

# **Bau einer CFK Karosserie**

-

## **Urmodell, Formenbau, Verarbeitung**

Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise mit  
beispielhaften Bildern



April 2013  
Bastian Wiechert

# 1. Einleitung

Zunächst muss ich einmal ganz deutlich sagen, dass ich kein Profi auf dem Gebiet der Faserverbundwerkstoffe und deren Herstellung/Verarbeitung bin und mir mein Wissen nur angelesen, bzw. durch „Learning-By-Doing“ angeeignet habe. Wer also auf der Suche nach einer Anleitung für Profis ist, sollte seine Suche fortsetzen. All jene, die in die Thematik einsteigen wollen und für den privaten Gebrauch vielleicht mal ein Teil aus Faserverbundwerkstoffen herstellen möchten, mögen unter Umständen mit dieser Anleitung ihrem Ziel ein Stück näher kommen.

## **Nun zum eigentlichen Ziel:**

Im Rahmen eines RC-Modellbau Projektes soll ein CFK-Karosserieteil hergestellt werden. Da dieses Teil sichtbar ist und deshalb eine gute Oberflächenqualität gefordert ist, soll viel Wert auf präzises und sauberes Arbeiten gelegt werden. Besondere Anforderungen bezüglich der Stabilität gibt es keine, da das Teil keine tragende Funktion hat.

Gefertigt werden soll ein dreidimensionales Teil mit unterschiedlichen Radien, etwa von der Größe eines DIN A4 Blatts. Das Urmodell wird mit Hilfe der Spantenbauweise (selbiges Verfahren wie bei Schiffs- oder Flugzeugrümpfen) hergestellt. Durch das Abformen des Urmodells entsteht eine Negativform, in der dann das eigentliche Teil entstehen soll.

## **Dauer des Projektes:**

Um eine grobe Orientierung bezüglich des zeitlichen Rahmens zu bekommen, soll an dieser Stelle kurz darauf eingegangen werden. Zunächst einmal hängt die benötigte Zeit natürlich stark von der Komplexität des gewünschten Bauteils ab. Des Weiteren müssen die einzelnen Schritte auf mehrere Tage aufgeteilt und Trocknungszeiten eingehalten werden, was eine genaue Zeitangabe erschwert.

Die Dauer des Urmodellbaus hängt stark von den persönlichen handwerklichen Fähigkeiten und der Form des Teils ab, sollte jedoch in drei bis fünf Tagen mit je zwei bis vier Stunden pro Tag machbar sein.

Die Herstellung der Negativform dauert etwa zwei bis drei Stunden, benutzt man Harze mit größerer Topfzeit, kann man sich mehr Zeit lassen. Es muss sauber und sorgfältig gearbeitet werden, denn die Qualität des Produkts wird höchstens so gut wie die der Negativform.

Für das Laminieren des eigentlichen Produkts kann etwa so viel Zeit wie für den Bau der Negativform veranschlagt werden.

## 2. Benötigte Materialien

Urmodell:

- Balsaholz und Holzreste
- Holzleim/Weißleim, Nadeln/Nägel
- 1-K Feinspachtel
- Schleifpapier grob (100 Korn) bis fein (800 Korn)
- Glasgewebe <49 g/m<sup>2</sup>
- Epoxydharz L + Härter L (40 Min.)
- Filler, ggf. 2K-Lack
- Polierpaste

Negativform:

- Grundierwachs
- Folientrennmittel PVA
- PVA Trennlackschwamm
- Formenharz P + Härter (EPH 573)
- Glasgewebe 163 g/m<sup>2</sup> (o.ä.) , Körperbindung

Produkt:

- EP-Gelcoat farblos + Härter L
- Kohlegewebe <200 g/m<sup>2</sup>
  - unkomplizierte Form → Leinwandbindung
  - kompliziertere Form → Körperbindung

Allgemein:

- Einweghandschuhe
- Schutzbrille
- ggf. Atemschutz
- Klebeband
- Einwegbecher
- Laminierpinsel
- Küchenwaage

Zum Bau des Urmodells werden natürlich noch weitere Werkzeuge benötigt, auf die hier jedoch nicht weiter eingegangen werden soll.

### 3. Das Vorgehen in Stichpunkten

Zunächst eine chronologische Auflistung der einzelnen notwendigen Schritte:

- über die gewünschte Form Gedanken machen
- Spanten ausschneiden, positionieren, fixieren
- Balsastreifen schneiden
- Balsastreifen auf Spanten kleben
- spachteln + schleifen
- ggf. mehrfach wiederholen, bis Oberfläche ok
- 50g/m<sup>2</sup> GFK-Gewebe zwecks Stabilität auflaminieren
- spachteln + schleifen
- ggf. mehrfach wiederholen
- füllern + schleifen (400er, nass)
- ggf. mehrfach wiederholen, bis Oberfläche ok
- ggf. mit 2K-Lack lackieren
- polieren
- Grundierwachs mehrmals auftragen, ablüften lassen
- PVA-Trennmittel auftragen
- Gewebestücke für Negativform zuschneiden
- Formharz auftragen (blasenfrei!), angelieren lassen
- Epoxydharz + Gewebe zwecks Stabilität aufbringen
- aushärten lassen + trennen
- Negativform polieren
- Grundierwachs mehrmals auftragen, ablüften lassen
- PVA-Trennmittel auftragen
- CFK-Gewebe zuschneiden
- Gelcoat in Negativform streichen (blasenfrei!), angelieren lassen
- Epoxydharz und CFK-Gewebe aufbringen
- aushärten lassen + trennen
- ausschneiden
- polieren

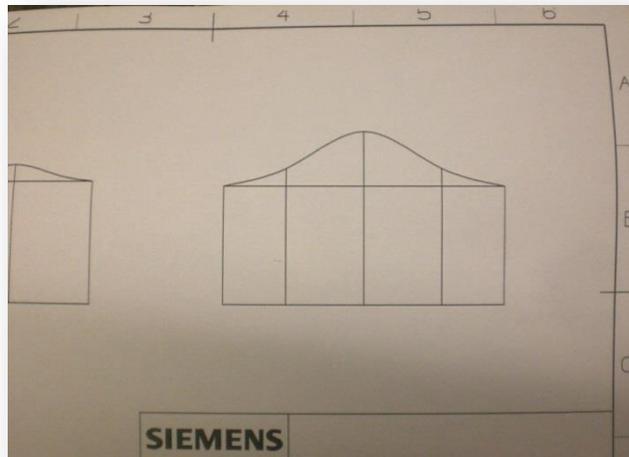


## 4. Das Urmodell

### 4.1 Vorbereitung und Planung

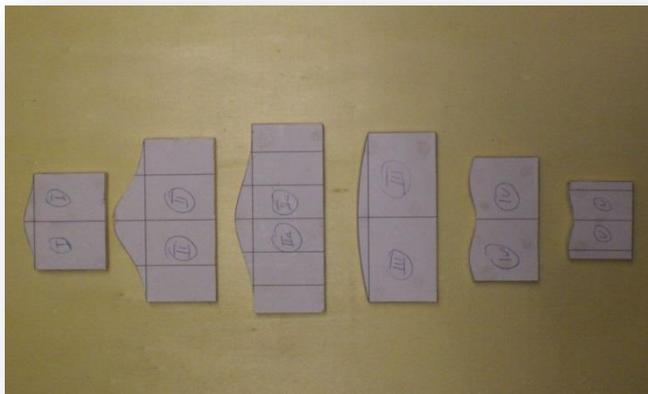
Los geht es im Kopf und auf dem Papier. Zunächst muss die Form/ Geometrie gefunden werden, die das Teil später haben soll. Zeichnungen und Skizzen helfen bei der Vorstellung der Form, jemand, der mit einem CAD-Programm gut umgehen kann hat es hier leichter.

Wichtig: Die Form darf keine Hinterschneidungen aufweisen, da sonst ein Entformen nicht möglich ist!



Das Urmodell soll aus beplankten Spanten entstehen, dazu benötigt man zumindest die Maße der Spanten an allen (!) Extrempunkten (Hochpunkte, Tiefpunkte, Wendepunkte) im Modell, denn eine Befestigung der Planken an diesen Stellen sorgt für die richtige Form. Diese Stellen herauszufinden und aus der 3D-Ansicht im Kopf die 2D-Ansicht der Spanten an den jeweiligen

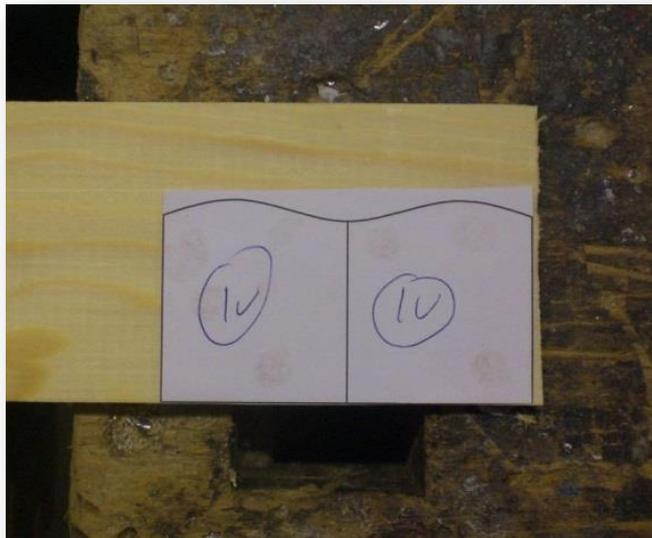
Stellen zu extrahieren, ist recht schwer, wobei auch hier wieder ein CAD-Modell hilfreich ist. Man kann in den 2D-Zeichnungen die Stellen, an die Spanten sollten markieren und die Positionen von einfachen Punkten (höchster Punkt im Spant, niedrigster Punkt, etc.) ausgemessen. Diese Maße in ein CAD-Programm (es reicht auch eine einfache Freeware mit der man 2D-Zeichnungen erstellen kann) übertragen und durch die Punkte (3 bis 5 pro Spant) einen



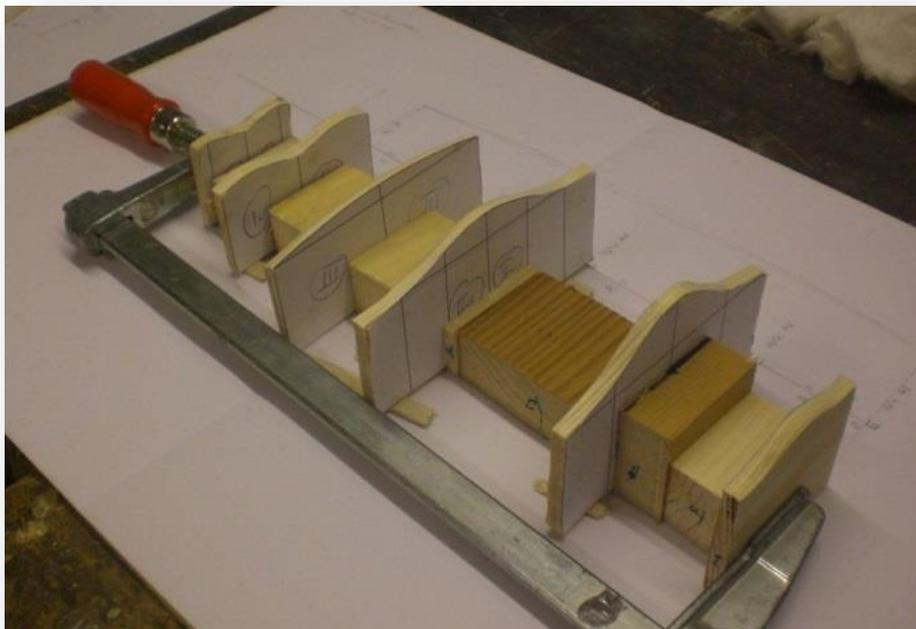
sogenannten Spline (oder Studio-Spline) gelegt, lassen saubere und symmetrische Zeichnungen der Spanten entstehen (dieses Vorgehen ist deutlich einfacher als das gesamte Modell dreidimensional darzustellen und an den entsprechenden Stellen der Spanten einen Schnitt zu erzeugen).

## 4.2 Die Spanten

Diese 2D-Zeichnungen druckt man maßhaltig aus und klebt sie auf das Holz. Dann muss nur noch entlang der Linien ausgeschnitten werden, die Kanten geschliffen werden und fertig ist ein Spant. Analog funktioniert dieses Vorgehen für alle anderen Spanten.



Nun müssen die ausgeschnittenen Spanten an den für sie vorgesehenen Plätzen fixiert werden. Man kann sie beispielsweise mit Winkeln oder Holzklötzchen auf eine steife Platte fixieren oder direkt passende Holzklötze zwischen die einzelnen Spanten leimen. Fertig ist das Grundgerüst und man kann zum Beplanken übergehen.



### 4.3 Das Beplanken

Die Spanten müssen nun mit Balsaholz (gibt es im gut sortierten Baumarkt) beplankt werden. Hierfür werden Balsabrettchen mit einer an die gewünschten Radien angepassten Stärke verwendet. Sind die Radien groß, so kann dickeres Holz als bei kleineren Radien verwendet werden, jedoch ist immer die größtmögliche Stärke bzw. Härte des Holzes vorzuziehen, um das Modell so stabil



wie möglich werden zu lassen. Auch hat man bei dickerem Holz die Möglichkeit mehr Material abzuschleifen und so entstehende Ecken und Kanten zu verrunden ohne viel spachteln zu müssen.

Bei dem betrachteten Projekt wurde relativ hartes, einen Millimeter starkes Balsaholz verwendet, wobei auch die Verwendung von dickerem und weicherem Holz möglich gewesen wäre.



Um die Rundungen gut darstellen zu können, wurden die Balsabrettchen mit Skalpell (auch mehrere Millimeter Stärke sind mit ein paar Schnitten problemlos möglich) und Lineal in 3-5 mm breite Streifen geschnitten. Soll ein Modell mit weniger starken Rundungen entstehen, so können die Streifen breiter geschnitten und der Aufwand beim Beplanken reduziert werden.

Diese Streifen werden nun zurechtgeschnitten und mit Weißleim (Holzleim)/Sekundenkleber und Stecknadeln/dünnen Nägeln fixiert. Die Nadeln werden nach dem Aushärten des Klebers wieder gezogen, die Nägel können, sofern sie tief genug in das Holz geschlagen sind, stecken bleiben.

Nach dem Trocknen des Leims und dem Abschneiden und Glätten der Kanten, werden Löcher und Ritzen mit Spachtel gefüllt. Hierfür sollte kein 2K-Spachtel benutzt werden (zumindest macht man den Fehler kein zweites Mal), denn der wird so hart, dass beim Schleifen mehr Holz als Spachtel entfernt wird. Für den direkten Auftrag auf Holz eignet sich weicher 1K-Feinspachtel wunderbar.



Diesen einfach auf die Oberfläche auftragen und „abziehen“. Gut geeignet dafür sind die Balsaresten, da sich die dünnen Leisten sehr gut an die Oberflächenkonturen anpassen. Nach dem Trocknen die Oberfläche vorsichtig glatt schleifen.

#### 4.4 Urmodell verstärken

Da die nur 1 mm starken Planken (teils sogar weniger, weil abgeschliffen) einem Entformen unter Umständen nicht standhalten würden (und bei Zerstörung des Urmodells kein zweiter Versuch möglich wäre), kann man die Oberfläche mit GFK-Gewebe (in diesem Fall 49g/m<sup>2</sup>, weniger möglich) verstärken. Dazu wird auf das Modell und das Gewebe ganz



einfach mit einem Pinsel Harz aufgetragen und angetupft. Nach der Trocknung waren an manchen Stellen der Oberfläche noch Gewebemuster zu erkennen, deshalb nochmal ein wenig Harz oder Gelcoat auftragen. Die überschüssigen Gewebereste am Rand mit einem Skalpell sauber abschneiden.

#### 4.5 Die Feinarbeiten

Nun, da die Form gegeben ist, muss die Oberfläche bearbeitet werden. Zunächst werden leichte Unebenheiten mit 240er Schleifpapier (nass schleifen, da der feine Schleifstaub sonst das Papier zusetzt und Riefen in der Oberfläche entstehen) beseitigt, jedoch verbleiben unter Umständen Mulden oder feine Pinselstriche. Diese können mit Hilfe eines Fillers (Baumarkt/Lackierbedarf) und viel Schleifarbeit egalisiert werden. Auf dem Foto rechts kann man beides, sowohl gefüllte Rillen, als auch gefüllte Mulden erkennen. Das Auftragen mehrerer



Schichten und anschließendes Schleifen (240er bis 400er Korn, nass) füllt diese nach und nach. Geschliffen werden muss deshalb, weil die Umgebung um die Mulde sich ebenfalls „erhöht“.

Durch eine geschlossene Farbschicht werden Riefen etc. erst deutlich sichtbar. Je nachdem, wie gut zuvor gearbeitet wurde sind von einigen wenigen bis zehn oder mehr Durchgänge (fillern und schleifen) nötig, bevor die Oberfläche von zufriedenstellender Qualität ist.



Hat man eine durchgehende, glatte Lack- oder Füllerschicht (wenn man nur Filler verwendet, muss zunächst die Verträglichkeit von Filler und Grundierwachs getestet werden) erreicht, wird die Oberfläche schrittweise bis zum 800er (oder mehr) Schleifpapier nass geschliffen. Anschließend mit einer Feinpolitur poliert.

Merke: Die Oberflächenqualität des Urmodells muss mindestens so gut, wie die gewünschte Oberflächenqualität des Produktes sein!

In diesem Zustand ist das Urmodell fertig zum Abformen.



## 5. Die Negativform

### 5.1 Vorbereitungen

Um das spätere Trennen von Urmodell und getrockneter Negativform zu ermöglichen, muss das Urmodell entsprechend vorbehandelt werden.

Es gibt mehrere Möglichkeiten:

Grundierwachs mit PVA-Folientrennmittel, Trennwachs oder nur Folientrennmittel. In dem hier beschriebenen Beispiel habe ich Grundierwachs mit PVA-Folientrennmittel verwendet.

Zunächst muss das Wachs aufgetragen werden. Dies geschieht durch einfachen Auftrag und anschließendem Polieren mit einem Baumwolltuch. Mehrmaliges Auftragen mit anschließendem Polieren verbessert die Benetzbarkeit, die Anzahl unterliegt aber Erfahrungswerten. Drei- bis viermaliges Wiederholen sollte jedoch für die meisten Anwendungen ausreichen. Wichtig ist es, das Grundierwachs vor dem nächsten Schritt, dem Aufbringen des PVA-Folientrennmittels mehrere Stunden (am besten über Nacht) ruhen zu lassen, damit die Lösungsmittel ausdunsten können.

Einige Minuten vor dem eigentlichen Formenbau wird das PVA-Folientrennmittel mit einem Trennmittelschwamm dünn aufgetragen.



## 5.2 Formharz auftragen

Die entsprechende Menge Formharz mit Härter wird angerührt und anschließend mit einem Pinsel großzügig und vor allem blasenfrei auf das Urmodell aufgetragen. Auf ein Stück Klebeband oder einem ähnlichen, das Harz nicht aufsaugendem Untergrund, trägt man ebenfalls ein bisschen Formharz in gleicher Stärke auf, dazu jedoch an späterer Stelle mehr.



### 5.3 Die Form stabilisieren

Da die Form durch eine alleinige Schicht Formharz bei Weitem nicht stabil genug wäre, müssen noch stabilisierende Gewebeschichten aufgebracht werden. Um eine Kupplung zwischen der Formharzschicht und der stabilisierenden Gewebeschicht zu erreichen, gibt es zwei gängige Möglichkeiten:

1. Man kann in das gerade aufgetragene Formharz Baumwollflocken und/oder Glasfaserschnitzel einstreuen und das Ganze so trocknen lassen. Darauf kommen dann später die Gewebeschichten, wobei die Baumwollflocken die Kupplung herstellen. Man benutzt Baumwollflocken deshalb, weil das aufgestreute Material leicht sein muss um nicht durch das Formharz bis auf das Urmodell abzusinken.
2. Die einfachere Möglichkeit ist die, die Gewebeschichten zum richtigen Zeitpunkt aufzubringen. Das Formharz darf nicht mehr so weich sein, dass das Gewebe einsinkt, darf aber andererseits auch noch nicht zu trocken sein. Der zu wählende Zustand ist der, wenn das Formharz angeleiert ist (Herstellerangabe als zeitliche Richtlinie). Dieser Zustand ist dann erreicht, wenn man das (auf dem zuvor erwähnten Stück Klebeband) aufgetragene Harz berührt (Handschuh!), es klebrig ist, aber keine Reste am Handschuh kleben bleiben.

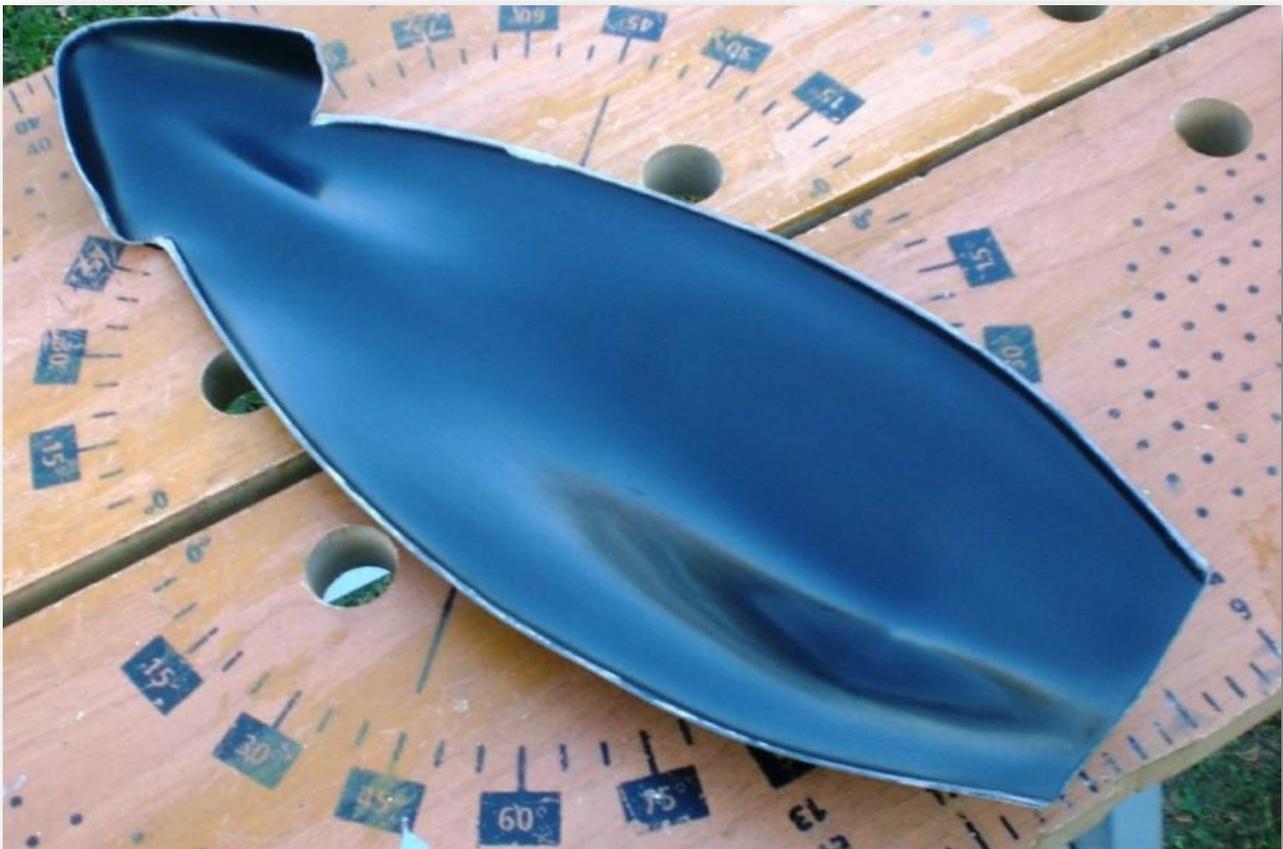
Bei beiden Möglichkeiten werden, je nach Gewebetyp und Größe des Modells, mehrere Schichten Gewebe mit normalem Harz-Härter-Gemisch auflaminiert. Da die Optik hier keine Rolle spielt und es keine besonderen Anforderungen an die Stabilität gibt können hier auch Gewebereste verwendet werden.



## 5.4 Das Entformen

Nachdem alles ausreichend lange ausgehärtet ist, können Urmodell und Form getrennt werden. Dazu benutzt man am besten weiche Holzleisten (Balsareste) o. ä., die man in den Spalt zwischen Urmodell und Form schiebt. Es ist darauf zu achten, dass möglichst keine Gewalt angewandt wird, da sonst unter Umständen die Form oder das Urmodell beschädigt werden könnten. Hat man vorher sorgfältig gearbeitet, sollten sich die beiden Teile sauber trennen.

Bleiben Reste des Urmodells in der Form haften, kann diese unter Umständen durch vorsichtiges Nassschleifen/Polieren "gerettet" werden.



## **6. Das eigentliche Bauteil**

### **6.1 Die Vorbereitungen**

Ist zuvor sauber gearbeitet worden, kann die Negativform direkt verwendet werden. Falls sich Unebenheiten und/oder Rückstände in der Form befinden, muss diese zunächst poliert (ggf. sogar nass geschliffen) werden. Anschließend wird die Form genauso wie zuvor das Urmodell, mit Grundierwachs und PVA-Folientrennmittel, Trennwachs oder nur PVA-Trennmittel (bestimmte Sorte) vorbereitet. Das Verfahren ist unter 5.1 beschrieben, es kann analog vorgegangen werden.

Das zu verarbeitende Gewebe muss in Form geschnitten werden. Man kann hierzu z.B. Papier passend in die Negativform legen und die überstehenden Ränder abschneiden. So hat man eine Schablone für die Gewebeausschnitte geschaffen. Es ist jedoch zu beachten, dass man nicht zu sparsam mit dem Material umgeht, denn es ist zu ärgerlich, wenn man beim Laminieren feststellen muss, dass das Gewebe nicht die gesamte Form bedeckt.

### **6.2 Gelcoat**

Um eine saubere und glänzende Oberflächenqualität zu erzielen, empfiehlt es sich, vor dem eigentlichen Laminieren einen Gelcoat in die Form zu bringen. Dieser wird dünn aufgetragen und muss die gesamte Oberfläche perfekt benetzen. Wie schon beim Bau der Negativform trägt man irgendwo anders ebenfalls eine ähnliche Schicht des Gelcoats auf, um den erreichten Trocknungszustand überprüfen zu können. Ist der Gelcoat angeliert (unter 5.3 beschrieben, Herstellerangabe als zeitliche Richtlinie) kann man zum nächsten Schritt übergehen.

### 6.3 Laminieren

Liegen die Gewebestücke bereit, sind Harz und Härter angerührt und ist der Gelcoat angeleiert, kann mit dem eigentlichen Laminieren begonnen werden. Eine dünne Schicht Harz wird in der Form aufgebracht, darauf wird das Gewebe platziert. Nun ist es wichtig, an den tiefsten Stellen der Form zu beginnen, da sonst das Gewebe nicht mehr gut in Form gebracht werden kann. Durch vorsichtiges Tupfen mit einem weichen Pinsel, wird das Gewebe nach und nach mit Harz getränkt. Wenn noch Luft einschlüsse erkennbar sind, werden diese durch weiteres Tupfen eliminiert. Das Laminat soll nicht in Harz "schwimmen", es muss nicht komplett mit Harz überzogen sein. Meist sieht man trotz Harz noch eine deutliche Gewebestruktur an der Oberfläche (was aber uninteressant ist, da dies ja die nicht sichtbare Seite des Teils ist). Bei jeder weiteren Gewebeschicht kann analog verfahren werden. Je nach Gewebetyp und -stärke sollte nur eine begrenzte Anzahl von Lagen in einem Durchgang übereinander aufgebracht werden.



## 6.4 Trennen und Nachbereitung

Ist das Bauteil ausgehärtet, kann es von der Negativform getrennt werden. Dies geschieht, wie schon beim Bau der Form, durch vorsichtiges Hebeln mit kleinen Holzleisten zwischen Bauteil und Form. Ist gut gearbeitet worden, sollten sich die Teile leicht voneinander trennen.

Die Ränder mit überstehendem Gewebe können einfach abgeschnitten werden. Die Reste des Folientrennmittels, die sich noch auf der Oberfläche befinden, können mit Wasser und einem Schwamm entfernt werden. Soll die Oberfläche hochglänzend sein, muss diese anschließend noch poliert werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass sich eventuelle Pinholes in der Oberfläche unwiderruflich mit der benutzten Politur füllen könnten und so die Optik des Teils maßgeblich beeinflusst werden könnte. Deshalb sollte man dies zunächst vorsichtshalber an einer verdeckten Stelle ausprobieren.



## 7. Das Produkt der Anstrengungen

Hoffentlich hat sich die Mühe gelohnt und man ist mit dem entstandenen Bauteil zufrieden. Falls nicht, kann man gesetzt den Fall, dass Urmodell und Negativform erhalten geblieben sind, an einem nahezu beliebigen Punkt wieder einsteigen und versuchen, die gewünschte Qualität zu erreichen. Es ist im Allgemeinen jedoch sehr schwer, eine perfekte und porenfreie Oberfläche durch reines Handlaminieren zu erzielen.

Ich persönlich bin mit dem Ergebnis zufrieden und froh, nach dieser langen Prozedur endlich das gewünschte Teil in den Händen zu halten.



© by Bastian Wiechert, Frankenberg (Eder)

Der Beitrag einschließlich aller Inhalte ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck oder Reproduktion (auch auszugsweise) in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder anderes Verfahren) sowie die Einspeicherung, Verarbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung mit Hilfe elektronischer Systeme jeglicher Art, gesamt oder auszugsweise, ist ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Autors untersagt. Alle Übersetzungsrechte vorbehalten.

Der Beitrag inklusive aller Inhalte wurde unter größter Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Druckfehler und Falschinformationen nicht vollständig ausgeschlossen werden. Der Autor übernimmt keine Haftung für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte, ebenso nicht für Druckfehler.