



Bild: Finnboat

Der Stoff aus dem die Boote sind

Teil II der Serie über moderne Baumethoden

Der erste Teil der Serie über modernen Bootsbaus handelte von technologischen Eigenschaften und verschiedene Bootsbau-materialien. Um Verstärkungs- und Kernmaterialien und um materialgerechtes Design. In dieser Folge geht es um Baumethoden, Harztypen und um verschiedene Laminiermethoden.

Bau über Mallen

Sind die Mallen, die Hilfs-spannten die die Rumpfform beschreiben, mit dem Kernmaterial beplankt, wird außen geschichtet, gestrakt und verputzt. Anschließend bringt man das Gewebe auf, spachtelt, strakt und grundiert die Schale. Alternativ kann über das Gewebe auch furniert wer-

den, damit das Boot wie ein traditionell geplankter Holzbau aussieht.

Nachdem die Schale vom Mallengerüst genommen wurde, laminiert man die Innenlage. In hoch belasteten Bereichen oder an Beschlügen spart man den Sandwichkern aus und laminiert diese Stellen massiv auf.

Punktlasten, beispielsweise von Beschlügen, können in

Auch wenn Wasser bekanntlich kein Balken hat, können auf einen Bootsrumf enorme Kräfte einwirken. Speziell bei Motorbooten, die wenig gekrümmte Flächen aufweisen, ist die Flächensteifigkeit ein Faktor, der nur schwer in den Griff zu bekommen ist, wenn niedriges Gewicht eine Rolle spielt.

die Struktur eingeleitet werden, indem der Schaum punktuell durch Metallplatten ersetzt wird. Im Serienbau nimmt man dafür vorwiegend Aluminium und verankert die Beschläge in Sacklöchern mit eingeschnittenem Gewinde. Aber auch Platten aus Kohlefaserlaminat oder Kevlar-Verstärkungen sind denkbar.

Die Verbände, wie Spanten, Schotten, Stringer oder Bodenwrangen werden mit der Innenlage verklebt und großflächig anlaminiert, damit keine Punktlasten auftreten, die den Kern schädigen und zur „Delaminierung“ führen könnten. Das heißt, dass sich das Kernmaterial vom Laminat löst. Kleinflächige Delaminierungen bei fertigen Booten lassen sich übrigens reparieren, indem der entstandene Hohlraum mit Epoxi gefüllt und die verschiedenen Schichten der Struktur wieder mit einander verklebt werden. Bei großflächigen Schäden muss das Kernmaterial ersetzt werden.

Auf alle Fälle muss untersucht werden, ob eine einmalige Überlastung, beispielsweise durch eine Kollision vorlag, oder ob die Struktur generell zu schwach ausgelegt ist und bei der Reparatur verstärkt werden muss.

Der Aufbau einer Kompositstruktur ist eine spannende

Sache, weil man nicht einen Werkstoff mit festgelegten Eigenschaften bearbeitet sondern seinen eigenen Werkstoff aus verschiedenen Einzelteilen, Kernmaterialien, Geweben und Gelegen selbst herstellt. Man muss keine Rücksicht auf vorhandene materialspezifische Eigenschaften nehmen, sondern stellt die Eigenschaften selbst so zusammen wie man sie braucht. Das erfordert allerdings genaueste Berechnungen und umfangreiche Erfahrungen mit den Materialien. Nicht die Dicke eines Bauteils, wie bei den Metallen, entscheidet über die Festigkeit, sondern die Geometrie und die Anordnung der einzelnen Lagen.

Man kann dabei auch mit absoluter „Low-tech“ überraschende Ergebnisse erzielen. Selbst billige Isolierschaumplatten, wie sie auf dem Bau verwendet werden, ergeben sehr leichte Bauteile mit hoher Steifigkeit, wenn sie zwischen zwei dünnen Geweben oder auch Sperrholzlagen verklebt werden.

Für wichtige strukturelle Aufgaben dürfen solche Schäume aber nicht verwendet werden. Beim Bootsbaubau sind andere Eigenschaften wichtig als bei der Isolierung einer Hauswand.

Die Hersteller von Bootsbaumaterial bieten mittlerweile auch „Halbzeuge“ an. Darunter fallen zum Beispiel fertige Schaumstringer, die nur noch angepasst und anlaminiert werden müssen.

Auch fertige Profile aus Faserverbundwerkstoffen helfen dem Bootsbauer Arbeitszeit zu sparen. So werden bei Regattaboote kleine, spezielle Bauteile wie Beschlägesockel aus Kohlefaserplatten oder -Rohren hergestellt. Früher nahm man dafür schwere Metallprofile.

Kosten und Gewicht

„Je leichter ein Boot gebaut wird, desto teurer ist es“ lautet eine weit verbreitete Meinung. Das stimmt aber nur zum Teil. Es ist zwar richtig, dass High-Tech Materialien teuer sind. Auch die Konstruktionskosten und die Kosten der Verarbeitung sind entsprechend hoch.

Durch die höhere Festigkeit braucht man aber weniger Material. Andere Teile, wie vielleicht die Ruderanlage, können bei einem leichten Boot etwas zierlicher ausfallen. In letzter Konsequenz braucht man auch weniger Segelfläche oder es reicht ein kleinerer Motor aus. Diese Aspekte relativieren die Baukosten zusätzlich.

Polyester, Epoxi & Co

Die Fasermaterialien werden mit Kunstharzen verbunden. Dabei handelt es sich grob um Polyester-Vinylester- oder um Epoxidharze.

Bei preiswerteren und kleineren Booten ist Polyesterharz am weitesten verbreitet, weil es preisgünstig und verhältnismäßig einfach zu verarbeiten ist. Die technischen Eigenschaften sind bei Anwendungen, bei denen keine extrem hohen Anforderungen an Festigkeit oder Maßhaltigkeit gefordert sind, meistens ausreichend.

Die Vernetzung wird durch einen sogenannten Katalysator, den Härter ausgelöst. Dieser bringt, quasi durch eine „Initialzündung“, die chemische Reaktion in Gang. Dabei entweichen Stoffe, wie Styrol und das Volumen des Bauteils verringert sich während des Härtungsprozesses.

Diese Volumenveränderung bringt sowohl positive als auch negative Aspekte mit

sich.

Ein gewünschter Effekt ist, dass sich durch die Schrumpfung das Bauteil praktisch von selbst aus der Form löst. Das hat aber den Nachteil, dass die Dimensionen des fertigen Bauteils relativ große Toleranzen erfordern und der Schrumpfungseffekt nicht präzise kalkuliert werden kann. Weiterhin verläuft die Härtung und somit die Schrumpfung über einen langen Zeitraum. Deshalb sieht man bei Serienbooten aus dem preisgünstigen Segment manchmal, dass sich die Verbände durch die Außenhaut abzeichnen. Da wurde mit dem Ausbau der Schale nicht lange genug gewartet. Sie „spannt sich“ nachträglich über die Verbände.

Auch der umgekehrte Fall ist möglich. Sind die Verbände ebenfalls aus Polyester, beispielsweise in Form einer Innenschale, schrumpft diese noch einige Zeit nach der Herstellung. Wird die Innenschale eingeklebt, bevor das Harz weitgehend ausreagiert hat, zieht diese häßliche Beulen in die Außenhaut.

Den Schrumpfungsprozess kann man beschleunigen, indem das Bauteil getempert wird. Mit entsprechender Wärmezufuhr vernetzt das Harz schneller. Werden die einzelnen GFK-Teile eines Bootes vor dem Zusammenbau getempert, ist die Gefahr, dass sich die Verbände abzeichnen, erheblich geringer.

Ein weiterer Nachteil des Polyesterharzes ist dessen Alterungsprozess vor allem bei Wechsellasten. Das Material wird im Verlauf der Zeit immer spröder.

Dieser Festigkeitsverlust muss bei der Konstruktion berücksichtigt werden. Ein Polyesterboot ist deshalb von vornherein etwas überdimensioniert, damit es eine bestimmte Nutzungsdauer erreicht.

Geburt einer Moth



1. Schritt (links): Das mit Epoxi vorgetränkte Kohlefaserweben für die Außenlage wird exakt platziert in die Form gelegt. Darüber kommt ein Abreißgewebe, das überschüssiges Harz aufnimmt und eine Oberfläche schafft, die ohne schleifen weiter verarbeitet werden kann. Das Entlüftungsvlies garantiert, dass die Luft ungehindert zu den Schläuchen der Vakuumpumpe gelangen kann.

2. Schritt (rechts): Die Vakuumfolie ist angebracht und der maximale Unterdruck erreicht. Sobald die erste Phase der Härtung abgeschlossen ist, wird das Abreißgewebe entfernt.



3. Schritt (links): Der Schaumkern wird in die Form eingelegt.

4. Schritt (unten): Der Kern wird mit diagonal verlaufendem Unidirektionalgelege überlaminiert.

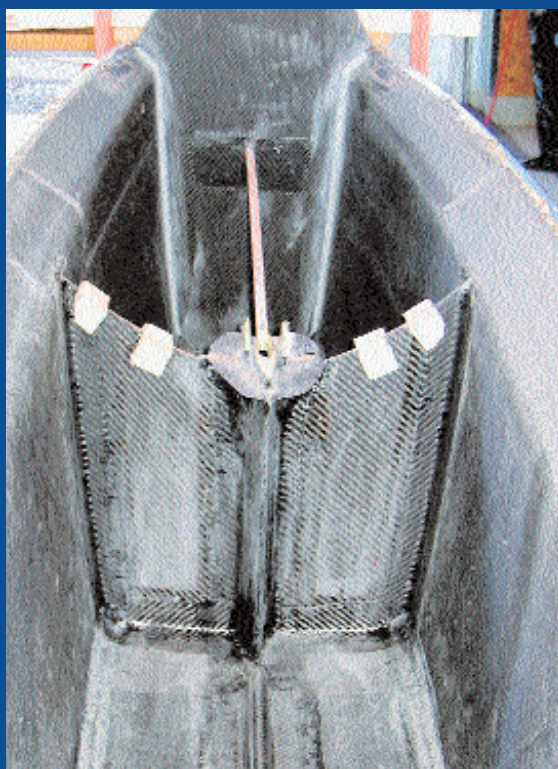




5. Schritt (oben): Der atmosphärische Druck wird noch einmal bemüht, um Kern und Innenlage flächig an die Außenlage zu pressen. Damit werden die Schichten homogen und ohne Lufteinschlüsse mit einander verbunden. Überflüssiges Harz wird vom Abreißgewebe oder dem Entlüftungsvlies aufgenommen.



Das fertige Insekt von Dominik Schenk schwebt auf Hydrofoils leichtfüßig über den Untersee. Der Rumpf wiegt lediglich zwölf Kilogramm. Ohne Vakuumlaminat wäre das niemals realisierbar gewesen



6. Schritt (links): Die fertige Schale mit Schwertkasten Schotten und „Kielbalken“, die ebenfalls aus Carbon-Gewebe und Schaum gebaut sind. Das Deck entsteht in der selben Weise.

Ein Nachteil zum Beispiel bei Regattajollen, deren Mindestgewicht am Rande des konstruktiv möglichen liegt. Entweder wird das Boot bald weich oder es ist von vornherein zu schwer. Bei Booten, die einen Wasserliegeplatz haben, ist die Durchlässigkeit für Wasserdampf eine gravierende negative Eigenschaft. Das ist eine der Voraussetzungen für Osmose.

Polyesterharze lassen sich nach diesem Kriterium grob in drei Gruppen unterteilen. Orthophtalsäureharze setzen dem Wasserdampf den geringsten Widerstand entgegen. Danach folgen Isophtalsäureharze und Neopentylglykol-Isophtalsäureharze.

Die Anfälligkeit für Osmose sinkt nicht nur mit dem verwendeten Harztyp, sondern auch mit der Wassertemperatur. In skandinavischen Gewässern ist dieses Thema daher längst nicht so ausgeprägt wie am Bodensee oder am Mittelmeer.

Ein Polyesterstumpf muss deshalb, vor allem in warmem Süßwasser, unter Wasser und im Bereich des Wasserpasses mit Epoxidharz beschichtet werden.

Epoxi für Präzisionsarbeiten

Epoxidharze sind Diffusionsdicht. Bei einem Epoxidbauteil wird deshalb keine Zerstörung durch Osmose auftreten.

Epoxilamine sind auch wesentlich Alterungsbeständiger als Lamine mit Polyesterharzen. Das Bauteil braucht nicht so überdimensioniert zu werden weil die Schwächung durch Lastwechsel erheblich geringer ausfällt. Deshalb ist dieser Harztyp für Hochleistungsboote die erste Wahl.

Ab einer gewissen Bootgröße rechnet sich der Einsatz von Epoxidharzen auch bei Tourenbooten. Der Preis

relativiert sich nämlich, weil der Anteil des verwendeten Harzes an den Gesamtkosten mit wachsender Bootgröße immer weiter abnimmt.

Andererseits nehmen die Nachteile eines Polyesterstumpfes mit wachsender Größe zu. Beispielsweise verdoppelt sich das absolute Schrumpfmaß, wenn die Bootgröße verdoppelt wird. Das ist ab einer gewissen Dimension kaum mehr kalkulierbar und die Spannungen im Laminat können zu Qualitätsproblemen führen. Bei der Vernetzung von Epoxi reagieren die Moleküle der Basis mit den Molekülen des Härterers. Es entweicht kein Lösungsmittel und die Volumina der Bauteile bleiben während der Härtung erhalten. Ein Laminat aus Epoxi ist praktisch spannungsfrei. Das ermöglicht einerseits eine exaktere Formgebung, andererseits erfordert es einen höheren Aufwand beim Formenbau. Ein Epoxidbauteil entformt sich nicht selbst. Folglich müssen mehrteilige Formen verwendet oder entsprechende Hinterschneidungen und Entformungswinkel schon bei der Konstruktion berücksichtigt werden.

Ein weiterer großer Vorteil der Epoxidharze gegenüber Polyester ist die höhere Adhäsionskraft an andere Materialien. Das ist die Kraft, mit der ein Stoff an einem Untergrund haftet. Deshalb ist dieses Material für Reparaturen ebenfalls die erste Wahl. Ausgehärtete Polyesterbauteile, (spätestens nach zwei Jahren) lassen sich mit Polyesterharz nur mechanisch verbinden. Mit Epoxidharz kann auch eine molekulare Bindung erreicht werden. Der Ingenieur spricht dabei von einem Verbund erster und zweiter Ordnung.

Nachteilig bei diesem „Präzisionsharz“ ist der hohe

Preis und die etwas kompliziertere Verarbeitung.

Hochwertig und preisgünstig

In neuerer Zeit kommen immer mehr Boote aus Vinylesterharz auf den Markt. Dieser Kunstharztyp liegt in seinen Eigenschaften praktisch zwischen hochwertigen Polyesterharzen und den Epoxidharzen.

Im Prinzip besteht das Material aus Epoximolekülen, die aber mit einer Esterbindung vernetzen. Damit lassen sich Vinylesterharze ähnlich wie Polyesterharze verarbeiten.

Auch preislich liegt das Material zwischen den beiden anderen.

Einfach aber schwer

Beim Handlaminat werden die Glaslagen Schicht für Schicht trocken in die Form gelegt und anschließend mit Harz getränkt. Dazu braucht man erfahrene Laminierer um Luftein-

schlüsse (eine weitere Voraussetzung für Osmose) zu minimieren und die Glaslagen mit minimaler Harzmenge vollständig zu tränken. Die Qualität des Bauteils hängt damit wesentlich von den Fähigkeiten des Arbeiters ab.

Ein weiterer Nachteil des „Handauflegeverfahrens“ ist die Belastung der Personen mit Styrol. Eine Substanz, die als krebserregend gilt.

Hochwertiges aus dem Vakuum

Beim Vakuumverfahren gibt es kaum Lufteinschlüsse und nur sehr geringen Harzüberschuss. Das Bauteil wird leichter, fester und im Gewicht exakter kalkulierbar. Dazu wird eine flexible Folie über die Form gelegt und am Rand abgedichtet, nachdem alle Verstärkungsmaterialien, wie Gewebe, Gelege oder Matten eingebracht und getränkt wurden. Das Luftvolumen zwischen Form und Folie wird abgesaugt. Das garantiert

Rein optisch sicher Geschmacksache. Technisch repräsentiert die QN32 das derzeit machbare in der Bootskonstruktion



ein vollständig durchtränktes Laminat. Überschüssiges Harz wird zwischen den Fasern herausgedrückt und vom „Abreißgewebe“ oder vom „Entlüftungsvlies“ aufgenommen.

Styrolämpfe entweichen nur in die Halle, solange die Form offen ist.

Eine Weiterentwicklung dieser Methode ist das „Injektionsverfahren“, das sich vor allem für die Serienfertigung anbietet. Mit entsprechenden geschlossenen Harzmischanlagen kann kein Styrol mehr unkontrolliert entweichen.

Bei diesem Verfahren werden die Verstärkungsmaterialien trocken in die Form eingebracht. Das Harz wird erst vom Unterdruck durch einen Schlauch in die Form gesaugt. Es kriecht durch die verdichteten Fasern und trinkt diese vollständig. Die eingebrachte Harzmenge kann man über einen Absperrschieber ziemlich exakt regeln.

Dieses Verfahren ist bei größeren Bauteilen aber nur für den Serienbau geeignet, weil die Form relativ aufwändig gestaltet sein muss und einige Vorversuche für die exakte Harzverteilung notwendig sind. Stimmen alle Voraussetzungen, kann dabei ein Bauteil in allerbesten Qualität entstehen.

Dieses klassische Vakuum- oder Injektionsverfahren dient vor allem der Gewichtsoptimierung und der Styrolreduktion.

Es ist nicht mit den Verfahren zu verwechseln, die manche Werften ebenfalls als „Injektionsverfahren“ bezeichnen, die aber das genaue Gegenteil von Gewichtsoptimierung hervorbringen. Dabei handelt es sich um ein Produktionsverfahren, das die Arbeitsabläufe optimieren soll.

Boote, die so gebaut sind, erkennt man an der auch innen glatten, optisch ein-

wandfreien Gelcoatoberfläche.

Solche zweischaligen Boote werden immer populärer und die Werften setzen auf den Preisvorteil. Eine Innenschale aus Kunststoff lässt sich rationeller herstellen als ein handwerklicher Ausbau mit Schotten und Stringer sowie eine nachträgliche Verkleidung der Rumpffinnenseiten mit einer Wegerung oder auch mit atmungsaktiven textilen Materialien.

Nachteil der zweischaligen Bauweise ist, neben anderen, dass in den Hohlräumen zwischen Außen- und Innenschale die Luftfeuchtigkeit kondensiert. Vor allem wenn die Bilge durch einen geschlossenen Doppelboden unzugänglich bleibt ist das kritisch. Dort sammeln sich im Lauf der Jahre etliche Liter Kondenswasser, die von dort nicht entfernt werden können. Das Boot verrottet zwischen diesen beiden Schichten und bekommt „Osmose von Innen“. Außerdem besteht die Gefahr, dass Schimmel oder andere Pilzkulturen gedeihen können.

Nach zahlreichen, mehr oder weniger gelungenen Versuchen der Werften, die Hohlräume mit expandierendem Schaum zu füllen, begegnen die Werften dem Thema in neuerer Zeit, indem sie die Hohlräume per Unterdruck mit Polyesterharz befüllen. Technisch spricht gegen die Methode, dass sie sehr viel überflüssiges Gewicht ins Boot bringt. Der Vorteil für den Kunden ist ein günstiger Preis ohne feuchte Hohlräume.

Auch bei ausgeschäumten Hohlräumen sprechen die Werften vom Injektionsverfahren. Damit kann durch entsprechende Konstruktion ein unsinkbares Boot entstehen. Es muss aber dauerhaft sichergestellt sein, dass wirklich nirgendwo Wasser eindringen kann. Eine un-

dichte Schraube an der Fußreling oder der Scheuerleiste kann im Lauf der Jahre gravierende Schäden anrichten. Auch wenn es sich um geschlossenzelligen Schaum handelt, heißt das nicht, dass dieser wirklich kein Wasser aufnimmt. Mit der Unsinkbarkeit kauft man ein Boot, dessen Verfallsdatum zwischen den Schalen steht und nicht zu lesen ist. Nachträglich eingebrachter Schaum ist in jedem Fall eine kritische Sache und man muss der Werft viel Vertrauen entgegenbringen, um ein solches Boot ohne „Bauchschmerzen“ zu kaufen. Hier muss der künftige Eigner die Vor- und Nachteile genau abwägen.

Spezielle Lösungen für spezielle Ansprüche

Eine andere, sehr vielversprechende Form im modernen Kompositbau ist die Verarbeitung von Prepregs. Das sind Verstärkungsmaterialien, die schon mit Epoxidharz getränkt sind, das bei Raumtemperatur aber fest ist. Prepregs werden besonders beim Bau von Carbonmasten oder anderen Bauteilen eingesetzt, wo es schwierig ist, flüssiges Harz zu handhaben.

Der Vorteil gegenüber der Injektionsmethode ist die von vornherein genau definierte Harzmenge und die gleichmäßige Verteilung, die ab einer gewissen Bauteilgröße problematisch werden kann. Das Harz muss keine weiten Wege zurücklegen, um die Fasern zu tränken, sondern ist schon im Gewebe vorhanden.

Die Prepregs werden in mehreren Lagen in die Form eingebracht, das gesamte Paket aus vorge-tränkten Gelegen mit Unterdruck an die Wandung gesaugt, das Harz per Wärme verflüssigt und gehärtet.

Das Problem bei der Verarbeitung von Prepregs ist, dass die Schichten in der Form nicht mehr verschoben werden können. Auch ist der Luftanteil, speziell bei dicken Paketen, noch relativ hoch. Dickwandige Bauteile müssen also in mehreren Arbeitsschritten eingebracht werden.

Bauteile aus Prepregs werden in „Autoklaven“ hergestellt. Laienhaft ausgedrückt sind das riesige „Backöfen“, in denen die klimatischen Bedingungen sehr exakt kontrolliert werden können. Außerdem brauchen die Arbeiter sehr spezielle Kenntnisse und Fertigkeiten. Der Aufwand beim Formenbau ist erheblich, weil die Form hohen Temperaturen ausgesetzt wird. Meistens werden dafür gefräste Metallformen verwendet. Eine Methode, die erst bei entsprechend hohen Stückzahlen wirtschaftlich ist. Dieser technische Aufwand lohnt sich für einen eher handwerklich ausgerichteten Werftbetrieb nie, wenn er seine Produktion nicht mit hochpreisigen High-Tech-Aufträgen auslasten kann.

Etwas anders sieht das bei der „Sprint“-Methode aus. Hier wird ein, bei Raumtemperatur fester Harzfilm, zwischen trockene Faserlagen gelegt. Harz und Verstärkungsmaterial werden also im trockenen Zustand und getrennt von einander in die Form gelegt. Nach dem Entlüften der Form und des Faserpakets wird dieses aufgeheizt, das Harz verflüssigt und vom atmosphärischen Druck zwischen den Fasern verteilt. Damit sind sehr hochwertige Laminatqualitäten möglich und der Aufwand beim Formenbau ist überschaubar. Die Verarbeitungstemperatur liegt noch in einem Bereich, in dem konventionelle Formen verwendet werden können. mh