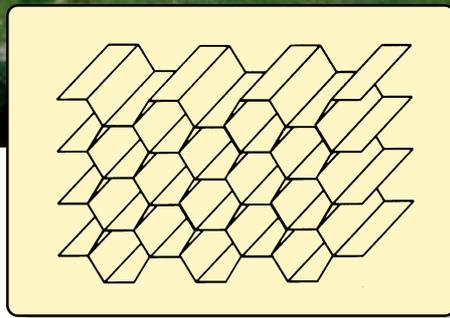
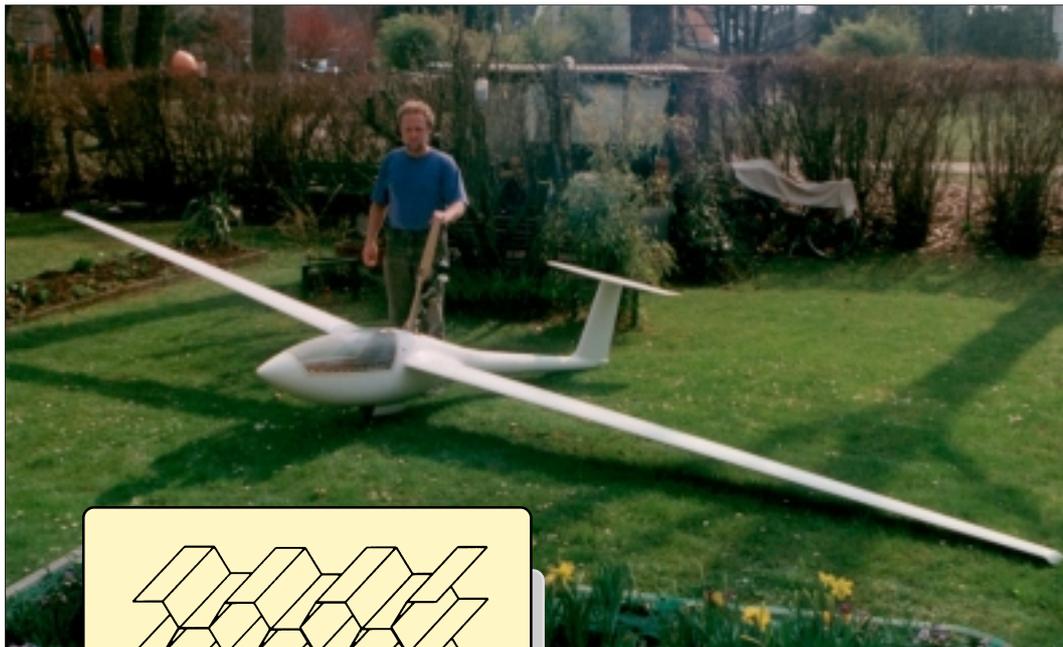


# PIK 20 E Ein Großmodell in Wabenbauweise

Eine allgemeingültige Einführung  
in die Leichtbauweise  
mit Aramid-Waben



PIK 20 E von  
Josef Eichstetter

## Aramid-Wabe 29 kg/m<sup>3</sup>

### Stützstoff für leichte Sandwichkonstruktionen

#### Beschreibung

- hohe Schlag-, Vibrations- und Ermüdungsbeständigkeit
- extreme Druckfestigkeit
- sehr gute Chemikalienbeständigkeit

Aramid-Waben sind nichtmetallische, leichtgewichtige Waben aus Nomex®-Papier (Kevlar®-Papier), die mit hitzebeständigem Phenolharz, entsprechend den strengen Anforderungen der Luftfahrt, beschichtet sind.

Die Verbindung von Aramidfasern und Phenolharz verleiht der Wabe ihre herausragenden Eigenschaften.

Die hexagonalen (sechseckigen) Zellen garantieren eine optimale Festigkeit und Steifigkeit sowohl bei flachen, als auch bei bearbeiteten Sandwichstrukturen. Die Verformbarkeit in dünner Stärke von z.B. 2 - 3 mm ist gut.

#### Temperaturbeständigkeit

Die Wärmebeständigkeit von R&G Aramid-Waben ist besser, als in den Spezifikationen der Luftfahrtindustrie verlangt wird.

Bei 135 °C beträgt die Verringerung der Druck- und Schubfestigkeit ca. 15 %, während der Verlust an Druckfestigkeit bei 180 °C unter 25 % des Anfangswertes liegt.

#### Brandverhalten

Aramid-Waben verfügen über eine **ausgeprägte Feuchtigkeits- und Hitzebeständigkeit** und sind als **schwer entflammbar/selbstverlöschend** eingestuft.

Im Brandfall erzeugen sie sehr geringe Mengen an Rauch und nahezu keine toxischen Substanzen. Die Rauchdichten nach der ATS 1000.001 sind sehr niedrig im Vergleich zu der Luftfahrt-Forderung.

#### Chemikalienbeständigkeit

Die Chemikalienbeständigkeit der Aramid-Waben gegen Flüssigkeiten, die beim Flugzeugbau gebräuchlich sind, ist erwiesen. Der Abfall der Festigkeit nach 144 Stunden Tauchbelastung bei Raumtemperatur in Motoröl, hydraulischem Öl oder destilliertem Wasser ist kleiner 10 %.

#### Elektrische Eigenschaften

Bei 9375 MHz ist die dielektrische Widerstandszahl 1,10 (+/- 5 %). Die Toleranz der dielektrischen Zahl gibt die Abhängigkeit der Raumdichte und der Polarisation bei 0° Anfallwinkel an.

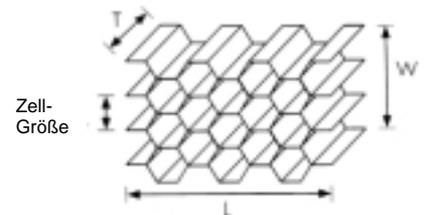
#### Produktreihe

Prinzipiell sind verschiedene Dichten von 29 - 144 kg/m<sup>3</sup> lieferbar. Standardmäßig **ab Lager** verfügbar ist die Type **29 kg/m<sup>3</sup>** in den Dicken **2, 3 und 5 mm**.

Als Sonderanfertigung sind Dicken bis 914 mm möglich

#### Toleranzen und Größen

|                          |                                     |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Zellgröße                | ± 10 % der Nominalgröße             |
| Raumgewicht              | ± 10 % des Nominalgewichts          |
| Länge (L)                | 2440 mm ± 50 mm                     |
| Breite (W)               | 1120 mm ± 75 mm                     |
| Dicke (T)                | ± 0,13 mm                           |
| <b>Dicke (T)/Gewicht</b> | <b>1,5 mm ( 44 g/m<sup>2</sup>)</b> |
|                          | <b>2,0 mm ( 58 g/m<sup>2</sup>)</b> |
|                          | <b>3,0 mm ( 87 g/m<sup>2</sup>)</b> |
|                          | <b>5,0 mm (145 g/m<sup>2</sup>)</b> |



#### Daten

| Druckfestigkeit<br>unstabilisiert<br>MPa | Schubfestigkeit<br>MPa |     | Schubmodul<br>MPa |      |
|--|------------------------|-----|-------------------|------|
|  | L                      | W   | L                 | W    |
| 0,6                                      | 0,45                   | 0,3 | 15,0              | 11,0 |

Packungsgrößen von 1/1 Platte (2,73 m<sup>2</sup>), 1/2 Platte (1,37 m<sup>2</sup>) und 1/4 Platte (0,68 m<sup>2</sup>)  
Bestell-Nummern 500 099-X, 500 100-X, 500 105-X, 500 110-X

## Die PIK 20 E in Wabenbauweise

von Josef Eichstetter

Die PIK20E ist ein Hochleistungs-Segelflugzeug. Josef Eichstetter konstruierte und baute dieses einmalige Großmodell in mehrjähriger Arbeit aus modernsten Leichtbauwerkstoffen. Um das bei einem Modell dieser Größe hohe Strukturgewicht zu reduzieren, wurden Rumpf, Tragflächen und Leitwerk konsequent in Schalenbauweise mit leichten und druckfesten R&G-Aramidwaben als Stützstoff ausgeführt. Die nachfolgende Baubeschreibung zeigt anhand von Baustufenfotos die Komplexität der Arbeiten. Auch wenn Sie als Leser dieser Broschüre kein "Großprojekt" planen, können Ihnen die

gezeigten Arbeitsschritte beim Verwirklichen eigener Leichtbaukonstruktionen hilfreich sein. Bei sorgfältiger Vorplanung und mit der notwendigen Ausstattung an Werkzeugen und Material können Sie auf Anhieb gute Resultate erzielen. Übrigens: die Formensätze für Rumpf, Flächen und Leitwerk wurden komplett aus Formenharz und Laminierkeramik von R&G hergestellt. Diese innovative Bauweise ist in der Broschüre "Formenbau mit Laminierkeramik" (Bestell-Nr. 900 105-1) genau beschrieben.



**Bild 1** Gründliches Wachsen der Formen und Abdecken des Formenrandes mit Folie bis ca. 2 mm an die Kante. Anschließend Einspritzen der Deckschicht (UP-Vorgelat weiß) oder 2-K-Lack. Gewicht ca. 300 g/m<sup>2</sup>.



**Bild 2** Abziehen der Folienabdeckung im noch nassen Zustand. Danach Aushärten der Deckschicht über Nacht. Die Kanten im Kabinenhaubenbereich werden mit einem Harz-Baumwollflocken-Glasfaserschnitzel-Gemisch aufgefüllt.



**Bild 3** Durchgehend werden 2 Lagen 80 g/m<sup>2</sup> Glasgewebe diagonal eingelegt, im Bereich der Rumpfnase wird bis auf 5 Lagen verstärkt.



**Bild 4** Nach dem Anhängen des Harzes (ca. 8 h Härtezeit) wird das überstehende Gewebe mit einer scharfen Klinge abgeschnitten.



**Bild 5** Einpassen der 3mm-Wabe mit 2-3 cm Übermaß.



**Bild 6** Die zugeschnittene Wabenplatte wird entnommen und eine weitere Lage 80g-Glasgewebe einlaminiert. In das noch nasse Gewebe wird die Wabe eingelegt, mit Gewichten beschwert und an den Stößen mit Tesa fixiert.

**Bild 7**

Auflegen einer PVC-Folie (0,03 mm Dicke), dann wieder beschweren.

Falls die Beschaffung von PVC-Folien Probleme bereitet, kann alternativ auch eine "Baufolie" aus PE verwendet werden. Diese ist meist in einer Stärke von 0,2 mm erhältlich. Noch besser geeignet: R&G Latex-Tuch (Gummituch).



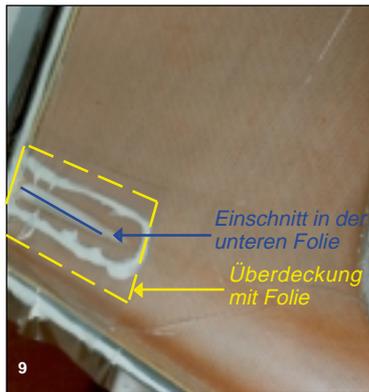
**Bild 8**

Während die Vakuumpumpe läuft, wird am Rand mit Silicon abgedichtet und die Folie angedrückt. Ist alles dicht, reichen zwei Vakuum-Anschlüsse (1x Kabinenhaube, 1x Rumpfnase) vollkommen aus.



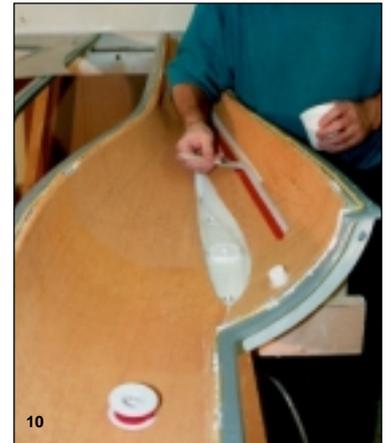
**Bild 9**

Sehr tiefe Stellen werden mit Silicon umspritzt, dann mit einem Messer aufgeschnitten und sofort mit einem Stück Folie überdeckt, welches sich dann in die Vertiefung einsaugt.



**Bild 10/11/12**

Nach dem Anhärten des Harzes, also nach etwa 12 Stunden, wird die Wabe überall dort, wo Spanten, Einziehfahrwerk und Klapptriebwerkschacht verklebt werden, mit einem Epoxydharz/Baumwollflockengemisch aufgefüllt. Als sehr leichter Füllstoff sind auch Glass-Bubbles (z.B. 3M von R&G, Dichte 0,21 bzw. 0,12 g/cm<sup>3</sup>) gut geeignet.



**Bild 11+12**

Auffüllen der Wabe mit eingedicktem Epoxydharz.



**Bild 12**



**Bild 13/14** Einpassen der fehlenden Wabenstücke; diese werden später zusammen mit dem Innenlaminat verklebt.



15

**Bild 15** Es kann sinnvoll sein, Teilbereiche der Wabe nachträglich einzupassen, da eine einzige, große Wabenplatte sich manchmal trotz aller Flexibilität nicht ohne Überspannung und daraus resultierende Fehlverklebungen in Vertiefungen pressen lässt.



16

**Bild 16** Zuschneiden der Übertragungsfolie (PVC, PE 0,03 - 0,2 mm) für das innere Decklaminat.



17

**Bild 17** Auf einem Stück Schaumstoff wird die Übertragungsfolie mit einer Nadel alle 3 cm durchlöchert. Besser geeignet, wenngleich auch teurer, ist die R&G Lochfolie (Bestell-Nr. 390 185-X).



18

**Bild 18** Vortränken des Glasgewebes auf Zeitungspapier.



19

**Bild 19** Abziehen des nassen Glasgewebes zusammen mit der Übertragungsfolie.

**Bild 20** Auftragen von Harz und Einlegen der noch fehlenden Wabenstücke.



20

**Bild 21** Das eingelegte Gewebe wird nun mit Abreißgewebe abgedeckt.



21

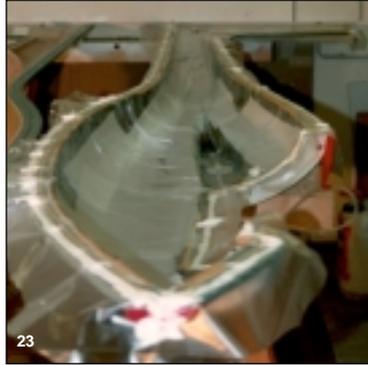
**Bild 22** Zuletzt wird eine mit reichlich Übermaß zugeschnittene Vakuumfolie aufgelegt, mit Gewichten fixiert und mit Silicon am Formenrand verklebt und abgedichtet.



22

**Bild 23**

Nach dem Einschalten der Vakuumpumpe preßt sich die Folie gegen die Form und verklebt das nasse Innenlaminat kraftschlüssig mit der Wabe.



**Bild 24**

Nach ausreichender Härtezeit (je nach Harz 8-12 h) werden alle Folien entfernt und die Schale mit der Formkante bündig geschnitten.



**Bild 25**

Die Kante im Bereich des Kabinenhauben-Auschnitts wird mit einem Harz-Baumwollflocken-Gemisch geschlossen.



**Bild 26**

Der Seitenleitwerkholm mit Aufnahmebeschlag für das Höhenleitwerk wird laminiert. Der Holm besteht aus einer 3 mm Wabe, die beidseitig mit Kohlegewebe 93 g/m<sup>2</sup> verstärkt wird.



**Bild 27**

Unter Zugabe von Füllstoff wird der Metallbeschlag einlaminiert. Dieser besteht aus einer Höhenleitwerksaufnahme aus Stahlblech 0,5 mm und harteingelöteten R&G Paßdübeln 6 mm, sowie einem 3 mm Messingrohr für den Umlenkhebel (Höhenrudersteuerung). Auf Folienstreifen vorge tränkt, wird das Gewebe aufgelegt.



**Bild 28**

Abschließend wird das Laminat mit Abreißgewebe abgedeckt und im Vakuum verpreßt.



**Bild 30**

Der Hauptspant besteht aus 5 mm Balsaholz. Zum Einpassen wird die Form zusammengestellt.



**Bild 29** Einkleben des Holms in eine Halbschale. Dazu wird vorher eine Nut in die Wabe eingearbeitet, die bis zur Außenhaut geht. Der Holm wird satt in ein Harz-Microballons-Gemisch eingelegt. Dies spart Gewicht, ergibt eine gute Festigkeit und verhindert das Durchzeichnen des Holms.

**Bild 31**

Der sorgfältig eingepaßte Spant wird entfernt und mit Kohlegewebe 160 g/m<sup>2</sup> beidseitig beschichtet.



**Bild 32**

Endergebnis: der sauber bearbeitete Hauptsant mit Alurohr.



**Bild 33**

Laminieren des Fahrwerksschachts über ein aus Holz erstelltes Positiv. Zwei Lagen 80 g-Gewebe reichen aus.



**Bild 34** Unter Einblasen von Luft wird diese dünne Schale entformt, der Positivkern erneut gewachst und die GFK-Schale wieder aufgeschoben (reine Vorsichtsmaßnahme bei schwierig zu entformenden Teilen).



**Bild 35**

Aufaminieren der Waben-Seitenteile und des Mittelstücks.



**Bild 36**

In einem weiteren Arbeitsgang wird das Außenlaminat im Vakuum verpreßt.



**Bild 37**

Der fertige Fahrwerksskasten läßt sich leicht entformen.



**Bild 38**

Felgen aus zwei Lagen 160 g Kohlegewebe, im Vakuum verpreßt. Die Positivform entstand in einem "Milchreisbecher".



**Bild 39**  
Der Reifen 7x1 3/4 Zoll mit Schlauch, sowie allen Felgenteilen und den erforderlichen Formen.



**Bild 40**  
Alle Felgenteile sind aus Kohlefaser laminiert. Als Deckschicht wird ein aluminiumgefülltes Harz verwendet, das nach dem Anschleifen metallisch schimmert.



**Bild 41** Das einbaufertige Einziehfahrwerk. Die Mechanik und alle Maße sind vom Original maßstabsgetreu übernommen. Das verwendete Stahlrohr 0,3 mm Wandung wurde hartgelötet.



**Bild 42**  
Das Ein- und Ausfahren erfolgt über eine Gewindestpindel mit Elektromotor und Endabschaltung.



**Bild 43**  
das Fahrwerk im ausgefahrenen Zustand, bereits mit dem Hauptspant verklebt.



**Bild 44** Nach Papierschablonen werden Leisten für den Klappentriebwerksschacht, bestehend aus Spant und Trennwand, auf eine Spanplatte geklebt und mit Vakuum eine Folie darüber gezogen.



**Bild 45**  
In dieser einfachen Form wird eine 3 mm Wabe im Vakuum beidseitig mit 2 Lagen Glasgewebe 80 g/m<sup>2</sup> beschichtet.



**Bild 46**  
Im nächsten Arbeitsschritt werden die Einbauten in die Rumpfhälbschalen eingeklebt.



**Bild 47**  
Nun ist alles bereit zum Verkleben der Schalen.



**Bild 48**  
Zu sehen ist das Einziehfahrwerk, der Hauptspant, das Klapptriebwerk...



**Bild 49**  
...der Seitenleitwerkholm und die Schubstange.



**Bild 50**  
Zum Verkleben wird eine Raupe aus einem Harz/Glass-Bubbles-Gemisch beidseitig auf die Klebestellen aufgetragen.



**Bild 51**  
Bereit zum Verkleben des Rumpfes.



**Bild 52**  
Die beiden Formhälften werden aufgestellt und vorsichtig zusammengeschoben.



**Bild 53**  
Klammern pressen die geschlossene Form zusammen.



**Bild 54**  
Nach 24 h Härtung ist der Zeitpunkt zum Entformen gekommen. Vorsichtig wird die Form mit Holzkeilen auseinandergedrückt.

**Bild 55**  
Eine Hälfte ist bereits entformt.



**Bild 56** Geschafft! Das Gesamtgewicht des Rumpfes beträgt 8,5 kg, davon abzuziehen sind 4,5 kg für das Klapptriebwerk und 1,5 kg für Einziehfahrwerk und Spant. Es bleibt ein Schalengewicht von 2,5 kg für einen Rumpf mit ca. 2,5 m<sup>2</sup> Fläche.



**Bild 57**  
Das Ausschneiden der Fahrwerksklappen mit einem feinen Sägeblatt.

**Bild 58**  
Der Klappen-  
triebwerksschacht  
wird aufgesägt und  
gängig gemacht.  
Die Scharnierfunktion  
übernimmt ein  
zwischen der 2. und  
3. Gewebelage  
einlaminiertes  
Abreißgewebe.



## Die Herstellung der Tragflächen

in Schalenbauweise mit Wabenkernen



**Bild 59**  
Nach dem Wachsen wird die Deckschicht in die obere und untere Formenhälfte eingespritzt (Oberseite nur im Querruderbereich).



**Bild 60**  
Auffüllen der Nasenleiste mit einem Harz/Microballons-Gemisch.



61

**Bild 61**  
Einlaminieren von 2 Lagen 80g-Glasgewebe in Diagonalrichtung ( $\pm 45^\circ$  zur Nasenleiste).



62

**Bild 62**  
Anzeichnen des Querruderdrehpunkts.



63

**Bild 63**  
Einlaminieren der "Kupplungslage" 80 g Glasgewebe.



64

**Bild 64**  
Im Querruderdrehpunkt wird ein ca. 2 cm breites Abreißgewebe einlaminieren.



65

**Bild 65**  
Die Wabenzuschnitte werden eingelegt und an den Stößen mit Tesa fixiert.



66

**Bild 66**  
Auflegen der Vakuum-Folie und Abdichten mit Silicon.



67

**Bild 67**  
Andrücken der Vakuumfolie.



68

**Bild 68**  
Nach dem Entfernen des Vakuums wird die Wabe an der Endkante ausgeschliffen und im Querruderdrehpunkt eingepaßt.



**Bild 69**  
Papierzuschnitte für die Innenlage werden vorbereitet.

**Bild 70**  
Mit den Papierzuschnitten wird das Gewebe auf Zeitungspapier aufgelegt und getränkt.



**Bild 71**  
Ausschleifen der Endkante Oberseite-Querruder.



**Bild 72**  
Von einem großen, vorgetränkten und mit Folie abgedeckten Gewebestück werden entsprechende Streifen abgeschnitten.



**Bild 73**  
Zur Torsionsversteifung der Querruder wird unter Zugabe von Füllstoff ein 4 mm Alurohr über die ganze Länge eingeklebt.



**Bild 74**  
Anschließend wird eine Lage 80g-Glasgewebe aufgelegt und im Vakuum verpreßt.



**Bild 75**  
Beschneiden der Dichtlippe nach dem Trocknen.



**Bild 76, 77**  
Die Holme werden aus einer beidseitig mit 93 g-Kohle beschichteten Wabenplatte ausgeschnitten...



**Bild 77**  
...und mit Glass-Bubbles aufgeklebt.



**Bild 78**  
Die Trennstelle der Querruder-Wölbklappe.



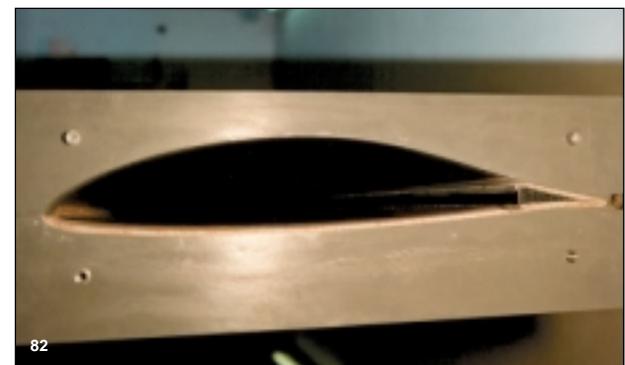
**Bild 79** Verstärkungsteile für die spätere Anlenkung der Querruder-Wölbklappe.



**Bild 80/81/82**  
Querruder-Oberseite und Flächen-Unterseite werden mit Füllstoff zusammengeklebt.



81



82



83

**Bild 83**  
Ist das Querruder entformt, kann die Deckschicht für die Oberseite der Fläche eingespritzt werden.



84

**Bild 84**  
Einlaminieren von zwei Außenlagen 80g-Gewebe.



**Bild 85**  
Anfertigen der Wabenzuschnitte.



**Bild 86**  
Einlaminiere einer Kupplungsschicht aus 80 g-Gewebe.



**Bild 87**  
Einlegen der Wabe und anschließendes Vakuumieren der Form.

**Bild 88**  
Einschleifen des Landeklappen-Deckels und Ausschleifen der Hinterkante.



**Bild 89**  
Die Formen im Vakuum.



**Bild 90**  
Auch im Randbogenbereich macht das Absaugen keine Schwierigkeiten.

**Bild 91**  
Die Innenlage wird einlaminiert und im Vakuum verpreßt. Zur besseren Absaugung wird zwischen Übertragungsfolie und Vakuumfolie ein Abreißgewebe durchgehend eingelegt. Überschüssiges Harz wird durch die gelochte Übertragungsfolie vom Abreißgewebe aufgesaugt.



**Bild 92**  
Entfernen des Vakuums, der Wachsschnur und des Silikons.



**Bild 93**  
Nach Unterschieben von 0,4 mm Sperrholz wird die Endkante der Fläche besäumt.

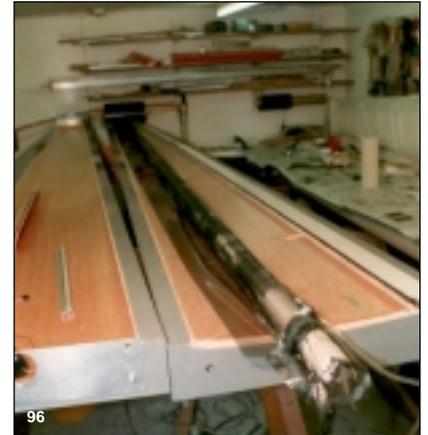


**Bild 94**  
Schneiden des Styroporkerns für den Flächenholm.



95

**Bild 95**  
Die Styroporelemente werden aneinandergelast und umseitig mit ca. 12 Kohlerovings belegt.



96

**Bild 96**  
Nach dem Aushärten ist die ganze Einheit fest genug, um mit zwei Lagen Kohlegewebe beschichtet zu werden. Anschließend wird im Vakuumsack gepreßt.



97

**Bild 97**  
Abschälen des Abreißgewebes nach dem Aushärten des Harzes.



98

**Bild 98**  
In die Flächenoberschale werden mit einem Schleifholz bis zur Außenhaut drei Nuten für die Holme eingeschleift.



99

**Bild 99**  
In diese Nuten werden Holmstege mit Glass-Bubbles eingeleimt, auf die dann der eigentliche Holm geklebt wird. Dies ergibt eine sehr geringe Klebefläche zur Flächenschale und damit einen großen Gewichtsvorteil.



100

**Bild 100**  
Die Herstellung der Höhenruderflaps erfolgt nach dem gleichen Schema wie die Tragflächen (Deckschicht, Außenlaminat, Kupplungslage, Wabe, Innenlaminat).



**Bild 101**  
Das Bündigschneiden nach dem Trocknen der Innenlage.



**Bild 102**  
Die Höhenruderdämpfungsflosse beim Einpressen der Wabe.



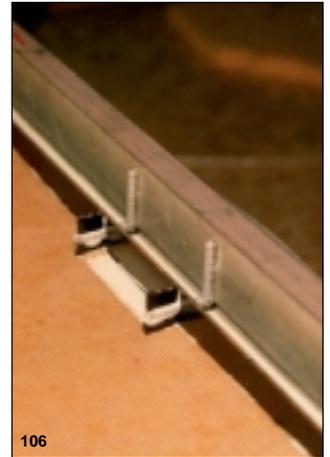
**Bild 103**  
Das Höhenruderflap nach dem Entformen.



**Bild 104**  
Mit einer Feile werden die Durchgänge für die Scharniere eingearbeitet.



**Bild 105**  
Sind die Schalen fertig laminiert, kann der Holm mit den Scharnieren eingeleimt werden. Dazu wird der Holm mit Sekundenkleber auf einer Aluschiene fixiert und anschließend mit Glass-Bubbles und einem Kohleroving eingeklebt.



**Bild 106**  
Die an einer Aluschiene fixierten Scharniere ergeben eine genaue Flucht des Drehpunktes. Der Holm wird, wie schon bei den Tragflächen, aus kohlefaserverbeschichteter Wabe gefertigt.



**Bild 107**  
Das bereits fertig laminierte Höhenruderflap wird probeweise eingelegt.



**Bild 108**  
Das fertige Modell im Frühjahr 1996