

Postfach 120 109
D-42871 Remscheid

Dreherstraße 4
D-42899 Remscheid - Lüttringhausen
(Industriegebiet Großhülsberg)

Tel.: +49 (0)2191 54742
Fax: +49 (0)2191 590354
E-Mail: info@bacuplast.de
Homepage: www.bacuplast.de
Webshop: www.bacuplast-shop.de

bacuplast
Faserverbundtechnik GmbH

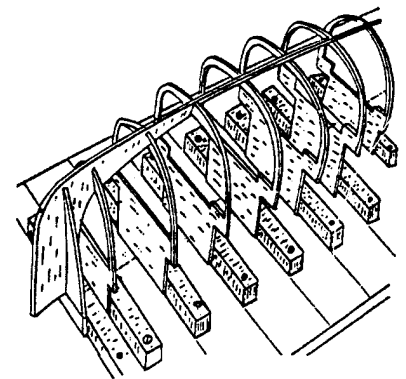
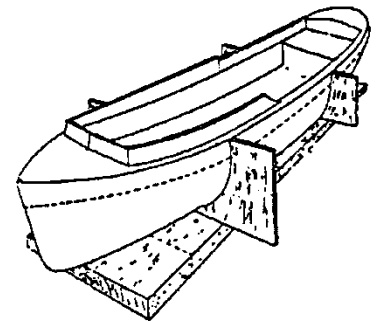
Ausgabe 01/2014

Bauanleitung für Faserverbundwerkstoffe

Vom **Modell** (Urmodell/Mutterkern) über die **Negativform** zum **Fertigteil**

Inhaltsverzeichnis:

1.) GRUNDSÄTZLICHES	2
2.) ARBEITSPLATZ - ARBEITSGERÄT - HILFSMITTEL	2
3.) ERFORDERLICHE WERKSTOFFE	3
4.) MODELLBAU (URMODELL, MUTTERKERN)	4
5.) DIE NEGATIV-FORM	5
6.) DIE POSITIV-ABFORMUNG (DAS FERTIGTEIL)	7
7.) BAUBEISPIEL „HALBKUGEL“ VOM „MODELL“ ÜBER DIE „NEGATIV-FORM“ BIS HIN ZUM „FERTIGTEIL“	8
8.) DAS HERSTELLEN DER „NEGATIV-FORM“ FÜR UNSER BAUBEISPIEL „HALBKUGEL“	10
9.) HERSTELLUNG DES FERTIGTEILS	12
10.) SANDWICH-BAUWEISE	13
11.) SANDWICH-VAKUUM-TECHNIK	15
12.) ANHANG	16



1. Grundsätzliches

Für das technisch erfolgreiche Herstellen von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen für den nachfolgenden näher beschriebenen Anwendungsbereich, sowie die Vermeidung von persönlichen Gesundheitsrisiken im Umgang mit flüssigen Kunststoffen, empfehlen wir zwingend unsere nachfolgenden Unterlagen:

- 1.1. entsprechende Bauanleitung, (die gerade gelesen wird)
- 1.2. Verarbeitungshinweise zu unseren flüssigen Kunstharzen und Verstärkungsfasern (zur technisch richtigen Verarbeitung mit Gefahrenhinweisen und Sicherheitshinweisen)
- 1.3. technische Merkblätter, ggf. Sicherheitsdatenblätter, der für diesen Zweck verwendeten flüssigen Kunststoffe
- 1.4. die zur Vertiefung einzelner Verarbeitungsverfahren herausgegebenen speziellen Fachzeitschriftreihen der Modellbau-Verlage mit Detaillösungen.

Mögliche praktische Hilfestellungen durch Anwender, die bereits mit diesen Werkstoffen und Verfahren gearbeitet haben und damit mindestens über eine gewisse Grunderfahrung verfügen, sind sehr zweckmäßig und verhindern Fehler grundsätzlicher Art.

Anmerkung:

Unter Beibehaltung des hier schrittweise beschriebenen Anwendungsverfahrens können auch viele andere Fertigteile hergestellt werden.

Das gilt ebenso für bedarfsmäßige Reparaturarbeiten.

2. Arbeitsplatz - Arbeitsgerät - Hilfsmittel

- 2.1. **Zum Arbeitsplatz:** Er sollte so beschaffen sein, wie ihn unsere Schrift **Verarbeitungshinweise zu unseren flüssigen Kunstharzen und Verstärkungsfasern** im Kapitel **Arbeitsplatz** beschreibt. Dabei darf die persönliche Schutzausrüstung nicht übersehen werden. Diese besteht immer mindestens aus: Schutzkleidung, Schutzbrille, Atemschutzmaske mit entsprechendem Filter für Dampf oder Partikel und Schutzhandschuhe. Der Boden sollte mit Folie oder dicker Pappe abgedeckt sein.
- 2.2. **Zum Arbeitsgerät:** Für das ggf. anzuwendende Heißdrahtschneiden und das Laminieren von Positivteilen benötigt man entsprechende Halte- und Wendevorrichtungen. Das Ausrichten und Einbauen von Schablonen geschieht auf einem ebenen, ausreichend starken, verzugsfreien Baubrett (sog. Helling). Es ist darauf zu achten, daß noch genügend Platz drumherum vorhanden ist, um die sonstigen Werkstoffe und Hilfsmittel griffbereit anzuordnen. Schleifarbeiten und Lackiervorgänge geschehen voneinander getrennt in verschiedenen Bereichen mit Absaugung und ausreichender Frischluftzufuhr.
- 2.3. **Werkstoffe und Hilfsmittel:** Über die Palette der flüssigen Kunststoffe und Hilfsmittel gibt unser Werkstoffprogramm Auskunft und richtet sich unter Einbeziehung geeigneter Arbeitsverfahren nach dem zu erstellenden Fertigteil. Zusätzlich zu diesen **Grundwerkstoffen** sollten gute Hand- und Elektrowerkzeuge vorhanden sein, wie man sie in einer gut sortierten Heimwerker-Werkstatt vorfinden würde, dazu noch folgende Ausrüstung:
Waage mit kleiner Einteilung, Aufziehspritze/Meßbecher, Spezialschere, Cutter, Anrührbecher, Rührstäbe, Velour- und Moltoprenschaumroller mit Farbwanne, Pinsel, Reinigungsmittel, Schleifpapier mit diversen Körnungen, Abklebeband, Entlüftungsroller, Metermaß, Winkel, Lineal, Straklatte, Filzstift mit feiner Spitze.
Für die Vakuum-Technik:
Vakuumsack, Vakuum-Absaugflansch, Absaugschlauch, Absaugvlies, Lochfolie, Vakuumpumpe.

3. Erforderliche Werkstoffe

Wie Eingangs schon erwähnt, beschreiben wir hier das Herstellen von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen im **Handauflegeverfahren**.

- 3.1. **Epoxid-Harze**, auch Matrixmaterial genannt, sind neben der Verstärkungsfaser **Hauptgrundmaterial** als Laminierharz für den schichtweisen Aufbau des Modells, der Negativform und des späteren Fertigteils.
- 3.2. Polyester-Harze (UP-Harze)
- 3.3. **Verstärkungsfasern**
 - 3.3.1. Glasfasern (GfK) = **G**lasfaser-verstärkter-**K**unststoff
 - 3.3.2. Carbonfasern (CfK) = **C**arbonfaser-verstärkter-**K**unststoff
 - 3.3.3. Aramidfasern (AfK) = **A**ramidfaser-verstärkter-**K**unststoff

siehe hierzu auch:

 - technische und sicherheitstechnische Verarbeitungsanleitung für kalthärtende, flüssige Kunststoffe
 - unser Warenangebot der Epoxid- und Polyester-Harz/Härter-Systemen im Hauptkatalog und Internet unter www.bacuplast.de und www.bacuplast-shop.de mit Übersicht der von uns angebotenen Glas-, Carbon (Kohlenstoff)- und Aramid (Kevlar)-Verstärkungsfasern.
- 3.4. **„De-Q-cell“-Polystyrol-Hartschaum** mit besonders feiner Zellstruktur (DIN 1511, Tabelle 5, Güteklasse S2 und S3).
Homogener, fast ohne Lunkern, Kanälen und Regranulateinschlüssen versehener Werkstoffaufbau als Formgeber oder absolut leichten Sandwich-Werkstoff für Tragflächen, Leitwerke, Flug- oder Schiffsmodellrumpfe oder -Aufbauten usw.

„De-Q-cell“-Hartschaum muss mit lösungsmittelfreien Farben, Lacken und Epoxid-Harzen (z.B. unsere Systeme EP 210/EPH 414-1, EP 210/EPH 412-2, EP 211/EPH 411, EPL 285/H 285, LR 385/LH 385 und LH 386, EP 215/EPH 415) laminiert werden.

„De-Q-cell“-Hartschaum lässt sich schleifen, schneiden, raspeln, bohren, fräsen und mit Heißdraht schneiden

„De-Q-cell“-Hartschaum ist lieferbar im leichten Raumgewicht von: **18 kg/m³**.
- 3.5. **PVC-Hartschaum** der Typen AIREX[®] C70.75, AIREX[®] C71.55, AIREX[®] T92.80 und AIREX[®] R63.80 als Plattenware von 1,2 mm bis 20,0 mm Stärke mit hohem Raumgewicht (ca. 80 kg/m³ bzw. ca. 90 kg/m³) und feiner Zellstruktur zur Herstellung hochwertiger gerader und sphärisch geformter Modelle oder Sandwich-Bauteile, die bei geeigneten Arbeitsverfahren erforderliche hohe Festigkeit und Steifigkeit des fertigen Bauteils erfüllen.
Der Werkstoff kann mechanisch von Hand oder maschinell sehr gut bearbeitet werden und im Anschluss bedarfsmäßig mit geeigneten Lacksystemen oder Epoxid-Laminierharzen überarbeitet werden.
- 3.6. **PU-Hartschaumblock** des Typs U-100 mit einem Raumgewicht von ca. 100 kg/m³ und einer Stärke von ca. 100 mm eignet sich dieser Werkstoff zur manuellen und maschinellen Herstellung von Modellen und Prototypen bei guter Genauigkeit und Kantenfestigkeit und ist direkt mit geeigneten Lacksystemen überlackierbar oder mit entsprechenden Epoxid- und Polyester-Laminierharzen überlaminiierbar.
- 3.7. **PU-Modellbauplatte** des Typs U-700 mit sehr hohem Raumgewicht von ca. 700 kg/m³ lässt vorwiegend nur die mechanische Bearbeitung zu (z.B. fräsen).
Haupteinsatzgebiet ist das Herstellen von Modellen und Prototypen mit sehr hoher Genauigkeit und Kantenfestigkeit und kann direkt bedarfsmäßig mit geeigneten Lacksystemen überarbeitet werden.
- 3.8. Je nach Anwendung benötigt man noch:
 - 3.8.1. Trennmittel (Trennwachs, Trennlack)
 - 3.8.2. Formbauharze
 - 3.8.3. Feinschichtharze
 - 3.8.4. Klebeharze
 - 3.8.5. spezielle Hilfsmittel

4. Modellbau (Synonyme: Urmodell, Mutterkern)

Unter MODELLBAU verstehen wir das Modellieren und Herstellen einer geometrischen Figur mit fix und fertig gefinishter Oberfläche, genau so, wie das spätere Fertigteil aussehen soll.

Die dazu benötigten Werkstoffe müssen wirtschaftlich günstig und leicht zu modellieren sein (z.B. „**De-Q-cell**“-Hartschaum, PU-Hartschaum, Holz, Gips, Spachtelmassen usw., siehe auch unter 3.), wobei die Auswahl auch nach persönlicher Neigung getroffen wird.

Damit die geometrische Figur für die Herstellung gewünschter Formen (Tragflächen, Leitwerke, Flug- und Schiffsrümpfe und -Aufbauten und sonstiger Teile) so genau wie möglich herausgearbeitet werden kann, bedient man sich entsprechender, vorher anzufertigender Schablonen.

Die dabei entstehende Genauigkeit der Form ist eine Sache der persönlichen Geschicklichkeit.

Anmerkung:

Sofern an die Genauigkeit höchste Anforderungen gestellt werden, muß der Modellbau unter Verwendung der PU-Modellbauplatte Typ U-700 in CNC-Technik geschehen.

Da das **Modell** z.B. aus „**De-Q-cell**“-Hartschaum, Holz, Gips, Spachtelmasse o.ä. in diesem Zustand keine abformbare Oberfläche besitzt, muß diese noch durch

- laminieren verfestigt und
- durch spachteln, versiegeln, schleifen und polieren hergestellt und perfekt gefinisht werden.

Dazu die einzelnen Arbeitsgänge in der **self-made-Technik**:

- 4.1. Modellieren der Grundform („**De-Q-cell**“-Hartschaum, PU Hartschaum, Holz, Gips, Spachtelmassen o.ä.).
- 4.2. Ggf. schleifen und abspachteln bis Oberflächengenauigkeit erreicht ist.
- 4.3. Zur Verfestigung der Oberfläche mit Glasfilamentgewebe 165 g/m² in Körperbindung je nach Größe des Bauteils 2-4-lagig laminieren. Das Harzmatrix sollte Epoxyd-Laminierharz sein.
- 4.4. Auf die letzte noch nasse Glasfilamentgewebelage wird ein sog. **Abreibgewebe** vollflächig und luftblasenfrei auflaminiert.
- 4.5. Nach Aushärtung wird das **Abreibgewebe** im spitzen Winkel langsam und gleichmäßig abgezogen. Die verbleibende gleichmäßig raue Oberfläche wird überprüft und bedarfsmäßig mit Spachtelmasse korrigiert und übergeschliffen. Ansonsten ist eine vom **Abreibgewebe** befreite Fläche bestens in der Lage, direkt den **Schwabbelack** (z.B. unser Polyester-Vorgelat Typ 740) aufzunehmen.
- 4.6. Überstreichen der Fläche mit unserem Schwabbelack Polyester-Vorgelat Typ 740 vorwiegend in einem dunkleren Farbton und in einer ausreichenden Schichtdicke (ca. 400-600 g/m²).
- 4.7. Nach Härtung wird diese Schicht geschliffen und poliert (das Hochschleifen geschieht mit wasserfestem Schleifpapier bis hin zu 1500er Korn Feinheit).
Nach der Aushärtung ist die Fläche chemisch stabil genug, um bei entsprechender Applikation spezielle Trennmittel aufzunehmen, die zur Herstellung einer späteren **Negativ-Form** die erforderliche sichere Trennung gewährleisten.

Anmerkung: Sofern für die letzte Oberflächenausbildung **nicht** Polyester-Vorgelat Typ 740 genommen wird und dafür andere Werkstoffe aufgebracht werden, (z.B. unsere 2K-PUR-Bootslack-Systeme L-461/H-51 oder sonstige 2K-Acryllack-Systeme jeweils mit geeigneten Voranstrichen), müssen unbedingt Vorversuche zur Absicherung einwandfreier **Trennergebnisse** gemacht werden.

Beim Einsatz anderer Werkstoffe als Formgeber für die Herstellung einer Negativ-Form (als **Modell** wäre auch ein Fertigteil aus thermoplastischen Werkstoffen, z.B. ABS, ASA, PE, PVC o.ä., denkbar) sollten mindesten 3 Kriterien überprüft werden:

- Ist das Fertigteil als Modellgeber für den Abformvorgang stabil genug ?
- Ist eine sichere Trennung vom möglicherweise unbekanntem Werkstoffuntergrund gewährleistet (mit geeignetem Trennmittel unbedingt Vorversuche machen) ?
- Reicht die Oberflächenqualität des Fertigteils für den eigenen Anspruch ?

5. Die Negativ-Form

Sie wird stets vom **Modell** abgezogen, die Matrix ist Epoxid- oder Polyesterharz, die Verstärkungsfasern sind Glas oder in Ausnahmefällen Kohlenstoff (Carbon).

Verschiedene Arbeitstechniken zur Abformung und zum Bau von Negativ-Formen mit Detaillösungen, in die der Urmodellbau planarisch bereits einbezogen sein sollte, sind in den Fachbuchreihen der Modellbauverlage umfangreich beschrieben, die wir zur guten Orientierung hiermit empfehlen.

Nachstehende schematische Beschreibung zur Herstellung einer **Negativ-Form** bezieht sich auf den Einsatz von Epoxyd-Harzen als Matrix-Werkstoff und Glasfeingewebe als Verstärkungsfasern.

5.1. Eintrennen

Auf die polierte **Modell-Oberfläche** wird Trennwachs oder die Kombination aus Trennwachs und Trennlack (z.B. unsere Typen bac 101 flüssig, Typ 0811 „Mirror Glaze“, SE 700 oder Spray bac 200) mit einem sauberen, weichen Wollappen aufgewischt und nach einer Ablüftezeit in den meisten Fällen von 20 Minuten bei 20 °C mit einem gleichartigen, sauberen Lappen auspoliert (unsere speziellen technischen Merkblätter sind zu beachten).

Dieser Vorgang wird bei einer noch nicht benutzten Form zweimal wiederholt.

Zur Erzielung einer höheren Abformsicherheit kann ein weiterer dünner, gleichmäßiger Auftrag Trennlack PVA in farblos oder farbig mit Schwamm oder Moltoprenpinsel appliziert werden. Er ist jedoch nicht in jedem Fall zwingend notwendig.

Falls doch Trennlackfilme zum Einsatz kommen, müssen sie nach jeder Entformung mit warmem Wasser abgewaschen und durch neue ersetzt werden.

Es kann auch durchaus **nur** das Eintrennen mit Trennwachs völlig ausreichend sein und ein weiterer Auftrag eines Trennlackes sogar störend oder überflüssig wirken.

Wenn eine Negativ-Form bei richtiger Verfahrenstechnik und guter Wachseintrennung sozusagen **eingefahren** ist, bleibt ein Trennfilm auch für mehrmalige Abformungen ausserordentlich aktiv, ohne dass die Negativ-Form zwischen zwei Abformungen wieder eingetrennt werden muß.

Aber Achtung: Hierzu gehört einiges an Erfahrung, denn ein eventuelles **Hängenbleiben** eines Abzuges kann den ganzen Tag vergraulen, und es ist viel Aufwand nötig, dann den Urzustand wieder herzustellen.

Wir empfehlen daher stets zwingend beim Einsatz von Trennmitteln die Applizier- und Trennsicherheit durch Vorversuche abzusichern und dann dieses Verfahren bei gleichem Werkstoffeinsatz beizubehalten.
(Siehe dazu auch die speziellen technischen Merkblätter für die Handhabung von Trennmitteln).

- 5.2. Auf die eingetrennte **Modell-Oberfläche** wird eine sog. Epoxyd-Formbaufeinschicht (z.B. Typ EP 2040-1/EPH 4040-1) gleichmäßig und in ausreichender Schichtdicke (mindestens 800-1000 g/m²) aufgestrichen.
Vorgenannter Formbaufeinschicht-Typ ist sehr gut „weich“ applizierbar, blau eingefärbt, besitzt hohe Kantenfestigkeit und hohe Abformgenauigkeit.
Sehr hohe Filmfestigkeit läßt höchstmögliche Abformstückzahlen bei bester gleichbleibender Oberflächengüte und guter Trennsicherheit zu.

Nachdem die Formbaufeinschicht **gelartig** geworden ist (nicht aushärten lassen), wird mit dem schichtweise Laminieren begonnen.

Ist vor Beginn der Arbeiten schon abzusehen, dass aus zeitlichen Gründen das Laminieren der diversen Glasfeingewebe nicht direkt auf die gelartige Formbaufeinschicht möglich ist, muss aus Haftungsgründen zum späteren Laminat eine sog. **Kupplungsschicht** auf die gelartige Formbaufeinschicht aufgebracht werden.

Diese **Kupplungsschicht** ist ein gut streichbares Gemisch aus Epoxid-Harz/Härter-Glaskurzfasern-Baumwollflocken und wird in einer Schichtdicke von 1-3 mm aufgetragen.

Danach kann die Kupplungsschicht aushärten und zu einem späteren Zeitpunkt mit dem schichtweise Laminieren begonnen werden.

5.3. Der Belegplan kann wie folgt aussehen:

Auf die Formbaufschicht werden direkt **naß-in-naß** nacheinander folgende Glasfilamentgewebe auflaminiert

2 Lagen 48 g/m² (evtl. 80 g/m² oder 105 g/m²)

2 Lagen 165 g/m²

2 Lagen 280 g/m² (oder 390 g/m²)

2 Lagen 620 g/m² (oder 445 g/m² in Scheindreherbindung, oder so viele Lagen, wie zur gewünschten Formwandstärke notwendig sind).

und danach **symmetrisch** zurück, wobei die zuerst gelegten dünnsten Lagen fehlen dürfen.

Falls auf die **Kupplungsschicht** auflaminiert werden soll, kann direkt mit 165 g/m² Glasfeingewebe gearbeitet werden.

Größere Form-Dimensionen werden grundsätzlich genauso aufgebaut, sie unterscheiden sich ggf. in der höheren Lagenzahl der für die Statik verantwortlichen Gewebelagen der Flächengewichte von 280 g/m² (390 g/m²) und 620 g/m² (445 g/m²).

Ob die Gewebe nun in **Leinwandbindung** oder **Körperbindung** verarbeitet werden, ist zum größten Teil eine Sache der persönlichen Neigung.

Große Sorgfalt muß auf die Ausbildung der Randzonen einer Negativ-Formhälfte gelegt werden. Sie muß stets deutlich verstärkt konstruiert werden, ggf. werden zusätzlich zur Steigerung der Steifigkeit z.B. Holz-, Stahl- oder Aluprofile o.ä. mit einlaminiert, oder die Verstärkungsmaßnahmen werden durch entsprechende **L-Profil-Laminatausbildung** erreicht.

Je nach Dicke der Formwandung und Dimension wird ein Epoxid-Harz/Härter-System mit langer Topfzeit gewählt (z.B. LR 385 mit den Härtern LH 385 und LH 386), deren Aushärtephasen erforderlicher Weise sehr lange und spannungsarm verlaufen.

Bei kleineren Negativ-Formen genügt auch der Einsatz unserer Standard-Harz/Härter-Systeme.

5.4. Entformen

Nach Härtung des Negativ-Form-Laminats (ca. 24 Stunden bei 20 °C) wird je nach verwendetem Epoxid-Harz/Härter-System eine sog. **Wärmebehandlung** durchgeführt, d.h. das Gesamtlaminat wird **einschließlich des Modells** für 12-16 Stunden bei ca. 50-55 °C nachgewärmt.

Danach sind die mechanischen und chemischen Festigkeiten nicht mehr wesentlich zu erhöhen.

Nach Wegnahme der Wärmequelle wird das Laminat mit dem Urmodell auf Raumtemperatur gleichmäßig langsam rückgekühlt, und nunmehr geht es ans **Entformen**.

Das **Entformen** gestaltet sich stets mehr oder weniger aufwendig, denn das Negativ-Form-Laminat haftet wie eine zweite Haut auf dem Modell.

Vorsichtig und ohne das Modell vor allen Dingen an den empfindlichen Randzonen zu beschädigen, werden mittels Holzkeilchen die Ränder gelöst. Hilfreich sind hierbei sog. **Laminatlappen**, die man vorher bereichsweise überstehend verstärkt anlaminiert hat, an denen nun beim Entformen Abziehwerkzeuge angesetzt werden können.

Ist die Negativ-Form einmal an einer Seite gelöst, geht die restliche Entformung dann im allgemeinen sehr einfach.

Bei sehr großen und/oder sehr komplizierten Formen wird man für das Entformen Luft- oder Wasseranschlüsse anlaminiert müssen.

Das Urmodell hat mit der Abgabe einer Negativ-Form zunächst seinen Dienst getan, wird gesäubert und staubdicht verpackt und gelagert und steht für spätere weitere Abformungen zur Verfügung.

Die jetzt gewonnene **Negativ-Form** wird gesäubert, danach wie im vorangegangenen Kapitel eingetrennt und steht nunmehr als Produktionsmittel zur Verfügung.

6. Die Positiv-Abformung (das Fertigteil)

Unter Positiv-Abformung verstehen wir das aus einer **Negativ-Form** laminierte Fertigteil. Wir beschreiben die Herstellung eines Fertigteils im Handauflegeverfahren unter Einsatz unserer nachstehenden Werkstoffe:

- Polyester-Vorgelat Typ 740 (farblos, weiß, farbig) als Feinschicht zum Schutz des Laminats vor mechanischen und chemischen Einflüssen und zur dekorativen Gestaltung der Außenhaut, sowie
- Epoxid-Laminierharz-System EPL 285/EPH 285 als Matrix-Werkstoff, der haftungsmäßig auf das Polyester-Vorgelat Typ 740 abgestimmt ist und
- Glasfilamentgewebe als Verstärkungsfaser zur Bereitstellung der mechanischen Festigkeiten im Laminat.

Ob nun Verstärkungsfasern aus Glas, Aramid oder Kohlenstoff (Carbon) mit welchen Flächengewichten und mit wie vielen Lagen auch immer zum Einsatz kommen, ist eine Sache der zu erwartenden Belastung, der Wirtschaftlichkeit und evtl. der persönlichen Neigung.

Andere Kombinationen mit Feinschichtharzen und Laminierharzen auf Basis Epoxid oder Polyester und/oder anschließender Lackierung sind selbstverständlich möglich und richten sich größtenteils individuell nach persönlicher Festlegung.

Im Gegensatz zum untergeordneten Gewicht beim Bau eines Modells oder einer Negativ-Form heißt beim Fertigteil die Formel

so leicht wie möglich und so fest wie nötig

- 6.1. Ausgehend von der mit Trennmitteln versehenen Oberfläche der **Negativ-Form** wird auf diese Fläche Polyester-Vorgelat Typ 740 gleichmäßig mit gut deckender Schichtdicke aufgestrichen (wird eine Spritzapplikation gewählt, muß die Viskosität durch Styrolzugabe korrigiert werden). Nach Härtung des Polyester-Vorgelats wird (werden) die vorher zugeschnittene(n) Glasfeingewebelage(n) naß-in-naß vollflächig und luftblasenfrei auflaminiert.
- 6.2. Besitzt die Negativ-Form baulich nicht zu vermeidende enge Radien oder spitze Kanten und Ecken, so dass beim Auflegen und Laminieren der Verstärkungsfasern Lufteinschlüsse befürchtet werden müssen, so sind diese Bereiche vor dem Laminieren (aber nach dem Polyester-Vorgelat-Auftrag) mit geeigneten Spachtelmassen (z.B. ein Gemisch aus Epoxid-Harz/Härter EPL 285/EPH 285-Baumwollflocken-Microballoons-Aerosilpulver) zu verrunden, damit sich die Verstärkungsfasern vollflächig anlegen können und kein **Tal** überspannen müssen.
- 6.3. Ausgehärtete Laminare zu schneiden macht Mühe und zieht Staubbelastung nach sich. Einfacher geht es, wenn Laminatüberstände in der Gelphase mit einem Cutter geschnitten werden. In diesem gelartigen Zustand läßt sich ein Laminat wie nasses Leder schneiden. Bei Aramid-Laminaten muß die Aramid-Faser mit einer Spezialschere (beim Besäumen des Formenrandes mit gebogener Schneide) geschnitten werden.
- 6.4. Obacht bei zwei- oder mehrfach geteilten Negativ-Formhälften (etwa bei einem Flugmodellrumpf oder einer Kielyacht o.ä.). Hierbei muß durch geeignete Harz/Härter-System-Auswahl mit ausreichend langer Topfzeit sichergestellt werden, daß die Überlappungen der beiden (oder mehreren) Laminathälften noch im nassen Zustand geschieht, denn erst dadurch wird das spätere Fertigteil kraftschlüssig verbunden. Die **Negativ-Formhälften** sind daher noch während der **Naßphase** vorsichtig zu schließen und der Überlappungsbereich danach mittels Spezial-Andrückroller sorgfältig anzulaminieren, ggf. noch mit einem Gewebeband zu verstärken.
- 6.5. Für den Fall, dass Bereiche für spätere Klebverbindungen feststehen, wird an diesen Stellen ein ausreichend großer Streifen **Abreißgewebe** direkt auf das noch nasse Laminat auflaminiert. Kurz vor dem eigentlichen späteren Klebevorgang (jedoch nach völliger Durchhärtung) wird das Abreißgewebe im spitzen Winkel langsam und gleichmäßig abgezogen und die so geschaffene raue Fläche ist ohne weiteres Anschleifen optimal für die dauerhafte Verbindung einer Klebefuge präpariert.
- 6.6. Sobald das Laminat des Fertigteils in der Negativ-Form gehärtet ist, empfiehlt sich eine sofort daran anschließende Wärmebehandlung (z.B. 12-16 Stunden bei 50-55 °C) der geschlossenen, nicht getrennten Einheit (Negativ-Form und Fertigteil-Laminat), damit Verzugsfreiheit gewährleistet ist. Erst nach Beendigung der Wärmebehandlung und Rückkühlung auf Raumtemperatur (siehe auch Kapitel 5.4 Entformung) wird das Fertigteil entformt.

Falls mit einem raumtemperatur-härtenden Epoxid-Laminierharz-System gearbeitet worden ist (also Harz/Härter-Systeme, bei denen eine Wärmebehandlung oder sogar eine Temperung nicht angewandt werden muß), kann auf die thermische Nachbehandlung verzichtet werden; die Laminat-Fertigteile sollten aber vor bestimmungsgemäßem Gebrauch einige Tage bei Raumtemperatur nachhärten.

7. Baubeispiel „Halbkugel“ vom „Modell“ über die „Negativ-Form“ bis hin zum „Fertigteil“

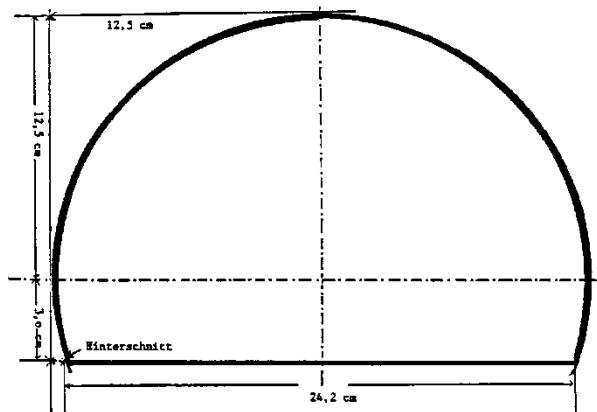
Hierzu haben wir als Baubeispiel eine **Halbkugel** für ein x-beliebiges Anwendungsgebiet ausgewählt.

Das dieser **Halbkugel** als Fertigteil zugrundeliegende Herstellungsverfahren, welches auch in den Vorkapiteln dieser Fachschrift verfahrenstechnisch über den **Modellbau** und den **Negativ-Formbau** mit entsprechend definiertem Werkstoffeinsatz ausführlich beschrieben worden ist, kann im Wesentlichen auch auf andere Anwendungsgebiete übertragen werden.

7.1. Herstellungsvorgabe

Hergestellt werden soll eine kreisrunde Halbschale als Fertigteil aus GfK mit einem Durchmesser von 25 cm und einer Höhe von 15,5 cm. Bei einem sich ergebenden Radius von 12,5 cm würde der Kreisabschnitt nach unten hin wieder enger, so daß aufgrund der sich dann ergebenden Hinterschnidungen eine zweigeteilte Negativ-Form als Herstellungsmittel notwendig wird.

Weitere Vorgaben: Die Außenfläche des Fertigteils soll makellos, hochwertig glatt und glänzend sein, die innere Fläche ist beim Fertigteil nicht sichtbar, daher kann auf hochwertiges Oberflächenniveau verzichtet werden und die farblos sichtbar und fühlbar bleibende Faserstruktur wäre akzeptabel.



Falls Fertig-Design-Vorgaben hinterschnittfreie Negativ-Formen erlauben, würde eine solche Negativ-Form immer einteilig sein können.

Merke: einteilige Negativ-Form = geringer Aufwand
zwei- oder mehrteilige Negativ-Form = mit Zunahme der Mehrteiligkeit wächst die Anforderung an das persönliche Geschick und steigt das Niveau der Genauigkeit.

Also, bei Vorliegen des Fertigteil-Designs wird über Ein-, Zwei- oder Mehrteiligkeit der Negativ-Form und das Anlegen von Trennebenen entschieden.

7.2. Die Herstellung des Modells

Wir haben von uns aus den **Modellbau** in drei Kategorien eingeteilt und diese mit **einfach**, **mittel** und **aufwendig** bezeichnet.

Die **einfache** Kategorie, die wir auch nachstehend mit dem Halbkugeldesign beschreiben, ist prinzipiell immer anwendbar und von jedem einigermaßen handwerklich Geschickten auszuführen. (Kurzbeschreibung der **mittleren** und **aufwendigen** Kategorie haben wir am Ende dieses Kapitels unter 7.2.3. gemacht).

7.2.1. Modellbau (einfache Kategorie) Baubeispiel

Halbkugel

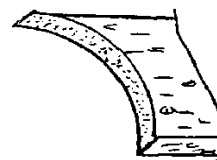
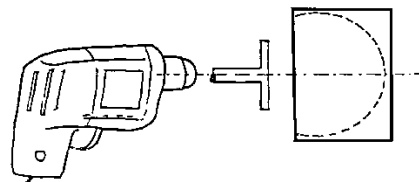
In eine Bohrmaschine haben wir einen Drehteller mit einem \varnothing von 80 mm eingespannt, auf den wir vorher einen „**De-Q-cell**“-Hartschaumblock ca. 18 kg/m^3 der Größe $27 \times 17 \text{ cm}$ mittig aufgeklebt haben.

Dabei haben wir die Konturen des späteren Fertigteils grob vorgeschritten.

Wir haben dann eine Schleifschablone gefertigt, indem wir den Radius der Halbschale abgenommen, auf ein Stück Holz mit ausreichender Dicke aufgezeichnet und ausgesägt und darauf einen Streifen Schleifpapier in 80er Körnung aufgeklebt haben.

Die Bohrmaschine haben wir nun in einen Schraubstock eingespannt und bei Langsamlauf die Schleifschablone genau zur Mittelachse des Werkstückes mit leichtem statischen Druck vorsichtig immer mehr angedrückt und letztlich auf dem Hartschaum **wandern** lassen.

Das Ergebnis war kurzzeitig später eine perfekte Rundung mit ausgezeichneter Oberfläche.

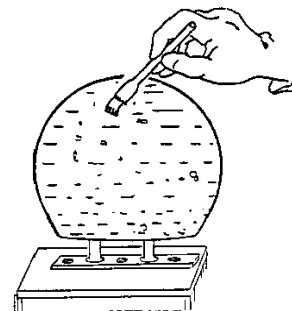


7.2.2. Verfestigung und Ausbildung der Oberfläche

Danach haben wir zur Verfestigung der Hartschaumoberfläche gemäß nebenstehender Skizze mit Epoxid-Laminierharz EPL 285/EPH 285, drei Lagen Glasfilamentgewebe 165 g/m^2 in Körperbindung, naß-in-naß auf laminiert und auf die letzte noch nasse Lage ein sog. **Abreißgewebe** auf laminiert und härten lassen.

Die weiteren Arbeitsgänge danach:

- Nach Härtung Abreißgewebe abziehen und die sich ergebenden Grate abschleifen.
- Mit Spachtel **airo-superflex**, **airo-leichtplast** oder **Modellbau-Spachtel „SL“** abspachteln und nach Härtung mit Schleifpapier (80-120er-Korn trocken und wenn spachtelmäßig nicht mehr korrigiert werden muß, mit 180-400er-Korn naß) schleifen.
- Schleifstaub mit Staubbindetuch entfernen und danach mit Polyester-Vorgelat Typ 740 (Schwabbellack) weiß (evtl. etwas schwarze oder blaue Farbpaste hinzugeben) gleichmäßig in einer Schichtdicke von mindestens 0,5 mm einstreichen.
- Nach Härtung wird Polyester-Vorgelat geschliffen (ab 220er Korn bis 1500er Korn Naßschleifpapier), danach poliert.
- Jetzt ist die Oberfläche für die Aufnahme des ausgewählten Trennmittels fertiggestellt.

7.2.3. Anmerkung (Modellbau **mittel** und **aufwendig**)

In Abhängigkeit von bestimmungsmäßiger Genauigkeit des Urmodells wird der Modellbau-Werkstoff und das ihn formende Verfahren ausgewählt.

Die dabei zur Anwendung kommenden Werkstoffe sind Weich- oder Harthölzer, PU-Hartschäume hoher Dichte (z.B. unser PU-Hartschaumblock U-100 oder unsere PU-Modellbauplatte U-700) usw.

Während die oben genannten Hölzer oder PU-Hartschaumblocke U-100 allenfalls bei guter Geschicklichkeit unter Zuhilfenahme von Schablonen noch von Hand oder evtl. drexeltechnisch geformt werden können, wird bei der Anforderung an ein **hochgenaues Modell-Design** mit hoher Kantenfestigkeit und Verzugsfreiheit eine **PU-Modellbauplatte U-700** eingesetzt werden müssen, welche dann allerdings frästechnisch bearbeitet werden muß.

8. Das Herstellen der „Negativ-Form“ für unser Baubeispiel „Halbkugel“

Die Negativ-Form wird sowohl in der geometrischen Figur als auch in der Oberflächenqualität das spiegelbildliche Gegenstück des **Urmodells**.

Das heißt z.B. auch, daß alle Fehlerhaftigkeiten detailgetreu abkopiert werden würden.

Da es bedeutend einfacher ist, ein **Urmodell** von einer Fehlerhaftigkeit zu befreien, als die spätere **Negativ-Form** daraufhin aufzuarbeiten, würden wir immer empfehlen, Korrekturen am **Urmodell** vorzunehmen.

Über die Handhabungen

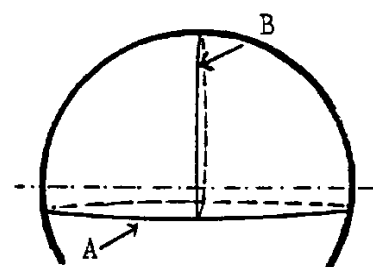
- des Eintrennens (siehe Kapitel 5.1.)
- der Epoxyd-Formbaufeinschicht EP 2040-1/EPH 4040-1 (siehe Kapitel 5.2.)
- der Glasfeingewebeanordnung als Belegplan und
- des zur Anwendung kommenden Epoxyd-Laminierharz-Systems EPL 285/EPH 285 (siehe Kapitel 5.3.) und
- des Entformvorganges (siehe Kapitel 5.4.)

haben wir ausführlich geschrieben.

Nun noch einige Details zu unserem Baubeispiel **Halbkugel**:

8.1. Für die eigentliche Negativ-Abformung wird die tatsächliche Höhe (15,5 cm) festgelegt und angezeichnet. Genau hier liegt der unter 8.2 gemachte Formenhilfsring an, der das Modell nach unten hin genau begrenzt. (A)

Dazu wird die Trennebene festgelegt und angezeichnet, und zwar geht diese im rechten Winkel vom unteren Begrenzungsflansch über die gesamte Halbschale. (B)



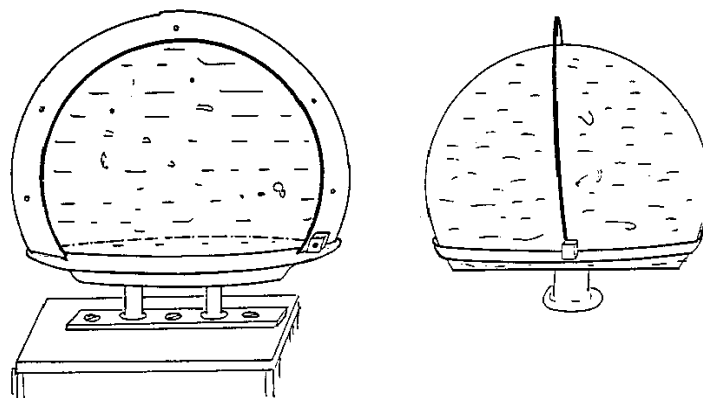
8.2. Und nun sind einige Arbeiten zu den **Formenhilfsumbauten** fällig, nämlich es müssen zwei **Holzkränze** gemacht werden, für die wir kunststoffbeschichtete Spanplatte genommen haben, da sich die glatte Fläche sehr gut eintrennen und entformen läßt.

- Ein Holzkranz mit einem Innen-Ø von 24,2 cm begrenzt als Begrenzungsflansch nach unten hin die Höhe der Kugel auf 15,5 cm.
- Ein weiterer Holzkranz mit einem Innen-Ø von 25,0 cm dient als eigentliche (mittlere) Trennebene.
- Beide Holzkränze haben einen Flansch von 30 mm und eine Materialstärke von 9 mm.
- Beide Holzkränze werden so um das Modell zugeschnitten und angeordnet, daß sie genau an den vorgezeichneten Begrenzungs- und Trennlinien anliegen.

Dabei ist folgendes wichtig:

Der Holzkranz, der die eigentliche mittlere Ebene darstellt, liegt genau mittig im Winkel von 90° an. (Würde die Mitte nicht eingehalten werden, ergäbe sich zwangsläufig eine Hinterschnittseite und wäre nicht mehr zerstörungsfrei zu entformen).

Sowohl das Modell als auch die Formhilfsumbauten ruhen unverrückbar fest (mit welchen Befestigungskonstruktionen auch immer) auf einer Hilfsrahmenkonstruktion.



- 8.3. Genauigkeitsbedingt werden zwischen Modelloberfläche und Holzkränze mehr oder weniger deutliche Spalte sichtbar, die durch **Plastilin-Modelliermasse** o.ä. geschlossen und genau beigezogen werden müssen.

Je genauer und sorgfältiger hier gearbeitet wird, desto weniger wird die spätere Trennaht sichtbar sein und umso besser kann sie wegpoliert werden.

- 8.4. Das gesamte Modell und auch die Flanschbereiche werden nun mit Trennmitteln eingetrennt (Vorgang siehe Kapitel 5.1.).

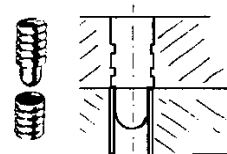
- 8.5. Auf eine der Kugelhälften wird die Formbaufeinschicht und danach das Laminat aufgebracht (Vorgang siehe Kapitel 5.2. und 5.3.).

Die andere Hälfte wird zum Schutz abgedeckt.

- 8.6. Um beim späteren Zusammenfügen beider Halbschalen stets eine genaue Positionierung zu gewährleisten, werden Paßdübel/-Buchsen einlaminiert.

Und zwar sitzen diese Paßdübel/-Buchsen auf dem Flansch in bestimmten Abständen.

Hierbei werden die Buchsen auf den Rand aufgesetzt, evtl. mit Wachs oder Plastilin-Modelliermasse gefüllt, damit kein Harz/Härter-Gemisch reinlaufen kann, sodann mit CA-Kleber fixiert und dann einlaminiert.



- 8.7. Die unter 8.6. beschriebene Anwendung von Paßdübeln garantieren eben **nur** die Paßgenauigkeit beider Formhälften aufeinander, d.h. der für die **Geringspaltigkeit** der späteren sichtbaren Trennaht notwendige Anpreßdruck wird z.B. durch die Kombination sog. **RAMPA-Muffen** und Schrauben gewährleistet.

RAMPA-Muffen besitzen einen Flachbund und grobe, äußere Hinterschneidungen und ein Innengewinde z.B. Ø M6.

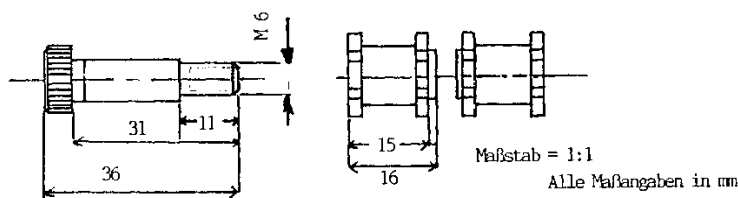
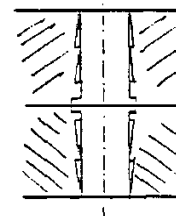
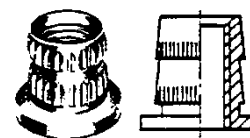
Sie werden auf dem Flansch der Negativ-Form (genau wie die Paßdübelposition) in gewissen Abständen zwischen den Paßdübeln mit den Flachbündeln aufeinander zeigend einlaminiert.

Gegenstücke erhält die zweite Formhälfte, so daß im verschraubten Zustand beide Flachbünde aufeinander liegen.

Die Schrauben werden immer vor dem Laminiert eingeschraubt, ggf. die Schraubengänge mit Plastilin-Modelliermasse oder Fensterkitt gesichert, damit erstens kein Harz/Härter-Gemisch in die Gewindegänge läuft und zweitens das genaue **Übereinander** gewährleistet ist.

Aus der oberen **RAMPA-Muffe** wird das Innengewinde ausgebohrt und dient dann als Führung der Schraube, an der unteren **RAMPA-Muffe** zieht sich dann die Schraube und damit die beiden Formhalbschalen fest.

Für den anspruchsvollen Anwender stehen auch sog. **Zentrier-Verschraubungen** zur Verfügung, die sowohl die Funktionen der **Paßgenauigkeit** als auch die des **Anpressens in einem Schritt** erfüllen.



- 8.8. Die erste Seite der Negativ-Form ist gehärtet, und es wird vorsichtig **nur** der mittlere Holzrand entfernt. Nicht mehr !! Sowohl Urmodell als auch die gerade laminierte Formhälfte und der untere Begrenzungsring verbleiben unverrückbar in der ursprünglichen Position auf dem Urmodell.
- 8.9. Reste der Plastilin-Modelliermasse werden entfernt, und der gerade neu laminierte GfK-Flansch wird sorgfältig eingetrennt und die übrige Eintrennung auf der zweiten Modell-Halbschale überprüft.
- 8.10. Auf dem Flansch werden die Buchsen für die Paßdübel und die Bünde der RAMPA-Muffen sichtbar. Die Gegenstücke werden positionsgemäß eingesteckt und danach werden Formbaufeinschicht und anschließendes Laminat genauso auflaminiert, wie man das bei der ersten Halbschale gemacht hat.
- 8.11. Nach Aushärtung des Laminats für die zweite Formhälfte wird wie in vorher beschriebener Weise entformt.
- 8.12. Nunmehr steht eine hochwertige, zweiteilige **Negativ-Form** zur Verfügung, aus der modellgetreue **Fertigteile** hergestellt werden können.

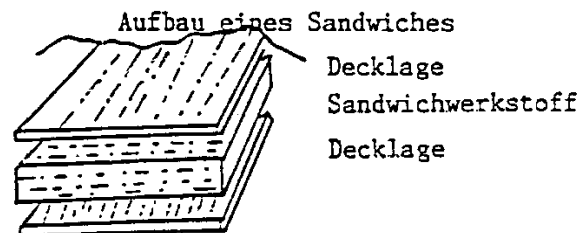
9. Herstellung des Fertigteils

Da das Arbeitsverfahren und die zur Anwendung kommenden Werkstoffe für die Herstellung von Fertigteilen genau die gleichen sind, wie sie für den Modellbau und den Negativ-Formenbau eingesetzt werden, haben wir nachstehenden Fertigungsablauf im Telegrammstil aufgeführt. Lediglich die Lagenzahl der verwendeten Verstärkungsfaser (Glas, Aramid oder Kohlenstoff) sind bedarfsmäßig geringer dimensioniert, was zu einem geringeren, aber festigkeitsrelevanten Gewicht führt.

- 9.1. Die Negativ-Form wird geschlossen und eingetrennt.
- 9.2. Polyester-Vorgelat Typ 740 wird in die Form gestrichen oder gespritzt (Verdünnung mit Styrol) und härten gelassen.
- 9.3. Verstärkungsfasern (z.B. drei Lagen Glasfilamentgewebe 165 g/m² in Köperbindung) werden mit Epoxid-Harz/Härter (z.B. System EPL 285/EPH 285) naß-in-naß auflaminiert.
- 9.4. Nach **Gelartigwerden** des Laminats wird der Rand mit scharfem Cutter besäumt.
- 9.5. Härtung, ggf. Wärmebehandlung.
- 9.6. Entformen und Entnehmen des Fertigteils.
- 9.7. Nachpolieren der Trennebene (des Trennspaltes).

10. Sandwich-Bauweise

Unter **Sandwich-Konstruktionen** verstehen wir eine Leichtbauweise zur Herstellung von leichten, bedarfsmäßig hochbelastbaren Bauteilen, dergestalt konstruiert, dass zwei außenliegende Deckschichten von hoher Festigkeit (sog. Zug- und Druckgurte) durch einen dazwischenliegenden Kern aus leichten Baustoffen (Sandwich-Werkstoff) abgestützt (auf Abstand gehalten) werden. Der Kernwerkstoff wird mit den Deckschichten kraftschlüssig verklebt und ist darüber hinaus mitverantwortlich für Festigkeit, Steifigkeit (Beulsteifigkeit, Dimensionsstabilität) im Sandwich.



Sandwich-Konstruktionen geben technisch gesehen Sinn gegenüber Massivbauweisen, da sie stets Konstruktionen mit geringerem Gewicht bei in der Regel gleichen Festigkeiten, bezogen auf spezielle Belastungsrichtungen sogar höhere Festigkeiten, bewirken.

Darüberhinaus können sie ggf. einen reduzierten Arbeitszeit- und Werkstoffeinsatz bedeuten, was mit einer gesteigerten Wirtschaftlichkeit einhergeht.

Die Auswahl, ob das zu fertigende **Sandwich** bei der uns hier interessierenden einfachen und sicheren **Handlaminier-Technik** nun in herkömmlicher oder in der **Vakuum-Technik** hergestellt wird, ist mehr eine Sache der zur Verfügung stehenden Werkstoffe, gewünschte geometrische Figur, Dimension und persönlichen Neigungen.

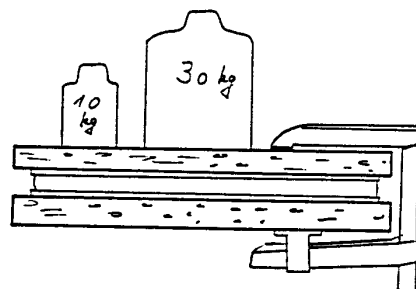
10.1. Zielvorgabe: Sandwich-Platte, gerade Form, zwei glatte Außenflächen

Mindesteinsatz an Hilfsmitteln dazu:

- Zwei auf die Dimension bezogen ausreichend und gleichmäßig starke und gerade Platten mit mindestens einer glatten Oberfläche (z.B. Holzplatte-Resopal beschichtet, Glasplatte, Stahlplatte einseitig poliert o.ä.).
- Spannwerkzeuge, Gewichte o.ä.

Der Fertigungsablauf ist dann folgender:

- 10.1.1. Die glatten Oberflächen beider Platten werden als sog. Form- und Oberflächengeber mit Trennmitteln eingetrennt.
- 10.1.2. Ggf. wird Polyester-Vorgelat Typ 740 appliziert.
- 10.1.3. Das Laminat (als Harz/Härter-Matrix z.B. EPL 285/EPH 285) wird mit ausreichend Verstärkungsfasern luftblasenfrei und vollflächig am Untergrund anliegend auf das ggf. vorher applizierte Polyester-Vorgelat auflaminiert.
- 10.1.4. Im nassen Zustand wird auf eine der Laminatflächen der sog. **Abstandshalter** in vorhergesehener Qualität und Stärke (z.B. PVC-Hartschaum Typ AIREX® C70.75 o.ä.) aufgelegt.
- 10.1.5. Die zweite Platte wird mit der laminierten Seite auf die PVC-Hartschaumoberfläche aufgelegt und so mittels Spannzwingen oder Gewichte vollflächig haftend zusammengepreßt.



- 10.2. Um jetzt einmal einen Bezug zu einer sinnvollen und wirtschaftlichen Bauweise in der **Vakuum-Technik** zu bekommen, weichen wir vom vorgenannten Beispiel einer geraden und damit einfachen Form ab und geben als Zielvorgabe die Herstellung eines sphärischen Bauteils (z.B. Rumpf, Flügelfläche, Leitwerk, Halbkugel oder vieles mehr).
- Bleiben wir mal bei einer Tragfläche für ein Flugmodell unter Beibehaltung der im vorgenannten Anwendungsbeispiel verwendeten Werkstoffe und der **Sandwich-Bauweise**, dann müßten die Platten nunmehr als Ober- und Unterstempel die genaue Form des Flügelprofils darstellen, um allflächig den erforderlichen hohen Druck auf die PVC-Hartschaumzwischenlage abzugeben.
- Dieser Vorgang ist zwar technisch absolut richtig, würde allerdings aufgrund der hohen Kosten für die beiden sphärisch geformten, hoch genauen Stempel aller Regel nach in einer Kleinserie wirtschaftlich nicht umzulegen sein.
- Jetzt macht es Sinn, hierbei in der **Vakuum-Technik** zu arbeiten, ohne auf die Vorteile einer Sandwich-Bauweise verzichten zu müssen.
- Die Herstellung einer Tragflügel-Fläche für ein Flugmodell in der **Sandwich-Vakuum-Technik** beschreiben wir ausführlich in den nächsten Kapiteln.

11. Sandwich-Vakuum-Technik

Konstruktiv besteht eine Tragfläche für ein Flugmodell mindestens aus Holm, Rippen, Nasenleiste, Endleiste, evtl. Flächensteckung, Beplankung usw. und bildet so eine statische Einheit.

Das Detail **Beplankung** greifen wir anwendungsgebietlich heraus und erklären nachstehend weitgehendst die Herstellung einer solchen Beplankung für einen sog. **Voll-GfK-Schalenflügel** in der Sandwich-Vakuum-Technik.

Diese **Vakuum-Technik** funktioniert im Prinzip bei entsprechendem schematischen Aufbau so, dass die sich im Sandwich-Zwischenraum befindliche Luft abgesaugt wird und die Druckbeaufschlagung durch die außen anliegende Atmosphäre geschieht.

Voraussetzung dazu ist bei einem sphärischen Bauteil, (wie im Beispielfall ein Schalenflügel), eine Negativ-Form als Profil- und Oberflächengeber, auf die dann mit den nachfolgend beschriebenen Arbeitsschritten das **die Form beibehaltene** Sandwich auflaminiert bzw. abgesaugt wird:

11.1. Geeignetes Trennmittel applizieren.

11.2. UP-Vorgelat Typ 740 weiß oder farbig applizieren.

11.3. Ausreichend Verstärkungsfasern (ein- oder mehrlagig Glasfaser- oder Kohlefaser-Gewebe diverser Flächengewichte) im Kraftlinienverlauf mit Epoxid-Harz/Härter (z.B. System EPL 285/EPH 285 o.ä.) auflaminieren.

11.4. Auf den nassen Zustand dieses Laminats wird der vorher paßgenau zugeschnittene **Kernwerkstoff** (z.B. PVC-Hartschaum Typ AIREX[®] C70.75 in 1,2 mm Stärke o.ä.) eingelegt, mit Tape fixiert, in einen **Absaug sack** eingeschoben und die Luft evakuiert (Absaugvorgang siehe auch Anhang).

11.5. Nach Härtung der Vorposition (mindestens muß aber die Gelzeit des verwendeten Harz/Härter-Systems deutlich überschritten sein) wird das spätere innenseitige Laminat extern auf einer Folie (PE, PVC o.ä.) mit symmetrischem Lagenaufbau wie das Außenlaminat auflaminiert und direkt im nassen Zustand mit der Laminatseite auf die Hartschaumoberseite aufgelegt, mit Tape fixiert und zwecks guter Vakuum-Drainage ein paßgenaues Absaugvlies aufgelegt, mit Tape fixiert und alles in einen Folienabsaug sack geschoben und abgesaugt.

11.6. Nach Härtung werden beide Halbschalen in den Negativ-Formhälften verbleibend besäumt, die Holmkonstruktion mit Ober- und Untergurt eingelegt und beide Halbschalen ggf. mit Wurzelrippe(n), Flächensteckungen usw. miteinander (Epoxyd-Harz/Härter/Microballoons-Gemisch) verklebt. Nach Härtung wird entformt und Grate verschliffen.

Die Vorteile bei der **Sandwich-Vakuum-Technik**

- Es entstehen niedrige Vorkosten für Produktionshilfsmittel für sphärische Formteile, die sich auf bedarfsmäßig geringe Fertigteil-Stückzahlen wirtschaftlich umlegen lassen.
- Vollflächiges und damit kraftschlüssiges Verkleben von Ober- und Untergurt mit dem dazwischenliegenden Kernwerkstoff als Abstandhalter ist gegeben und bietet so unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten Vorteile bei der Herstellung sphärisch geformter Fertigteile in Kleinserie, ohne auf die technischen Festigkeiten bei gleichzeitiger Gewichtsreduktion einer **Sandwich-Bauweise** verzichten zu müssen.

Anmerkung:

Genaues Arbeiten mit speziellem, persönlichen **KNOW-HOW** wird dem Anwender abverlangt. Zur Absicherung beabsichtigter Ergebnisse sind Vorversuche zur Werkstoffauswahl und zum anzuwendenden Verfahren unerlässlich.

Anhang

Nachstehende Fotoserie verdeutlicht die von uns gemachten Arbeitsschritte zur Herstellung eines Leitwerksflügels in der **Sandwich-Vakuum-Technik**.

Die verwendeten Werkstoffe dazu:

- Basis: Zwei eingetrennte Negativ-Formhalbschalen
- Polyester-Vorgelat Typ 740 weiß
- Epoxid-Laminierharz EPL 285/EPH 285
- Glasfilamentgewebe 48 g/m²
- Kernwerkstoff: PVC-Hartschaum Typ AIREX® C70.75, 1,2 mm stark

Bei entsprechender Anordnung lassen sich anwendungsspezifisch eine Vielzahl von Fertigteilen in der gleichen, sehr steifen und leichten Bauweise (Flugmodellflächen, -Rümpfe, -Leitwerke, Schiffsmodellrumpfe, -Aufbauten und sonstige Faserverstärkungsstrukturen) herstellen.



Bild 1 - Auf die mit entsprechenden Trennmitteln versehene Negativ-Form-Oberflächen haben wir unser Polyester-Vorgelat weiß appliziert (hier im Spritzvorgang mit Styrol verdünnt). Diese Schicht muß gut härten (1-2 Tage bei mind. 20 °C).



Bild 3

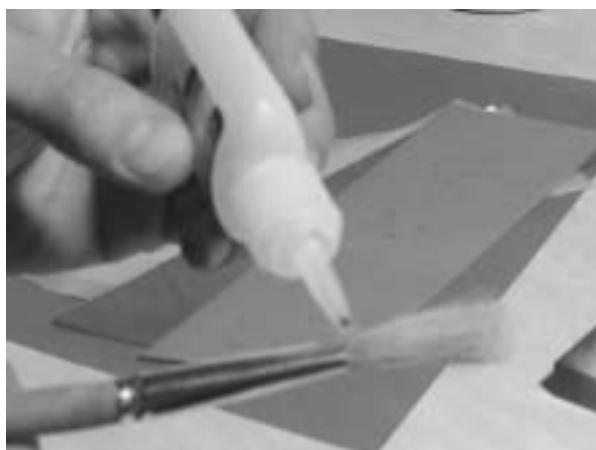


Bild 2 - Beispiel zeigt, wie ein **Normal-Kleinpinsel** mittels CA-Kleber-Raupe gegen Borstenausfall gesichert wird.



Bild 4 - Die vorher zugeschnittene(n) Faserverstärkungslage(n) (z.B. Glasfilamentgewebe 48 g/m²) wird (werden) vollflächig und luftblasenfrei mit Epoxid-Laminierharz-System EPL 285/EPH 285 am gehärteten Polyester-Vorgelat Typ 740 weiß anlamiert.

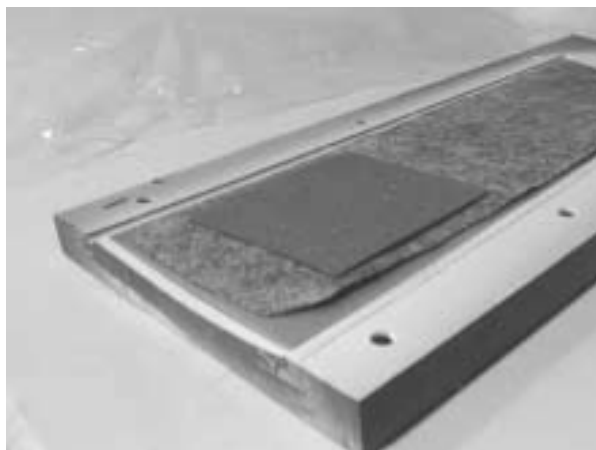


Bild 5 - Direkt im Anschluß, unbedingt auf das noch nasse Laminat (es darf weder angeleert noch gehärtet sein) wird die vorher passgenau zugeschnittene PVC-Hartschaumplatte C70.75 als Kernwerkstoff aufgelegt und mit Tape fixiert.

Darüber kommt im Bereich der PVC-Platte ein Zuschnitt Absaugvlies und in der Position des späteren Absaugflansches wird ein zusätzliches Stück PVC-Hartschaum oder Balsaholz zur Druckverteilung beim Absaugvorgang aufgelegt.

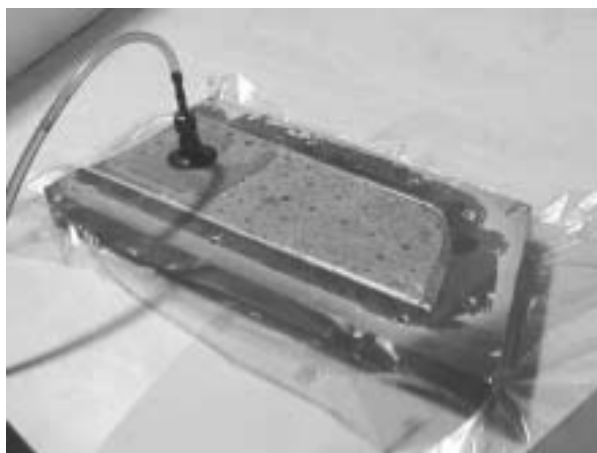


Bild 6 - Negativ-Form (-Formen) mit **Belegung** werden in einen PE-Schlauch geschoben, der PE-Schlauch vorn und hinten geschlossen und die Luft abgesaugt. Das Vakuum (Betriebsunterdruck ca. 0,4 - 0,6 bar) bleibt so lange erhalten, bis alles gut angehärtet ist (mindestens deutlich oberhalb der Topfzeit).



Bild 7- Für das innenliegende Laminat werden extern auf unserer Lochfolie Verstärkungsfasern in der gleichen Stärke wie für das Außenlaminat auflaminiert-



Bild 8 - und noch im nassen Zustand laminatseitig, ohne die Lochfolie wegzunehmen, auf den fest anliegenden PVC-Hartschaum angewalzt.



Bild 9 - Darauf wird ein Zuschnitt **Absaugvlies** aufgelegt und alles in den PE-Foliensack eingeschoben und das Vakuum wie vorher beschrieben angelegt.

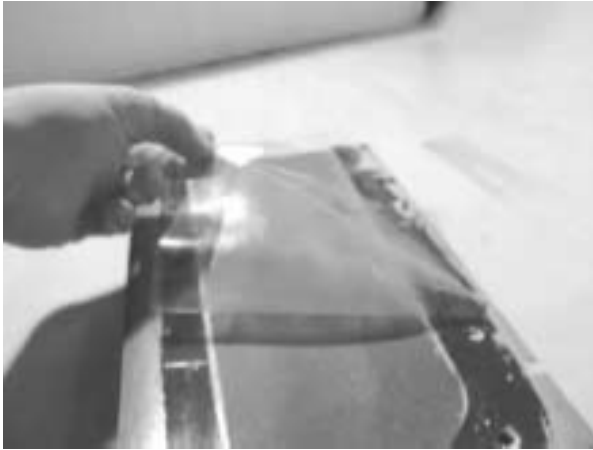


Bild 10 - Nach der Härtung wird das Vakuum weggenommen und Absaugvlies und Lochfolie abgezogen.



Bild 12 - Ein Gemisch aus Epoxid-Laminierharz EPL 285/EPH 285 und Microballoons Q-21 wird auf **pastöse** Konsistenz angerührt, in einen PE-Beutel gegeben, dem dann die **Tütenspitze** abgeschnitten wird und die **Gemischraupe** auf den gehärteten, geschliffenen Sandwich-Rand beider Formhalbschalen gleichmäßig ausgedrückt wird.



Bild 11 - Mit einem Schleifklotz werden überstehende Sandwich-Lamine für den Verstärkungsvorgang hergerichtet, indem diese Formrandzonen **niveaugeschliffen** werden.

Danach werden beide Negativ-Formhälften (Paßgenauigkeit ist konstruktiv gewährleistet) geschlossen, so dass diese Klebverbindung aushärten und für kraftschlüssige Verklebung beider GfK-Sandwich-Halbschalen sorgen kann.



Bild 13 - Nach Aushärtung wird der fertige Leitwerksflügel der Form entnommen und das Ergebnis ist eine äußerst leichte, steife GfK-Sandwich-Konstruktion. Bedarfsmäßig werden die Trennlinien noch geputzt.