

## Formenbau mit Faserverbundwerkstoffen

### ...am Beispiel einer Negativform

#### Der Hintergrund...

Faserverbundwerkstoffe vereinen die Vorteile einzelner Werkstoffe zu einem Gesamtverbund mit völlig neuen Werkstoffeigenschaften.

Da Faserverbundwerkstoffe **erst durch das Einbringen von Verstärkungsfasern in Kunstharz** entstehen, wird die Bauteilqualität –außer durch die Materialeigenschaften- maßgeblich durch die Art und Professionalität der Fertigung beeinflusst.

Um diese Qualitätsansprüche zu erreichen, werden die meisten Bauteile in Formen hergestellt.

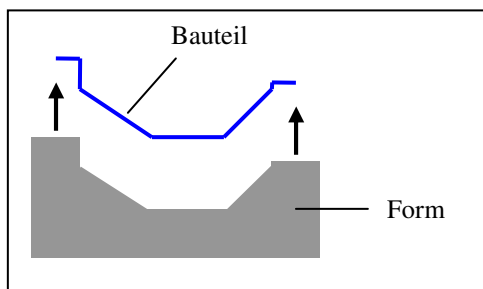
Für flache und einfache Bauteile eignen sich eventuell noch (beschichtete) Holzplatten.

Sobald die Geometrien anspruchsvoller und komplizierter werden, müssen Formen speziell gefertigt werden.

#### Die Formen...

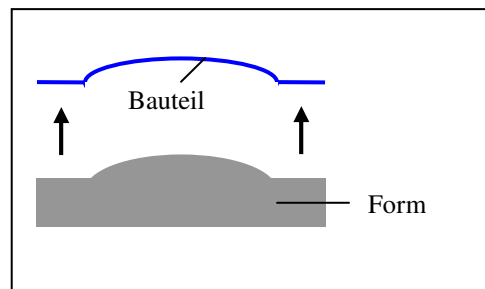
Hauptsächlich werden zwei Formtypen eingesetzt:

##### Negativ-Formen („Hohlformen“)



- glatte Außenflächen / Sichtteile  
Z.B.: Karosserieteile, Modellbau, ...

##### Positiv-Formen („Stempelformen“)



- glatte Innenflächen  
Z.B.: Badewannen, Behälter, ...

In der Regel ist die zur Form gewandte Seite die spätere Sichtfläche.

Eine sauber und glatt gearbeitete Form erspart daher ein Nacharbeiten und garantiert die Maßhaltigkeit des späteren Bauteils.

So kann z.B. als erste Schicht auf die Negativform bereits die spätere Deckschicht (Gelcoat) aufgebracht werden. Aufwendige Oberflächenbearbeitungen können so komplett entfallen.

#### Das Urmmodell...

Für die Erstellung einer Form wird in der Regel ein Urmmodell angefertigt.

Dieses ist im Prinzip ein 1:1 Modell des späteren Bauteils aus Polystyrol, Holz, Gips, Modelliermassen, oder anderer Werkstoffe.

In unserem Beispiel wurde ein Stück Polystyrol (Styropor, Styrodur) grob bearbeitet und in Form gebracht.

Um eine glatte Oberfläche zu erzeugen, kann das Urmmodell aus Polystyrol mit einem mittelviskosen Deckschichtharz (z.B. **HP-E25DM**) beschichtet werden. Hierbei handelt es sich um ein widerstandsfähiges Epoxi Deckschichtharz mit einer Topfzeit von ca. 25 Minuten\*.

Dieses haben wir zur besseren Unterscheidung mit dem Farbpigment **HP-FD-UB** blau eingefärbt.

Ist die Oberfläche des Urmodells ausreichend durchgehärtet (mind. 24h/20°C) lässt sich die Trennschicht auftragen.



Abb. 3: Versiegeln des Styropormodells

## Die Trennschicht (en)...

Für eine zuverlässige Trennschicht empfehlen wir folgenden Aufbau:

1. Schicht(en): Grundierwachs HP-G dünn mit einem Baumwolltuch auftragen, nicht polieren und dann ca. 5-15 Minuten eintrocknen lassen\*. Dieses Grundierwachs eignet sich besonders für poröse Untergründe und bildet die Grundierung für das nachfolgende Folientrennmittel HP-PVA. Es liegt als fließfähiges Wachs vor und ist in Testbenzin löslich.

2. Schicht: Das Folientrennmittel HP-PVA.

Hierbei handelt es sich um ein wässriges, silikonfreies Trennmittel auf der Basis von Polyvinylalkohol.

Es wird mit einem Schwamm oder Pinsel streifenfrei aufgetragen und bildet nach dem Trocknen (ca. 5-10 Minuten\*) eine Folie, die einfach mit Wasser wieder abgewaschen werden kann.



Abb. 4: Auftragen des Folientrennmittels

Dieses ist besonders beim Entformen ein erheblicher Vorteil!

Sie geben einfach warmes Wasser zwischen Form und Bauteil und nach kurzer Anlösezeit ist ein problemloses Trennen möglich.

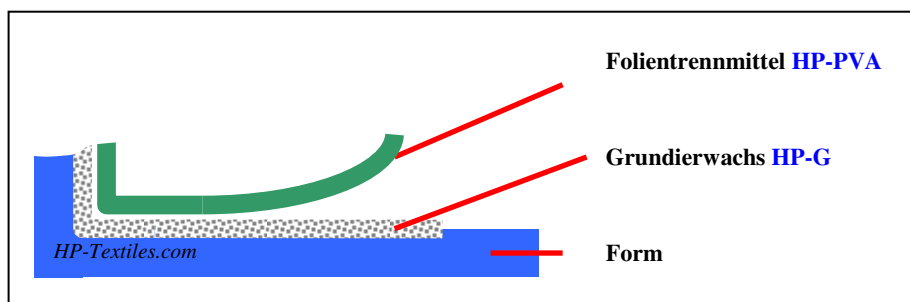


Abb. 5: Trennung zwischen den Trennmitteln

Die Verarbeitungstemperatur liegt bei beiden Systemen zwischen 15° - 30°C.

Sie sind ausgehärtet bis 100°C hitzebeständig.

Auf geschlossenporigen/nicht saugfähigen Oberflächen kann alternativ das Trennmittel HP-BM17 in mehreren Schichten aufgetragen werden.

**NEU:** Durch die verbesserte Rezeptur, ist dieses System nun bis 80°C wärmostabil!

Eine Kombination mit HP-PVA ist ebenfalls bedingt möglich.

## T I P P S

1. Optimal sind immer **mehrere Schichten Trennmittel** -ggf. **verschiedener Sorten!**  
*Grund: Die sicherste Trennung findet zwischen den einzelnen Lagen der Trennmittel statt.*
2. **Reinigen** Sie die Oberflächen vor dem Auftragen der Trennmittel!  
*Grund: Verunreinigungen können die Funktion der Trennmittel stark beeinflussen.*
3. **Einsatztemperaturen** der Trennmittel beachten!  
*Grund: Ungeeignete Temperaturen können die Trennwirkung herabsetzen.*

## Die Auswahl der Formenbauharze...

Formenbauharze werden zum einen für die spätere Deckschicht (Oberfläche der Form) benötigt, sowie für den konstruktiven Hinterbau der Form (Ausnahme: **HP-E30FB**).

Für den Aufbau von Formen stehen folgende Epoxi- sowie Polyesterharze zur Auswahl:

	Bezeichn.	Typ	Eigenschaften	Anwendungsbereiche
Epoxi	<b>HP-E45KL</b>	Formenharz -ungefüllt-	- hartelastisch - mittelviskos - gut schleif- und polierbar - Wärmestabil bis mind. 50 °C** nach Tempern bis max. 75 °C	- wenn Nachbearbeitung erforderlich! - Reparaturen - als wirtschaftliches Laminierharz für den Hinterbau von Formen
	<b>HP-E30FB</b>	Formenharz -Alu gefüllt-  <u>Nur für die Deckschicht der Form</u>	- sehr hohe Kantenfestigkeit - hochviskos - unter Vakuum hergestellt, also luftblasenfrei - eingeschränkt polierbar - Wärmestabil bis mind. 50 °C**	- hochwertige Formendeckschichten - hohe mechanische Belastung - unmittelbarer Lagenaufbau nach Auftragen der Deckschicht - metallähnliche Eigenschaften, also (hohe Wärmeleitfähigkeit)
Polyester	<b>HP-P21LP</b>  mit <b>HP-TH23</b> o. <b>HP-PK22</b>	Formenharz -flexibel einstellbar-	- flexible Zumischung der Thixotropiermittel <b>HP-TH23</b> oder <b>HP-PK22</b> (Einstellung der Viskosität) - höherer Schwund, als bei Epoxi-Systemen - Wärmestabil bis mind. 60 °C**	- mittlere geforderte Maßhaltigkeit aufgrund von Schwund - mittlere Anzahl an Abformungen - kostengünstige Variante
	<b>HP-P21LSP</b>  mit <b>HP-TH23</b> o. <b>HP-PK22</b>	Formenharz -flexibel einstellbar-	- flexible Zumischung der Thixotropiermittel <b>HP-TH23</b> oder <b>HP-PK22</b> (Einstellung der Viskosität) - höherer Schwund, als bei Epoxi-Systemen - Wärmestabil bis über 90 °C**	- mittlere geforderte Maßhaltigkeit aufgrund von Schwund - mittlere Anzahl an Abformungen - kostengünstige Variante

*\*\*Angaben bezogen auf das unverstärkte Harz. Deutliche Erhöhung durch Verstärkungsmaterialien oder Tempern!*

Grundsätzlich sollte bei allen verwendeten Deckschichtharzen mit einer Kupplungsschicht gearbeitet werden, sobald sich der Hinterbau nicht innerhalb kürzester Zeit realisieren lässt.

! **Auf keinen Fall sollte gewartet werden bis die Deckschicht zu sehr durchgehärtet ist, da eine Haftung mit weiteren Laminatschichten (Hinterbau) so negativ beeinflusst wird. Dieses kann -besonders beim HP-E30FB-, abhängig von Temperatur und Luftfeuchtigkeit, bereits nach der Hälfte der Topfzeit der Fall sein!**

Wichtige Auswahlkriterien sind außerdem Oberflächenhärte, Wärme(-form)beständigkeit, Schwundverhalten und natürlich der Preis.

In unserem Fall beschreiben wir den hochwertigen Aufbau mit **HP-E30FB** als Deckschicht der späteren Form und einen Hinterbau mit Epoxidharz **HP-E45KL** in Kombination mit einem feinen Glasfilamentgewebe (**HP-T110E**) und Glasfaserlege (**HP-B320E**).



Abb. 6+7: Die Epoxi Formenbauharze HP-E30FB und HP-E45KL

## Der Aufbau der Formdeckschicht...

### ...schnelle Lösung OHNE Kupplungsschicht

Wenn die Oberfläche des Urmodells vorschriftsmäßig mit Trennmittel versehen und abgelüftet ist, kann mit dem Auftragen des Formenbauharzes begonnen werden. Dieses (auch Formendeckschichtharz genannt) stellt die spätere Oberfläche der Form dar und wird als erste Schicht auf das Urmodell aufgebracht.

Hierzu wird das Formenbauharz (in unserem Beispiel **HP-E30FB**) vorsichtig mit einem Pinsel auf die mit Trennmittel versehene Oberfläche aufgetragen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die darunterliegende Trennschicht nicht durch zu intensives verstreichen beschädigt wird.

Es sollten insgesamt nicht mehr als 0,3 - 2mm Schichtstärke aufgebracht werden.

Das **HP-E30FB** ist sehr stark thixotropiert so dass es auch von steilen Flächen nicht abläuft.



Abb. 8: Auftragen des Formenbauharzes (HP-E30FB)

Diese spätere Deckschicht sollten Sie nun leicht angelieren lassen (ca. 5 Minuten), bevor die Folgeschicht aufgebracht wird. → weiter auf Seite 5



Lassen Sie das Formenbauharz **HP-E30FB** nicht zu lange angelieren!  
Ansonsten besteht die Gefahr, dass die Haftung zum Folgelaminat stark verringert ist!

Ist dieses zeitliche Limit einmal deutlich überschritten, macht sich das durch eine leicht ölige Oberfläche bemerkbar.

Wenn dieses geschehen ist, sollte die Oberfläche vor einer Folgebeschichtung intensiv mit Aceton gereinigt werden um eine Haftung zu erreichen.

Grundsätzlich ist die Haftung „nass-in-nass“ immer besser als „nass-auf-trocken“!

### ...zeitlich versetztes Arbeiten MIT Kupplungsschicht =>die SICHERE Variante!

Hierzu können Glasfaserschnitzel und Baumwollflocken zu gleichen Teilen mit Epoxidharz **HP-E45KL** gemischt und innerhalb kürzester Zeit (<15 Minuten) auf das angelierte Formendeckschichtharz aufgetragen werden.

Zusätzlich sollten Glasfaserschnitzel und Baumwollflocken auf die nasse Schicht gestreut werden um ein ausreichendes Herausstehen ungetränkter Fasern zu gewährleisten.

Diese Schicht dient dann als reiner Haftvermittler (Kupplungsschicht), da nach der Aushärtung Fasern aus dem Harz herausstehen und diese eine gute physikalische Haftung für Folgeschichten bieten.



Abb. 9: Aufstreuen von Glasfaserschnitzeln

- ! Das Aufbringen einer Kupplungsschicht ist also immer dann ratsam, wenn der Hinterbau NICHT unmittelbar (innerhalb von Minuten) realisiert wird.
- Dieses kann z.B. bei größeren Objekten, oder weniger geübten Anwendern der Fall sein.

Überschüssiges Material kann nach der Aushärtung einfach abgeklopft oder abgesaugt werden.

- ? Gelieren: Übergangsphase von flüssig zu fest. Zustand bei Kunstharzen der eine Folgebeschichtung erlaubt, ohne gleichzeitig die untere Schicht wieder mit anzulösen.
- Restklebrigkeit vergleichbar mit der Rückseite eines Klebebands.

## Der Hinterbau...

Zur weiteren Verstärkung der Form wird der Hinterbau konstruiert. Hierzu werden bei größeren Formen -neben den Verstärkungsfasern- häufig noch weitere, stabilisierende Materialien, wie etwa Holz oder sogar Metallverstrebungen eingearbeitet. Bei kleineren Formen kann in der Regel darauf verzichtet werden und die Form durch geeignete Verstärkungsmaterialien (Gewebe, Gelege, Kombimatten,...) und entsprechende Lagenzahl hinterbaut werden.

Scharfe Ecken und Kanten sollten auf der späteren Deckschicht mit einem Gemisch aus Harz, Baumwollflocken (**HP-BF1**) und/oder Thixotropierpulver (**HP-PK22**) ausgekleidet werden.

Für größere Kanten oder Bauteilabschnitte können auch Glasfaserschnitzel (**HP-GS6**) in das Harz eingerührt werden.

So können diese Stellen vorab ausgefüllt werden, da die Rückstellkraft des Gewebes ansonsten zu Ablösungen und somit zu Blasenbildung unter den Glasfasern führen kann.

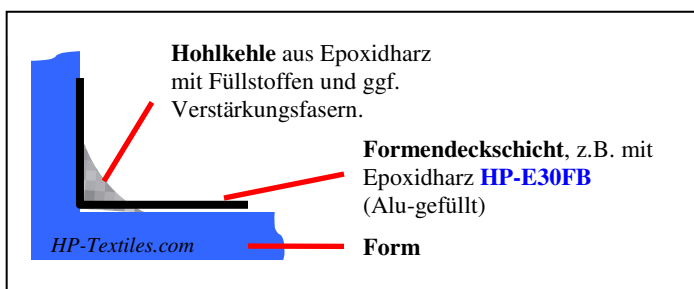


Abb. 10: Hohlkehle an einer winkligen Stelle

Besonders beanspruchte Bereiche können zudem noch mit Glas- oder Carbonroving verstärkt werden.

Größere Hohlkehlen sollten mit einem Gewebe- oder Gelegeband armiert werden.



Abb. 11: Carbonroving



Abb. 12: Glasgelegeband (HP-B420E)

## Die Verstärkungsfasern...

Nachdem die Rückseite des Formenbauharzes mit Kunstharz für den Hinterbau großzügig getränkt wurde, kann als erste Lage ein leichtes Glasgewebe (z.B. **HP-T110E**) aufgebracht werden.

Wie empfohlen ein relativ feines Material, da es sich besonders gut in komplizierte Geometrien laminieren lässt und so besonders gut feine Strukturen umgibt.

Das Gewebe wird vorsichtig mit dem Pinsel in die Harzschicht eingetupft, bis es vom Kunstharz ausreichend durchtränkt ist und entsprechend durchscheinend wird.



Abb. 13: Tränken der ersten, feinen Gewebelage

### Verstärkungsfasern für den Hinterbau der Form:

Die nachfolgenden Schichten werden in der Regel aus Verstärkungsmaterialien mit höherem Gewicht aufgebaut. Dieses ist nötig um eine gewisse Bauteilstärke und die daraus resultierende Formstabilität zu erreichen.

Mögliche Verstärkungsfasern für den Hinterbau:

Bezeichnung	Laminatdicken	Eigenschaften	Verarbeitung
<b>Glasfaser-gelege</b> <b>HP-B320E</b>	2 Lagen ergeben ca. 1 mm	- hochfeste Laminatschichten durch hohen Faservolumenanteil - gezielte Faserausrichtung möglich - relativ geringer Harzverbrauch	- gut drapierbar (f. mittelgroße Radien bis ca. 2cm) - relativ geringer Harzverbrauch, auch mit mittelviskosen Harzsystemen tränkbar (z.B. <b>HP-E45KL</b> )
<b>Formenbau-gewebe</b> <b>HP-PC600E</b>	1 Lage ergibt ca. 4-5 mm	- hohe Laminatdicken - daraus resultierende Zeitersparnis - sehr formstabil	- sehr gut drapierbar - wir empfehlen ein niedrigviskoses Laminierharzsystem (z.B. <b>HP-E55L</b> )



**NEU!**

Abb. 14: Das Formenbaugewebe HP-PC600E



Abb. 15: Urmodell (Muschelförmchen) in blau und erstellte Form in schwarz davor

Eine so aufgebaute Form wird vielen Abformungen standhalten und eine detailgetreue Erstellung von Bauteilen ermöglichen.

Sollten noch Fragen bestehen, können Sie uns jederzeit gerne kontaktieren

- Ihr HP-Textiles Team

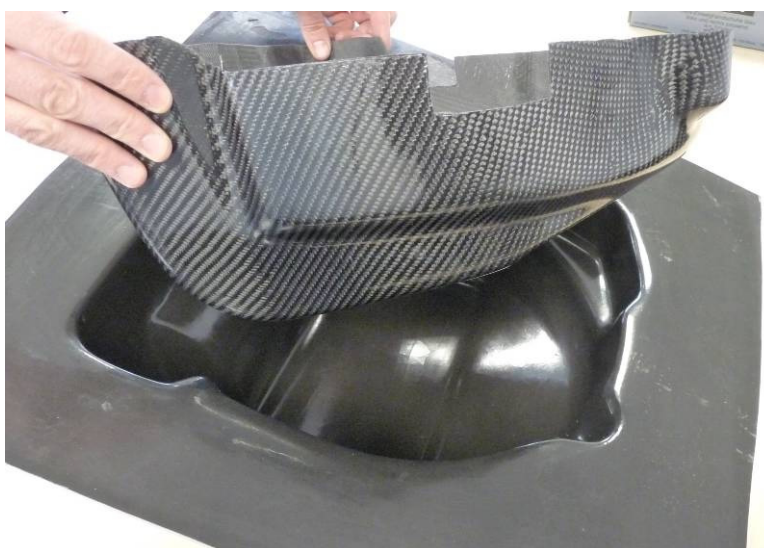


Abb. 16: Eine professionell erstellte Form (Hintergrund) und ein darin gefertigtes Carbonteil.  
In diesem Fall eine Kupplungsglocke für einen Ferrari!