

Anleitung zum Formenbau mit **poraver** by Dennert



AkaModell München www.akamodell.vo.tum.de

Diese Anleitung entstand auf Basis der Verfahrensanweisung zum Bau eines kompletten Negativ-Formensatzes für das F5D-Wettbewerbsmodell AM 9 „Batleth“ mit Hilfe der für jedermann erhältlichen Verleih-Urmodelle. Wer Interesse hat, die Urmodelle auszuleihen, kann sich hier melden: vorstand@akamodell.vo.tum.de

Wir bedanken uns sehr herzlich bei der AKAModell München für die Nutzung der vorhandenen Unterlagen und für ihre Unterstützung bei der Erstellung dieser Anleitung zum Formenbau.

Weiterführende Informationen zum Thema Formenbau finden Sie auch auf unserer Website unter <http://download.r-g.de/formenbau.pdf> oder im Kapitel 1 in unserem Handbuch Faserverbundwerkstoffe unter <http://download.r-g.de/handbuch/kapitel01.pdf>



AM9 „Batleth“ F5D Wettbewerbsmodell



AM10 „Climax“ F3K Wettbewerbssegler

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung.....	3
2. Vorbereitung Teil I.....	3
3. Wachsen.....	3
4. Vorbereitung Teil II.....	4
5. Formenharz.....	5
6. Kupplungsschicht.....	6
7. Laminataufbau.....	7
8. Hinterfüllung.....	7
9. Entformen.....	9
Materialliste.....	10

Wichtiger Hinweis:

Die Urmodelle sind nur für die Aushärtung bei Raumtemperatur geeignet und dürfen deshalb nicht getempert werden. Die in dieser Anleitung empfohlenen Harzsysteme sind vollständig kalthärtend!

1. Einleitung

Warum sich Urmodelle ausleihen, wenn man doch selber das Equipment dazu hat, Formen zu bauen? Die Antwort ist einfach. Die AkaModell München hat viel Zeit und Geld in die Entwicklung neuer Modelle investiert, um die Leistungen käuflicher Modelle zu übertreffen. Diese Entwicklungsarbeit ist für einen Einzelkämpfer kaum zu bewältigen. Außerdem stehen dem Privatmann nicht dieselben Möglichkeiten offen wie einer Studentengruppe an einer wissenschaftlichen Hochschule. So werden die Modelle und Formen komplett in CAD konstruiert und optimiert. Anschließend können die Negative mit einer computergesteuerten Präzisions-3-Achs-Fräse aus speziellem Kunststoff herausgefräst werden. Nach dem Polieren der Formen auf Hochglanz werden aus ihnen die verleihbaren Positiv-Urmodelle gebaut.

Nun ergeben sich nur noch die Kosten für einen eigenen Formensatz, aus dem man bei pfleglicher Behandlung viele Modelle bauen kann. Das ist im Vergleich zum kompletten Alleingang eine immense Kosten- und Aufwandsersparnis!

2. Vorbereitung Teil I

Packen Sie alle Teile des Formenbausatzes vorsichtig aus und überprüfen Sie, ob diese vollständig (Inventarliste), sauber und in einwandfreiem Zustand sind. Tragen Sie dies bitte in das Ausleihprotokoll ein. Der Satz beinhaltet die kompletten Urmodelle für Flügel, Rumpf und Leitwerk, alle Trennbretter für jeweils eine Urmodellhälfte, Trennwachs, genügend Passstifte und Gewebesablonen. Ist alles vorhanden, geht es weiter mit dem Wachsen der Urmodelle.

3. Wachsen

Als Wachs **muss** das beiliegende Trennwachs 223 verwendet werden!

Für ähnliche Anwendungen hat sich auch das Formula Five Mold Release Wax aufgrund seiner sehr guten Trennwirkung und der leichten Polierbarkeit bewährt. An der Verarbeitung des Trennmittels verändert sich dadurch nichts.

Vor dem Abformen muss mindestens 3 mal neues Wachs aufgetragen werden. Bei neuen, noch unbenutzten Urmodellen muss hingegen mindestens 10 mal gewachst werden. Das Wachsen muss sehr sorgfältig erfolgen, da dies einer der wenigen Punkte ist, bei dem ein Fehler zur sicheren Zerstörung der Formen und Urmodelle führt. Zunächst benötigt man ein absolut sauberes Baumwolltuch. Dieses Tuch darf nicht fusseln, muss absolut staubfrei sein und sollte keine chemischen Rückstände aufweisen. Am besten eignet sich hierfür ein altes T-Shirt ohne Aufdruck oder etwas Ähnliches. Das T-Shirt waschen, gründlich ausspülen und trocknen lassen. Ein kleines, ca. 10 x 10 cm großes Stück abschneiden. Dieses wird zum Auftragen des Wachses verwendet, der Rest zum Polieren. Beim Wachsen unbedingt Handschuhe tragen!

Mit dem Tuch eine kleine Menge Wachs aufnehmen und einen **möglichst dünnen und gleichmäßigen Film mit leichtem Druck** auftragen. Dieser Wachsfilm trocknet schlierig, weißlich ab.



Aufgetragene Wachsschicht



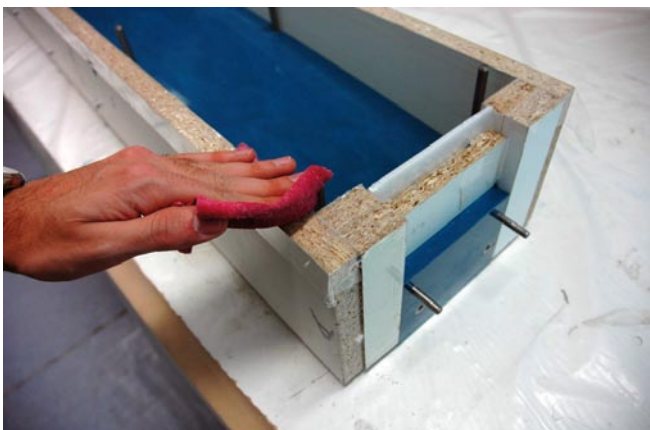
Poliertes Urmodell

Es reicht, einmal durch die Dose zu wischen, um mehrere Quadratdezimeter einzuwachsen. Nimmt man mehr Wachs als notwendig, fällt das Polieren später

schwerer und es besteht die Gefahr, alte Schichten durch zu festes Polieren abzutragen. Insbesondere im Bereich von Kanten nicht zu viel Wachs auftragen, da sich dieses sonst in den Kanten ablagert. Einfach mit dem Wachslappen längs der Kante entlangfahren. Falls es doch einmal passieren sollte, das überschüssige Wachs mit einem Wattestäbchen oder nach dem Ablüften mit einem relativ weichen Material (z.B. Kunststoff oder Sperrholz) entfernen, auf keinen Fall mit Metall, da dies den Wachsfilm zerstört bzw. die Urmodelle zerkratzt.

Nach mindestens **6 Stunden Ablüftzeit** den Wachsfilm glänzend aufpolieren. Dabei ist stellenweise mäßiger Kraftaufwand nötig. Das von uns vorgegebene Wachs hat die Eigenart, dass ein fettig wirkender, feiner, schlieriger Film zurück bleibt, der allerdings jedes Mal anders aussieht, wenn man mit dem Tuch darüber wischt. Im Gegensatz dazu verändern festgetrocknete und nicht ausreichend polierte Schlieren das Aussehen nicht. **Zum Polieren unbedingt immer denselben Lappen verwenden.** Dieser nimmt dadurch etwas Wachs auf und das verhindert, dass zu viel Wachs wegpoliert wird. **Im Bereich von herausstehenden Kanten (insbesondere bei der Flügel- und Leitwerksauflage am Rumpf) nicht zu fest polieren,** sonst besteht an diesen besonders exponierten Stellen die Gefahr, dass das ganze Wachs wieder abgetragen wird. Bei allen Urmodellen, die bisher kaputt gegangen sind, wurde an diesen Stellen zu stark poliert.

Darauf achten, dass sich weder auf der Form noch im Lappen Staubkörner oder Fremdkörper festgesetzt haben, die Kratzer verursachen könnten. Dazu den Lappen regelmäßig ausschütteln und nur auf absolut sauberen Flächen ablegen. Den Lappen am besten in einem Gerfrüerbeutel o.Ä. aufbewahren.



Die Oberseiten der Trennbretter sind auch einzuwachsen

Es müssen alle Flächen gewachst werden, die mit Harz in Berührung kommen, insbesondere die Oberflächen und Seiten der Urmodelle, die Vorder- und Rückseite der Trennbretter, die Schrauben für die Flächen- und Leitwerksverschraubung und die Passstifte. Für die

Trennbretter gibt es einen Extralappen, um keine Holzsplitter auf das Tuch zu bekommen.

Bei den Trennbrettern reicht auch einmal Wachsen mit einer relativ dicken Schicht, die nicht mehr poliert wird. Nicht vergessen, die Oberseiten der Bretter mit Tesa abzukleben und diese großzügig zu wachsen.

Für einmal Wachsen und Polieren des kompletten Satzes muss mit ungefähr einer Stunde Arbeitszeit gerechnet werden.

Das Aufbringen und Ablüften des Wachses muss bei Raumtemperatur erfolgen!

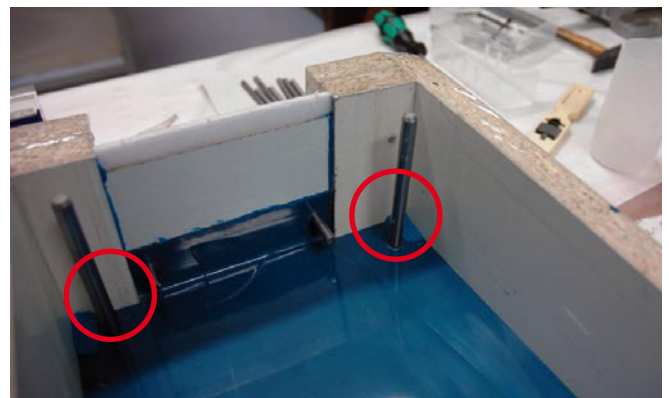
Als letzter Schritt wird noch einmal besonders vorsichtig poliert.

4. Vorbereitung Teil II

Nach dem Wachsen können die Rahmenbretter an den Urmodellen mit den beiliegenden Schrauben befestigt werden. Die Kanten zwischen Urmodell und Brett und die Kanten zwischen den Brettern mit Modelliermasse abdichten.

Wenn der Spalt so minimal ist, dass kein Harz hineinfließt, kann die Knete weggelassen werden (-0,5 mm).

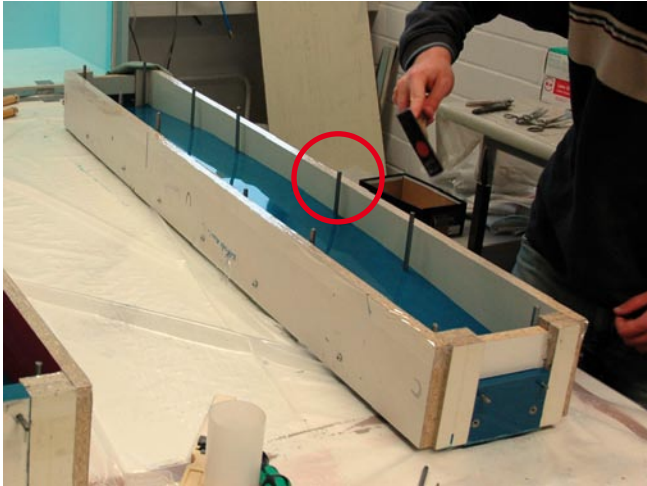
Eine Möglichkeit, Form und Urmodell später voneinander zu trennen, besteht darin, Keile aus Modelliermasse zu formen, die in Winkel und Größe einem großen Schraubenzieher entsprechen. Zumindest in zwei Ecken solche Keile auf der Trennebene des Urmodells anbringen und später einfach darüber laminieren. In den entstehenden Ausschnitten kann dann zum Entformen ein Schraubenzieher angesetzt werden.



Passstifte etwas überstehen lassen

Bei manchen Urmodellen sind bereits Absätze vorgesehen, die mit Modelliermasse oder einem Streifen Balsa aufgefüllt werden können. Die Modelliermasse oder das Balsa sollte die Trennebene überstehen, so dass sich in den Formen wiederum Absätze ergeben, die zum Entformen dienen (Nicht zu hoch, sonst braucht man einen zu dicken Schraubenzieher!).

Die gewachsten Passstifte so einsetzen, dass sie ca. 2 mm über die Oberkante der Rahmenbretter herausragen. Damit vermeidet man später das lästige Suchen und Aufbohren der Passstiftpositionen.



Passstifte etwas überstehen lassen

Messingröhrchen (Innendurchmesser 3 mm) für die Flächenverschraubung des Rumpfes zusägen, so dass die Länge genau dem Abstand zwischen Urmodell und Rahmenbrett entspricht. Darauf achten, dass mit dem Messingröhrchen nicht die Wachsschicht des Urmodells zerkratzt wird.

Messingröhrchen mit den beiliegenden Schrauben in ihrer Position fixieren.

Als Nächstes müssen die Gewebelagen zugeschnitten werden, die der Form die Steifigkeit geben. Grundsätzlich gilt: Es können auch unterschiedliche Reststücke verwendet werden, solange diese auf der Innen- und Rückseite einer Formhälfte symmetrisch eingebracht werden. Üblich ist hier die Verwendung von grobem Glasgewebe, da es nicht so teuer ist. Es kann aber auch Kohlegewebe verwendet werden, wenn es das Budget zulässt.

Die inneren Gewebelagen etwas größer als die Form zuschneiden, damit die Seiten noch stabilisiert werden können. Die Decklagen (am Schluss auf der späteren Rückseite der Formhälfte) genau passend zuschneiden, dann geht später das Entfernen der Trennbretter leichter von der Hand. Nach dem Zuschneiden noch einmal kontrollieren, ob auch für jede Form ein symmetrischer Lagenaufbau vorhanden ist.

Alle notwendigen Hilfsmittel zum Laminieren vorbereiten (Pinsel, Becher, Harz, Härter, Waage...)

Damit sind alle Vorbereitungen abgeschlossen und es kann mit dem eigentlichen Formenbau begonnen werden.

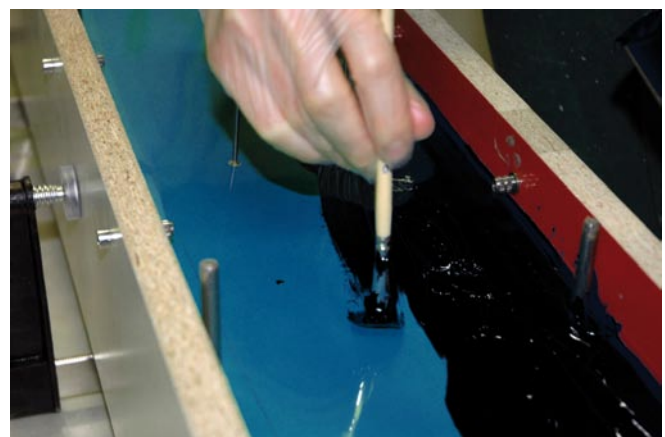
5. Formenharz

Für den Formenbau hat sich das R&G Formenharz P sehr gut bewährt, da die gehärtete Oberfläche noch (eingeschränkt) poliert werden kann. Es sollte unbedingt der Härter EPH 573 verwendet werden, da hierdurch die Oberflächen styrolbeständig werden und somit als spätere Bauteildeckschicht auch UP-Vorgelat eingesetzt werden kann, was durchaus sinnvoll ist.



Fixieren der Borsten

Die Borsten des Pinsels zunächst mit einer Schere auf ca. 15 mm Länge kürzen, mehrmals biegen und lockere Borsten entfernen. Dann die Wurzel mit Sekundenkleber fixieren. So gelangen keine Borsten ungewollt auf die Formoberfläche. Nicht mehr als 50 Gramm Formenharz auf einmal mischen, da sonst die Verarbeitungszeit durch die Eigenerwärmung drastisch verkürzt (exotherme Reaktion) wird. **Beim Rühren darauf achten, dass dem Becherrand und -boden besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird, um ein homogenes Harz/Härter-Gemisch zu erhalten. Sonst ergeben sich unter Umständen unausgehärtete (weiche) Stellen in der Form!** Lufteintrag durch zu schnelles Rühren sollte ebenfalls nicht entstehen (nicht zu schnell rühren).



Auftragen des Formenharzes



Komplette Form mit Formenharz beschichtet

Formenharz mit dem Pinsel zügig in einer Stärke von 0,5–1 mm auf die Urmodelle auftragen. Dabei immer nur **in eine Richtung arbeiten, um ein Einarbeiten von Luftblasen zu vermeiden!** Da die Verarbeitungszeit relativ gering ist, zügig aber sorgfältig arbeiten. Konsequenterweise von einer Seite zur anderen streichen, um auch Stöße von Harz mit unterschiedlichem Aushärtungsgrad zu vermeiden. Das ergibt später auch im Modell sichtbare Schlieren auf der Oberfläche. Auch die Passstifte, Messingröhrchen und Formenseitenwände großzügig einstreichen. Sonst besteht die Gefahr des Ausbrechens beim späteren Einschlagen der Passstifte.

Das Harz so weit anhärteln lassen, dass die Oberfläche noch leicht klebrig ist, aber keine Fäden mehr zieht. Dies an einem separaten Abstrich (auf Folie) per Fingerprobe (Handschuhe!) kontrollieren. Dieser Gelierzustand ist beim Härter EPH 573 nach ca. 45–60 Minuten erreicht.

Diese Zeit darf **auf keinen Fall** durch **Tempern** oder hohe Temperaturen verkürzt werden, da sich sonst der nachfolgende Laminataufbau nicht mehr richtig mit dem bereits aufgetragenen Formenharz verbindet.

6. Kupplungsschicht

Die nach folgenden Arbeitsschritte sollten bis zur Hinterfüllung, um eine Schichtentrennung (Delamination) zu vermeiden, ohne Unterbrechung bzw. noch im Gelierzustand der jeweiligen letzten Lage durchgeführt werden.

Epoxydharz L + Härter EPH 500 mit einem Gemisch aus Glasfaserschnitzeln und Baumwollflocken zu gleichen Teilen versetzen, bis eine zähe, aber dennoch streichfähige Masse entsteht. Diese Masse möglichst gleichmäßig in den Kanten einbringen, so dass die Krümmungsradien groß genug ($>R3$) für die anschließenden Gewebelagen werden. Auch die Passstifte so hinterfüllen, dass sie mit der Seitenschicht verbunden sind.



Auftragen der Kupplungsschicht



Hinterfüllung der Passstifte

Die restliche Formoberfläche nur mit thixotropiertem Laminierharz einstreichen. Dabei hat sich eine Zugabemenge von 7 g Thixotropiermittel TM 100 auf 100 g Harz/Härter-Mischung bewährt.

Prinzipiell ist eine dicke Kupplungsschicht, so wie sie schon seit Langem propagiert wird, nicht unbedingt

notwendig. Wir empfehlen, generell nur ein Ausrunden der Kanten durchzuführen, da harzreiche Schichten einer größeren Schwindung unterliegen sind und sich dadurch Unebenheiten an der Formoberfläche zeigen können.

7. Laminataufbau

Die erste Lage sollte aus einem sehr feinen und dichten Gewebe erstellt werden, um ein Abzeichnen der Gewebestruktur der nachfolgenden Lagen zu verhindern. Wir empfehlen, das Glasfilamentgewebe 49 g/m² hierfür zu verwenden. Auch beim Aufbau der Form sollte auf einen quasiisotropen und auch symmetrischen Laminataufbau geachtet werden. Das heißt, dass jede Lage in 0°/90° mit einer weiteren Lage in +/-45° ergänzt wird.

Darauf folgen 2 Lagen Glasfilamentgewebe 80 g/m², 2 Lagen Glasfilamentgewebe 163 g/m² und als Abschluss 2 Lagen Formenbau-Glasgewebe 600 g/m²

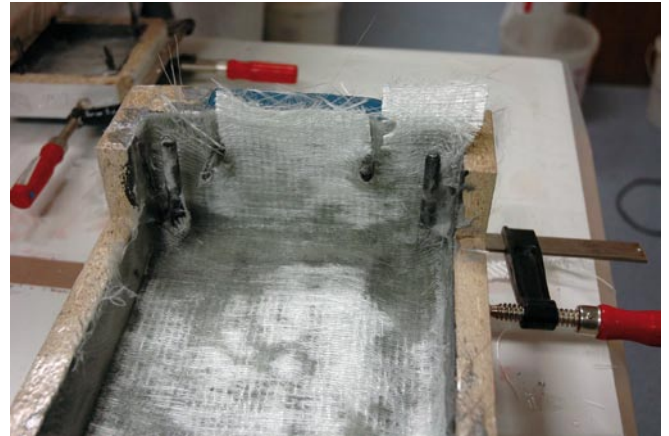
Die Lagen an den Passstiften einschneiden und vorbeiführen. An den Kanten das Gewebe gut tränken und andrücken (auf Luftblasen achten!).



Einlaminieren der Glasgewebe (Abbildung 1-4)



(Abbildung 2)



(Abbildung 3)



(Abbildung 4)

8. Hinterfüllung

Um den Formen eine ausreichende Steifigkeit zu geben, müssen diese als Sandwichstruktur ausgeführt werden. Dazu gibt es 3 mögliche Lösungen:

1. Hinterfüllung mit einem Quarzsand/Epoxydharz-Gemisch (schwer, teuer und haltbar) – unserer Meinung nach nicht empfehlenswert
2. Hinterfüllung mit Poraver Blähglaskugeln 1–2 mm (leicht, preiswert und gut haltbar)
3. Hinterfüllung mit Glasfaser und Laminierkeramik (schwer, mittelteuer, gesundheitlich unbedenklich)

Wir beschreiben im Folgenden die Hinterfüllung mit Poraver der Körnung 1–2 mm, weil wir mit dieser Korngröße gute Erfahrungen gemacht haben. (Wenn sich jemand für eine andere Lösung entscheidet, gehen wir davon aus, dass er weiß, was er tut.)

In einen Eimer wird die benötigte Menge Poraver gegeben. Dann werden pro Liter Poraver Körnung 1–2 mm 50 Gramm Epoxydharz L + Härter EPH 500 mit 1–5 % Treibmittel für EP vermischt. Wir empfehlen für eine homogene Durchmischung einen Rührer mit Kunststoffpropeller und eine dazu passende Bohrmaschine zu verwenden.

Tip: Das Harz einfärben, damit man sieht, ob alles gut vermischt ist. Bei schlechter Vermischung hat man später hohl klingende und wenig druckstabile Stellen in der Form. Dafür eignen sich die R&G EP-Farbpasten sehr gut.



Anmischen der Blähglaskugeln

tel auftragen. Dadurch werden Unebenheiten ausgeglichen und die abschließenden Glasgewebelagen verkleben einwandfrei. Der Laminataufbau der äußeren Deckschicht wird analog, aber spiegelverkehrt zur inneren Decklage ausgeführt. (Die Gewebelagen in umgekehrter Reihenfolge aufbringen [erst die dicken und zuletzt die dünne, um einen späteren Verzug der Form zu vermeiden]). Die letzte Lage aus Glasfilamentgewebe 49 g/m² verläuft somit wieder in 0°/90°. Zusätzlich können Holzstücke oder ein Stahlrahmen an den Stellen aufgeklebt werden, an denen später Schraubzwingen zum Schließen der Formen verwendet werden sollen.



Abschleifen der Glaskugeln



Auffüllen des Formhohlraumes



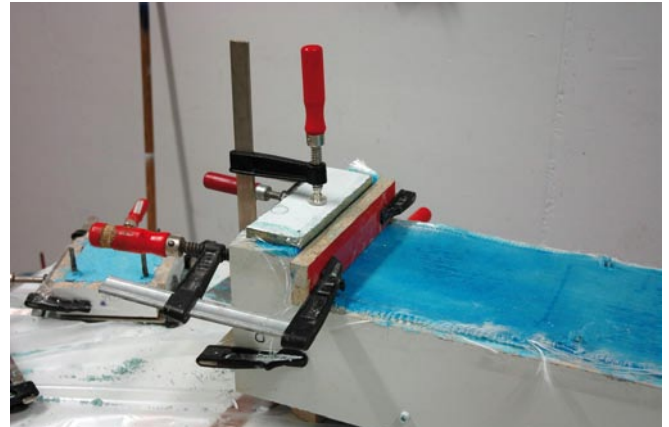
Absaugen des Staubes

Das Gemisch in die Form geben und feststampfen. Zum Schluss dieses eben zu den Trennbrettern mit einem Spachtel oder Holzbrett abziehen. Dabei haben sich klopfende Bewegungen sehr gut bewährt.

Die Form bei Raumtemperatur 24 Stunden aushärten lassen, dann die Hinterfüllung eben schleifen und den Schleifstaub absaugen. Um die Passstifte herum noch einmal die Kugeln mit Harz tränken. Danach dünn ein Gemisch aus Harz und Glass Bubbles mit einem Spach-



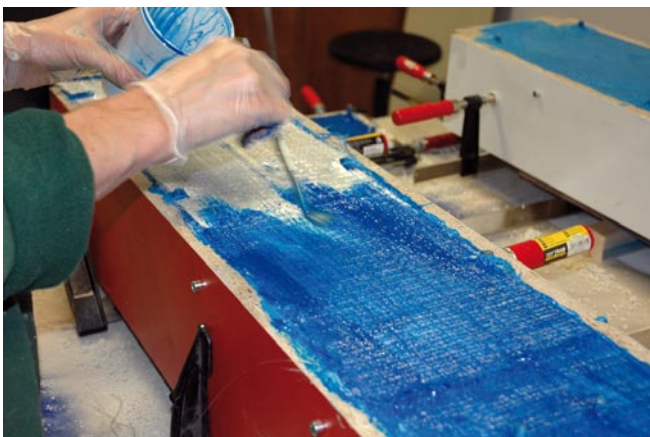
Tränken der Bereiche um die Passstifte mit Harz



Eventuelles Abringen von restlichen Trennbrettern



Auftragen des Harz-/Glass Bubble-Gemisches



Laminieren der abschließenden Glasgewebelagen

9. Entformen

Nach dem Aushärten der Form werden alle Schrauben und die Rahmenbretter entfernt. Die Passstifte mit Hammerschlägen lösen und dann mit einem Splintentreiber herausklopfen. **Nicht mit einer Zange herausziehen, da sonst die Passstifte beschädigt werden können.**



Entfernen der Passstifte

Mit einem Schraubenzieher in die Knetmassekeile stechen und durch Hebeln oder Drehen die Form öffnen. **Nicht in Richtung Mitte der Urmodelle hämmern oder drücken**, da bei einem plötzlichen Aufspringen der Formen der Schraubenzieher hineinrutschen und **Kratzer** verursachen könnte. Wenn richtig gewachst wurde, wird sich die Form sofort von den Urmodellen trennen lassen. Manchmal haften beide Hälften durch statische Aufladung stark aneinander. Hier helfen kleine Holzkeile von beiden Seiten. Die Trennbretter gegebenenfalls von Harzresten säubern. Am besten eignet sich hierzu ein Stück Sperrholz. Die Trennbretter können auch mit einem Metallspachtel gesäubert werden, müssen dann aber anschließend mindestens noch einmal nach-

gewachst werden, da sonst die Wachs-Schicht für den nachfolgenden Ausleiher nicht ausreicht. Die Urmodelle nur mit einem Lappen abwischen und sorgfältig verpacken. Bitte keine unpolierte Wachsschicht auftragen. Jetzt müssen nur noch der Laminatüberstand auf der Rückseite abgesägt und die Grate an den Formkanten überschleifen werden.



Tennbretter entfernen



Trennen der Formen



Entgraden der Kanten

Materialliste für den Bau eines Batleth-Negativ-Formensatzes oder Modelle vergleichbarer Größe

- optional: Formula Five Mold Release Wax für neue, unbehandelte Urmodelle
- 5 kg Epoxydharz L + 3,15 kg Härter EPH 500
- 1 kg Formenharz P + 170 g Härter EPH 573 (1,17 kg Arbeitspackung)
- 80 g Treibmittel für EP (ohne Schaumtreibmittel ist ca. 50 % mehr Harz zu verwenden)
- 100 g EP-Farbpaste (wir haben Blau verwendet)
- 5 l (1 kg) Baumwollflocken
- 1 kg Glasschnitzel
- 35 Liter Poraver Korngröße 1–2 mm
- 3 m² Glasfilamentgewebe 49 g/m²
- 3 m² Glasfilamentgewebe 80 g/m²
- 3 m² Glasfilamentgewebe 163 g/m²
- 3 m² Formenbau-Glasgewebe 600 g/m²
- 5 l (500 g) Glass Bubbles 0,21 g/cm³
- ca. 20 Laminierpinsel Breite 16 oder 20 mm
- 500 g Modelliermasse blau
- Handschuhe (Vinyl oder Nitril, kein Latex!)
- 20 Mischbecher 500 ml
- 50 Stück Holzrührspatel 250 x 15 x 3 mm
- 1 l Aceton für die Reinigung der Werkzeuge
- Ein sauberes Baumwolltuch zum Wachsen/Polieren (liegt bei!)
- Messingrohr mit 3 mm Innendurchmesser
- Grundausstattung zum Laminieren (Glasfaser-schere, Rollmesser, Schneidunterlage, 0,1-Gramm-Waage, ...)