



F.-P. Plaschke

Bootsbau mit Kunststoffen

Neue Techniken für den
Einzel- und Serienbau

Unsere Arbeitsanleitungen sind aufgrund sorgfältiger, erfolgreicher Material-Erprobungen zustande gekommen und entsprechen dem Stand der Technik. Dieser Erfolg ist jedoch an eine gewissenhafte Verarbeitung und an die beschriebenen Voraussetzungen gebunden. In allen anderen Fällen sind Eigenversuche unumgänglich. Beachten Sie bitte auch unsere Technischen Merkblätter. Eine Änderung der technischen Daten und der Handhabung unserer Werkstoffe bleiben im Zuge von Verbesserungen vorbehalten.

Im übrigen gelten unsere Allgemeinen Verkaufsbedingungen.

Copyright und Verlag:

Klaus-W. Voss, 2082 Uetersen

Esinger Steinweg 50, Tel.: (0 41 22) 7 17-0, Fernschreiber 2 18 526

1. Auflage 1977

Dipl.-Ing. F.-P. PLASCHKE

Bootsbau mit Kunststoffen

Neue Techniken
für den Einzel- und Serienbau

Ein Fachbuch der VOSSCHEMIE

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort	8
Planungshilfen für Entwurf und Herstellung eines Bootes	9
Warum ein Kunststoffboot?	10
Das Boot nicht zu klein planen!	10
Bauplatz unter freiem Himmel?	11
Wieviel Baufläche ist notwendig?	12
Das Werkzeug	13
Wie lange bis zum Stapellauf?	16
Polyester und Glasseide – zwei Partner, die sich ergänzen	18
Woraus besteht Fiberglas?	18
Die drei Teilbereiche einer Kunststoffwand	20
Werkstoffe für den Bootsbau	22
Einteilung und Eigenschaften der Bootsbauharze	22
Kleine Harzkunde	23
Feinschicht	26
Laminierharz	26
Farbversiegelung zur Verstärkung der LT-Lack-Deckschicht	28
Klebfreier Schlußlack	28
Farbpaste	29
Spachtelmasse und Füllmassen	30
Härtungssysteme	31
Warum tempern?	33
Die Temperkammer aus Folie und Dachlatten	34
Wie lange und bei welcher Temperatur nachhärten?	34
Verstärkungsmittel für UP-Harze	36
E-Glas als Verstärkungsmittel	37
Rovingstrang	39
Glasmatten	40
Glasgewebe	43
Glasgelege	43
Glaskomplexe	44
Verstärkungsmittel aus anderen Stoffen	46
Thermoplastische Polyester-Fasern	46
Aromatische Polyamid-Fasern	47
Kohlenstoff-Fasern	48

	Seite
Was bestimmt die Eigenschaften von Bauteilen aus GFK?	53
Einfluß der Harze	53
Harzsysteme und ihre Chemikalienbeständigkeit	54
Mechanische Eigenschaften der Harze	55
Einfluß der Glasverstärkungen auf die Laminatfestigkeit	56
Mehr Festigkeit mit wachsendem Glasanteil	57
Festigkeitsverhalten von Mattenlaminaten	59
Festigkeitsverhalten von Gewebelaminaten	60
Festigkeitsverhalten von Gelegelaminaten	61
Übersicht über die Eigenschaften von glasverstärktem UP-Harz	61
Dimensionierung und Berechnung von Bootsteilen	64
Vereinfachte Festigkeitsrechnung für Matten- und Gewebelaminat	64
Bemessen von Bootsteilen	65
Hinweise zur Dimensionierung	67
Alterungsvorgänge bei GFK-Booten	70
Wandungssysteme für Boote – Spezialharze für größere Boote	71
Glasverstärkungen und Harze richtig wählen	71
Festigkeitsverteilung in der Bootsschale	73
Handauflegen und Faserspritzen – die beiden wichtigsten Herstellungsverfahren für Boote	75
GFK-Teile richtig gestaltet und ausgesteift	79
Scharfe Kanten und plane Flächen verboten – richtige Formgebung für GFK-Teile	81
Wahl des geeigneten Bauverfahrens nach Stückzahl und Rumpfform	82
Warum die Negativform nicht vom Prototyp abnehmen?	85
Sandwichrumpfe vom Straklattenkern	85
Exakter Formenbau – Vorbedingungen für ein gutes Boot	86
Der Bau eines Leistenkerns	86
Das Fundament – die Helling	87
Mallen zur Formgebung	87
Das Aufplanken eines vollflächigen Kerns	89
Offenflächiger Kern	91
Bau einer Negativform aus Hartfaser- oder Schalungsplatten	93
Herstellen einer Negativform aus GFK für den Serienbau	102
Aussteifung und Herstellen der Teilungsebene bei einer GFK-Form	105
Welchen Wandungsaufbau benötigt eine Polyester-Negativform?	108

Die Bootsschale wird auflaminiert – praktischer Teil	111
Was braucht man an Werkzeugen und Reinigungsmitteln?	113
Auswahl und Einbringen von Trennmitteln	115
Bevor es losgeht	116
Feinschicht-Auftrag	117
Mehrfarbige Flächen auf einem Formteil	121
Das Zusetzen von Farbpasten	122
Auftapezieren von Matte und Gewebe mit Laminierharz	122
Temperatur und Topfzeiten von Laminierharzen	123
Hinweise zur Arbeit mit Glas und Harz	129
Falten und Stöße	129
Unterbrechen der Laminierarbeiten	130
„Naß in naß“ auftapezieren	130
Beseitigung von Unebenheiten und Luftblasen	130
Wann und womit die Ränder besäumen?	131
Deckschichten aus Farbversiegelung und LT-Lack	132
Häufige Fehler beim Auftragen von LT-Lack	135
Entformen – ein spannender Augenblick	135
Rentabler Einzelbau mit C-Flex-Beplankung	138
Was ist C-Flex und wie wird es eingesetzt?	139
Herstellen eines Bootskörpers mit C-Flex	141
Aufbau des Leistenkerns	141
Wie soll C-Flex verlegt und bearbeitet werden?	142
Hinweise zum Laminataufbau eines C-Flex-Bootes	145
Finish auf der Bootsaußenseite	145
Stringer, Spanten und Schotten zum Aussteifen von Bootskörpern	147
Gestalt und Aufbau von Stringern	147
Gestaltung von Spanten	149
Einbau von Schotten	150
Sandwichbau	151
Dimensionierung von Sandwich-Bauteilen	152
Auslegung von Booten mit PVC-Sandwich	152
Auslegung von Booten mit Balsa-Sandwich	152
Auslegung von Booten mit Schaumvlies-Sandwich	153
Krafteinleitung und Wanddickenänderung im Sandwich	154

	Seite
Sandwichbau in der Praxis	155
Bauarten für Sandwich-Boote	155
Anpassen und Lieferform der Kernschichten	155
Einbau von Kernmaterial	158
Die Verbindung verschiedener Bauteile und das Einleiten von Kräften .	161
G 4 – Haftvermittler für Polyesterharz auf anderen Werkstoffen	161
Montage und Vergießen von Teakstäben auf GFK-Decks	162
Kleben von GFK auf GFK	162
Nieten und Schrauben	163
Wie verbindet man Rumpf und Deck?	164
Verbindung von GFK-Rumpf mit GFK-Deck	164
Verbindung von GFK-Rumpf und Holzdeck	167
Einleiten von Kräften in Deck und Rumpf	170
Gestaltung und Einbau von Rüsteisen	170
Befestigung von Klampen, Winschen und Relingstützen	172
Motorenfundament als Längsträger in einem Motorboot	174
Mast an Deck	175
Balastbefestigung	177
Benzin- und Dieseltanks	178
Pflege von GFK-Booten	179
Fachausdrücke und ihre Bedeutung	181
Literaturverzeichnis	184

Vorwort

Ein wichtiger Grund für den Bootselbstbau ist die Möglichkeit, sein Boot ganz nach eigenen Vorstellungen zu gestalten. Das betrifft die Form, die Aufteilung und nicht zuletzt die Einrichtung. Es entsteht ein Boot nach eigenen Ideen, jenseits jeder Serien-Konstruktion. Eine realisierbare Chance für den erfahrenen Bootssportler.

Der Finanzbedarf für die Eigenkonstruktion beträgt etwa die Hälfte dessen, was ein Werftbau gekostet hätte. Bei gleichem Geldeinsatz können ein Sieben-Meter-Projekt zu einer neun, ein Neun-Meter-Projekt zu einer 11,5 Meter langen Realität werden. – Und welches Boot ist schon einen Meter zu lang?

Als Richtwert für die Kosten eines Schiffes kann folgende Regel gelten: Geht man von einem Projekt aus, dessen Kosten bekannt sind, so wird man für ein um 20 % längeres Boot die doppelten Kosten ansetzen können.

Doch es gibt noch einen anderen „guten Grund“, selbst Hand anzulegen: Da Lohnkosten auf dem Baukonto nicht erscheinen, eröffnet der Selbstbau den Weg zu einem kompromißlosen Qualitätsboot. Das betrifft einmal die Wahl der einzelnen Baustoffe (wie Harze und Verstärkungsmittel, Hölzer, Beschläge), zum anderen die Festlegung von Wanddicken, die Verankerung von Krafteinleitungen in den Rumpf, materialgerechte Formgebung oder den vorschriftsmäßigen Schotteneinbau.

Der vierte Aspekt für einen Eigenbau kann und sollte der Bootsbau als praktische Tätigkeit sein. Das Motorbootfahren oder Segeln kommt dann später. Hier geht es zunächst – oft für einige Jahre – um eine interessante Freizeit-Beschäftigung, deren Ergebnisse „faßbar“ sind. Sie kann deshalb für alle faszinierend sein, deren Werkzeug im Beruf der Schreibstift ist.

Ohne eine Wertung der Entscheidungsgründe vorzunehmen, kann man sagen: Gute Eigenbauten sind Symbole für Individualismus und das Streben nach Qualität.

F.-P. Plaschke

Planungshilfen für Entwurf und Herstellung eines Bootes

Von einem selbstgebauten Boot wird man gewiß recht genaue Vorstellungen haben, ehe man sich an den praktischen Teil heranmacht. Als erstes ist ein Riß für das Boot notwendig, der das Boot in Form und Größe festlegt. Meistens wird ein Riß von einem Konstrukteur gekauft oder bei Vereinskameraden vorhanden sein, manche Hobbybootsbauer fertigen ihn selbst an. Als Anleitung und Hilfe bei dieser Arbeit empfehle ich das Buch „Wie konstruiert und baut man ein Boot“, von Karl Marconi (1a) der das notwendige konstruktive Handwerkszeug vermittelt, und die Bücher von Juan Baader (1b, 1c), die man spätestens nach dem Vorentwurf lesen sollte. Für die Aufteilung und die Ausrüstung des Bootes gibt Hans Donat wertvolle Hinweise (2).



Eigenbau „Regina Maris“

Sie war mit den Maßen 14,80 m ü. A. / 12,40 m W. L., 3,65 m Breite und einer Verdrängung von 19 t im Jahre ihres Stapellaufs 1970 eine der größten Kunststoff-Yachten in Deutschland überhaupt.

Warum ein Kunststoffboot?

Glasfaser-Kunststoff bietet für den Bootsbau eine solche Vielzahl von guten Eigenschaften, wie sie kein klassischer Baustoff allein auf sich vereinigen konnte. Dazu gehören: Sehr gute Korrosionsbeständigkeit, weitgehend freie Gestaltungsmöglichkeit in Form und Festigkeit, geringes spezifisches Gewicht, absolute Dichtigkeit, geringer Pflegeaufwand, einfache Reparaturverfahren, gute Eignung sowohl für den Serienbau mit einer Form als auch für den Einzelbau, und das bei geringem Werkzeugbedarf.

Fragt man nach den Nachteilen dieses Werkstoffes, so meine ich, daß den dargestellten guten Eigenschaften „ebenbürtige Nachteile“ nicht entgegenzustellen sind.

Am störendsten kann der Planungsbedarf sein, weil z. B. Kräfteeinteilungspunkte für Klampen und Rüsteisen am einfachsten während des Rohschalenbaues herzustellen sind. Macht man so etwas später, wird der Aufwand größer sein. Der zweite Minuspunkt für den Kunststoff ist rein subjektiv und kommt lediglich beim Innenausbau zum Tragen. Der Nachteil des Kunststoffs besteht darin, daß er „kein Holz“ ist.

Ihm fehlen die optische Wärme, die Lebendigkeit der Maserung, der Klang und die einfache und schnelle Befestigungsmöglichkeit für Anbauteile, die das Holz eben besitzt. Immerhin erklären diese Mängel die Kombination von GFK-Rumpf mit einem Holzdeck und den – bei einem Serienprodukt – achtbar hohen Preis für ansprechende GFK-Schiffe. Sie beherbergen nämlich oft noch ein halbes Holzschiff in Gestalt von Verkleidungen (zum Beispiel im Salon-Bereich).

GFK ist ein ausgesprochen selbstbau-freundlicher Werkstoff. Er erfordert weder Spezial-Werkzeuge oder teure Bearbeitungsmaschinen, noch werden zu seiner Formgebung irgendwelche Kräfte benötigt. Schließlich fordert er vom Verarbeiter für das Herstellen eines Bauteils keinerlei Paßarbeit. Aufgrund dieser Eigenschaft allein ist GFK bereits der ideale Baustoff des engagierten Hobbyisten.

Das Boot nicht zu klein planen!

Am Anfang jedes Selbstbau-Projekts steht sicherlich die Frage nach der Art und Größe des Bootes in Abhängigkeit von zum Beispiel den Schlafplätzen, dem Fahrtrevier und der Länge der geplanten Reisen oder von anderen gewünschten Eigenschaften.

Bestehen über das zukünftige Boot noch keine detaillierten Vorstellungen, so wird bei Bemessung, Auslegung und Ausrüstung des Eigenbaus ein Wassersportkatalog gute Dienste leisten. Daraus wird schnell ersichtlich, daß vier getrennte Kojen eine küstenfahrttüchtige Segelyacht mit etwa sechs Metern Länge, mindestens 2,35 Metern Breite und mehr als 17.000,- DM als Kaufpreis erfordern.

Für längere Törns und für das Schiff als Urlaubsquartier ist Stehhöhe eine der besten „Segel-Eigenschaften“. Stehhöhe, optisch befriedigend eingrup-

piert, lassen eine Fahrten-Segelyacht über acht, am besten über 8,5 Meter lang werden und 2,5 bis 4 t wiegen. Ein Motorboot mit Stehhöhe ist bereits mit 6,5 m Länge optisch annehmbar.

Ohne auf die Überlegungen zur Bootsgröße näher einzugehen, hat sich als Längenmaß des Bootes der Fuß von 30,5 Zentimetern als bewährtes Rastermaß eingebürgert. Für die Breite ist der Dezimeter die Einheit, die man im Boot „fühlt“ und die etwas über das Platzangebot aussagt.

Motorboote kommen bei vier festen Schlafplätzen mit etwa 6,5 Metern aus. Die Mindestbreite aller Vier-Kojen-Schiffe – also auch der Segelboote – wird bei oder über 2,40 Metern liegen.

Bauplatz unter freiem Himmel?

Von einem Bootsbau unter freiem Himmel wird dringend abgeraten. Das Wetter in unseren Breiten ist so unständig, daß die für die Werkstoffe notwendigen Mindestbedingungen oft weder für die Verarbeitung noch für die Lagerung erfüllt sind. Das sind aber wichtige Qualitätsmerkmale.

Als Mindestausrüstung ist ein genügend großer Verschlag aus Holz mit durchsichtiger Baufolie anzusehen. Die Folie läßt genügend Licht zum Arbeiten herein und sorgt mit den ersten Sonnenstrahlen für akzeptable Tem-



Folienverschlag

Diese einfache Maßnahme sorgt bereits bei geringer Sonneneinstrahlung für die notwendige Mindest-Temperatur von 15 °C.

peraturen. Immerhin kann man sich mit so einem Folienverschlag an einen „Sommerbau“ wagen. Überspannt man das Holzgerüst mit Planen, ist man sicherlich auch den rauen Herbstwinden noch gewachsen.

So ein fliegender Zeltbau ist – streng genommen – genehmigungspflichtig, wird aber auf dem Klubgelände oder auf der Rückseite des eigenen Grundstückes niemand stören. Man wird das Bauamt aber kaum davon überzeugen können, daß dies Bauwerk „Bestandteil einer gärtnerischen Anlage“ im Vorgarten ist.

Ein größeres Bootsbau-Vorhaben wird sich stets in einem festen Gebäude vollziehen. Wird ein Teil eines größeren Gebäudes (Halle, Scheune) benutzt, so wird man den Bauplatz mit Folienwänden abtrennen, damit man den Arbeitsraum schneller und billiger temperieren kann.

Die wichtigste Eigenschaft eines Bauplatzes ist jedoch seine Entfernung zur eigenen Wohnung: Je näher desto besser.

Der Baufortschritt steht und fällt mit dem „Quadrat der Entfernung“. Die Bearbeitung der Teile im Keller oder Hobbyraum und die Selbstbauwerft gleich hinter dem Haus, das ist ein goldenes Rezept, zumal für Familienväter. Lange Anreisewege lassen manche freie Stunde für das Boot ungenutzt und können ein Projekt zu Fall bringen. Nichts ist also wichtiger als die Standortwahl.

Ist der Bauplatz doch weiter entfernt, so ist ein abschließbarer Raum immer noch Silber wert. Man kann die Werkzeuge dort aufgebaut lassen.

Das absolute Minimum ist eine abschließbare Kiste als Werkzeugaufbewahrung, wenn man den Platz mit Fremden teilen muß.

Wieviel Baufläche ist notwendig?

Sind die Hauptmaße festgelegt, so wird entschieden, auf welche Weise das Boot entstehen soll. Beim Bau über einen Kern wird der Platzbedarf am geringsten sein. Lediglich zum Umdrehen benötigt man für kurze Zeit relativ viel Platz.

Die Werkstatt muß auch genügend Höhe besitzen. Das ist besonders beim Entformen des Rumpfes aus einer nichtteilbaren Negativform wichtig. In jedem Fall wird ein kräftiger Balken, eine Kranbahn oder ein Dreibein beim Bewegen der Formen und bei der Entformung gute Dienste leisten. Der Raum sollte mindestens um einen Meter höher sein als die höhere der beiden Formen oder das höhere Formteil, sofern die Entformung oder das Drehen der Bootsschale sozusagen draußen vor der Tür geschieht.

Soll im Raum entformt, gedreht oder Rumpf und Deck montiert werden, sind entweder die doppelte Rumpf- oder Deckshöhe zum Entformen aus einer einteiligen Form oder Rumpf- + Deckshöhe + 1 Meter notwendig.

Die Werkstatt soll die Bootslänge um zwei, mindestens aber einen Meter überragen und ein genügend großes Tor besitzen!

Die in der nebenstehenden Tabelle stets wiederkehrenden Zusatzbreiten

erklären sich aus den Laufgangbreiten von einem Meter und dem Platz für den Glas-Zuschneidetisch von 1,50 Metern, wo später Regale und Werkbank Platz finden.

Der teilweise Abbau der Werkstatt anstelle eines genügend großen Tores sollte nur dann in Betracht gezogen werden, wenn man auf eigenem Grund und Boden baut. Mit dem bereits zitierten Holzverschlag als Leichtbau-Werkstatt hat man diese Probleme nicht.

Bauvorhaben	Werkstatt-Länge	Werkstatt-Breite	Bemerkungen
Mit nur einer Platten-Negativform	Formenlänge + 2 m	Formenbreite + 3,5 m	Wenn in der Gegenform erst später gearbeitet oder ein Holzdeck aufgelegt wird.
Mit einem Formenpaar aus Platten oder GFK, die gleichzeitig bearbeitet werden	Formenlänge + 2 m	2 x Bootsbreite + 4,5 m	Bei einer Plattenform anzuraten, da sie nicht bewegt und wieder ausgerichtet werden muß. Kürzeste Laminierzeit, weil umschichtig in beiden Formen gearbeitet werden kann.
Mit einer teilbaren Rumpfnegativform	Formenlänge + 2 m	2 x Bootsbreite + 4,5 m	Abstellplatz für zweite Form notwendig.
Mit Strakleisten oder Vollkern	Formenlänge + 2 m	Bootsbreite + 3,5 m Zum Drehen: 2 x Bootsbreite und Bootshöhe + 1,5 m	Zum Drehen des Rumpfes in der Werkstatt sind kräftige Befestigungspunkte für die Flaschenzüge erforderlich.

Platzbedarf für das Selbstbauboot

Das Werkzeug

Beginnen wir bei der Energie: Ein Stromanschluß wird vorhanden sein, um Lampen, darunter auch einen beweglichen Strahler und Elektrowerkzeuge betreiben zu können. Das ist besonders später beim Ausbau wichtig. Als zweite Energieart ist für gewerbliche Bootsbauer Preßluft vorteilhaft. Sie kann als Entformungshilfe und zum Betrieb exgeschützter Maschinen eingesetzt werden.

Für die Arbeit mit den Kunststoffen ist ein Glastisch zum Abziehen, Zureißen oder Zuschneiden von Matten- und Gewebbahnen eine gute Hilfe. Die Rollen wiegen bis zu 80 kg und sind bis zu 1,30 Meter breit und 40 Zentimeter dick.



Selbstgebauer Glasständer und -tisch

Die Verstärkungsmittel haben damit einen festen Platz in der Werkstatt. Sie bleiben sauber, sind gut zu hantieren, und die Teilstücke sind schnell abgemessen.

Durch das Papprohr in der Mitte wird als Achse ein Metallrohr von einem Zoll Durchmesser gesteckt. Damit wird die Rolle in den Rahmen von etwa 1,4 Metern lichter Breite am Ende des Tisches eingehängt. Die Glasbahn kann von dort einfach abgerollt und auf der 1,30 Meter breiten, mindestens 4 Meter langen und etwa 0,75 Meter hohen Tischplatte abgemessen, abgetrennt und zwischengelagert werden.

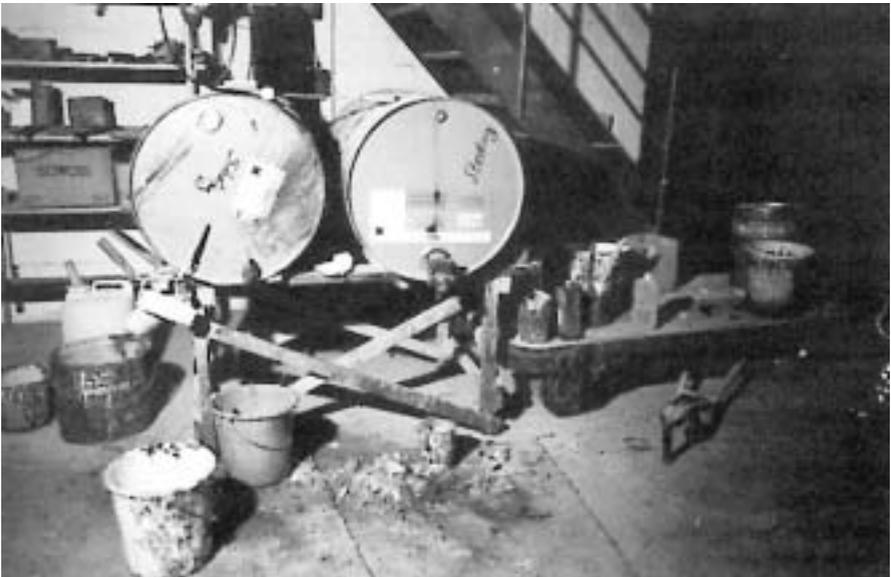
Weiter ist ein Faßbock wichtig, da die Fässer liegend aus der großen Öffnung (bei Laminierharz) oder über die kleine Öffnung (bei Reinigungsmitteln) entleert werden. Es kann auch ein fahrbarer Faßbock bezogen werden, der zugleich als Faßtransporter verwendbar ist.

Außer diesen beiden Vorrichtungen sind für die Laminierarbeiten nur handbetriebene Werkzeuge wie Fell- und Scheibenroller oder Pinsel notwendig. Für die Ausrüstung der Schale mit Beschlägen und für den Innenausbau sind dann zumindest eine Heimwerkerbohrmaschine mit Zusatzaggregaten (Kreissäge, Schleifbock, Schleifstein) samt entsprechenden Werkzeugen Bedingung. Stichsäge, Schwing- oder Bandschleifer werden gleich als komplettes Aggregat gekauft! Ein leichter Bandschleifer ist für alle Bauweisen mit zunächst rauher Außenhaut, wie z. B. C-Flex-Bau, das ideale Werkzeug zum Glätten.



Fahrbarer Faßbock

Dieser Faßbock dient zusätzlich als Transportmittel für die Fässer. Außerdem kann das liegende Faß darauf gedreht werden.



Selbstgebauter Faßbock

Der Bock sollte etwa 50 Zentimeter hoch sein. Dann kann man die Fässer durch Kippen auflegen, und ein 10-Liter-Eimer hat gut unter dem Faßhahn Platz.

Sägen Feilen, Raspel, Hobel, Schraubzwingen, Schraubstock, Wasserwaage, Winkel, Zirkel und die komplette Werkzeugkiste von zu Hause werden mit in die Werkstatt eingegliedert, oder vielleicht doch neu angeschafft, sofern die eigene Werft nicht in Reichweite des Hauses ist.

Wie lange bis zum Stapellauf?

Diese Frage wird man nicht einmal für sich selbst, geschweige denn für andere beantworten können.

Die Kunststoff-Arbeiten gehören sicherlich noch zu der Arbeitsphase, die am genauesten auf ihren Zeitbedarf hin abgeschätzt werden kann. Rechnet man damit, daß man je Stunde etwa 8,5 kg Mattenlaminat und etwa 6,5 kg Rovinggewebe-Laminat herstellen kann, so wird man bei einem glatten Rumpf richtig liegen. Für ein Deck mit seinen kleineren Flächenpartien sinkt die Stundenleistung auf 5,5 bzw. 4,5 kg Laminat oder weniger für eine Arbeitsstunde, je nach Schwierigkeitsgrad.

Für gewerbliche Verarbeiter mag die nebenstehende Tabelle interessant sein. Die Zeiten wurden über Jahre in einem Betrieb mit weitgestreutem Produktionsbereich ermittelt. Die dargestellten Durchschnittswerte sind für einfache Teile wie gerade Platten um 30 % zu vermindern. Stark verformte Teile liegen bis zu 100 % über den Tabellenwerten.

	min/m ²		min/m ²
1. Matten bzw. Gewebe zuschneiden	0,50	9. Roving 900 g/m ² laminieren	16,15
2. Form wachsen	5,00	10. Rovingstrang 150 g/m ² spritzen	1,64
3. Gelcoat spritzen bei kleinen Flächen	2,00	11. Rovingstrang 200 g/m ² spritzen	1,75
3a. Gelcoat spritzen bei größeren Flächen	1,20	12. Rovingstrang 150 g/m ² verdichten	3,26
4. Matte 450 g/m ² laminieren	11,25	13. Rovingstrang 200 g/m ² verdichten	4,05
5. Matte 225 g/m ² laminieren	8,00	14. Entformen (einfache Teile)	2,00
6. Matte 150 g/m ² laminieren	7,00	15. Entformen (schwierige Teile)	4,51
7. Matte 300 g/m ² laminieren	9,50		
8. Roving 580 g/m ² laminieren	12,40		

Ausgewählte effektive Arbeitszeiten (3)

Wie schnell man bei der Arbeit vorankommt, ist sicherlich auch von der Zahl der Bauschaffenden abhängig. Bei der Kunststoff-Arbeit kann ein Drei-Mann-Team Hand in Hand arbeiten.

Das Ansetzen von Harz und Zupassen der Verstärkungen übernimmt der erste Mann, Nr. 2 plaziert und tränkt die Lagen in oder auf der Form. Der Dritte im Bunde entlüftet das Laminat mit dem Scheibenroller.



Leichtbauweise mit Balsa-Holz

Dieser Dreivierteltonner besitzt einen sehr leichten Balsa-Sandwich-Rumpf und wiegt daher voll ausgerüstet – bei einer Länge von 10,25 m und einer Breite von 3,27 m – nur 3.950 kg mit einem Ballastanteil von 2.100 kg. Als Normalbesegelung trägt die CARAT 48 m² Segelfläche (Werkfoto: CARAT Yachten).

Übernimmt der erste Mann die Plazierung der Glasbahnen und ist der „Tränker“ sehr schnell, kann noch ein vierter Mann an einer zweiten Scheibenrolle mitbeschäftigt werden.

Bis auf das Laminieren und die Kraftakte wie Entformung, Drehen des Rumpfes oder Aufsetzen des Decks bilden zwei Mann eine gute Teamgröße, speziell dann, wenn beide zusammen zwei gleiche Rohschalen bauen, die nach der Rohteil-Montage – bei unterschiedlichem Ausbau – oder nach Fertigstellung **verlost** werden.

Was den gesamten Zeitaufwand zum Bau des Bootes betrifft, so werden auch zwei handwerklich begabte und fleißige Selbstbauer im Team für zwei 9-Meter-Segelyachten mindestens zwei Jahre benötigen. Dann muß man sich aber praktisch nur dem Boot widmen, einschließlich zweier Jahresurlaube und ausschließlich der 40 Stunden pro Woche, die man des täglichen Brotes wegen „fremdarbeitet“.

Polyester und Glasseide – zwei Partner, die sich ergänzen

Bis in das Extrem gezüchtete Werkstoffe haben ähnliche Schwierigkeiten wie Spezialisten im Berufsleben: Zur Lösung eines vielschichtigen Problems sind zuweilen zwei von ihnen notwendig, die sich gut ergänzen.

Glasfaser-Kunststoff ist so ein zusammengesetzter Stoff, der dem Verarbeiter eine Vielzahl von Variationsmöglichkeiten eröffnet, verglichen mit den vorgefertigten klassischen Werkstoffen wie Schicht- oder Brettholz, Metallprofilen und Blechen.

Die nebenstehende Tabelle greift zwei für den Bootsbau interessante Merkmale heraus und zeigt daran die Vorteile, die GFK gegenüber den klassischen Werkstoffen besitzt.

Trotz der Gegenüberstellung von nur zwei Eigenschaften werden die freie Gestaltbarkeit, die fehlende Paßarbeit und der im Kunststoff vorhandene Korrosionsschutz als wesentliche Vorteile deutlich.

Das Entstehen des Baustoffes in oder auf der Form aus einem festen und einem flüssigen Teilstoff (Komponente) ist ein Prinzip, das von vornherein eine Fülle von Möglichkeiten der Formgebung und Verstärkung in sich birgt, die kein Halbzeug wie Eisen, Bleche oder Holzbohlen besitzt.

Woraus besteht Fiberglas?

Verstärkte Kunststoffe bestehen aus einer **Verstärkung** (Armierung), die in einen Mutterstoff (Matrix) eingebettet wird. Als Verstärkungen werden im wesentlichen Glasmatten oder sogenannte Rovinggewebe und Rovinggelege aus E-Glas verwendet. Sie werden in einer Form oder auf einem anderen geeigneten Untergrund – wie Schaumplatten beim Sandwichbau oder auf einer C-Flex-Bepunktung – lagenweise aufgeschichtet, **laminert**, und dann als **Laminat** bezeichnet.

Merkmal	Holz		Metall		GFK	
	Maßnahmen	Bemerkungen	Maßnahmen	Bemerkungen	Maßnahmen	Bemerkungen
Verdicken eines Bauteils, z. B. um eine Kraft einzuleiten	Zusatzstück aufleimen oder aus dem Vollen arbeiten	aufwendig; schwer; eckig oder Nacharbeit erforderlich; großer Materialverlust	kleben; aufschweißen oder aus dem Vollen arbeiten	Verzug im Untergrund; eckig; Gefügeänderung; korrosionsanfällig; großer Materialverlust; schwer; zeitintensiv	entsprechende Formgebung u. Auftapezieren zusätzlicher Glaslagen	stufenloser Übergang; gezieltes Einlegen von Verstärkungen in Krafrichtung, daher minimales Quadratmeter-Gewicht; ohne besondere Maßnahmen in den Bauprozess einzubeziehen
Wölbung bei einem Lukendeckel	Rahmen aus Schnittholz, passen, fügen, leimen; Bodenfläche aus 2 Schichtholzplatten passen und leimen; lackieren	verschiedene Werkstoffarten notwendig; Paßarbeit; sehr viele Arbeitsgänge; Nachbehandlung erforderlich.; nur einseitige Wölbung möglich	Blech-zuschnitte herstellen, biegen, passen; aufschweißen, putzen; sandstrahlen und lackieren	vorzugsweise eckig; Verformungsenergie notwendig; aufwendige Werkzeuge notwendig; fügen, Nachbehandlung; nur einseitige Wölbung möglich	entsprechende Formgebung	einteiliges Werkstück, daher kein Zerschneiden, passen und fügen; keine Nachbehandlung notwendig, wenn Form vorhanden; evtl. transparent; sphärische Wölbung möglich

Vorteile von GFK bei den Gestaltungsmerkmalen Verdickung und Wölbung

Da zum Beispiel die Gewebe ihre größte Festigkeit in den beiden Fadenrichtungen haben, hat das Laminat ebenfalls sogenannte Vorzugsrichtungen mit besonders großer Zugfestigkeit. Von einer lose gewebten Tischdecke ist so ein unterschiedliches Festigkeitsverhalten her bekannt. Zu einem Parallelogramm „verformen“ kann man die Decke nur, wenn man bei der quadratischen Decke über Eck zieht, nicht aber, wenn die Zugrichtung parallel zu den Rändern liegt.

Bleiben wir noch einen Moment bei dem Tischdeckenbeispiel und legen wir zwei Decken zu einem Ministapel übereinander. Zieht man wie vorher über Eck, so wird man jetzt die doppelte Kraft anwenden müssen. Die Festigkeit parallel zu den Kanten – also in Längs- und Querrichtung – hat sich durch die zweite Decke auch verdoppelt. Aber es ist keine Schwierigkeit, die zweite Decke hochzuheben, da in Hochrichtung keinerlei Verbindung zwischen den beiden Decken besteht.

Auf ein Laminat aus Harz und Flächenverstärkungen – wie zum Beispiel Rovinggewebe – übertragen, bedeutet das eine sehr kleine Festigkeit in Hochrichtung, verglichen mit den Eigenschaften in Längs- und Querrichtung. Für die Festigkeit senkrecht zu einer Laminatfläche ist deshalb allein die Festigkeit des unverstärkten Harzes maßgebend.

Da man keine festen Stoffe innig miteinander verbinden kann, muß die **Matrix** zum Einbetten der Verstärkung zunächst ein flüssiges Harz sein und erst nach einer festgelegten Spanne, **der Topfzeit**, in den festen Zustand übergehen.

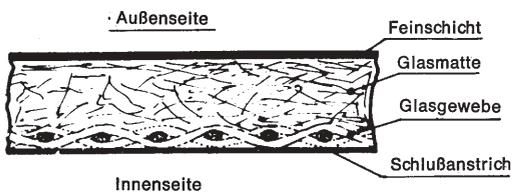
Als Matrix- oder Laminierharze beherrschen ungesättigte Polyesterharze, gelöst in Styrol, den Bootsbaus mit verstärkten Kunststoffen.

Zu den wenigen Ausnahmen gehören zum Beispiel Rennruderboote aus Epoxidharzen, armiert mit Fasern aus aromatischen Polyamiden und Kohlenstoffsträngen.

Mit Glasfasern verstärkte Kunststoffe werden als Glasfaser-Kunststoff, abgekürzt **GFK**, bezeichnet.

Die drei Teilbereiche einer Kunststoffwand

Bootsrümpfe haben in der Mehrzahl massive GFK-Wandungen. So eine Voll-Wand hat auf der wasserbelasteten Außenseite und auf der witterungsbelasteten Innenseite unverstärkte, also reine Harzschichten von etwa 0,5



Massive GFK-Wand aus Glasfaser-Kunststoff

Die Wand besteht aus einer Feinschicht (Gelcoat) als äußere Deckschicht, dem tragenden Wandteil aus Glas + Harz in der Mitte und einer inneren Deckschicht aus dem Schlußlack (Topcoat).

Millimetern Dicke als **Deckschichten**. Diese Schutzschichten verhindern das Eindringen flüssiger Bestandteile in die tragende Wand aus Glas und Harz.

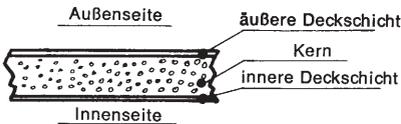
Als **Feinschicht** oder **Gelcoat** wird so eine Harzschicht dann bezeichnet, wenn sie als **erste** und damit von vornherein **glatte Schicht** in ein Negativform eingebracht und dann erst mit Glas-Harzlagen hinterfüllt wird. Alle anderen Wandungsaußenseiten bezeichnet man als **LT-Lack** oder **Topcoat**. Sie werden also stets auf den bereits erstellten und zunächst rauhen, tragenden Wandteil als **letzte Schicht** aufgetragen.

Für beide Deckschichtarten ist eine Mindestdicke von 0,5 mm anzustreben. Deckschichtharze besitzen eine höhere Bruchdehnung als Laminierharze. Sie sind vom Hersteller oder werden vom Verarbeiter selbst eingefärbt. Beschädigte Deckschichten beeinträchtigen die Lebenserwartung eines Bauteils.

Die tragende Wand zwischen den Deckschichten besteht aus geeigneten Laminierharzen, in die – sozusagen zur Kräftigung – Verstärkungen eingebettet sind. Glasmatten von 225 g/m², 300 g/m², 450 g/m², vereinzelt auch 600 g/m² oder Rovinggewebe von 580 g/m², 670 g/m², 800 g/m² oder 900 g/m² werden im Bootsbau am häufigsten verwendet.

Unter den äußeren Deckschichten wird mindestens eine, besonders hoch wasserbelastbare Glasmatte von 300 g/m² eingesetzt. Dahinter folgen Matten und Gewebe im Wechsel. Je größer der Gewebe-Anteil, desto zug-, druck- und biegesteifer wird die Wandung bei konstanter Schichtdicke.

Bootsdecks sind in den waagerechten, begangenen Flächen meistens als Sandwich gestaltet, also als eine dreiteilige Wandung aus zwei GFK-Deckschichten, die eine Mittel- oder Kernschicht aus PVC-Schaum, Balsaholz bzw. Vlies P 2424 enthält. Diese Konstruktion ist dem Doppel-T-Träger nachempfunden. Seine breiten Flanschen oben und unten werden durch den Mittelsteg lediglich auf Abstand gehalten und gegen ein Verschieben in Längsrichtung gesichert. Dieser niedrig belastete Steg ist dem Kern im Sandwich vergleichbar. Er kann also folgerichtig aus einem sehr leichten Material, zum Beispiel aus Schaumstoff, bestehen.



Sandwichwand mit GFK-Deckschichten

Bei dieser Konstruktion umschließen zwei GFK-Schichten einen leichten (Schaum-) Kern.

Für die Sandwich-Wand gilt das bereits für die Voll-Wand Gesagte. Unter den äußeren Schichten aus reinem Harz liegt diesmal eine durch den Kern in der Mitte aufgeteilte Glas-Harzwand. Da die beiden Schichten den Kern abdecken, werden sie ebenfalls als Sandwich-Deckschicht bezeichnet. Hier liegt eine gewisse Verwechslungsgefahr mit Gelcoat und Topcoat (Deckschichten aus unverstärktem Harz für die Vollwand) vor.

Werkstoffe für den Bootsbau

Der Einblick, der hier in die Werkstoffe gegeben wird, orientiert sich nur am Bootsbau. Die für dieses Arbeitsgebiet wichtigen Stoffe werden besprochen. Weitere Informationen gibt Ihnen das Buch „GFK – Glasfaser-Polyester-Kunststoffe“ der VOSSCHEMIE.

Für Beiboote und kleine Jollen gewinnen schmelzbare Kunststoffe (Thermoplaste) an Bedeutung. Größere Kunststoffboote sind aus Harzen hergestellt, die zu den durch Wärmezufuhr nicht wieder aufschmelzbaren **Duroplasten** gehören. Bis auf vereinzelte Ausnahmen wird als Harz für Feinschichten, Schlußlacke, Laminierharze und Spachtelmassen **ungesättigtes Polyesterharz**, kurz **UP-Harz**, verwendet.

Einteilung und Eigenschaften der Bootsbauharze

Die in reiner Form festen Polyesterharze sind für die Verarbeitung in Styrol, einem ebenfalls ungesättigten und daher reaktionsfähigen Lösungsmittel gelöst und so verflüssigt. Polyesterharze und Styrol verbinden sich beim Festwerden untereinander (sogenannte **Mischpolymerisation**). Diese Verknüpfung ist nicht nur fadenförmig wie bei den schmelzbaren Thermoplasten, sondern ist als räumliches Gitterwerk ausgebildet.

Die ungesättigten Polyesterharze sind transparent mit leichtem Blau- oder Gelbschimmer. Dem bei der Anlieferung flüssigen Harz wird vom Verarbeiter ein **Härter** (Katalysator) zugemischt, der das Harz nach einer bestimmten Zeitspanne, der **Topfzeit**, vom flüssigen Zustand, über eine **Gelphase** von wenigen Minuten, schließlich **fest** werden läßt. Da diese Härter erst bei Temperaturen von 50 bis 80 °C in Tätigkeit treten, ist für die kalthärtenden Systeme beim Bootsbau ein **Beschleuniger** (Aktivator) notwendig. Dieser Beschleuniger läßt den Härter bereits bei Raumtemperatur aktiv werden (zerfallen).

Der Beschleuniger kann dem Harz bereits beigemischt sein (beschleunigte Harze) oder kann je nach Erfordernis vom Verarbeiter dem Harz zugegeben werden. Die Beschleunigermenge richtet sich nach der herrschenden Temperatur und der gewünschten Topfzeit.

Geht das ungesättigte Polyesterharz vom flüssigen in den festen Zustand über, so gibt es dabei Wärme ab (**Polymerisationswärme**). Diese Wärmeentwicklung kann beim gemeinsamen Härten von Verstärkungsschichten mit mehr als 3,5 Millimetern Dicke in einer Form oder von Schichten mit mehr als 2,5 Millimetern Dicke auf einem Schaumkern (z. B. beim Sandwich) zu stark verkürzten Verarbeitungszeiten und zu verstärktem Schrumpf führen.

Der **Schrumpf** von UP-Harzen ohne Füllmittel beträgt 8 % im Volumen und 2 % in einer Richtung. Dünne Harzschichten wie Gelcoat und Topcoat schrumpfen zur Hauptsache in der Höhe und bilden in Länge und Breite

kaum Vorspannung. Verstärkte Lamine schrumpfen in der Länge um weniger als 0,1 % (= 1 Millimeter je Meter).

Hierbei wirken die Verstärkungsmittel einer Längenänderung in Breite und Länge entgegen, so daß sich die Schrumpf-Bewegung zum größten Teil als Verminderung der Dicke auswirkt, also nicht störend in Erscheinung tritt.

Kleine Harzkunde

Harze können nach sehr verschiedenen Gesichtspunkten unterteilt werden:

1. Nach ihrem **Einsatzort** innerhalb der GFK-Wandung:
 - a) Feinschichtharz (Gelcoat) bildet die wasserbelastete Seite von in Formen hergestellten Booten. Sie werden mit einem „G“ vor der Kennzahl bezeichnet, z. B. G 326.
 - b) **Laminierharz** (Gieß- oder Matrixharz) umschließt die Verstärkungsmittel im tragenden Wandteil. Die der Luft zugekehrten Harzfläche härtet klebrig aus. Sie werden mit den Buchstaben O, I, N, H (siehe unten) vor der Kennzahl bezeichnet, z. B. I 26.
 - c) **Farbversiegelung** als zusätzliche eingefärbte, reine Harzschicht bei Booten, die auf der wasserbelasteten Seite einen LT-Lack als Deckschicht erhalten. Die der Luft zugekehrte Fläche härtet klebrig aus. Sie sind meistens beschleunigt und thixotropiert, z. B. N 35 BT.
 - d) **Schlußlack** (LT-Lack, Topcoat) als Deckschicht für alle nicht in einer Form hergestellten Boote und auf der Laminat-Rückseite bei Booten aus einer Negativform. Die der Luft zugekehrte Fläche härtet klebfrei aus. Er wird mit LT vor der Kennzahl bezeichnet, z. B. LT 35.
 - e) **Schnell-Reparatur- und Montageharze** sind Harze mit Topfzeiten von 5 bis 8 Minuten für kleine Reparaturen und zum Befestigen kleinerer Einbauten. Die der Luft zugekehrte Fläche härtet klebfrei aus. Beispiel: KR-Harz.
 - f) **Klebharze** sind Harze mit Zusätzen für eine Verdickung und eine verbesserte Haftung. Teilweise muß der Haftzusatz als zusätzliche Komponente kurz vor der Verarbeitung vom Verarbeiter zugemischt werden. Isophthalharze können zum Kleben oft in Lieferform verwendet werden, wie z. B. I 25 B.
2. Nach charakteristischen **Harz-Bestandteilen** oder dadurch bedingte, spezielle Eigenschaften:
 - a) **Orthophthalsäure-Harze** sind Standardharze, die bis 1973 die Basis aller Bootsbauharze bildeten. Heute werden sie für nicht ständig wasserbelastete Teile wie kleinere Boote eingesetzt, die nicht die ganze Saison über im Wasser liegen. Kennbuchstabe O vor der Kennzahl.
 - b) **Isophthalsäure-Harze** weisen eine gute Wasser- und Chemikalien-Beständigkeit auf. Sie sind nach dem heutigen Stand der Technik für

Harzbezeichnung	Kennzeichnende Eigenschaften	Andere Eigenschaften	Verarbeitungsverfahren	Hauptverwendungsgebiete	Bemerkungen
Feinschicht G 301 B	hochelastische Feinschicht	beschleunigt, Reißdehnung 7,1 %	Pinsel, ggf. Spritzpistole	kleine Boote und Trailerboote	besonders schlagzähe Einstellung
Feinschicht G 326 B und G 327 B	Isophthalsäure-Feinschicht	beschleunigt, Reißdehnung über 3 %	Pinsel, ggf. Spritzpistole	kleine, mittlere u. große Boote	besonders gut geeignet für wasserbelastete Lamine
Laminierharz VISCOVOSS AZUR	beschleunigtes Standardharz	hochreaktiv, thixotrop, mit Farb-indikator	Hand- und Faser-Spritzverfahren	kleine offene Boote	Universalarharz mit sehr guten Tränkeigenschaften
Laminierharz BE	beschleunigtes Standardharz	mittelreaktiv	Hand- und Faser-Spritzverfahren	s. o.	Universalarharz mit guten Tränkeigenschaften
Laminierharz LEGUVAL N 50	Standardharz, niedrige Viskosität	mittelreaktiv	Hand- und Faser-Spritzverfahren	große Formteile, Wasser- und Dieseltanks	sehr gute Tränkeigenschaften; GL-Zeugnis
Laminierharz i 25 B	verbesserte Wasserbeständigkeit; vorbeschleunigt; Basis: Isophthalsäure	hochreaktiv	Hand- und Faser-Spritzverfahren	mittlere und größere Boote, für Verklebungen	wasserbelastete bei erhöhten Anforderungen (GL-Zeugnis)
Laminierharz i 26 B	verbesserte Wasserbeständigkeit; Basis: Isophthalsäure	hochreaktiv vorbeschleunigt	Hand- und Faser-Spritzverfahren	mittlere und größere Boote, für Verklebungen	wasserbelastete Lamine bei erhöhten Anforderungen;
Schnellversiegelg. N 35 BT u. N 36 BT	verbesserte Beständigkeit; Basis: Neopentylglykol	vorbeschleunigt auf 20 Minuten Topfzeit	Rolle, Pinsel oder Spritzpistole	Verstärkung des Topcoats bei mittleren und großen Booten	gute Beständigkeit u. gute Farbpaatenverträglichkeit
Schlußlack LT 30 B	Standard-LT-Lack, Basis: Orthophthalsäure	vorbeschleunigt; mattglänzend; farblos	(Rolle +) Pinsel	bei kleinen u. großen Booten innen	sehr gute Witterungsbeständigkeit
Schlußlack LT 35 B u. LT 36 B	verbesserte Beständigkeit; Basis: Neopentylglykol	vorbeschleunigt; mattglänzend; farblos	(Rolle +) Pinsel	bei mittleren und großen Booten innen und außen	gute Wasser- und Chemikalienbeständigkeit; bis + 10 °C verarbeitbar

Feinschichten, Laminierharze, Schnellversiegelung und Schlußlacke für den Bootsbau

den Bau mittlerer und größerer Boote unter den Gesichtspunkten: Wasserbeständigkeit, Verarbeitbarkeit, Verarbeitungsbedingungen und Preis als optimal zu betrachten. Kennbuchstabe i vor der Kennzahl, z. B. i 26.

- c) **Neopentylglykol-Harze** besitzen ebenfalls gute Lebenserwartungen bei Wasserlagerung und bei leichter Temperaturbeanspruchung. Ihr Einsatz könnte bei im Mittelmeer liegenden Booten gerechtfertigt sein, vor allem dann, wenn sie ständig im Wasser bleiben. Kennbuchstabe N vor der Harzkennzahl.
- d) **Chlorparaffin- bzw. Hetsäure-Harze** haben beide mit bestimmten Zusätzen ein flammwidriges Verhalten. Sie sind für den Bau von Rettungsbooten interessant. Es ist zu überlegen, ob sie nicht auch in feuergefährdete Bereiche eines Sportschiffes gehören, z. B. in den Maschinenraum.

Sie werden mit einem H vor der Kennzahl bezeichnet.

GL = Germanischer Lloyd
 LEGUVAL = eingetragener Name für Polyesterharze der Firma BAYER

3. Nach der Konfektionierung:

- a) **Beschleunigte Harze** sind vom Hersteller ausgerüstet mit Kobaltbeschleuniger (möglich bei Feinschichten, Laminierharzen, Schlußlacken) oder mit Aminbeschleuniger (möglich bei Reparatur- und Montageharzen).

Die Kennzeichnung „B“ hinter der Harzbezeichnung gibt an, daß bereits Beschleuniger (Aktivator) enthalten ist. Die Harze AZUR, BE und KR sind stets vorbeschleunigt.

- b) **Unbeschleunigte Harze** können alle unter 1a bis f genannten Harze sein, lediglich das Reparatur- und Montageharz KR unter 1e ist nur mit Beschleuniger lieferbar.

4. Anhand der **Durchhärtungsgeschwindigkeit**:

- a) **Schwachreaktive Harze** spielen für den Bootsbau keine Rolle.
b) **Mittelreaktive Harze** haben einen gemäßigten Härungsverlauf. Sie werden gern für den Bau größerer Boote eingesetzt.
c) **Hochreaktive Harze** haben nach der Topfzeit eine zeitlich kürzere Härungsphase.

5. Nach ihrem **Fließverhalten**:

- a) **Normale Einstellung**, wobei die Harze durch Zugabe von etwas Styrol zusätzlich auf eine optimale Laminierviskosität gebracht wurden, z. B. BE-Harz.
b) **Thixotrope Einstellung**, solche leicht zähflüssig eingestellten Harze laufen von der Senkrechten nicht ab, sind aber beim Auftragen und Auswalzen fließ- und tränkfreudig.
Kennzeichen „T“ hinter der Kennzahl, z. B. N 35 BT.

6. Nach der **Wärmestandfestigkeit**:

Diese Eigenschaft wird in einem genormten Meßverfahren ermittelt als Martensgrad und in °C gemessen. Unterschieden werden:

- a) **Standardharze** mit einem Martensgrad zwischen 50 und 65 °C. Der Germanische Lloyd schreibt eine Mindest-Wärmeformbeständigkeit der Harze nach Martens von 55 ° für den Bootsbau vor.
b) **Harze mit erhöhter Wärmeformbeständigkeit**. Ihr Martensgrad liegt zwischen 70 und 85 °C. In den meisten Fällen besitzen diese Harze auch eine höhere Chemikalien-Beständigkeit.

7. Nach anderen Kriterien wie:

Haupteinsatzgebiete, z. B. Boote, Schwimmbecken

Bruchdehnung, bis 2% = normal,
über 3% = erhöhte Bruchdehnung.

Auftragsart: mit Rolle, Pinsel, Spritzpistole.

Lichtstabilisation, gegen Vergilbung durch die UV-Strahlen der Sonne, z. B. bei Feinschichten und Topcoats;
Kennzeichnung „S“ hinter der Harzbezeichnung.

Feinschicht

Sie wird bei Booten als erste Schicht von 0,5 Millimetern Dicke in die mit Trennmitteln ausgerüstete Form eingetragen. Das geschieht bei Booten in zwei Aufträgen. Die Feinschichten der VOSSCHEMIE haben im Lieferzustand Pinselkonsistenz.

Die Feinschicht besteht aus einem elastifizierten Basisharz, das thixotropiert und mit anderen Verarbeitungshilfen ausgerüstet ist. Sie kann farbig (RAL-Töne), farblos, kobaltbeschleunigt und lichtstabilisiert geliefert werden.

Die Verarbeitungstemperatur (sie gilt für Feinschichtharz, Raum und Formenoberfläche!) soll 18 bis 22 °C betragen. Die Topfzeit liegt dann bei 10 bis maximal 20 Minuten.

Feinschichten sollen keine Lufteinschlüsse und eine Mindestdicke von 0,5 Millimetern haben. Die Feinschicht wird deshalb in zwei Gängen aufgespritzt. Soll eine Feinschicht gespritzt werden, so soll das nur unter Zusatz von Styrol als Verdünnungsmittel geschehen. Eine Spritzfeinschicht muß in ihrer Konsistenz sorgfältig auf die Spritzmaschine abgestimmt werden. Es ist ein Kontroll-Laminat zusammen mit dem Original zu fertigen und zu prüfen.

Aus dem Feinschichtprogramm der VOSSCHEMIE wird VISCOVOSS G 326 B und G 327 B auf Isophthalsäure-Basis für kleine, mittlere und große Boote empfohlen. Trailerboote, die nur zeitweise schwimmen, können auch mit der hochelastischen Feinschicht G 301 B ausgerüstet werden.

Laminierharz

Laminierharze dienen zur Einbettung – als Matrix – für die Verstärkungsmittel. Sie übertragen die äußeren Kräfte in die Verstärkungsfasern von Matten oder Geweben. Dazu ist eine gute Haftung an der Faser notwendig. Für Lamine, die nicht ständig mit Wasser in Berührung kommen, wie Rumpfe von Trailerbooten, Decks, Einbauteile, können die Orthophthalsäureharze AZUR, BE oder N 50 eingesetzt werden. Größere Yachten sollten aus i 25 B oder i 26 B auf Basis Isophthalsäure hergestellt werden.

Den Laminierharzen werden in der Regel keine Füllstoffe zugesetzt. Sie können jedoch mit Verdickungsmitteln (Thixotropie-Mitteln) vom Hersteller versetzt sein oder vom Verarbeiter versetzt werden (**Thixotropie-Paste**).

In begrenzten Mengen kann der Verarbeiter dem Harz **Styrol** als Benetzungshilfe für die Glasfasern zugeben. Damit erhöht sich jedoch der Volumenschwund (reines Styrol hat 17 % Vol.-Schwund) und die mechanischen Werte, besonders aber die Schlagzähigkeit, können sich verändern. Untersuchungen an Laminaten aus styrol-angereicherten Harzen (4) weisen aus, daß ein Styrolanteil von 40 % im Laminierharz nicht überschritten werden sollte.

Bei Klebproblemen können **Haftverbesserer** als zusätzliche Komponente beigegeben werden, zum Beispiel 10 % Desmodur VL oder SL. Diese Zusätze verkürzen die Lagerstabilität, so daß sie getrennt mitgeliefert und vom Verarbeiter zusammen mit dem Härter zugegeben werden.

Durch Zugabe von **Beschleunigern** (Aktivatoren) oder **Verzögerern** (Inhibitoren) werden Topf- und Härtungszeit in Grenzen verändert.



Motorkreuzer V 910 in verlängerter Ausführung

Dieses Boot ist ein Knickspanter aus dem Bootsbau-Programm der VOSSCHEMIE. Der Rumpf ist in einer mit 4 mm dicken Sperrholzplatten ausgerüsteten Negativform entstanden.

Auch die Dachteile bestehen aus GFK. Das Deck selbst ist in Sperrholz ausgeführt.

Eine gute Verarbeitungshilfe sind **Farbindikatoren**, wie im Laminierharz VISCOVOSS AZUR. Sie zeigen den Zusatz von Härter an und geben Hinweise auf die Topfzeit. Bei AZUR ändert der Härter die ursprünglich blaue Farbe des Harzes nach wenigen Minuten in grün, und diese Grünfärbung ist nach einiger Zeit fast ganz verschwunden. Man kann also auf sehr einfache Weise die Härterzugabe und in gewissem Maße die Topfzeit kontrollieren.

Das AZUR-Harz der VOSSCHEMIE ist außerdem durch seine geringe Grundviskosität und seine Thixotropie außerordentlich benetzungsfreudig, ohne aus den Verstärkungen in der Senkrechten abzulaufen. Darüber hinaus ist das Harz in der Version AZUR Super bei der Härtung in sehr dicken Schichten in seiner Wärmeentwicklung gebremst.

Laminierharze werden üblicherweise so beschleunigt, daß dem Verarbeiter 30 bis 45 Minuten Topfzeit bei 18 °C zur Verfügung stehen.

Die Harze sollten bei Temperaturen zwischen 15 und 25 °C verarbeitet werden. Sie werden mit der Fellrolle, einer Zweikomponenten-Spritzmaschine oder einer Faserspritze ohne oder zusammen mit Glasfäden auf die Verstärkungsmittel gebracht und dort verteilt.

Bei den Laminierharzen, die die VOSSCHEMIE führt, sind VISCOVOSS AZUR und BE Orthophthalsäureharze, also Standardharze, geeignet für Trailerboote. Die Harze i 25 B und i 26 B auf Isophthalsäure-Basis sind Laminierharze für größere Boote und besitzen zudem außerordentlich gute mechanische Eigenschaften.

Die vom Germanischen Lloyd geforderte Zugfestigkeit für Bootsbauharze mit 30 % Mattenanteil beträgt zum Beispiel 860 kp/cm². i 25 B mit 30 % Mattenanteil bringt jedoch 1120 kp/cm², liegt also um 42 % höher. Groß ist auch die Reserve bei der Biegefestigkeit. Von den 2.600 kp/cm² Biegefestigkeit, die i 25 B mit 30 % Mattenanteil besitzt, fordert der GL nur 1.650 kp/cm². Werden diese Festigkeiten ausgeschöpft, so ist das für Leichtbauten interessant. Hält man sich an den Tabellenwert des GL, hat man erhebliche Festigkeitsreserven. Diese Reserven schwinden jedoch mit wachsendem Glasgehalt.

Lichtstabile Harze (z. B. für transparente Lukendeckel) enthalten UV-Absorber gegen frühzeitige Vergilbung.

Farbversiegelung zur Verstärkung der LT-Lack-Deckschicht

Die Farb- bzw. Schnellversiegelung bildet zusammen mit dem LT-Lack die Deckschicht eines Laminates, sofern keine Feinschicht vorliegt. Diese Unterstützung des LT-Lacks ist jedoch nur auf der wasserbelasteten Seite des Laminates notwendig. Die Schnellversiegelung dient einmal zur Schichtstärken-Vergrößerung (0,25 mm Schnellversiegelung + 0,25 mm Schlußlack = 0,5 mm Deckschicht) und wird außerdem eingefärbt mit bis zu 20 % Farbpaste. Auf diese Weise wird zusammen mit dem (zur Qualitätserhaltung mit 5 bis 8 % Farbpaste nur schwach) eingefärbten Schlußlack eine deckende Einfärbung erzielt.

Als Versiegelung werden die Fertigprodukte N 35 BT oder N 36 BT auf Basis Neopentylglykolkol mit 20 Minuten Topfzeit verwendet.

Für kleine Boote kann man die Schnellversiegelung aus dem Orthophthalsäure-Laminierharz selbst herstellen. Hat man ein beschleunigtes Laminierharz mit 30 bis 40 Minuten Topfzeit (z. B. AZUR oder BE), so mischt man auf 100 Gewichtsteile AZUR oder BE etwa 20 Gewichtsteile Farbpaste und 0,3 Gewichtsteile Kobalt-Beschleuniger 1 %ig. Ist das Laminierharz unbeschleunigt, so gibt man 0,5 Gewichtsteile Kobalt-Beschleuniger 1 %ig auf 100 Gewichtsteile Harz. 0,1 Gewichtsteil entspricht einem Gramm Beschleuniger auf ein Kilogramm Harz.

Die Schnellversiegelungen N 35 BT und N 36 BT werden aus Harzen mit Neopentylglykolkol als Basis gefertigt. Beide sind gut mit Farbpasten verträglich und sehr gut wasserbeständig. Die Versiegelung wird mit der Fellrolle aufgetragen. Die Formteilmperatur sollte 15 bis 25 °C betragen.

Klebfreier Schlußlack

Der Schlußlack bildet eine klebfreie, also voll vernetzte Oberfläche. Er wird deshalb als letzter Anstrich bei Booten aus einer Negativform im Bootsinnen, bei Booten von Positivformen auf beiden Laminatseiten, also außen und innen angebracht.

Die Schlußlacke LT 30 B, LT 35 B und LT 36 B härten klebfrei und mattglänzend aus. Diese beiden Eigenschaften sind auf einen Paraffin-Film zurückzuführen, der sich aus dem Lack heraus auf seiner Luftseite bildet. Dieser wachsartige Film verhindert in der flüssigen Phase des Harzes einen übermäßigen Styrolverlust, der wiederum zur Untervernetzung und damit zur Klebrigkeit führen würde.

Zum Ausschwitzen des Paraffins ist nun eine Mindest-Topfzeit von etwa fünf Minuten und eine Begrenzung der Flüssigphase auf maximal 20 Minuten notwendig. Die Harztemperatur sollte unter 25 °C liegen, damit das Paraffin ausschwitzt und nicht im Harz gelöst bleibt. Da die LT-Lacke bei 20 °C auf etwa 15 Minuten Topfzeit eingestellt sind, läuft der oben erklärte Mechanismus in der Spanne von 18 bis 25 °C fehlerfrei ab.

Oberhalb von 10 °C kann man LT 35 B nur mit Hilfe eines Zusatzbeschleunigers (Diäthylanilin = DAA als Promotor) noch einwandfrei aushärten.

Den gleichen Effekt wie eine zu kurze Topfzeit kann man auch durch Ausbessern des Lacks (Beseitigen von Läufern) kurz vor Topfzeitschluß erzielen. Hier bildet sich kein Wachsfilm mehr, und statt des Läufers hat man dort mit Sicherheit eine klebende Stelle.

Starke Sonneneinstrahlung verhindert durch eine zu hohe Oberflächen-Temperatur die Filmbildung ebenfalls (Paraffin schwitzt nicht aus). Also die Arbeitsfläche gegebenenfalls schattieren. LT-Lack wird mit dem Fellroller aufgetragen. LT-Lack als wasserbelastete Deckschicht wird jedoch zusätzlich mit einem Feinschichtpinsel quer zur Auftragsrichtung ausgestrichen. Das muß (siehe oben) unmittelbar nach dem Auftragen geschehen, Zeitabstand: **eine Minute.**

Die Schlußlacke können mit 5 bis 8 % oder mit 20 % Farbpaste eingefärbt werden. Für den LT-Lack als äußere Deckschicht nimmt man so wenig Farbpaste wie nötig. Die größere Farbpastenmenge gibt man in die Schnellversiegelung.

VISCOVOSS LT 30 B wird für die Bootsinnenseiten und für die Außenseite von Trailerbooten bei Verarbeitungstemperaturen zwischen 18 und 25 °C eingesetzt. VISCOVOSS LT 35 B oder LT 36 B bilden zusammen mit den Schnellversiegelungen N 35 BT oder N 36 BT die Rumpfaußenseite von etwa 0,5 Millimetern Dicke bei mittleren und größeren Booten.

Farbpaste

Polyester-Farbpasten bestehen zu 50 Gewichtsprozenten aus einem geeigneten, anorganischen Pigment, die zweite Hälfte besteht aus Harzen. Grundsätzlich kann eine große Zahl von RAL-Tönen geliefert werden.

Wieviel Farbpaste man den farblosen Harzen beigibt, enthält die nebenstehende Tabelle.

Die Farbpasten sind üblicherweise in styrolhaltigen Laminierharzen angepastet. Diese **styrolhaltigen** Pasten sind jedoch nur etwa ein halbes Jahr lagerfähig. Deshalb gibt es außerdem auch **styrolfreie** Farbpasten in den gleichen Farbtönen. Diese styrolfreie Pastensorte ist jedoch zum Einfärben für wasserbelastete Deckschichten **nicht** geeignet.

Harzart	Farbpastenmenge	Bemerkungen
Feinschicht	10 % bis 25 %	Die im Bootsbau verwendeten Farbpasten sollen mit styrolhaltigen Harzen hergestellt sein.
Farbversiegelung auf der Bootsaußenseite	20 % bis 25 %	
LT-Lack auf der Bootsaußenseite	5 % bis 10 %	
LT-Lack auf der Bootsinnenseite	20 % bis 25 %	
Laminierharz	0 % bis 5 %	

Wieviel Farbpaste muß man zusetzen?

Für Außendeckschichten von Booten werden entweder beim Hersteller eingefärbte Feinschichten oder farblose Schnellversiegelungen und farblose LT-Lacke und dazu styrolhaltige Farbpasten empfohlen.

Farbpasten können auf die **Topfzeit** des Harzes, dem sie beigegeben wurden, einen verkürzenden, verlängernden oder gar keinen **Einfluß** ausüben. Besonders die Farbpasten hellrot, dunkelbraun, dunkelgrau und schwarz „verzögern“. In diesem Falle muß das Harz mit Kobaltbeschleuniger wieder auf die Soll-Topfzeit (15 Minuten bei 20 °C für Feinschichten und LT-Lack) gebracht werden. Bei den genannten Farbtönen können bis zu 1,5 % Kobaltbeschleuniger (mit 1 % Metallgehalt) notwendig werden. Deshalb: **Werden Harze mit Farbpasten versetzt, muß in jedem Fall ein Topfzeit-Test gemacht und eventuell nachbeschleunigt werden.**

Zeigt der Test eine verkürzte Topfzeit, wird man die Harzmenge je Ansatz entsprechend verringern, so daß man genügend Verarbeitungszeit hat und das Harz-Härter-Gemisch nicht schon im Rührtopf „stirbt“. Der Topfzeit-Test sollte mit 100 g eingefärbtem und mit Beschleuniger und Härter versetztem Harz in einem Pappbecher bei Feinschicht auf der Form selbst durchgeführt werden.

Spachtelmasse und Füllmassen

Die schnellhärtenden Spachtelmassen dienen als Hilfsmittel zum Egalisieren von Unebenheiten, Ausrunden von Hohlkehlen und zur Fixierung von Einbauteilen. Um die kurze Topfzeit von fünf bis acht Minuten zu erzielen, wird als Beschleuniger Amin und als Härter Benzoylperoxid-Paste verwendet. Die Topfzeit der Spachtelmasse wird durch Ändern der Härtermenge (zwischen ein und fünf Prozent) variiert. Für den Bootsbau wird der Typ Ferro-elastic, weiß eingesetzt. Er hat eine geringe Wasseraufnahme.

Zum Nachstraken der Bootshaut kann die Spachtelmasse durch Zugabe von bis zu fünf Gewichtsprozent i 25 B, i 26 B oder BE-Harz besser ziehfähig gemacht und mit etwas verlängerter Topfzeit ausgerüstet werden.

Besonders bei der kurzen Topfzeit der Spachtelharze von fünf Minuten darf nicht zuviel Masse mit Härter angesetzt werden.

Plaziert man eine hühnereigroße Spachtelmassen-Menge und etwa zwei Zentimeter Härterpaste jeweils paarweise auf einem Brett nebeneinander, so wird man diese Menge – nach gründlicher Durchmischung – bequem verarbeiten können. Die Härterpaste kann eingefärbt bezogen werden, so daß man eine optische Mischkontrolle hat. Das spezifische Gewicht von Ferro-elastic weiß beträgt 1,8 kg/dm³.

Als besonders **leichte Füllmasse** wird das Produkt SR 72/2 angeboten. Sein spezifisches Gewicht beträgt $\gamma = 0,8 \text{ kg/m}^3$.

Diese Füllmasse enthält Epoxidharz als Bindemittel. Das Mischungsverhältnis beträgt 60 Gewichtsteile Komponente A : 40 Gewichtsteile Komponente B. Die Topfzeit liegt bei 60 Minuten.

Die Masse wird zum Beispiel als Füllmittel bei Leichtbauten und als Kernmasse für hoch beanspruchte Sandwichteile wie Ruderblätter aus zwei Halbschalen eingesetzt. Ein entsprechendes Produkt auf Polyesterharz-Basis ist ebenfalls lieferbar.

Härtungssysteme

Die Bootsbauharze werden überwiegend kalt, also ohne jede äußere Wärmezufuhr gehärtet. Die Härtung der ungesättigten Polyesterharze wird durch

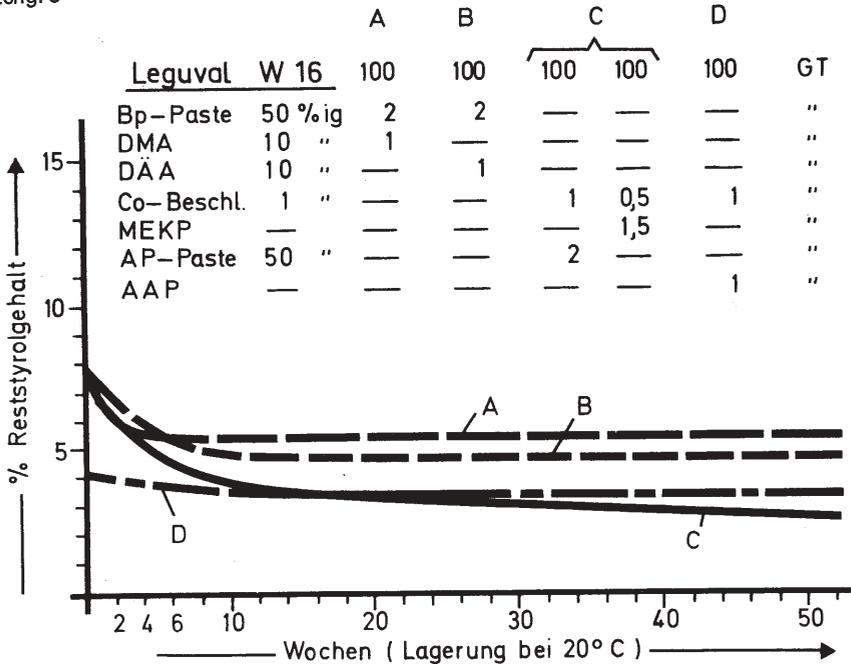
Be-schleuniger	Härter	Einsatz-gebiet	Ver-arbeitungs-temperatur	Kenn-zeichnung
Kobalt (Co)*	Methyläthylketonperoxid (MEKP)	Laminierharz/ Feinschicht LT-Lack	12 °C oder 18–25 °C, je nach Harztyp	Standard- Kalthärtungs- System
Kobalt (Co)*	Cyclohexanonperoxid (CHP)	Langzeit-spachtel**	ab 12 °C	Lange Topfzeit und gute Durchhärtung
Dimethyl-anilin (DMA)	Benzoylperoxid (Bp)	Laminierharz	ab 5 °C	kurze Topfzeit mit schneller Durchhärtung
Dimethylparatoluidin (DMPT)	Benzoylperoxid (Bp)	Polyester-Spachtelmasse	ab 5 °C	sehr kurze Topfzeit
Diäthyl-anilin (DAA)		Zusatzbeschleuniger für LT 35 B	10–18 °C	erweitert den Verarbeitungsbereich von LT 35 B

Härtesysteme für verschiedene Harze

* Kobaltnaphthenat oder Kobaltoktoat

** In Vorbereitung

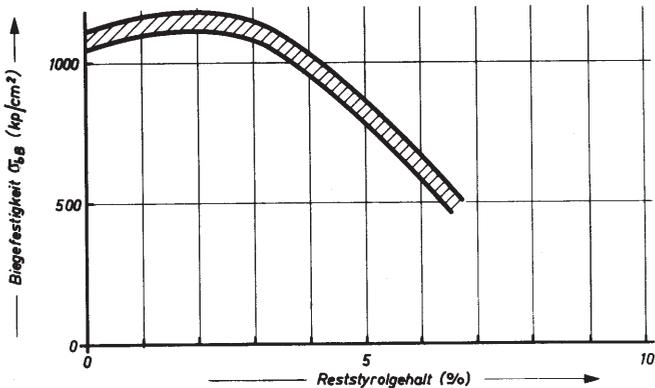
Zchg. 3



Nachhärtung von LEGUVAL® W 16 bei 20 °C (4)

Gezeigt werden die Reststyrolgehalte über der Zeit für verschiedene Härtungssysteme. Das System C – Kobalt + MEKP – weist im Laufe der Zeit den niedrigsten Reststyrolgehalt auf. Nachhärtungseffekt auch noch nach 50 Wochen.

Zchg. 4



Einfluß des Reststyrolgehaltes auf die Biegefestigkeit bei W 16 (4)

Bei der Zugfestigkeit findet man ein ähnliches Verhalten wie bei der Biegefestigkeit. Der Festigkeitsabfall bei höherem Reststyrolgehalt ist jedoch geringer.

peroxidhaltige **Härter** (Initiatoren oder Katalysatoren) ausgelöst. Die Härter werden bei Raumtemperatur erst durch die Mitwirkung von **Beschleunigern** (Aktivatoren) wirksam, indem sie zerfallen. Dieser Vorgang kann auch durch Temperaturen über 50 °C ausgelöst werden (Heißhärtung).

Da eine größere Beschleunigermenge den Zerfall des Härters beschleunigt, verkürzt sie auch die Topfzeit des Harzes. Will man die Topfzeit verlängern, sollte man jedoch eine Beschleunigermenge von 0,2 % und eine Härtermenge von 1 % nicht unterschreiten. Man bedient sich dann eines **Inhibitors** (Verzögerers), der bei Zugabemengen von 0,5 bis 1 % bereits die Topfzeit verdoppelt. **Ist nichts anderes vermerkt, beziehen sich die Beschleuniger- und Inhibitor-Angaben stets auf 1 %ige, die Härterangaben auf 50 %ige Ware.**

Die nebenstehende Tabelle enthält verschiedene Härtungssysteme. Zur Abgrenzung von amin- und kobaltbeschleunigten Systemen kann angeführt werden:

Aminbeschleunigte Harze sind bei der Härtung temperatur-unempfindlich, ergeben sehr kurze Topfzeiten und springen auch bei niedrigen Temperaturen an, härten jedoch bei 20 °C nicht voll durch. Der Beschleuniger färbt das Harz gelblich.

Kobaltbeschleunigte Harze ermöglichen lange Topfzeiten, benötigen mindestens Raumtemperatur und härten – besonders bei höheren Temperaturen – so gut nach, daß sie die Forderungen des Lebensmittelgesetzes nach einem Reststyrolgehalt unter 0,5 % erfüllen.

Der Reststyrolgehalt ist der Anteil an Styrol, der noch nicht in das Netzwerk des harten Harzes „eingeflochten“ ist. Dieser Anteil freien Styrols kann in vielen Fällen als Beurteilungsmaßstab für den Aushärtungsgrad herangezogen werden.

Die Verminderung des Reststyrolgehaltes im Laufe der Zeit bei Kobaltbeschleunigern und MEKP als Härtungssystem wird in Kurve C (Zchg. 3) deutlich. Durch eine Temperung, z. B. Lagerung in warmer Luft, kann der Aushärtungsgrad noch weit schneller gesteigert werden. Die Auswirkungen des Reststyrolgehaltes auf die Biegefestigkeit zeigt Zeichnung 4.

Warum tempern?

Eine Temperung (Nachhärtung bei erhöhter Temperatur) hat das Ziel, den Anteil noch ungebundenen Styrols in das Netzwerk des polymerisierten Harzes mit einzubauen. Unvollständig gehärtete Boote „riechen“ stärker nach Styrol als getemperte.

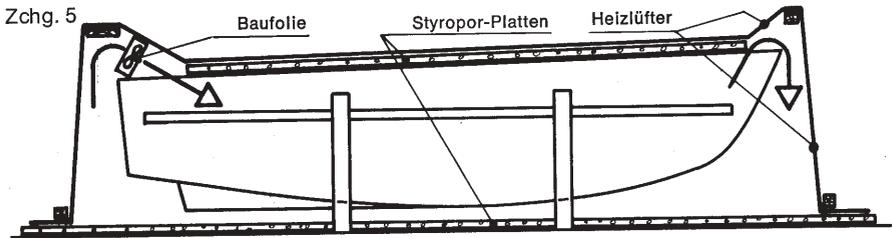
Nur vollständig ausgehärtete Harze besitzen auch die vom Hersteller genannten Eigenschaften, zu denen die Wasser- und die Chemikalien-Beständigkeit ebenso gehören wie die verschiedenen Festigkeiten. Die Temperung ist deshalb ein wichtiges Qualitätsmerkmal.

Während der gewerbliche Bootsbauer schon des Geruches wegen zu tempern bereit ist, wird dieser Punkt von Hobby-Bootsbauern meistens nicht mit eingeplant. Das liegt oft daran, daß man hier unüberwindliche Probleme vermutet. Das muß nicht sein.

Die Temperkammer aus Folie und Dachlatten

Erste Regel: **Man macht die Temperkammer so klein wie möglich.** Wird ein Boot in einer Negativform gebaut, temperiert man Rumpf und Deck noch in der Form. Man deckt dazu das Boot mit Latten und Styropor – oder Dämmplatten – immer jedoch mit der Baufolie über die Form hinweg bis zum Erdboden ab.

Zweite Regel: **Die Kammer muß so wärmedicht wie möglich sein, also keine Öffnungen haben.**



Selbstgebaute Temperkammer

Mit Heizlüftern, Styroporplatten und Baufolie ist so ein Wärmerraum schnell hergestellt.

Die Styroporplatten oben und an den Seiten werden möglichst dichtgestellt und durch Pappe oder Styropor auf dem Boden ergänzt.

Am Heck werden dann alle verfügbaren Heizlüfter so postiert, daß sie in einen Schacht blasen, der in den Formeninnenraum, also zur Boots-Innen-seite führt. Am anderen Ende wird die Folie nur leicht angehoben, so daß die Luft aus dem Formen-Innenraum in den Formen-Außenraum gelangt und dort vom Bug zum Heck zurückfließt. Dann erwärmen die Heizlüfter die Luft wieder. Hier hat man also in der Kammer einen eingeschlossenen Kreislauf, der – einmal angeheizt – mit wenig Energie achtbare Temperaturen produziert. Die Lüfterbatterie wird nach der halben Temperzeit umgesetzt, wandert also vom Heck zum Bug oder umgekehrt, und das Spiel beginnt von vorn.

Wird über einen Kern gebaut, errichtet man die Wärmekammer als Zelt so, daß zwischen Wand und Formteil eine Handbreit für die vorbeistreichende Luft bleibt. Die Heizlüfter kann man hierbei gleichmäßig über die Bodenfläche verteilen, da ja die Negativformwand als Isolator nicht im Weg steht. Die warme Luft kann vielmehr die Bootshaut von beiden Seiten erwärmen. Man sieht also, daß Bau und Betrieb eines für Stunden oder wenige Tage temperierten Raumes durchaus auch für einen Amateur möglich ist.

Wie lange und bei welcher Temperatur nachhärten?

Beantwortet man die Frage aus physikalischer Sicht, so muß man zunächst feststellen, daß die Zug- und Biegefestigkeit etwa zwischen 0 und 3% Reststyrolgehalt die größten Werte aufweisen, das Maximum liegt bei 2%. Die chemische Beständigkeit verbessert sich mit abnehmendem Styrolgehalt.

GFK-Teile, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen, sollen weniger als 0,5 % Reststyrolgehalt besitzen. Da zur chemischen Beständigkeit auch die gegenüber (verschmutztem) Wasser zu zählen ist, wird man also einen möglichst niedrigen Reststyrolgehalt anstreben. Dabei ist auf einige Dinge zu achten:

1. Als **Härtungssystem** wählt man Kobalt-MEKP wegen des willigen Nachhärtungsverhaltens (siehe Zeichnung 3).
2. Der **Martensgrad** des reinen Harzes ist eine Anzeige für die Temperaturforderungen an das Harz. Höher wärmebeständige Harze müssen stärker oder länger erwärmt werden, um den gewünschten geringen Reststyrolgehalt zu erzielen.
3. Die **Fertigungstemperatur** hat Einfluß auf den kleinsten, auch bei intensiver Temperung je erreichbaren Styrolgehalt. Zu kühle Temperaturen bei der Fertigung können nie wieder ganz „wettgemacht“ werden.
4. **Je eher man** nach der Formteilherstellung **tempert**, desto williger härtet das Laminat nach.
5. Je höher die **Nachhärtetemperatur**, desto schneller verläuft die Nachhärtung. Bei der Temperatur sollten die Martensgrad-Temperaturen (und keinesfalls 90 °C) überschritten werden.

Man kann sich an die nebenstehende Tabelle halten:

Harztyp	bei 15 °C gefertigt, gelagert und nicht getempert	Temperung nach 28 Tagen, um weniger als 3,0 % Reststyrolgehalt zu erzielen
G 326 B, G 327 B i 25 B, i 26 B N 35 BT, N 36 BT LT 35 B, LT 36 B	5,5 % Reststyrol nach 28 Tagen	12 Std. bei 50 °C
G 301, LT 30 B AZUR, BE	5,5 % Reststyrol nach 28 Tagen	3 Std. bei 50 °C

Temperung verschiedener Harze

Die Proben wurden bei 15 °C hergestellt und gehärtet und dann nach 28 Tagen getempert. Härtungssystem: 0,5 % Kobalt + 1,5 % MEKP.

Man ersieht daraus, wie wichtig und wie erfolgreich auch nach 28 Tagen Lagerung bei 15 °C die Temperung für eine gute Aushärtung ist.

Lamine mit i 25 B, i 26 B, G 326 B, G 327 B, N 35 BT, N 36 BT, LT 35 B und LT 36 B, die bei weniger als 20 °C gefertigt wurden, sollten also stets getempert werden. Die nebenstehende Tabelle enthält außerdem noch Temperungsvorschläge für Diesel- und Wassertanks, bei denen der Reststyrolge-

Harze	Temperung für das Boot	Temperung für die Tanks
G 326 B, G 327 B, I 25 B, I 26 B, N 35 BT,, N 36 BT, LT 35 B, LT 36 B	15 Std. bei 50 °C oder 24 Std. bei 40 °C oder	8 Std. bei 80 °C
AZUR, BE G 301, LT 30 B	32 Std. bei 30 °C	8 Std. bei 60 °C

Temperungs-Vorschläge für Boote und Tanks aus Isophthalsäure- und Orthophthalsäureharz

halt unter 0,5 % liegen muß. 80 bis 85 °C herrschen übrigens in der Einbrennkabine von Autolackierereien. Mit den Tanks müßte man sich also dorthin wenden.

Verstärkungsmittel für UP-Harze

Zur Eigenschaftsverbesserung von Polyesterharzen sind alle Werkstoffe geeignet, die mit dem Kunstharz eine gute Verbindung eingehen, nicht verrotten, deren Bruchdehnung der des Harzes ähnlich ist und die eine große Festigkeit und Steifigkeit (E-Modul) bei niedrigem spezifischen Gewicht besitzen. Die letztgenannte Forderung – große Festigkeit und Steifigkeit, bezogen auf das spezifische Gewicht – ist ein gutes Beurteilungsmerkmal für die Eignung, wenn man an Gewicht sparen will. Die nebenstehende Tabelle vergleicht unter anderem das am meisten verwendete E-Glas mit Schiffbau-stahl RSt 37-2.

Die spezifischen Festigkeiten kann man sich durchaus als Länge, z. B. als Seillänge, vorstellen, die sich selbst tragen muß. E-Glas zeigt sich dabei dem Stahl klar überlegen, am deutlichsten bei der absoluten und relativen Festigkeit.

Absolut gesehen bleibt der niedrige E-Modul, der bei großen oder sehr stark belasteten Booten zu Problemen führt, also über etwa 20 m Länge oder bei Renn-Yachten mit einigen Tonnen Vorspannung in Wanten und Stagen. Richtig eingesetzt, hilft hier die Kohlenstoff-Faser aus der Klemme, wenn man sie in geeigneter Weise dimensioniert und plaziert und wenn sie nicht so teuer wäre.

Preislich interessanter erscheint die Kevlar-Faser, die allerdings relativ schlechte Druckfestigkeiten aufweist. Darauf wird später noch eingegangen.

Werkstoff Eigenart	Schiffbau- stahl RSt 37-2	E-Glas, Spinn- faden mit 10/1.000 mm ϕ	Kevlar 49 aromatische Polyamidfaser	Kohlenstoff- Spinnfaden mit 8/1.000 mm ϕ
Streck- grenze	218 MPa = 2.400 kp/cm ²	1260 MPa = 13.000 kp/cm ²	2650 MPa = 27.000 kp/cm ²	2080 MPa = 21.000 kp/cm ²
Spezifisch. Gewicht	7,87 g/cm ³	2,55 g/cm ³	1,45 g/cm ³	1,80 g/cm ³
Bruch- dehnung	27 %	2 %	2,1 %	0,6 %
E-Modul E	208 GPa = 2.100.000 kp/cm ²	72 GPa = 730.000 kp/cm ²	137 GPa = 1.300.000 kp/cm ²	343 GPa = 3.500.000 kp/cm ²
Spezifische nutzbare Festigkeit	3,05 km	51 km	186 km	117 km
Spezifisch. E-Modul als Reißlänge	2.670 km	2.860 km	8.965 km	19.500 km
Preis ca.	DM 1,20/kg	DM 6, –/kg	DM 120, –/kg	DM 560, –/kg

Vergleich von Eigenschaften verschiedener Werkstoffe

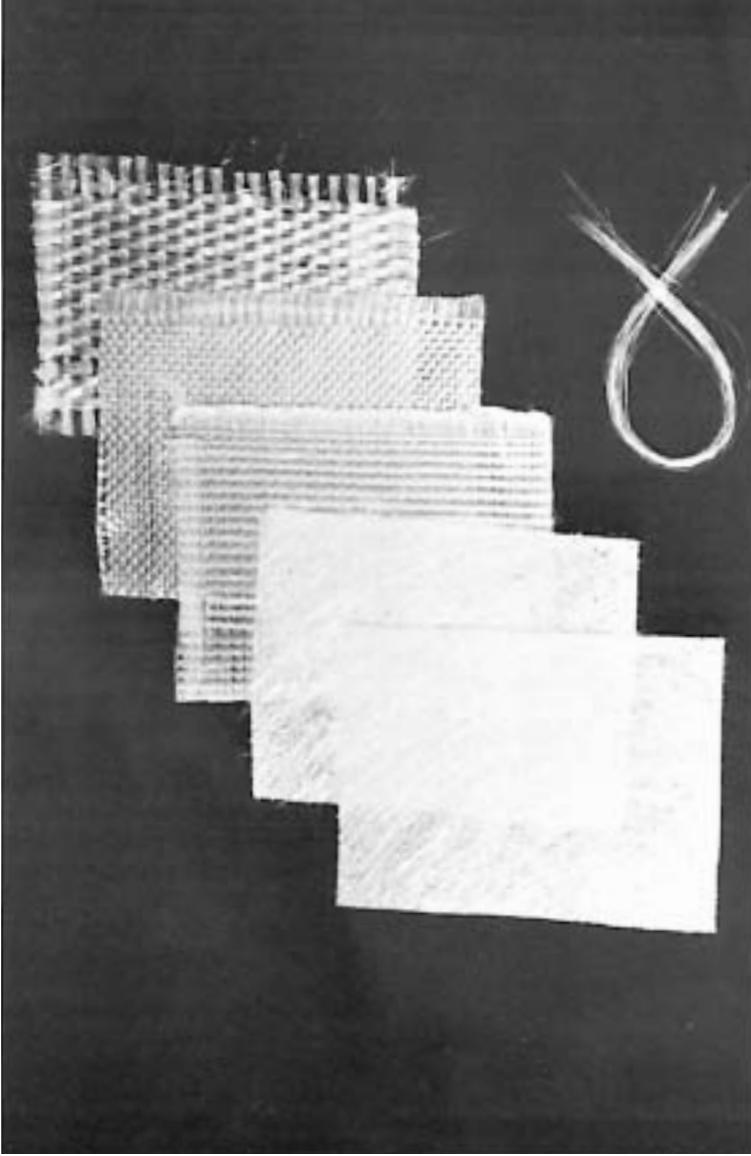
Die spezifische Festigkeit und Steifigkeit machen deutlich, wo die Vorteile der Verstärkungsstoffe Glas, Kevlar und Kohlenstoff liegen.

E-Glas als Verstärkungsmittel

Früher nur in der Elektroindustrie verwendet, besteht E-Glas zur Hälfte aus Siliziumoxid; ein weiteres Drittel bilden die Aluminium- und Calciumoxide. Der Gehalt an vom Wasser angreifbaren Alkalioxiden liegt unter einem Prozent; man bezeichnet es daher als alkalifreies **Elektro-Glas** (E-Glas).

Aus einer flüssigen Schmelze werden über Düsen 204 Filamente mit einem Durchmesser von 9/1000 bis 13/1000 Millimetern abgezogen und zu einem Spinnfaden zusammengefaßt. Die Feinheit dieses Fadens wird in Gramm je 1000 Meter Fadenlänge (tex) gemessen. So wiegen 204 Filamente mit 10/1000 mm ϕ 40 g/1000 m, also 40 tex. Man nennt einen solchen Faden „nicht spinngeteilt“. Besteht der Spinnfaden nur aus 102 Filamenten, nennt man ihn **spinngeteilt** (20 tex), oder **doppelt spinngeteilt**, wenn nur 51 Filamente einen Faden bilden (10 tex). Wird die flüssige Glassubstanz durch die Düsen geblasen, spricht man von Stapelfasern.

Um die Filamente zu einem Faden zu verkleben und den Faden weiter verarbeiten zu können, werden die Filamente mit einer **Schlichte** besprüht. Diese Schlichte enthält zusätzlich Bestandteile auf Chrom- oder Silanbasis,



Verstärkungsmittel aus E-Glas

Das Bild zeigt die Bauweise verschiedener Verstärkungsmittel aus E-Glas. Von links nach rechts: Matte, spinngeteilt; Matte, nicht spinngeteilt; Rovinggelege; Rovinggewebe aus 30fädigem Strang; Rovinggewebe aus 60fädigem Strang; 60fädiger Rovingstrang (unten).

die die eigentliche Haftbrücke zwischen dem Glasfilament und dem Laminierharz (Polyester- oder Epoxidharz) bilden. Das **Haftmittel** muß auf den Harztyp abgestimmt sein.

Schlichtetyp	Für Polyesterharz	Für Epoxidharz
Vinylsilan	XX	
Methacrylsäure-Chrom Komplex	X	X
Aminosilan		XX

Verschiedene Schichten und ihre Eignung für Polyester- und Epoxidharze

x = geeignet, xx = besonders geeignet.

Silanbehandeltes Glas ist schmiegsamer, chrombehandelte Qualitäten lassen sich besser schneiden (z. B. Faserspritz-Roving). Während die Bedeutung der Haftbrücken-Substanz seit langen Jahren bekannt und untersucht ist, hat man seit kurzer Zeit das Augenmerk auch auf die filmbildende Schlichte-Substanz selbst gerichtet. Die Schlichte besteht aus der haftvermittelnden Substanz und dem Filmbildner. So wird behauptet (5), daß polyvinylacetathaltige **Filmbildner** bei wasserbelasteten Laminaten über osmotische Vorgänge eher zum Versagen führen als epoxid- oder polyesterharzenthaltende Filmbildner. Leichte Glasgewebe werden zum Teil entschlichtet und mit einem Finish auf der Glasoberfläche versehen.

Für wasserbelastete Laminare werden folgerichtig nur noch Glassorten empfohlen, die Epoxide oder nur geringe Anteile von Polyvinylacetat als Filmbildner und Vinylsilane als Haftmittel besitzen (z. B. die Glasmatte 300 g/m³, Typ EP-S).

Alle Glaserzeugnisse sind vor Feuchtigkeit geschützt in geschlossenen Räumen zu lagern. Um die Schwitzwasseranlagerung zu vermeiden, ist die Glasverstärkung 24 Stunden vor Laminierbeginn in den Werkstattraum zu bringen, damit sie die Raumtemperatur annehmen kann.

Als Verstärkungsmittel wird E-Glas in verschiedenen Produktformen angeboten.

Rovingstrang

Faßt man 30 oder 60 Fäden mit 204 Filamenten ungedreht, also parallel, zusammen, so erhält man einen Rovingstrang. Sein Gewicht kann bei 60 Fäden $60 \times 40 \text{ tex} = 2.400 \text{ tex} = 2,4 \text{ g/m}$ betragen.

Solche Stränge werden zur Herstellung von Rovinggeweben und Gelegen miteinander verwoben oder vernadelt (Silan-Schlichte). Für Faserspritzanlagen wird ein chrombehandelter Rovingstrang auf Spulen mit Innenabzug gewickelt. Vereinzelt sind auch Boote im handbetriebenen Strangziehver-

fahren mit Rovingsträngen gebaut worden, die für das Wickeln von Behältern gedacht waren. Rovingstrang wird beim Glashersteller selbst als Ausgangsmaterial zur Herstellung von Glasmatten benutzt.

Durch folgende Angaben wird ein Roving-Material beschrieben (Beispiel: Schneidroving der Firma Gevetex: EC 10–40–2.400–K 923, 19-kg-Spule):

Glasart:	E = E-Glas, alkalifrei
Faserform:	C = Glasfaser
Nenn Durchmesser des Filaments:	10 = 0,010 mm ϕ
Gewicht des Einzelfadens:	40 = 40 tex (g/1000 m)
Gewicht des Rovingstrangs:	2.400 = 60 Fäden mit 40 tex (60 · 40 = 2.400 tex)
Schlichte:	K923 = Schlichte auf Chrombasis
Gewicht:	19-kg-Spule

Glasmatten

Die Rovingstränge mehrerer Spulen werden beim Glasherstellen in 52 oder 26 Millimeter lange Abschnitte zerteilt und auf ein Transportband gesaugt. Die Einzelfäden werden chemisch durch eine wässrige Emulsion oder einen Pulver-Binder zu einem flächigen Gebilde, der emulsionsgebundenen oder pulvergebundenen Matte, zusammengeklebt (chemische Bindung).

In praxisnahen Alterungsversuchen läßt sich nachweisen, daß pulvergebundene Matten dem Laminat eine bessere Wasserfestigkeit verleihen als emulsionsgebundene Matten.

Bei emulsionsgebundenen Matten löst sich der Binder zwischen den einzelnen Glasfäden nach kürzerer Zeit, als bei der Pulverbindung. Die Matten sind daher besser zu verlegen, eine Tatsache, die sich in den Lohnkosten niederschlägt.

Das Foto auf S. 41 zeigt jedoch deutlich, daß das Harz sich an die mit Emulsionsbinder benetzten Glasfäden nicht vollständig anlagern kann. Die Glasfäden bleiben durch die unterschiedliche Lichtbrechung verstärkt sichtbar. Bei der 300 g Matte Typ EP-S zeichnet sich die Faser nicht ab. Sie ist gut im I 25 B Matrixharz verankert. Diesen Versuch kann man selbst zur Kontrolle der Mattenqualität durchführen. Bei einem Standardharz mit Orthophthalsäure-Basis wird dieser optische Unterschied nicht offenbar. Er ist erst mit Hilfe des Isophthalsäure-Harzes darstellbar. Im Bootsbau werden daher die wasserbeständigeren Harze mit geeigneten, pulvergebundenen Matten verstärkt. Ungeeignete Matten können mit die Ursache für Blasen in der Feinschicht sein.

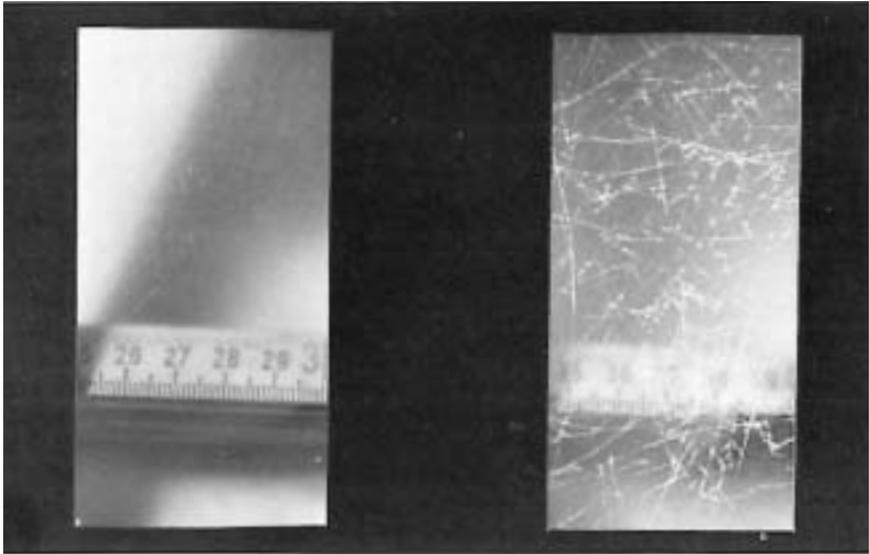
Entsprechend der Fadenherstellung können Matten aus Fäden mit

204 Filamenten (40 tex): nicht spinngeteilt

102 Filamenten (20 tex): spinngeteilt

51 Filamenten (10 tex): doppelt spinngeteilt

gefertigt sein.



Tränkbilder verschiedener Verstärkungsmittel

Tränkbilder gelten nach heutiger Auffassung als Qualitätsmerkmal. Für Boote geeignete Verstärkungsmittel müssen sich danach so gut in das Harz einbetten, daß sich ihre Faden-Grenzflächen im Laminat möglichst wenig abzeichnen.

Links: Geeignete pulvergebundene Matte (Typ EP-S);

rechts: Nicht geeignete, emulsionsgebundene Matte.

Nicht spinngeteilte Matten sind am leichtesten mit Harz tränkbar. Spinngeteilte und doppelt spinngeteilte Matten ergeben eine ruhigere Fertigteil-Oberfläche und im allgemeinen eine bessere Festigkeit. Sie sind jedoch schwerer mit Harz zu tränken und ermöglichen keine hohen Glasgehalte. Die Matten unterscheiden sich ferner in den Quadratmetergewichten.

Folgende Werte sind üblich:

150 g/m² – sehr leichte Spezialmatte

225 g/m² – Matte für dünne Laminat und für die erste Lage hinter der Feinschicht oder im Wechsel mit schweren Rovinggeweben für sehr hohen Glasanteil.

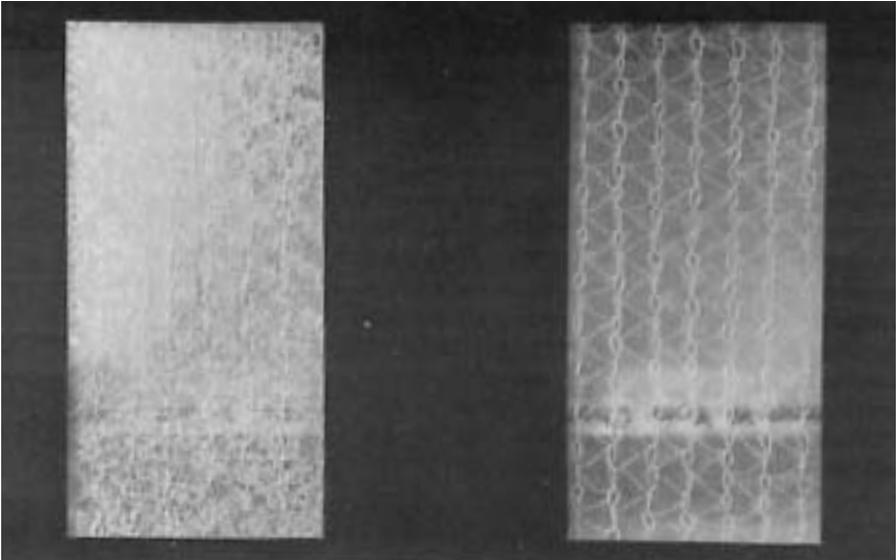
300 g/m² – Matte für die erste Lage hinter der Feinschicht und für leichte Bauteile.

450 g/m² – Standardmatte

600 g/m² – Für dickwandige Bauteile in Wandungsmitte.

Übliche Breiten:

1,05 m, 1,15 m, 1,25 m, 1,27 m (Standardmaß), 1,30 m, 1,55 m, 1,85 m, 2,05 m, 2,55 m



Für den Bootsbau geeignete Verstärkungsmittel aus Glas

Ob eine Glasverstärkung für den Bootsbau geeignet ist, offenbart ein Tränkeversuch mit einem Isophthalsäureharz (links).

Das Tränken mit einem Standardharz (Orthophthalsäure-Basis) gibt keinen Aufschluß (rechts), wie dieser Versuch – durchgeführt an einem Glaskomplex – zeigt.

Die vollständige Bezeichnung einer Glasmatte wird anhand des folgenden Beispiels erklärt:

M 1 1 3 - 10 - 450 - 125

M	1	1	3	-	10	-	450	-	125	
M										= Matte
	1									= Bindungsart (fester Binder) und Bindungsgrad (leicht löslich in Polyesterharz)
		1								= Schnittlänge des Fadens (52 mm)
			3							= Schlichte (z. B. geeignet für Polyester- und Epoxidharz)
				10						= Fadengewicht in tex (g/1000 m), 10 tex
					450					= Quadratmetergewicht der Matte, 450 g/m ²
							125			= Breite der Matte, 125 cm

Die Matten werden in Rollen auf einem Pappkern mit Gewichten bis zu 80 kg geliefert.

Glasgewebe

Gewebe bestehen aus rechtwinklig miteinander verwebten Kett- und Schußfäden. Besitzt das Gewebe zum Beispiel vier Fäden je Zentimeter Breite in Kett- und ebenso viele Fäden je Zentimeter in Schußrichtung, spricht man von einem symmetrischen Gewebe.

Bei ungleichen Fadenzahlen in den beiden Richtungen nennt man ein Gewebe unsymmetrisch. Solche Gewebe werden im Bootsbau seltener eingesetzt. Als Webart ist die Leinwandbindung am bekanntesten. Dabei verläuft der Schußfaden (er liegt quer zur Rollenrichtung) abwechselnd über und unter dem nächsten Kettfaden.

Gebräuchlich ist auch die Köperbindung, bei der der Schußfaden z. B. über zwei Kettfäden hinwegläuft, dann unter einem Kettfaden durch und wieder über zwei Kettfäden hinweg, usw. (sog. Kreuzkörper). Je weniger Kreuzungspunkte ein Gewebe aufweist, desto schmiegsamer ist es.

Glasgewebe werden in Rollen auf Papprollen mit bis zu 80 kg Gewicht und meistens einem Meter Breite gehandelt. Es sind auch wenige Zentimeter breite Bänder für örtliche Verstärkungen lieferbar.

Für den Bootsbau sind die nebenstehenden Gewebe von Bedeutung.

Die Rovinggewebe werden aus ungedrehten Strängen gefertigt. Insgesamt sind Gewebe von 580 g/m² bis zu 1150 g/m² handelsüblich.

Flächengewicht	Bindung	Glasgewicht in der Kette	Glasgewicht im Schuß	Reißkraft/ Kette/ Schuß	Bemerkungen
580 g	Leinwand	300 g	280 g	120/110 kp	symmetrisch
670 g	Leinwand	335 g	335 g	130/130 kp	symmetrisch
820 g	Leinwand	485 g	335 g	190/130 kp	unsymmetrisch
900 g	Köper	450 g	450 g	180/180 kp	symmetrisch

Rovinggewebe für den Bootsbau

Glasgelege

Diese Glasverstärkungen sind den Rovinggeweben verwandt.

Sie bestehen aus längs- und querliegenden Rovingsträngen, die jedoch nicht miteinander verwebt, sondern mit einem Binfaden vernadelt sind. Die Querstränge liegen geradlinig einer neben dem anderen auf den ebenfalls gerade verlegten Längssträngen.

Da die Auf- und Abbewegung des Strangs, wie in Rovinggeweben, dem Gelege gänzlich fehlt, ergeben sich bei gleicher Glasmenge im Laminat, dem Rovinggewebe gegenüber etwa 20 bis 30 % mehr Zug- und Biegefestigkeit und ein erheblich verbesserter E-Modul, so daß die Verwendung von Gelegen Einsparung an Material erlauben dürfte. Hinzu kommt eine leichtere

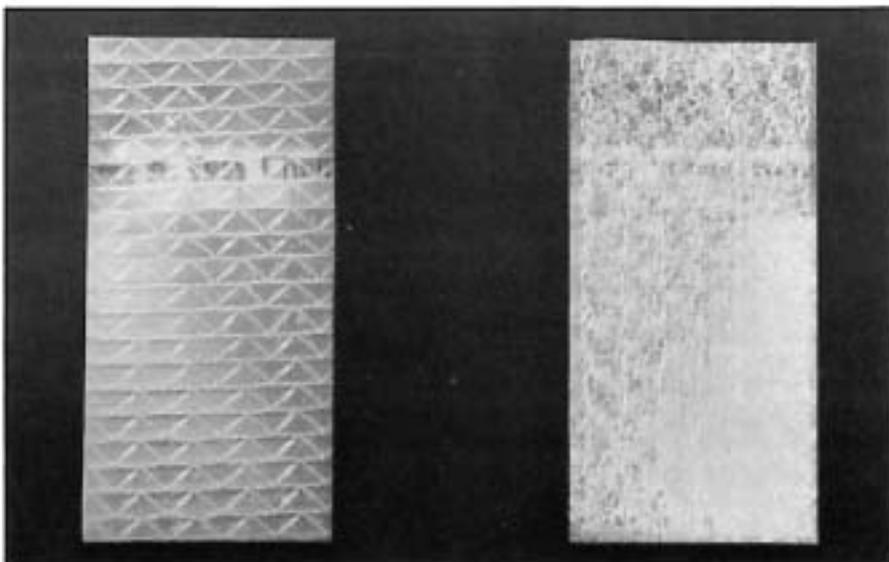
Tränkbarkeit, da die Fäden an den Kreuzungspunkten nicht wie im Gewebe gebündelt und auf diese Weise schlechter benetzbar werden (Foto S. 38). Das Gelege ist von seinen vorteilhafteren Eigenschaften her in der Lage, den Geweben das Feld streitig zu machen.

Die Glashersteller haben Muster von 580 g/m² bis zu 1200 g/m² gefertigt, die zur Zeit auf ihre Eignung für die Praxis hin untersucht werden. Die Ware wird den Geweben entsprechend in Rollen auf Papprohren angeboten.

Glaskomplexe

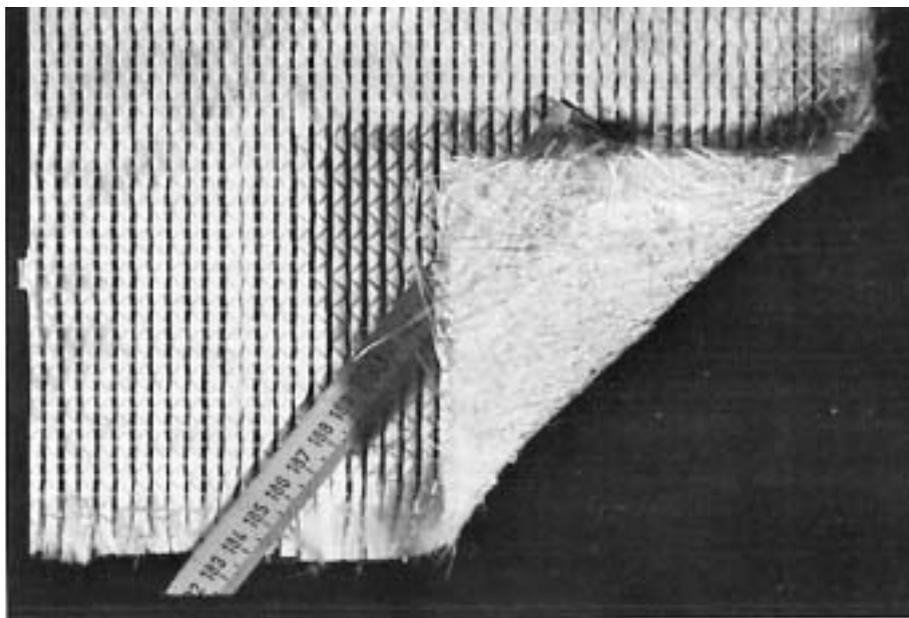
Unter einem Komplex versteht man im GFK-Bereich eine Kombination von Matten mit Rovinggeweben oder Gelegen. Ihre Entstehung verdanken diese Verstärkungsmittel der Tatsache, daß bei Polyesterharz seiner Schrumpfung wegen stets eine Matte zwischen zwei Geweben angeordnet werden sollte. Neueste Untersuchungen deuten übrigens darauf hin, daß es für diese Regel auch Ausnahmen geben kann, wo die Matte zwischen Geweben ohne Nachteile fehlen darf.

Macht man aus dieser Kombination von Matte und Gewebe eine Einheit, so wird damit zum Beispiel Zuschneide-, Einlege- und Tränkzeit eingespart. Durch die verbesserten mechanischen Eigenschaften sind – nach Aussage der Komplexhersteller – Materialeinsparungen von 20 bis 25 % möglich.



Tränkbilder zweier Komplexe

Auch bei den Komplexen gibt es für die Wasserbelastung geeignetere (links) und weniger geeignete Qualitäten, bei denen das Harz die Glasfäden nicht vollständig benetzen kann (rechts).



Aufbau eines Glaskomplexes

Komplexe bestehen aus einem Gelege oder Gewebe, auf dessen Rücken eine Matte aufgenadelt ist.

Glaskomplexe gehören zumindest in England zum Stand der Technik. Qualitäten mit hohem Gewebeanteil erlauben dem Laminierer Glasgehalte von 50 %. Man benötigt also wenig Tränkharz und erreicht so einen Gewichts- und Kostenvorteil.

Diesen Einsparungen auf der Lohnseite steht jedoch eine umfangreichere Lagerhaltung gegenüber, sofern nicht der Komplex in eine Serienproduktion mit eingeplant ist. Sonst macht die Glasmenge von mindestens 750 g/m² für einen sehr leichten Komplex eine exakte Anpassung an das notwendige Glasgewicht in einer GFK-Wand unmöglich.

Zumindest wird auch in Zukunft der getrennte Bezug von Gewebe und Matten dem GFK-Verarbeiter mit wechselndem Produktionsprogramm mehr Variationsmöglichkeiten offenlassen.

Komplexe werden mit Bindefäden genadelt oder durch einen chemischen Binder, ähnlich wie bei den Matten, zusammengehalten.

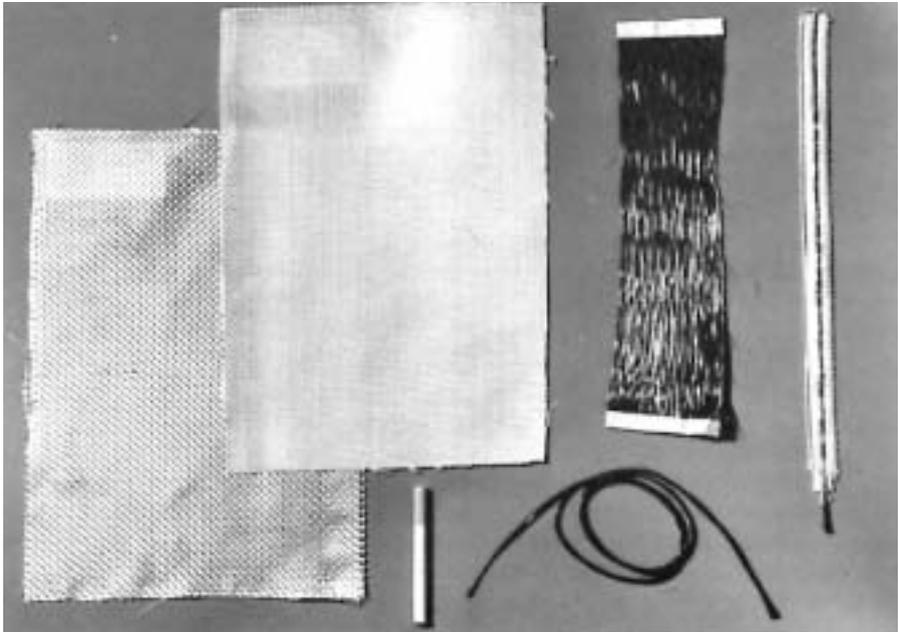
Während sich bei genadelten Komplexen stets der Bindefaden aus Nylon seines Brechungsindex wegen deutlich markiert, kann es bei den chemisch-gebundenen Doppelverstärkungen zu ähnlichen Tränkbildern kommen wie bei der emulsionsgebundenen Matte (siehe Foto S. 44).

Verstärkungsmittel aus anderen Stoffen

Für Boote werden andere als Glasverstärkungen nur in verschwindend kleinem Maße für Spezialaufgaben eingesetzt. Zu den ältesten Konkurrenten gehören thermoplastische Polyester (Diolen®). Seit wenigen Jahren findet man aromatische Polyamide (Kevlar®) und Kohlenstoff-Fäden.

Thermoplastische Polyesterfasern

Sie werden als Matten mit Gewichten ab 100 g/m^2 und als Gewebe angeboten. Die Bruchdehnung von mehr als 15 % und das spezifische Gewicht von $1,3 \text{ g/cm}^3$ hatte die Gewebe zur geeigneten Teilverstärkung für Wildwasserboote werden lassen. Die Faser mit einem Filamentdurchmesser von 22/1000 Millimetern erscheint im Laminat milchig, erlaubt also keine transparenten Laminare. Die Zugfestigkeit mit 10.000 kp/cm^2 liegt, auf das spezifische Gewicht bezogen, mit 72 km günstiger als bei Glas. Der E-Modul von maximal 50.000 kp/cm^2 liegt allerdings sehr niedrig. Die hohe Bruchdehnung verhilft dem Diolen®-verstärkten Laminat zu einem sehr guten Arbeitsaufnahmevermögen.



Andere Verstärkungsmittel für Boote

Diolen (links, im Wildwassersport ist der älteste Konkurrent von Glas), Kevlar (Mitte) und Kohlenstoff als 7,5 cm breites Band aus mehreren Strängen, als Strang im Glasband (rechts) oder Strang mit einem Gewicht von 1 g/m (unten) sind zur Verstärkung von Rennruderbooten bekannt geworden.

Aromatische Polyamid-Fasern

Unter dem Namen Kevlar® ist ein Verstärkungsmittel in Form von Geweben auf dem Markt, das die doppelte Zugfestigkeit und den doppelten E-Modul von E-Glas-Fäden besitzt. Die Druckfestigkeit liegt etwas unter der von E-Glas. Diese Aramid-Faser hat sich bereits im Rennruderboot-Bau bewährt. Dort wurde sie, kombiniert mit Kohlenstoff-Fasern, u. a. auf der Olympiade 1976 eingesetzt. In Kajaks, Motorrennbooten, in die FD-Jolle und das Finn-Dinghi ist Kevlar 49 bereits eingebaut worden, desgleichen in Yachten der Halbtonner-Klasse.

Prüfung	Zugfestigkeit DIN 53454	Druckfestigkeit DIN 53454	Biegefestigkeit DIN 53453	Biege-E-Modul	Zug-E-Modul
N/mm ² bzw. (kp/cm ²)	440 (4.400)	140 (1.400)	400 (4.000)	44.000 (440.000)	44.000 (440.000)

Festigkeit von Aramidfaser-Laminat*

mit Flächengewichten von 63 bis 170 g/m² bei einem Fasergehalt von 44 Gewichtsprozenten = 40 Volumenprozenten.

Aramid-Fasern wie Kevlar werden meistens mit Epoxi-Harzen verarbeitet. Die vorstehende Tabelle und die nachfolgende Festigkeitsbetrachtung macht jedoch deutlich, daß Lamine aus Aramidfasern und Isophthalsäureharzen sehr gute mechanische Werte erreichen. Der Kevlar-Gewichtsanteil der Prüflinge von 44 Gew.-% ist ein Wert, wie er im Handauflegeverfahren erzielbar ist (= 40 Vol.-%).

Rein rechnerisch würde der Ersatz eines 900 g Rovinggewebes durch ein Kevlar-Gewebe folgende Gewichtsvorteile mit sich bringen. Dabei wurden für beide Lamine 45 Gew.-% Fasern zugrunde gelegt:

- Bei **Zugbelastung** entspricht dem 900 g-Roving ein 450 g/m² Kevlar-49-Gewebe. Die Ersparnis an Verstärkungsmittel-Gewicht beträgt damit 50 %. Der Harzbedarf bei 45 Gew.-% Kevlaranteil liegt bei 550 g. Damit wird das Laminatgewicht von 2000 g/m² bei Glas auf 900 g/m², bei Kevlar also auf 45 % des Ausgangsgewichtes gesenkt, da auch das spezifische Gewicht mit 1,31 niedriger liegt als beim Glaslaminat mit 1,55 g/cm³.
- Wird ein Kevlargewebe mit der gleichen **Steifigkeit** wie ein 900 g/m² Glasgewebe verlangt, so muß eine 290 g/m² schwere Kevlar-Qualität eingesetzt werden. Das Laminatgewicht kann damit auf 30 % des Glasgewichtes abgesenkt werden.
- Bei **Druckbelastung** sind dem 900 g/m² Glasgewebe etwa 1030 g/m² Kevlar ebenbürtig. Im fertigen Laminat vermindert sich das Mehrgewicht des Kevlar-Laminats auf etwa 5 % wegen des niedrigeren spezifischen Gewichts.

Bei reiner Druckbelastung würde man sich also mit Kevlar gewichtsmäßig einen Nachteil einhandeln.

* Meßwerte der Interglas-Textil GmbH.

d) Die **Biegefestigkeit** von einem Kevlar-49-Laminat wurde mit 4.000 kp/cm² gemessen. Dieser Wert liegt über der Biegefestigkeit von 2.600 kp/cm² bei einem Roving-Laminat. Das auf Biegung beanspruchte Kevlar-Laminat wird um etwa 50 % leichter als ein Glaslaminat mit gleicher Biegefestigkeit (Fasergehalte: 45 Gew.-%).

Man wird also die Kevlar-Faser möglichst dort einsetzen, wo es um die Aufnahme von Zug- und Biegebelastungen geht, wie zum Beispiel in Bootsrümpfen.

Gewebe-Typ	Reißkraft		Bindung
	Schuß	Kette	
63-g/m ² -Gewebe	460 N/cm = 46 kp/cm	460 N/cm = 46 kp/cm	Leinwand
120-g/m ² -Gewebe	880 N/cm = 88 kp/cm	880 N/cm = 88 kp/cm	Köper
170-g/m ² -Gewebe	1200 N/cm = 122 kp/cm	1200 N/cm = 122 kp/cm	Köper
Unidirektional-Gewebe 170-g/m ² -Gewebe	2250 N/cm = 230 kp/cm	200 N/cm = 20 kp/cm	Leinwand
225-g/m ² -Gewebe	1600 N/cm = 163 kp/cm	1600 N/cm = 163 kp/cm	Köper

Sortiment an Kevlar®-Geweben für das Handverfahren

Bearbeitung von Kevlar-Fasern

Lamine aus Kevlar 49 werden mit Holzwerkzeugen bearbeitet, wobei – wie bei allen Laminaten – darauf zu achten ist, daß sich das Material nicht zu stark erwärmt. Die in Schnittrichtung äußerste Lage neigt zum Ausfransen, so daß sie, zum Beispiel beim Durchbohren, von einer festen Unterlage abgestützt werden muß.

Zum Trennen werden feingezahnte Blätter mit versetzten Zähnen, nicht aber Diamantwerkzeuge benutzt. Lediglich zum Schleifen kann man Diamantscheiben einsetzen.

Kohlenstoff-Fasern

Kohlenstoff-Fasern, noch vor wenigen Jahren mit einem Kilopreis von DM 2.500,- gehandelt, haben sich heute (1977) auf etwa DM 280,- bis DM 600,-/kg verbilligt.

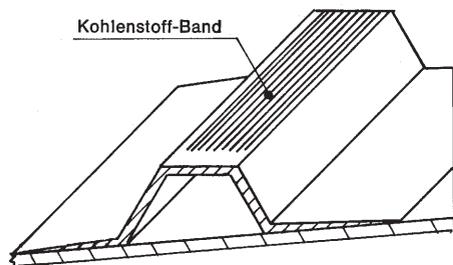
Mit einer Zugfestigkeit, die beim Zweifachen der Glasfaser, einem E-Modul, der beim Eineinhalbfachen des Stahl liegt, und einem spezifischen Gewicht, das mit 1,7 bis 1,9 unterhalb der Glasfaser liegt, hat diese Faser „mittelfristig“ gesehen eine reelle Chance, auch in den Bootsbau einzudringen (siehe Tabelle Seite 37).



Flying Dutchman mit Kohlenstoff-Fasern

Dieses glasverstärkte Regattaboot ist durch die Mitverwendung von 1200 g Kohlenstoffband mit 75 mm Breite deutlich wandungssteifer geworden. Das Gewicht von 87 kg konnte dabei gehalten werden. (Werkfoto: Fa. Mader)

Des hohen Preises wegen scheidet sie in der Regel zwar als Flächenverstärkung aus. Hier wird sie auch bei Leichtbauten der Kevlar-Faser das Feld überlassen müssen. Auf der Druckseite plaziert, als Spant zum Beispiel, bildet sie jedoch eine denkbar gute Ergänzung. Dieser Tatsache hat sie ihren Einsatz in den Renn-Ruderbooten und Rennjollen zu verdanken.



Zchg. 6

Kohlenstoff-Band als Obergurt einer Trapezversteifung

Bei der gewählten Anordnung kann die Faser eine sehr gute Versteifungswirkung entfalten.

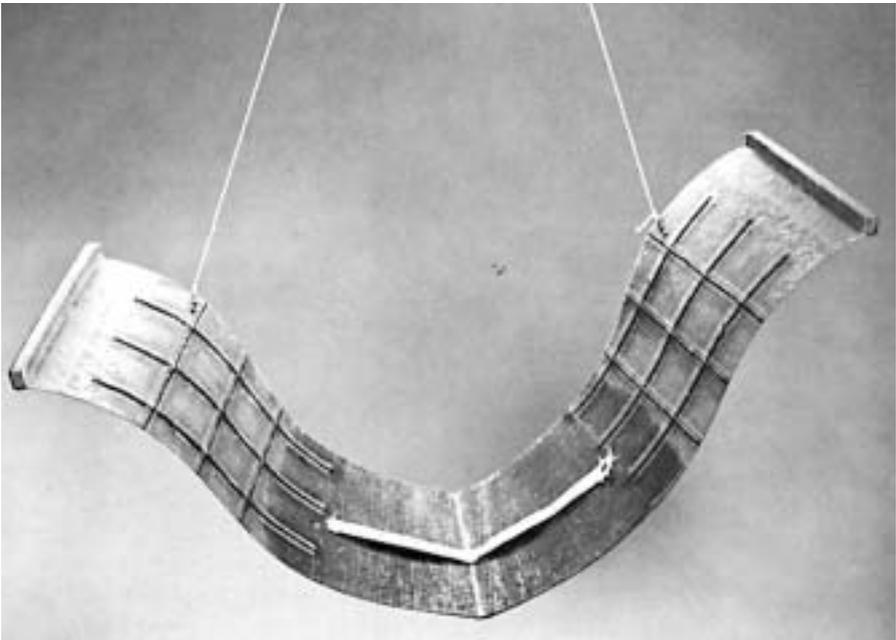
Im Zugbereich eines Bootes (wie im Kiel) kann sie bei Renn-Yachten mit zwei bis vier Tonnen Vorspannung in den Stagen eine äußerst interessante Verstärkung werden, um die Durchbiegungen des Bootes zu verringern.

Kohlenstoff-Fasern sind in verschiedenen Formen erhältlich (s. Foto S. 46).

- a) Kabel von 1 g/m Gewicht mit einem E-Modul zwischen 196 bis 343 GPa (= 2 und 3,5 Mio kp/cm²), einer Zugfestigkeit von 2.000 bis 2.500 MPa (= 20.000 bis 25.000 kp/cm²) und einer Bruchdehnung von 1,2 bis 0,6 %.
- b) Kabel von 2 bis 5 g/m, in einem Glasgewebeband von zwei Zentimetern Breite eingefäßt.
- c) Bänder von 7,5 Zentimetern Breite aus 23 Kohlenstoff-Kabeln oder aus Kohlenstoff-Kabeln und Glasrovings abwechselnd.

Während das spezifische Gewicht der ungetränkten Fasern bei 1,7 bis 1,9 liegt, erhält man bei einem mit 60 Volumenprozent Kohlenstoff-Fäden verstärkten Laminat ein Raumgewicht von 1,4 g/cm³.

Kohlenstoff-Fäden sind sehr scheuerempfindlich, sie müssen vorsichtig gehandhabt werden. Den trockenen Strang trennt man mit einer Schere. Die Bearbeitung des Laminats kann mit Holzwerkzeugen erfolgen. Zum Ent-



Kohlenstoff-verstärkter Boots Ausschnitt

Zur Verbesserung der örtlichen Biegefestigkeit wurde der Vorschiff-Bereich einer Jolle durch das in Glasband gefäßte Kohlenstoff-Kabel ausgesteift.

(Werkfoto: Courtaulds, Coventry)

lüften werden keine gezackten, sondern nur Rollen mit normalen Scheiben verwendet. Der Roller wird nicht quer, sondern nur parallel zur Faser hin- und herbewegt.

Der in Glas eingefasste zwei-, drei- oder fünffache Strang ist, als Netzwerk angeordnet, ein leichtes Versteifungsmittel für Glaslaminat. Werden die Streifen in Spant- und Stringerrichtung, also rechtwinklig angeordnet, so verbessert man damit die Biegesteifigkeit des Bootes. Tapeziert man die Streifen in Diagonalrichtung auf, so wird die Torsionssteifigkeit unterstützt. Die 75 Millimeter breiten Bänder sind als Verstärkungselemente für trapezförmige Spanten geeignet. Sie werden gemäß der nebenstehenden Skizze angeordnet.

Der Kohlenstoff-Gehalt, der mit **I 25 B** oder **I 26 B** im Handverfahren erzielbar ist, liegt bei etwa 45 Gewichtsprozent (= 40 Vol.-%).



Die Werkstoffe und ihre Handhabung

Wenn ein Werftbau mit einer Baunummer dicht unter 300 nach viereinhalb Monaten „Wasserlagerung“ in der Elbe so aussieht, ist das wohl kein Werkstoff-Problem, sondern ein „Montagsschiff“.

Was bestimmt die Eigenschaften von Bauteilen aus GFK?

Die Eigenschaften eines Bauteils aus GFK werden festgelegt durch:

- 1. das gewählte Harzsystem, das für das chemische und thermische Verhalten und zu einem gewissen Teil auch für die Festigkeit maßgebend ist;**
- 2. die Auswahl der Glasverstärkungen nach Art (Matten, Gewebe), Menge und Fadenrichtung (bei Geweben);**
- 3. den Verarbeiter, der mit Sorgfalt und bei geeigneter Temperatur die Teilstoffe in oder auf der Form vereinigt und anhärten läßt, schließlich das Bauteil einer Nachhärtung (Temperung) unterwirft.**

Nur bei der Beachtung aller drei Punkte wird ein einwandfreies Boot entstehen.

Während Harze und Verstärkungen durch umfangreiche Kontrollen in ihrem Einfluß auf den Erfolg bekannt sind, bleibt die Handhabung dieser Stoffe durch den Verarbeiter für ein Bauteil die Entstehungskomponente mit dem größten Einfluß.

Einfluß der Harze

Bis zum Jahre 1973 entstanden alle Boote mit Feinschichten, Laminierharzen und Schlußlacken auf Orthophthalsäure-Basis (klassisches Harzsystem). In den Jahren 1972 und 1973 fand man heraus, daß sich mit Isophthalsäure- und Neopenthyglykolharzen weit höhere Wasserbeständigkeiten erreichen lassen. Dieser Tatsache wurde im Hinblick auf die inzwischen zu traurigem Ruhm gelangte Blasen-Krankheit zu Recht große Beachtung geschenkt.

Es sei an dieser Stelle noch eingefügt, daß Boote aus klassischen Harzen nicht notwendig frühzeitig versagen müssen. Der Bootsbau hatte sich ja zwanzig Jahre lang mit so großem Erfolg der klassischen Harze bedient, daß der Kunststoff die herkömmlichen Baustoffe im Bootsbau weit überflügeln konnte.

Daß sich Versagensfälle häufen, steht sicherlich zu einem Teil mit der erhöhten Verschmutzung der Gewässer im Zusammenhang.

So werden meiner Beobachtung nach Boote im Seewasser nicht so häufig von Blasen befallen wie gerade „Flußschiffe“. Zum zweiten kann das Auftauchen dieser Fehler sehr wohl durch Verarbeitungsmängel unterstützt werden. So wird wohl niemand bestreiten, daß die Schäden an einem Werft-Neubau nach nur vier Monaten Wasserlagerung in der Elbe nicht allein den Werkstoffen anzulasten ist (siehe Foto S. 52).

Harzsysteme und ihre Chemiekalien-Beständigkeit

Um sich über die chemische Eignung von Harzen für den Bootsbaufußschluß zu verschaffen, unterzieht man Musterplatten einer künstlichen Alterung. Dazu lagert man Prüfplatten aus Feinschicht, zwei Lagen pulvergebundener 450-g/m²-Matte mit Laminierharz und einem Schlußlack auf der zweiten Seite in einem 60 °C warmen Bad mit destilliertem Wasser. Der Schlußlack besitzt die gleiche Harzbasis wie die Feinschicht.

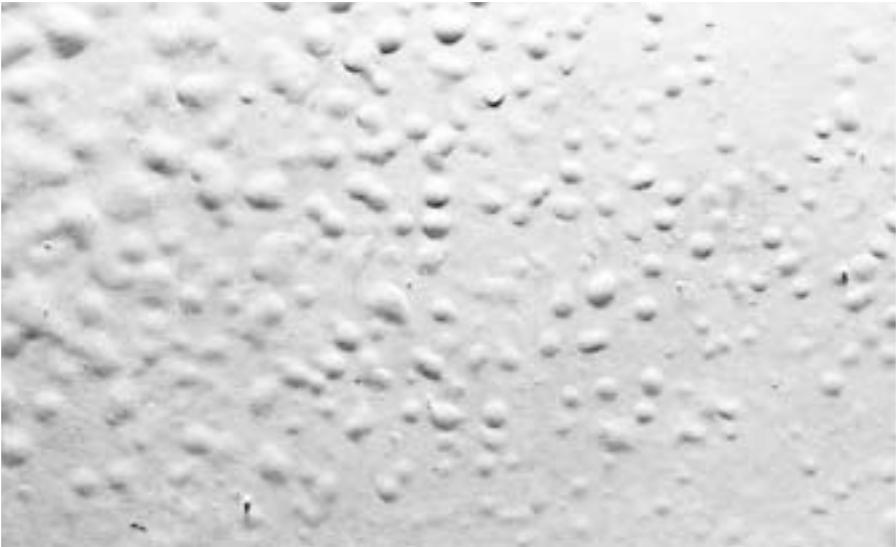
Ein Orthophthalsäure-Laminat aus der Feinschicht G 301, zwei Lagen 450-g/m²-Matte + N 50 als Laminierharz und LT 30 als Schlußlack erreicht eine Prüfzeit von etwa 170 Stunden bis zur ersten Blasenbildung an der Oberfläche.

Ersetzt man entweder die Deckschichten durch die Isophthalsäureharze G 327 und LT 35 B oder aber nur das Laminierharz durch I 25 B, so steigt die Prüfzeit auf mindestens 360 bzw. 455 Stunden an. Durch eine dieser beiden Maßnahmen verdoppelt man die Prüfzeit bereits.

Ein Laminat nur aus Isophthalsäure-Harzen erbringt dann mit mindestens 840 Stunden noch einmal eine reichhaltige Verdoppelung.

Ein Isophthalsäure-System erreicht damit etwa die fünffache Prüfzeit des klassischen Orthophthalsäure-Systems.

Die Folgerung, die sich aus diesen Prüfergebnissen für die Wandung eines Bootes ergibt, sind in dem Kapitel „Wandungssysteme für Boote“ ausgewertet.



Prüfplatte zum Vergleich verschiedener Harze bei Wasserbelastung

Bei einer künstlichen Alterung durch 60 °C warmes, destilliertes Wasser, können verschiedene Harzsysteme auf ihre Eignung für Boote hin miteinander verglichen werden.

Mechanische Eigenschaften der Harze

Obwohl die Festigkeit der Verstärkungsmittel etwa 20mal so groß ist wie die Festigkeit des reinen Harzes, kann die Harzfestigkeit im Verbund und die Fähigkeit des Harzes, die Kräfte in die Verstärkungsfasern einzuleiten, nicht vernachlässigt werden. So ergeben sich bei Festigkeitsmessungen nach den DIN-Normen für zum Beispiel N 50 in reiner und in verstärkter Form gegenüber i 25 B mit und ohne entsprechende Verstärkungen zum Teil wesentliche Unterschiede (siehe Tabelle).

Verwendet man i 25 B als Laminierharz, so verschafft man sich also zusätzlich Sicherheiten, die für Yachten auf großer Fahrt sehr willkommen sind.

Bei Tourenyachten bis zu 20 Metern Länge über Alles ist die Längsfestigkeit in der Regel ausreichend, wenn die erforderliche Biegefestigkeit vorhanden ist (6). Es erscheint allenfalls erwägenswert, den Vorteil der etwa 30 % höheren Biegefestigkeit des verstärkten i 25 B gegenüber dem Sollwert des GL zu einem Teil zu nutzen.

Lfd. Nr.	Harz-Eigenschaft	Mindestwert nach GL	AZUR BE Leguval N 50	Leguval W 25 bzw. i 25 B
1	Zugfestigkeit des reinen Harzes DIN 53455	nicht angegeben	58 N/mm ² = 600 Kp/cm ²	85 N/mm ² = 870 Kp/cm ²
2	wie 1, jedoch mit 30 Gew.-% Glasmatte DIN 53455	84 N/mm ² = 860 Kp/cm ²	87 N/mm ² = 900 Kp/cm ²	120 N/mm ² = 1225 Kp/cm ²
3	wie 1, jedoch mit 40 Gew.-% Glasmatten	nicht angegeben	128 N/mm ² = 1300 Kp/cm ²	150 N/mm ² = 1550 Kp/cm ²
4	Biegebruchfestigkeit des reinen Harzes DIN 53452	78 N/mm ² = 800 Kp/cm ²	108 N/mm ² = 1100 Kp/cm ²	140 N/mm ² = 1430 Kp/cm ²
5	wie 4, jedoch mit 30 Gew.-% Glasmatten DIN 53452	162 N/mm ² = 1650 Kp/cm ²	158 N/mm ² = 1600 Kp/cm ²	230 N/mm ² = 2170 Kp/cm ²
6	wie 4, jedoch mit 40 Gew.-% Glasmatten DIN 53452	nicht angegeben	208 N/mm ² = 2100 Kp/cm ²	260 N/mm ² = 2620 Kp/cm ²
7	Biege-E-Modul des reinen Harzes DIN 53457	3430 N/mm ² = 35.000 Kp/cm ²	3430 N/mm ² = 35.000 Kp/cm ²	3500 N/mm ² = 35.800 Kp/cm ²
8	Reißdehnung DIN 53455	2 %	2 %	3,5 %
9	Martensgrad des reinen Harzes DIN 53458	55 °C	55 °C	80 °C

Vergleich von Harz- und Laminat-Festigkeiten verschiedener Harze mit den Richtlinien des Germanischen Lloyd von 1972

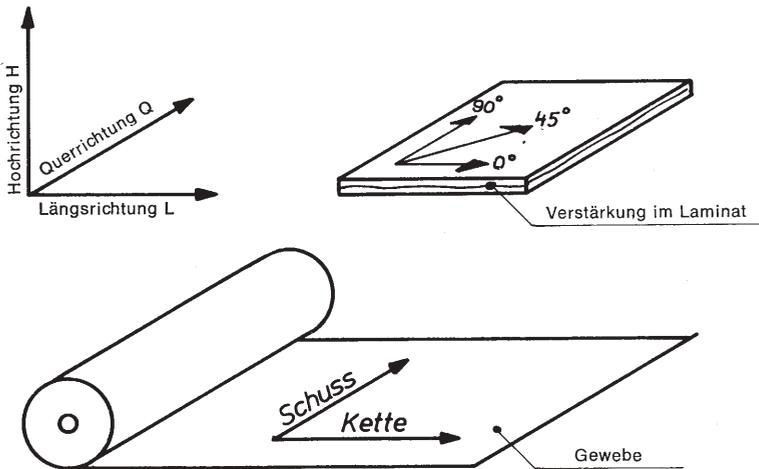
Einfluß der Glasverstärkungen auf die Laminat-Festigkeit

Der Einfluß der Glasfaserverstärkungen wurde im Kapitel „Woraus besteht Fiberglas“ dem Prinzip nach dargelegt (S. 18). Hier soll nun gezeigt werden, welche unmittelbaren Folgen die Verwendung von Matten, Geweben, Gelegen und Unidirektional-Verstärkungen auf ein Laminat hat.

Alle Verstärkungsmittel sind Flächengebilde und verändern die Harzfestigkeit also in erster Linie in der Fläche zwischen Längs- und Querrichtung. Zwischen den Lagen in Hochrichtung wirkt im wesentlichen das Harz allein als Klebemittel. Die Festigkeit in dieser Richtung ist also deutlich niedriger als in der Laminatfläche.

In welcher Weise und durch welche Maßnahmen die – wie wir gesehen haben – auch in der Fläche richtungsabhängige Laminat-Festigkeit beeinflußt werden kann, wird im Folgenden dargelegt.

Zchg. 7



Die Richtungsabhängigkeit von Verstärkungsmitteln

Die meisten Verstärkungsmittel sind Flächengebilde und haben deshalb hauptsächlich in der Ebene zwischen Längs- und Querrichtung ihre verstärkende Wirkung. In Hochrichtung ist ihr Einfluß gering. Während Matten innerhalb der Längs-Quer-Ebene in allen Richtungen gleichmäßig verstärken, haben Gewebe sog. Vorzugsrichtungen (Ketttrichtung = 0° und Schußrichtung = 90°), in denen sie größere Kräfte aufnehmen können als z. B. unter 45° . Diese Eigenschaft kann man bei lose gewebtem Stoff beobachten. Zieht man an zwei gegenüberliegenden Ecken, so wird aus einem Viereck ein Parallelogramm.

Mehr Festigkeit mit wachsendem Glasanteil

Daß ein glasreiches Laminat bessere mechanische Eigenschaften aufweist als ein mit weniger Verstärkungsmitteln gefülltes, ist verständlich. Die Beurteilung eines verstärkten Kunststoffes ist deshalb nur möglich, wenn man seinen Glasgehalt ψ (Psi) kennt. Der Glasgehalt wird folgendermaßen errechnet:

$$\text{Glasgehalt } \psi = \frac{\text{Glasgewicht}}{\text{Glasgewicht} + \text{Harzgewicht}}$$

Für eine 450 g/m² schwere Glasmatte erhält man bei der Tränkung mit 1300 g Harz einen Glasgehalt von 26 %:

$$\text{Glasgehalt } \psi = \frac{450 \text{ g/m}^2}{450 \text{ g/m}^2 + 1300 \text{ g/m}^2} = 0,26 = 26 \%$$

Verwendet man weniger Harz, z. B. 1100 g/m² zur Tränkung, so steigt der

$$\text{Glasgehalt } \psi = \frac{450 \text{ g/m}^2}{450 \text{ g/m}^2 + 1100 \text{ g/m}^2} \text{ auf } 29 \%$$

Mattengewicht	225 g/m ²	300 g/m ²	450 g/m ²	600 g/m ²
Tränkharzmenge bei 25 % Glasgehalt	675 g/m ²	900 g/m ²	1350 g/m ²	1800 g/m ²
Laminatgewicht bei 25 % Glasgehalt	900 g/m ²	1200 g/m ²	1800 g/m ²	2400 g/m ²
Tränkharzmenge bei 30 % Glasgehalt	525 g/m ²	700 g/m ²	1050 g/m ²	1400 g/m ²
Laminatgewicht bei 30 % Glasgehalt	750 g/m ²	1000 g/m ²	1500 g/m ²	2000 g/m ²
Mindergewicht des Laminats mit 30 % gegenüber dem mit 25 % Glasgehalt	150 g/m ²	200 g/m ²	300 g/m ²	400 g/m ²

Mattenlaminat-Gewichte und Gewichtsunterschiede bei Glasgehalten von 25 und 30 %

Mit viel Einsatz können bei Matten bis zu 35 % Glasanteil im Hand- und Faserspritz-Verfahren erzielt werden. Auf diese Weise kann man das Laminat-Gewicht bei einer 450 g/m²-Matte sogar um 600 g/m² vermindern.

Man spart auf diese Weise 15 % der Harzmenge. Das schlägt sich in den Kosten und im Gewicht des Fertigteils nieder.

Nebenstehend sind die notwendigen Harzmengen für Matten bei den im Handauflegeverfahren üblichen Glasgehalten von 25 und 30 % aufgeführt. Die Glasgehalten für Gewebe, die im Handauflegeverfahren erzielbar sind, liegen zwischen 45 und 55 Gew.-%. Man benötigt also bei gleicher Glasmenge weit weniger Tränkharz für ein Gewebe als für eine Matte. Die Festigkeit eines Gewebes wird also bei weniger Gesamtgewicht erreicht.

Tränkt man ein 580 g/m² schweres Rovinggewebe, so benötigt man dazu 710 g/m² Harz und erzielt einen

$$\text{Glasgehalt } \psi = \frac{580 \text{ g/m}^2}{580 \text{ g/m}^2 + 710 \text{ g/m}^2} = 45 \%$$

Mit 580 g/m² Tränkharz ist im Handauflegeverfahren ein Glasanteil von 50 Gew.-% erzielbar.

Die folgende Tabelle gibt über die Tränkharmengen und Laminatgewichte bei 45 und 50 Gew.-% Glasgehalten Aufschluß.

Quadratmetergewicht des Gewebes	580 g/m ²	670 g/m ²	900 g/m ²
Tränkharzmenge bei 45 Gew.-% Glasgehalt	710 g/m ²	820 g/m ²	1100 /m ²
Laminatgewicht bei 45 Gew.-% Glasgehalt	1290 g/m ²	1490 g/m ²	2000 g/m ²
Tränkharzmenge bei 50 Gew.-% Glasgehalt	580 g/m ²	670 g/m ²	900 g/m ²
Laminatgewicht bei 50 Gew.-% Glasgehalt	1160 g/m ²	1340 g/m ²	1800 g/m ²
Mindergewicht des Laminats mit 50 gegenüber dem mit 45 Gew.-% Glasgehalt	130 g/m ²	150 g/m ²	200 g/m ²

Gewebelaminat-Gewichte und Gewichtsunterschiede bei Glasgehalten von 45 und 50 Gew.-%

Es läge nun nahe, GFK-Wandungen nur mit Geweben aufzubauen. Das erbringt jedoch nicht den gewünschten Erfolg. Über den Schrumpf des Polyesterharzes von acht Volumen-Prozent und die Harzansammlungen an den Kreuzungspunkten entstehen innere Spannungen, die die äußere Festigkeit reduzieren.

Zwischen zwei Gewebelagen gehört bei den Polyesterharzen daher stets eine Glasmatte. Dies ist ein in Deutschland und nach GL geltender Brauch, dem jedoch im Ausland nicht überall gehuldigt wird.

Bei Epoxidharzen mit einem bei 4 Prozent liegenden Volumenschumpf wird meistens eine reine Gewebe-Verstärkung praktiziert.

Da Glas doppelt so schwer ist wie Harz, steigt das spezifische Gewicht des Laminats mit höherem Glasanteil. Mit einem spezifischen Harzgewicht von $\gamma\text{-Harz} = 1,22 \text{ g/cm}^3$ und einem spezifischen Glasgewicht von $\gamma\text{-Glas} = 2,55 \text{ g/cm}^3$ erhält man folgende Werte:

Glasgehalt ψ	Spez. Gewicht γ	Glasvolumen-Anteil φ
25 Gew.-%	1,40 g/cm ³	14 Vol.-%
30 Gew.-%	1,44 g/cm ³	17 Vol.-%
35 Gew.-%	1,49 g/cm ³	20 Vol.-%
40 Gew.-%	1,54 g/cm ³	24 Vol.-%
45 Gew.-%	1,59 g/cm ³	28 Vol.-%
50 Gew.-%	1,65 g/cm ³	32 Vol.-%
55 Gew.-%	1,71 g/cm ³	36 Vol.-%

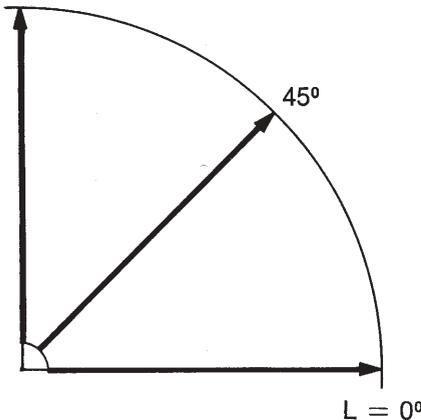
Glasgehalt, spezifisches Gewicht und Volumenanteil von Glaslaminaten

Festigkeitsverhalten von Matten-Laminaten

Die 25 oder 50 Millimeter langen Fadenabschnitte liegen in der Fläche willkürlich, sie sind nicht gerichtet. Glasmatte haben daher in allen Flächen-

$$Q = 90^\circ$$

Zchg. 8



Zugfestigkeit von Mattenlaminaten

In der Ebene zwischen Längsrichtung L und Querrichtung Q verstärken Matten das Kunstharz gleichmäßig, sie haben keine Vorzugsrichtung. Der Verarbeiter kann die Mattenbahnen deshalb in jeder beliebigen Richtung verlegen. Das für den Viertelkreis zwischen 0° und 90° dargestellte Verhalten gilt auch für die Richtungen von 90° bis 360° .

Richtungen die gleichen Verstärkungswirkungen. Stellt man die Matten-Laminat-Zugfestigkeit durch einen Pfeil als Längensymbol dar, beschreibt der für alle Richtungen gleich lange Pfeil mit seiner Spitze einen Kreis.

Der Verarbeiter kann also die Matte in beliebigen Richtungen verlegen, ohne daß sich die Zugfestigkeit ändert.

Man wird also unter anderem dann Matten einsetzen, wenn die angreifenden Kräfte in ihren Richtungen wechseln können, so wie das im Bootsbau meistens der Fall ist.

Die Druckfestigkeiten von Laminaten mit 30 % Glasmattenanteil betragen etwa das 1,5fache der Zugfestigkeit oder geringfügig mehr.

Die Biegefestigkeit beim gleichen Glasanteil liegt noch einmal um etwa 15 % höher als die Druckfestigkeit, also bei der 1,7fachen Zugfestigkeit.

Die Festigkeit zwischen zwei Mattenlagen (interlaminare Scherfestigkeit oder Senkrechtzugfestigkeit) liegt bei Mattenlagen in der Größenordnung der Harzfestigkeit.

Festigkeitsverhalten von Gewebe-Laminaten

Gewebe haben in Kett- und Schußrichtung die größte Verstärkungswirkung. Unter 45° , also in der Winkelhalbierenden zwischen Kett- und Schußrichtung (siehe S. 56), ist die Verstärkungswirkung nur noch etwa halb so groß wie in Fadenrichtung.

Im Diagramm stellt sich die Festigkeit deshalb als Wellenlinie mit den Größtwerten in der 0° - und 90° -Richtung dar. Sind die Zahl der Fäden je Zentimeter in beiden Richtungen und die Fadenstärke gleich, so ergeben sich in Kett- und Schußrichtung gleichartige (symmetrische) Eigenschaften. Diese symmetrischen Gewebe werden im Bootsbau bevorzugt. Besitzt eine Richtung mehr oder stärkere Fäden je Zentimeter, so wird das Gewebe als unsymmetrisch bezeichnet.

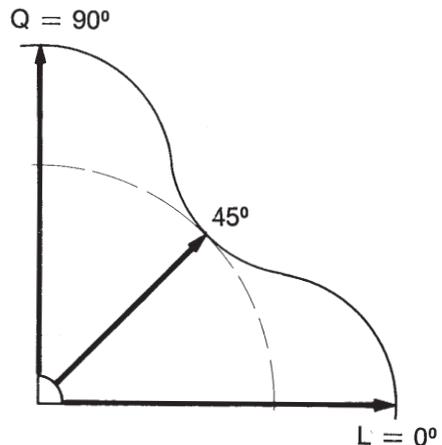
Zchg. 9

Zugfestigkeit eines Gewebelaminates

Das Festigkeitsschaubild des Gewebelaminates spiegelt die beiden Vorzugsrichtungen 0° und 90° (Kett- und Schußrichtung) mit optimaler Verstärkungswirkung wider. Unter 45° beträgt die Zugfestigkeit nur etwa die Hälfte der maximalen Werte.

Legt der Verarbeiter die Kettrichtung des Gewebes in die Hauptkrafttrichtung, so wird die Verstärkungswirkung am besten genutzt.

Es ist das Verhalten eines in Kette und Schuß symmetrischen Gewebes gezeichnet. Für ein unsymmetrisches Gewebe ist die Zugfestigkeit z. B. unter 90° geringer und die gesamte Kurve entsprechend verschoben.



Will der Bootsbauer die verstärkende Wirkung des Gewebes voll nutzen, so legt er die Fäden in die Haupt-Kraftrichtung, meistens längs und quer, bei Segelyachten zum Teil auch diagonal zur Fahrtrichtung.

Die **Druckfestigkeit** der Gewebe-Lamine liegt bei etwa 80 % der Zugfestigkeit. Das erklärt sich aus der schlangenförmigen Anordnung der Fäden im Harz. Bei Druck knicken sie zur Seite hin aus.

Die **Biegefestigkeit** liegt um etwa 10 % über der Zugfestigkeit. Will man die verminderten Festigkeiten des Gewebes in 45°-Richtung ausgleichen, so verlegt man die Gewebe abwechselnd parallel und unter 45°-Winkel zum Kiel. Auf diese Weise erhält man eine in allen Richtungen der Fläche annähernd gleiche Zugfestigkeit. Die Tabelle auf Seite 43 zeigt die Zugfestigkeiten einiger Gewebe in 0°- und in 90°-Richtung.

Festigkeitsverhalten von Gelege-Laminaten

Da bei Gelegen die Fäden in Kett- und Schußrichtung gestreckt kreuzweise aufeinandergelegt sind (siehe Foto S. 38), besitzen Gelege bei gleichem Glasanteil eine etwa um 25 % höhere **Zugfestigkeit** wie gleichschwere Gewebe.

Ihre Festigkeitsverteilung ist der der Gewebe ähnlich, also in Kett- und Schußrichtung am größten, unter 45° etwa halb so groß. Auch die **Druckfestigkeit** des Geleges liegt um etwa 20 % unter seiner Zugfestigkeit. Die **Biegefestigkeit** beträgt etwa 10 % mehr als die Zugfestigkeit. Bei diesen Vergleichen sind stets gleiche Glasgehalte zugrunde gelegt.

Übersicht über die Eigenschaften von glasverstärktem UP-Harz

In der folgenden Tabelle (7) sind einige mechanische, thermische und elektrische Werte für matten- und gewebeverstärkte UP-Harze aufgeführt. Für das Handauflegeverfahren können die Werte von 25 % Glasgehalt bei Matten und 45 % Glasgehalt bei Geweben zur Orientierung benutzt werden. Die Angaben sind als Mindestwerte bei Standardharzen zu betrachten.

Genaue mechanische Daten für die zum Bootsbau vorgeschlagenen Harze AZUR, BE, N 50 und für i 25 B finden Sie in der Tabelle Seite 55.

Kennwerte	Prüfvorschrift				Bemerkungen
Glasgehalt Gew. %		25	35	45	
Vol. %		15	20	28	
Dichte g/cm ³	DIN 53 479	1,35	1,45	1,55	
Mittlerer linearer Ausdehnungskoeffizient $\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \cdot 10^4$	VDE 0304 Teil 1	36	27	22	Bei 10° bis 80°
Wärmeleitzahl kcal/mh°C	DIN 52 612	0,15	0,2	0,25	
Zugfestigkeit mind. kp/cm ²	DIN 53 455	750	1 000	1 500	Probenform 2
Bruchdehnung mind. %	DIN 53 455	2	2	2	
E-Modul a. Zugversuch kp/cm ²	DIN 7705	70 000	80 000	100 000	
Biegefestigkeit mind. kp/cm ²	ASTM D 790—59 T entspr. DIN 53 452 l/d = 16	1 300	2 000	2 000	
E-Modul aus Biegung kp/cm ²	DIN 53 452	60 000	80 000	100 000	Vergleichb. m. Zug
G-Modul kp/cm ²	DIN 53 455	22 000	30 000	40 000	
Druckfestigkeit mind. kp/cm ²	Fed. Spec. L—P—406 b Methode 1021	1 200	1 500	1 800	
Schlagzähigkeit mind. cmkp/cm ²	DIN 53 453	35	60	90	Normkleinst. Schlagricht. senkr. z. Lagenebene
Logarith. Dekrement der mech. Dämpfung	DIN 53 445	0,15	0,15	0,15	bei 20 °C (temperaturabhängig)
Formbeständigkeit in der Wärme nach Martens	DIN 53 458 °C	60	100	180	bei Einsatz von Harzen mit einer Martensw. bis 55°
		100	> 200*	> 200*	über 55° bis 80°
		> 200*	> 200*	> 200*	über 80° bis 130°
Oberflächenwiderstand	DIN 53 482 VDE 0303 Teil 3	10 ¹²	10 ¹²	10 ¹²	
Durchschlagsfestigkeit KV/mm	DIN 53 481 VDE 0303 Teil 2	20	20	20	Mindestwerte trocken
Spez. Durchgangswiderstand trocken $\Omega \cdot \text{cm}$	DIN 53 482 VDE 0303 Teil 3	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	
Spez. Durchgangswiderstand naß $\Omega \cdot \text{cm}$	DIN 53 482 VDE 0303 Teil 3	10 ¹⁰	10 ¹⁰	10 ¹⁰	
Kriechstromfestigkeit	DIN 53 480				
<p>* Ende des Meßbereiches der Prüfeinrichtung. Erfahrungswert für die Gebrauchsfähigkeit ohne äußere Belastung: Kurzzeitig (einige Stunden) etwa 150 °C, dauernd (Monate bis Jahre) bis etwa 100 °C für obige Glasgehaltanteile. Die angegebenen Werte sind in Kurzzeitprüfungen ermittelt worden und beziehen sich auf handelsübliches, styrolgelöstes Polyesterharz. Diagramme in Abhängigkeit von Einflußgrößen, z. B. Temperaturen, Belastung, Zeit, chemische Beständigkeit usw., und die aus Langzeitprüfungen (statisch und dynamisch) ermittelten Werte werden zu einem späteren Zeitpunkt nachgetragen. Die Proben für die Prüfungen sind unter Bedingungen, wie sie für technische Teile angewendet werden, hergestellt worden.</p>					

Werkstoff-Leistungsblatt für Mattenverstärkung

Kennwerte	Prüfvorschrift				Bemerkungen
Glasgehalt Gew. %		45	55	65	
Vol. %		28	34	46	
Dichte g/cm ³	DIN 53 479	1,55	1,65	1,80	
Mittlerer linearer Ausdehnungskoeffizient $\frac{l}{l_0} \cdot 10^6$	VDE 0304 Teil 1	20	17	15	Bei 10° bis 80° Gemessen in Kettrichtung
Wärmeleitzahl kcal/mh°C	DIN 52 612	0,20	0,25	0,30	senkrecht zur Schichtebene
Zugfestigkeit kp/cm ²	DIN 53 455	2 200	2 500	2 800	Probenform 2
Bruchdehnung mind. %	DIN 53 455	2	2	2	
E-Modul a. Zugversuch kp/cm ²	DIN 7705	120 000	160 000	200 000	
Biegefestigkeit mind. kp/cm ²	ASTM D 790—59 T entspr. DIN 53 452 l/d = 16	2 400	2 800	3 500	
E-Modul aus Biegung kp/cm ²	DIN 53 452	120 000	160 000	200 000	Vergleichb. m. Zug
G-Modul kp/cm ²	DIN 53 445	20 000	30 000	40 000	
Druckfestigkeit mind. kp/cm ²	Fed. Spec. L—P—406 b Methode 1021	1 600	2 000	2 400	
Schlagzähigkeit mind. cmkp/cm ²	DIN 53 453	150	180	200	Normkleinst. Schlagricht. senkr. z. Lagenebene
Logarith. Dekrement der mech. Dämpfung	DIN 53 445	0,05	0,05	0,05	bei 20 °C temperaturabhängig
Formbeständigkeit in der Wärme nach Martens	DIN 53 458 °C	180	> 200*	> 200*	bei Einsatz von Harzen mit einer Martensw. bis 55°
		> 200*	> 200*	> 200*	über 55° bis 80°
Oberflächenwiderstand	DIN 53 482 VDE 0303 Teil 3	10 ¹²	10 ¹²	10 ¹²	
Durchschlagsfestigkeit KV/mm	DIN 53 481 VDE 0303 Teil 2	25	25	25	Mindestwerte trocken
Spez. Durchgangswiderstand trocken Ω · cm	DIN 53 482 VDE 0303 Teil 3	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	
Spez. Durchgangswiderstand naß Ω · cm	DIN 53 482 VDE 0303 Teil 3	10 ¹⁰	10 ¹⁰	10 ¹⁰	
Kriechstromfestigkeit	DIN 53 480	KA3c (fr. T5)	KA3c (fr. T5)	KA3c (fr. T5)	

* Ende des Meßbereiches der Prüfeinrichtung.
Erfahrungswert für die Gebrauchsfähigkeit ohne äußere Belastung: Kurzzeitig (einige Stunden) etwa 150 °C, dauernd (Monate bis Jahre) bis etwa 100 °C für obige Glasgehaltanteile.
Die angegebenen Tabellenwerte sind in Kurzzeitprüfungen ermittelt worden und beziehen sich auf handelsübliche, styrolgelöste Polyesterharze ohne Füllstoffe, dessen Wichte im ausgehärteten Zustand, 1,2 p/cm³ beträgt. Die Werte, die aus Langzeitprüfungen ermittelt worden sind, wurden später nachgetragen.
Die Proben für die Prüfungen sind unter Bedingungen, wie sie für technische Teile angewendet werden, hergestellt worden.

Werkstoff-Leistungsblatt für Gewebeerstärkung

Dimensionierung und Berechnung von Bootsteilen

Über die Dimensionierung von Bauteilen aus GFK gibt es eine Fülle von Veröffentlichungen. Es gibt wohl kaum einen Werkstoff, in den man – an seinem Alter gemessen – soviel Forschungsarbeit gesteckt hat.

Man ist daher durchaus in der Lage, über das Verhalten von GFK unter Einfluß von Kräften, Wasser oder Temperatur dann eine Aussage zu machen, wenn man zum Beispiel die Größe der einwirkenden Kraft kennt. Wirken Kräfte nur zeitweise, aus verschiedenen Richtungen und verschieden stark, so wird eine Rechnung sehr schwierig. Genau dieses Problem tritt im Bootsbau auf.

Man wird also nicht umhin können, auf Erfahrungen zurückzugreifen, wenn man zu sicheren Bauteilen im Bootsbau kommen will. Hier bieten sich die Bauvorschriften des Germanischen Lloyd, also der deutschen Klassifikationsgesellschaft an, die ursprünglich aus dem Erfahrungsschatz namhafter Konstrukteure entstanden sind.

Vereinfachte Festigkeitsrechnung für Matten- und Gewebelamine

Nach der Ausführung über die wachsende Festigkeit je Quadratzentimeter mit steigendem Glasgehalt (siehe Kapitel „Mehr Festigkeit mit wachsendem Glasanteil“) muß die nebenstehende vereinfachte Tabelle merkwürdig erscheinen. Sie ist jedoch sehr praktisch. Das soll an einem Vergleich erklärt werden.

Bei einem Glasgehalt von 25 % wird ein Laminat mit einer 450 g/m² schweren Matte etwa 1,1 Millimeter dick. Dazu sind 1300 g Tränkharz notwendig. Arbeitet man nun mit mehr Harz – zur Vereinfachung werden 2 x 1300 g = 2600 g angenommen – so sinkt der Glasgehalt auf die Hälfte, also 12,5 % ab, und die Schichtdicke wächst auf etwa 2,2 Millimeter an.

Die Verstärkungswirkung durch das Glas ist dabei, absolut gesehen, natürlich gleich groß geblieben, nämlich 88 kg auf einem Zentimeter Streifenbreite. Die Mehrfestigkeit der jetzt doppelt so dicken Harzschicht wird bei dieser Rechnung nicht berücksichtigt. Sie bietet lediglich eine Festigkeitsreserve.

Auf diese Weise kann man sich also bei einer Festigkeitsrechnung von dem Glasgehalt lösen. Dies ist eine einfache und sichere Möglichkeit, die geforderten Festigkeiten zu erreichen, wobei vorausgesetzt wird, daß die Verstärkungen in genug Tränkharz eingebettet sind.

Werden also in einer Bootswand 264 kp/cm Zugfestigkeit verlangt, so wird man drei Lagen 450-g/m²-Matte à 88 kp/cm Festigkeit übereinandertapezieren. Der Harzverbrauch spielt dabei keine Rolle, wohl aber bei den Herstellungskosten und beim Bootsgewicht. Die Biegefestigkeit wird mit steigender Harzmenge größer. Dieser vereinfachten Festigkeitsberechnung bedient sich auch der Germanische Lloyd in seinem Tabellenwerk.

Verstärkungsmittel	Bindung von Kette und Schuß	Reißlast je cm Kette	Reißlast je cm Schuß	Bemerkungen
225-g/m ² -Matte	Pulver-Bindung	425 N/cm = 44 kp/cm	425 N/cm = 44 kp/cm	die Festigkeit ist in jeder Richtung gleich*)
300-g/m ² -Matte	Pulver-Bindung	576 N/cm = 59 kp/cm	576 N/cm = 59 kp/cm	die Festigkeit ist in jeder Richtung gleich*)
450-g/m ² -Matte	Pulver-Bindung	860 N/cm = 88 kp/cm	860 N/cm = 88 kp/cm	die Festigkeit ist in jeder Richtung gleich*)
580-g/m ² -Rovinggewebe	Leinwand	1180 N/cm = 120 kp/cm	1080 N/cm = 110 kp/cm	symmetrisch, also gleiche Festigkeit in 0 °C und 90 °C
670-g/m ² -Rovinggewebe	Leinwand	1300 N/cm = 130 kp/cm	1300 N/cm = 130 kp/cm	symmetrisch
820-g/m ² -Rovinggewebe	Leinwand	1865 N/cm = 190 kp/cm	1275 N/cm = 130 kp/cm	unsymmetrisch
900-g/m ² -Rovinggewebe	Köper	1765 N/cm = 180 kp/cm	1765 N/cm = 180 kp/cm	symmetrisch

Reißlasten-Tabelle für Matten und Gewebe

Die Aufstellung dient zur Reißlastberechnung ohne Berücksichtigung der Harzfestigkeiten.

Bemessen von Bootsteilen

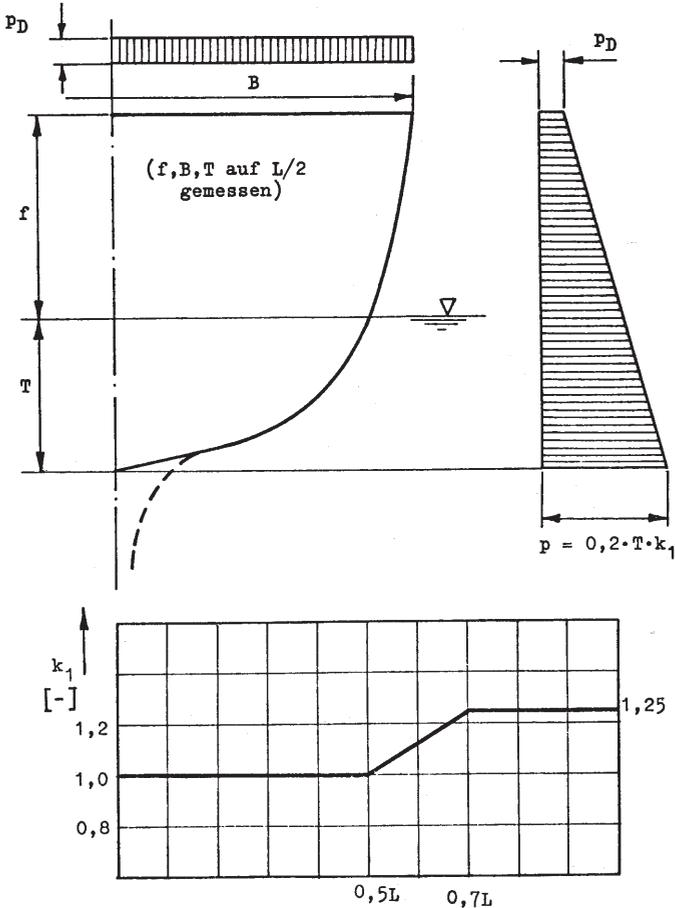
Speziell für die Bemessung von Bootsteilen sollte man sich auf jeden Fall an die Vorschriften des Germanischen Lloyd (8) halten. Der GL hat in seinen Vorschriften für die Auslegung von Verdrängern allen Erfordernissen der statischen und dynamischen Kräfte, die auf ein Schiff wirken, Rechnung getragen. In seiner Tabelle sind auch die notwendigen Zuschläge für extreme Belastungen (Grundberührung) und für Alterung mit eingebaut, die teilweise auf Rechnungen, teilweise auf Erfahrungen beruhen.

Über die Hauptmaße des Bootes werden Schlüsselzahlen gefunden, die als Mindest-Reißlasten ausgewiesen sind. Unter Reißlast versteht der GL die Festigkeit einer Matte oder eines Gewebes in kp (N) je Zentimeter Breite in Kette und Schußrichtung. Für die ermittelten Reißlasten sind Tabellen mit verschiedenen Laminat-Zusammenstellungen in die Vorschriften mit aufgenommen. Danach kann ein geeigneter Wandungsaufbau – ohne den eigenen Rechenstift – gefunden werden.

* Errechnet aus der GL-Ausgabe für die 450 g/m²-Matte.

Über das abgelesene Biegemoment des Laminats wird – wieder aus einer Tabelle – in Zusammenhang mit der Druckhöhe oder der Decksbelastung der Abstand und die Bauart der Spanten und der Stringer ermittelt. Der GL hat sich bemüht, die Rechnung für den Benutzer der Vorschriften einfach zu halten. Der erklärende Text der Ausgabe von 1972 besitzt jedoch stellenweise nicht die notwendige Klarheit, um problemlos mit der Vorschrift arbeiten zu können. Der gewerbliche und der Hobby-Bootsbauer werden mit Hilfe der GL-Vorschriften am sichersten an eine dauerhafte Bootskonstruktion kommen.

Zchg. 10



Bodendruck bei einem Verdränger (6)

Der Bodendruck p folgt der Formel $p = 0,2 \cdot T \cdot K_1$. Dabei ist T der Rumpftiefgang ohne Flosse. K_1 ist ein Korrekturfaktor, der mit dem Wert 1,25 die Beanspruchung durch Seeschlag im vorderen Schiffsbereich berücksichtigt.

In jedem Fall sind die ermittelten Reißlasten für die einzelnen Bootsbereiche eine gute Richtschnur. Davon ausgehend kann man durchaus eigene Laminat-Konstruktionen verwirklichen, die zum Beispiel durch die Verwendung von Roving und damit einem verminderten Matteneinsatz zu einem kleineren Schalengewicht führen. Das soll an einem Beispiel erläutert werden.

Ein Laminat mit 886 kp/cm Reißlast aus 450-g/m²-Matte, 670-g/m² Roving, 6 x 450-g/m²-Matte und 670-g/m²-Roving wiegt je Quadratmeter 15,5 kg/m². Ein Laminat mit 892 kp/cm Reißlast aus 4 x (450-g/m²-Matte und 670-g/m²-Roving im Wechsel) wiegt nur 13,7 kg/m², also 2,2 kg weniger oder fast 15 %. Mit einer Kombination aus 300-g/m²-Matte und 3 x (900-g/m²-Roving + 225 g/m²) + 900-g/m²-Roving läßt sich das Flächengewicht noch einmal verringern. Es beträgt nur noch 11,825 kg/m². Hier sind bereits 25 % des Schalengewichts eingespart.

Durch Erhöhung des Glasanteils um 5 % auf 30 % bei den Matten und auf 50 % bei den Geweben können noch einmal weitere 1500 g/m² Harz eingespart werden. Die verbleibenden 10,32 kg/m² entsprechen einer Verminderung des Schalengewichts um $\frac{1}{3}$ gegenüber dem harzreichen Laminat mit hohem Mattenanteil. Da die glasreichere Wand dünner ist, liegt ihr Biegemoment niedriger. Sie biegt sich leichter durch. Die Spanten oder Stringer müssen also enger gesetzt werden. Dadurch entfällt ein Teil des vorher errechneten Mindergewichts, wenn man allein die Schale und ihre Aussteifung betrachtet. Bildet man die ja ohnehin vorhandene Inneneinrichtung als Spanten und Längsstringer mit aus, so ist der rechnerische Vorteil mit nur kleinen Abstrichen nutzbar.

Hinweise zur Dimensionierung

Wer sich mit der Bemessung von GFK-Bauteilen befassen will, sei auf die einschlägige Literatur (9) verwiesen.

Die folgenden Hinweise sollen vielmehr dazu beitragen, die Eigenschaften von GFK realistischer einzuschätzen und einige Schlüsse daraus zu ziehen.

1. Lamine, die unter Last stehen, wie zum Beispiel ein GFK-Stab mit einem angehängten Gewicht, werden mit der Zeit immer länger. Sie kriechen bzw. dehnen sich.
2. Eine maximale Dehnung von zum Beispiel 0,3 % darf unter den Betriebsbedingungen bis an das Lebensende des Bootes nicht überschritten werden. Oberhalb dieser Dehnung treten Mikrorisse und damit beschleunigtes Versagen ein, ähnlich einer schlanken Säule, die sich erst sehr langsam zur Seite durchbiegt und dann plötzlich ausknickt.

Die Mikrorisse werden durch den hohen E-Modul der Glasfasern hervorgerufen, die nicht in, sondern quer zur Lastrichtung liegen.

Dazu einige Beispiele:

Um die Mikrorisse im Laminat zu vermeiden, also das Boot nicht zu schädigen oder gar undicht werden zu lassen, darf in einem Mattenlaminat etwa 11 $\frac{1}{2}$ Jahre (100.000 Stunden) lang eine Spannung von etwas mehr als 200 kp/cm² herrschen. Herrschen 400 kp/cm², so bilden sich schon nach etwa 100 Stunden Mikrorisse (9).

Für die Praxis heißt das:

Zu leichte Boote haben eben eine geringere Lebenserwartung als die mit mehr Laminatgewicht an den beanspruchten Bauteilen.

Alle GFK-Boote sind im Winterlager (6 Monate = 4.000 Stunden je Saison) mit äußerster Sorgfalt abzupallen. Der Ballast darf nicht hängen, sondern muß auf dem Boden stehen. Die Bootsenden sind abzustützen. Das Maschinenfundament wird gesondert abgefangen.

Äußere Kräfte, wie zum Beispiel mit einigen Tonnen vorgespannte Wanten und Stagen, sind während der Liegezeiten zu entlasten.

Steigt die Temperatur, so wird die Kriechneigung stärker. Für je 20 °C Anstieg sollte man die unter oben genannten Spannungen um etwa 15 %, für 40 °C um 30 % vermindern, wenn man nicht vorzeitig in die Versagenszone geraten will.



Wie lange lebt ein Boot?

Während die Lebenserwartung für einfache Bauteile bei gleichbleibender Belastung bekannt ist, wird niemand die Lebenserwartung eines Bootes voraussagen können. Dazu wechseln die darauf einwirkenden Lasten zu häufig. Die Frage nach der Lebenserwartung bleibt dennoch in der abgewandelten Form interessant: Wie gestaltet man ein Bauteil, um vorzeitiges Versagen zu vermeiden?

Für die Bemessung eines GFK-Teils, das ständig den gleichen Betriebsbedingungen ausgesetzt ist, können nach (9) folgende Sicherheiten S und Abminderungsfaktoren A zugrunde gelegt werden:

$S_B = 1,75$ bis 2,1. Sicherheit je nach Art der Bruchvorankündigung und Gefahr für Leib und Leben. Hier würde man sich an den größeren Wert halten, also 2,1.

$A_1 =$ Abminderungsfaktor gegen Überschreitung der Dehngrenzspannung von 0,3 % im Laufe der Zeit. Er liegt zwischen 1,4 und 3,4. Für Boote würde ich den Wert 1,4 wählen, da das Boot nur etwa ein halbes Jahr schwimmt.

$A_2 =$ die Abminderung für Alterung und Korrosionseinflüsse = 1,2.

$A_3 =$ die Abminderung für Temperaturen kann für Boote in unseren Breiten mit 1,2, im Mittelmeer mit 1,5 bewertet werden.

$A_4 =$ Abminderung für Fertigungseinflüsse = 1,2 (= sorgfältige Verarbeitung).

Mit diesen Faktoren wird aus der Kurzzeitfestigkeit die zulässige Festigkeit σ^* zulässig nach der Formel:

$$\sigma_{\text{zulässig}} = \frac{\sigma_{\text{Kurzzeit}}}{S \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} = \frac{\sigma_{\text{Kurzzeit}}}{2,0 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2} = \frac{\sigma_{\text{Kurzzeit}}}{4,8}$$

Der Langzeitwert sinkt auf diese Weise mit den angesetzten Zahlen für ein Bauteil bei einer Lebenserwartung von mehr als 11 Jahren auf etwa den fünften Teil der Kurzzeitfestigkeit ab. Dieses Beispiel, in den Zahlen sicherlich korrigierbar, soll zeigen, wo die Festigkeiten sozusagen „bleiben“. Es soll aber auch deutlich gemacht werden, daß bisher nur Meßergebnisse für die gleichbleibende Belastung eines Bauteils bekannt sind. Die Lebenserwartung eines Bootes mit seiner wechselnden Beanspruchung ist in keiner Weise daraus herzuleiten.

An der Festigkeit zehrt auch eine schwingende Beanspruchung. GF-UP muß an Bauteilen mit Vorspannung und wechselnder Last mit großen Querschnitten ausgerüstet werden, damit die Spannungen gering bleiben.

Zu solchen Bereichen gehören die Rüsteisen, Bug- und Achterstag-Beschläge, das Motoren-Fundament, das Drucklager.

Wie bei den Holzschiffen gilt: Ein Boot, das geknuppelt wird, zeigt eher Ermüdungen als das eines ruhigeren Eigners. Besondere Sorgfalt ist auf jeden Fall den Gleitbooten zu schenken, die im Boden vor der Bootsmittle doppelt so stark wie am Wasserlinienende belastet sind. So ein Boot, zu sparsam mit Laminat und Aussteifung versehen, ist schnell weichgefahren.

* Sigma

Für die Praxis heißt das:

Zu leichte Boote haben eben eine geringere Lebenserwartung als die mit mehr Laminatgewicht an den beanspruchten Bauteilen.

Alle GFK-Boote sind im Winterlager (6 Monate = 4.000 Stunden je Saison) mit äußerster Sorgfalt abzupallen. Der Ballast darf nicht hängen, sondern muß auf dem Boden stehen. Die Bootsenden sind abzustützen. Das Maschinenfundament wird gesondert abgefangen.

Äußere Kräfte, wie zum Beispiel mit einigen Tonnen vorgespannte Wanten und Stagen, sind während der Liegezeiten zu entlasten.

Steigt die Temperatur, so wird die Kriechneigung stärker. Für je 20 °C Anstieg sollte man die unter oben genannten Spannungen um etwa 15 %, für 40 °C um 30 % vermindern, wenn man nicht vorzeitig in die Versagenszone geraten will.



Wie lange lebt ein Boot?

Während die Lebenserwartung für einfache Bauteile bei gleichbleibender Belastung bekannt ist, wird niemand die Lebenserwartung eines Bootes voraussagen können. Dazu wechseln die darauf einwirkenden Lasten zu häufig. Die Frage nach der Lebenserwartung bleibt dennoch in der abgewandelten Form interessant: Wie gestaltet man ein Bauteil, um vorzeitiges Versagen zu vermeiden?

Das wichtigste Alterungsmerkmal bei Booten ist die **Wasserlagerung**. Süß- und Salzwasser üben dabei vergleichbare Wirkungen aus. Ein Einfluß des Glasgehalts ist kaum feststellbar.

Die mechanischen Werte sinken bei Wasserlagerung ab. Diese Erscheinung wird auf das Eindringen von Wasserdampf in das Laminat und das Anlagern von Feuchtigkeit zwischen Glas und Harz zurückgeführt. Man kann sich das Wasser als Schmiermittel vorstellen, das Festigkeitseinbußen von 30 % und mehr nach drei bis fünf Monaten herbeiführt (10).

Es wird berichtet, daß dieser Festigkeitsverlust bei Wasserlagerung unter zwei Jahren nach Trocknung der Proben wieder nahezu vollständig abgebaut wurde.

Für den GFK-Bootseigner ergibt sich daraus die Empfehlung, sein Boot spätestens alle zwei Jahre aufzuslippen und längere Zeit an der Luft trocknen zu lassen. Man halte sich vor Augen, daß auch ein sorgfältig ausgeführtes Laminat ein Porenvolumen von mindestens 3 % besitzt.

Dieses an Proben ermittelte Verhalten deckt sich voll mit den Festigkeitskontrollen an drei 12,5 Meter langen Dienst-Booten der US-Coastgard mit dem Baujahr 1952, die zehn Jahre später, nach bis zu 7.600 Betriebsstunden untersucht wurden. Obwohl schwächer dimensioniert als man das heute tun würde, waren die Festigkeiten des Werkstoffs nicht abgesunken, und es wurden keinerlei Fremdstoffe wie z. B. Öl in der Bilge gefunden (Bericht der Zeitschrift „Die Yacht“, 1962).

Wandungssysteme für Boote – Spezialharze für größere Boote

Unter Wandungssystem wird eine für das Boot geeignete Kombination aus den verschiedenen Deckschicht- und Laminatharzen in Verbindung mit geeigneten Verstärkungsmitteln verstanden. Die Erkenntnisse, die man über die Wasserbeständigkeit der Harze und Verstärkungsmittel gesammelt hat, sind in die Vorschläge eingearbeitet.

Glasverstärkungen und Harze richtig wählen

Je nach Betriebsart und Dauer wird man eine geeignete Kombination der Baustoffe für ein Boot auswählen. Hier sind drei verschiedene Vorschläge:

1. Boote, die nur am Wochenende und während des Urlaubs ständig im Wasser liegen, können gänzlich aus Orthophthalsäureharzen hergestellt werden. Sie können aus folgenden Werkstoffen bestehen:

a) Die äußere Deckschicht aus:

Feinschicht G 301 B oder der Topcoat LT 30 B mit einer Farbversiegelung bei Sandwich- und C-Flex-Bauten. Wählt man Deckschichten wie unter 2a und 2c, so hat man eine große Qualitätsverbesserung zu einem geringen Mehrpreis (siehe „Harzsysteme und ihre Chemikalien-Beständigkeit“, S. 54). Härtungssystem: Kobalt + MEKP.

- b) Als tragende Wand von außen nach innen:
 Eine Lage 300 g/m²-Matte, bei Kernbauten: zwei Lagen;
 bei Kernbauten: Spachtelmasse als Ausgleichsschicht für Strakfehler;
 eine Lage 450 g/m²-Matte mit Pulver- (oder Emulsions-) Bindung;
 Rovinggewebe oder -gelege im Wechsel mit Matten bzw. Komplexe;
 Sandwichkerne oder C-Flex – falls vorhanden – werden stets zwischen
 zwei Mattenlagen angeordnet;
 eine Lage 450 g/m²-Matte, zumindest in den Sichtflächen.
 Als Laminierharz wird VISCOVOSS AZUR (bereits beschleunigt), BE
 oder N 50 verwendet.
 Härtungssystem: Kobalt + MEKP.
- c) Die innere Deckschicht aus:
 Topcoat LT 30 B
 Härtungssystem: Kobalt + MEKP.
2. Boote, die längere Zeit im Wasser oder beim Kurzzeitbetrieb in warmen
 Gewässern (Mittelmeer) liegen, erhalten zumindest besser wasserbelast-
 bare Deckschichten. Ihr Wandungsaufbau kann folgendermaßen gestaltet
 werden.
- a) Äußere Deckschicht:
 Isophthalsäure-Feinschicht G 326 B oder G 327 B oder
 Neopentylglykol-Topcoat LT 35 B bzw. LT 36 B
 mit Schnellversiegelung N 35 BT oder N 36 BT
 Härtungssystem: Kobalt + MEKP.
- b) Tragende Wand wie unter 1b.
- c) Innere Deckschicht wie unter 1c.
3. Yachten, die die ganze Saison im Wasser liegen, werden mit Isophthal-
 säure- oder Neopentylglykol-Deckschichten und Isophthalsäure-Laminier-
 harzen mit bestimmten Verstärkungsmitteln hergestellt.
 Yachten für das Mittelmeer erhalten eventuell auch ein Neopentylglykol-
 Laminierharz. Siehe Klammerinhalt.
- a) Äußere Deckschicht:
 Isophthalsäure-Feinschicht G 326 B, G 327 B oder
 Neopentylglykol-Topcoat LT 35 B bzw. LT 36 B mit Schnellversiege-
 lung N 35 BT,
 Härtungssystem: Kobalt + MEKP.
- b) Tragende Wand von außen nach innen:
 Eine Lage 300 g/m²-Matte, Type EP-S, bei Kernbauten: zwei Lagen;
 bei Kernbauten: Spachtelmasse als Ausgleichsschicht für Strakfehler;
 eine Lage 450 g/m²-Matte, pulvergebunden;
 Rovinggewebe oder -gelege im Wechsel mit pulvergebundenen Matten
 oder pulvergebundene bzw. genadelte Komplexe;
 Sandwich-Kern und C-Flex – falls vorhanden – werden stets zwischen
 zwei Mattenlagen angeordnet;
 eine Lage pulvergebundene 450 g/m²-Matte, zumindest an den Sicht-
 flächen.

Als Tränkharz wird das Isophthalsäureharz i 25 B bzw. i 26 B (N 36 B oder i 35 B) verwendet.
Härtungssystem: Kobalt + MEKP.

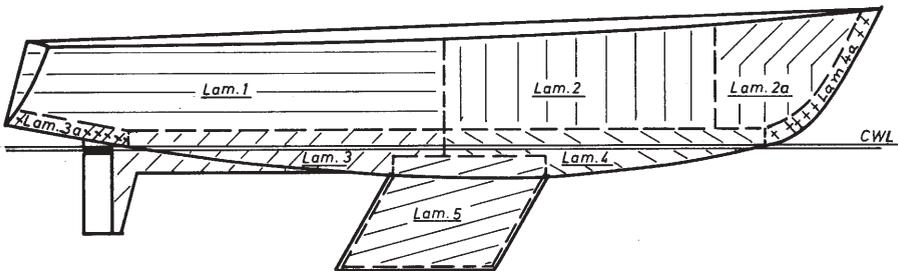
- c) Innere Deckschicht: Topcoat LT 30 B.
Härtungssystem: Kobalt + MEKP

Die Variante, die äußeren Deckschichten und nur die erste Glaslage dahinter mit Isophthalsäure auszuführen, stellt eine bereits geübte Zwischenlösung dar, mit der jedoch noch keine Langzeit-Erfahrungen vorliegen. Die Kombination von Isophthalsäureharz und Orthophthalsäureharz ist jedoch wegen der unterschiedlichen Festigkeiten und Bruchdehnungen problematisch.

Festigkeitsverteilung in der Bootsschale

Bootsschalen werden in den verschiedenen Rumpfbereichen (8) unterschiedlich beansprucht. Infolgedessen sind die einzelnen Rumpfbereiche mit unterschiedlichen Reißlasten bzw. Laminaten (= Lam) auszurüsten. Die nachfolgende Skizze grenzt die einzelnen Bereiche gegeneinander ab.

Zchg. 11



Unterteilung der Rumpfschale in verschiedene Laminatbereiche

Während der Rumpf in den einzelnen Teilbereichen unterschiedliche Reißlasten aufweist, wird das Deck meistens einheitlich dimensioniert.

- Lam. 1 im Überwasserteil des Achterschiffes und im Spiegel (sofern kein Z-Drive installiert ist) besitzt die niedrigste Reißlast.
- Lam. 2 im Überwasserschiff von der Wasserlinienmitte bis zum Seeschlagbereich vorn hin, liegt bereits um etwa 10 % in der Reißlast höher als Laminat 1.
- Lam. 2a um 10 % gegenüber Laminat 2 verstärkter Seeschlag-Bereich.
- Lam. 3 bildet das Bodenlaminat im Achterschiff bis zur Wasserlinie hinauf. Die Reißlast von Laminat 3 liegt um 15 bis 20 % über der von Laminat 1.
- Lam. 3a ist ein Streifen auf $\frac{1}{3}$ der Yachtbreite im hinteren Überhang mit einer 15%igen Verstärkung gegenüber Laminat 3.

- Lam. 4 ist das Bodenlaminat im Vorschiff-Boden bis hinauf zur Wasserlinie. Es liegt in der Reißlast bis zu 25 % über der Reißlast von Laminat 1.
- Lam. 4a ist der vordere Überhang (Vorsteven), der in seiner Reißlast 15 % über Laminat 4 liegen auf jeweils 15 % der Yachtbreite betragen soll.
- Lam. 5 ist das Laminat für die Kielflosse oder auch den Mittelkiel bei Motorbooten. Ihre Reißlast liegt um 70–80 % über der Reißlast von Laminat 1.

Die Bemessung der Decksschale wird nach der Decksbelastung von 300 bis 400 kp/m² und der ununterstützten Deckslänge nach der Zahlentafel des GL (8) ermittelt. Bei einem Schottabstand von 2 Metern und 400 kp/m² Decksbelastung muß nach GL ein Sandwichdeck einen Schaumkern von 20 Millimetern Dicke und beidseitig 5 Matten mit 450 g/m² Gewicht erhalten.

Der Rumpf wird bei GFK-Booten in Längsstringern und Querrichtung ausgesteift. Als Querspanten bieten sich die Schotten als „natürliche“ Verstärkungen an. In Längsrichtung wird die Inneneinrichtung soweit wie möglich als Verband genutzt, reicht jedoch meistens allein nicht aus. So werden entsprechende Längsstringer vorgesehen, deren unterstes Paar gern zusammen mit dem Kiel bei konventionellen Segelyachten als Rückgrat des Bootes ausgelegt wird. Das Stringerpaar nimmt Motor, Getriebe und Drucklager auf und leitet so die Schubkräfte der Schraube in das Unterwasserschiff ein.

$R_{Lam\ 1}$ = Reißlast der Achterschiff-Seite	
$R_{Lam\ 2}$ = Reißlast der Vorschiff-Seite	$= 1,1 \cdot R_{Lam\ 1}$
$R_{Lam\ 2a}$ = Reißlast im Seeschlagbereich	$= 1,1 \cdot R_{Lam\ 1}$
$R_{Lam\ 3}$ = Reißlast im Achterschiff-Boden	$= 1,15 - 1,2 \cdot R_{Lam\ 1}$
$R_{Lam\ 3a}$ = Reißlast im hinteren Überhang	$= 1,15 \cdot R_{Lam\ 3}$
$R_{Lam\ 4}$ = Reißlast im Vorschiff-Boden	$= 1,2 - 1,25 \cdot R_{Lam\ 1}$
$R_{Lam\ 4a}$ = Reißlast im Vorsteven	$= 1,15 \cdot R_{Lam\ 4}$
$R_{Lam\ 5}$ = Reißlast im Kiel und in der Flosse	$= 1, - 1,8 \cdot R_{Lam\ 1}$

Richtwerte für die Reißlastverteilung in Verdränger-Rümpfen

Die Werte gelten für Motorboote und Segelyachten mit weniger als 50 % Ballastanteil. Für die genaue Rechnung benutze man die Anleitung des GL.

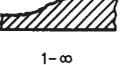
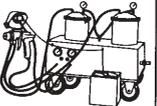
Handauflegen und Faserspritzen – die beiden wichtigsten Herstellungsverfahren für Boote

Die Herstellung von GFK-Teilen zerfällt in folgende Fertigungsschritte, die alle zusammen die **Taktzeit** bilden:

1. Vorbereiten (Zuschneiden, Auskämmen) der Verstärkungen
2. Ansetzen der Harze (Einmischen von Beschleuniger und Härter)
3. Einbringen von Harz und Verstärkungen in die Form
4. Benetzen und Entlüften der Verstärkungen (per Hand oder maschinell)
5. Anhärten des Bauteils in oder auf der Form
6. Besäumen des Bauteils
7. Nachhärten des Formteils
8. Entformen des GFK-Teils
9. Vorbereitung der Form für das nächste Formteil (Reinigung, Einbringen der Trennmittel).

Die Stückzahl der Boote und die Größe der Bootsteile bestimmt das Herstellungsverfahren. Bis auf sehr wenige Ausnahmen werden Boote im Handauflege- oder im Faserspritzverfahren hergestellt. Das Faserspritzverfahren ist ein zum Teil mechanisiertes Hand-(auflege-) Verfahren. Diese handwerklichen Herstellweisen erfordern die geringste Investition und sind außerdem die einzigen beiden, nach denen GFK-Teile von mehr als etwa 5 m² Oberfläche produziert werden. Sie sollen deshalb näher beschrieben werden. Die nachfolgende Tabelle grenzt die beiden Herstellarten gegeneinander ab.

Zchg. 12

Verfahren	Benötigte Geräte und Maschinen	Einbringen in Formen bzw. Werkzeuge	Möglichkeiten des Verfahrens					
			Stückzahlen	Teilgröße m ²	min. Innenradius mm	Wanddicken: a) Übergänge 1 : x b) min - max (mm)	Besäumen	Temp. °C
Handauflegen			1- 1000	1- 10		1:3  1-∞	ja	15- 25
Faser-Harz Spritzen			10- 1000	1- 10		1:3  2-∞	ja	15- 25

Verarbeitungsverfahren für glasfaserverstärktes Polyesterharz (11)

Mit den beiden handwerklichen Verfahren werden **einseitig glatte Bauteile** hergestellt, die beidseitig **mit Deckschichten** überzogen und so optimal gegen chemische Angriffe wie zum Beispiel durch Wasser geschützt werden können.

Durch die Handarbeit bedingt, ist die **Fertigungszeit** eines Bauteils (**Taktzeit**) lang. Die beschriebenen neun Fertigungsschritte sind beim Handverfahren einzeln auszuführen.

Beim Faserspritzen kommt die Rüstzeit der Maschine hinzu. Dafür **entfallen als Handarbeit:**

- a) das Zuschneiden der Matten;
- b) das Einbringen der Mattenverstärkungen;
- c) das Herstellen von Harzansätzen;
- d) das Benetzen der Verstärkungen mit Laminierharz.

Diese Arbeiten werden von der Maschine übernommen.

Über die **Arbeitszeit je Quadratmeter** siehe Kapitel „Wie lange bis zum Stapellauf“. Das Faserspritzen vermeidet die Zuschnittzeiten für Matten gänzlich und reduziert die Nebenzeiten für das Ansetzen der Harze so, daß vor allem bei gesickten Oberflächen Zeiteinsparungen von etwa 40 % für die Glas-Harzwand gegenüber dem Handverfahren erzielbar sind.

Die **Wandungsdicken** liegen zwischen zwei und zwölf Millimetern. An hochbeanspruchten Stellen werden entsprechende, dickere Wandteile hergestellt (im Kielansatz z. B. bis zu 50 Millimetern).

Wanddickenänderungen sind mit weichen Übergängen auszurüsten. So laufen die einzelnen Lagen in Treppenform aus.

Verstärkungen wie Spanten und Stringer werden in die noch in der Form oder auf einem Lehrgerüst liegende Schale eingebracht, wenn die volle Wandstärke hergestellt ist. Das geschieht möglichst in zeitlich kurzem Abstand, also sobald das Schalenlaminat angehärtet ist.

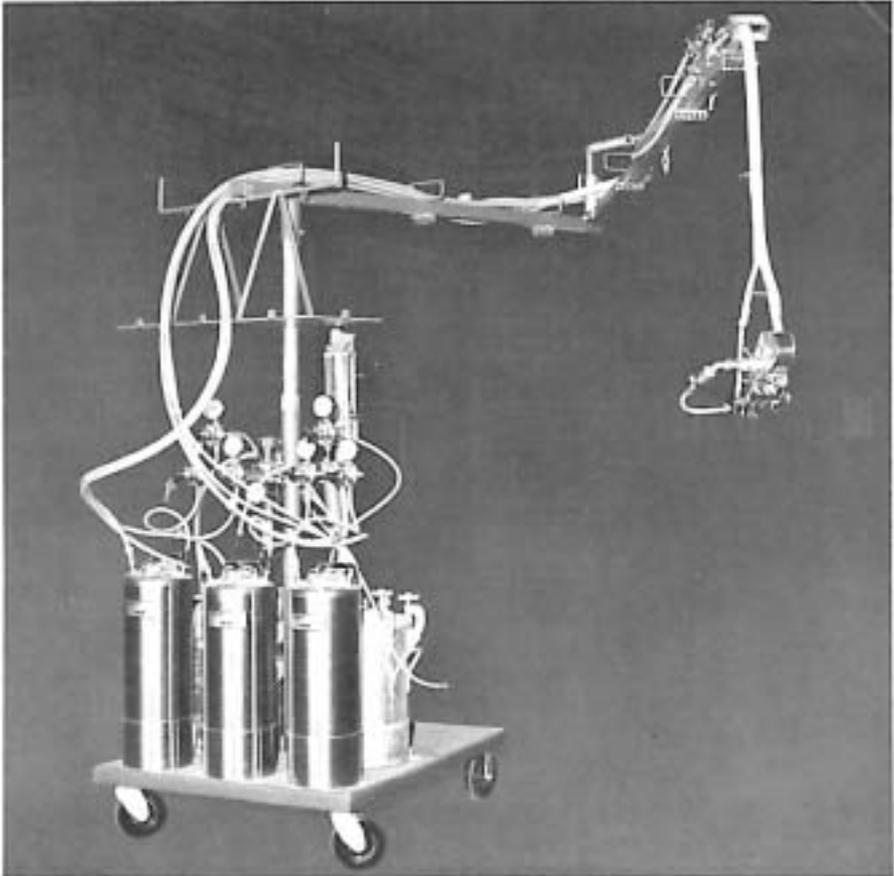
Der **Fertigungsaufwand** beim Handverfahren ist gering. Über den notwendigen Platz für die Fertigung ist schon gesprochen worden („Wieviel Baufläche ist notwendig“). Gewerbliche Betriebe werden mindestens die 3,5fache Grundfläche benötigen, die sich aus Länge und Breite für den Rumpf ergibt. Sie wird von Rumpf, Deck, Innenschale und Kleinteilen eingenommen. Hinzu kommen Räume zur Lagerung der Verstärkungsmittel, der Harze und der Härter. Lösungsmittel sollten außerhalb der Werkstatt gelagert werden. Das ist auch für die Härter wünschenswert. Der Lagerraum für Härter innerhalb der Werkstatt muß durch brandsichere Mauern abgetrennt sein.

Die Laminierregion wird vom Werkstattraum der Dämpfe wegen, die dort entstehen und des Staubes wegen, der abgehalten werden soll, gern abgetrennt. Beim Faserspritzen ist die Trennung unabdingbar. Beim Spritzen entstehen viel mehr Lösungsmitteldämpfe, die eine Absauganlage erforderlich machen.

Die **Temperatur des Arbeitsraumes** sollte zwischen 15 und 20 °C, die relative **Luftfeuchte** soll beim Laminieren unter 65 % – kurzzeitig 75 % – liegen.

Für das Anhängen der Deckschichten sind 18 °C erforderlich. Die Nachhärtung kann in der bereits beschriebenen, nicht ständigen Temperkammer absolviert werden.

Als **Werkzeug für die Handmethode** sind notwendig: Lammfellroller, Scheibenroller, Pinsel, Anrührreimer, Pappbecher, Meßgläser, eine Waage bis 1 kg (Kleinansätze) und bis zu 20 kg für Laminieransätze, ein Thermometer – einen halben Meter von der Wand aufgehängt –, Mischpropeller und Bohrmaschine für die Harzansätze.



Faserspritzanlage

Die am Galgen aufgehängte Pistole entlastet den Verarbeiter beim Spritzen vom Pistolengewicht (Werkfoto Firma Ransburg G.m.b.H.).

Als kennzeichnendes **Werkzeug beim Faserharz-Spritzen** kommt die Spritzmaschine mit einer Anschaffungssumme um etwa DM 12.000,- hinzu. Die Maschinen mit Innenmischung und Luftzerstäubung sind teurer als die Aerlessanlagen mit Außenmischung. Bei Faserspritzmaschinen werden Harz- und Glasfasern gleichzeitig in die Form gespritzt. Die Spritzpistole ist mit zwei oder drei Köpfen für die Flüssigkeiten (Harz, Härter) und mit einem Kopf für den Glasausstöß bestückt.

Neben preßluftbetriebenen Anlagen (meist 6 atü) gibt es luftlose Hochdruckanlagen mit 80 bis 200 atü. Die zugeführten Rovingstränge (1 bis 3 Stück) werden meistens im Schneidwerk der Pistole (dem Cutter) auf 25 bis 50 mm Länge geschnitten und mit dem Harzstrahl auf die Formoberfläche gefördert. Bei großen Anlagen ist der Cutter aus Gewichtsgründen von der Pistole getrennt. Das Glas wird dann durch einen Schlauch zugeführt.

Die verwendeten **Formen** stehen mit der zu fertigenden Stückzahl in engem Zusammenhang. Für Serien von einem bis zu drei Booten sind ein Leistenkern als Positiv oder eine Platten-Negativform am rentabelsten. Größere Serien werden in Negativformen aus GFK gefertigt.

Trennmittel sind beim Bau mit vollflächigen Formen (aufgeplankten Positivkern oder Negativform) notwendig. Bei gewerblichen Formen werden darüber hinaus zum Teil Wasser oder Luft als Trennhilfe über entsprechende Anschlüsse zwischen Form und Fertigteil geführt.

Über die **Baustoffe**, also die verschiedenen Harze und Verstärkungen (Deckschichten, Laminierharze, Matten, Gewebe, Gelege, Komplexe), ist bereits gesprochen worden. Es wird hier deshalb nur auf den Unterschied zum Faserspritzen hingewiesen. Statt der Glasmatte wird der preisgünstigere Rovingstrang (Schneidroving) verwendet. Im Schneidkopf über der Spritzpistole wird er in 25 bis 50 Millimeter lange Fäden zerteilt und zusammen mit dem Laminierharz auf die Formoberfläche gespritzt, per Hand verdichtet und entlüftet. Die Anlagen fördern bis zu einem Kilogramm Glas + drei Kilogramm Harz je Minute.

Als erste Glaslage unter der äußeren Deckschicht wird auch beim Faserspritzverfahren eine 300-g/m²-Matte Typ EP-S eingesetzt. Der beim Faserspritzen verwendete Rovingstrang ist nämlich mit einer harten und auf diese Weise besonders gut schneidbaren Schlichte versehen, die jedoch die Schlichte-Qualität EP-S in bezug auf die Wasserbeständigkeit qualitativ nicht erreicht.

Die Topfzeit des Harzes wird kürzer gehalten (ca. 20 Minuten) als bei der Handmethode, da die Topfzeit erst im Moment des Spritzens beginnt. Die „Wartezeit“ des Harzes im Anrührer entfällt. Durch die kürzere Topfzeit verringern sich auch die Entformzeiten.

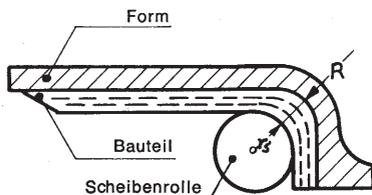
Die **Nacharbeit** an den Formteilen bezieht sich auf das Besäumen der Bauteile. Die **Nachhärtung** ist in ihrer Art und ihrem Umfang – wie dargelegt wurde – je nach Harzsystem wünschenswert oder notwendig, in ihrer Durchführung jedoch nicht schwierig.

GFK-Teile richtig gestaltet und ausgesteift

Zur Erklärung für die nachfolgenden Vorschläge muß zunächst auf drei Verhaltensweisen der GFK-Teile eingegangen werden:

1. Wie andere Stoffe auch, dehnt sich GFK bei erhöhter Temperatur aus. Bei 25 % Glasgehalt wächst GFK dreimal so stark wie Stahl. Bei 35 % Glasgehalt dehnt es sich etwa so stark wie Aluminium. Diese Wärmedehnung würde bei einem planen, ringsum fest eingespannten Luken- deckel zu Spannungen führen. Bei einem leicht bombierten Werkstück treten kaum Spannungen auf.
2. Es wurde schon gesagt, daß GFK gegenüber Stahl eine erheblich niedrigere Steifigkeit (E-Modul) besitzt. Die Beulsteifigkeit eines ein Millimeter dicken Stahlbleches wird erst von einer 3,1 Millimeter dicken GFK-Platte erreicht. Wie bei Blech, ist man bei GFK deshalb besonders bestrebt, die geringe Beulsteifigkeit durch entsprechende Formgebung mit einer besseren Gestaltfestigkeit auszurüsten. Das kann durch eingearbeitete oder aufgesetzte Rippen oder durch die Sandwichbauweise geschehen.
3. Der Harzschumpf beim Härten führt ebenfalls zum Verwerfen der Bauteile. Aus dem Schrumpf des reinen Harzes von 8 % im Volumen entstehen als Längenschumpf 2 %. Der Längenschumpf des glasverstärkten Harzes sinkt mit wachsendem Glasgehalt und beträgt etwa 0,1 % bei 30 % Glasanteil.

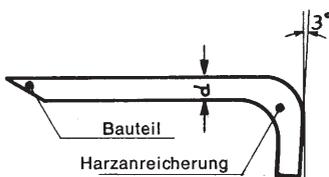
Bei dünnen Laminaten kann die Feinschicht das Laminat verziehen. In sehr engen Radien arbeitet man leicht sehr harzreich. Der Glasgehalt sinkt, und durch den vergrößerten Schrumpf zieht sich der Winkel zu.



Zchg. 13

Zuziehen einer rechteckigen Kante durch zu kleinen Formradius

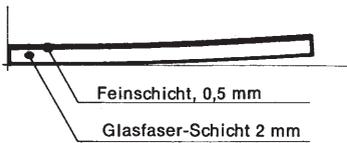
Werden Formen mit zu kleinen Radien versehen, so führt das zu einer sehr losen Schichtung der Verstärkungen in der Kante. Damit steigen der Harzanteil und der Schrumpf an dieser Stelle. Der Radius der Form R für das Handverfahren errechnet sich aus: $R = 10 + d$. Dabei sind die 10 mm der Radius der Scheibenrolle, und d die Bauteildicke.





Rißausbildung an scharfen Kanten

Solche Fehlstellen sind nicht allein durch eine Deckschicht-Reparatur, sondern in erster Linie durch Verstärkung und bessere Abstützung des Laminates zu beseitigen.



Verwerfung eines dünnen Laminates durch den Härtingsschrumpf

Der lineare Schrumpf des reinen Harzes (Deckschicht) ist größer als der Schrumpf der verstärkten Schichten. Dünne Lamine müssen deswegen formsteif gestaltet werden.

Scharfe Kanten und plane Flächen verboten – Richtige Formgebung für GFK-Teile

Da der Bootsrumpf aus hydrodynamischen Gründen allseitig verformt (sphärisch gekrümmt) oder wenigstens einseitig gewölbt (beim Knickspantboot) ist, bleibt nur der Hinweis, auch den GFK-Spiegel gewölbt auszuführen.

Beim Deck hingegen sieht man öfter nicht GFK-gerechte Formgebungen. Scharfe Kanten, beim Modellbau mit Plattenware schneller hergestellt, erfordern später bei jedem Fertigteil mehr Arbeitszeit für das Laminieren und eventuelles Ausbessern. Hinzu kommt, daß in einer gut gerundeten Kante oder Ecke bei Belastung weit geringere Spritzentspannungen entstehen. So gibt es GFK-Boote, die bereits nach dem Landtransport von der Werft zum Eigner an scharfen Konturen Risse in der Feinschicht aufweisen. Kein Wunder, wenn man bedenkt, daß an so einer Stelle große Spannungen auf niedrige Glasgehalte treffen. Hinzu kommt die Verletzungsgefahr, die von allen scharfen Kanten an Bord ausgeht.

Für die Bootsgestaltung gelten deshalb folgende Regeln:

1. Keine scharfen Kanten

Kanten an Luken- und Backskistendeckeln erhalten einen Außenradius von wenigstens 40 Millimetern. Flächen ohne abgewinkelten Rand werden mit einer Kröpfung oder einem halbkreisförmigen Rand versehen. Auf diese Weise wird der plane Flächenteil verkleinert und damit beulsteifer.

2. Plane Flächen vermeiden

Die Rumpfformen der Boote erfüllen diese Regel recht gut. Lediglich bei Knickspantbooten wird man den V-Boden durch Sicken (siehe Foto S. 83) parallel zur Kiellinie in seiner Beul- und Längsfestigkeit unterstützen. Auch eine Sicke in der Seite unterstützt die Formsteifigkeit, ohne wesentlichen Material-Mehraufwand.

Decks erhalten eine Bucht, sind also mitschiffs höher als an den Seiten. Die Höhe der Bucht liegt wenigstens bei einem Vierzigstel der Decksbreite. So läuft einmal das Wasser besser ab, und die Wölbung bringt den versteifenden Gewölbeeffect in die Konstruktion.

Kajütdächer werden mindestens doppelt so stark verwölbt wie das Laufdeck, um mehr Raumhöhe zu gewinnen. Man denke an die Tonnendächer der Jollenkreuzer.

Wahl des geeigneten Bauverfahrens nach Stückzahl und Rumpfform

Die Fertigung von GFK-Teilen ist immer an eine Form oder ein vorhandenes Positiv – wie zum Beispiel ein Boot, das nachgebaut werden soll – gebunden. Welche Form gewählt wird, ist von der Rumpfform (Knicksant, Rundspant), der Bauweise (Massivwand, Sandwichwand) und der projektierten Stückzahl abhängig. Der arbeits- und damit lohnintensivste Teil ist die Herstellung einer makellos glatten Bootsaußenfläche.

Baut man nur ein Boot, wird man diese Arbeit meistens am Boot selbst verrichten. Es sei denn, die Form kann preisgünstig mit Platten hergestellt werden, die bereits glatte Flächen besitzen. Das ist zum Beispiel mit einer **Plattenform** aus Hartfaser für Boote bis zu etwa fünfzehn Metern Länge oder aus Sichtbeton-Schalungsplatten (vier Millimeter dicke, beidseitig melaminharz-beschichtete Beton-Schalungsplatten) auch für größere Boote möglich. In beiden Fällen können jedoch nur knicksantige Boote gebaut werden.

Hartfaserplatten-Formen überstehen etwa drei, Schalungsplatten-Formen bis zu zehn Entformungen. Die gespachtelten Rundungen werden dabei allerdings nachgearbeitet, weil sie beim Entformen gern abplatzen.

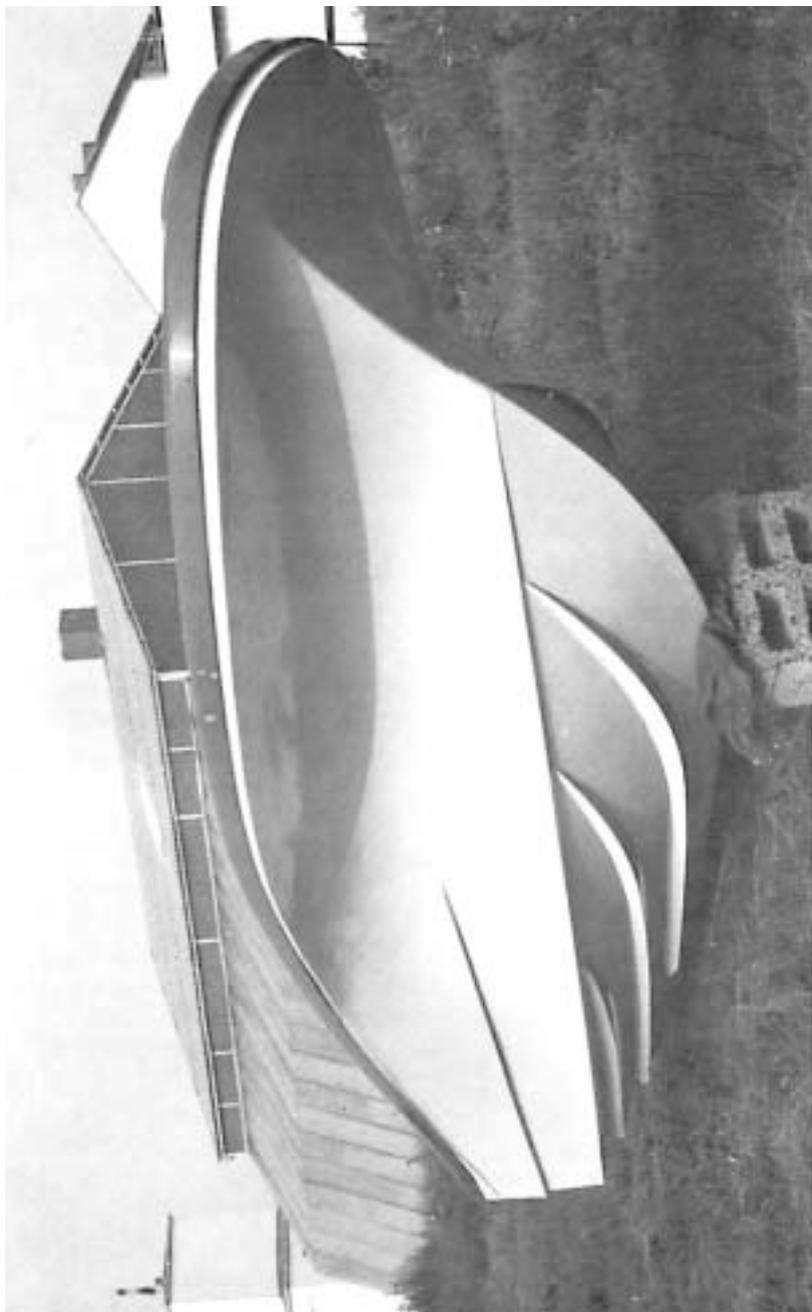
Die Hartfaserformen werden stets einteilig, die Schalungsplatten-Formen können zweiteilig gebaut werden. In beiden baut man einteilige Rumpfe, da solche einfachen Formenhälften sehr schwierig mit „Inhalt“ zusammengesetzt und ausgerichtet werden können.

Größere Rumpfe können in der geschlossenen, teilbaren Form von einer Stollage aus gebaut werden. Es leuchtet ein, daß die Arbeit in aufrechter Haltung vor einer Halbform erheblich einfacher von der Hand geht.

Ein Rundspantboot macht immer einen **Kern**, also ein Positivmodell notwendig. Einzelbauten und Kleinserien wird man direkt auf diesem Kern herstellen. Dazu wird der Kern nur mit wenigen, konturgebenden Strakleisten ausgerüstet.

Bei Serien ab vier Booten kann es bereits billiger werden, den Kern vollflächig aufzuplanken, die Bootsoberflächengüte auf dem Kern herzustellen und davon eine **Negativform** aus Glasfaserkunststoff abzunehmen. In einem gewerblichen Bootsbaubetrieb entstehen für dieses Verfahren etwa Kosten in Höhe des 1,5fachen Verkaufspreises für das „segelfertige Boot“.

Man muß also sicher sein, daß ein Neuentwurf ausgereift ist, damit diese Kosten nicht ein zweites Mal für den geänderten Prototyp II anfallen oder eine Änderung wegen mangelnder Finanzkraft unterbleibt.



Funktionsgerechte Versteifungen

Die Sicken im Bootsboden versteifen das Bauteil und verleihen ihm gute Geradeauslauf-Eigenschaften. Das Verlegen von Geweben ist in den scharfkantigen Sicken schwierig.

Formenart	Formenoberfläche	Formenwerkstoff	Modell	Verfahren	Glatte Seite beim Fertigteil	Bauteilgröße bis	Stückzahl	Bemerkung
offene Negativ-Hohlform, allseitig gekrümmt	vollflächig	GFK (Beton)	empfehlenswert	Hand- und Faserspritzverfahren	außen	26 m Länge ausgeführt	Serie ab 4 Stück (Einzelbau)	für Knickspant- und Rundspantboote
wie oben, aber mit einseitig gekrümmten Flächen nach "VOSS-METHODE"	vollflächig	Holzmallen mit Hartfaser-, Sperrholz- und Sichtbetonplatten innen beplankt	nicht notwendig	Hand- und Faserspritzverfahren	außen	ca. 15 m	mit Hartfaser bis 3, mit Sperrholzplatte bis 10 Stück	nur Knickspantboote
Leistenkern	offen	Holzmallen evtl. mit Strakleisten	= Leistenkern	C-Flex oder Sandwichbau mit PVC-Schaum oder Balsamatten	keine	ca. 26 m	Einzelbauten, kleine Serien	besonders geeignet für Rundspantboote, Knickspantner möglichst

Formenarten zur Herstellung von Booten

Warum die Negativform nicht vom Prototyp abnehmen?

Diese Idee ist wahrlich nicht neu. Sie läßt sich jetzt nur kostengünstiger und für Rümpfe mit Voll-GFK-Wänden ausführen. Als Werkstoff wird dafür C-Flex verwendet. Der kostengünstige offene **Straklatten-Kern** wird mit **C-Flex** bespannt und mit Matten und Geweben bis zur vollen Wandstärke aufgebaut. Die Oberfläche wird auf dem Boot geglättet. Der Rumpf wird gedreht, der Kern im Inneren entfernt. „Das leere Gehäuse“ wird probegefahren und, soweit notwendig, geändert.

Der geänderte Typ wird dann als Positivkern für die Herstellung der endgültigen Negativform benutzt.

Für Einzelbauten oder Serien bis zu drei Stück entfällt der Negativformenbau. Diese Version ist für den Freizeit-Bootsbauer eine preisgünstigere Herstellungsmöglichkeit für ein Boot mit einer Voll-GFK-Wand.

Sandwich-Rümpfe vom Straklattenkern

Die Bauweise ist bekannt und bietet dem Sandwichbau-Interessenten eine ebenso preiswerte Baumöglichkeit wie im vorigen Kapitel beschrieben. Der Leistenkern wird hierbei mit PVC-Schaum oder Balsa-Hirnholzplatten als Kernlage beplankt und dann mit dem Laminat auf der Außenseite ausgerüstet und bis zur endgültigen Oberflächenglätte gebracht.

Das halbfertige Boot wird gedreht, und der Kern wird ausgebaut. Dann wird die Innenhaut mit den Verstärkungen eingebracht.

Sandwich-Rümpfe können sehr leichtgehalten werden. Für eine zehn Meter lange Segelyacht sind zum Beispiel ca. 9 kg je Quadratmeter Außenhaut erzielbar. Der Sandwich-Rumpf ist allerdings schwieriger zu reparieren als die Vollwand und erfordert eine umfangreichere Planung. An allen Stellen, die später Beschläge erhalten sollen, oder wo sehr große Kräfte eingeleitet werden (Rüsteisen und Kielwurzel-Bereich), muß der weiche Sandwich-Kern durch Sperrholz-Einlagen ersetzt oder zum Voll-Laminat zusammengeführt werden.

Die nebenstehende Tabelle gibt über die Baumöglichkeiten von Einzel- und Serienbooten in Form einer kurzgefaßten Übersicht Auskunft.

Exakter Formenbau – Vorbedingung für ein gutes Boot

Da das Boot in der Formgebung und der Oberflächengüte der Bauform genau entspricht, liegt in einer genauen Arbeit bei der Formenherstellung ein großer Teil des Erfolges.

Formen, die nicht symmetrisch sind oder keinen gleichmäßigen Verlauf der Konturen besitzen (nicht straken), übertragen alle Fehler in das oder die Boote, die davon abgenommen werden. Der Formenbau erfordert daher Können und Geduld.

Der Bau eines Leistenkerns

Der Kernbau wird hier in seinen wesentlichen Zügen beschrieben. Rein handwerkliche Hinweise sind nicht mit aufgenommen. Sie sind in der Literatur bei (12) zu finden.

Vollflächige Leistenkerne mit nur flüchtig bearbeiteter Fläche können zur Herstellung eines Rumpfes mit Voll-GFK-Wand benutzt werden. Der auflamierte Rumpf ist dann außen rau und muß mit der gewünschten Oberflächen-



Aufgeplankter Rohkern

Dieser 10,25 Meter lange und 3,27 Meter breite Kern eines Dreivierteltonners wurde mit Abachi-Leisten beplankt (Werkfoto: Carat Yachten).

güte versehen werden. Diese Bauweise ist selten und nur bei Einzelstücken diskutabel.

Vollflächige Kerne, deren Oberfläche bis zum Hochglanz gebracht werden, dienen zur Abnahme einer Negativform, aus der dann eine Bootsserie hergestellt wird. Dies ist mit wenigen Ausnahmen der klassische Werdegang aller Serienboote.

Offenflächige Kerne dienen zur Formgebung von GFK-Teilen mit C-Flex, PVC-Schaum und Balsakern-Matten.

Das Fundament – die Helling

Das Fundament für den Kern ist die Helling aus zwei Brettern mit gehobelter Oberkante, hochkant stehend, von 20 x 3,5 cm Querschnitt bei einem zehn Meter langen Boot (siehe Foto).

Zum Ausrichten in die Waagerechte liegen Bretter unter der Helling auf dem Boden, die mit Keilen nivelliert werden.

In die Zwillingshelling wird die Mittenschnur eingespannt, die für eine schnurgerade Ausrichtung der Kiellinie und als Maßebene für den Abstand der Mallen dient.

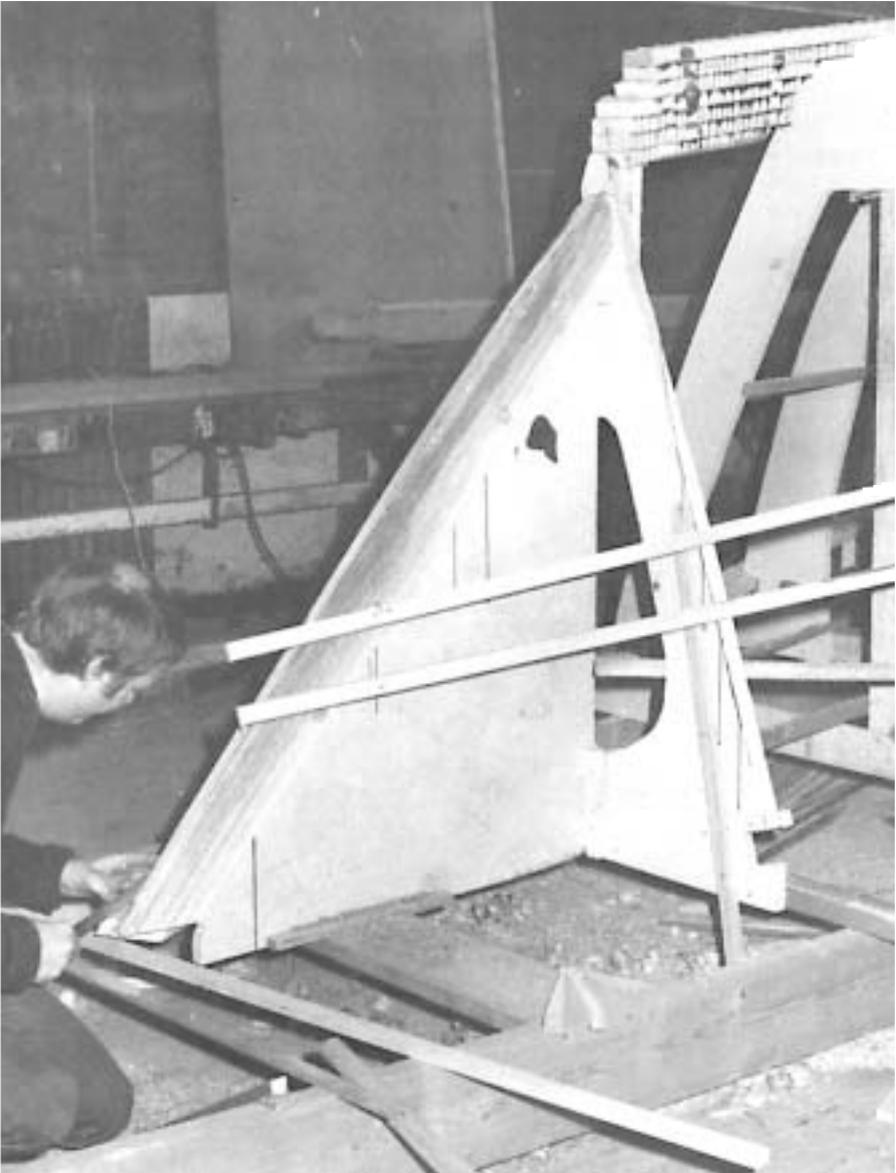
Mallen zur Formgebung

Mallen sind nichts anderes als Formenspannten, die nie auf dem Wasser schippen werden. Sie stehen im Inneren eines Kernes oder geben einer Negativform von außen her Halt.



Ausgerichteter und verstreber Mallenkern

Die Hellingbretter und die Anordnung der Mallen (aus Spanplatte) sind sichtbar. Die Mallen sind nach allen Richtungen hin sorgfältig verstrebt. In diesem Stadium ist ein Kern mit 45 Zentimetern Mallenabstand bereits für eine C-Flex-Bepunktung tauglich (Werkfoto: Carat Yachten).



Vorstevenpartie eines Mallenkerns

Der Steven wird mit der notwendigen Schmiege zum Anschrauben der Längsleisten ausgerüstet. Die Zwillingshelling ist vorn und achtern schmaler als in der Mitte (Werkfoto: Carat Yachten).

Der Abstand der Mallen untereinander richtet sich nach der Beplankung. Wird C-Flex über die Mallen geplankt, so wird ein Abstand von höchstens 45 Zentimetern (= 1½ Fuß) gewählt. Bei einer Leistenbeplankung sind als Abstand zwei Fuß = 61 (oder 60) Zentimeter üblich. Bei vollflächiger Beplankung mit untereinander verleimten Leisten kann der Abstand auf etwa 80 Zentimeter anwachsen. Die Mallen werden aus 20 oder 25 Millimeter dickem, gelaschten Brettholz einteilig oder zweiteilig hergestellt. Die Teilung macht eine weitgehend zerstörungsfreie Demontage und damit die Verwendung des Mallengerüsts für ein zweites und drittes Boot möglich.

Die Mallen können auch aus 25 Millimeter dicker Spanplatte gesägt werden (siehe Foto S. 87). Sie sind je nach der Verbindungsart von Rumpf und Deck genau bis in die Deckslinie oder darüber hinaus geschnitten und enden etwa 40 Zentimeter über dem Boden.

Die mit Lot und Wasserwaage auf der Helling genau ausgerichteten Mallen werden gegen die Helling und untereinander mit Horizontal- und Diagonal-Streben zuverlässig abgesteift.

Baut man eine Zwillingshelling, bekommen die Mallen etwa in Deckshöhe ein Brett als Auflage des kieloben-stehenden Spants auf den beiden Längsbrettern. Bei einer einfachen Helling wird man den Spant jedesmal links und rechts mit einer Leiste auf den Boden abfangen und ausrichten.

Im Kiel und im Decksbreich erhalten die Mallen zuerst Längsleisten, um sie an ihrem Standort zu halten.

Der Steven wird in seiner Kontur durch das in Fahrtrichtung stehende, fest auf die Helling montierte Stevenholz (Foto S. 88) in seiner Form festgelegt. Sind alle Schmiegen mit Hilfe von Strakleisten hergestellt, beginnt man mit dem Aufplanken.

Beim C-Flex-Bau wird zunächst eine Folie über die Mallen gespannt, um ein Verschmutzen des Holzgerüsts zu vermeiden.

Das Aufplanken eines vollflächigen Kerns

Zum Aufplanken werden astfreie Leisten aus Brasilkiefer oder Abachi im Format von 20 x 30 Millimetern verwendet.

Auf dem Foto S. 86 ist gut zu sehen, wie beim Aufplanken vorgegangen wurde. Die Plankrichtung ging einmal von Deck und zum zweiten vom Kiel aus. Der gezahnte Plankenauslauf wird mit einer Kreissäge auf 30 Millimeter Breite geschnitten und dann mit einem Leistenstück verfüllt.

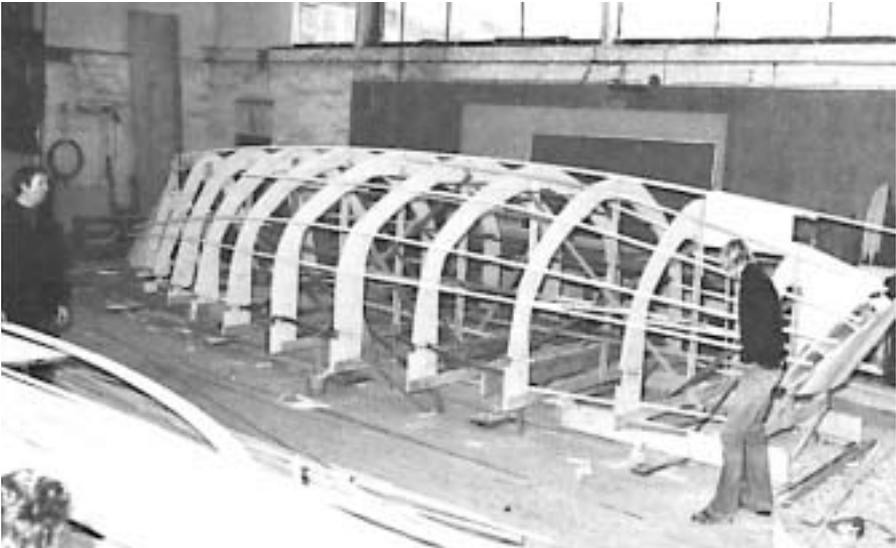
Der Kern ist gänzlich verleimt, um ein Arbeiten des Modells zu verhindern. In einer geeigneten Werkstatt mit Thermograph und Hygrograph bei genauer Kontrolle und Steuerung von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit ist dieses Verfahren möglich, aber dennoch nicht empfehlenswert.

Weniger Risiko handelt man sich ein, wenn der Holzkern mit einer Lage Glasmatte überzogen und von innen mit drei bis vier Lackschichten ausgerüstet wird. Er reißt dann nicht mehr auf.

Die Glasmatte wird mit Polyester-Spachtel egalisiert. Beim gewerblichen Bootsbau folgen dann bis zu drei Füller- und bis zu sechs verschiedenfarbige DD-Lack-Aufträge unter Zwischenschleifen. Der Farbunterschied benachbarter Schichten ermöglicht eine Tiefenkontrolle beim Schleifen.

Folgende Arbeiten sind bei der Kernherstellung durchzuführen:

1. Bauen und Ausrichten einer Helling.
2. Herstellen der Mallen aus gelaschten Brettern oder Spanplatten nach den vorgegebenen Maßen.
3. Montage und Ausrichten der Mallen auf einer Helling.
4. Beplanken der Mallen mit astfreien Leisten, möglichst ohne Stöße.
5. Hobeln des Kerns.
6. Auftragen des Haftvermittlers „G 4“.
7. Auftrag von AZUR-Harz + Härter, maximal vier Stunden später.
8. Auflaminieren von ein oder zwei Lagen 300-g/m²-Matte, spinngeteilt, mit AZUR-Harz.
9. Egalisieren und Trockenlegen der klebenden Harzflächen mit Polyester-spachtel FERRO-Elastic.
10. Schleifen der Spachtelschicht, bis der Kern strakt.
11. Füllern und Auftragen von DD-Lack DEDEVOSS, fünf bis sieben Gänge mit Zwischenschleifen.



Strak-Kontrolle

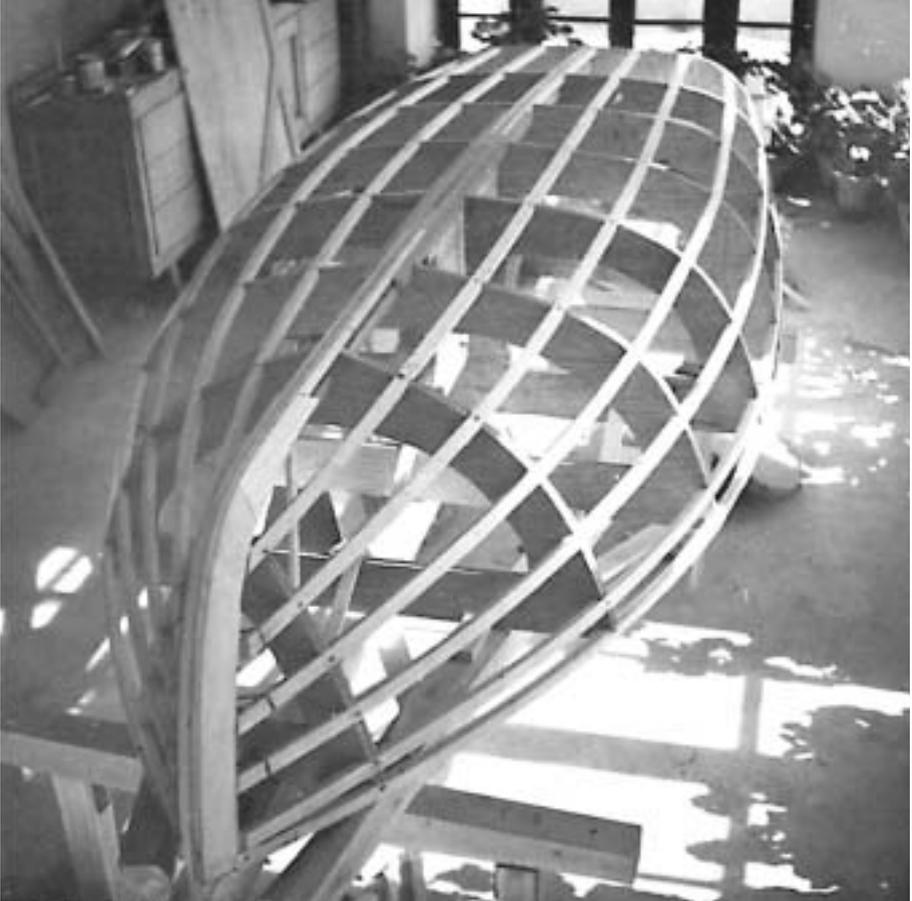
Die Mallen werden sorgfältig auf ihren Strak hin kontrolliert. Die Leisten sollen einen knickfreien, harmonischen Verlauf über die ganze Rumpfkontur besitzen.

Die Leisten im Vordergrund liegen seit Wochen in der Werkstatt, damit sie austrocknen und sich „akklimatisieren“ können, ehe sie montiert werden. (Werkfoto: Carat Yachten).

Alle Kerne werden auch auf der Innenseite mindestens dreimal mit Lack versiegelt, damit der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes sich nur sehr langsam ändern kann und Verwerfungen des Kerns weitgehend unterbleiben.

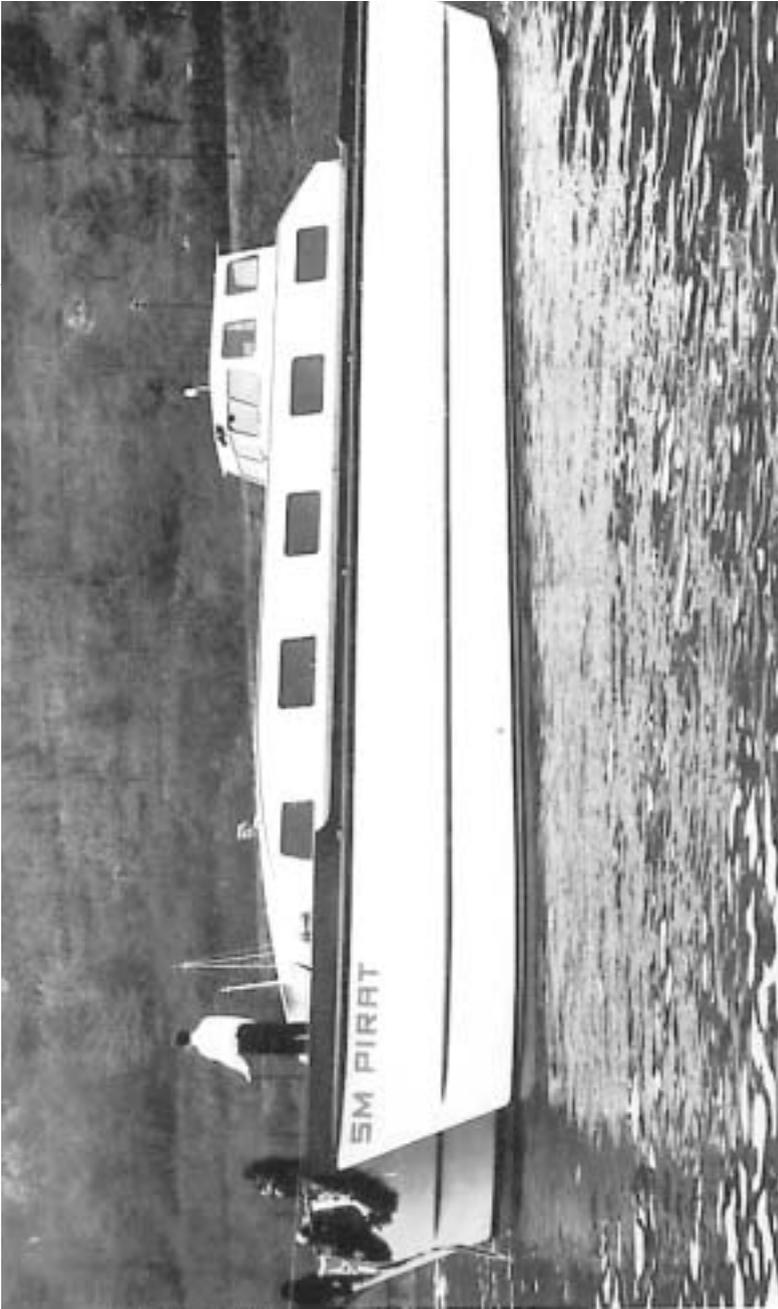
Offenflächiger Kern

Offenflächige Kerne bestehen aus den Mallen und einigen aufgesetzten oder eingelassenen Strakleisten von meistens 20 x 30 Millimetern Querschnitt.



Leistenkern für ein Boot

Leistenkerne sind für Sandwichbauten mit Schaumplatten üblich. Die Schaumplatten werden auf dem Kern befestigt und mit der äußeren Deckschicht aus Glas und Harz versehen. Dann wird die Form umgedreht und herausgeschoben. Anschließend werden die Schaumplatten mit der inneren Deckschicht versehen.



Katamaran aus einer Negativ-Plattenform

Das Beispiel eines 16 m langen und 7 m breiten Katamarans aus GFK beweist, daß auch große Einzelteile mit den kostengünstigen Plattenformen herstellbar sind. Das Fahrzeug wurde von zwei Selbstbauern in 2.500 Arbeitsstunden gefertigt. Beide Schwimmer entstammen derselben Form.

Bei der C-Flex-Bauweise werden die Leisten eingelassen. Sie können am größten Mall (Hauptspant) untereinander bis zu 50 cm Abstand haben. Die C-Flex-Bepunktung selbst wird später ohnehin auf der schmalen Stirnseite der Mallen befestigt.

Wird eine **Balsaholz-Matte** als Kern verwendet, sollen die Leisten nicht mehr als 1,5 Zentimeter lichten Abstand voneinander haben. Baut man mit **PVC-Schaumstoff**, so kann der Abstand in Zonen stärkerer Krümmung 10, sonst 15 Zentimeter betragen.

Bau einer Negativform aus Hartfaser- und Schalungsplatten

Diese Hohlformen werden ohne Modellkern in einfacher Weise mit Hilfe von Außenmallen hergestellt. Sie erlauben deswegen den rentablen Bau bereits eines einzigen knickspantigen Bootes. Die glatte Innenseite der Form ergibt beim Boot gleich die endgültige Oberfläche. Mit den Plattenformen ist nur die Herstellung glatter Bootflächen möglich (keine Sicken).

Während Hartfaserplatten als Flächenauskleidung eine DD-Lack-Versiegelung auf der Form-Innenseite notwendig machen, können Schalungsplatten meistens im Lieferzustand eingebaut werden. Das Boot wird dann lediglich einmal nachpoliert.

Es wird der Verfahrensablauf beim Bau einer Negativ-Hohlform für einen Rumpf (glatte Seite innen) beschrieben, die sich für Knickspant-Boote im Selbstbau bis zu 10 Meter Länge bewährt hat. Die Mallen für verschiedene Bootstypen sind von der VOSSCHEMIE lieferbar.



Einzelbauten aus einer Negativ-Plattenform

Die Rohschale des 9,25 m langen Motorkreuzers V 910 ist in einer Negativ-Form mit Sichtbeton-Schalungsplatten hergestellt. Bei pfleglicher Behandlung können in einer solchen Form bis zu 10 Boote gefertigt werden. Durch die Platten bedingt, besitzen diese Bootstypen nur in einer Richtung gekrümmte Flächen (Knickspant-Boote).

Baukasten für ein Motorboot

Der Baukasten für das Boot Cursor 3,5 m - 1,5 m der VOSSCHEMIE umfaßt die Mollenform mit Hartfaserplatten und das Kunststoff-Baumaterial einschließlich aller Werkzeuge.



Mallensatz

Die Mollen für den Bootstyp „NAUTICUS 1“ einschließlich des Stevenholzes sind versandfertig zusammengeheftet.

Hellingbrett mit Distanzklötzen

Hier wird das Fundament für eine Malenform gelegt. Das Hellingbrett wird mit den Klötzen zur Befestigung der Malen ausgerüstet.





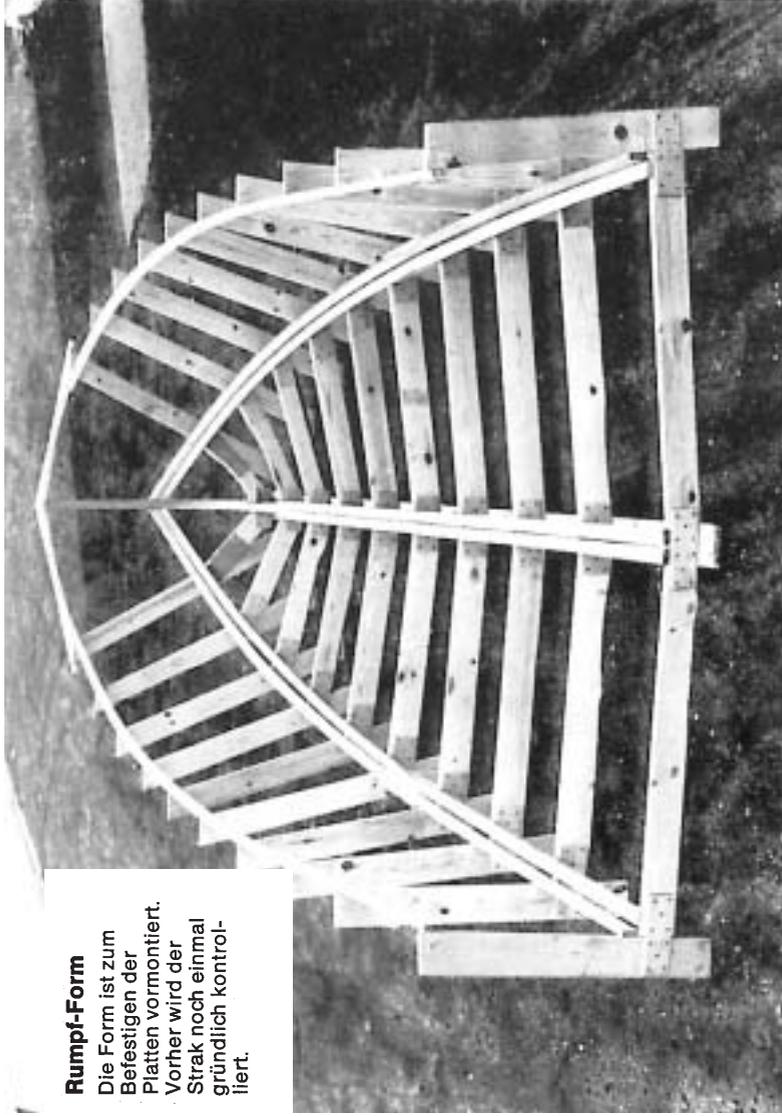
Montage der Strakleisten in der Mallenform

Die Strakleisten der Negativform für „NAUTICUS 2“ werden ausgerichtet und aufgeschraubt. Im mittleren und hinteren Bootsbereich mit weniger Krümmung können die Leisten genagelt werden. Der erste Spant im Vordergrund ist ausgenommen, damit die Bodenplatte nicht aufstößt. An dieser Stelle krümmt sich die Platte allseitig. Das Stevenholz ist beim Ausrichten unterfüttert worden.



Rumpf-Form

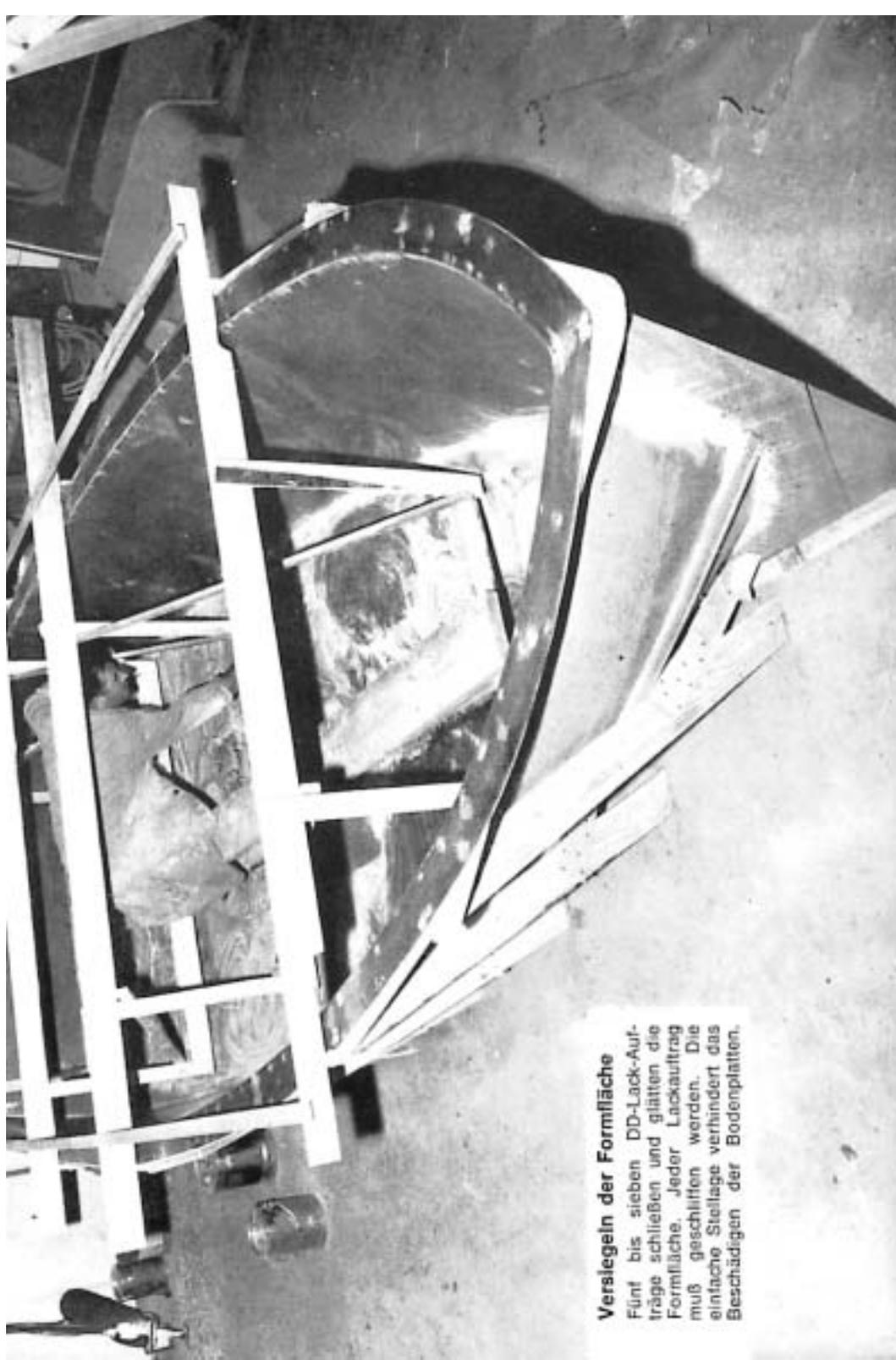
Die Form ist zum Befestigen der Platten vormontiert. Vorher wird der Strak noch einmal gründlich kontrolliert.



Einlegen der Bodenplatte

Die Platte wird mit Nägeln an den Strakleisten befestigt. Stöße und Kanten werden mit Polyester-Spachtelmasse gefüllt und gerundet. Man verwendet einfache oder ölgehärtete Hartfaserplatten, Sperrholz oder Sichtbeton-Schalungsplatten sind ebenfalls geeignet.





Versiegeln der Formfläche

Führt bis sieben DD-Lack-Aufträge schließen und glätten die Formfläche. Jeder Lackauftrag muß geschliffen werden. Die einfache Stellege verhindert das Beschädigen der Bodenplatten.

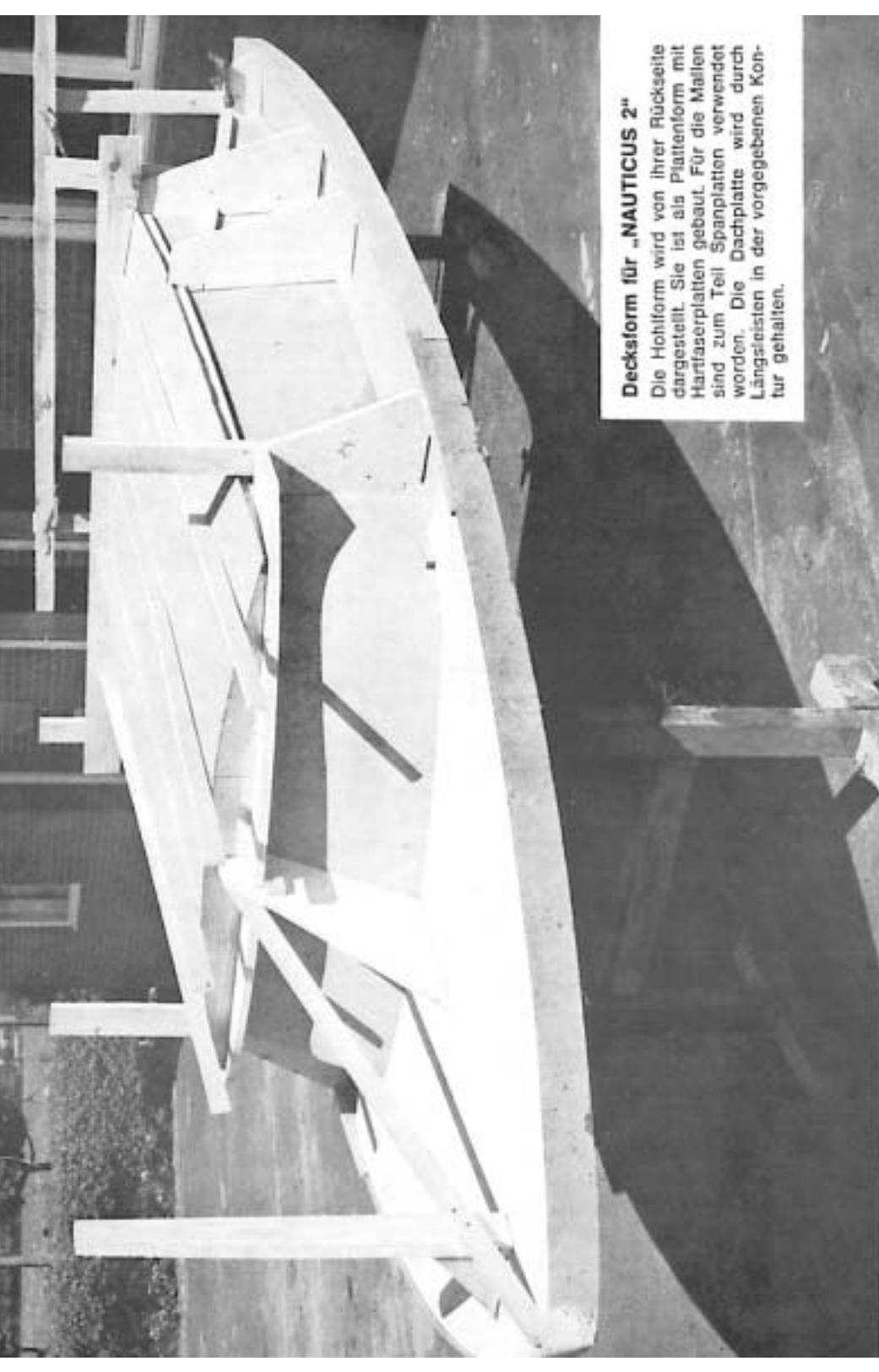


Auspachteln einer Plattenform

Polyesterspachtelmasse wird zum Füllen und Ausrunden der Plattenstöße- und Kanten eingesetzt. Je größer die Radien ausgebildet werden, desto leichter wird das Tränken der Verstärkungen mit Harz.

Decksform für „NAUTICUS 2“

Die Hohlform wird von ihrer Rückseite dargestellt. Sie ist als Plattenform mit Hartfaserplatten gebaut. Für die Mellen sind zum Teil Spanplatten verwendet worden. Die Dachplatte wird durch Längsleisten in der vorgegebenen Kontur gehalten.



Als Helling dient ein Brett von 10 x 2 Zentimetern Querschnitt, auf das die Abstände der Spanten laut Bauplan und ihre Dicke von zwei Zentimetern aufgezeichnet werden. An jeder Markierung wird ein Holzklötzchen aufgeleimt und vernagelt, das das Mall hält. Das vorgefertigte Stevenholz wird direkt auf der Helling befestigt.

Zunächst wird nur je eine Kimmleiste aufgeheftet. Dann werden die Mallen mit Lot und Wasserwaage senkrecht gestellt und mit einem Winkel auf ihre rechtwinklige Stellung zur Helling hin kontrolliert. Die übrigen Längsleisten werden unter ständiger Kontrolle der Mallen eingehaftet und aufgenagelt. Die Leisten müssen astfrei sein, damit sie eine knickfreie (strakende) Kurve ergeben. Der Strak wird dann durch Unterfütern der Leiste oder eine Ausnehmung am Mall korrigiert.

Bei starken Rundungen (z. B. im vorderen Bereich) halten Schraubzwingen die Leisten bis zur endgültigen Befestigung. Nach einer Schlußkontrolle werden zunächst die beiden Bodenplatten aus Hartfaser- oder Sichtbetonplatten in die Form eingelegt und durch zwei Zentimeter lange gestauchte Stifte alle 10 Zentimeter genagelt. Die Bodenplatten werden auf dem letzten Mall auf jeder Hälfte zusätzlich befestigt. Der Hohlraum zwischen Platte und Mall wird dabei mit einem Stück Strakleiste aufgefüllt. Dann folgen die Seiten- und die Spiegelplatte.

Offenstehende Fugen werden später durch die Ausrundung mit Spachtelmasse verschlossen. Im Vorschiff stehen die beiden oberen Leisten etwas über das Mall hinaus. Dieser Überstand wird abgehobelt. Dann wird für den Verbindungsflansch ein Randstreifen auf die oberen Leisten und die Mall-Oberseiten aufgenagelt. Alle Platten müssen gut befestigt und alle Nagelköpfe versenkt sein. Dann werden im Kimm- und Kielbereich die Plattenstöße mit Polyester-Spachtelmasse ausgerundet. Dabei sollte ein Radius von vier Zentimetern nicht unterschritten werden (Bierflasche). Nur die Spiegelunterkante bleibt möglichst scharf (besserer Wasserablauf beim Boot).

Die gespachtelten Flächen (auch über den Nagelköpfen) werden sorgfältig durchgeschliffen. Dann folgen bei Hartfaser- und Sperrholzplatten die DD-Lackschichten. Beton-Schalungsplatten können unlackiert bleiben.

Herstellen einer Negativform aus GFK für den Serienbau

Für den Bau von mehr als drei rundspantigen Booten hat sich Glasfaser-Kunststoff als Baustoff auch für die Produktionsform bewährt.

Diese Negativformen erhalten eine spiegelglatte Innenfläche, die bei jedem Boot als glatte Außenhaut abgeformt wird. Ob diese Formen einteilig oder mehrteilig gebaut werden, hängt von ihrer Breite ab. Da man per Hand darin arbeitet, muß jede Stelle der Form mit dem durch das Werkzeug verlängerten Arm erreichbar sein.

Nur in kleinen Formen bis zu etwa vier Metern Länge wird ein Fell- oder Scheibenroller mit normalem Handgriff benutzt. Für die Arbeit in größeren Formen vergrößert man den Aktionsradius der Werkzeuge durch aufgesetzte Besenstiele. Die Feinschicht oder der LT-Lack werden stets mit dem unverlängerten Feinschichtpinsel eingebracht.



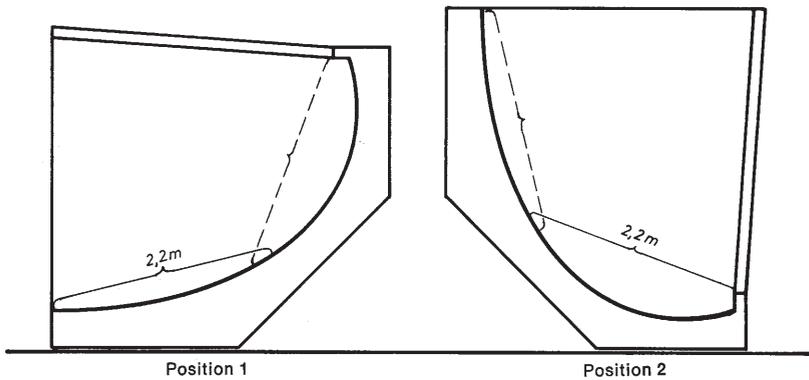
Drehbare GFK-Negativform

Zur Arbeitserleichterung ist die Form an den Enden mit Rohrstummeln versehen, die auf Böcken gelagert werden. Die Form ist dann schwenkbar, so daß aufrechtstehend daran gearbeitet werden kann. Außerdem fließen die Styroldämpfe aus der Form ab und beeinträchtigen die Aushärtung der Feinschicht nicht.

Deshalb ist es notwendig, die Form für diesen Arbeitsgang aufzuklappen, während die Verstärkungen nachher in die zusammenmontierte Form eingebracht werden können. Zur Entformung wird die Form dann wieder demontiert. Das macht dann eine etwas aufwendigere Stellage notwendig, wie sie zum Beispiel in den nebenstehenden Bildern gezeigt wird.

Die verlängerten Werkzeuge verhelfen zu einer größeren Rollstrecke, mehr Werkzeugdruck und zu styrolärmerer Atemluft durch den vergrößerten Abstand.

Eine Form oder Formenhälfte wird immer dann drehbar gebaut, wenn sie in aufrechter Position Wandteile mit über 90° Neigung besitzt, die Verstärkungsmittel also nicht aufliegen können. Drehbare Formen werden meistens für mindestens zwei Arbeitspositionen gebaut, so daß in beiden Lagen die zu bearbeitenden Teile möglichst horizontal liegen (siehe Skizze).



Zweiteilige Form

Die Form kann in zwei Positionen bearbeitet werden, so daß keine Verstärkung über Kopf laminiert werden muß.

Einteilige Formen bis zu sechs Metern Länge können, an den Enden mit Rohrstummeln versehen, in Böcken drehbar gelagert werden (Foto S. 103). Das Foto S. 106 zeigt eine geteilte Form, deren klappbare Hälften in einer rollbaren Stellage hängen. Jede Formenhälfte wird während des Laminierens heruntergeklappt. Bei dieser Anordnung ist man von Hilfsmitteln wie Kran oder Wagen unabhängig.

Rumpf und Formen werden gern mittschiffs geteilt. Denkt man daran, daß die Feinschicht längs der Teilung später nachgearbeitet werden muß, so empfiehlt es sich nicht, den Spiegel eines Bootes ebenfalls zu teilen, sondern als drittes Formteil separat herzustellen. Die Montage liegt dann in der Kante zwischen Spiegel und Boden- bzw. Seitenwand, wo sie nicht so ins Auge fällt.

Hinterschnittene und sehr enge und tiefe Bauteile, wie die Kielflosse bei geteiltem Lateralplan, werden oft in einer separaten Form gebaut, die dann besser zugänglich ist.

Um geteilte Formen paßgenau montieren zu können, ist es notwendig, die beiden Hälften noch auf dem Kern gemeinsam zu bohren. Der Lochabstand sollte 30 Zentimeter nicht überschreiten, der Schraubendurchmesser nicht unter zehn Millimetern liegen.

Werden nur Paßstifte in die eine und Führungsbuchsen in die zweite Formenhälfte mit einlaminiert, so kann deren Abstand auf 60 Zentimeter vergrößert werden. Die Klammerwirkung wird dann von Schraubzwingen mit 30 Zentimetern Abstand ausgeübt. Dies ist montagemäßig die schnellere Lösung.

Aussteifung und Herstellen der Teilungsebene bei einer GFK-Form

Bevor die Formenaußenteile mit LT-Lack oder DD-Lack klebfrei gemacht werden, sind bei größeren Formen die Verstärkungen und Aufhängungen anzubauen. Die offene Formenseite muß bei Formen ab 4 m Länge sorgfältig abgestützt werden, meistens durch einen Stahlrohrrahmen. Die Form selbst erhält stets einen Flansch als Bezugskante beim Besäumen. Bei allseitig

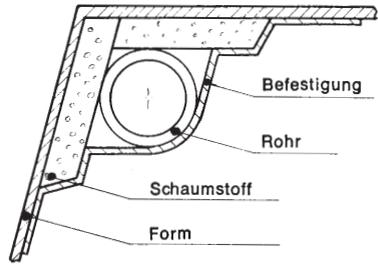


Decksform

Decksformen werden meistens einteilig gebaut. Die Formenschale hat Verstärkungsstege und ist über viele einzelne Laminatstreifen mit dem kräftigen Rohrgestell verbunden (Werkfoto: Germania-Yachtbau).

Befestigen von Verstärkungsrohren an einer Form

Um einen „harten Kern“ zu vermeiden, werden die starren Rohre nicht direkt gegen die Form tapeziert. Man baut vielmehr Schaumstoffstreifen zwischen Formwand und Verstärkung. Der S-förmige Querschnitt der Befestigung aus zwei Lagen Glasmatte ist beabsichtigt. Schrumpft dieses Laminat, so verändert es den Formenwinkel nicht.



gekrümmten Formen (z. B. für Rundspantboote ab 5 m Länge) wird zusätzlich ein Stahlrohr längs des Kiels antapeziert. Kiel- und Randverstärkung werden mit Spanten (Abstand 2 bis 4 m) untereinander verbunden, die unten als Füße ausgebildet sind. Für schwere Formen wird man in Abständen von etwa 0,6 m zusätzliche Längsversteifungen vorsehen, die sich auf den Spanten abstützen.



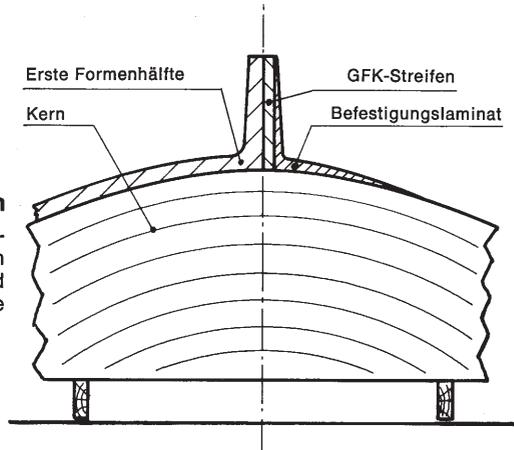
Teilbare Form in einer Stellage

Die beiden Formenhälften werden im abgeklappten Zustand „befüllt“. Dann wird die Form geschlossen und die Bootshälften werden aneinanderlaminiert (Werkfoto: Germania Yachtbau).



Geteilte, drehbare und verfahrbare 10-Meter-Form

Diese in Balsa-Sandwich gebaute Negativform wird nur für den Feinschichtauftrag und zur Entformung geöffnet. Da sie auf dem Fahrgestell in jede Position gebracht werden kann, wird ein einteiliges Boot darin hergestellt (Werkfoto: Carat Yachten).



Herstellen einer teilbaren Form

Auf die Form wird in der Teilungsebene ein gehärteter GFK-Streifen senkrecht auftapeziert. Daran wird beim Bau der ersten Formenhälfte hochlaminiert.

Um das Versteifungsrohr nicht als „harten Kern“ einer Verstärkung gemäß Zeichnung 16 wirken zu lassen, werden zwischen Formenaußenseite und anliegenden Rohren Schaumstoffstreifen gelegt, ehe die Mattenbahnen zur Befestigung auftapeziert werden. Oder man befestigt die Formschale auf Abstand mit Hilfe von Matten- oder Gewebestreifen (s. Foto S. 105).

Bei der Herstellung einer geteilten Form wird in der Teilungsebene ein gehärteter GFK-Streifen von einer Seite her auf die Form senkrecht auftapeziert. Beim Bau der ersten Formenhälfte arbeitet man an dieser Fahne hoch und erhält so den gewünschten Teilungsflansch. Bei der Herstellung der zweiten Formenhälfte nimmt man die Fahne ab und laminiert von der anderen Seite gegen den (mit Trennmitteln behandelten) ersten Flansch. In die Flanschen kann ein Flacheisen mit einlaminiert werden, um sie später gut festziehen zu können.

Welchen Wandungsaufbau benötigt eine Polyester-Negativform?

Als Richtlinie kann gelten, daß Voll-GFK-Formen in Millimetern so dick werden sollen wie sie in Metern lang sind.

Sie müssen am Decksrand, an der Kimm und an der Kiellinie Längstringer (Schaum mit Matten überzogen) erhalten, woran die Befestigungen angreifen. Besonders verwindungssteife Formen erhält man durch eine Sandwich-Form mit Hartschaumplatten oder Balsaholz als Kern. Hier wird nicht zusätzlich versteift.

Die Form für eine rundspantige Kielyacht von zehn Metern Länge würde man wie folgt gestalten.

Wandungsaufbau für eine Negativform von zehn Metern Länge

a) in Voll-GFK

Feinschicht G 327

- 1 Lage 300 g/m²-Matte Typ EPS
- 4 Lagen 450 g/m²-Matten
- 1 Lage 900 g/m²-Roving
- 1 Lage 450 g/m²-Matte
- 1 Lage 900 g/m²-Roving
- 1 Lage 450 g/m²-Matte

Drei Längsstringer mit 15 Zentimetern Schaumhöhe und drei Lagen 450 g/m²-Matte auf jeder Formenhälfte. Das 1½“ Rohrgestell wird längs der Decks- und der Kiellinie mit untergelegten Schaumstreifen direkt an die Form laminiert.

b) in Sandwich

Feinschicht G 327

- 1 Lage 300 g/m²-Matte Typ EPS
- 4 Lagen 450 g/m²-Matte
- 20 mm Balsaholz
- 1 Lage 450 g/m²-Matte
- 1 Lage 900 g/m²-Roving
- 1 Lage 450 g/m²-Matte
- 1 Lage 900 g/m²-Roving

Je vier Aufhängungspunkte in Höhe der Deckslinie, der Kimm und des Kiels. Der Massivanteil der Sandwichform beträgt also ebenfalls etwa zehn Millimeter. Der Kern hat die doppelte bis dreifache Dicke beider Deckschichten zusammen.

Auflaminiert wird die Form ebenso wie ein Boot, das später darin gebaut wird. Es kann also auf das Laminiere eines Bootes verwiesen werden.

INTERNATIONALER SCHIFFSMESSBRIEF

ausgestellt nach dem „Übereinkommen über ein einheitliches System der Schiffsvermessung“,
das in Oslo am 10. Juni 1947 geschlossen und später geändert wurde

International Tonnage Certificate issued in accordance with the Convention for a Uniform System of Tonnage Measurement of Ships
concluded in Oslo on the tenth of June 1947 and later amended

**BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**
FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY



N A M E D E S S C H I F F E S
Name of ship

" A U T A R K I E "

Schiffsgattung Description of ship Motorsegler Motor sailor	Staatszugehörigkeit Nationality Deutsch German	Heimathafen Port of registry Mülheim/Ruhr	Register-Nr. Official number	Untersch.-Signal Signal letters	Antrieb durch Maschine oder Segel Propelled by machinery or by sails Maschine und Segel Machinery and sails
Ort und Jahr der Erbauung Where and when built Mülheim/Ruhr 1974		Name und Anschrift der Erbauer Name and address of builders Werner Melinski Mülheim/Ruhr Eltener Str. 21b		Bau-Nr. Yard No. 1	Baumaterial Material Kunststoff Plastics

Art der Antriebsanlage Description of propulsion machinery Dieselmotor Diesel engine	Anzahl der Schrauben Number of screws Eine One	Name und Anschrift des Eigners Name and address of owner
--	--	---

IDENTITÄTSMASSE Identification dimensions				Fuß Feet	Meter Metres
Länge von der Vorderseite des oberen Endes des Vorstevers bis zur Backbordverankerung des Rudersteuersockels — Vorderseite des Rudersteuersockels Length from the fore side of the upper end of the stem to the starboard fastening of the rudderstock — fore side of the rudderstock				47,02	14,33
Breite, größte über Außenhaut Breadth, greatest outside				16,83	5,13
Tiefe in der Mittschiffsebene auf der Hälfte der Länge von der Unterseite des Oberdecks bis zur Oberseite der Deckplattenoberfläche Depth in the middle plane at half length from the under side of the upper deck to the upper side of the deck plating surface				6,63	2,02
Länge über Alles				58,70	17,89
	Registertonnen Register tons	Kubikmeter Cubic metres		40,29	114,15
Unterdeck-Raumgehalt Under deck tonnage	35,14	99,55	Bruttoreumgehalt (Obertrag) Gross tonnage (brought forward)		
Zwischendeck-Raumgehalt Tween deck tonnage	-	-	ABZÜGE Deductions	Registertonnen Register tons	Kubikmeter Cubic metres
.....			Kapitän Master	-	-
.....			Besatzung Crew	-	-
.....			Provisionräume Provision rooms	-	-
.....			Navigationräume Navigation spaces	1,38	3,90
.....			Pumpenräume Pump rooms	-	-
.....			Werkst., Vorratsr. Workshops, store rooms	-	-
.....			Wasserballasträume* Water ballast spaces*	-	1,38
.....				
Räume über dem Oberdeck, die als Teil des Treib- raumraumes eingemessen worden Spaces above the upper deck, certified as part of propulsion machinery	-	-	Rest Remainder	38,91	110,25
.....			Abzug für Treibkraft- maschinen Deduction for propulsion machinery spaces	12,90	36,53
Lukenüberschuß Excess of hatchways	-	-	Nettoraumgehalt Net tonnage	26,01	73,72
Bruttoreumgehalt Gross tonnage	40,29	114,15			

Hiermit wird bezeugt, daß das obengenannte Schiff in Übereinstimmung mit den internationalen Vorschriften für die Schiffsvermessung, die Anlage des obenerwähnten Übereinkommens sind, vermessen wurde und daß sein Raumgehalt nach Regel 1 der Vorschriften den in diesem Meßbrief enthaltenen Angaben entspricht.
This is to certify that the above named ship has been measured in conformity with the international Regulations for tonnage measurement of ships annexed to the above mentioned convention, and that her tonnage under rule 1 of the said regulations is as stated in this tonnage certificate.

Bruttoreumgehalt Gross tonnage	40,29	Vierzig 29/100	Registertonnen oder Register tons or	114,15	Kubikmeter Cubic metres
Nettoraumgehalt Net tonnage	26,01	Sechszwanzig 01/100	Registertonnen oder Register tons or	73,72	Kubikmeter Cubic metres
		Twenty six 01/100			

Hamburg, den 25. Juni 1974

Der Leiter des Bundesamts für Schiffsvermessung
Head of Federal Board of Tonnage Measurement

Bitte wenden!
To be sent!



Die Bootschale wird auflaminiert – praktischer Teil

Für die Arbeit mit Glas und Harz wird man alte Kleidung oder Arbeitszeug anziehen, denen ein paar Flecken mehr nichts tun. Das gleiche gilt für die Schuhe, die man bei dieser Arbeit trägt.

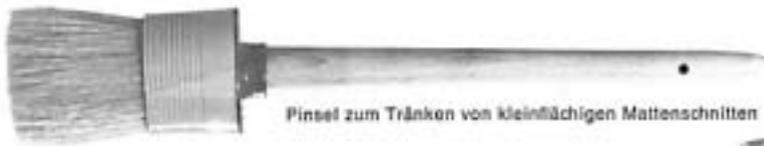
Bei der Arbeit mit Kunststoffen und Lösungsmitteln ist darauf zu achten, daß einige von ihnen (Aceton, Styrol u. a.) brennbar sind. Rauchen und offenes Feuer ist also streng zu unterlassen. Einige Lösungsmittel sind außerdem giftig (Methylenchlorid). Zu hohe Konzentrationen in der Atemluft sind also zu vermeiden.

Die Augen sind beim Anmischen vor Spritzern zu schützen (Brille). Besonders gilt das für den Umgang mit Peroxiden (MEKP- und Bp-Härtern).



Selbstgebauter Motorsegler

Mit 14,33 Meter Länge, 5,13 Meter Breite und 2,02 Meter Tiefgang hat die „Autarkie“ amtlich bestätigte 40,29 Bruttoregistertonnen und 26,05 Nettoregistertonnen (siehe Internationaler Schiffsmeßbrief S. 110). Das Schiff wurde in fünfjähriger Bauzeit fertiggestellt. Eine Platten negativform war die Ausgangsbasis. Es wurden insgesamt 5 t Harz und 3,5 t Glas verbaut.



Pinself zum Tränken von kleinfächigen Mattenschnitten



Flexibler Metallroller zum Entlüften des Laminates in positiven und negativen Rundungen



Fellroller zum Tränken großflächiger Lamine



Rillenroller zum Entlüften ebener Lamine



Dosierhilfe für MEKP-Härter



Feinschichtpinself



Faßrührer mit Klappflügeln zum Aufmischen von Harz im Faß



Die wichtigsten Werkzeuge für die Polyester-Verarbeitung

Vorsicht beim Umgang mit MEKP-Härter

Der flüssige Härter ist augenätzend. Darum darf verschütteter Härter nicht mit dem Taschentuch abgewischt werden. Spritzer auf der Haut sind schnell und sorgfältig mit Wasser und Seife oder 5%iger Sodalösung abzuwaschen.

Sollte durch unglückliche Umstände Härter ins Auge gekommen sein, so muß sofort das Auge unter der Wasserleitung mit fließendem Wasser ausgespült werden und anschließend, nach Möglichkeit in der nächsten Minute, eine Augenspülung mit einer Lösung von 10%iger Ascorbinsäure in Wasser oder mit vorrätig zu haltender 2%iger, wäßriger Natriumbicarbonat-Lösung durchgeführt werden. Der Härter enthält Peroxid, das durch die Ascorbinsäure neutralisiert wird.

Bei einer Augenverletzung ist auf jeden Fall nach der sehr gründlichen Augenspülung ein Arzt aufzusuchen. Keine öligen Lösungen oder Emulsionen verwenden, sie verstärken die Wirkung des Peroxides.

Hat jemand Peroxid getrunken, so soll möglichst schnell Erbrechen herbeigeführt und eine reichliche Menge Natriumascorbat-Lösung getrunken werden. Danach ist unverzüglich ein Arzt aufzusuchen (Härterflasche mitnehmen!).

Härter sind bereits phlegmatisiert, daher in bezug auf das Brandverhalten und die Lagerung (bei 20 °C und getrennt von anderen brennbaren Stoffen und dem Beschleuniger) relativ ungefährlich. Trotzdem möchten wir auf die Sicherheitsvorschriften hinweisen (Merkblatt anfordern).

MEKP-Härter und Kobalt-Beschleuniger dürfen nie direkt miteinander vermischt werden!

Härter darf unter keinen Umständen in reiner Form mit Beschleuniger zusammenkommen. Die Folge könnte eine Explosion sein, wenn zufällig die Temperatur und kritische Mischung erreicht werden.

Beim Zugeben zum Polyesterharz muß entweder zuerst der Beschleuniger und dann – nach dem Umrühren – der Härter zugegeben werden oder auch umgekehrt. Eine Reihenfolge ist also nicht einzuhalten. MEKP-Härter kann auch durch Metallpulver wie z. B. Rost zum schnelleren Zersetzen gebracht werden, so daß eine Wärmereaktion mit einer Verpuffung auftreten kann. Nicht verbrauchter Härter soll **nicht** in das Originalgebinde zurückgeschüttet werden (Anreicherung von Schmutzstoffen).

Was braucht man an Werkzeugen und Reinigungsmitteln?

Für das Handauflegeverfahren sind nur wenige Werkzeuge notwendig.

Der Feinschichtpinsel (zehn Zentimeter breit) ist zum Einbringen und Entlüften der Feinschicht und des LT-Lacks bestimmt.

Fellroller, mit kurzem und langem Stiel für große Formen, dienen zum Tränken von Glasmatten und Geweben mit Polyesterharz.

Plüschroller gestatten durch ihr kurzes Haarfell einen guten Transport überschüssiger Harzmengen an harzarme Stellen.

Scheibenroller sind Werkzeuge zum Entlüften des Laminats. Beim Tränken der Glasverstärkungen mit Harz werden unvermeidlich Luftblasen mit eingeschlossen, die sorgfältig entfernt werden müssen. Der Scheibenroller preßt das Glasgewebe oder die Glasmatte zusammen, dabei fließt das Harz an den Faserbüscheln entlang. Die Luftbläschen geraten in Bewegung, und ihr natürlicher Auftrieb läßt sie nach oben steigen und platzen.

Rillenroller erfüllen die gleiche Aufgabe wie Scheibenroller, sind jedoch mit kleinerem Durchmesser lieferbar.

Flexibler Metallroller. Während sich bei geraden Flächen starre Metallscheiben bewährt haben, besteht die biegsame Federwalze aus einer Spiralfeder, die sich jeder gekrümmten Fläche anpaßt. Es können damit sowohl Lamine in hohlen Rundungen als auch auf Wölbungen in kurzer Zeit blasenfrei ausgerollt werden.

Zum Reinigen wird die Feder kurz gebogen, und das gehärtete Harz springt ab.

Das **Härterdosiergerät** besteht aus einer durchsichtigen Flasche mit aufgesetztem Meßzylinder. Drückt man auf die Flasche, steigt Härter durch einen Überlauf in den mit einer Kubikzentimeter-Einteilung versehenen Meßzylinder. Die Härtermenge aus dem Meßzylinder wird dann in das Harzgebinde entleert.

Zur **Reinigung** von Werkzeugen werden drei Eimer zum Vorspülen, Nachspülen und Klarspülen verwendet. Erst dann werden die Werkzeuge in einen Behälter zur Aufbewahrung gestellt. Als Reinigungsmittel sind möglich:

Aceton: Es ist nicht giftig, aber feuergefährlich, so daß es aus Sicherheitsgründen in geschlossenen Räumen (Werkstatt) nicht verwendet werden sollte. Es ist leichter als Wasser (spez. Gewicht 0,98 kg/l) und besitzt sehr gutes Lösevermögen. Es wird gern zum Reinigen der Hände benutzt, wenn keine Handwaschlösung vorhanden ist.

Methylenchlorid: Es ist unbrennbar und wird daher von gewerblichen Arbeitern und Selbstbauern bevorzugt für die Reinigung der Werkzeuge verwendet. Da es schwerer als Wasser ist (spez. Gewicht 1,4 kg/l), kann Wasser als flüssiger Deckel gegen Verdunsten aufgegossen werden. Seine Dämpfe sind jedoch schwach giftig und es brennt auf der Haut.

Trichloräthan: Dieses Lösungsmittel ist ebenfalls unbrennbar. Die Dämpfe und der Hautkontakt sind relativ ungefährlich. Dieses Mittel ist gewerblichen Arbeitern, die ständig mit Reinigungsmitteln in Kontakt kommen, zu empfehlen.

Zur **Reinigung der Hände** werden Lösungsmittel (Aceton) oder besser Handwaschlösungen verwendet (Stockhausen, Krefeld). Anschließend wird mit warmem Wasser und Seife gründlich nachgewaschen.

Auswahl und Einbringen von Trennmitteln

Bei Booten wird mit wachshaltigen oder teflonhaltigen Trennmitteln gearbeitet. Folien (z. B. Hostaphan®) sind als Trennmittel möglich, werden aber selten eingesetzt.

Trennwachse werden als Pasten oder Flüssigkeiten auf die Formenoberfläche mit einem Wollappen oder einer Spritzpistole aufgetragen. Nach wenigen Minuten sind die Lösungsmittel abgedampft und der Wachsfilm wird nachpoliert. Wachse verschließen Poren und können – besonders bei neuen Formen oder Kernen – mehrmals eingebracht werden. Nach wieviel Entformungen der Wachsauftrag wiederholt werden muß, hängt von der Gestalt und Größe des Formteils und von der Trennmittel-Qualität ab.

Da die Trennfilmstärke mit jedem Auftrag ungleichmäßig anwächst, wird in bestimmten Abständen eine Reinigung der Form notwendig. Nicht alle Wachse sind temperaturfest.

Standard-Trennwachs ist in Perchloraethylen gelöst, das bei der Arbeit eine gute Belüftung bedingt. Bei großen Formen, in denen man sozusagen „unter Deck“ arbeitet, sollte eine Absaugung für die abdampfenden Lösungsmittel benutzt werden. Das gilt auch für andere Trennmittel.

Bei Booten wird kein Trennlack mehr verwendet. Man hat inzwischen festgestellt, daß Trennlack die Feinschichtqualität beeinträchtigt.

Dem Auspolieren ist große Aufmerksamkeit zu schenken. Die Feinschicht wird dadurch weniger anfällig für Ablagerungen wie Schmutz.

Trennmittel	Im Lieferzustand	Abformungen	Bemerkungen
Hostaphan®-Folie	fest	mehrere	nur für einseitig gekrümmte Flächen
Standard-Trennwachs	flüssig	wenige	vornehmlich für Einzelbauten
hochwertige Trennwachse (Formula-Five)	pastös	mehrere	gute Trennwirkung und gute Oberfläche
teflonhaltige Trennmittel (Trennmittel U)	flüssig, auch als Spray	mehrere	für den gewerblichen Bootsbau, sehr gute Trennwirkung und Oberfläche z. T. lange Abluftzeit

Trennmittel für den Bootsbau

Bewertet man Handhabung, Trennwirkung und Oberflächenglanz, so ist für Einzelbau und Kleinserien Formula Five zu empfehlen.

Bevor es losgeht

Wie bei jeder anderen handwerklichen Tätigkeit, muß auch bei GFK mit Sorgfalt gearbeitet werden.

Die Verstärkungsmittel sind vor dem Laminieren zugepaßt und an den Rändern ausgefranst worden.

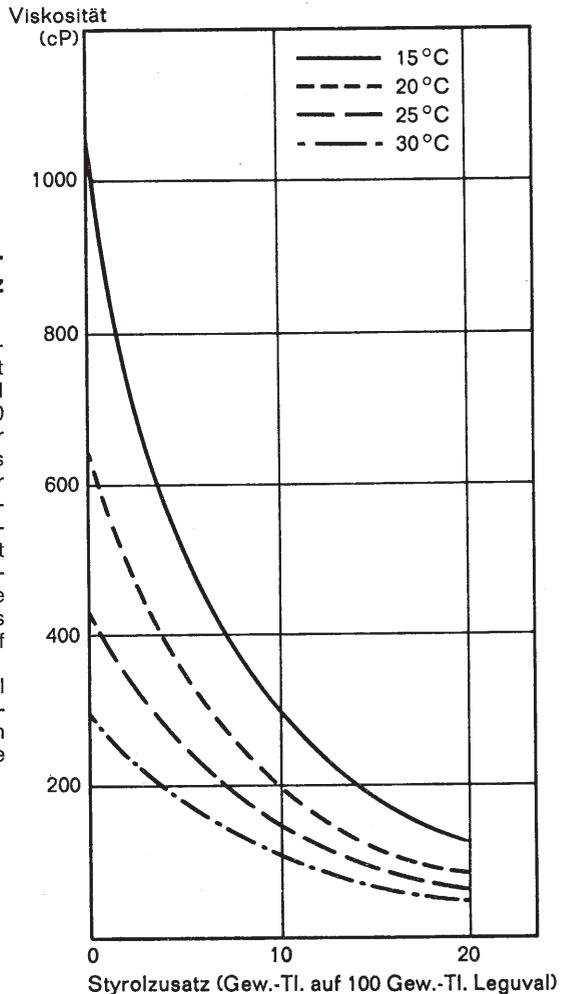
Thermometer oder Thermostreifen zur Überwachung von Raum- und Formen-temperatur sind unerläßliche Kontrollmittel. Eine zu niedrige Temperatur be-oder verhindert die Härtung und erschwert die Verarbeitung wesentlich, wie die untere Abbildung deutlich macht.

Zchg. 18

Viskosität von N 50 in Abhängigkeit von Styrolzusatz und Temperatur (13)

Die Graphik verdeutlicht das Ansteigen der Harzviskosität mit fallender Temperatur. Fünf Grad Temperaturabfall führen bei N 50 fast zu einer Verdoppelung der Zähflüssigkeit. Da fließwilliges Harz die Glasfaser auch leichter benetzt, ist die Werkstatt-Temperatur für die Arbeitsgeschwindigkeit und die Laminat-Qualität wichtig. Das Temperaturverhalten gilt natürlich auch für die Feinschicht. Außerdem zeigt das Bild den Einfluß von Styrol auf die Harzviskosität.

Harze und Verstärkungsmittel sind zwölf Stunden lang vor Arbeitsbeginn in der temperierten Werkstatt zu lagern, damit sie sich akklimatisieren.



Ein **Feuchtmesser** (Hygrometer), für die Laminierarbeiten in der Werkstatt aufgehängt, sollte unter 65 % (kurzzeitig 75 %) relativer Feuchte anzeigen, wenn das Harz mit den Verstärkungsmitteln einen optimalen Verbund eingehen sollen.

Ein **Wecker**, der am Ende der Topfzeit „Laut gibt“, zeigt stets an, wieviel Zeit man noch zur Verarbeitung des laufenden Ansatzes hat.

Waage oder **Meßbecher** (unempfindlicher) sind weit besser als jedes Augenmaß, wenn es um die Harzmenge für ein Teilstück geht.

Das **Härterdosiergerät** (Meßzylinder auf der Härterflasche) verhilft nicht nur zu der notwendigen genauen Dosierung, sondern schützt den Verarbeiter auch gegen Verschütten der ätzenden Härterflüssigkeit.

Handschuhe gehören für den Neuling (eigentlich grundsätzlich für jeden Laminierer) zur Pflichtübung.

Desgleichen eine **Schutzbrille**, zumindest, wenn der Härter mit Mischflügel und drehzahlsteuerbarer Bohrmaschine unter das Harz gemischt wird. Langsames Rühren vermeidet das Einschlagen von Luft. Das ist besonders beim Feinschichtansatz wichtig.

Damit man nicht festklebt, werden der Werkstattboden im Laminierbereich, die Fläche unter den Harzgebänden, die Waage usw. mit Pappe abgedeckt, die hin und wieder erneuert wird.

Reinigungsmittel für die Werkzeuge (z. B. Methylenchlorid) und für die Hände (Handreiniger oder Aceton, dazu Seifenwasser) sind getrennt in Reichweite zu postieren. Eine Schüssel mit klarem Wasser als erste Hilfe bei Spritzern, die ins Auge gelangt sind, können im Falle eines Falles vor Verätzungen (besonders durch den flüssigen Härter) schützen.

Feinschicht-Auftrag

Die Feinschicht wird auf die mit dem auspolierten Trennmittel versehene Form aufgebracht und bildet damit die wasserbelastete Bauteilseite. Sie ist mit Hilfe eines Verdickungsmittels nicht-tropfend (thixotrop) eingestellt und läuft daher nicht von der senkrechten Wand ab. Ihre Konsistenz (Dickflüssigkeit) entspricht der von frischer Zahnpasta. Feinschichtharz wird ohne Glasfaserarmierung verarbeitet. Die Feinschicht kann farblos oder in verschiedenen RAL-Farbtönen eingefärbt bezogen werden.

Wird Feinschicht pigmentiert, so geschieht das mit einer 20%igen Zugabe der gewünschten Polyester-Farbpaste durch langsames Einrühren. Dabei darf keine Luft mit eingerührt werden!

Die Feinschicht wird mit dem breiten Feinschichtpinsel auf der Formenoberfläche verteilt. Das geschieht in zwei Aufträgen mit je 350 g/m² Harz bei glatter und bis zu 400 g/m² bei gesickter Oberfläche. 700 g/m² Feinschicht ergeben eine Schichtdicke von im Mittel mindestens 0,6 Millimetern. Trägt man zu wenig Gelcoat je Arbeitsgang auf, so härtet er wegen des Styrolverlustes nur mangelhaft durch.

Das Feinschichtharz erfordert bei der Verarbeitung eine **Mindest-Temperatur von 18 °C**.

Von jeder Harzcharge ist beim Anbrechen eines neuen Gebindes zunächst ein **Topfzeit-Test** zu machen.

Feinschichten, die vom Hersteller vorbeschleunigt geliefert werden, haben eine Topfzeit von 10 bis 20 Minuten bei 20 °C und einer Zugabe von 3 % MEKP-Härter. Bitte die Etiketten beachten!

Unbeschleunigte Ware ist ebenfalls auf diese Topfzeit einzustellen (ca. 1 % Kobalt zugeben, Topfzeit kontrollieren).

Feinschichtharz soll gut angehärtet sein und beim weiteren Laminieren mit möglichst wenig Harz in Berührung kommen, da es sonst vom Styrol im Harz angelöst wird (Elefantenhaut).



Feinschicht wird mit Härter versetzt

Diese Gegenstände braucht man für eine erfolgreiche Feinschicht-Verarbeitung. Die Waage, die Uhr und das Thermometer sind dabei unentbehrlich.

Wann man die zweite Feinschicht aufbringen kann, prüft man z. B. nach dem „Quietsch-Test“. Dabei zieht man den trockenen Zeigefinger unter leichtem Druck über die erste Feinschicht. Ist sie noch zu wenig durchgehärtet, so schmirt sie. Ist sie genügend angehärtet, so erzeugt der Finger, bedingt durch die Klebrigkeit der Fläche, ein Quietschgeräusch. Dann kann man weiter darauf laminieren.

Ein anderer Test ist das fünf Sekunden lange Befeuchten der Feinschicht mit einem styrol- oder acetongetränkten Lappen. Ist die befeuchtete Stelle dann klebrig, so ist die Feinschicht noch nicht genügend durchgehärtet. Man muß mit dem nächsten Auftrag noch warten.

Bei richtiger Topfzeit der Feinschicht (ca. 15 Min.) und richtiger Temperatur der Formoberfläche kann der zweite Feinschicht-Auftrag bereits nach einer bis zwei Stunden vorgenommen werden. Wird hinter der zweiten Feinschicht mit einer 300 g/m²-Matte und einem Laminierharz mit 45 Minuten weitergearbeitet, so sind zumindest zwei, maximal drei Stunden Härungszeit für den zweiten Feinschicht-Auftrag einzuhalten. Der Härungszustand ist wie oben beschrieben zu überprüfen, ehe weitergearbeitet wird.

Diese Prüfung ist wichtig, da die einzelnen Feinschichten unterschiedlich schnell härten. Die oben genannten Werte beziehen sich auf Standard-Feinschichten, die innerhalb weniger Stunden nach dem Auftrag von Trennwachs in Angriff genommen werden, damit sich nicht erst wieder Staubteile auf der Form absetzen.

Man füllt je Ansatz eine Menge von einem Kilogramm vorbeschleunigter Feinschicht ab und versetzt sie mit 3 % = 30 g MEKP-Härter. Damit werden dann etwa 2,5 bis 3 Quadratmeter Formoberfläche ausgerüstet. Der Härter wird durch langsames Rühren gleichmäßig im Feinschichtharz verteilt. Ein zu schnelles Rühren kann sehr leicht Luftblasen einbringen, die bei diesem sehr dickflüssigen Harz nicht mehr an die Oberfläche steigen würden.

Beim Rühren ist darauf zu achten, daß man mit dem Holzstab auch scharf an die Dosenwandung gelangt. Zum Anrühren werden grundsätzlich runde Behälter verwendet. Der Einrührvorgang dauert etwa eine Minute.

Danach gießt man zuerst einmal einen Teil des Topfinhaltes wie einen Strich auf die Form und verteilt die Masse mit dem Feinschichtpinsel. Das Verteilen der Feinschicht muß gleichmäßig erfolgen, denn eine zu dünne Stelle (unter 0,3 mm Schichtdicke) härtet nicht ausreichend durch.

Man darf nicht nachträglich mit dem Pinsel noch einmal über die bereits aufgelegte Feinschicht streichen. Dabei könnte man mit den Pinselborsten den Trennfilm stellenweise auf die Seite schieben, so daß an dieser Stelle das Fertigteil mit der Formfläche verklebt. Läufer soll man deshalb lieber belassen. Sie sind später von außen her nicht sichtbar.

Das Aufbringen erfolgt am besten planquadratweise, so daß man mit dem nächsten Ansatz nur etwa zwei bis drei Millimeter über die zuerst aufgebraute Fläche herübergeht.

Die Feinschicht muß absolut luftblasenfrei auf der Formenoberfläche aufgetragen werden. Hohlräume im Feinschichtfilm führen erfahrungsgemäß zu einer mangelhaften Härtung des angrenzenden Harzfilms.

Der zweite Feinschicht-Auftrag wird ein bis drei Stunden später ebenso sorgfältig mit dem Pinsel eingebracht. Auf gleichmäßige Verteilung ist zu achten, so daß im Boot überall eine etwa 0,5 bis 0,7 Millimeter dicke Feinschicht vorhanden ist. Feinschichtfilme von weniger als 0,3 Millimetern weisen eine mangelnde Chemikalienbeständigkeit auf, die über eine Unterhärtung zur Blasenbildung in der Feinschicht führen kann.



Die Feinschicht wird auf die Form aufgetragen.

Der breite Feinschichtpinsel sorgt für eine gute Entlüftung. Der Gelcoat wird in zwei Schichten aufgetragen.

Bei großen einteiligen Formen muß die Feinschicht von einer Stellage aus eingebracht werden. Der Trennmittelfilm darf auf keinen Fall betreten werden. Er würde dabei beschädigt werden, und das Boot klebt an der Form fest.

Hat man so gleichmäßig von vorne bis hinten oder umgekehrt über das ganze Formteil gearbeitet, dann muß die Feinschicht anschließend bei 20 °C ein bis drei Stunden gut anhärtet. Man macht dann den Anquelltest (s. o.), ehe die erste 300 g/m²-Matte auftapeziert wird.

Während die Feinschicht härtet, muß der freiwerdende Styroldampf aus der Form abfließen können. Bei einteiligen, stehenden Formen wird er mit einem explosionsgeschützten Exhauster mit geringer Leistung über einen Schlauch vom Formenboden abgesaugt. Zugluft vermeiden, also auch nicht mit einem Gebläse pusten! Der Styrolverlust wird dann zu groß, und die Feinschicht kann nicht vollständig vernetzen, also härten. Sie besitzt dann nur eine mangelhafte Wasserbeständigkeit.

Werden Feinschichten aufgespritzt, so sollte die Maschinenleistung der Niederdruckmaschine bei etwa einem Kilogramm je Minute liegen. Der Spritzabstand wird möglichst groß gewählt (mehr als einen Meter), um eine niedrige Aufprallgeschwindigkeit der Tropfen auf der Form zu erhalten.

Vom Könner gespritzte Feinschichten haben eine gleichmäßige Filmdicke. Strebt man eine Mindestdicke von 0,5 Millimetern an, so verbraucht man dafür beim Spritzen weniger Material als im Handverfahren.

Auf die Feinschicht wird als erstes eine 300 g/m²-Matte Typ EP-S auftapeziert. Diese erste Mattenlage muß gründlich mit Harz getränkt und entlüftet werden. Lufteinschlüsse in der Grenzschicht füllen sich im Laufe der Zeit mit Wasserdampf, der in diesem Hohlraum wieder zu Wasser kondensiert.

Das Wasser löst – ganz besonders bei schlecht gehärteten Harzen – nicht vernetzte Bestandteile aus den Harz- und Glasflächen und wird damit zu einer chemischen Lösung. Diese Lösung will sich selbst verdünnen und zieht daher immer mehr Wasser an (Osmose). Der Wasserdruck steigt, wölbt die Feinschicht und zerstört sie schließlich. **Es kommt dann ebenfalls zu einer Blasenbildung.**

Mehrfarbige Flächen auf einem Formteil

Die mehrfarbige Gestaltung der Oberfläche eines Formteiles ist ohne größere Schwierigkeiten möglich. Als Beispiel soll das Auftragen einer weißen Feinschicht und einer braungefärbten Feinschicht an einem Bootsrumpf beschrieben werden.

Zuerst wird die Begrenzungslinie der Farbfläche mit Tesafilm abgeklebt (Tesafilm überall gut anreiben). Ein farbiger, breiter Klebstreifen ist hierfür besonders günstig. Danach wird das erste weiße Feinschichtharz aufgetragen. Zum Tesastreifen hin trägt man die Feinschicht so dick auf, daß dort ein zweiter Auftrag unnötig ist. Etwa fünf bis zehn Minuten nach dem Auftragen wird der Tesafilmstreifen abgezogen, und zwar noch vor dem Gelieren der

Feinschicht. Man zieht vorsichtig, senkrecht zur Fläche und erhält dadurch eine scharfe, schnurgerade Trennlinie der Feinschicht. Dann wird die zweite weiße Feinschicht eingebracht, wobei die Zone nahe dem Tesastreifen kein Material mehr erhält, da sie bereits dick genug ist.

Unmittelbar danach kann mit dem ersten Auftrag der braunen Feinschicht begonnen werden. Auch hier wird die Grenzzone zum weißen Gelcoat hin nur einmal und dafür etwas dicker mit brauner Feinschicht ausgerüstet.

Das Zusetzen von Farbpasten

Zum Einfärben von Feinschichten, Schnellversiegelungen, Laminierharzen und LT-Lacken werden Polyester-Farbpasten verwendet. Der Farbpastenzusatz beträgt bei den dunklen Farben bis zu 10 % und bei den hellen Farben bis zu 25 %. In der Regel wird ca. 20 % Farbpastenzusatz angenommen.

Farbpasten können auf die Topfzeit von Feinschicht, Harz und LT-Lack eine verkürzende oder verlängernde Wirkung haben, obwohl die Hersteller bemüht sind, derartige Einflüsse auszuschalten. Bezieht der Verarbeiter z. B. beschleunigte, klare Feinschicht und gibt die Farbpaste selbst hinzu, so muß der Topfzeittest stets am eingefärbten Harz durchgeführt werden. Korrekturen, wie die zusätzliche Beschleunigung mit Kobalt, können dann noch vorgenommen werden. Das gilt besonders für mit 20 % Farbpaste versetzte Feinschichten. LT-Lacke und Laminierharze werden üblicherweise nur mit 3 bis 8 % Farbpaste versehen, so daß eine Topfzeitveränderung kaum spürbar wird.

Für den Bootsbau dürfen nur **styrolhaltige Farbpasten** verwendet werden. Die Farbpasten werden in das noch nicht mit Härter versehene Harz **langsam und gründlich eingerührt**, so daß sich im Harz keine Luftblasen ansammeln.

Auftapezieren von Matte und Gewebe mit Laminierharz

Die tragende Wand besteht aus den Verstärkungen (Matten und Gewebe) und dem Laminierharz. Die im Handverfahren üblichen Verstärkungsstoffe sind in dem Kapitel „Einfluß der Glasverstärkungen“, die im Bootsbau üblichen Harze im Kapitel „Bootsbauharze-Übersicht“ zusammengefaßt.

Die Tabelle gebräuchlicher Laminierharze ist in das System für schwächer und das System für stärker wasserbelastete Lamine aufgeteilt. Der Vollständigkeit halber sind die Feinschichten und Schlußlacke mit einbezogen (siehe S. 24).

Für die Arbeitsbeschreibung wurde ein bereits mit 0,2 % Kobalt vorbeschleunigtes Harz gewählt (AZUR- oder BE-Harz). Für die Harze i 25 B und i 26 B gelten die gleichen Daten. Die Konsistenz dieser Laminierharze ist so eingestellt, daß sich die Glasmatten und Gewebe schnell damit tränken lassen. Der Verarbeiter muß also, um eines dieser Harze zur Aushärtung zu bringen, nur noch 2 oder 3 % MEKP-Härter in das Harz eingeben. Das sind z. B. 30 g = 30 cm³ MEKP-Härter auf 1 kg BE-Harz.

Temperatur und Topfzeit von Laminierharzen

Die folgende Tabelle zeigt das Anwachsen der Topfzeiten bei fallender Temperatur für beschleunigte Laminierharze und dazu in der zweiten Spalte die verkürzten Topfzeiten, wenn vom Verarbeiter noch einmal etwa 0,2 % Kobalt-Beschleuniger zusätzlich eingerührt wurde.

Temperatur in der Form	Topfzeit von BE, i 25 B und i 26 B im Lieferzustand, ca.	Topfzeit mit 0,2 % Kobalt-Beschleuniger zusätzlich, ca.
25 °C	30 min	15 min
20 °C	45 min	20 min
18 °C	60 min	30 min
17 °C	100 min	40 min
16 °C	150 min	60 min
15 °C	200 min	100 min

Topfzeiten von BE-Harz, i 25 B und i 26 B bei verschiedenen Temperaturen und geändertem Kobalt-Anteil

AZUR-Harz kann sowohl durch zusätzlichen Kobalt-Beschleuniger wie auch durch unterschiedliche Härtermengen in der Topfzeit variiert werden. (Siehe nebenstehende Tabelle.) i 25 B und i 26 B sollten nicht unter 15 °C verarbeitet werden, damit bei einer nachträglichen Temperung noch eine gute Durchhärtung erreicht werden kann.

Temperatur in der Form	Härterzugabe	Zusätzlicher Kobalt-Beschleuniger	Topfzeit ca.
25 °C	2 %	–	20 min
20 °C	2 %	–	30 min
20 °C	3 %	–	20 min
15 °C	2 %	0,2 %	30 min
10 °C	2 %	0,5 %	25 min

Topfzeiten von AZUR-Harz bei verschiedenen Temperaturen, verschiedenen Härtermengen und unterschiedlichen Beschleunigergehalten

Bei 20 °C liegen die Topfzeiten von i 25 B, i 26 B und BE-Harz also bei 45 Minuten, während AZUR-Harz mit 2 % MEKP 30 Minuten Topfzeit aufweist.

Die Harze sind in ihrer Viskosität auf den Temperaturbereich von 15 bis 25 °C eingestellt. Sollte es wärmer sein, so kann man das Harz thixotropieren (verdicken), damit es nicht aus Matten und Geweben abläuft (Luftblasenbildung). Zur Thixotropierung wird zweckmäßig leicht einrührbare Thixotropie-Paste statt des Pulvers verwendet. Die Paste enthält 7 % Pulver. 6 Teile Harz + 1 Teil Thixotropie-Paste (7%ig) ergibt eine Zugabe von 1 % Pulver.



Glasmattenstücke werden vorbereitet

Mattenstücke werden von der Rolle stets abgerissen und nicht geschnitten. Die Schnittränder werden durch Auszupfen oder Auskämmen so ausgedünnt, daß Stöße auf dem Formteil kaum erkennbar sind.



Einlegen der Glasmatte

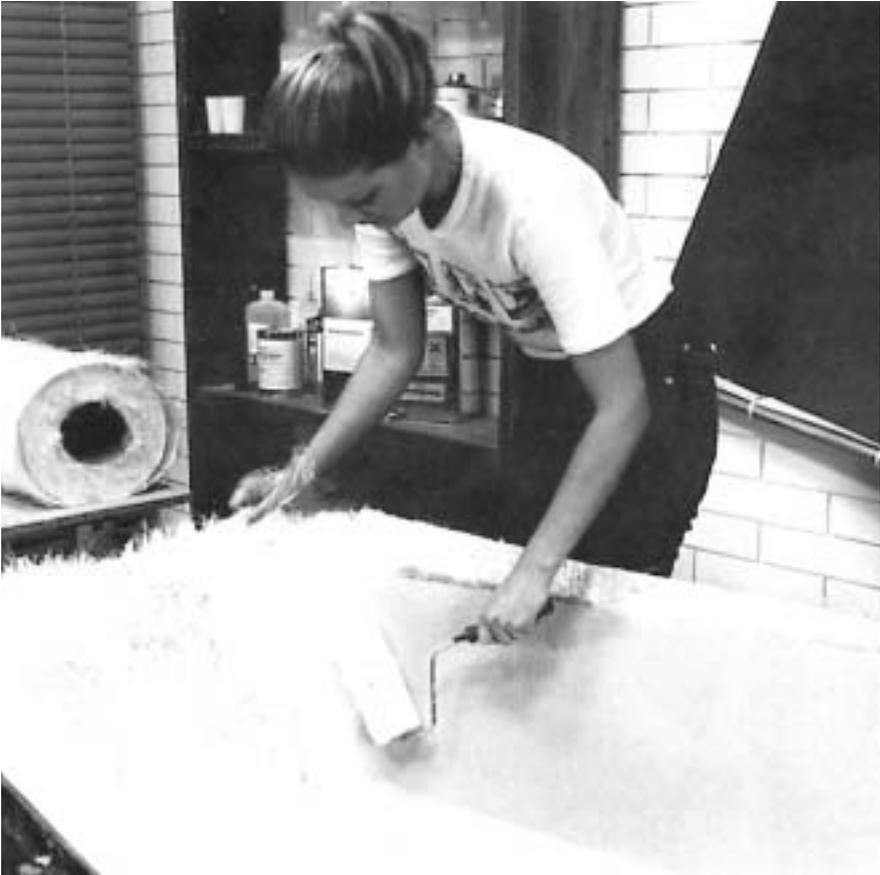
Nachdem der Untergrund satt mit Harz befeuchtet ist, werden die Mattenstücke so in die Form gelegt, daß sie sich an den Stoßstellen etwa drei bis fünf Zentimeter überdecken. Dann tragen die Stöße kaum auf.

Die Polyesterharze werden auf die Glasmatten mit Hilfe einer Lammfellrolle aufgetragen. Bei der Härtung unter Lufteinfluß härten die Harze an der der Luft zugekehrten Oberfläche nicht klebefrei aus. Diese Erscheinung hat den Vorteil, daß sich die Oberfläche einwandfrei mit einem neuen Harzauftrag verbindet, weil die Grenzschicht des ausgehärteten Polyesterharzes wieder angelöst wird und damit eine chemische Reaktion eingeht.

Dieser Klebeefferkt hat den Nachteil, daß die Harzfläche bei Wasserbelastung verseift (Fläche wird weiß) und sehr stark zur Verschmutzung neigt. Eine verseifte Fläche muß mit Styrol gründlich abgewaschen werden, ehe man

darauf weiter laminieren darf. Die durch den Luftkontakt (Luftinhibierung) ausgelöste Klebrigkeit wird behoben durch die Versiegelung mit LT-Lack oder durch Abdecken der Harzfläche mit einer Hostaphan®-Folie.

Bevor das Harz angesetzt wird, werden auf dem Mattentisch genügend Mattenstücke für einen Arbeitsgang zugerissen. Geschnittene Mattenränder werden sorgfältig ausgezupft, so daß am Bauteil keine Kanten und Ränder sichtbar werden. Ausgezupft wird der Rand mit der Hand, mit einer Bürste, einem Metallkamm oder einem Nagelbrett. Die so vorbereiteten Mattenstücke werden fein säuberlich aufeinander gestapelt. Entsprechend werden auch Gewebeklebebahnen vorbereitet.



Tränken der Glasmatte

Mit dem harzfeuchten Fellroller wird die Matte auf die Formfläche gewalzt. Dabei erhält die Matte zugleich Harz vom Untergrund und aus der Fellrolle. Die harzgetränkte Glasmatte sieht dunkler aus als die trockene.



Entlüften des Laminats mit der Scheibenrolle

Die an den Glasfäden angelagerten Luftbläschen werden mit der Scheibenrolle ausgequetscht. Dieser Arbeitsgang ist für die Laminat-Qualität entscheidend.

Beim Tränken der Glasfaserverstärkung mit BE-Harz geht man etappenweise vor. Ein Drei-Mann-Team wählt bei 20 °C Teilflächen von etwa 4 m² (z. B. bei Booten ohne Sicken). Dazu wird folgender Harzansatz gemacht:

5 kg beschleunigtes Harz
+ 150 g MEKP-Härter (= 3 %).

Genau diese Harzmenge wird zum Tränken von 4 m² Standardmatte (450 g/m²) benötigt. Dieses Teilstück ist in einer halben Stunde fertiggestellt.

Den ersten Ansatz wählt man sicherheitshalber nur halb so groß, damit man ein wenig „üben“ kann. Es sei angemerkt, daß sich die Temperaturen im Freien sehr schnell ändern können. Damit wachsen oder verkürzen sich die Topfzeiten. Also nach der Zigarettenpause hin und wieder das Thermometer kontrollieren.

Das Harz wird in Polyäthylen- (Plastik) Eimern angesetzt. An ihrer Oberfläche haftet Polyesterharz nicht, so daß die ausgehärteten Reste später einfach herausgeschlagen werden können. Der 18 cm breite Fellroller kann in diese Gefäße gut eingetaucht werden.

Der Härter wird etwa eine Minute lang mit einem Holzstab in das Harz eingerührt, oder mit der drehzahlgesteuerten Bohrmaschine und einem Mischpropeller langsam etwa 20 Sekunden lang gemischt. Von nun an bleiben 20 oder 40 Minuten Zeit für die Harzverarbeitung (s. o.). Die Fläche, die mit der Glasmatte beschichtet werden soll, wird zunächst mit Harz + Härter von oben her abgerollt. Auf diese Weise wird die Matte sowohl von der Unter- als auch von der Oberseite schnell durchfeuchtet.

Dieser Arbeitsgang kann auch mit einer Faserspritzmaschine durchgeführt werden.

Die im trockenen Zustand weiße Matte wird beim Tränken mit Harz nach kurzer Zeit dunkel und durchsichtig. Nur an harzarmen Stellen bleibt sie hell. Dort muß Harz nachgetragen werden.

Die Scheibenrolle bringt die Qualität

Gibt man das Harz von oben auf die Matte, so schließt man verständlicherweise Luft in die Matte mit ein. Die Fäden der Glasmatte sind mit einem schwachen Bindemittel zusammengehalten, damit man die Matte überhaupt herstellen, wickeln und transportieren kann. Der hierzu verwendete Binder ist so eingestellt, daß er beim Durchtränken von dem im Polyesterharz enthaltenen Styrol vollständig aufgelöst wird, so daß die Glasfäden jetzt nur noch im flüssigen Polyesterharz schwimmen. Das ist etwa nach zwei Minuten Harz-Einwirkzeit der Fall.

Dann werden die Luftblasen durch Rollen mit dem Scheibenroller ausgequetscht. Die Scheibenrolle wird langsam hin und her bewegt.

Speziell die erste Glasmattenlage hinter der Deckschicht muß sehr sorgfältig entlüftet werden. Schlecht entlüftete Lamine haben besonders bei wasserbelasteten Teilen einen negativen Einfluß auf die Lebenserwartung. Über die wasserdampfdurchlässige Feinschicht können sie sich mit Wasser füllen, Blasen bilden und zu einem langsamen Abfall der Festigkeit führen.

Angrenzende Matten- und Gewebestücke werden am Stoß etwa drei bis fünf Zentimeter überlappt. Die ausgedünnten Ränder der Matten ergeben dabei kaum eine Verdickung.

Hinweise zur Arbeit mit Glas und Harz

Falten und Stöße

Sie können bei Matten nach der Auflösung des Binders (ca. 2 Minuten) durch Verschieben der Glasfäden glattgewalzt werden. Ist die Falte sehr groß und hartnäckig, so wird sie aufgerissen, anschließend werden die beiden Ränder übereinandergelegt und ausgewalzt. Gewebe müssen stets faltenfrei verlegt werden. Es ist auch darauf zu achten, daß die Fäden keine Schlangenlinien bilden. Geradlinig verlegte Fäden werden ihrer Aufgabe als Zugelement besser gerecht.



Einlegen eines Glasgewebes

Man drückt das Gewebe mit dem Fellroller faltenfrei auf den Untergrund. Die Fäden sollen dabei möglichst gerade und nicht in Schlangenlinien verlaufen.

Bei geschickter Verlegung wächst so die Schichtdicke auch bei den Überlappungen kaum an. Sind trotzdem störende Unebenheiten vorhanden, lassen sie sich nachträglich durch Schleifen und Spachteln beseitigen. Stöße sollen untereinander etwa zehn Zentimeter Abstand haben.

Unterbrechen der Laminierarbeiten

Polyesterharz härtet an der Fläche, die der Luft zugekehrt ist, nicht vollkommen aus. Diese Eigenschaft bringt den Vorteil, daß sich selbst nach mehreren Tagen Pause die nächste Schicht Polyesterharz durch chemische Vernetzung mit der alten Schicht verbindet. Wird die Arbeit innerhalb der verstärkten Schichten unterbrochen, so soll stets am nächsten Tag mit einer Glasmatte begonnen werden (kein Gewebe).

Man achte vor Unterbrechungen unbedingt darauf, daß alle auftapezierten Glasstücke vollständig getränkt und entlüftet sind. Halbgetränktes Glasmaterial „steht auf“ und muß abgeschliffen werden.

Untersuchungen haben ergeben, daß mit einer Arbeitsunterbrechung von 18 Stunden zwischen Feinschicht und erster Glaslage eine deutliche Verschlechterung der Wasserfestigkeit verbunden war.

Es wird empfohlen, die beiden Feinschichtaufträge und mindestens die erste Glaslage an einem Arbeitstag einzubringen. Auch die Farbversiegelung und der LT-Lack sollen als äußere Deckschicht innerhalb eines Tages aufgetragen werden (Zeitabstand: maximal drei Stunden).

Dafür sprechen außerdem auch Erfahrungen, die in schwach gewölbten Formen mit sehr guten Trennmitteln gemacht wurden. Am nächsten Morgen hatten sich die Feinschichten durch den Schrumpf von der Form gelöst. Sie mußten entfernt und zum zweiten Mal eingebracht werden.

„Naß-in-naß“ auftapezieren

Diese Arbeitsweise erspart Harz und erhöht damit den Glasgehalt. Dabei wird Lage 2 auf die frischgetränkte, d. h. noch „nasse“ Lage 1 auftapeziert. Daher die Bezeichnung.

An der Senkrechten ist das flüssige Harz nicht fähig, mehr als eine Glaslage auf dem Untergrund festzuhalten. Tapeziert man (naß-in-naß) zwei oder mehr Lagen auf, gerät die Haut ins Rutschen oder fällt ab. Auf senkrechten und auf Überkopfflächen muß daher jede Lage für sich anhäften, ehe man die nächste Schicht auflegt.

Beseitigung von Unebenheiten und Luftblasen

Ist die letzte Glaslage vollständig ausgehärtet, so wird mit einem Schleifklotz und grobkörnigem Papier die Fläche einmal übergeschliffen. Dabei brechen aufrechtstehende Glasharze ab.

Unebenheiten in der Oberfläche werden mechanisch mit grobem Schleifpapier (Körnung 60) oder mit dem Stemmeisen entfernt. Findet man solche Fehlstellen schon nach der ersten oder zweiten Glaslage, so werden sie gleich entfernt. Sie würden mit der nächsten Lage nur größer.

Luftblasen bis zu 0,5 mm ϕ schleichen sich beim Handauflegeverfahren leicht ein, sind jedoch keine Gefahr, solange sie vereinzelt auftauchen. Häufungen feiner Luftblasen verursachen dagegen eine mangelhaft durchgehärtete Zone mit verminderter Chemikalienbeständigkeit. Das muß durch sorgfältiges Entlüften mit der Scheibenrolle vermieden werden. Größere Luftblasen werden aufgestochen und mit Harz + Härter oder Spachtelmasse verfüllt.

Wann und womit die Ränder besäumen?

Diese Arbeit wird z. B. am Formenrand notwendig. Die Wahl des geeigneten Werkzeuges hängt allein davon ab, wann dieser Arbeitsgang durchgeführt wird. Bei einer Topfzeit von 40 Minuten kann etwa 20 Minuten nach dem Gelieren der Glasharzrand einfach mit einem Messer besäumt werden. Das



Besäumen des Laminats

In der lederartigen Phase, die das Laminat etwa ein halbe bis eine Stunde nach Ablauf der Topfzeit hat, kann ein scharfes Küchenmesser zum Besäumen verwendet werden. Ist die Glas-Harz-Wand weiter durchgehärtet, werden Stechbeitel oder Stichsäge eingesetzt.

Laminat hat dann noch lederartigen Charakter. Schneidet man früher, so löst sich die Matte noch aus dem Harz, die Stelle wird weiß. Man muß noch warten.

Aus dieser Zeitabhängigkeit geht hervor, daß jede Lage für sich besäumt werden muß, da ja die Harzansätze zu verschiedenen Zeiten mit Härter versetzt wurden. Ist die lederartige Phase überschritten, müssen Holzwerkzeuge (werden schnell stumpf) oder Hartmetallwerkzeuge (Widia, diamantbesetzte Trennscheiben) verwendet werden.

Deckschichten aus Farbversiegelung und LT-Lack

Solche Deckschichten erhalten über einen Kern gefertigte Sandwich- und C-Flex-Boote außen und innen und in einer Negativform gebaute Boote nur innen.

Um die Deckkraft zu erhöhen und die LT-Lack-Qualität möglichst wenig zu beeinträchtigen, sollte eine sog. **Farbversiegelung** als erster Farbauftrag aufgebracht werden. Als Werkzeug dient dabei der Fellroller.

Die Farbversiegelung besteht aus:

Schnellversiegelung N 35 BT, N 36 BT oder den Laminierharzen AZUR bzw. BE mit 0,3 % Kobaltbeschleuniger zusätzlich

+ 20 % Farbpaste

+ 3 % MEKP-Härter zur Aushärtung (= 20 Min. Topfzeit bei AZUR).

Unbeschleunigten Harzen wird 0,5 % Kobaltbeschleuniger hinzugefügt. Für wasserbelastete Lamine wird die Polyester-Schnellversiegelung N 35 BT oder N 36 BT gewählt.

Wird die Schnellversiegelung mit 20 % Farbpaste angesetzt, so reichen 5 % Farbpaste für den Schlußlack aus.

Erst der **Schlußanstrich** mit lufttrocknendem LT-Lack macht die Farbversiegelung oder das Laminierharz an der Luftseite klebfrei. Für die Rückseite witterungsbelasteter Teile wird Standard-Schlußlack LT 30 B der VOSS-CHEMIE eingesetzt. Bei wasserbelasteten Laminaten und bei Auftragstemperaturen von weniger als 18 °C werden LT 35 B oder LT 36 B mit Zusatzbeschleuniger eingesetzt.

LT-Lack enthält üblicherweise Paraffin, das aus dem noch flüssigen Lack ausschwimmt und ihn gegen Styrolverlust schützt. Wird dieser Vorgang gestört, so entsteht eine mangelhaft vernetzte Schicht mit bekannten Nachteilen.

Im Folgenden wird der Arbeitsablauf und die Ansatzrezeptur für LT 35 B bzw. LT 36 B (Basis Neopentylglykol) beschrieben. Wird diese Temperatur auf der Bauteiloberfläche nicht erreicht, so muß zusätzlich beschleunigt werden. LT 35 B bzw. LT 36 B ist im Anlieferungszustand farblos und wird als Deckschicht mit 5 bis 10 % Polyester-Farbpaste eingefärbt (das sind 50 g bis 100 g Farbpaste auf 1 kg LT-Lack).



Aufrollen des lufttrocknenden LT-Lacks auf der Bootsinnenseite

Auf der Bootsinnenseite wird der LT-Lack mit der Fellrolle aufgetragen. Bildet der LT-Lack zusammen mit der Farbversiegelung die äußere Deckschicht, so kann man ihn zwar auch mit der Fellrolle auftragen, muß ihn aber sofort zusätzlich mit dem Feinschichtpinsel „durchziehen“.

Der LT-Lack ist so dünnflüssig, daß ein gleichmäßiges Unterrühren von Farbpasten leicht möglich ist.

Achtung: Die Farbzugabe zum gesamten LT-Lack wird in einem Arbeitsgang vorgenommen, damit ein gleichmäßiger Farbton erreicht wird. MEKP-Härter (und Zusatzbeschleuniger) werden wiederum partieweise (der jeweils innerhalb der Topfzeit verarbeitbaren Menge) zugesetzt.

Bei einer Zugabe von 3 % MEKP-Härter beträgt die Topfzeit des LT-Lacks ca. 15 Minuten, so daß jeweils nur die Lackmenge mit Härter versehen werden soll, die mit Sicherheit in diesem Zeitraum verarbeitet wird. Die Topfzeitangabe bezieht sich auf eine Temperatur von 20 °C.

Ist die Formoberfläche kälter, so kann die einwandfreie Aushärtung von LT 35 B und LT 36 B durch den Zusatzbeschleuniger DAA (Diäthylanilin) erreicht werden.

Es gelten folgende Rezepturen:

Temperatur am Bauteil	Lack	Farbpasten-zugabe	Zusatz-Beschleuniger	Härter
18–25 °C	LT 35 B	5–10 %	0 % DAA	3 % MEKP
15 °C	LT 35 B	5–10 %	1 % DAA	3 % MEKP
10 °C	LT 35 B	5–10 %	3 % DAA	3 % MEKP

Rezepturen für Schlußlack LT 35 und LT 36 B als Deckschicht

Wird aus Farbversiegelung und LT-Lack eine äußere Deckschicht hergestellt, so sollen beide Harze in einem Zeitraum von zwei bis drei Stunden aufgetragen werden.

Die Rezepturen in Abhängigkeit von der Temperatur müssen streng eingehalten werden, da sonst die zur klebfreien Aushärtung benötigte kurze Topfzeit überschritten würde. Andererseits darf die Oberfläche beim LT-Lackauftrag nicht wärmer als 25 °C und bei Außenarbeiten auch nicht direkt von der prallen Sonne beschienen sein. Sonst tritt nämlich das Paraffin nicht aus. Der LT-Lack wird dann nicht klebfrei. Der Verbrauch von LT-Lack beträgt ca. 250 g/m².

Als Auftragswerkzeug für die Schlußlacke wird meistens ein Fellroller benutzt. **Eine gänzlich entlüftete Oberfläche erzielt man aber erst durch anschließendes Ausstreichen mit einem Feinschichtpinsel quer zur Auftragsrichtung der Rolle (Kreuzstrich).** Ein Mann trägt mit der Rolle den Lack vor und der zweite Mann streicht unmittelbar hinterher mit dem Pinsel quer zur Auftragsrichtung aus. Das ist besonders bei wasserbelasteten Deckschichten notwendig.

Eine nachträgliche Ausbesserung des noch flüssigen Lacks (z. B. Beseitigung von Läufern) führt mit Sicherheit zu einem Oberflächenfehler. Der Lack kann nämlich den für die sachgemäße Aushärtung notwendigen Paraffinfilm an seiner Oberfläche nicht bilden. Dieser Film wird durch jede Nacharbeit zerstört. Die reparierte Stelle wird später von Flüssigkeiten angegriffen. Der LT-Lack muß acht Tage durchgehärtet sein, bevor er chemisch belastbar wird.

Schlußlack-Ansatz für ca. 6 m² Oberfläche

1,5 kg =	1500 g LT 35 B oder LT 36 B
+ 10 % = 1500 : 100 · 10 =	150 g Farbpaste
<hr/>	
zusammen	1650 g LT 35 B, farbig
+ 3 % = 1650 : 100 · 3 =	ca. 50 g MEKP-Härter
<hr/>	
ergibt	ca. 1700 g Fertigmateriale

Muß wegen der niedrigen Temperatur mit dem Zusatzbeschleuniger DAA gearbeitet werden, sieht das Rezept folgendermaßen aus.

Beispiel für 10 °C auf der Formwand, also LT 35 B mit 3 % Zusatzbeschleuniger DAA:

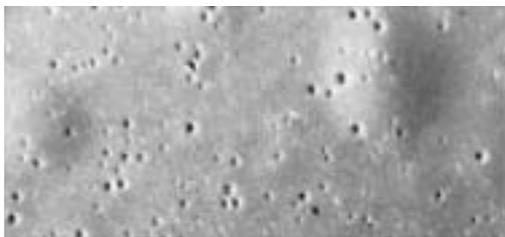
1,5 kg =	1500 g LT 35 B
+ 10 % = 1500 : 100 · 10 =	150 g Farbpaste
<hr/>	
zusammen	1650 g LT 35 B, farbig
+ 3 % = 1650 : 100 · 3 =	ca. 50 g Zusatzbeschleuniger DAA
<hr/>	
zusammen	ca. 1700 g LT-Lack, farbig, mit DAA
+ 3 % = 1700 : 100 · 3 =	ca. 50 g MEKP-Härter
<hr/>	
ergibt	ca. 1750 g Fertigmateriale

Häufige Fehler beim Auftragen von LT-Lack

Zu niedrige Temperatur des Untergrundes läßt LT-Lack nicht einwandfrei härten. Beim LT-Lack-Auftrag muß die Untergrund-Temperatur bekannt sein. Das „Temperaturfühlen“ mit der Hand täuscht häufig sehr.

Mit Tesa fest auf den Laminieruntergrund aufgeklebte Thermostreifen mit Zahlenanzeige, vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt, sind gute Anzeigeeinstrumente.

Der LT-Lack darf nicht mehr als zwanzig Minuten Topfzeit auf der Bauteilfläche haben, sonst verliert er zuviel Styrol und „klebt“. Das Formteil darf auch nicht wärmer als maximal 25 °C sein, damit sich der Paraffinilm bilden kann. Er erzeugt eine matte Oberfläche. Blanker LT-Lack ist nicht ordnungsgemäß durchgehärtet!



Schlecht entlüfteter LT-Lack

Die zehnfache Vergrößerung zeigt die Luftblasenkrater an der Oberfläche der Deckschicht. Die Luftblasen im schlecht entlüfteten Lackfilm führten in kurzer Zeit zur Blasenbildung.

Entformen – ein spannender Augenblick

Bis zur Entformung sollen mindestens acht Stunden seit den Laminierarbeiten vergangen sein. Boote bis zu fünf Metern Länge lassen sich bei sorgfältig aufgebrachtem Trennmittelfilm meist von Hand entformen. Bei der Entformung ist grundsätzlich zu beachten, daß jegliche Gewaltanwendung unterbleiben muß, denn sowohl die Negativform als auch der Kunststoffkörper können leicht beschädigt werden.



Entformung

Mit einem Polyäthylen-Spachtel oder einem Weichholzkeil wird die Bootswand von der Form vorsichtig ringsum gelöst.

Nach der Aufschichtung, z. B. eines Bootsrumpfes in voller Wanddicke empfiehlt es sich, etwa 20 bis 30 Zentimeter unterhalb der Rumpfoberkante Bug- und Heck-Holzklötze einzusetzen. Diese Klötze werden mit zwei bis drei Lagen Standardmatte übertapeziert, so daß sie fest mit dem Rumpf verbunden sind, zur Aufnahme von Schlüssel- oder Holzschrauben. Daran wird der Bootsrumpf aufgehängt, so daß die Form etwa fünf Zentimeter über dem Fußboden hängt. Dann beginnt man, die noch am Rumpf haftende Negativform vorsichtig zu lösen.

Bei der Entformung eines Bootes aus einer Polyester-Negativform treten bei der ausgezeichneten Formoberfläche und mit einem guten Trennmittel in der Regel kaum Schwierigkeiten auf. Normalerweise werden zunächst die Seitenwände des Bootes von der Form abgedrückt. Löst sich dabei das Boot nicht vollständig von der Form, so kann zwischen Bootswand und Formwand Wasser eingefüllt werden. Das Boot wird auf diese Weise zum Schwimmen in der Form gezwungen.

Bei einer gewerblichen Polyester-Negativform sind meistens an zwei bis drei Stellen Wasseranschlußstutzen installiert. Durch diese Stutzen drückt man Leitungswasser zwischen die Wandungen der Negativform und der des aufgetapezierten Bootes.

Diese Auftriebskraft wirkt gleichmäßig am gesamten Bootskörper und richtet am Fertigteil keinen Schaden an. Lediglich sehr flache Formteilmantel (Boden eines Bootes ohne aufgesetzte Verstärkungen) können dabei stärker verformt werden. Verwendet man Druckluft anstelle des Wassers, so vermeidet man diesen Nachteil und behält eine trockene Form.

Beim Ablösen der Bootswand von der Form wird als Werkzeug am besten ein Polyäthylenspachtel oder ein Weichholzkeil benutzt. Der flache Spachtel wird etwa zur Hälfte zwischen Boot und Form eingeschoben und dann wie ein rollendes Rad den gesamten umlaufenden Rand entlang geführt. Durchziehen des Spachtels entlang der Formoberfläche verursacht Beschädigungen an der Form und am Boot.

Das Lösen des Formteiles macht sich akustisch durch ein Knistern bemerkbar. Durch leichtes Klopfen mit der geballten Faust oder einem Gummihammer auf die Innenseite der Bootsschale kann der Ablösevorgang beschleunigt werden. Starke Schläge und ein Eisenhammer beschädigen Fertigteil und Form mit Sicherheit.

Beim Bootsbau in einer Plattenform werden die Bootsrümpfe in der Regel mit einem horizontalen Klebeflansch versehen. An diesem Klebeflansch kann eine Schraubzwinde angesetzt werden, mit der durch eine Abkantbewegung das Boot aus der Form gelöst wird. Beim Abkanten der Schraubzwinde dient entweder das vordere Stevenholz oder ein Spant der Negativform als Auflage.

Rentabler Einzelbau mit C-Flex-Bepankung

Mit C-Flex kann man eine einzelne oder auch zwei rundspantige Bootsschalen in GFK erheblich billiger bauen, als das in der konventionellen Herstellung mit Kern, Form und Fertigteil möglich ist. Außerdem hat man einen Zeitvorteil.

Eine Serie von drei Booten in C-Flex ist etwa genau so teuer wie mit Kern und Form. Man benötigt dafür auch etwa die gleiche Zeit. Die Baukosten für einen 9,25 m langen Motorkreuzer-Prototyp können durch C-Flex von DM 971,-/m² auf DM 517,-/m² gesenkt werden.

Dem gewerblichen Bootsbau wird mit C-Flex die Möglichkeit eröffnet, einen preiswerten Prototyp mit Voll-GFK-Wandung herzustellen.

Der Prototyp kann nach den Probefahrten und den Aufnahmen für die Prospekte mit verhältnismäßig geringem Aufwand in einen Kern verwandelt



13-Meter-Segelyacht von Carter in C-Flex

Dieser von Carter gezeichnete Einzelbau wurde vom Konstrukteur für die Herstellung mit C-Flex vorgesehen. Der außen voll auflamierte Rumpf wird hier gedreht (Werkfoto: Germania Yachtbau).



C-Flex

Die 76 Meter lange C-Flex-Bahn ist 30,5 Zentimeter breit. In diese Bahn sind 25 bereits harzgetränkte und ausgehärtete Rovingstäbe von 2 x 3 Millimetern Querschnitt wie Korsett-Stangen mit eingearbeitet. Sie sind im Bild auf der Innenseite des Bootes sichtbar.

werden. Davon wird dann die Negativform für die Produktion abgenommen. Trotz der Umrüstkosten zu einem Kern wird diese Entwicklung wesentlich billiger als der Bau eines zweiten Kerns und das Abziehen einer zweiten Form. Ein konstruktiver Ausrutscher wird auf diese Weise nicht mehr zur Katastrophe. Immerhin spricht man bei der gewerblichen Herstellung eines Formenpaares für eine zehn Meter lange Segelyacht über etwa DM 150.000,—.

Was ist C-Flex und wie wird es eingesetzt?

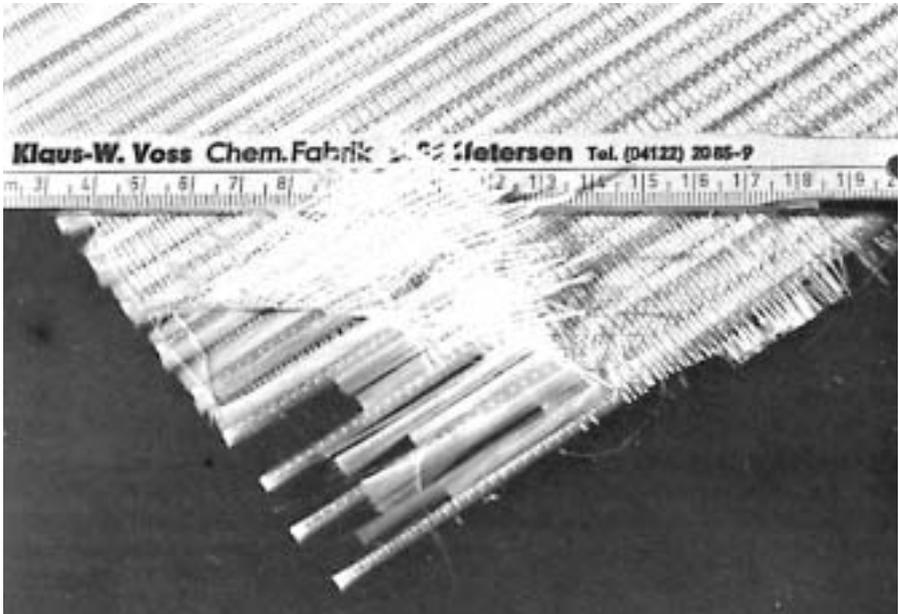
C-Flex ist ein 30,5 Zentimeter breites Spezialgewebe, in das 25 bereits mit Polyesterharz getränkte und ausgehärtete Rovingstränge als (Korsett-)Stäbe von 3×2 Millimetern Querschnitt mit eingewebt sind. Zwischen den Stäben liegen 96 „trockene“ Rovingstränge. Alle werden von einem offenmaschigen leichten Bindegewebe gehalten.

Wird die C-Flex-Bahn mit Harz getränkt, so wiegt sie 2.100 g/m^2 (= 700 g/m Länge), „trocken“ im Anlieferungszustand wiegt sie 1.520 g/m^2 (463 g/m Länge).

Da alle Rovingstränge in einer Richtung liegen, ist C-Flex ein Unidirektionalgewebe mit etwa 580 kp/cm Breite als Reißlast. Die Querfestigkeit beträgt nur etwa 30 kp/cm Länge.

Zur Formgebung wird ein preisgünstiger, offener Mallenkern benutzt, den man mit C-Flex-Bahnen beplankt. Ist diese erste Schicht angehärtet, so wird sie mit Matten und Geweben bis zum Oberflächen-Finish hin vervollständigt. Dann wird der Bootskörper gedreht und auf der Innenseite noch mit mindestens einer Mattenlage abgedeckt.

Rumpf und Deck können dabei nahtlos aneinander laminiert oder auch getrennt gefertigt werden.



Aufbau von C-Flex

Links unten im Bild sind drei getränkte Rovingstäbe freigelegt, dazwischen liegen trockene Rovings.

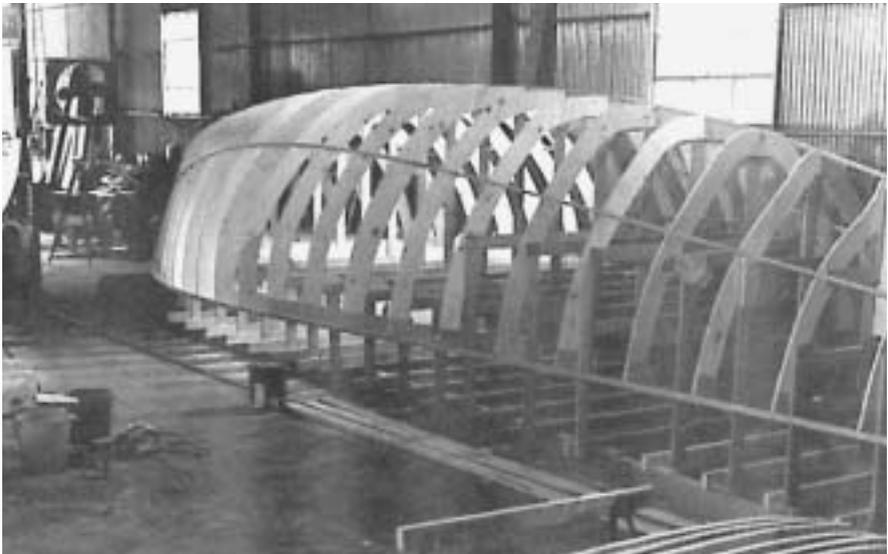
Herstellen eines Bootskörpers mit C-Flex

Aufbau des Leistenkerns

Zunächst wird eine offene Kernform aus Mallen und Längsleisten als Stützgerüst für das C-Flex hergestellt. Dazu wird wieder eine Helling benutzt, so wie für den vollflächigen Kern beschrieben (Kapitel „Bau eines Leistenkerns“).

Mallen und Längsleisten müssen so gesetzt oder das C-Flex so verlegt werden, daß die C-Flex-Bahn alle 45 Zentimeter an beiden Rändern befestigt werden kann. Bei größeren Mallabständen biegt sich die C-Flex-Bahn durch. Verlegt man die Bahnen etwa parallel zu den Wasserlinien, wird man also alle 45 Zentimeter ein Mall aufstellen. Hierfür sind 2,1 Mallen je Meter Bootslänge notwendig. Will man den Mallenabstand vergrößern, so wird man Längsleisten in die Mallen einlassen müssen. Dann werden C-Flex- oder Sperrholz-Streifen von etwa fünf Zentimetern Breite in Spanrichtung in 45 Zentimeter Abstand als formgebende Streifen aufgelegt. Sie erfüllen – gestützt von den Längsleisten – die Mallenfunktion, wie im Foto auf S. 142 gezeigt.

Über den Holzkern oder über die Querstreifen wird eine Polyäthylen-(Bau-)Folie als Trennschicht gelegt und festgeklammert. Man bekommt dann mit Sicherheit die Mallen unbeschädigt und wiederverwendbar heraus.



Mallenkern ohne Längsleisten

Die Mallen sind in 45 Zentimeter Abstand aufgestellt. Sie bestehen aus billigem Material. Der Decksaufbau ist in die Mallen mit einbezogen.

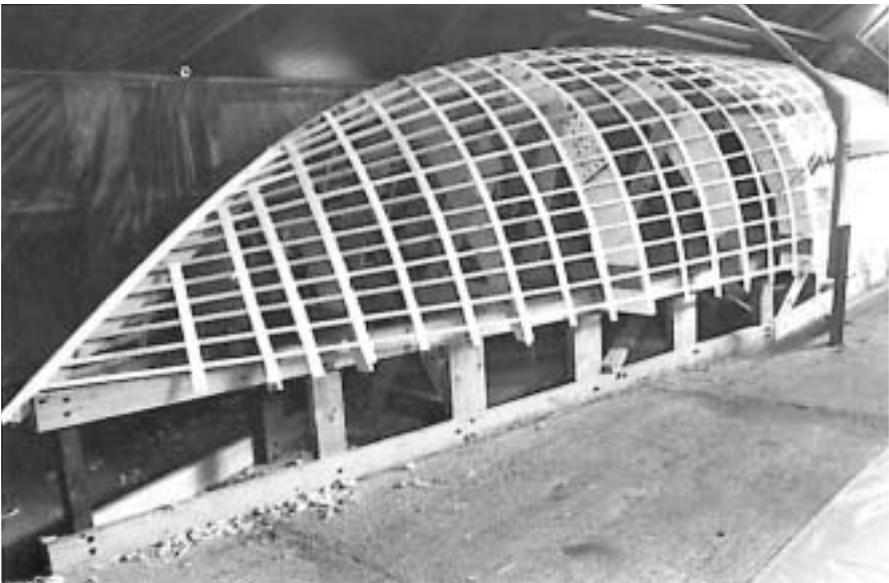
Wie soll C-Flex verlegt und bearbeitet werden?

Bei Rundspantern wird die erste C-Flex-Bahn gern an der Deckslinie, seltener am Kiel befestigt. Bei Knickspantern beginnt man lieber in der Kimmlinie, um dort keine Schwierigkeiten zu bekommen. Es sind auch diagonale Verlegungen praktiziert worden. Grundregel sollte sein:

Die erste C-Flex-Bahn wird entlang der stärksten Krümmung verlegt.

Gerät man beim Verlegen in Schwierigkeiten, so kann man die bereits aufgelegten C-Flex-Bahnen tränken und härten lassen und die anderen Bahnen in einer neuen Richtung verlegen. Die neuen Bahnen stoßen stumpf an das bereits verlegte C-Flex.

Bei starken Krümmungen kann es notwendig werden, eine C-Flex-Bahn auf das Gerüst herunterzuziehen. Man befestigt dazu an den Bahnenenden Nylonbündel von 3 mm ϕ , die an einem Mall oder an einem anderen festen Gegenstand befestigt werden. Setzt man das Bündel etwas unter Spannung, so wird die C-Flex-Bahn auf die Form gedrückt. Ist die Spannung zu groß, so bilden sich die Mallen im C-Flex ab. Das Boot strakt nicht.



Mallenkern mit Längsleisten

Der Mallenabstand ist hier größer gehalten (etwa 1,20 m), dafür sind bei diesem Kern für ein 13-Meter-Schiff Längsleisten aufgeplankt. Da die C-Flex-Bahn möglichst eine linienförmige Auflage in Querschiff-Richtung erhalten soll, sind als Mallen in den geforderten 45 Zentimetern Abstand Streifen aufgenagelt. Sie werden mit Folie abgedeckt, ehe C-Flex aufgeplankt wird und das Harz den Kern beschmutzen könnte.



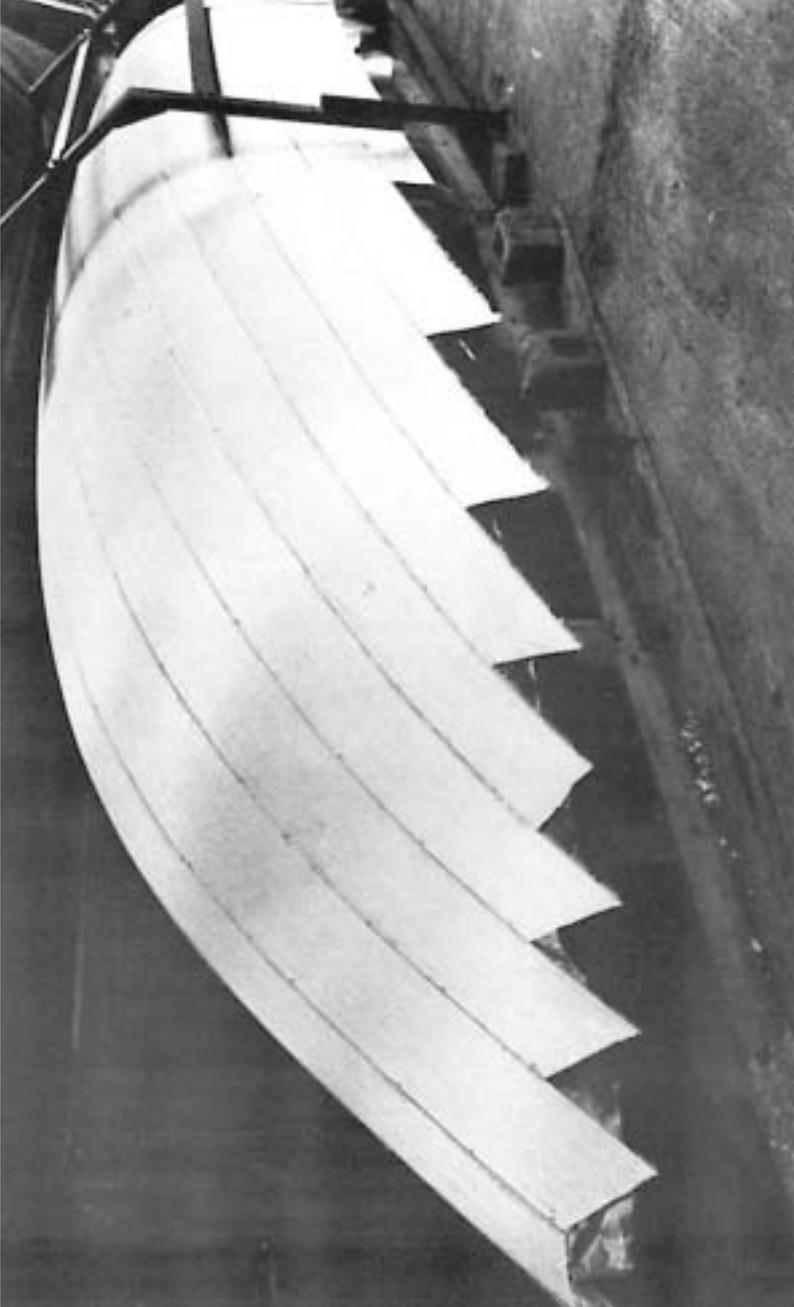
C-Flex-Wand

Durchleuchtet man ein Laminat, das auf C-Flex aufgebracht wurde, so zeichnen sich die Rovingstäbe auch bei neun Millimeter Laminatdicke vor einer 1000-Watt-Kinoleuchte deutlich ab. Die dunklen Stellen stammen von der Spachtelmasse zum Egalisieren der Außenseite her. Die Spachtelung wurde von zwei Lagen 300 g/m²-Matte Typ EP-S abgedeckt.

Die C-Flex-Bahn wird vom Hauptspant aus nach vorn und dann nach achtern hin befestigt. In Spanrichtung wird nur glatt verlegt, nicht vorgespannt. Die Kanten benachbarter C-Flex-Bahnen klaffen trotzdem etwas auf und werden deshalb mit einem Nylon- oder Glasfaden an je zwei Stellen zwischen den Mallen zusammengebunden. Die C-Flex-Bahnen können mit Heftklammern aus VA-Stahl von 12 bis 25 Millimetern oder mit Eispickeln auf dem Leistenkern befestigt werden.

Die trockene C-Flex-Bahn kann mit einem Trennschneider oder per Hand mit einer Bleischere geschnitten werden. Der Staub, den der Trennschneider aufwirbelt, sollte man nicht einatmen, da er durch die ausgehärteten Rovingstränge Glasstaub enthält (Staubmaske aufsetzen).

Voll imprägniertes C-Flex kann ebenfalls mit der Trennscheibe geschnitten werden. Das kommt jedoch kaum vor, da die trockene Bahn auf dem Kern besäumt wird.



Mallen mit C-Flex-Bahn

Bei dieser Beplankung wurde die erste C-Flex-Bahn auf den Kiel gelegt.

Hinweise zum Laminataufbau eines C-Flex-Bootes

Die Kontaktlage zum C-Flex hin wird immer eine 450 g/m²-Glasmatte sein. Darauf folgen weitere Matten oder ein Gewebe, eventuell auch ein Unidirektional-Gewebe, in Spanrichtung verlegt als Ausgleich zum rein längsorientierten C-Flex. Der Aufbau aus Matten und Geweben wird bis zur gewünschten oder vorgeschriebenen Wanddicke hin fortgesetzt. Gegebenenfalls wird dieser Aufbau nach dem Drehen der Schalen symmetrisch zur Bootsinnenseite hin fortgesetzt. Man hält sich an die Vorgaben des Konstrukteurs oder an die Richtlinien einer Klassifikationsgesellschaft.

Matten und Gewebe werden an den Rändern ausgefranst und um 10 bis 30 Millimeter überlappt. Stöße werden jeweils um 10 Zentimeter versetzt. Verstärkungen werden mit dem Fellroller getränkt und mit dem Scheibenroller entlüftet. Sehr gute Dienste beim Glätten der Verstärkungsflächen und gleichzeitig zum Beseitigen von überschüssigem Harz leistet ein Abstreifer aus Hartgummi oder Polyäthylen von etwa 30 × 10 Zentimeter Größe. Damit wird ein hoher Glasanteil in der Glasharz-Schicht erzeugt.

Auf der Innenseite des Bootes wird C-Flex mindestens mit einer Lage 450 g/m²-Matte und einer Deckschicht aus LT-Lack + 20 % Farbpaste abgedeckt.

C-Flex ist in Deutschland bisher kaum verwendet worden. Prüfungen an Laminaten mit C-Flex liegen dem GL noch nicht vor. Solange keine Meßwerte vorhanden sind, klassifiziert der GL – bei gleichzeitiger Einhaltung aller übrigen Vorschriften – nur Boote, bei denen die Lamine symmetrisch aufgebaut sind, wobei C-Flex in der neutralen Faser, also in der Laminatmitte liegen muß. Außerdem darf bei der Aufstellung des Laminates C-Flex festigkeitsmäßig nicht berücksichtigt werden.

Finish auf der Bootsaußenseite

Die durch die vorimprägnierten Rovingstäbe zunächst etwas wellige Oberfläche verliert sich nach etwa drei bis vier aufgelegten Glaslagen gänzlich.

Die noch verbliebenen Unebenheiten stammen meistens aus Strakfehlern oder rühren aus einer Gewebefindung her. Strakfehler kann man sozusagen millimeterweise mit Mattenstücken bzw. mit Polyesterspachtel Ferro-elastic, weiß (FEW) auffüllen oder überstehende Wandteile abschleifen.

Dieses Nachstraken wird vor dem Aufbringen der letzten beiden Mattenlagen – meistens eine Lage 450 g/m² Typ EPS und eine Lage 300 g/m² Typ EPS – vorgenommen.

Auf diese Weise kommt keine Spachtelmasse an die Bootsaußenseite. Sie wird vielmehr von den beiden Mattenlagen abgeschirmt, die ihrerseits durch die Deckschicht geschützt werden.

Nachstehend noch einmal die Arbeitsgänge in Kurzform:

1. C-Flex + UP-Harz + Härter.
2. 1 Lage 450 g/m²-Matte + UP-Harz + Härter.
3. Kombination aus Matten und Geweben oder Komplexen + UP-Harz je nach Bootsart und -größe.
4. Nachstraken mit Spachtelmasse und Mattestücken + UP-Harz, Grob-schleifen mit Bandschleifer oder Schwingschleifer.
5. Auftapezieren von einer Lage 450 g/m² Typ EPS nicht spinngeteilt und einer Lage 300 g/m² spinngeteilt, Typ EPS, also mit sehr feiner Faserstruktur.
6. Mattenfläche dünn mit Polyesterspachtel abziehen, um eine nicht klebende Oberfläche zu erhalten. Schleifen mit Band- oder Schwingschleifer, bis die Fläche frei von Spachtelmasse ist, zuletzt mit Körnung 120 (Staubmaske aufsetzen). Deckschicht aufbringen, bestehend aus der Schnellversiegelung N 35 BT + 20 % Farbpaste + 3 % MEKP-Härter und dem eingefärbten Schlußlack LT 35 B + 5 % Farbpaste + 3 % MEKP-Härter.

Im Unterwasserschiff kann die Farbpaste weggelassen werden. Hier wird auf die vollflächig angeschliffene Fläche (Körnung 180) ein Haftvermittler (Primer) und eine Antifouling aufgetragen.

Da der LT-Lack mit matter Fläche aushärtet, müssen Eigner, die eine hochglänzende Oberfläche wünschen, auch das Überwasserschiff vollflächig anschleifen und GFK-Primer und z. B. den Polyurethan-Lack DEDEVOSS® (zweimal) auftragen.

Bitte fordern Sie die Arbeitsanleitung „C-Flex“ CF 65-Fiberglas-Bepankung“ an.

Stringer, Spanten und Schotten zum Aussteifen von Bootskörpern

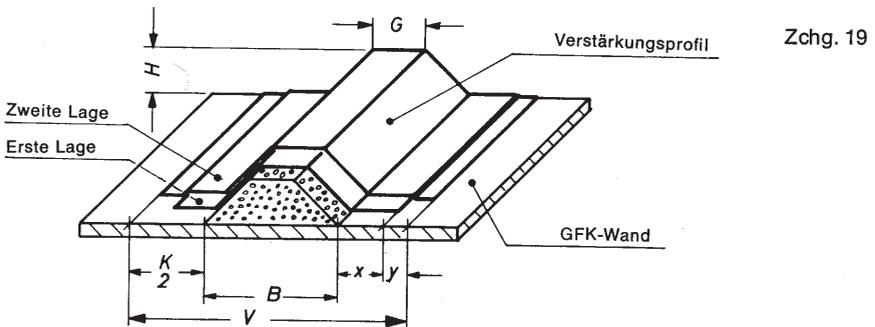
Die Formsteifigkeit eines gewölbten Bauteils wird durch aufgesetzte Versteifungen in Längsrichtungen (Längsstringer) und die ohnehin vorhandenen Schotten in Querrichtung unterstützt. Die Längsspanten-Bauweise hat sich im einschaligen GFK-Bootsbau eingebürgert.

Gestalt und Aufbau von Stringern

Die Stringer können als

- aufgesetztes, trapezförmiges GFK-Profil über einem Schaumkern ausgebildet sein;
- als Halbrund- (Hut-) Profil über flexiblen Dekohalbrohren;
- als beidseitig beschichtete Schaumplatte oder
- als sorgfältig anlamiertes Einbauteil.

Alle Verstärkungen sollten in der Form auf das noch junge Laminat auf-tapeziert werden. Getemperte Laminare werden mit 60er Papier angeschliffen, und für den Stringer wird I 25 B bzw. I 26 B als Kontaktharz für das Stringer-Laminat benutzt.



Aufbau einer Trapez-Verstärkung

Der Aufbau und die Verankerung von Verstärkungen sollten zueinander in einem ausgewogenen Verhältnis stehen, damit die Beulsteifigkeit der Wand stufenförmig ansteigt. Das wird durch die vorgeschlagenen Überlappungsbreiten von 10 cm für die erste und 2 cm für alle weiteren Lagen erreicht. Dabei wird grundsätzlich von einem hohlen oder druck- und biegeweichen Kern ausgegangen.

Die Form und Befestigung der Trapezversteifung ist in der Abbildung erklärt. Ihre Höhe und ihr Wandungsaufbau ist den Richtlinien des GL zu entnehmen. Der Trapezkern wird so geschnitten, daß die Gurtbreite gleich der Höhe ist und die Basis doppelte Gurtbreite besitzt.

Die Klebelänge soll ebensolang wie das Verstärkungsprofil sein. Die Klebbreite $K/2$ auf jeder Profelseite ergibt sich aus der Gurtbreite des Verstärkungsprofils, seiner Höhe und der Zahl der Mattenlagen, aus denen es aufgebaut ist.

Für ein Trapezprofil, dessen Höhe H gleich der Gurtbreite G ist, und dessen Basisbreite B doppelt so breit ist wie sein Gurt, ergibt sich:

Höhe	$H = \text{Gurtbreite } G$
Basisbreite	$B = 2 \cdot G$
Klebbreite für die erste Lage	$x = H$
Überlappungsbreite für jede folgende Lage	$y = B/4$, mindestens 2 cm
Kontaktstreifenbreite	$K = 2x + 2y_1 + 2y_2 + \dots$
Verstärkungsbreite	$V = K + B$



Deko-Rohr

Dieses flexible Halbrohr ist biegeweich und läßt sich jeder Wölbung anpassen. Es wird mit Spachtelmasse auf dem Untergrund fixiert und dann mit Matte- und Gewebestreifen übertapeziert.

Als Kern, sogenannte verlorene Form, sind nur biegeeweiche Werkstoffe wie Deko-Halbrohre, PVC- oder Polyurethan-Schaum zugelassen. Starre Profile, z. B. aus Metall, platzen bei Biegung ab, ebenso quellfähiges Vollholz. Werden drucksteife Kerne mit Glas und Harz überschichtet, so bilden sie sich über den Schrumpf der Lasche auf der anderen Wandseite ab.

Gestaltung von Spanten

Die Spanten und die Wrangen im Kielbereich sind quer zur Fahrtrichtung liegende Verstärkungen im Bootskörper.

Sie werden ebenso gebaut wie die Längsstringer (Trapez- oder Halbkreisprofile). Ihre Bemessung wird auch nach den Richtlinien des GL vorgenommen. Zusammen mit den Decksbalken werden sie auch als Rahmen ausgebildet, in die die Schotte eingesetzt werden.

Mindestens im Ballast- und Motorenbereich sind auch Bodenwrangen einzubauen. Sie empfehlen sich auch für flache Vorschiffe und natürlich für Gleitboote innerhalb der gesamten Wasserlinie. Sie werden massiv aus GFK ausgeführt oder über Schaumstoff (Polyurethan- bzw. PVC-Schaum) im Boot selbst ausgeführt. Sie unterteilen die Bilge in wasserdichte Abteilungen für Lebensmittel, Batterien und Auffangwanne.

Einbau von Schotten

In GFK-Booten werden überwiegend Sperrholzschotte eingebaut. Ihre Dicke soll etwa der Außenhaut entsprechen, meistens werden sie um ein Drittel stärker gewählt. Muß ein Schott den an Deck stehenden Mast tragen, so besitzt es mindestens die doppelte Außenhautdicke. Der Türrahmen im Schott besteht aus je zwei aufgesetzten Steifen mit quadratischem Querschnitt von doppelter Schottstärke. Zu einem 20-Millimeter-Schott gehören dann zwei Steifen mit 40 x 40 cm Querschnitt, so daß beide Steifen und das Schott zusammen 100 mm dick sind.

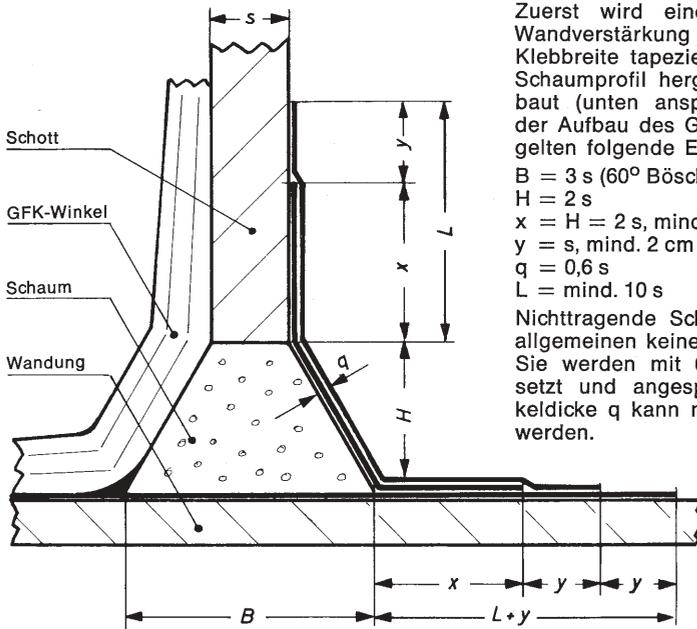
Nichttragende Schotte werden mit einem halben Zentimeter Luft umlaufend an einen GFK-Winkel anlamiert.

Tragende Schotte werden, wie in der Skizze dargestellt, auf ein Schaumtrapez gestellt und mit mehreren Mattestreifen sorgfältig befestigt. So bleibt der Außenhaut ein Bewegungsspielraum (kein starrer Punkt). Will man die Befestigung weiter verbessern, so bohrt man alle zwanzig Zentimeter eine Öffnung von 60 Millimetern in das Schott, so daß noch zwei Zentimeter Holz stehenbleiben. In diese Öffnung werden die Matten hineintapeziert (Formschluß).

Alle Verstärkungen müssen in einer Fläche sanft auslaufen; so nimmt z. B. das Trapezprofil in der Höhe bis auf Null ab oder endet in einer Querversteifung.

Alle Stellen, an denen sich die Steifigkeit stark verändert, sind bei Biegung besonders bruchgefährdet. Von der Mechanik her ist es weit vorteilhafter – aber leider auch teurer – eine GFK-Wand gitterartig durch mehrere kleine Rippen als durch ein einziges großes aufgesetztes Profil auszusteiern. Vom engmaschigen Gitter zu einer doppelschaligen Sandwich-Konstruktion ist es gedanklich nur noch ein kleiner Schritt.

Zchg. 20



Einbauvorschlag für ein tragendes Schott

Zuerst wird eine Mattenlage als Wandverstärkung über die gesamte Klebbreite tapeziert. Dann wird das Schaumprofil hergestellt und eingebaut (unten anspachteln). Es folgt der Aufbau des GFK-Winkels. Dabei gelten folgende Empfehlungen:

$$B = 3s \text{ (60}^\circ \text{ Böschungswinkel)}$$

$$H = 2s$$

$$x = H = 2s, \text{ mind. 5 cm}$$

$$y = s, \text{ mind. 2 cm}$$

$$q = 0,6s$$

$$L = \text{mind. 10 s}$$

Nichttragende Schotten erhalten im allgemeinen keine Schaumunterlage. Sie werden mit 0,5 cm Luft eingesetzt und angespachtelt. Die Winkeldicke q kann mit $0,6s$ bemessen werden.

Sandwichbau

Sandwich-Boote können so leicht gebaut werden, daß sie schwimmfähig sind, haben innen keine platzraubenden Versteifungen, sind vielmehr beidseitig glatt und besitzen eine gute Wärme-Kälte-Isolierung.

Decks, als Sandwich in den waagerechten Flächen ausgeführt, sind deshalb sehr häufig anzutreffen.

Sandwich-Rümpfen hat man in Deutschland mit dem Argument mißtraut, sie würden mit der Zeit Wasser aufnehmen und im Falle eines Falles schwieriger zu reparieren sein. Fest steht, daß Sandwich-Rümpfe in anderen Ländern häufiger gebaut werden, daß sie aber auch in Deutschland an Boden gewinnen.

Das Sandwich-Prinzip ist im Kapitel „Die Bestandteile von Kunststoffwandungen“ erklärt worden. Die beiden fest mit dem Kern verklebten Deckschichten nehmen die Druck- und Zugkräfte auf. Der Kern hält die GFK-Deckschicht auf Abstand und sichert sie gegen Verschieben (Schub).

Als Kernwerkstoffe sind im Bootsbau PVC-Schaumstoffe (Conticell® o.a.), Balsaholz (Belcobalsa®) und PVC-Schaumvliese (P 2424) von Bedeutung. Hohlkerne wie Waben oder Röhrchen werden im Flugzeugbau und nur mit Epoxi-Harz verarbeitet.

Zur ersten Orientierung können folgende Merkmale dienen:

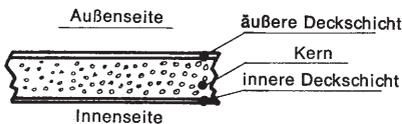
PVC-Schaum ist mit $0,060$ oder $0,080 \text{ g/cm}^3$ der leichteste Kern und hat sich in der Praxis bewährt. Er ist für Deutschland der klassische Kernwerkstoff, so daß über entsprechende Sandwich-Konstruktionen auch umfangreiche Meßreihen vorhanden sind.

Nachteil: In starken Rundungen muß er durch Verformung angepaßt werden, und beim Verkleben ist Preßdruck erforderlich.

Balsaholz besitzt eine sehr hohe Druck- und Schubfestigkeit. Das Holz muß nach dem Schnitt sehr sorgfältig und fachgerecht präpariert werden. Es kann – bedingt durch die Kapillarwirkung – drucklos verklebt und damit schnell und ohne Aufwand verarbeitet werden.

Schaumvlies P 2424 wird nicht verklebt, sondern einfach mit einlaminiert wie eine Glasmatte. Einfacher geht's nicht. In einem Arbeitsgang sind maximal vier Millimeter Schichtdicke möglich, davon können dann mehrere Schaumvliese aufeinander tapeziert werden. Sein spezifisches Gewicht im getränkten Zustand liegt mit $0,65 \text{ g/cm}^3$ hoch.

Zchg. 21



Schnitt durch eine Sandwichwand mit GFK-Deckschichten und Schaumkern

Die Sandwich-Bauweise führt zu besonders biegesteifen Bauteilen, so daß sehr oft aufgesetzte Versteifungen völlig entfallen. Man erhält beidseitig plane Flächen. Die Decks von gedeckten Sportbooten werden deshalb gern als Sandwich ausgebildet. Die äußere Deckschicht wird meistens um 10 bis 15 % dicker als die innere ausgeführt.

Dimensionierung von Sandwichteilen

In den Vorschriften des GL von 1972 ist eine Tabelle für Sandwich-Decks enthalten, die nicht auf einen speziellen Kernwerkstoff (PVC oder Balsa) aufgebaut ist. Der Kernwerkstoff muß nur den festgelegten Mindestbedingungen entsprechen.

Für den Sandwich-Rumpf bietet der GL lediglich seine Hilfe bei der Dimensionierung an und macht sonst keine Angaben.

Auslegung von Booten mit PVC-Sandwich

Bei den PVC-Schäumen gibt es für Conticell 60 kg/m^3 umfangreiche Meßprotokolle über die maximale Biegebelastbarkeit unterschiedlicher Sandwichs. Dabei wurden die Schaumdicken und die Deckschichten variiert.

Die Berechnung von Sandwich-Bauteilen ist nicht einfach (9). Man versucht daher, wenn die Dicke einer Voll-GFK-Wand bekannt ist, mit Vergleichsformeln zu arbeiten (Empfehlungen des GL von 1967).

So ist etwa folgende Ersatzlösung mit Hilfe eines PVC-Schaumkerns im allgemeinen ausreichend:

1. Die beiden Sandwich-Deckschichten sollen zusammen 90 % der Voll-laminat-Reißlast haben und aus Matten und Geweben (abwechselnd) bestehen.
2. Die äußere Deckschicht soll etwa 20 % stärker in der Reißlast sein als die innere.
3. Die PVC-Schaumdicke soll etwa das Dreifache der beiden Deckschichtdicken zusammen betragen.
4. So dimensionierte Schalen benötigen keine zusätzlichen Versteifungen mit Ausnahme der hoch beanspruchten Partien wie Mast-, Kiel- oder Motorenbereich. Durch den Wegfall des Längsstringersystems wird der Sandwichrumpf um mindestens 15 % leichter als die ausgesteifte Massivkonstruktion. Unter den Schotten wird die innere Deckschicht auf einen halben Meter Länge um 25 % dicker dimensioniert.

In der Praxis heißt das: Ein Voll-Laminat aus 10 Lagen reißlastgleicher Matten und Gewebe wird auf 9 Lagen (90 %) reduziert. Davon werden fünf Lagen für die äußere und vier Lagen für die innere Deckschicht verwendet (außen 20 % mehr). Der Kern wird bei 1,1 Millimeter dicken Lagen mit $3 \times (9 \times 1,1) = 30$ Millimetern ermittelt.

Auslegung von Booten mit Balsa-Sandwich

Auch bei der Dimensionierung von Balsa-Sandwichbauten wird zunächst nach den Richtlinien einer Klassifikationsgesellschaft ein Voll-Laminat berechnet. Dieses Voll-Laminat wird dann (mit Hilfe eines Computers) in eine Sandwichwand übersetzt. Vergleicht man die Gewichte von Voll- und Sandwich-Laminat, so ergibt sich für die Balsa-Konstruktion ein sehr beachtlicher

Gewichtsvorteil. Die in der Tabelle wiedergegebene Schale eines 10,20 m langen Motorseglers wird als Balsa-Sandwich nur halb so schwer wie ein gleich großer Massivbau. Es werden allein 40 % in der Außenhautfläche selbst und weitere 10 % an Gewicht durch das im Sandwich-Rumpf fehlende Spanten- und Stringergewicht gewonnen.

Bereich	Voll-Laminat		Balsa-Sandwich			Gewicht
	Dicke	Gewicht	Dicke			
			außen	Kern	innen	
Überwasser-schiff	8,9 mm	13,0 kg/m ² , davon 3,8 kg/m ² Glas	3,0 mm	12,7 mm	2,4 mm	7,9 kg/m ² , davon 2,3 kg/m ² Glas
Unterwasser-schiff	11,3 mm	16,3 kg/m ² , davon 4,8 kg/m ² Glas	3,0 mm	12,7 mm	3,5 mm	9,5 kg/m ² , davon 2,7 kg/m ² Glas

Vergleich von Voll-Laminat und Balsa-Sandwich

Es handelt sich dabei um die Wandung eines 10,22 m langen Motorseglers. Der Sandwichrumpf wird nur etwa halb so schwer wie ein Massivbau.

Auslegung von Booten mit Schaumvlies-Sandwich

Schaumvlies P 2424 wird vorzugsweise im Bereich von Kernschichtdicken zwischen 1 und 10 Millimetern eingesetzt. Da seine Verarbeitung bei der Herstellung eines Formteils keinerlei Sondermaßnahmen (wie Anpassen, Verformen, Andrücken, Versiegeln) erfordert, wird es auch gern bei – ehemals biegeweichen – Teilbereichen mit eingearbeitet.

Im Merkblatt über P 2424 sind eine Reihe von Eigenschaften genannt. Darüber hinaus kann man auch hier wieder von einem bekannten Voll-Laminat ausgehen und dann bei gleichen Materialkosten ein biegesteiferes oder bei gleicher Biegesteife ein um etwa 20 % billigeres Sandwich herstellen.

Bei etwa gleichen Materialkosten wird ein Rovinggewebe-Laminat von der Dicke $d = 9$ Millimeter in zwei 3,0 Millimeter (= 30 % von d) dicke Schichten + 8 Millimeter (= 90 % von d) Schaumvlies übersetzt.

Dieses auf 14 Millimeter (= 160 % von d) angewachsene Sandwich besitzt bei gleichem Gestehungspreis mit Rovinggewebe 260 %, mit Matten 70 % mehr Biegesteifigkeit als das Voll-Laminat. Dabei beträgt das spezifische Gewicht $0,9 \text{ g/cm}^3$. Das Laminat ist also schwimmfähig. Der Schaumvlies-anteil macht etwa 70 % der Sandwich-Dicke aus.

Wird auf gleiche Biegefestigkeit bei verminderten Kosten dimensioniert, so werden aus den $d = 9$ Millimetern Voll-Laminat zwei Deckschichten von 2,25 Millimetern (= 25 % von d), die $2 \times 3 = 6$ Millimeter Schaumvlies

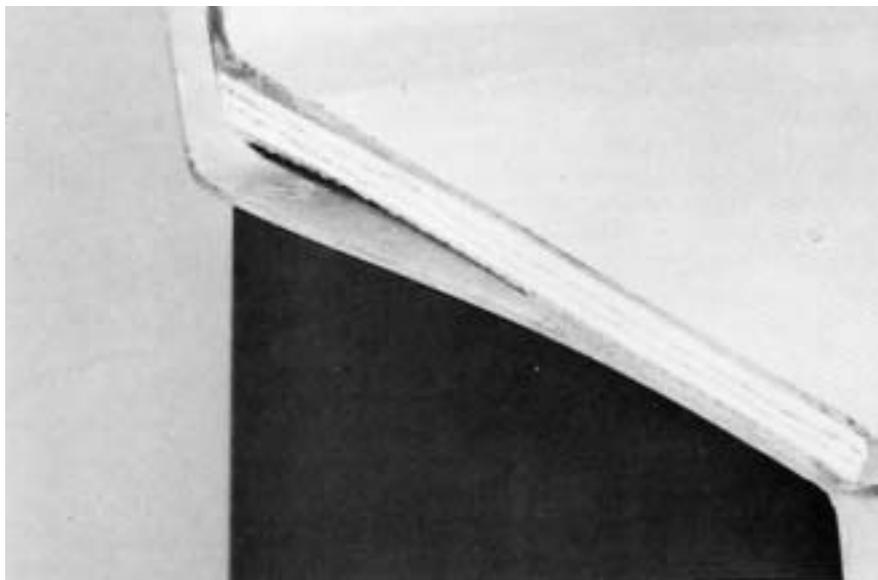
(= 66 % von d) einschließen. Dieses Ersatz-Sandwich ist mit dem spezifischen Gewicht von $0,9 \text{ g/cm}^3$ wieder schwimmfähig, um 15 % dicker und um 20 % billiger als die Voll-Wand.

Krafteinleitung und Wanddickenänderungen im Sandwich

Alle Kräfte, die in eine Sandwichwandung eingeleitet werden, müssen stets auf beide Deckschichten und so übertragen werden, daß ein Verschieben beider Deckschichten am Kraftangriffspunkt nicht möglich ist. Bei Belastungen in Richtung der Wand und senkrecht dazu werden am einfachsten Sperrholzbrettchen von Kernschichtdicke eingeklebt, die zuvor mit G 4 grundiert wurden. Die Brettchen sollen großflächig sein und abgerundete Ecken haben. Etwas aufwendiger ist das Ersetzen der Kernschicht am Kraftangriffspunkt durch ein Polyester-Laminat.

Werden Schrauben in die Sandwichwand eingebracht, sollen sie in Metall- oder Plastikhülsen geführt sein.

Die sicherste Lösung, um eingeleitete Kräfte gleichmäßig auf beide Deckschichten zu verteilen, wird durch das Zusammenführen der beiden Deckschichten im Kraftangriffspunkt erreicht. Bei dieser Lösung muß jedoch dem durch Wegfall der Kernschicht verringerten Widerstandsmoment Rechnung getragen werden, um ein Ein- oder Ausbeulen der Wand zu verhindern.



Deck mit Schaumvlies P 2424

Durch Einbau von 3 vier Millimeter dicken P 2424-Vliesen konnte das Laminatgewicht im Laufdeck bei dieser Sturzeon von $15,6$ auf $12,5$, also um $3,1 \text{ kg/m}^2$, gesenkt werden.
(Werkfoto: Firet)

Übergänge von einer dicken zu einer dünnen Kernschicht oder vom Sandwich- zum Voll-Laminat sollen in der Art einer Schäftung durchgeführt werden. Dabei beträgt die Länge der abgeschrägten Kernfläche etwa das 7 bis 10fache der Kerndicke. Ein 20 Millimeter dicker Kern wird also keilartig auf einer Länge von 140 Millimetern von 20 auf 0 Millimeter verjüngt. Ein plötzliches Ansteigen oder Vermindern von Wandungsstärken stört den Kraftlinienverlauf und ergibt Spannungsspitzen und ist strikt zu vermeiden. Die Verbindung zweier Sandwichplatten miteinander ist umso besser, je weiter die Verklebungsstellen der beiden äußeren Deckschichten, beider Kernschichten und der beiden inneren Deckschichten voneinander entfernt sind.

Sandwichbau in der Praxis

Es werden nur Sandwichs mit PVC-Schaum-, Balsa-Holz- und Schaumvlies-Kern besprochen. Andere Kernwerkstoffe sind im Bootsbau bisher nur sehr selten eingesetzt worden.

Bauarten für Sandwich-Boote

In ein Serienboot, das mit einer glatten Außenhaut in einer Negativform entsteht, können alle drei genannten Kernwerkstoffe eingebaut werden.

PVC-Schaum und Balsa-Holz können aber auch – ähnlich wie C-Flex – als konturgebende Schicht zum Einzelbootsbau über einem offenen Leistenkern benutzt werden. Man erhält dann zwei raue Deckschichten, von denen die äußere bearbeitet wird wie beim C-Flex-Bau (siehe Kapitel „Finish auf der Bootsaußenseite“).

Leistenkerne (siehe „Bau eines Leistenkerns“) für PVC-Schaumplatten bestehen aus Mallen mit Abständen von maximal 90 bis 100 Zentimetern (in starken Rundungen weniger) und Leisten mit 20 Zentimeter lichtem Abstand am Hauptspant. Bei Balsa-Holz darf der lichte Leisten-Abstand nur 1,5 Zentimeter betragen. Es müssen also etwa fünfmal soviel Leisten aufgeplankt werden.

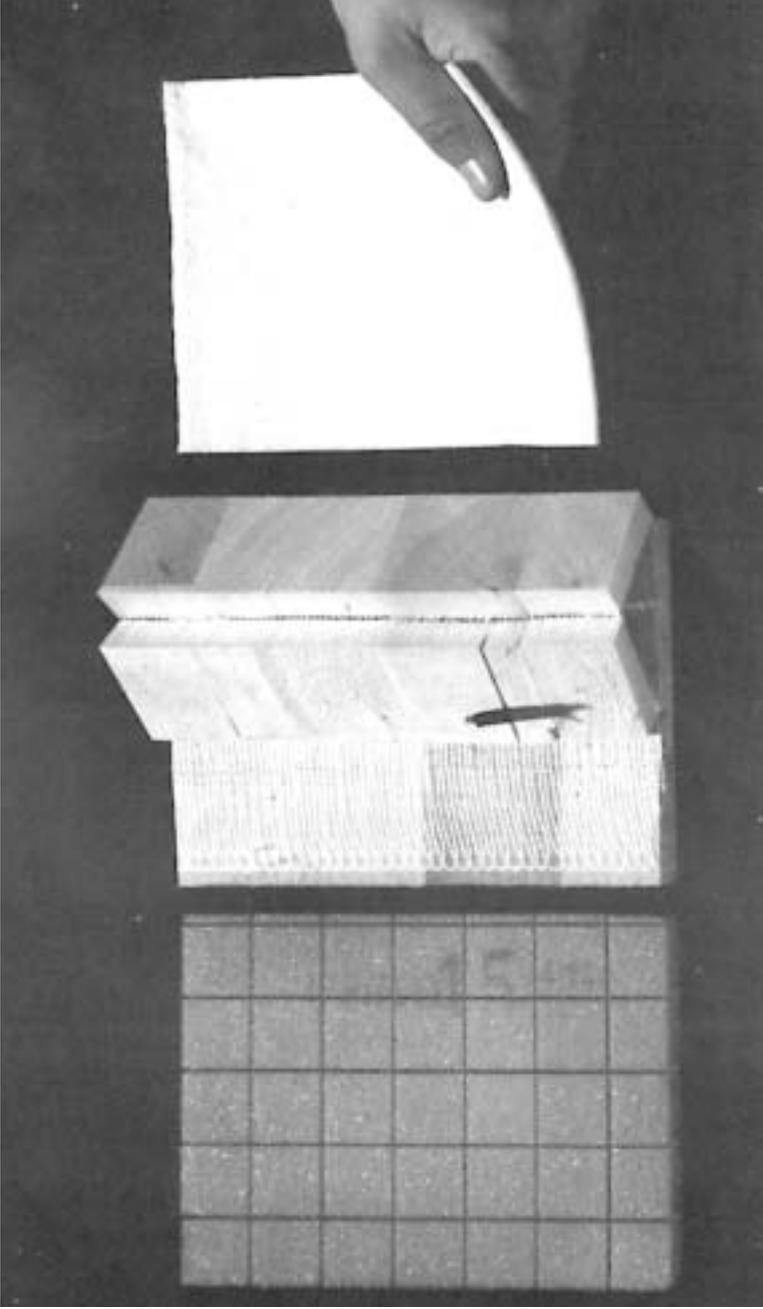
Der fertige Leistenkern wird mehrere Male sorgfältig lackiert (G 4 oder Kunstharzlack), damit das Holz nicht so schnell austrocknet. Dadurch würden sich sonst die Maße verändern.

Bevor der Kern mit PVC-Schaum oder Balsa-Holz beplankt wird, deckt man ihn mit einer Polyäthylen- (PE-) Folie zum Schutz gegen Harztränen ab.

Anpassen und Lieferform der Kernschichten

Schaumvlies P 2424 wird in 1, 2, 3 und 4 Millimetern Dicke als einen Meter breite und etwa 50 Meter lange Rolle ausgeliefert. Das Material ist in Knick- und rundspantigen Booten gut zu verlegen, da es tiefziehbar ist.

Der 60 kg/m³ und 80 kg/m³ wiegende **PVC-Schaum** wird als Platte von sechs bis 40 Millimeter Dicke mit einem Format von 50 × 62,5 oder 125 × 200 Zentimetern geliefert. Je dicker das Material, desto länger wird man die Platte



Lieferform von Kernwerkstoffen

Schaumvlies (rechts) ist ein maximal vier Millimeter dicker und schwerer Kernwerkstoff, weil es sich mit Harz vollsaugt. PVC-Schaum (links) und Balsaholz (Mitte) werden zur besseren Anpassung an die gekrümmte Bootswand in Quaderform geliefert.



Einbau von PVC-Schaum mit Vakuum

Der Rumpf ist zwischen der Negativform außen und der Polyäthylen-Folie innen luftdicht eingeschlossen. Der erforderliche Unterdruck von mindestens 600 g/m^2 wird durch Absaugen der Luft über eine Pumpe erzeugt. (Werkbild: Continental)

in einem Warmluftofen oder mit Wärmestrahlern auf 90 bis $110 \text{ }^\circ\text{C}$ erwärmen, damit sie verformbar und damit an die Bootskontur anpaßbar wird.

Um diesen aufwendigen Arbeitsgang einzusparen, wird PVC-Schaum von beiden Seiten bis etwas über die halbe Schichtdicke hinweg geschlitzt zu Quadraten mit drei Zentimetern Seitenlänge angeboten.

Hiermit sind Radien bis zu dreißig Zentimetern ohne Erwärmung der Platte möglich.

Balsa-Holz für den Bootsbau wird immer als sogenannte Matte mit 122×61 Zentimetern bezogen. Die Matte besteht aus quadratischen, fünf mal fünf Zentimeter großen Klötzen, die auf einem Gewebe befestigt sind. Auf diese Weise sind sie als Fläche zu verlegen.

Das Gewebe wird mit Harz benetzt und dann vom Balsa-Holz abgetrennt, so daß es keine störende Zwischenlage bildet.

Dieses Coutourcore® ist in Dicken von $6,35$, $9,50$, $12,70$, $19,05$ und $25,4$ Millimetern lieferbar.

PVC-Schaum und Balsa-Matten werden auf dem Kern oder in der Form mit einem Teppichmesser oder einer Bandsäge zugeschnitten.

Befestigt werden **PVC-Schaumplatte** und Balsa-Matte auf einem Leistenkern mit halb eingeschlagenen Nägeln, deren Köpfe auf der Kerninnenseite noch so freistehen, daß man sie später mit einer Kneifzange wieder herausziehen kann. Der Nagel sollte nur so lang sein, daß seine Spitze noch im Schaum oder dem Balsa-Holz steckt und nicht das Außenlaminat beschädigt.

Einbau von Kernmaterial

Schaumvlies P 2424 wird auf die satt mit Harz + Härter vorgerollte oder noch nasse, also harzfeuchte, letzte Lage gelegt und zusätzlich von oben her mit Harz + Härter durchtränkt. Je Millimeter Schaumvlies sind etwa 500 g/m² Harz notwendig, die vor Auflegen des Vlieses auf dem Untergrund verteilt werden. Dann wird das Vlies erst aufgelegt.

Um keine zu hohen Temperaturen im Laminat zu erhalten, läßt man nicht mehr als fünf Millimeter Laminat auf einmal aushärten. Das kann z. B. eine 4-mm-Schaumvlies-Schicht und 1 Lage 450 g/m²-Matte sein oder eine Lage 450 g/m² auf der Unterseite, eine 3-mm-Schicht P 2424 und eine Lage 450 g/m² auf der Oberseite. Ist die Oberfläche dieser Schicht wieder kühl, so wird die nächste Lage auftapeziert.

PVC-Schaum wird vor dem Einbau beidseitig mit einem kurzlebigen (5 bis 20 Minuten Topfzeit) Harz oder einer Polyester-Spachtelmasse versiegelt. Auf diese Weise wird der Schaum nicht vom Styrol im Harz beschädigt, und die Poren-Hohlräume werden aufgefüllt. Während beim Bau über einen Leistenkern einfach als erste (Kontakt-) Lage eine Matte auf den PVC-Schaum laminiert wird, muß der Schaum beim Bau in einer Negativform unter Druck (mindestens 600 g/m²) mit der noch nassen letzten Mattenlage verklebt werden.

Um einen möglichst gleichmäßigen Preßdruck wirksam werden zu lassen, bedienen sich die gewerblichen Hersteller gern der Vakuum-Methode. Die Abdeckfolie aus Polyäthylen muß zum Formenrand hin gut abgedichtet werden. Undichte Stellen „hört“ man. Falten in der Folie stören nicht. Die Luft zwischen Folie und Schaum und zwischen Schaum und äußerer Deckschicht kann umso leichter abgesaugt werden, je besser man der Luft die Wege zu den Absaugeschläuchen ebnet. Die in Felder aufgeschlitzte Platte hat eine sehr wirkungsvolle Drainage, zudem kann sich überschüssiges Harz in diesen Nuten sammeln.

Die explosionsgeschützte Vakuum-Pumpe sollte etwa über die zweifache Topfzeit laufen, um eine sichere Verklebung zu produzieren. Dann geht es mit einer Mattenlage auf der harzversiegelten Schaumoberseite weiter.

Balsa-Matten werden bei Serienbooten aus einer Negativform kurz vor dem Auflegen auf der Kontaktseite (meistens die Seite ohne das Gewebe) satt mit Harz + Härter imprägniert. So werden sie auf die noch oder wieder harzfeuchte Matte gelegt und mit der Fellrolle sorgfältig festgedrückt. Ist

genügend Harz im Untergrund, so tritt es beim Festdrücken bereits oben aus der Holzfläche aus (Fläche wird dunkler).

Dann wird von oben her Harz nachgetragen und das Gewebe, das sich inzwischen durch die Harzeinwirkung gelöst hat, abgetrennt. Man läßt die Balsa-Schicht anhärteln (Ablauf der Topfzeit abwarten) und legt dann wieder als erste Lage eine Matte auf.

Beim Einzelbau über den Leistenkern werden die mit der Gewebeseite zum Kern hin aufgehängten Balsa-Matten in den Nuten abgespachtelt, wenn die Klötzchen mehr als etwa drei Millimeter große Zwischenräume bilden. Dann werden sie im Abstand von fünf Minuten zweimal auf der ersten Teilfläche satt mit Harz getränkt, ehe die erste Mattenlage auftapeziert wird. Die nächste Lage kann naß in naß aufgelegt werden. Es wird bis zur vollen Laminat-Dicke auflaminiert und das Finish hergestellt. Ist der Kern gedreht, wird auf der Rückseite genauso verfahren.



Sandwich-Rumpf mit Balsa-Holz

Die Balsa-Quader sind durch ein Gewebe in Mattenform zusammengehalten und auf diese Weise schnell und einfach zu verlegen. An sehr hoch beanspruchten Stellen, wie im Kielbereich, wird das Sandwich-Laminat in eine einschalige Wand überführt (Werkfoto: Copencraft).

Die Verbindung verschiedener Bauteile und das Einleiten von Kräften

Große Kräfte sollen in GFK-Teile großflächig und nicht als Punktlast eingeleitet werden. Blindnieten oder Schrauben (mit großen Unterlegscheiben) wird man also nur bei niedriger Beanspruchung zulassen. Will man Kräfte übertragen, wird man also möglichst eine Klebverbindung wählen. Sie ist die gleichmäßigste Krafteinleitung zwischen Bauteilen und die wasserdichteste. Dabei können freilich Blindnieten oder Schrauben als Montagehilfe dienen und für den notwendigen Anpreßdruck sorgen.

G 4 – Haftvermittler für Polyesterharz auf anderen Werkstoffen

Polyesterharz hat auf den meisten Werkstoffen keine ausreichende Klebkraft. Eine wesentliche Verbesserung wird mit dem Haftvermittler G 4 der VOSSCHEMIE erreicht. Dieses Material besitzt ausgezeichnete Haftung auf Holz, Beton und Metall.

Der Einkomponenten-Werkstoff auf Polyurethan-Basis enthält brennbare Lösungsmittel. Nachdem sie verdunstet sind, erfolgt die Härtung mit Hilfe von Luftfeuchtigkeit oder Wasser, das in Holz oder Beton usw. zur Genüge vorhanden ist. Es handelt sich hier also eigentlich um ein Zweikomponenten-System, wobei aber die zweite Komponente nicht hinzugegeben werden muß.

Bei der Verwendung als Haftgrund für Holz wird G 4 satt aufgerollt. Es zieht tief in die Holzporen ein, wobei die Eigenfestigkeit des Holzes in der Grenzschicht verstärkt wird. Auf diesem Haftgrund hat wiederum Polyesterharz eine ausgezeichnete Haftung, wenn man die Kontaktzeit von 0,5 bis 4 Stunden nicht überschreitet.

Früher wurde als Haftgrundierung eine Harz-Styrol-Kombination eingesetzt. Obwohl die Erfolge hiermit gut sind, hat sich herausgestellt, daß G 4 besser haftet und auch bei etwas feuchteren Hölzern einwandfrei aushärtet. Die Haftfestigkeit auf gesandstrahltem Stahlblech liegt bei 150 kp/cm².

Die Polyester-Beschichtung muß innerhalb von vier Stunden nach Aufbringen der Haftgrundierung beendet sein, denn das Polyesterharz muß noch mit der Oberfläche der Haftgrundierung reagieren, damit zwischen diesen beiden Stoffen eine chemisch einwandfreie Verbindung eintritt.

Kann die Zeit von vier Stunden zwischen G 4 und GFK-Beschichtung nicht eingehalten werden, rollt man innerhalb dieser Zeitspanne beschleunigtes Harz + 3 % MEKP-Härter über den Haftvermittler.

Der Haftvermittler ist dünnflüssig und wird in der Aushärtung nicht durch die Inhaltsstoffe des Holzes, wie z. B. Feuchtigkeit, Phenolharz, Lignin, Gerbsäure und etwaige Salze beeinträchtigt. Diese Stoffe, die in den verschiedenen Holzarten stets in unterschiedlicher Menge vorhanden sind, beeinträchtigen die Aushärtung von Polyesterharz gerade in den Poren, wo die Haftung stattfinden soll.

G 4 wird mit Fellroller oder Pinsel aufgebracht. Je nach Saugfähigkeit des Untergrundes werden 100 bis 250 g/m² verbraucht.

Montage und Vergießen von Teakstäben auf GFK-Decks

Die Teakstäbe können auf ein Kunststoff-Deck nicht nur aufgeklebt, sondern müssen mit Schrauben (im Sandwichkern oder im Laminat) zusätzlich befestigt werden.

Um ein Unterwandern mit Feuchtigkeit zu verhindern, werden die Teakstäbe auf einer spachtelbaren Thiokolmasse (Formflex®) verlegt, und die Fugen werden mit einer selbstverlaufenden Thiokolmasse vergossen. Die Nuten werden zuvor mit einem Lösungsmittel ausgewaschen und dann mit einem Primer vorbehandelt. Bei breiten Fugen wird der Fugenboden mit einem Tesafilm ausgelegt, damit die Masse wirklich nur an den seitlichen Flanken haftet und nicht am Boden. Auf diese Weise hält sie länger.

Kleben von GFK auf GFK

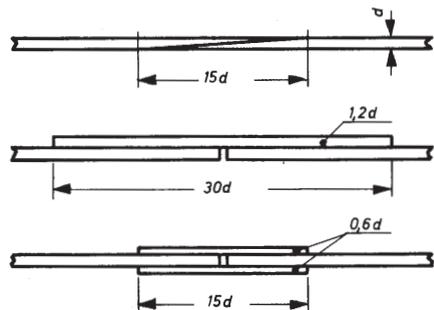
Als Zugscherfestigkeit können etwa 80 kg/cm² bei 20 °C für ein UP-Klebeharz mit höherer Wärmebeständigkeit (evtl. mit 8 bis 10 % Polyisocyanat-Zusatz) eingesetzt werden, kurzzeitig 120 kg/cm². Da die Klebschichtdicke unter 0,2 Millimetern liegen sollte, wird bei nicht planen Klebflächen stets ein Mattenstreifen zum „Niveau“-Ausgleich mit eingelegt. Wie bei einer Schraube nur die ersten drei Gänge tragen, so trägt eine Verklebung auf dem ersten Zentimeter Breite am Rand, auf den Quadratzentimeter bezogen, am meisten.

Zchg. 22

Verklebung von zwei GFK-Teilen

Die Klebbreite auf jedem Einzelteil soll etwa 15 d betragen.

Eine Schäftung (obere Skizze) ist bei dünnen Bauteilen praktisch nicht durchführbar.



Geht man davon aus, daß die Klebflächen uneben sind, kann man etwa folgende Reihenfolge für Verklebungen mit besserer Haltbarkeit aufstellen:

1. Leicht gefülltes Standardharz.
2. Mechanisch höherwertiges Harz (N 30, i 25 B, i 26 B, N 35 BT, N 36 BT) mit Kurzfasern.
3. Mechanisch höherwertiges Harz + Mattestreifen.
4. Mechanisch höherwertiges Harz mit Kurzfasern + Mattestreifen.

Der Zusatz von Polyisocyanat hat bei Standardharzen seine Berechtigung, bei höherwertigen UP-Harzen bringt er keine Vorteile mehr.

Epoxi-Harze als Kleber ergeben höhere Zugscherfestigkeiten. Sie müssen dann jedoch warm ausgehärtet und später vor Nässe geschützt werden.

Die Klebbreiten sollen etwa $15d$ betragen, wobei d jeweils die größere Wanddicke ist. Werden zwei Bauteile stumpf gestoßen, werden eine Lasche $2 \times 15d = 30d$ und zwei Laschen mit je einer Dicke von $0,6d$ $15d$ lang (siehe Zeichnung S. 162).

Die Klebflächen müssen sorgfältig vorbereitet sein und die folgenden sechs Eigenschaften besitzen:

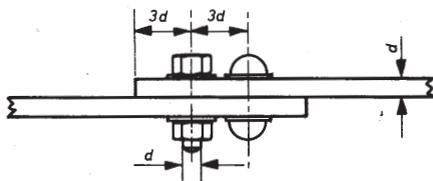
1. plan aufeinanderliegen,
2. möglichst rau sein (Körnung 16),
3. während der Verklebung unter Druck zu setzen sein,
4. fettfrei sein,
5. sauber, also frei von losen Teilen wie Schleifstaub und
6. trocken sein.

Zum Entstauben verwendet man am besten Styrol, dann wird der sechste Punkt wenigstens nicht vom Reinigungsmittel her unterlaufen. Styrolreste sind Bestandteil der UP-Klebstoffe und daher in kleinen Mengen unschädlich.

Nieten und Schrauben

Als Montagehilfe und bei kleineren Booten werden gern Blindnieten verwendet, wenn die Verbindung nur von einer Seite her zugänglich ist. Durch Unterlegen von Scheiben auf beiden Seiten wird eine Zerstörung des Laminats durch den aufgestauchten Niet vermieden. Der Abstand der Nieten vom Rand und untereinander sollte, wie in der Skizze gezeigt, mindestens der

Zchg. 23



Nieten oder Schrauben von GFK-Teilen

Der Abstand von Nieten und Schrauben untereinander soll mindestens gleich dem dreifachen Schaftdurchmesser und seitlich versetzt sein. Stets Unterlegscheiben mitverwenden!

dreifache Niet-Durchmesser sein. Das gilt für eine GFK-GFK wie für eine Alu-GFK-Verbindung. Bei zwei GFK-Teilen wird man stets – schon der Dichtigkeit wegen – einen harzgetränkten Mattestreifen in die Nietfläche einlegen. Dieser Rat gilt auch für Schraubverbindungen. Um Beschädigungen im GFK zu vermeiden, werden nur Schrauben mit Muttern und zwei (ruhig eine Nummer zu große) Unterlegscheiben verwendet. Die Abstände der Muttern und Nieten untereinander und vom Rand wird gleich gehandhabt (siehe Skizze).

Wie verbindet man Rumpf und Deck?

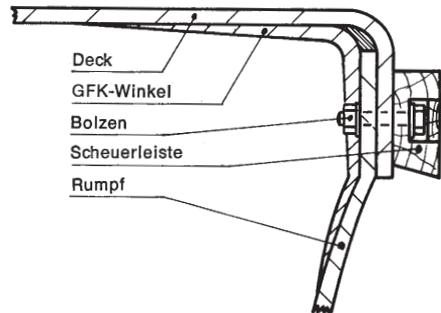
Die Rumpf-Deck-Verbindung wird im Seegang und durch Rigg und Ballast teilweise sehr stark beansprucht. Sie muß deshalb mit Sorgfalt gewählt und ausgeführt werden. Auch die erforderliche Paßgenauigkeit ist ein wesentliches Merkmal einer Verbindung. Verbindungen sollten möglichst auch so gestaltet werden, daß sie bei Belastung auch ohne Verklebung unbeweglich sind, wie Zahnrad und Kette. Man nennt so eine Verbindung formschlüssig. Rumpf-Deck-Verbindungen werden quer zur Fahrtrichtung und auf Verschieben (Gleiter) in Fahrtrichtung beansprucht.

Verbindung von GFK-Rumpf mit GFK-Deck

Zchg. 23

1. Schuhkarton-Verbindung

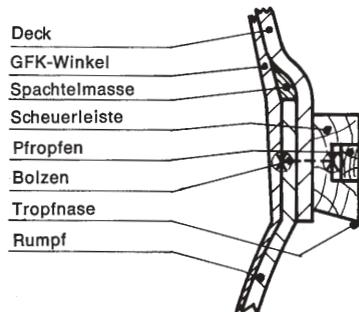
Nur für kleine Boote, kein Breitenausgleich möglich, Formschluß in einer Richtung vorhanden, Scheuerleiste verdeckt Klebflansch, Verklebungsdruck nur durch Nieten oder Schrauben möglich, Kröpfung im Rumpf-Flansch für Parallelität im Klebbereich nötig. Einlegen eines Mattestreifens praktisch unmöglich.

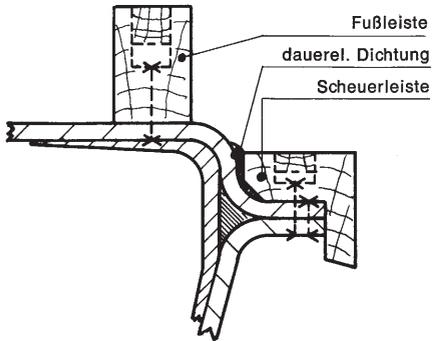


Zchg. 24

1a Abwandlung der Schuhkarton-Verbindung

Bei Backdeckern wird die Montage etwas einfacher. Wichtig bleibt auch hier, daß beide Flanschen rund um das Boot parallel aufeinanderliegen. Nur so bleiben sie spannungsfrei und halten dauerhaft.

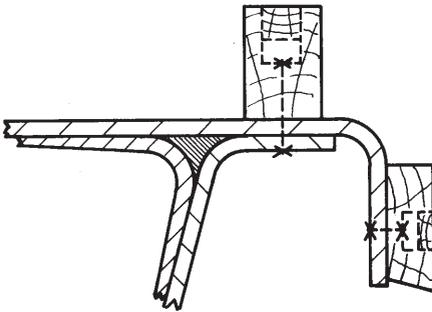




Zchg. 25

2. Zwei horizontale Flanschen

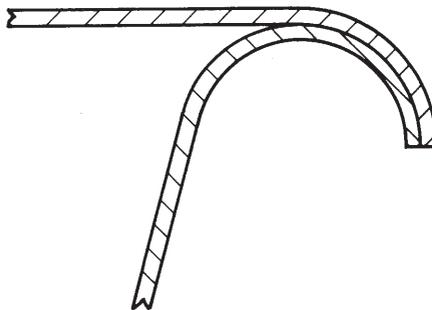
Für kleinere Boote, Toleranzausgleich möglich, kein Formschluß in seitlicher Richtung, Scheuerleiste verdeckt die Klebflanschen, zur Montage zusätzlich verschraubt, Verklebungsdruck einfach aufzubringen, Innenlaminat notwendig.



Zchg. 26

2a Horizontale Flanschen mit Abkantung

Verbesserung von Position 2 durch seitlichen Formschluß, breitere Klebfläche möglich, durch Abwärtskantung des Rumpf-Flansches noch verbesserbar.



Zchg. 27

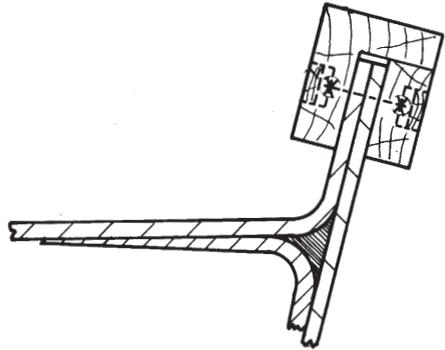
2b Viertelkreisförmige Flanschen

In seitlicher Richtung formschlüssig, meist für Jollen ohne Scheuerleiste. Diese Verbindung muß sehr genau gearbeitet sein. Bei einer Jolle dient sie als Tragegriff.

Zchg. 28

3. Vertikale Rumpf-Deck-Verbindung für größere Boote

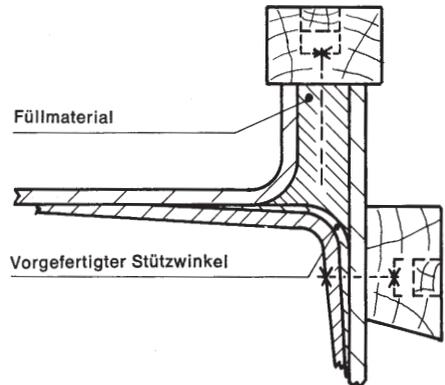
Kein Breitenausgleich möglich, Formschluß in seitlicher Richtung. Fußleiste verdeckt Klebflansch, Verklebungsdruck ist einfach anzubringen, Mattestreifen kann bei guter Passung und leicht ausfallender Bordwand eingelegt werden.



Zchg. 29

3a Vertikale Rumpf-Deck-Verbindung mit Toleranzausgleich

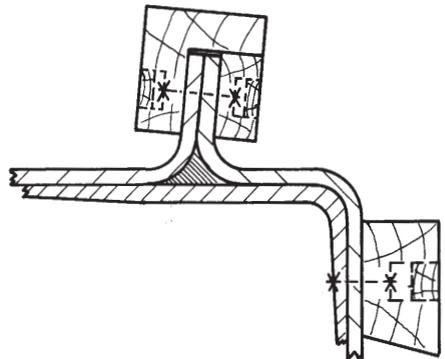
Variante von 3. Zwischen den Flanschen wurde ein Hohlraum gelassen, der mit Mattestreifen oder Glasharz aufgefüllt wird. Ein vorgefertigter Stützwinkel dient dem Deck als Auflage bei der Montage.



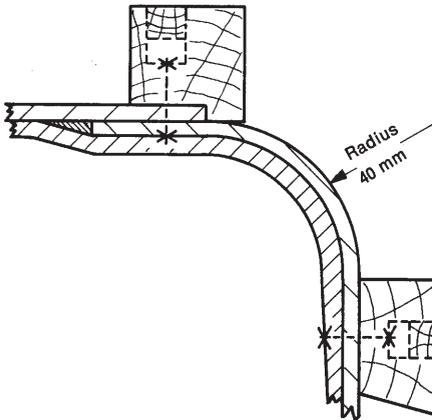
Zchg. 30

3b Nach innen verlegter Vertikal-Flansch

Variante von 3. Die Flanschen sollten leicht nach außen geneigt werden, damit ein Mattestreifen zur Verklebung mit eingelegt werden kann.



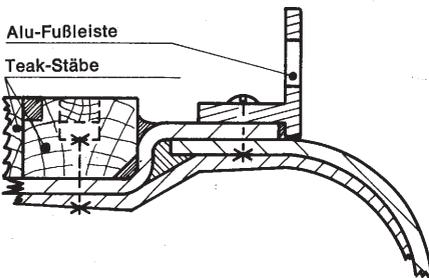
Zchg. 31



4. Hoch belastbare Rumpf-Deck-Verbindung

Für große Boote, der große Radius von mindestens 40 mm vermeidet Spannungsspitzen, Breitenausgleich möglich, kein Formenschluß in seitlicher Richtung, Scheuerleiste verdeckt die für den Verklebungsdruck notwendigen Schrauben. Innen-Laminat notwendig.

Zchg. 32

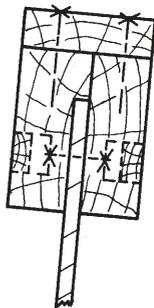


4a Variation von 4. mit Stabdeck und Alu-Fußeistenprofil

Diese Verbindung ist für Segelyachten interessant. Der Verklebungsdruck wird durch die Schrauben für das Alu-Profil aufgebracht.

Verbindung von GFK-Rumpf und Holzdeck

Zchg. 33



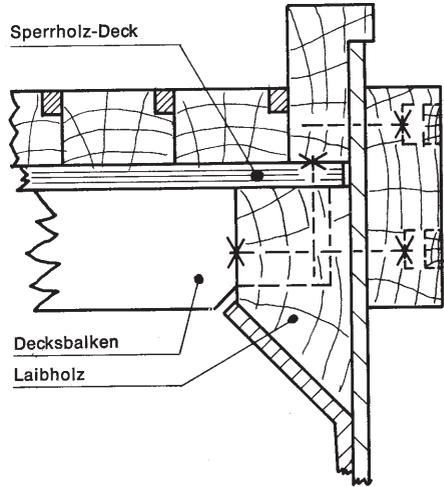
1. Umlaufende Holzleiste bei offenen Booten

Eine Holzleiste innen und die Scheuerleiste außen bilden zusammen den Rumpfabschluß bei kleinen, offenen Booten. Sie werden durch eine dritte Leiste von oben her abgedeckt.

Zchg. 34

2. Verbindung von Rumpf und Deck über ein Laibholz

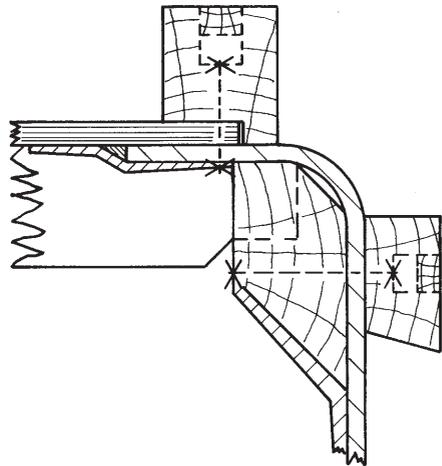
Für mittlere Boote, auch für ein Stabdeck geeignet, Formschluß in seitlicher Richtung, Verklebungsdruck durch Schrauben in horizontaler und durch Zwingen in vertikaler Richtung aufbringbar.

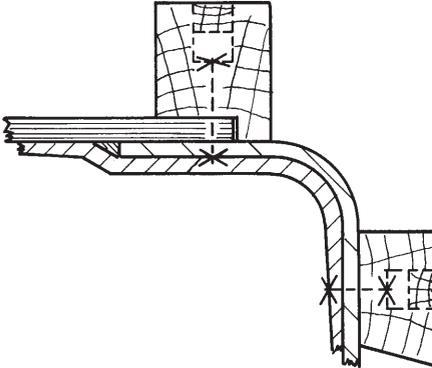


Zchg. 35

3. Rumpf-Deck-Verbindung mit Horizontal-Flansch und Laibholz

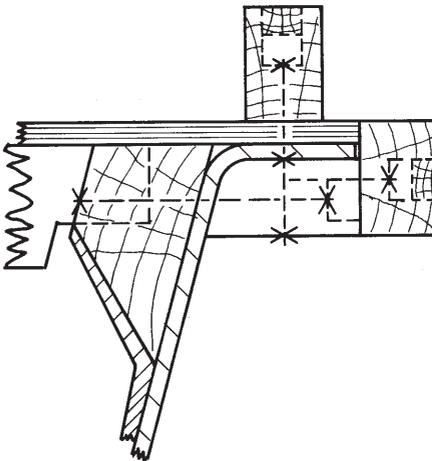
Für mittlere und große Boote mit Sperrholzdeck, Formschluß über die Decksbalken, Verklebungsdruck durch Zwingen aufbringbar, Breitentoleranz kann ausgeglichen werden.





4. Rumpf-Deck-Verbindung mit innenliegendem Horizontal-Flansch

Verbindung für kleine Boote, Breitenausgleich möglich, Formschluß in seitlicher Richtung vorhanden, Fußleiste schützt Hirnkante des Sperrholzdecks, Nieten oder Schrauben für Verklebungsdruck notwendig, Feinschicht im Klebbereich muß abgetragen werden.



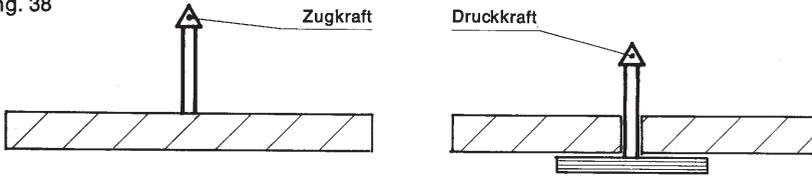
4a Rumpf-Deck-Verbindung mit innenliegendem Horizontal-Flansch und eingelassenen Decksbalken

Verbindung für große Boote, wie oben, jedoch mit eingelassenem Decksbalken und durch Schrauben gesichertem Laibholz.

Einleiten von Kräften in Deck und Rumpf

Es werden für einige spezielle Probleme Lösungen gezeigt. Der Aufwand einer Lösung muß den Erfordernissen angepaßt werden. Zugkräfte sollten möglichst parallel zur Wandung angreifen. Zugkräfte senkrecht zum Laminat können auf seiner Rückseite als Druckkraft eingebracht werden.

Zchg. 38

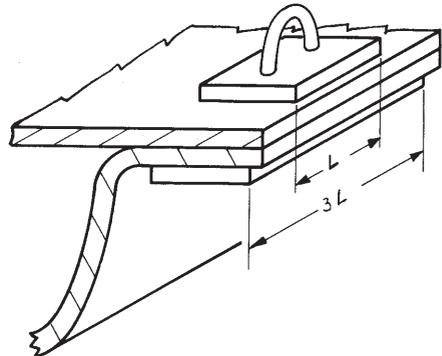


Umwandlung einer Zugkraft senkrecht zum Laminat in eine Druckkraft

Gestaltung und Einbau von Rüsteisen

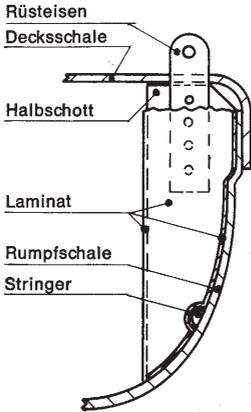
Bei Segelbooten werden die Windkräfte über die Wanten und das Rüsteisen in den Bootsrumpf (nicht das Deck!) übertragen. Es sind Kräfte bis zur Größenordnung des 1,6fachen Bootsgewichtes gemessen worden. Das Rüsteisen für GFK-Boote muß also sorgfältig gestaltet und eingebaut werden. Kleinere Rüsteisen werden aus VA-Stahl hergestellt (meist Flachmaterial), das auch für Gegenplatten verwendet wird.

Zchg. 39



Rüsteisen an Jollen

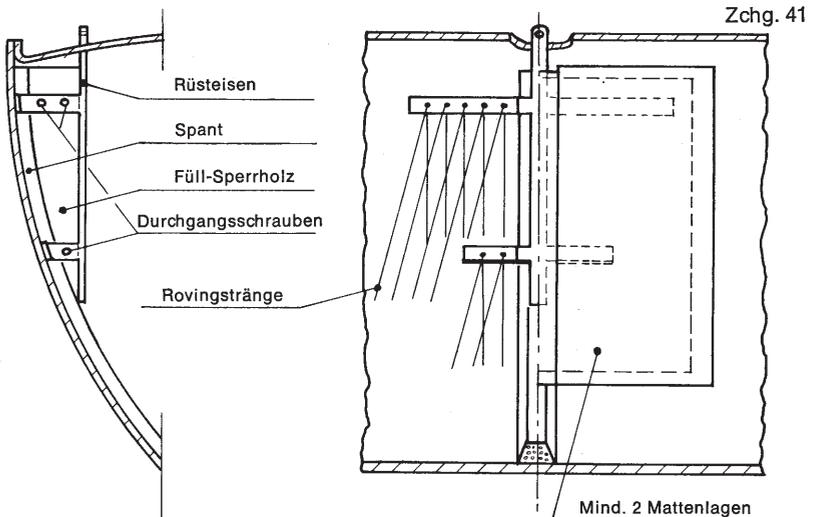
Platte zur Kraftverteilung auf der Unterseite. Diese Platte wird etwa dreimal so lang gehalten wie die obere Beschlagplatte.



Rüsteisen an Schott oder Knie aus Sperrholz aufgehängt

Diese Lösung ist auch bei mittleren Booten möglich und führt zu einer großen Kräfteinleitungsfläche, wenn das Holz richtig im Rumpf auftapeziert ist.

Das untenstehend abgebildete Rüsteisen ist für eine 32-Fuß-Yacht entworfen, wobei hier verzinktes Stahl-Flachmaterial verwendet wurde. Der Gestaltung lag der Gedanke zugrunde, die Zugkräfte aus den Wanten auf mehrere Rovingstränge zu verteilen und diese auf einer größeren Rumpf-Fläche anzuordnen. Als Richtwert für die Belastbarkeit eines 60fädigen Rovingstrangs



Verankerung eines Rüsteisens an der Bordwand

Rüsteisen leiten bei Segelbooten die Windkräfte über den Mast und die Wanten in das Boot ein. Das Rüsteisen soll möglichst in Zugrichtung eingebaut und nur im Rumpf verankert sein. Es wird deshalb auf ein entsprechendes Füllstück aus Sperrholz aufgesetzt. Die beiden Armpaare des Beschlags tragen Bohrungen, durch die Rovingstränge gezogen und geradlinig im Rumpf verlegt werden. Die Armpaare sind mit Durchgangsschrauben auf dem Füllholz zusätzlich befestigt. Abschließend werden mindestens zwei Mattenlagen über die gesamte Befestigungsstelle tapeziert.

werden etwa 15 kg angesetzt. Dabei sind die Abminderungen mit dem Faktor 4 und die Sicherheit mit dem Faktor 2 berücksichtigt. Die Stränge müssen gut getränkt und geradlinig (keine Knoten!) verlegt werden. Die Bohrungen in den Armen werden angefast. Alle Rüsteisenteile werden mit wenigstens zwei Lagen Glasmatte überdeckt.

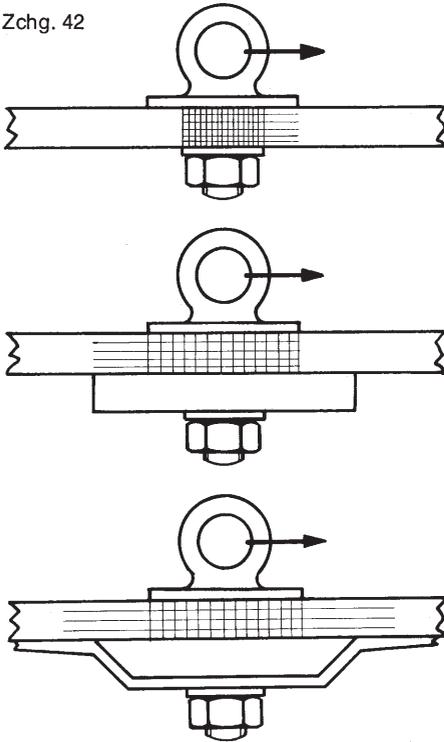
Das Bauteil besteht aus dem Mittelteil mit dem stark dimensionierten oberen und dem etwas kürzeren unteren Armpaar.

Um einen möglichst kleinen Winkel zwischen Rüsteisen und Zugrichtung der Wanten zu behalten, werden zwischen Rüsteisen und Want auf den dort vorhandenen Spant Sperrholz-Füllstücke eingebaut. Darauf werden die abgewinkelten Spantarme zusätzlich festgeboltzt.

Befestigung von Klampen, Winschen und Rellingstützen

Häufig treten **Biegekräfte** – meist in Verbindung mit Schubbeanspruchung – auf. Sie erfordern große Aufmerksamkeit bei der Gestaltung. Dabei wird Sperrholz gerne zur Kräfteverteilung herangezogen, so zum Beispiel bei Klampen, Rellingstützen und Winschen. So eine Belastung und ihre Verteilung zeigt die nächste Abbildung.

Zchg. 42



Biegebeanspruchung mit zusätzlichem Schub

Die nach rechts angreifende Kraft versucht, das Auge und den darunterliegenden Laminatbereich im Uhrzeigersinn zu drehen (Biegebeanspruchung durch eine Seitenkraft). Die festgezogene Mutter preßt das Laminat zusammen (Druckbeanspruchung).

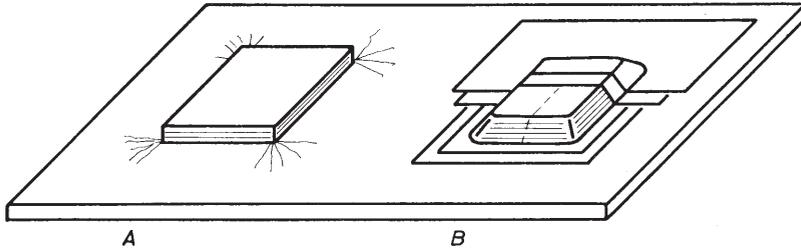
Bei Lösung A liegen der Druckbereich (senkrecht schraffiert) und der Biegebereich (waagrecht angelegt) fast genau aufeinander. Es können nur kleine Kräfte übertragen werden.

Bei B ist eine Sperrholzplatte lose untergelegt. Sie vergrößert den bei der Biegung tragenden Wandteil und verteilt auch die Druckkräfte besser.

In C ist das Sperrholz zusätzlich überlaminiert. Die Biegelast wird durch das Zusatzlaminat auf eine noch größere Fläche verteilt. Diese Lösung ist werkstoffgerecht.

Ist das Laminat an der Befestigungsstelle nicht formsteif gestaltet, so werden die Sperrholzplatten auf zwei zusätzliche Mattenlagen aufgesetzt und mit zwei Mattenlagen befestigt (siehe Abb. 43). Alle Hohlkehlen werden mit Spachtelmasse (Radius mindestens 10 mm) ausgerüstet, damit in der Kehle fachgerecht laminiert werden kann und bei Beanspruchung die Spannungen im Winkellaminat nicht zu groß werden.

Zchg. 43

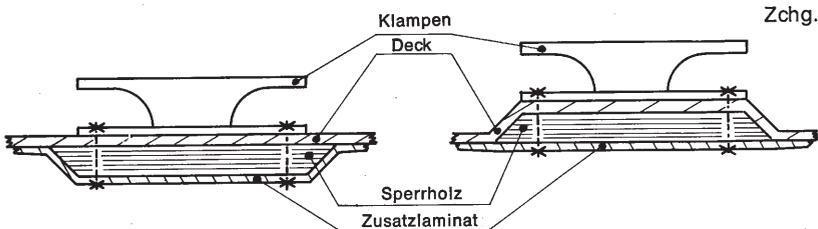


Falsch und richtig ausgeführte Befestigungspunkte

Anbauteile werden am Laminat zweckmäßig mit Sperrholzklötzen befestigt. Diese erhalten, wie unter B gezeigt, allseitig Schrägungen zum ordnungsgemäßen Anlaminierten. Die abgerundeten Ecken vermeiden die Ausbildung sogenannter harter Stellen. Unter dem Sperrholz wird die Wand grundsätzlich mit zwei Mattenlagen verstärkt. Auf diese Weise erreicht man einen allmählichen Anstieg der Wandsteifigkeit um die Befestigungsstelle herum.

Klappen zum Beispiel erhalten solche „Kraftverteiler“ auf der Laminat-Rückseite.

Die Gestaltung von GFK-Teilen, besonders an Kräfteinleitungspunkten, wird in dem Moment verständlich, wenn man sich vorstellt, wie sich ein Bauteil unter der Last verformen wird. Man zeichnet es sich leicht verformt auf und erkennt sofort, wo die Stellen starker Biegung, starken Zugs und Drucks sein müssen. Man findet dann schnell heraus, welche Maßnahmen Verbesserungen schaffen.



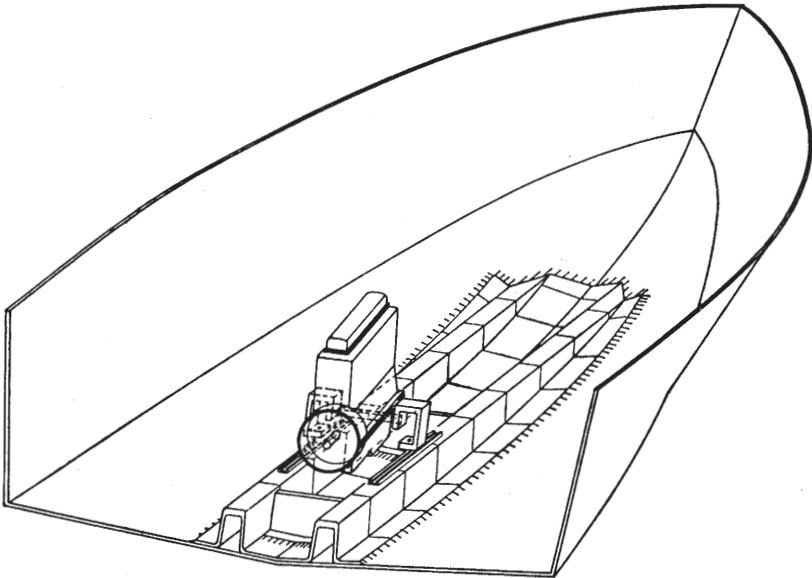
Zchg. 44

Klampe mit untergelegtem Sperrholz auf glatter Fläche (links) und auf einem Fundament (rechts).

Motorenfundament als Längsträger in einem Motorboot

Die Längssteifung ist besonders bei Gleitbooten im vorderen Bereich mit genügend Profilhöhe zu versehen. Gleichzeitig wird man ein entsprechendes Doppelprofil (siehe Zchg. 45) zur Lagerung von Motor, Getriebe und Drucklagerung als Ölauffangwanne gestalten. Bei Verwendung eines Z-Drives läßt man die Profile zum Spiegel hin bis über die Bohrungshöhe anwachsen. Im Motorenbereich wird in dem oberen Gurt ein Flacheisenstab von Motorenlänge eingelegt, der die notwendigen Bolzen trägt. Das Eisen wird sorgfältig mit Glas und Harz überlamiert.

Zchg. 45



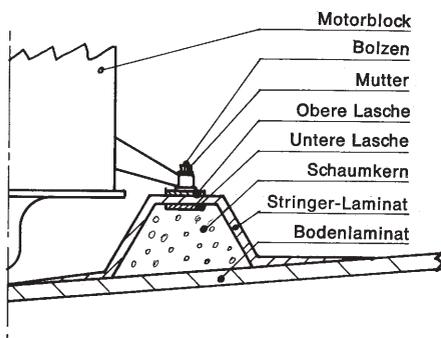
Mittelaussteifung eines Motorbootes

Hier ist das Motorenfundament im Querschnitt eines Bootes dargestellt. Es wird als Längsaussteifung des gesamten Formteils fortgesetzt und läuft im vorderen Bereich des Bootes sanft aus. Neben der Längsaussteifung überträgt es auch die Schubkräfte der Schraube direkt in den Bootsboden, wo der Wasserwiderstand angreift.

Der verlorene Kern wird am schnellsten aus geschlossenzporigem Polyurethan-Schaum (Typ HR der VOSSCHEMIE) im Boot oder separat in einer Trogform hergestellt. Er ist einfach mit einem Messer bearbeitbar und wird ebenso wie PVC-Schaum mit einer Schnellversiegelung behandelt. Dann wird darauf das Verstärkungsprofil aufgeschichtet.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen zwei Möglichkeiten für die Aufhängung von Motor, Getriebe oder Drucklager an Längstringern. Besonders das Drucklager muß sorgfältig an den Stringern befestigt werden, weil es den gesamten Schub der Schraube in den Bootsboden einleitet.

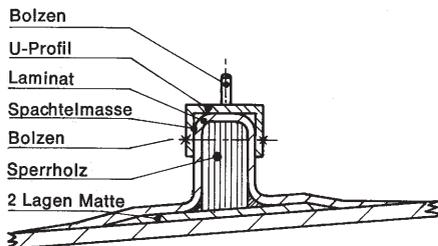
Zchg. 46



Einleiten von Kräften in einen GFK-Stringer

Für große und kleine GFK-Boote geeignet. Motorauflage auf Stringermittte anordnen. Unter dem Obergurt des Stringers ist ein Flachstab mit eingeschweißtem Bolzen einlamiert. Auf dem Obergurt ist eine zweite Lasche aufgelegt. Der Stringerkern besteht aus Polyurethanschaum.

Zchg. 47



Einleiten von Kräften in einen Sperrholz-Stringer

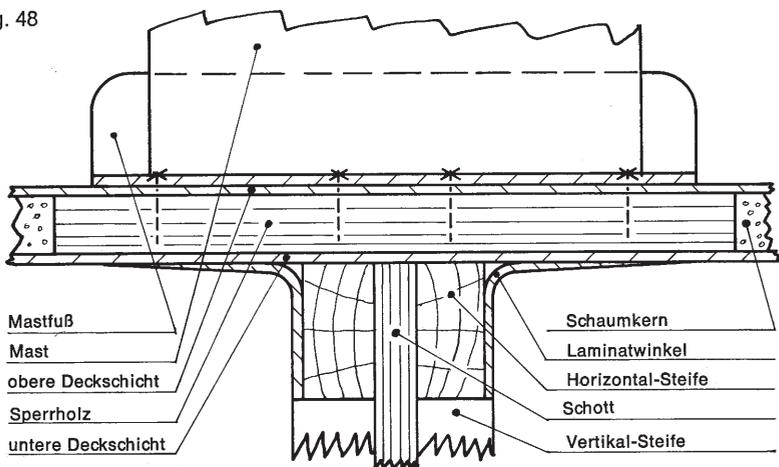
Über den GFK-ummantelten Stringer wird eine U-Schiene gestülpt und verschraubt. Sie trägt auf ihrer Rückseite die Schraubenbolzen. Für guten seitlichen Sitz sorgt Polyester-Spachtelmasse als Distanzausgleich. Nur für kleine Boote geeignet.

Mast an Deck

In der Mehrzahl der Fälle wird die horizontale Decksfläche als Sandwich ausgebildet sein. Dann wird an dieser Stelle der Kernwerkstoff durch Bootsbau-Sperrholz ersetzt. Auf jeden Fall wird unter dem Mast ein Schott oder eine Stütze zur Kraftaufnahme angeordnet.

Das Mastschott steht in dem am meisten beanspruchten Teil des Bootes. Es dient einmal als Auflage für das Deck und wird als Kräfteverteiler für die Rüsteisen der Oberwangen benutzt, deren Kräfte es in den Kielbereich weiterleitet. Man wird ihm also beim Einbau besondere Aufmerksamkeit zukommen lassen.

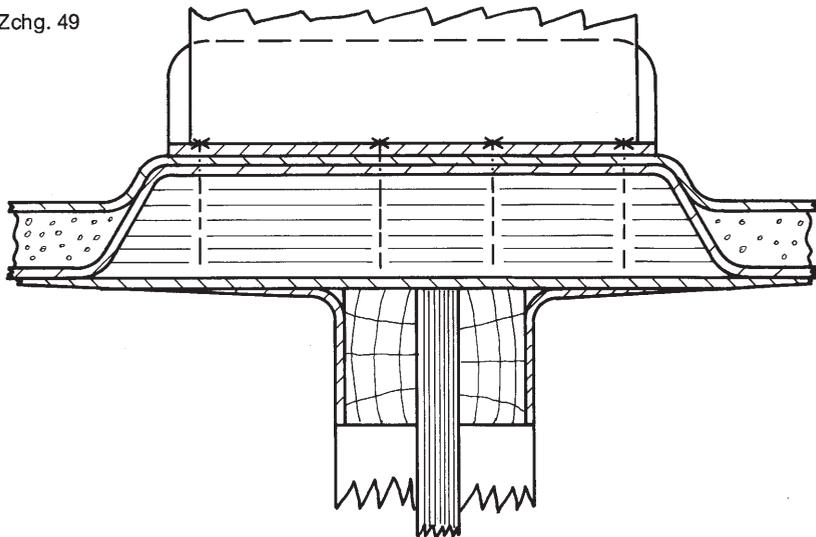
Zchg. 48



Mast auf einem Sandwichdeck

Die einfachste Lösung und die beste, falls am Mast noch stark zu trimmen ist. Im Lastbereich ist Sperrholz als druckfestes Kernmaterial angeordnet.

Zchg. 49



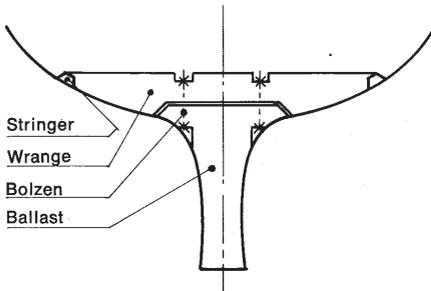
Zusammengeführte Deckschichten im Mastfußbereich

Sehr sichere Konstruktion für Sandwichdecks. Durch das Ansteigen über die obere Sandwich-Deckschicht hinaus wird eine große Steifigkeit gewonnen. Diese Konstruktion kann bei mittleren Booten auch zwischen zwei Schotten angewendet werden. Dieses Prinzip ist auch bei einschaligen Decks anwendbar.

Ballast-Befestigung

Der Ballast einer Yacht hat beim Lageschieben das Bestreben zu seitlicher Bewegung. Je schmaler die Kielwurzel, desto schwieriger wird die Befestigung.

Am besten ist die folgende Befestigung, sofern der Ballast bis unter den Bootsboden reicht. Die aus Sperrholz-Streifen geschnittene und aufgeleimte Bodenwrange liegt mit ihren Spitzen auf einem Längstringerpaar und vermeidet so harte Punkte an den Seiten.

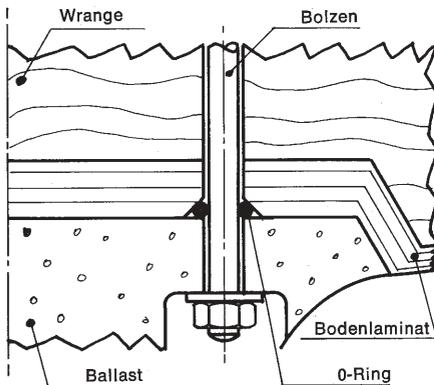


Zschg. 50

Ballast-Befestigung

Der Ballast ist über die Bodenwrange mit den Längstringern verbunden. Dies ist eine mechanisch einwandfreie Lösung. Es bleiben die Bohrungen für die Bolzen in der Außenhaut als leckageverdächtige Durchbrüche.

Bei dieser, wie bei der nächsten Konstruktion legt man O-Ringe oder Silikon-Dichtungsmittel um die Bolzen zur Abdichtung und behält damit Stellen potentieller Undichtigkeit.

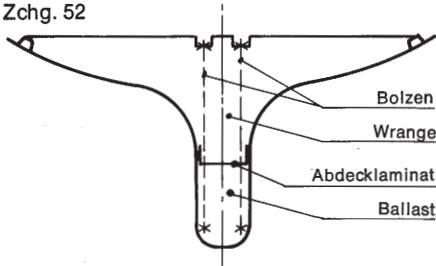


Zschg. 51

Untergebolzter Ballast

Es bleibt die schwierige Abdichtung, die einem oft erhebliche Sorgen machen kann.

Besser ist die angeformte Flosse, die keine Öffnung besitzt. Sie wird meist als Frischwassertank genutzt. Um diese Flosse starr zu machen, wird sie in der Längsrichtung in Schotten von etwa 30 Zentimetern Abstand unterteilt. Diese Schotten können im Tankbereich durchbrochen sein und liegen auf dem ersten Längstringerpaar auf.



Laminat-ummantelter Ballast

Bei dieser Lösung gibt es keine Undichtigkeiten. Dafür erfordert diese Anordnung einige Überlegungen. Der Übergang von der Flosse zum Bootsboden könnte sonst im Laufe der Jahre durch die beim Krängen wachsenden Kräfte ermüden.

Beim Auflaminieren der Flosse läßt man die innerste Lage praktisch unge- tränkt, sie wird nur gegen die feuchte Vorgängerin gedrückt. Füllt man später den Ballast in Form von Blei- oder Stahlstücken ein und vergießt man diese Barren mit sandhaltigem UP-Harz + Härter (8–10 Gew.-Teile Sand + 1 Gew.-Teil AZUR-Harz), so verbindet das Harz die Flossenwände über die ehemals „trockenen Innenmatten“.

Der Ballast wird nach oben hin mit einem Abdecklaminat in Flossenwand- dicke abgedeckt. So erhält man einen (statisch günstigen) Kasten, und der Ballast kann sich nicht mehr rühren. Eine nicht zu schwach gehaltene Tank- decke in Höhe des ersten Stringerpaars vervollständigt diese Lösung zu einem Optimum.

Benzin- und Dieseltanks

Benzintanks aus GFK läßt der GL generell nicht zu, weil sich Kunststoff als Nichtleiter elektrisch aufladen und über Funkenbildung entladen könnte. Im Flugzeugbau werden in Benzintanks Kupferdrähte in Gitterform mit etwa vier mal vier Zentimetern Maschenweite eingelegt, um so eine elektro- statische Aufladung der Kunststofftanks abzuleiten.

Dieseltanks in GFK sind üblich. Werden sie separat über eine Form aus zwei Hälften mit einer G 327 als Feinschicht innen und mit i 25 B oder i 26 B gebaut (lose Tanks), so liegt man auch für den Fall einer Undichtigkeit auf der sicheren Seite. In die Flosse eingeformte Tanks setzen ein sehr exaktes und eine aus N 35 BT + LT 35 B bestehende, gut mit einem Heizlüfter ge- temperte Deckschicht voraus. Man denke bei der Deckelgestaltung an die Armöffnung zum Entfernen des Schmutzes.

Liegen Trinkwasser- und Dieseltanks nebeneinander, so müssen sie durch zwei Wandungen (Kofferdamm) gegeneinander abgegrenzt sein. Diese zwei Wandungen können die beiden Deckschichten eines Sandwichs sein.

Tanks müssen vor Inbetriebnahme sehr gründlich getempert werden (siehe „Dauer und Temperatur bei der Nachhärtung“). Trinkwassertanks werden außerdem mit einem Dampfstrahlgebläse oder wenigstens sehr viel heißem Wasser – nach der Temperung – zusätzlich ausgespült, ehe sie das erste Mal befüllt werden.

Pflege von GFK-Booten

Während Feinschichten (Gelcoat) und LT-Lacke (Topcoat) ihre Schutzfunktion für die darunterliegende Glasharzschicht über lange Jahre vollwertig erfüllen, läßt die Leuchtkraft der Pigmente im Laufe der Zeit nach. Man kennt das von der Ausbesserung eines älteren Autolacks her.

In den ersten Jahren wird die Außenhaut durch Aufpolieren mit Polierpaste PL 16 wieder ansehnlich und zugleich mit einem Wachsfilm versehen. Nach einiger Zeit muß jedoch eine farbliche Auffrischung mit einem Lacksystem vorgenommen werden, das in seiner chemischen und mechanischen Eigenschaft der Deckschicht-Qualität entspricht.

DEDEVOSS-Zweikomponenten-Polyurethanlack besitzt gute Wasser-, Witterungs-, UV- und Abriebbeständigkeit. Er ist in verschiedenen RAL-Farben von der VOSSCHEMIE lieferbar.

Der Lack ist in Zweikammer-Dosen mit 0,5 und 1 Liter Inhalt abgefüllt, die nach dem Durchstoßen der Trennmembrane als Mischgefäß dienen. Bei Teilentnahme werden 3 Volumenteile Stammlack mit einem Volumenteil Härter gründlich vermischt.

DEDEVOSS wird im Überwasserbereich großer Yachten und im Über- und Unterwasserbereich bei Jollen eingesetzt.

Boote, die ständig im Wasser liegen, werden im Unterwasserschiff mit einer Antifouling-Farbe versehen, die den Bewuchs verhindert.

Arbeitsablauf:

Die Oberfläche von Kunststoffbooten soll vollflächig mit Wasserschleifpapier der Körnung 180 oder 220 angeschliffen werden.

Dieser Arbeitsgang führt bei GFK-beschichteten Booten, die noch nicht ganz egalisiert sind, zu einer absolut glatten Oberfläche.

Wird dabei die Deckschicht bis in die Glasharzschicht hinein abgetragen, muß die Deckschicht aus Farbversiegelung + LT-Lack neu aufgebaut werden, damit wieder eine Schichtdicke von 0,5 mm vorhanden ist.

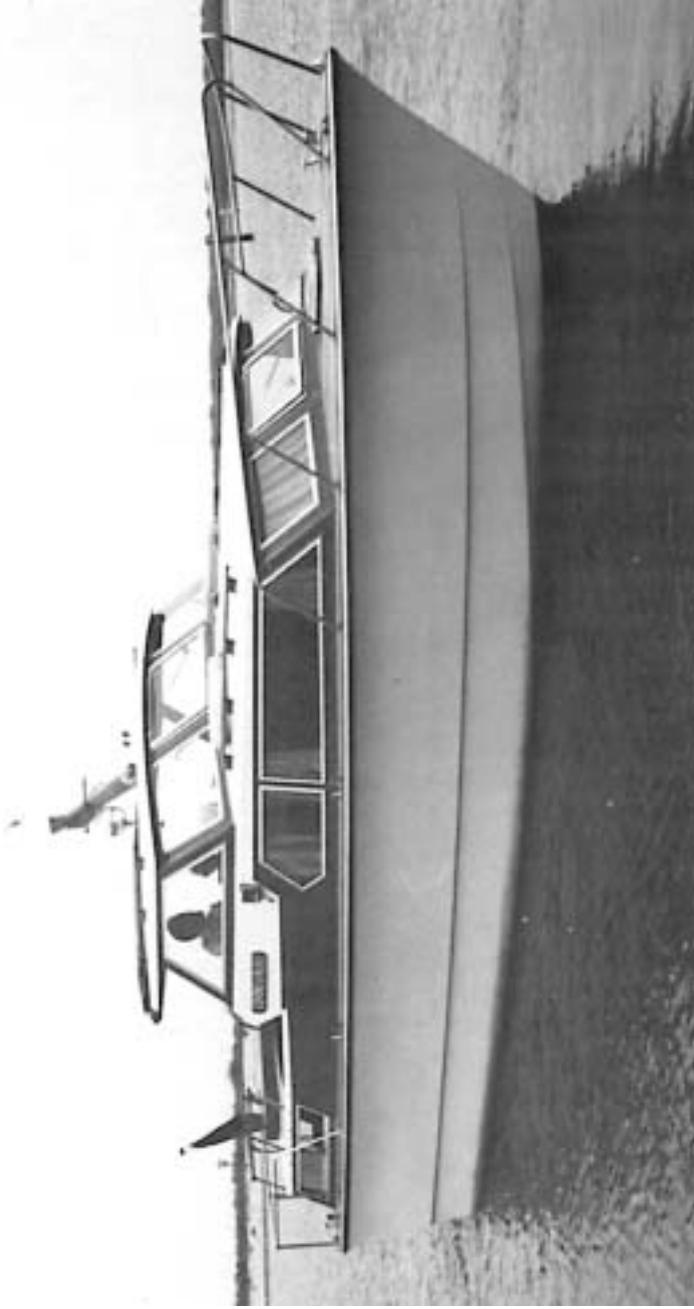
Der Staub ist sehr gründlich mit einem wasserfeuchten Lappen zu entfernen. Die Fläche selbst wird mit Lappen oder Vliesen gründlich abgetrocknet. Vor dem nächsten Arbeitsgang muß der Untergrund einwandfrei trocken sein.

Um eine chemische Verbindung zum Harzuntergrund herzustellen, wird zunächst Zweikomponenten-Glasfiber-Primer aufgetragen.

Nach zwei, maximal drei Stunden erfolgt dann der Farbauftrag mit DEDEVOSS. Innerhalb von 8 bis 48 Stunden wird ohne zusätzliches Anschleifen ein zweiter DEDEVOSS-Anstrich aufgebracht.

Ist ein Boot bereits mit DD-Lack behandelt, so wird der alte Anstrich nur angeschliffen (220er Wasserschleifpapier) und kann dann ohne Haftvermittler neu überstrichen werden.

Bis zum Zuwasserlassen sollen mindestens 10 bis 14 Tage bei einer Mindesttemperatur von 15 °C vergangen sein.



Selbstgebauter Halbgleiter mit 10 m Länge über Alles

Die Yacht ist 3,25 m breit und verdrängt 4,5 t. Mit 80 PS erreicht sie etwa 10 Knoten. Der Finanzbedarf wurde vom Eigner mit 40.000 DM angegeben. Der „Verkehrswert“ dürfte bei etwa 100.000 DM liegen.

Fachausdrücke und ihre Bedeutung

Armieren	Verstärken eines Werkstoffs (z. B. Polyesterharz) durch festere Stoffe, wie z. B. E-Glas.
Barcol-Härte	Amerikanischer Härteprüftest. Geeignet zur Kontrolle von Fertigteilen.
Beschleuniger	Substanzen, die den Zerfall des Härters beschleunigen oder – bei Raumtemperatur – überhaupt erst auslösen.
Brandverhalten	Das Brandverhalten der Kunststoffe wird nach verschiedenen Normen (DIN, ASTM) klassifiziert. Das kann für Rettungsboote, Teile im Bauwesen und für Karosserieteile vorgeschrieben sein.
Duroplast	Chemiestoffe, die nach der Härtung nicht mehr durch Wärmezufuhr schmelzbar sind (z. B. ungesättigte Polyester- und Epoxidharze).
E-Glas	Elektrogas mit besonders geringem Alkali-Anteil und daher guter Wasserbeständigkeit.
E-Modul	Steifigkeit eines Werkstoffs. Die Maßzahl gibt an, bei welcher Spannung ein Körper seine Länge um 1 % ändert.
EP	Epoxidharze
Farbversiegelung (bzw. Schnellversiegelung)	(Eingefärbtes) Harz als Anstrich vor dem Schlußlack, zur Verbesserung der Deckkraft und Vergrößerung der Schutzfilmdicke.
Faserspritzverfahren	Druckloses Verarbeitungsverfahren, bei dem Verstärkung und Harz maschinell auf die Formoberfläche gespritzt werden.
Feinschicht	Harzschicht (evtl. mit Pigmenten) zum Schutz der tragenden Wand aus Harz + Verstärkungsmittel.
Finish	Oberflächenausrüstung zur besseren Haftung von Harz auf E-Glas.
Gelcoat	Siehe Feinschicht.
GFK	Glasfaser-Kunststoff
Glasgehalt	Glasgewicht in Prozent bezogen auf das Gewicht von Glas + Harz.
Glasmatte und Glasgewebe	Verstärkungsmittel für Harz aus E-Glas.

Härter	Zusätze, die die Kettenbildung im Harz herbeiführen (besser: Initiator oder Katalysator). Für Polyesterharze werden dazu Peroxide verwendet.
Handverfahren	Druckloses Verarbeitungsverfahren, bei dem Harz und Verstärkungsmittel getrennt transportiert und erst auf der Formfläche vereinigt werden (Handauflege- oder Kontaktverfahren).
Inhibitor	Verzögerer, sie werden zur Verlängerung der Topfzeit eingesetzt.
Initiatoren	Siehe Härter.
Katalysatoren	Siehe Härter.
kalthärtende Kunststoffe	Stoffe, bei deren Aushärtung keine Wärme zugeführt werden muß.
Laminat	„Schichtstoff“ aus Harz und Verstärkungen.
Laminieren	„Aufschichten“ der einzelnen harzgetränkten Verstärkungslagen auf den Untergrund oder die Form.
LT-Lack	Siehe Schlußlack.
Martensgrad	Physikalische Prüfung über das Stoffverhalten bei höheren Temperaturen.
Matrize	Hohler Teil einer geschlossenen, zweiteiligen (z. B. Preß-) Form.
Matrix	„Mutterstoff“, z. B. Polyesterharz, in den die Verstärkungen eingebettet sind.
Patrize	Erhabener Teil einer geschlossenen, zweiteiligen (z. B. Preß-) Form.
Peroxid	Siehe Härter.
Pigment	Farbgebender Füllstoff.
Polyaddition	z. B. bei Epoxi-Harzen. Die Härtung findet durch Verbindung verschiedenartiger Moleküle statt.
Polymerisation	Erhärtung, z. B. von UP-Harzen, durch Verbindung gleichartiger Moleküle untereinander.
Polymerisationswärme	Bei der Härtung freiwerdende Wärme.
Reaktivität	Verhalten von Harzen bei der Härtung.
Roving	Glasfaserstränge.
Sandwichbau	Siehe Verbundbau.

Schlichte	Oberflächen-Ausrüstung des (Glas-) Fadens für die Herstellung und als (Kunststoff-) Schlichte zur Verbesserung der Harzhaftung.
Schlußlack	Letzte klebfrei-trocknende Harzschicht (evtl. eingefärbt) auf Laminaten.
Schnellversiegelung	Harz zur Herstellung einer 0,5 mm dicken Deckschicht zusammen mit LT-Lacken.
Schrumpf	Volumenänderung bei der Härtung von Kunststoffen, damit also Änderung der Dichte und des spezifischen Gewichts.
Styrol	In Polyesterharzen zu ca. 30 % enthalten. Monomeres, an der Kettenbildung beteiligtes Lösungsmittel.
Temperung	Wärmebehandlung eines gefertigten GFK-Teils, um seinen Aushärtungsgrad zu verbessern.
Thermoplast	Durch Wärmezufuhr schmelzbare Chemiestoffe (PVC u. a.), die bei Abkühlung wieder erhärten.
Thixotropiemittel	Zusätze zum Vermindern der Abfließneigung von z. B. Harzen an senkrechten Flächen.
Topcoat	Siehe Schlußlack.
Topfzeit	Zeitraum von der Härterzugabe bis zum ersten Temperatur-Anstieg im Harz, sog. offene Zeit.
Trennmittel	Verhindern ein Verkleben von Formteil und Form.
UP	Ungesättigte Polyester.
Verbund-Bauweise	Bauweise mit verschiedenen Baustoffen, z. B. GFK-Deckschichten auf einem Schaumkern.
Verbundwerkstoff	Werkstoff aus verschiedenen Teilstoffen (z. B. Glas und Harz), die fest miteinander vereinigt sind.
Verzögerer	Siehe Inhibitor.
Viskosität	Fließverhalten einer Flüssigkeit.
Wärmedehnzahl (linear)	Maß für den Längenzuwachs eines Körpers bei 1 °C Temperatur-Erhöhung.
Weichmacher	Stoffe zur Plastifizierung. Bei Härtern werden Weichmacher zur Herabsetzung der Brandgefahr beigegeben.
Zykluszeit	Die Zeitspanne, die für die Herstellung eines Werkstücks und für die Herrichtung der Form (Rüstzeit) benötigt wird.

Literatur-Verzeichnis

- | | |
|--|---|
| (1a) Wie konstruiert und baut man ein Boot | Dipl.-Schiffbau-Ing. Karl Marconi
Verlag Delius, Klasing & Co. |
| (1b) Segelsport, Segeltechnik, Segel-yachten | Juan Baader
Verlag Delius, Klasing & Co. |
| (1c) Motorkreuzer und schnelle Sport-boote | Juan Baader
Verlag Delius, Klasing & Co. |
| (2) Ausbau von Rümpfen | Hans Donat
Verlag Delius, Klasing & Co. |
| (3) Wirtschaftlichkeit einiger Ferti-gungsverfahren | Vortrag von Schiffbau-Ing.
H. D. Scharping, VDJ-Tagung
„Kunststoffe im Bootsbau“,
Hamburg 1975 |
| (4) Einfluß des Reststyrolgehaltes auf LEGUVAL®-Formstoffe | Informationen, Bayer A. G. |
| (5) Ursache und Vermeidung von Blasenbildung | Vortrag von E. Lüttmann, VDJ-Tagung „Kunststoffe im Bootsbau“, Hamburg 1975 |
| (6) Bemessungsgrundlagen im GFK-Bootsbau | Vortrag von Rolf Lehmsch, G. L., VDJ-Tagung „Kunststoffe im Bootsbau“, Hamburg 1975 |
| (7) Auszug aus dem Leistungsblatt „Glasfaserverstärkter Kunststoff“, für den Fahrzeugbau | Studiengesellschaft „Leichtbau der Verkehrsfahrzeuge“ |
| (8) Vorschriften für den Bau und die Klassifikation von Yachten, Band I | Selbstverlag Germanischer Lloyd,
Neuer Wall 86, 2000 Hamburg 36,
Tel. (0 40) 36 14 91 |
| (9) Konstruieren mit Kunststoffen | Rainer Tapprogge, VDJ-Verlag
G.m.b.H. Düsseldorf |
| (10) Beitrag zum Stand der Technik der glasfaserverstärkten Kunststoffe | Neitzel und Ehrenstein, Mitteilung aus dem Institut A für Werkstoffkunde der T. H. Hannover |
| (11) Gestalten und Konstruieren mit glasfaserverstärktem LEGUVAL® | Broschüre der Bayer A. G. |
| (12) Bau Dein Boot selbst | Walter Drümecker,
Verlag Delius, Klasing & Co. |
| (13) Technisches Merkblatt LEGUVAL® N 50 | Bayer A. G. |

