallstab hat eine 3,5-mm-Querbohrung, 10 mm von einem Ende entfernt. Wofür diese Bohrung ist, sehen wir später. Die Feinschicht wird hergestellt aus Formenharz mit Temperhärter, einigen Abfallstücken 40 g und 80 g Glasmatte, 20 m Glasrovings, Quarzsand, zwei Paßstifte 6 mm, Knetmasse, Trennpaste und ca. 0,5 kg Laminierharz mit Temperhärter. Ausgezeichnete Ergebnisse habe ich mit den Produkten von R & G erzielt, zumal alles für den Formenbau dort zu erhalten ist und, viel wichtiger, schnell geliefert wird. Arbeitsmaterial anderer Hersteller ist sicher auch geeignet, nur habe ich damit keinerlei Erfahrung. Falls nur eine Form gebaut wird, lohnt sich der Bau eines Formkastens nicht. In unserem Fall besorgen wir eine Spanplatte, weiß beschichtet, die jeweils 10 mm größer ist als die abzuformende Luftschraube. Jetzt wird mittig in diese Platte eine Bohrung mit dem Durchmesser des Metallstabes eingebracht, aber **senkrecht!** Die Luftschraube wird auf den Stab aufgesteckt und zusammen mit diesem in die Bohrung gedrückt. Mit der Knetmasse wird der Prop bis zur Profilsehne unterfüllt. An der Profilwurzel wird die Knetmasse leicht angeschrägt (ca. 10°–20°), um das Entformen zu erleichtern. Die Knetmasse wird jetzt bündig mit dem Rand der Spanplatte geschnitten und ein Kasten aus 5-mm-Balsa, ca. 50 mm hoch, um diese Platte gebaut. Das Ganze kann jetzt sorgfältig mit Trennpaste behandelt werden, um ein Entformen zu ermöglichen. Anschließend mischen wir ca. 25 g Formenharz an und streichen selbiges in den Kasten ein, so daß alles bedeckt ist und Übergänge ausgerundet sind. Hierfür sollte man sich etwas Zeit lassen und das Harz gut mit einem Pinsel durchstreichen, um Lufteinschlüsse zu vermeiden. Nach ca. 3–4 Stunden An-

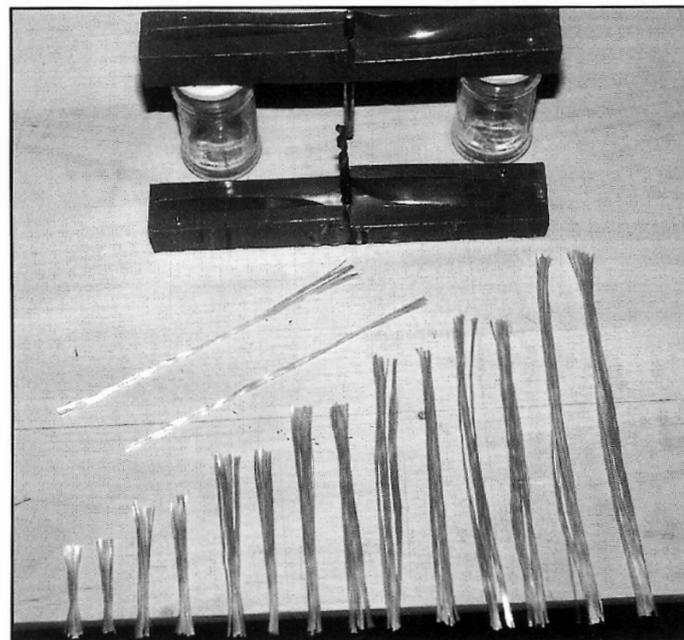
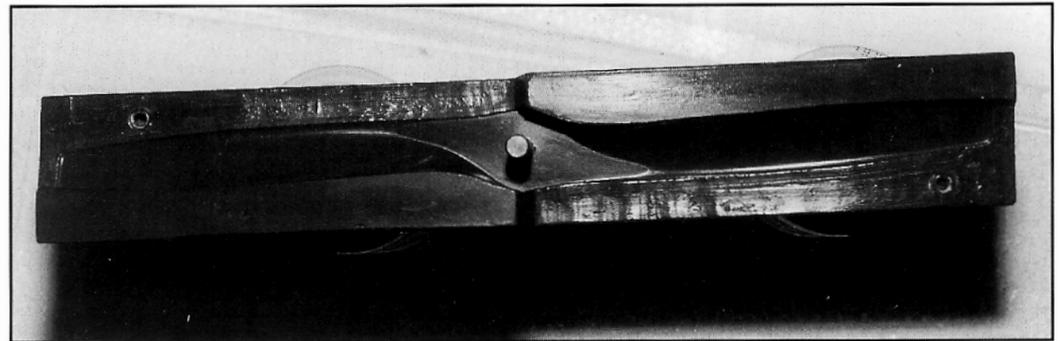
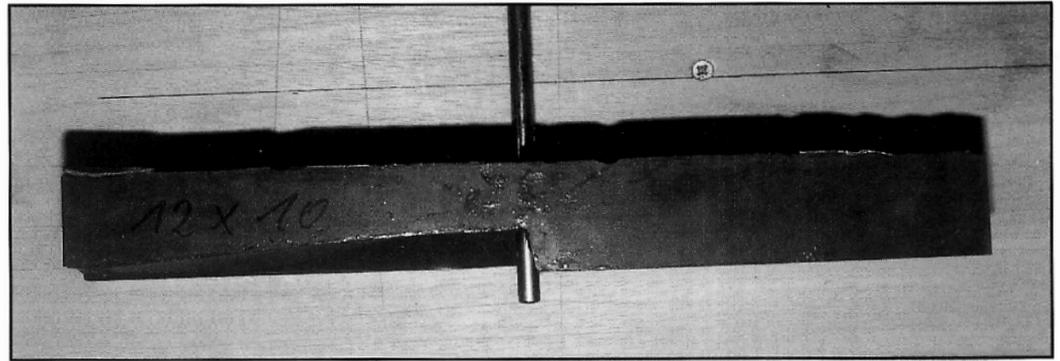


Herstellung von GfK-Luftschrauben

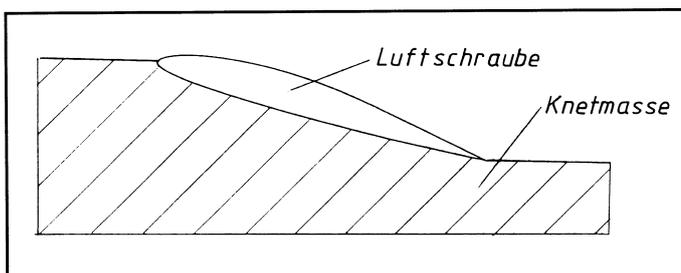
Man erkennt die im Text erwähnte „Gußschräge“ und die in der Profilschne geteilte Formhälfte.

Die gleiche Formhälfte in der Draufsicht mit eingestecktem VA-Stab und den beiden Messingpaßbuchsen

trocknung kann die Form weitergebaut werden. Hierzu nehmen wir die Buchsen der Paßstifte zur Hand und drücken diese ungefähr in Höhe oberes Drittel des Propellerblattes durch das Formenharz bis zur Knetmasse. Jetzt bringen wir eine Kopplungsschicht (ca. 3 Lagen) aus den Abfallstücken Glasmatte auf. Lufteinschlüsse sollten möglichst vermieden werden. Anschließend wird die Form mit Harz und Sand bis kurz über die Propellernabe aufgefüllt. Für diese Formhälfte werden 10 m Glasroving auf das Harz-Sand-Gemisch aufgelegt und gut durchtränkt. Hierdurch erhalten wir eine sehr steife und haltbare Form, die nicht gleich zerbricht, wenn sie einmal runterfällt. Zum Schluß wird der Kasten mit Harz und Sand aufgefüllt und die Oberseite mit 2 Lagen 160-g-Glasmatte abgedeckt. Nach erfolgter Durchhärtung kann die Spanplatte und der Balsakasten entfernt werden. Die Form wird sorgfältig von Knetresten befreit, die Löcher der Paßstifte freigelegt und die Kanten der Form etwas verputzt. Die Luftschraube darf auf keinen Fall herausgenommen werden. Die zweite Hälfte wird jetzt, nachdem die Paßstifte eingesetzt und der Balsakasten gebaut wurde, analog der ersten Hälfte laminiert. Nach erfolg-

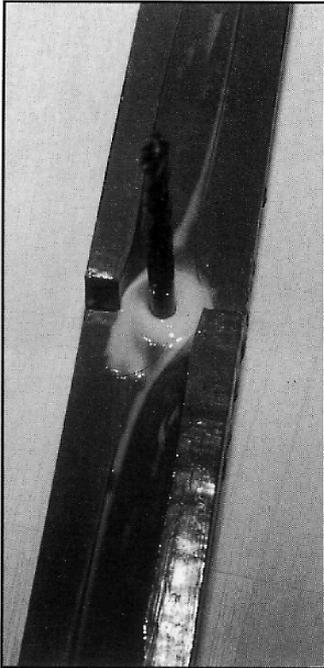


Die beiden Formhälften, gewachst, auspoliert und mit den zurechtgelegten Glasrovings. In die untere Formhälfte ist der Bohrer eingesteckt, damit während des Laminierens kein Harz in die Bohrung läuft.



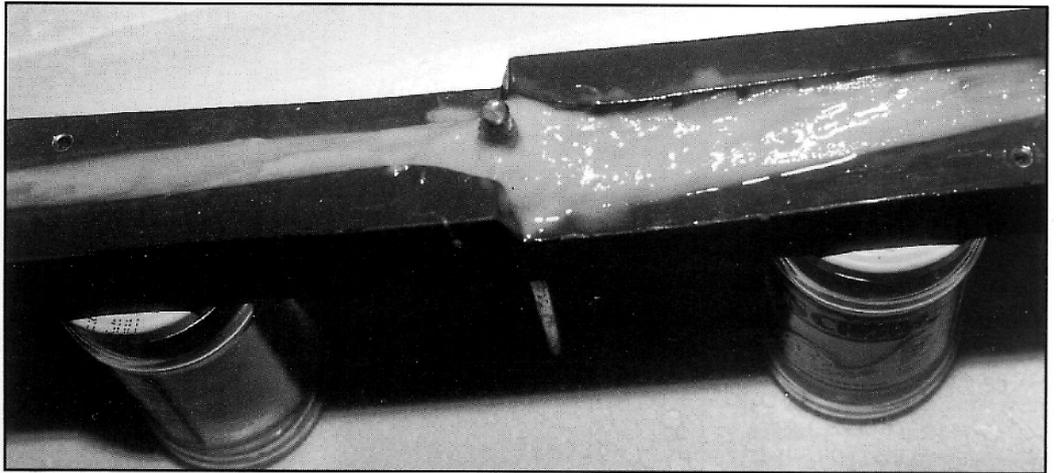
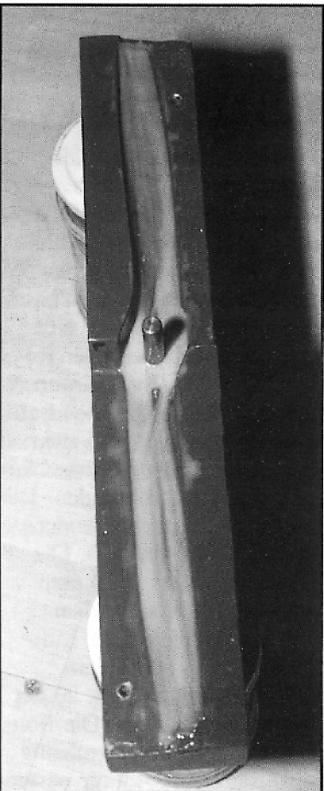
ter Durchhärtung wird zuerst der Stab herausgezogen. Dazu einen 3-mm-Stahlstift durch die Querbohrung stecken, durch Drehen lösen und abziehen. Zum Trennen der beiden Hälften wird die Form mit leichten Schlägen gelöst und auseinandergezogen. Die Luftschraube wird mit einer hal-

ben Holzklammer herausgeholt. Die Formoberfläche ist nach dem Entformen matt und muß jetzt mit einem Schwabbel und Polierpaste auf Hochglanz gebracht werden. Zum Abformen sollte die Form mindestens zweimal mit Trennpaste behandelt und sorgfältig auspoliert werden. Der Stab wird wieder durch die eine Formhälfte gesteckt und mit Trennmittel behandelt. Für eine Luftschraube der Größe 11 x 10 bis 12 x 11 benötigen wir ungefähr 15 m Glas- oder Kohleroving, 25 g Harz plus Härter sowie Farbpaste in der Wunschfarbe. Zum leichteren Tränken der Rovings empfehle ich, das Harz zu verdünnen, es läßt sich besser arbeiten. Der Roving wird dem Luftschraubendurchmesser entsprechend abgestuft abgelängt, und zwar für jede Hälfte, d. h. jede Länge ist zweimal vorhanden. Die Längenabstufung sollte der Blattdicke entsprechen. Die genauen Längen weiß man nach ca. 2 Luftschrauben. Um ein Aufreißen der Luftschrauben zu verhindern, schneiden wir zwei ca. 20 cm lange Rovingstücke. Die Bohrung der zweiten Formhälfte wird mit einem Bohrer passen-



Der einzelne Roving ist in die Form eingelegt und getränkt.

Die Glasrovings sind, mit den längsten beginnend, in die Formhälften eingelegt, getränkt und von Luftblasen befreit. Das an den Rändern übergelaufene Harz braucht nicht entfernt zu werden, es drückt sich beim Zusammensetzen der Formhälften weg.



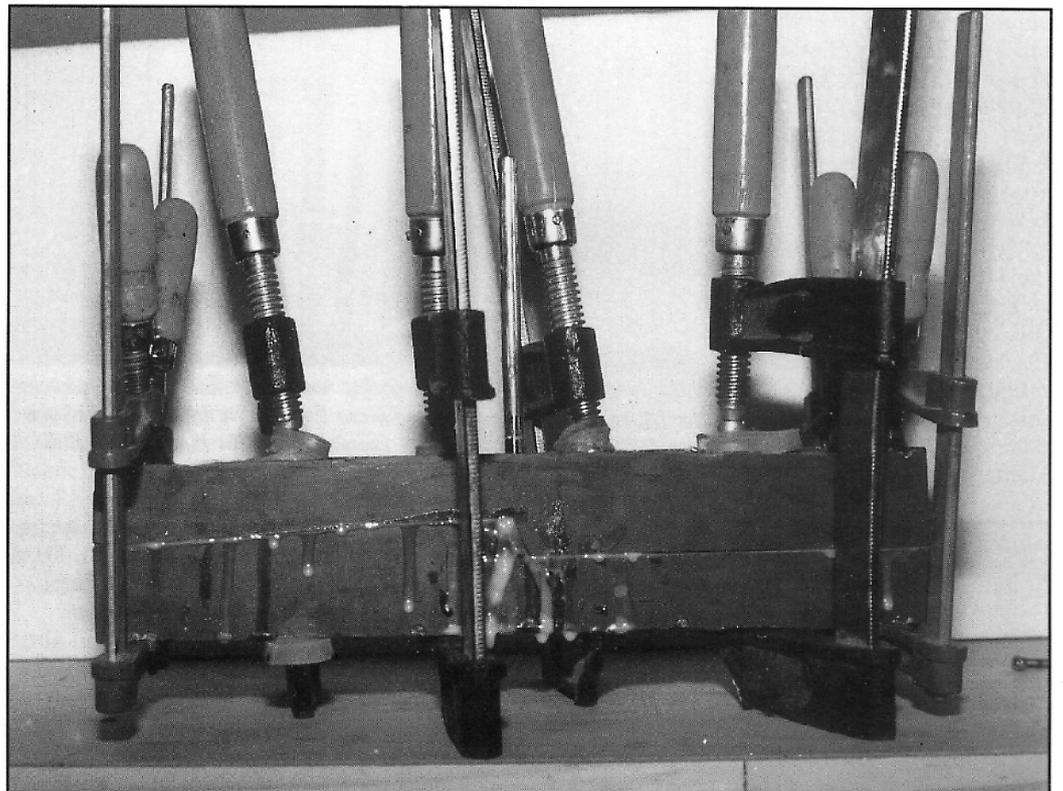
Der noch vorhandene Raum (Nabe) ist mit Harz und Glasmehl aufgefüllt. Vor dem Zusammensetzen der Formhälften sollten die Rovings und der Füllstoff in die Form zurückgedrückt werden, um Luft-einschlüsse zu verhindern.

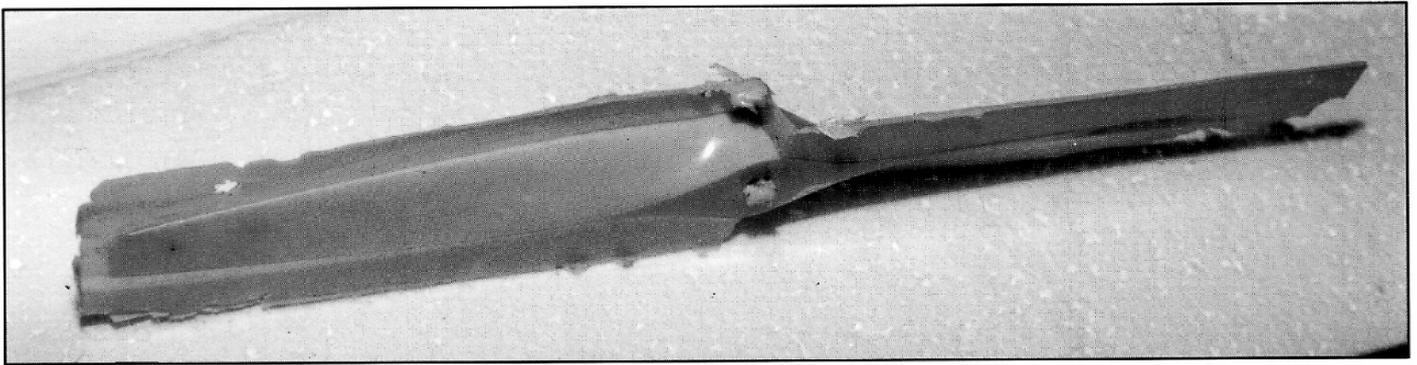
der Größe abgedeckt und später, vor dem Zusammensetzen der beiden Formhälften, wieder herausgezogen. Die Formhälften werden jetzt mit Harz eingestrichen, die beiden einzelnen Rovingstränge um die Stifte gewickelt und reichlich getränkt. Anschließend werden

die Rovingstränge der Länge nach geteilt und um die Stifte gelegt, beginnend mit dem längsten Strang, abwechselnd obere und untere Hälften. Die Rovings sollten reichlich mit Harz getränkt werden und nach jeder Lage die Luft mit dem Pinsel von innen nach

außen weggetupft werden! Nachdem alle Rovingstränge verarbeitet sind, wird die restliche Harzmenge mit Glasmehl eingedickt und in die Luftschraubennabe gefüllt. Hierbei sollten jegliche Luft-einschlüsse vermieden werden. Der Bohrer wird jetzt heraus-

Die Formhälften sind verschraubt und können zum Aushärten weggelegt werden. Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn die Form auf eine Heizung oder in die Sonne gestellt wird. Überschüssiges Harz läuft in der Trennebene heraus. Falls kein Harz herausläuft, hat man mit Sicherheit Luft-einschlüsse in der Luftschraube.





So sieht die Luftschraube aus, wenn sie aus der Form kommt. Der überstehende Rand braucht nur abgeschnitten und verschliffen zu werden. Hierzu sollte man eine Laubsäge oder Blechschere verwenden, keinesfalls ein Messer, da leicht Fasern aus der Luftschraube gerissen werden. Anschließend wird der Prop durch Abschleifen der Rückseite der schwereren Blatthälfte ausgewuchtet.



Die gebrauchsfertige Luftschraube.

gezogen und die Formhälften zusammengesetzt. Bis zur Aushärtung wird die Form mit Schraubzwingen zusammengepreßt, beginnend in der Mitte der Form. Dadurch wird überschüssiges Harz und noch vorhandene Luft nach außen weggedrückt.

Das Auseinandernehmen der Form geschieht wie oben beschrieben. Wenn gut gearbeitet wurde, haben wir keine Luftblasen in der Luftschraube, daher immer mit Harzüberschuß arbeiten. Sollte die Luftschraube zu dick sein, muß der Rovinganteil gesenkt werden, aber das ist Erfahrungssache.

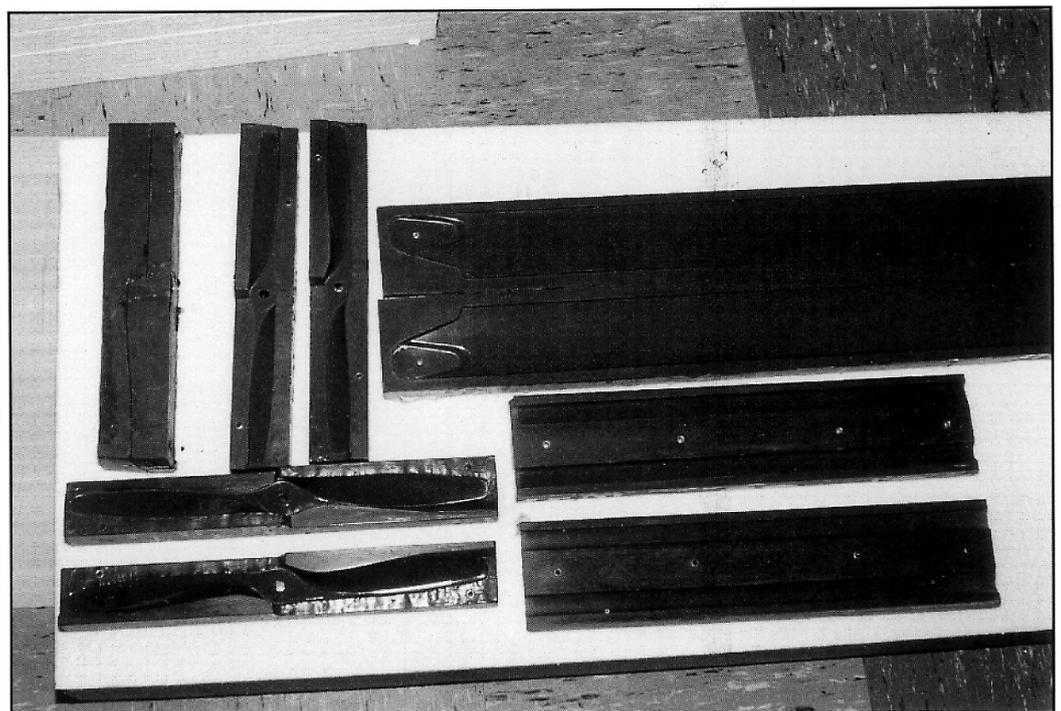
Die Luftschraube wird jetzt von überflüssigem Material befreit, sauber verputzt und ausgewuchtet. Der erste selbstgebaute Prop ist jetzt einsatzfähig.

Die zugehörigen Formen, wobei die Rotorblattform ohne Paßstifte auskommt, da eine Hälfte in die andere Hälfte eingreift.

Mit dieser Methode lassen sich nicht nur Luftschrauben bauen, sondern auch Rotorblätter, Motorträger, Verstreben, Spinner, Anschlüsse . . . Denkbar sind auch hohle Luft-

schrauben, mehrfarbige Rotorblätter oder Propeller mit dem Namen des Besitzers. Es lohnt sich wirklich, es einmal selbst auszuprobieren, der Aufwand ist geringer als vielleicht ver-

mutet, zumindest besitzt man eine persönliche Luftschraube, und der Umgang mit Harz, Glas und Kohle wird sicherer.





© 1995 bei R&G

Der Nachdruck ist, soweit keine fremden Rechte verletzt werden, mit Quellenangabe und gegen Belegexemplar gestattet.

Für eventuelle Fehler und Irrtümer kann keine Haftung übernommen werden.

Wir danken den Autoren für die Unterstützung bei der Herstellung dieser Broschüre.

Insbesondere danken wir dem Verlag für Technik und Handwerk für die Genehmigung zum Nachdruck eines Artikels aus der RCM.

Wenn Sie sich für das umfangreiche Fachzeitschriften- und Buchprogramm des VTH interessieren, fordern Sie weitere Unterlagen bitte direkt beim Verlag an:

*Verlag für Technik und Handwerk GmbH
Postfach 2274, 76492 Baden-Baden
Telefon (0 72 21) 50 87-0, Fax (0 72 21) 50 87-52*