

Formenbau mit GFK

Herstellung einer Kunststoffform



In Zusammenarbeit mit:

Dipl.-Ing. Herbert Funke
Laboratorium für
Konstruktionslehre
Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Jorden

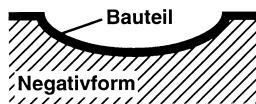


Universität-GH
Paderborn

Der Formenbau

Zur Fertigung von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen sind entsprechende Werkzeuge (z.B. Negativ-Formen) erforderlich. Diese werden in der Regel preisgünstig und schnell aus GFK gefertigt.

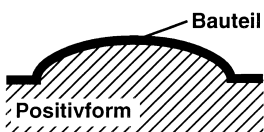
Je nach Anforderung sind auch Formen aus Gips, Holz oder Metall sinnvoll.



Negativ-Formen

Stets dann, wenn die Fertigteile glatte Außenflächen aufweisen, wird eine **Negativ-Form** erstellt (Boote, Karosserieteile, Flugzeugrumpfe- und flächen etc.).

Es handelt sich praktisch um einen "Abdruck" des Originalteiles.



Positiv-Formen

Gegenstände mit glatten Innenflächen (Behälter, Springbrunnen, Schalen) benötigen eine **Positiv-Form** d.h. einen Formkern.

Geeignete Materialien

Gips

Ein Gipswerkzeug ist nur für wenige Abformungen geeignet. Die Oberflächen haben nicht die hohe Güte von GFK.

Holz

Eine Holzform ist ebenfalls nur für kleinere Serien geeignet. Um die üblichen Trennmittel verwenden zu können, sollte die Oberfläche lackiert werden.

Kastenförmige Bauteile (z.B. Behälter) können in einer einfachen Form aus kunststoffbeschichteten Spanplatten hergestellt werden.

Hartschalengips

Für Serien eignet sich die R&G **Laminierkeramik** (ein Hartschalengips), die in Verbindung mit einer harten Oberflächenschicht aus Epoxyd-Formenharz eingesetzt wird. Die Entformungsstückzahlen sind ähnlich hoch wie bei GFK-Formen.

Hauptnachteil dieser Bauweise ist das relativ hohe Gewicht (ca. 20 - 30 kg/m²), Hauptvorteil die einfache Anwendung, die völlige Ungiftigkeit des Produktes und der vergleichsweise günstige Preis.



Zweiteilige Negativform mit Epoxyd-Deckschicht (Formenharz P) und einem tragenden Laminat aus Hartschalengips (R&G Laminierkeramik)

Metall

Metallwerkzeuge sind am haltbarsten und werden vor allem für Großserien eingesetzt. Sie sind im Vergleich zu den gebräuchlichen GFK-Formen außerordentlich teuer.

Dauerelastische Formen

Für Formen mit starken Hinterschneidungen oder reliefartigen Oberflächen werden hochflexible Siliconkautschuk-Abformmassen verwendet. Die Dehnfähigkeit beträgt zwischen 350 und 500 %. Siliconkautschuk ist selbsttrennend und für Entformungen mit Polyesterharz, Gips, Wachs etc. geeignet. Bei Verwendung von Epoxyd-Gieß-/Laminierharzen sollte zuvor R&G Grundierwachs aufgetragen werden.



Dauerelastische Form aus Siliconkautschuk

Foto: Wacker-Chemie

GFK

Eine Form aus **Glasfaserkunststoff (GFK)** erlaubt die Herstellung von wenigstens einigen hundert Teilen in jeder Größe. Die Deckschicht bestimmt die Güte der Oberfläche.

Formenharze P ist hartelastisch, kantenfest und gut schleif- und polierbar.

Alu-Formenharz ist für Temperformen geeignet und bietet eine schnelle Wärmeverteilung und hohe Kantenfestigkeit.

Stahl-Formenharz ist extrem hart und kantenfest, kann aber praktisch nicht mehr, z.B. durch Schleifen, nachbearbeitet werden.

Glasfaser-Polyesterharz (GF-UP)

Preiswerte Formen werden aus GF-UP gefertigt (Deckschicht aus **UP-Vorgelat farblos**, schwarz eingefärbt und einem Glaslaminat mit **Polyester-Laminierharz U 569 TV-01V**).

Polyesterformen schwinden stärker als solche aus Epoxydharz. Sie sind daher vor allem für einfachere Formteile wie z.B. Behälter und Bootsschalen geeignet, bei denen nicht die höchste Maßhaltigkeit gefordert ist.

Glasfaser-Epoxydharz (GF-EP)

Hochwertige, sehr maßhaltige Formen, z.B. für Flugzeug-, Modell- und Maschinenteile werden aus GF-EP angefertigt. Sie sind sehr genau und langlebig.

Die Formoberflächen sind polierfähig und je nach verwendetem Formenharz unterschiedlich hart.

Bei der Härtung der EP-Harze tritt ein geringfügiger Volumenschwund auf. Dieser Schwund ist in den unverstärkten Harzschichten (Formenharz) am stärksten, im Glasgewebelaminat am geringsten. Soll ein Verzug sicher vermieden werden, muß das Laminat für die Form **symmetrisch** aufgebaut werden. Dieses Verfahren wird ab Seite 3 ausführlich beschrieben.



GFK-Form im Segelflugzeugbau



Dipl.-Ing. Herbert Funke
Laboratorium für Konstruktionslehre
Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Jorden



Universität-GH Paderborn

Herstellung einer Kunststoffform

Faserverbundbauteile werden in der Regel in Formen hergestellt, die selbst aus Faserverbundwerkstoffen aufgebaut sind. Die Herstellung einer Kunststoffform erfordert nur wenige Hilfsmittel und ist mit etwas Geschick einfach und rasch zu bewältigen. Es sind

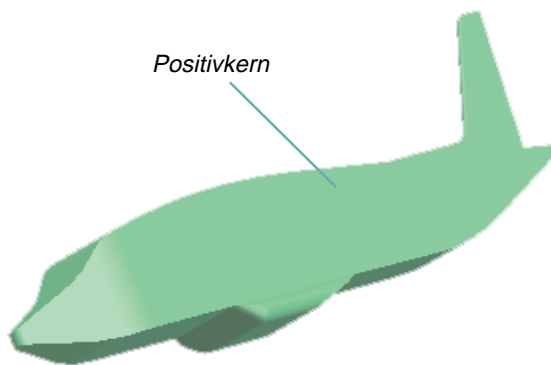
jedoch einige wichtige Punkte zu beachten, die im folgenden am Beispiel einer Form für einen Modellflugzeugrumpf dargestellt werden.

Der Herstellungsprozess läßt sich prinzipiell in folgende Arbeitsschritte unterteilen:

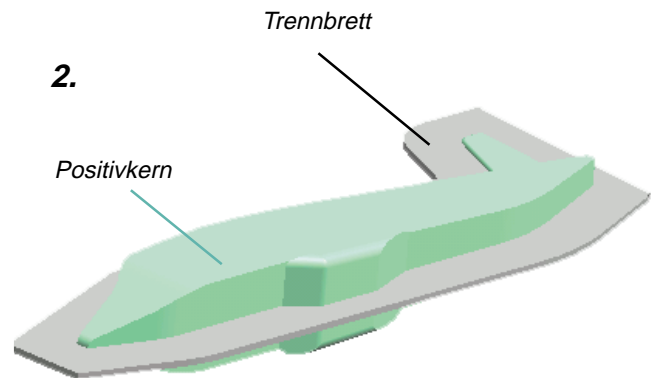
- Herstellung und Vorbereitung des Positivkernes
- Festlegung der Trennebenen und Erstellung des Trennbrettes
- Vorbereitungen zum Abformen
- Laminieren der Formteile
- Nachbehandlung der Form

Die einzelnen Arbeitsschritte beim Formenbau

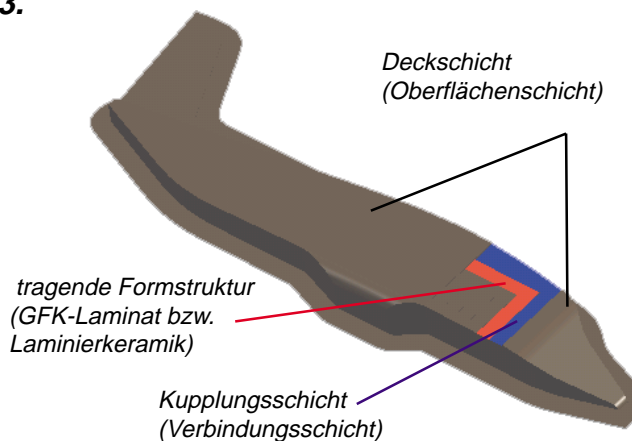
1.



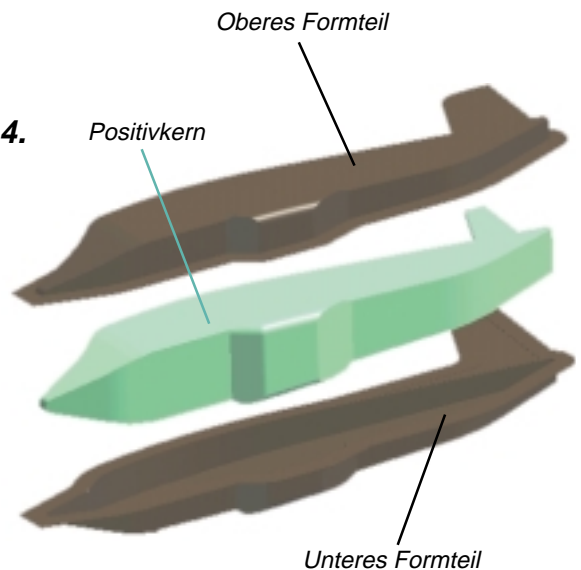
2.



3.



4.



Werkstoffe

- Grundierwachs und Folientrennmittel PVA
- Formenharz (z.B. Typ P, Alu, Stahl)
- Epoxyd-Laminierharz (z.B. Typ L, L 20, LF)
- Glasgewebe 163 g/m² - 580 g/m²
- Glasfaserschnitzel 4,5 mm und Baumwollflocken
- Paßstifte oder Paßdübel
- Fix-a-Form Formverschraubungen
- Modelliermasse
- Sekundenkleber

Werkzeuge + Hilfsstoffe

- Glas- oder Aramidscheren
- Pinsel
- Schaumstoffwalzen (Mini-Laminiererset)
- Mischbecher und Rührstäbchen
- Digitalwaage
- Bohrmaschine, Stichsäge
- beschichtete Spanplatten
- Gips
- Messer, Stechbeitel

1) Herstellung und Vorbereitung des Positivkernes

Der Positivkern, auch als Urmodell bezeichnet, ist die Kontur für die Bauteile, die später in der Form entstehen sollen. Vorhandene Bauteile, die z.B. in Styropor / Holzbauweise erstellt wurden, lassen sich häufig schon als Urmodell verwenden. Soll ein Positivkern neu angefertigt werden, kann dieser aus einem festen Schaumstoff wie z.B. Roofmate modelliert und mit mehreren Lagen GFK überzogen werden. Um eine glatte Oberfläche zu erreichen, wird der Positivkern nach anschließendem Spachteln mit einem Hochglanzlack lackiert (**Bild 1**).

Lackierte Positivkerne können vor dem Abformen poliert werden. Dabei ist jedoch unbedingt zu beachten, daß die verwendete Politur silikonfrei ist, da Siliconrückstände das Trennergebnis beeinträchtigen. Autopolituren enthalten häufig Siliconbestandteile und sind deshalb nicht empfehlenswert. R&G bietet Polituren an, die speziell auf den Kunststoffformenbau abgestimmt sind.



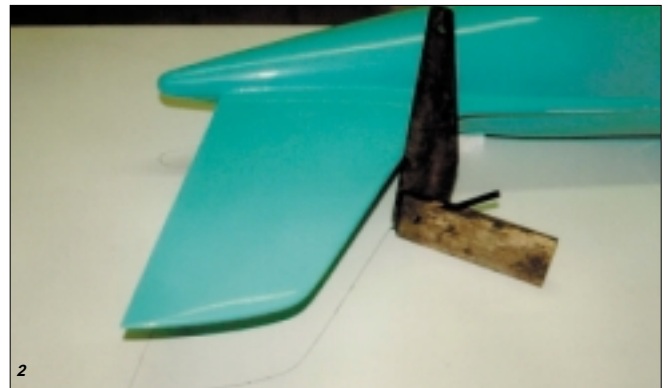
Bevor der Positivkern das erste Mal mit Trennmittel behandelt wird, sollte er mit einem Reinigungsmittel, z.B. Waschbenzin, gereinigt werden. Dabei ist vorher die Verträglichkeit des Reinigungsmittels mit der Oberfläche zu testen. Das Reinigungsmittel muß vor dem ersten Wachsauftrag mehrere Stunden in einem warmen Raum vollständig ablüften. Auch wenn das Reinigungsmittel oberflächlich schon lange abgetrocknet ist, könnten ansonsten Rückstände des Lösungsmittels, die in tieferen Poren zurückbleiben, chemisch mit dem Trennmittel reagieren und das Trennergebnis beeinflussen.

2) Festlegung der Trennebenen und Erstellung des Trennbrettes

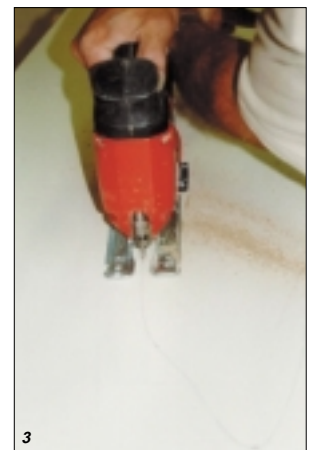
Je nach Geometrie können Formen aus mehreren Teilen bestehen. Die Trennebenen sind so zu wählen, daß Hinterschnitte vermieden werden und eine eindeutige Entformungsrichtung mit genügend Formschräge für jedes Formsegment möglich ist. Symmetrische Formen können zumeist zweiteilig erstellt werden. Im Beispiel wird die Rumpfform des Modellflugzeuges in der Symmetrieebene geteilt. Dazu muß die Seitenkontur des Rumpfes auf das Trennbrett übertragen werden.

Das Urmodell wird parallel zum Trennbrett ausgerichtet. Das Trennbrett besteht aus einer kunststoffbeschichteten Spanplatte.

Die Projektion der Rumpffseitenfläche wird auf das Trennbrett übertragen. Ein Winkel, der diagonal durchbohrt wurde, führt den Stift (**Bild 2**).



Die Rumpfkontur wird aus dem Trennbrett ausgesägt (**Bild 3**).



Eine zweite Platte wird über eine Abstandsleiste mit dem Trennbrett verschraubt. So ergibt sich eine verwindungssteife Einheit und es wird vermieden, daß sich beim späteren Hantieren die Trennfugen verschieben (**Bild 4**).

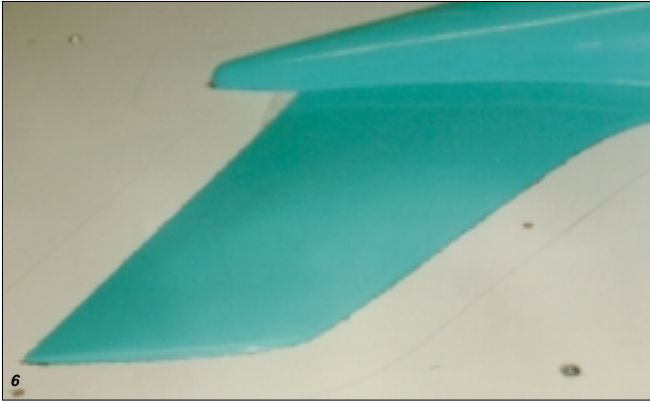


Gipsmörtelkleckse, in die der Positivkern unter Zwischenlage einer Folie hinein gedrückt wird, bilden eine definierte Auflage für den Positivkern (**Bild 5**).

Der Positivkern wird genau bis zur Trennebene im Trennbrett eingelassen.

Die Fugen zwischen Positivkern und Trennbrett werden mit Modelliermasse geschlossen (**Bild 6**).





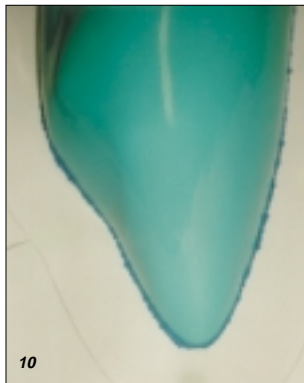
Dazu wird die Modelliermasse in der Mikrowelle erwärmt und dann mit einem Finger in die Fuge gestrichen (**Bild 7**).

Die überstehende Masse kann anschließend mit einem scharfen Werkzeug abgezogen werden (**Bild 8**).



Reste werden mit einem weichen Baumwolltuch wegpoliert (**Bild 9**).

Auf diese Weise entsteht eine scharfe Kante zwischen Urmodell und Trennbrett, die Voraussetzung für präzise Kanten der Negativform und saubere Nähte späterer Bauteile ist (**Bild 10**).



Der Formenrand wird durch Leisten, die mit Sekundenkleber auf das Trennbrett geklebt werden, abgegrenzt. Dadurch wird das spätere Besäumen des Formenrandes vereinfacht (**Bild 11**).

3) Vorbereitungen zum Abformen

Damit die Formhälften zueinander zentriert werden können, werden im Formenrand Paßdübel eingelassen.

Die dreiteiligen Paßdübel von R&G mit ihren herausnehmbaren Paßstiften vereinfachen es später, den Formenrand sauber zu halten. Zudem stören bei diesem System keine spitzen Dübel, wenn eine Form z.B. für die Herstellung von Wabensandwichbauteilen Vakuum gezogen werden soll.

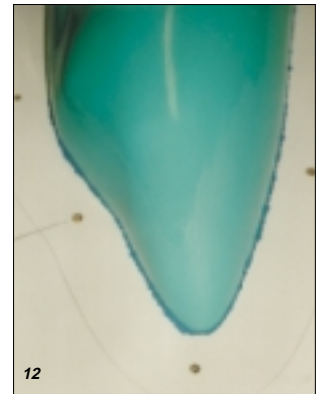
Über Formverschraubungen können Formteile verbunden werden.

Damit sich Paßdübel und Formverschraubungen beim Laminieren der Formhälften nicht verschieben, wird das Trennbrett an entsprechenden Stellen angebohrt (**Bild 12**).

Über Stifte werden die Paßdübel und die Formverschraubungen dann formschlüssig fixiert.

Vor dem Auftrag des Trennmittels werden Positivkern und Trennbrett gründlich gereinigt. Wenn dabei ein Lösungsmittel verwendet wird, muß auch hier wiederum darauf geachtet werden, daß das Lösungsmittel vollständig ablüften kann. Für eine hohe Oberflächenqualität der Form sollten die folgenden Arbeitsschritte in möglichst sauberer Umgebung erfolgen.

Grundierwachs wird mit einem weichen Baumwollappen oder Pinsel aufgetragen (**Bild 13**).



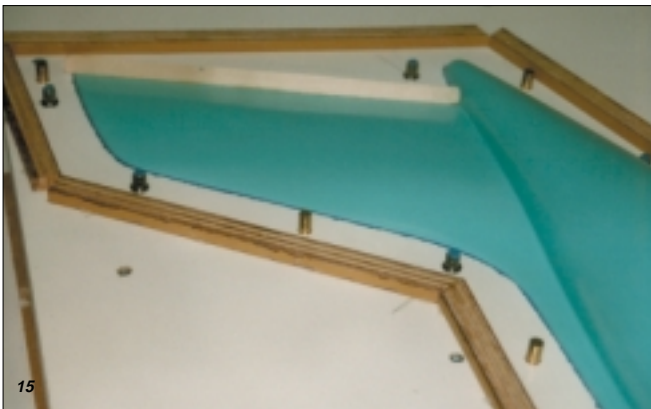
Das Folientrennmittel kann mit einem Schwämmchen oder einem Pinsel aufgetragen werden (**Bild 14**).

Durch die Vorbehandlung mit Grundierwachs verläuft das Folientrennmittel sehr gleichmäßig. Für große Flächen gibt es auch ein spritzfähig eingestelltes Folientrennmittel.



Erst nach dem Auftragen der Trennmittel werden die Paßdübel und die Formverschraubungen auf den Formenrand gesetzt.

Damit die Formverschraubungen nicht mit Harz volllaufen, werden Sie mit Modelliermasse gefüllt. Sie sind über Stifte auf dem Trennbrett fixiert, damit sie beim Laminieren nicht verrutschen (**Bild 15**).



4) Laminieren der Formteile

Nach den Vorbereitungen können die Formenhälften laminiert werden. Der Laminataufbau einer Form kann auf unterschiedliche Weise und mit unterschiedlichen Materialien erfolgen. Im Folgenden wird der klassische Laminataufbau einer GFK-Form mit symmetrischem Laminataufbau dargestellt:

Als Deckschicht für die Form wurde hier das Formenharz P verwendet. Dieses Formenharz zeichnet sich durch eine gute Verarbeitbarkeit, hohe Kantfestigkeit und thixotropes Verhalten an steilen Flächen aus. Es läßt sich mit einem Pinsel blasenfrei auftragen, so daß sich die porenfreien Oberflächen der Negativform hochglänzend aufpolieren lassen.

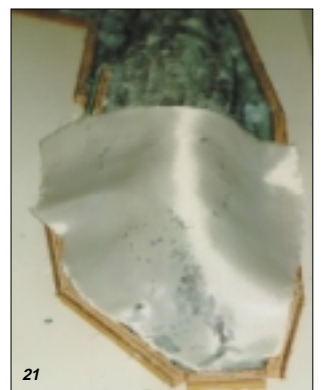
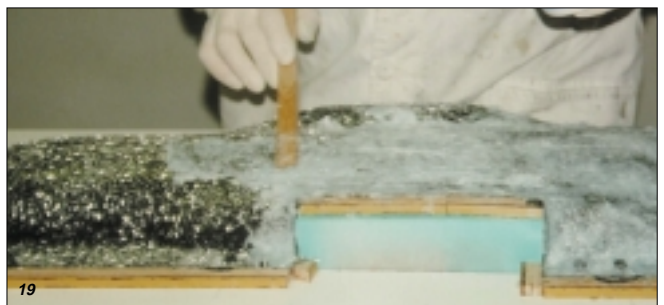
Der Hinterbau der Form erfolgt mit einem dünnflüssigen Epoxydharzsystem (z.B. Epoxydharz L, L 20 oder LF) und mehreren Lagen Glasgewebe. Um eine gute Verbindung zwischen der Deckschicht und dem tragenden Hinterbau zu schaffen, werden in das Formenharz Glasfaserschnitzel eingestreut, die eine mechanische Verankerung zwischen Deckschicht und Laminat gewährleisten (**Bild 17**). Um einen Verzug der Form zu verhindern, erfolgt der Lagenaufbau symmetrisch. Zunächst wird das Formenharz aufgetragen und mit dem Pinsel gleichmäßig verstrichen. Damit in den Kanten keine Luftporen entstehen, muß das Formenharz entlang der Kanten mit einem weichen Pinsel gründlich verstrichen werden (**Bild 16**). In das frisch ein-



gestrichene Formenharz werden Kurzglasfaserschnitzel eingestreut, überschüssige Glasfaserschnitzel werden, nachdem die Deckschicht ca. 2 Stunden angeleert ist, vorsichtig wieder abgesaugt (**Bild 17 + 18**).

Für die Kupplungsschicht werden Kurzglasfasern und Baumwollflocken zu gleichen Teilen in das Harz gemischt.

Die Kupplungsschicht (**Bild 19**) vermeidet Luftporen zwischen Deckschicht und Laminat und wird insbesondere in Ecken und Kanten sowie im Bereich der Paßdübel etwas dicker aufgetragen (**Bild 20**), damit die erste Gewebelage faltenfrei laminiert werden kann (**Bild 21**). Zunächst wird eine Lage 163 g/m² Glasgewebe laminiert.



Die erste Gewebelage wird harzreich laminiert, damit oberflächennahe Lufteinschlüsse vermieden werden (**Bild 22**), überschüssiges Harz aus den ersten Gewebelagen wird ohnehin von den nächsten Gewebelagen aufgesaugt.

Um genügend Wandstärke aufzubauen, folgen zwei Lagen Glasrovinglebe 580 g/m² (**Bild 23**).

Sehr gute eignet sich auch das besonders drapierfähige Multi-axial-Glaslege 408 g/m².



möglichst in der Form bleiben. Der Formenrand der ersten Formhälfte dient nun als Trennbrett für die zweite Hälfte. Dazu wird der Rand neu abgetrennt (**Bild 28**) und, nachdem Kern und Formenrand mit Trennmittel eingestrichen wurden, die Paßdübel und die Formenverschraubungen aufgesetzt (**Bild 29**).

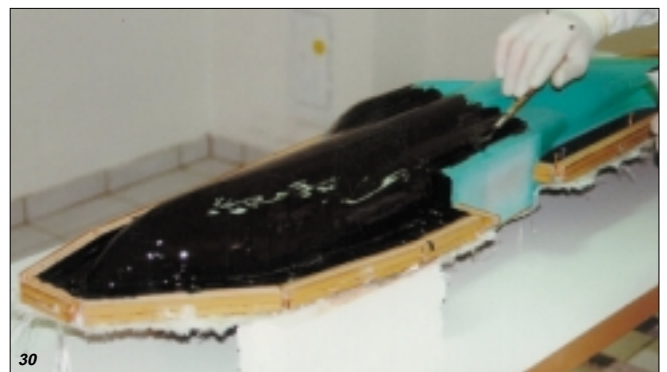
Auf gleiche Weise, wie schon zuvor beschrieben, wird die zweite Formhälfte laminiert.

Um mit einem symmetrischen Lagenaufbau den Verzug der Form zu vermeiden, wird danach wieder ein 163 g/m² Glasgewebe auflaminiert (**Bild 24**). Bei dem symmetrischen Aufbau der Form ist auch die gleichmäßige Orientierung der Faserrichtungen zu berücksichtigen.

Die letzte Gewebelage wird dabei immer relativ harzarm laminiert, da genügend Harz aus den unteren Gewebelagen zur Verfügung steht (**Bild 25**).



(**Bild 30**) Nach dem Aufbringen der Trennmittel erfolgt der Aufbau der zweiten Formhälfte, beginnend mit einer Schicht Formenharz.



Zum Schluß wird das Laminat noch einmal mit Formenharz eingestrichen (**Bild 26**).

Die erste Formhälfte sollte anschließend mindestens 24 Stunden bei Raumtemperatur aushärten, bevor das überstehende Gewebe am Formenrand abgeschnitten (**Bild 27**) und das Trennbrett entfernt wird.

Anschließend werden Vorbereitungen getroffen, um die zweite Formhälfte laminieren zu können. Der Positivkern sollte dabei

Einstreuen von Kurzglasfasern in die "nasse" Deckschicht
(Bild 31).



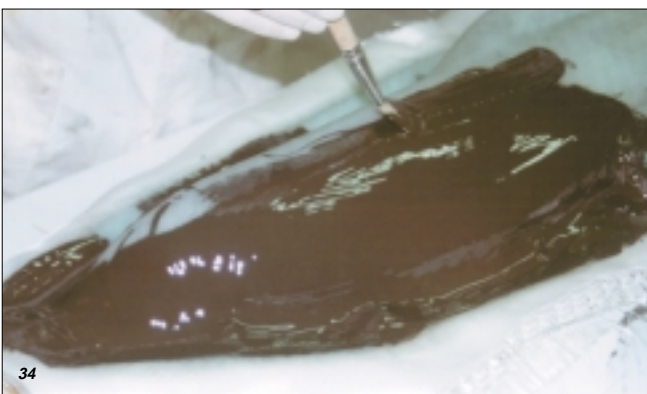
Auflaminieren der ersten Glasgewebelage 163 g/m² (Bild 32).



Überschüssiges Harz der ersten Gewebelagen wird von den weiteren Gewebelagen aufgesaugt (Bild 33).



Zum Schluß wird wiederum ein 163 g/m² Glasgewebe laminiert, auf das die abschließende Lage Formenharz aufgetragen wird (Bild 34).



5) Nachbehandlung der Form

Um einen Verzug zu vermeiden, muß die Form mindestens 24 Stunden bei einer Temperatur von 25 °C aushärten. Es wird empfohlen, die Form vor dem Öffnen zu tempern oder zumindest einige Tage möglichst warm zu lagern. Beim Tempern darf die Temperatur nur langsam erhöht werden.

Nach dem Aushärten und Tempern wird das überstehende Gewebe abgeschnitten und die Form geöffnet.

Die Leistenabschnitte am Formrand werden entfernt (Bild 35). Nach außen überstehendes Laminat wird am einfachsten mit einem Metallsägeblatt abgetrennt.



Das Folientrennmittel verbleibt in den Negativformen und kann mit Wasser ausgewaschen werden. Bei sorgfältiger Arbeitsweise präsentieren sich die beiden Formenhälften hochglänzend. Fehlstellen können bei Bedarf ausgeschliffen und aufpoliert werden. Bevor die ersten Bauteile hergestellt werden, müssen neue Formen mehrmals gründlich gewachst werden.

Der Positivkern ließ sich ohne Beschädigungen entformen. Das ist allerdings nur möglich, wenn die Form keine Hinterschnidungen aufweist und bei den Vorbereitungen, insbesondere dem Trennmittelauftrag, auf Sauberkeit geachtet und sorgfältig gearbeitet wurde. Eine auf diese Weise hergestellte GFK-Form übersteht bei sachgerechter Vorgehensweise mehrere hundert Entformungen.



Der fertige
Formensatz

Weitere Hinweise

Wenn noch Fehler in der Form festgestellt werden, können diese mit Soffflex-Schleifpapier Korn 500 - 1200 im Naßschliff beseitigt werden.

Matte Stellen lassen sich durch Schwabbeln mit geeigneten, siliconfreien Poliermitteln beseitigen (z.B. R&G Glanzwachs Bestell-Nr. 315 100-1).

Kleine Löcher an der Oberfläche werden mit einem "Klecks" Formenharz versehen und durch einen aufgeklebten Tesafilm geglättet.

Automatisches Trennen der Formhälften

Beim Trennen der Formhälften (Entfernen des Urmodells als auch von Positiv-Bauteilen) gibt es gelegentlich Schwierigkeiten; üblicherweise wird dann mit Schraubendrehern, Holzkeilen etc. nachgeholfen, wodurch die Form, zumindest auf Dauer, beschädigt wird.

Einfacher ist es, beim Bau gleich mehrere Fix-A-Form Gewindestücke einzulaminieren, die auf der Gegenseite, also der anderen Formhälfte, ein Metallteil als Gegenstück erhalten (kleines Stück Flacheisen o.ä.). Zum Entformen werden dann Inbus-schrauben eingedreht, die gegen das Metallstück der zweiten Formhälfte drücken. Dadurch kann die Form leicht, gleichmäßig und ohne Beschädigung geöffnet werden.

Druckluft/Wasserkraft

Eine komfortable Methode ist das Öffnen der Form mit Druckluft, die mittels Kompressor eingeleitet wird. Dazu wird an einer tiefen Stelle der Form ein Loch mit etwa 2 - 3 mm Durchmesser gebohrt und auf der Rückseite ein Druckluftanschluß aufgeklebt. Verwenden Sie zum Fixieren 5-Min.-Epoxy und zum Einbetten eingedicktes Epoxydharz. Ähnlich funktioniert das Trennen durch Einpressen von Wasser.

Herstellung von FVW-Teilen in Formen

Handlaminieren

Für die Herstellung kleinerer Serien sowie komplizierter Teile eignen sich am besten handwerkliche Verfahren wie das Handlaminieren (Handauflegeverfahren), da nur ein geringer technischer Aufwand erforderlich ist.

Vorbereitung

Eine neue Form muß zunächst gereinigt und poliert und anschließend z.B. mit Grundierwachs und Folientrennmittel behandelt werden.

Bitte beachten Sie die Hinweise zur Verarbeitung der Trennmittel.

Deckschicht

Zuerst wird ein Gelcoat (Deckschichtharz) in die Form gestrichen, gespritzt oder gerollt.

Es eignen sich die **Epoxyd-Gelcoats farblos und weiß**, die mit Epoxydfarbpasten eingefärbt werden können.

Ebenfalls sehr gut geeignet sind **Polyester-Vorgelate**, die wegen ihrer guten Polierbarkeit auch *Schwabbelack* genannt werden.

Die Deckschicht ist sozusagen das Kleid des Kunststoffbauteils. Sie schützt das Laminat vor Umwelteinflüssen (z.B. Feuchtigkeit) und gibt dem Bauteil das ansprechende Äußere.

Wird ohne Deckschicht laminiert, weist die GFK-Oberfläche unzählige Pinholes (kleine Löcher) auf, die vor dem Lackieren mit Spachtel gefüllt werden müssen.

Lacke

Im Prinzip kann man Bauteile auch schon **in der Form** mehrfarbig lackieren.

Soll der Lack anstelle einer Deckschicht aufgebracht werden, sind unbedingt Vorversuche erforderlich, um die Wirksamkeit der Trennmittel zu prüfen. Lacke enthalten oft einen "Lösemittelcocktail", der Trennmittel angreift.

Eine zweite Möglichkeit besteht darin, zunächst eine Schicht Vorgelat farblos aufzutreiben und auszuhärten. Auf dieser

Oberfläche kann mit schwachhaftenden Folien (Maskierfilm aus dem Grafikerbedarf) abgeklebt und lackiert werden.

Es eignen sich praktisch alle Acryl- und Kunstharzlacke, 2-Komponenten-Lacke und natürlich auch eingefärbte Epoxydharze und UP-Vorgelat. Schriftzüge aus Folie können ebenfalls eingelegt werden.

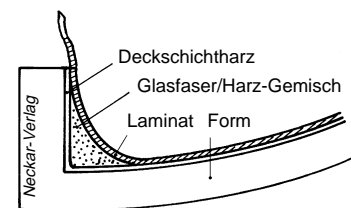
Sind diese Arbeiten beendet, wird mit Epoxydharz laminiert.

Bei Verwendung von Polyester-Laminierharz muß zuvor die Styrolverträglichkeit der Lacke getestet werden.

Nach dem Entformen zeigt sich ein Hinterglas-Effekt, der sehr schön wirken kann.

Ecken ausrunden und verstärken

Das Verstärkungsgewebe, meist aus Glas, hat eine gewisse Rückstellkraft und läßt sich daher nicht in scharfe Ecken legen. Es hat die Tendenz, sich immer wieder abzulösen, was zu einer Blasenbildung führt. Es ist also notwendig, scharfe Innenkanten vor dem Laminieren auszurunden.



1) schematische Darstellung der Kantenbehandlung

Für die Herstellung einer Hohlkehle eignet sich ein dicker Brei aus Epoxydharz und Glasfaserschnitzel + Baumwollflocken.

Wenn gleichzeitig eine höhere Belastbarkeit erwünscht ist, können auch Glas-, Aramid- oder Kohle-rovings eingelegt werden.

Sehr leichte Füllmassen (Dichte um 0,5 g/cm³) erhält man bei Verwendung von Glass-Bubbles (Microglashohlkugeln). Durch zusätzliches Eindicken mit Baumwollflocken oder Thixotropiermittel kann der Kugellagereffekt und damit das Abfließen der Mischung vermieden werden.

Laminataufbau

Nachdem die Vorarbeiten abgeschlossen sind, kann mit dem eigentlichen Laminieren begonnen werden.

Vorher noch einige Bemerkungen zum Material:

Neben der Anzahl der verschiedenen Gewebelagen sollte auch die Faserrichtung den auftretenden Belastungen angepaßt sein. Der Vorteil von faserverstärkten Kunststoffen liegt ja gerade darin, daß die größte Festigkeit immer in Richtung der Faser erzielt wird. Der Konstrukteur ist damit in der Lage, die Festigkeit eines Bauteils durch entsprechende Faserorientierung zu gestalten.

Ein "normales" Verstärkungsgewebe hat zwei Faserrichtungen, die Kette (Längsrichtung) und den Schuß (Querrichtung). Die Filamente kreuzen sich im rechten Winkel, liegen also senkrecht und waagrecht. In diesen beiden Richtungen ist die Festigkeit des Gewebes hoch. Wird Gewebe z.B. unter einem Winkel von 45° (diagonal) eingelegt und auf Zug und Druck belastet, ist die Festigkeit und Steifigkeit geringer als bei einer rechtwinkligen Ausrichtung. Wird ein unter 45° eingelegtes Gewebe allerdings auf Verdrehung (Torsion) belastet, liegen die Fasern in diesem Fall in Richtung der Belastung und erfüllen ihren Zweck optimal.

Wird hohe Biegefestigkeit in eine Vorzugsrichtung gefordert, kann ein unidirektionales Gewebe verwendet werden, bei dem etwa 90 % der Fasern in Längsrichtung verlaufen.

Selbstverständlich lassen sich für die verschiedenen Belastungen auch verschiedene Gewebelagen einbringen, um die Festigkeit zu optimieren.

Das Laminieren

Unter Laminieren verstehen wir das schichtweise Einbringen von Verstärkungsgewebe von Hand (Handlaminieren). Dabei wird zuerst das Gewebe auf die richtige Größe zugeschnitten. Oft lohnt sich die Herstellung einer Kartonschablone.

Die mit einer Deckschicht versehene Form wird mit Harz eingestrichen und Gewebe aufgelegt. Nun wird laminiert, also das Gewebe mit dem darunterliegenden Harzanstrich getränkt.

Das Harz wird vorzugsweise von unten nach oben durch das Gewebe gearbeitet. Dies ergibt eine optimale Tränkung ohne Luftschlüsse.

Die sorgfältige Benetzung läßt sich bei Glasgeweben optisch leicht kontrollieren: nicht getränkte Stellen erscheinen weiß, richtig getränkte Stellen transparent. Gegebenenfalls muß mittels Pinsel weiteres Harz aufgetragen werden.

Das **Entlüften** der Gewebe erfolgt durch *Stupfen* und *Streichen* mit einem Borstenpinsel oder bei größeren Bauteilen durch Abrollen mittels Velour-Walze und Teflonroller.

Danach folgt eine zweite Gewebelage, welche meist noch mit dem darunterliegenden Harz getränkt werden kann. Ein erneuter Harzauftrag ist nur dort nötig, wo das Gewebe trotz Stupfens weiß, also trocken bleibt.

Alle glänzenden Stellen deuten auf zuviel Harz hin. Dieses muß mit dem Pinsel an die Stellen gebracht werden, wo möglicherweise zuwenig vorhanden ist oder durch Auflegen von saugfähigem Papier entfernt werden. Ein **gutes Laminat** zeigt an der Rückseite die rauhe Gewebestruktur.

Der Faseranteil

Ein optimales Volumenverhältnis Harz : Verstärkungsgewebe wäre etwa 40 : 60, was jedoch beim Handlaminieren kaum erreicht wird. Mit einem Anteil 50 : 50 kann man bereits zufrieden sein.

Einfärbungen

Wenn farbige Deckschichten eingebracht werden, lohnt es sich, auch das Laminierharz abzutönen, damit die Deckkraft der Farbe erhöht wird. Die Verarbeitung farbigen Harzes erschwert allerdings das Feststellen von Luftblasen beim Laminiervorgang.

Gewebe

Beachten Sie, daß Sie zuerst ein eher dünneres Gewebe verwenden, welches sich gut um Ecken und Kanten laminieren läßt. Die nachfolgenden Lagen können dicker sein.

Bitte bedenken Sie, daß mehrere dünne Gewebe evtl. leichter einzubringen sind, als ein dickes Gewebe. Dazu kommt noch die Möglichkeit, daß bei mehreren Lagen die Festigkeit ggf. dadurch optimiert werden kann, daß die Lagen im Faserwinkel von 0°/90° und $\pm 45^\circ$ orientiert werden.

Bei dünnen, flachen Geweben liegen die Fasern gestreckter im Laminat, als bei schweren Sorten. Mehrere Lagen dünnes Gewebe ergeben daher eine höhere Festigkeit, als wenige Lagen einer dicken Type.

Glasmaten (Vliese) eignen sich nur für Polyesterharze und ergeben sehr harzreiche Laminat mit vergleichsweise geringer Festigkeit. Ihr Einsatz ist daher hauptsächlich auf Anwendungen beschränkt, bei denen der Preis maßgebend ist und auf möglichst günstige Art ein dickes Laminat hergestellt werden soll (Kfz-Bauteile, Boote und Behälter etc.).

Zusammensetzen der Formteile

(bei mehrteiligen Formen)

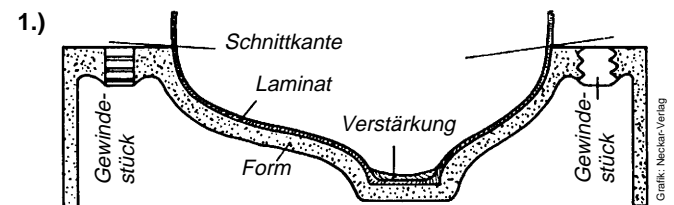
1.) Nach dem Laminieren wird das überstehende Gewebe mit einer gerundeten Schere abgeschnitten (**Skizze 2**), der Formrand gereinigt und das Bauteil mit einem vorgetränkten Gewebeband zusammengefügt.

Man kann auch warten, bis das Harz angeleiert ist. Das überstehende Gewebe wird dann mit einem Messer abgeschnitten.

Beim Zusammenfügen der Halbschalen mittels Gewebeband sollte das Laminat noch klebrig sein, um eine optimal haftende Verbindung zu erzielen. Ist das Laminat bereits gehärtet, muß vorher angeschliffen werden.

2.) Die zweite Möglichkeit ist das bewährte *naß-in-naß*-Verfahren. Hier wird jeweils auf der einen Seite ein Streifen überstehendes Gewebe belassen (**Skizze 3**). Dieser Gewebeüberstand wird dann für die Verbindung der beiden Bauteilhälften verwendet.

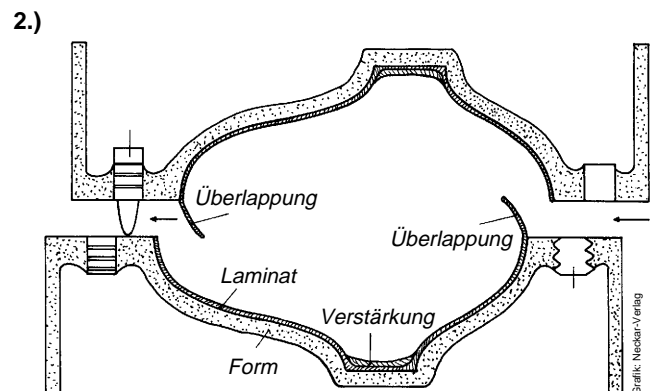
Bei mehrschichtigen Laminaten können die ersten Gewebelagen bündig abgeschnitten werden. Nur die letzte Gewebelage wird wie vor beschrieben überstehend abgeschnitten.



(Skizze 2) überstehendes Gewebe wird an der Formkante abgeschnitten



Abschneiden des überstehenden Gewebes mit einer gebogenen Spezialschere (siehe R&G-Zubehörprogramm).



(Skizze 3) Zusammensetzen nach der *naß-in-naß*-Methode