

Herstellung eines
TRICKSKIS
in Wabenbauweise



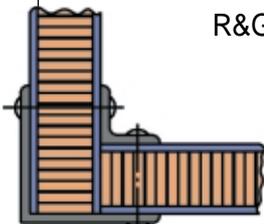
von Manuel Mlinek



Faserverbundwerkstoffe

R&G Faserverbundwerkstoffe GmbH · Im Meißel 7 + 13 · D-71111 Waldenbuch
Fon 07157-530460 · Fax 07157-530470 · www.r-g.de

Bestell-Nr. 900 260-1



Einleitung

Der Einsatz von hochfesten Leichtbauteilen aus Kohlefaser-Wabenkonstruktionen war wegen der hohen Herstellkosten und des ehemals hohen Materialpreises fast ausschließlich militärischen Zwecken oder dem Bereich der Luft-/Raumfahrttechnik vorbehalten. Die Kerne bei Leitwerken von Flugzeugen werden aus einem leichten Wabenmaterial zur Profilgebung geformt, die darauffolgende Schicht aus Kohlefaser gibt der Konstruktion die nötige Festigkeit. Bei Satelliten wird das Chassis zur Aufnahme der Versuchsgeräte aus Waben aufgebaut und mit einer Kohlefaserschicht die nötige Steifigkeit erreicht.

Durch den verbreiteten Einsatz von Leichtbauwerkstoffen in „zivilen“ Bereichen konnten die Herstellkosten für Kohlefaser-/Aramidfasergewebe und Waben gesenkt werden. Gleichzeitig wurde das Angebot an verschiedenen Gewebearten und -dicken erhöht. Als Einsatzbereiche wäre zu nennen der Schiffbau (Boote und Yachten), Rennsport, Flugzeugbau, diverse Sportbereiche (Ski, Wassersport, Radsport ...), Campingbereich und überall dort, wo durch Gewichtsersparnis bei gleicher oder höherer Festigkeit Vorteile gegenüber Metallkonstruktionen denkbar sind.

Thema dieser Broschüre ist der Umgang mit ca. 12 mm dicken Aramidwaben. Am Beispiel eines Trickski wird der Einsatz und Umgang von Hochleistungswerkstoffen demonstriert. Die Konstruktionschritte sind dabei möglichst allgemein gehalten. Die vielen Tricks rund um die Verarbeitung von Waben sollen dem Leser die Möglichkeit geben, selbst mit Waben in einem individuellen Anwendungsbereich zu arbeiten.

Erklärung der Sandwichbauweise

Ein Beispiel aus dem Alltag: Ein Blatt Papier ist stabil gegen Zugbelastungen. Legt man es an zwei Seiten auf eine Erhöhung, biegt sich das Blatt jedoch durch das Eigengewicht sehr stark durch. Verwendet man stattdessen zwei Blätter Papier, die durch eine gewellte Zwischenlage Papier miteinander verbunden sind, so erhält man eine steife Unterlage, die neben dem Eigengewicht imstande ist, zusätzliche Lasten zu tragen. Jeder von uns kennt dieses Phänomen unter dem Begriff „Wellpappe“, die sich in allen möglichen Verpackungen findet. Durch die richtige Dimensionierung der äußeren Schichten sowie der Wellschicht lassen sich schwere Lasten tragen.

Zum Verständnis: Die beiden äußeren Schichten übertragen Zug- und Druckbelastungen und können daher wesentlich dünner als der Kern ausgeführt werden. Der Kern übernimmt den Abstand der beiden äußeren Schichten und nimmt Schubbelastungen auf. Die typische Bezeichnung für den Aufbau eines Teils aus einem Kern und zwei Schalen nennt man Sandwichbauweise.

Die Schalen werden aus faserverstärktem Kunststoff (GFK, AFK, CFK) maschinell oder von Hand laminiert. Zum Einsatz kommt in der Regel Epoxyd- oder Polyesterharz, das mit Glas-, Aramid- oder Kohlefaserewebe kombiniert, die Außenhaut des Sandwichs bildet.

Als Kernmaterial bieten sich eine Vielzahl von Werkstoffen an, wie z.B.: Styropor®, Rohacell®, Styrodur®, Balsaholz, Aluminiumwaben und Aramidwaben.

Die Werkstoffpaarung „Außenhaut - Kern“ ist abhängig von den gewünschten Bauteileigenschaften. Auf preisgünstiges Kernmaterial (Styropor, Styrodur, Balsaholz) wird gerne mit Glasewebe laminiert. Bei hochfesten und höchstbelasteten Teilen mit Wabenkernen wird ein Laminat aus Kohle- bzw. Aramidfaser bevorzugt. Bei Wassersportgeräten wird als Kernmaterial eine Wabenstruktur aus Aluminium, kombiniert mit einer Aluminiumhaut verwendet. Wabenstrukturen bieten bei geringstem Kerngewicht die höchste Festigkeit. Vorteil dieser Sandwichbauweise ist die industrielle Fertigungsmöglichkeit bei relativ geringen Kosten. Um Konturen in einen Wasserski (Wakeboard) zu geben, wird der Aluminium-

kern einfach in eine entsprechende Form gepresst. Die einzelnen Wabenzellen können dabei ein hohes Maß an Verformungsenergie aufnehmen. Nachteil ist, daß sich auf der Boardunterseite sehr schnell Eindellungen durch Unregelmäßigkeiten (Steine o.ä.) im Untergrund oder durch unsachgemäße Lagerung bilden können. Eine sinnvolle Kombination von Deckschicht und Kernmaterial ergibt sich durch die Verwendung von Aramidwaben und einem Laminat aus Kohlefaserewebe mit Epoxydharz. Der Verarbeitungsaufwand ist etwas höher als bei Aluminiumkomponenten. Das Teilgewicht reduziert sich jedoch bei meist höherer Festigkeit. Für die Formgebung des Aramidwabenkernes sind keine teuren Presswerkzeuge erforderlich. Konturen können mit elektrischen Fräs- oder Schneidwerkzeugen oder mit groben Sandpapier eingearbeitet werden.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß das Laminat bei kurzzeitiger Überbeanspruchung keine erkennbaren Verformungen aufweist.

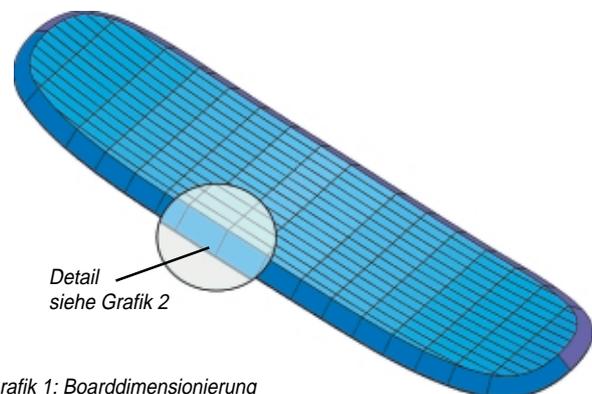


Abbildung 1: Bearbeitungswerkzeuge für Aramidwaben: Laubsäge mit feinen Metallsägeblättern, Schleifpapierfeile, Schleifpapier mit verschiedenen Körnungen, elektrische Werkzeuge mit Fräs- und Schneidwerkzeugen, diverse Arten von scharfen Messern.

Auslegung des Trickskis

Wabendimensionierung

Die Dimensionierung des Wabenkerns ist abhängig vom Einsatzbereich. Waben sind bei R&G erhältlich mit einem Raumgewicht ab 29 kg/m³ mit einer Zellweite von 3,2 mm.



Grafik 1: Boarddimensionierung

Der Trickski ist insgesamt nur ca. 14 mm dick. Rechnet man für die Deckschichten und die Lamine auf beiden Seiten ca. 1,5 mm Dicke, verbleiben für die Stärke des Wabenkerns ca. 12,5 mm. Um bei einer Skilänge von über einem Meter trotzdem genügend

Steifigkeit in das Board zu bekommen, erscheint es sinnvoll, Waben mit größerer Wandstärke zu verwenden. Die Wahl fällt deshalb folgendermaßen aus:

- Aramidwabe mit Zelldurchmesser 3,2 mm
- Raumgewicht 64 kg/m³
- Dicke ca. 12,5 mm

Gewebedimensionierung

Ziel soll es sein, einen möglichst leichten Ski mit sehr guten Festigkeitswerten zu bauen. Die Verwendung von Glasgewebe scheidet somit wegen des hohen Gewichts aus. Aramidgewebe ist zwar etwas leichter als Kohlegewebe; die schwierige Verarbeitung von Aramidgewebe (Spezialwerkzeuge sind erforderlich), die Delaminationsgefahr und die UV-Empfindlichkeit sprechen gegen den Einsatz dieses Werkstoffes.

Kohlegewebe weist gegenüber Glasgewebe ca. 30 % weniger Gewicht auf und ist gegenüber Aramidgewebe erheblich leichter zu verarbeiten. R&G bietet Kohlegewebe mit einem Gewicht von 65 g/m² bis 420 g/m² an. Für den Trickski ist das Köpergewebe mit einem Gewicht von 204 g/m² am Besten geeignet. Drei Schichten auf Boardober- und Unterseite ergeben das ideale Verhältnis aus Gewicht und Festigkeit.

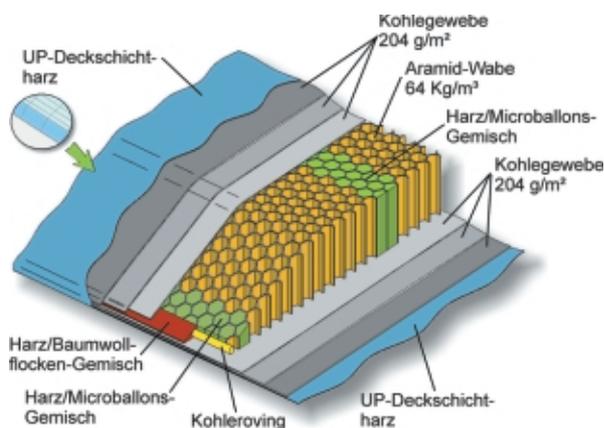
Matrixsystem

Um den Kern mit dem Kohlegewebe zu verbinden, bedarf es einer Matrix, eines Bindemittels, um die im Betrieb auftretenden Kräfte auf die einzelnen Komponenten zu verteilen. Das Epoxydharz L20 von R&G entspricht den hohen Festigkeitsanforderungen optimal im Zusammenwirken mit dem Härter VE3261, der eine Verarbeitungszeit von bis zu 90 Minuten zulässt. Dieses Epoxydharz bietet außerdem die Option zur Warmhärtung, was noch einen weiteren Festigkeitszuwachs von ca. 10 % zur Folge hat (bei der Auslegung des Trickskis ist das aber nicht unbedingt erforderlich).

Der generelle Aufbau des Trickskis

Vorgehensweise

Das Board erhält auf der Unterseite zunächst einen UP-Vorgelat-Anstrich. Dadurch wird das darunterliegende hochwertige Kohlefaserlaminat vor Verschmutzung, UV-Strahlung und mechanischen Einwirkungen (Kratzern) geschützt. Das UP-Vorgelat von R&G läßt sich hervorragend schleifen und hochglanzpolieren. Es ist kratzfester als Epoxydharz und zeichnet sich durch eine geringe Feuchtigkeitsaufnahme aus. Das Laminat auf der Boardunterseite besteht aus 3 Lagen Kohle-Gewebe (204 g/m², Köper).



Grafik 2: Der Innenaufbau des Trickskis

Alle drei Lagen werden in Längsrichtung laminiert. Zuerst werden zwei Schichten laminiert und ca. 24 Stunden ausgehärtet. Auf die dritte, noch „nasse“ Gewebeschicht wird unmittelbar die Wabe aufgelegt und dadurch fest mit den drei unteren Schichten verklebt. Durch die Kapillarwirkung gelangt flüssiges Harz aus der dritten Gewebeschicht an die Wabe und bildet so eine Kehlnaht zwischen Laminat und Wabekern. Für eine sichere Verbindung ist eine gleichmäßig getränkte Gewebeschicht maßgeblich, nicht die Menge an überschüssigem Harz. Im nächsten Arbeitsschritt folgen die Verstärkungen in der Aramidwabe für die Befestigungsschrauben der Bindung (Siehe auch: Verstärkungen in Waben). Zur Erhöhung der Längssteifigkeit des Boards werden zwei Wabenreihen mit einem Harz/Microballons-Gemisch aufgefüllt.

Der Kantenbereich wird mit einem Kohleroving verstärkt und zusätzlich mit einem Harz/Baumwollflockengemisch verstrichen. Die Oberseite des Boards wird, wie die Unterseite, mit drei Lagen Kohlegewebe versehen, im Trittbereich folgt eine vierte Schicht als zusätzliche Versteifung.

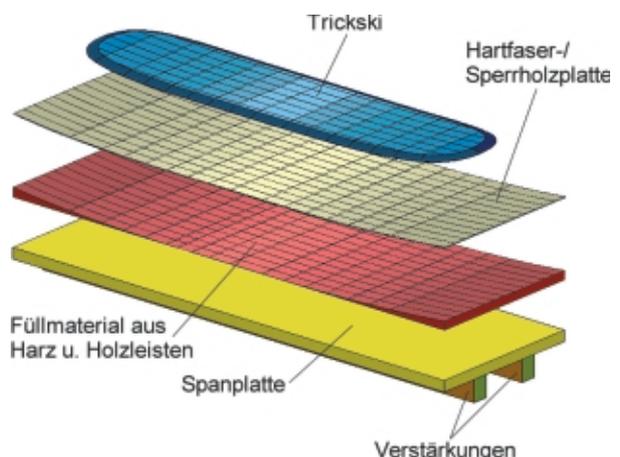
Welches Material und welche Werkzeuge sind notwendig ?

Folgendes Material wird für die Erstellung des Trickskis benötigt:

- 3 m Kohlefasergewebe 204 g/m²
- Harz 1 kg + Härter
- UP-Vorgelat
- Wabe 64 kg/m³ (alternativ 29 kg/m³), ca. 0,5 m²
- Dosierspritzen zum Mischen des Harzes
- Form
- Pinsel
- Vakuumpumpe
- Folienschlauch
- Heizlüfter (nicht unbedingt erforderlich)

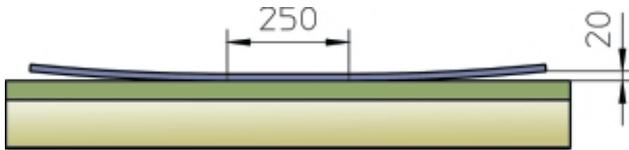
Die Form

Für die Form findet der Abschnitt einer 4 cm dicken Spanplatte (z.B. eine Küchenplatte) Verwendung. Die Platte wird so zugeschnitten, daß um das Bauteil noch ein Rand von ca. 50 mm verbleibt (hier: ca. 450 x 1160 mm). Der Rand wird zum Abdichten der Form für das Verpressen des Skis im Vakuum benötigt. An die Unterseite werden zwei Holme (4 x 10 cm) angeklebt. Dadurch wird die Form sehr robust und unempfindlich gegen Verbiegungen und Verwindungen.



Grafik 3: Aufbau der Form

Auf die Spanplatte wird eine ca. 4 mm dicke Sperrholz- oder beschichtete Hartfaserplatte aufgelegt, die links und rechts um ca. 20 mm aufgebogen und mit Leisten unterstützt wird. Der mittlere Bereich der Hartfaserplatte bleibt auf einer Länge von ca. 250 mm in direktem Kontakt mit der Spanplatte.



Grafik 4: Geometriebestimmung der Form

Die gegebene Kontur gleicht sehr dem unterseitigen Profil eines Trickskis. Für ein Feintuning des Shapes kann man sich an vorhandenen Trickskiern orientieren.

Wichtig ist, daß auf der Oberfläche der Hartfaserplatte keine Verdrehungen erkennbar sind. Diese würden wie ein überdimensionales Querruder wirken und die Fahrcharakteristik des Boards negativ beeinträchtigen. Man kann die Geradheit der Oberfläche durch das Auflegen von zwei ca. 1m langen (geraden) Latten überprüfen. Die Latten werden parallel im Abstand von ca. 20 cm an unterschiedlichen Stellen auf die Form aufgelegt.



Abbildung 2: Geradheitskontrolle mittels zweier Leisten

Die Form ist jetzt noch nicht besonders druckstabil - die Freiräume zwischen Hartfaserplatte und Spanplatte werden, so weit es geht, mit Holzleisten aufgefüllt und anschließend die verbleibenden Zwischenräume mit Harz aufgegossen. Nach 24 Stunden ist die Form belastungsfähig.

Vakuumverpressen

Funktionsweise: Das zu verpressende Bauteil wird in einer Folie vakuumdicht verpackt. Anschließend wird die Luft aus der Folie abgesaugt. Hierbei werden gleichmäßige Unterdrücke von 0,4 bis 0,9 bar erreicht. Kleinere Bauteile werden komplett mit Form in einen Vakuumsack gegeben, bei sperrigen, eckigen Bauteilen erfolgt die Abdichtung auf der Oberseite der Form. Die von R&G angebotenen Pumpen eignen sich sehr gut. Die preiswertere Variante P1 ist für unsere Anwendung vollkommen ausreichend.

Der Zweck: durch das Verpressen im Vakuum wird sichergestellt, daß zwischen den einzelnen Laminatschichten keine Hohlräume entstehen. Die Laminatschichten werden sicher aufeinandergepresst. Dadurch ist höchste Festigkeit des Laminates gewährleistet.

Durch das Absaugen der Luft werden eventuell entstandene Luftblasen aus dem Harz, bzw. dem Laminat herausgesaugt. Das überschüssige Harz wird durch den Unterdruck durch eine Lochfolie gepresst und von einem Saugvlies aufgenommen. Damit ist gewährleistet, daß nur das wirklich benötigte Harz im Laminat zurückbleibt, und ein optimales Gewichts- und Festigkeitsverhältnis erzielt wird.

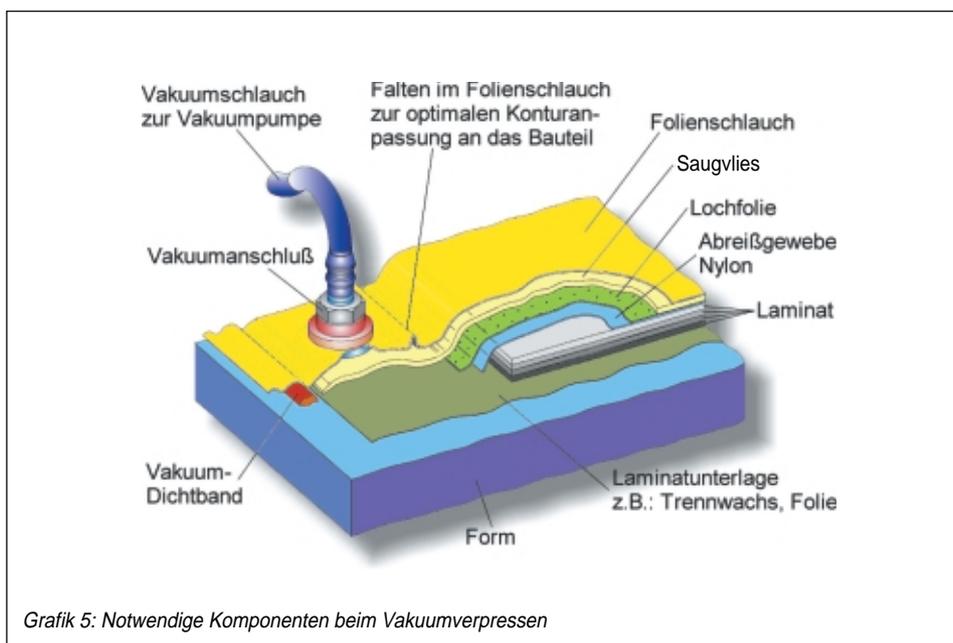
Funktion der einzelnen Schichten

Abreißgewebe

Es besteht aus Nylon. Es wird auf die letzte „nasse“ Laminatschicht aufgelegt. Nach dem Aushärten des Laminates wird das Abreißgewebe vom Laminat heruntergerissen (vorsichtig und in möglichst flachem Winkel). Die verbleibende rauhe Struktur des Abreißgewebes auf dem Laminat kann sofort für weitere Verklebungen verwendet werden. Man spart sich dadurch das Aufrauen (Anschleifen) und Entfetten der Oberfläche für weitere Klebe- oder Lackiervorgänge.

Lochfolie

Wie oben beschrieben wird überschüssiges Harz durch die Lochfolie gepresst. Die Lochfolie dient als Kopplungsglied zwischen



Grafik 5: Notwendige Komponenten beim Vakuumverpressen

Abreißgewebe und Saugvlies. Sie kann mehrfach wiederverwendet werden. Der Abstand der Löcher ist mitentscheidend für die Absaugfähigkeit von überschüssigem Harz.

Saugvlies

Das Saugvlies dient zur Aufnahme des überschüssigen Harzes. Durch die Dicke des Saugvlieses wird sichergestellt, daß überall ein genügend großer Abstand zwischen Foliensack und der Lochfolie besteht, so daß die überschüssige Luft auch wirklich überall abgesaugt werden kann. Das Saugvlies kann mehrfach wiederverwendet werden. Man sollte jedoch bedenken, daß das Vlies durch das Aufsaugen des Harzes zunehmend steifer wird und sich damit nicht mehr so leicht allen Konturen anpasst.

Vakuumschluß

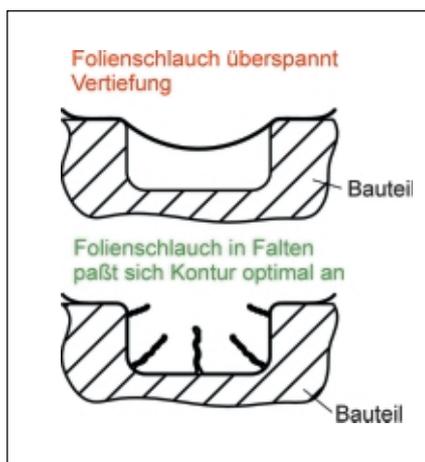
Der Vakuumschluß kann aus einem Vakuumschlauch bestehen, der in den Foliensack eingelegt und mit Silicon abgedichtet wird. Etwas komfortabler geht es mit einem Vakuumschlußadapter von R&G, der einfach in den Foliensack eingeschraubt wird. Wichtig bei beiden Varianten ist, daß die Öffnung des Anschlusses auf das Saugvlies gebettet wird. Durch die Vakuumwirkung würde sonst der Foliensack rings um den Anschluß abdichten und die Luft vielleicht nicht überall vollständig abgesaugt.

Abdichtmaterial

Als Abdichtmaterial empfiehlt sich das Vakuumdichtband von R&G. Es ist sehr flexibel und paßt sich Formunregelmäßigkeiten sehr gut an. Mit etwas mehr Aufwand läßt sich auch Silikon verarbeiten.

Folienschlauch

Für die Vakuumfolie eignet sich jede Baufolie mit einer Dicke von ca. 0,2 mm. Dünnere Folien neigen bei leistungsstärkeren Vakuumpumpen zum Reißen. Bei dickeren Folien (über 0,2 mm Stärke) besteht die Gefahr, daß sie sich nicht genügend an die Form des Bauteils anpassen. Der Folienschlauch R&G ist optimal abgestimmt und eignet sich auch hervorragend zur Erstellung von Lochfolien. Beim Verpacken des Laminates/ Werkstücks in den Foliensack ist darauf zu achten, daß auf der Bauteilseite der Foliensack großzügig in Falten gelegt wird. Dies verhindert ein direktes Überspannen von Vertiefungen und vermeidet Fehlstellen im Laminat.

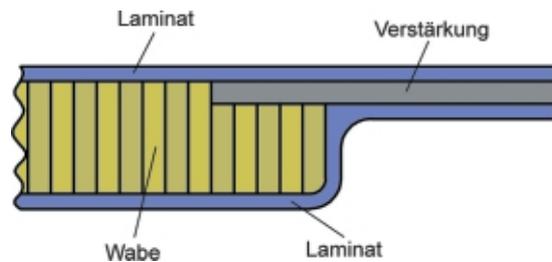


Grafik 6: Wird der Foliensack mit großzügigen Falten über das Werkstück gelegt, werden Überspannungen von Vertiefungen vermieden. Alternativ eignet sich auch R&G Vakuumfolie oder das R&G Latex-Gummituch, die sich aufgrund der hohen Dehnfähigkeit meist völlig faltenfrei anlegen.

Gestaltung von Kanten mit Waben

Die Kanten bei einem Wabensandwich können auf sehr unterschiedliche Weise gestaltet werden. Hier gilt es auch wieder den Einsatzbereich zu betrachten: Ein Anwender, der in seinem Wohnmobil oder auf einem Boot eine Wabenkonstruktion einsetzt, stellt mit Sicherheit andere Ansprüche an die Kantengestaltung als jemand, der einen Wasserski bauen möchte.

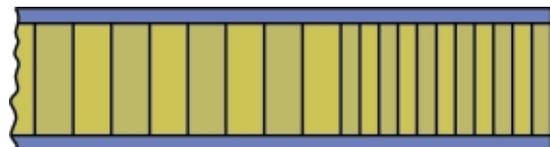
Die hier dargestellten Kantengestaltungen zeigen eine Auswahl an Gestaltungsmöglichkeiten für vielseitige Einsatzbereiche:



Grafik 7: Verstärkung mit Flachprofil

In den Verbund wird eine Verstärkung (durch mehrere Schichten GFK/ CFK oder durch ein Metallprofil) eingearbeitet. Zu berücksichtigen sind hier die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Laminat und dem eingelegten Verstärkungsmaterial.

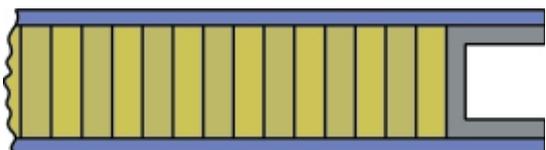
Vorteil: Das Paneel läßt sich hervorragend in Vertiefungen einlegen. Beim Verschrauben im Bereich der Abflachung wird der Wabekern durch unsachgemäßes Anziehen von Schrauben nicht in Mitleidenschaft gezogen.



Grafik 8: Verstärkung durch die Verwendung von Waben mit höherem Raumgewicht

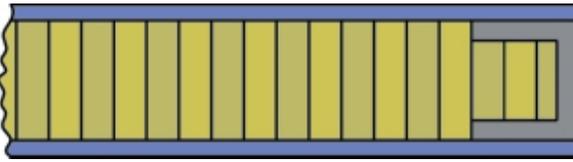
Um im Randbereich eine erhöhte Festigkeit zu erreichen, wird hier eine Wabe mit ca. 64 kg/m³ eingesetzt, im inneren Bereich eine Wabe mit ca. 29 kg/m³.

Vorteil: Einfache Fertigung, weil die Wabe frei von spanender Bearbeitung bleibt. Eine kostengünstige Fertigung durch die Verwendung von Waben mit handelsüblichen Raumgewichten ist gewährleistet.



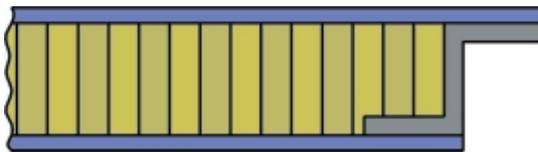
Grafik 9: Verstärkung durch Metallprofil

Den Kantenabschluß bildet ein U-Profil. Vorteil: Die Bearbeitung der Wabe entfällt. Eine schnelle und kostengünstige Fertigung ist damit gewährleistet. Das Paneel läßt sich durch das U-Profil in einer Schiene führen. Denkbar wäre ein Einsatz als „ausziehbarer Tisch“ im Campingbereich, oder für den Büroeinsatz (Ausziehboard für die Computertastatur).



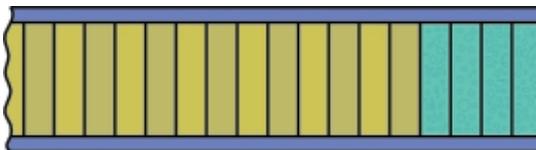
Grafik 10: erschwerte Fertigung mit Profil

Bei Drehung des U-Profils um 180° erhält man mit Sicherheit die schönste Außenkante, die man sich vorstellen kann. Entscheidender Nachteil: Der Wabenkern muß sowohl auf der Ober- als auch auf der Unterseite mechanisch bearbeitet (abgefräst) werden.



Grafik 11: S-förmiges Metallprofil

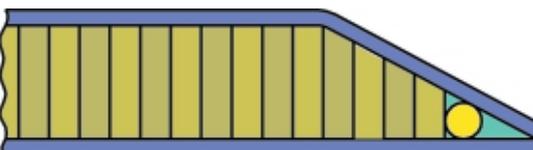
Der Verarbeitungsaufwand ist ähnlich wie bei Grafik 7. Durch das S-förmige Profil ist eine höhere Steifigkeit zu erwarten. Im Auflagebereich befindet sich keine störende Laminatschicht, die verletzt werden könnte. So gestaltete Platten lassen sich gut im Trittbereich (Bodenplatten) einsetzen.



Grafik 12: Auffüllen der Zellen mit Harz

Die Wabenzellen im Randbereich werden mit einem Gemisch aus Harz/Microballons/Baumwollflocken aufgefüllt und ergeben so einen festen Verbund zwischen unterer und oberer Laminatschicht.

Vorteil: Der Wabenkern muß nicht zusätzlich bearbeitet werden. Alle verwendeten Materialien haben annähernd den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Die Herstellung ist, abgesehen vom erhöhten Harzverbrauch im Randbereich, sehr kostengünstig.



Grafik 13: Verstärkung mit Roving

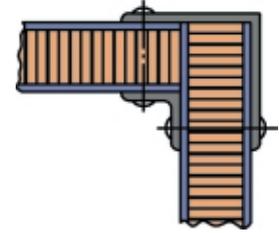
Gleiche Vorgehensweise, wie bei Grafik 12. Der Kantenbereich wird zusätzlich mit einem Roving (gelber Kreis) aus Glas-/ Kohle- oder Aramidfaser verstärkt.

Gestaltung von Verbindungen mit Waben

a) lösbare Verbindungen

Die Wabenplatten werden mit **zwei Winkelprofilen** miteinander verschraubt oder vernietet. Diese Verbindungsmöglichkeit ist für Standardwinkel sehr gut geeignet und erweist sich als sehr steif.

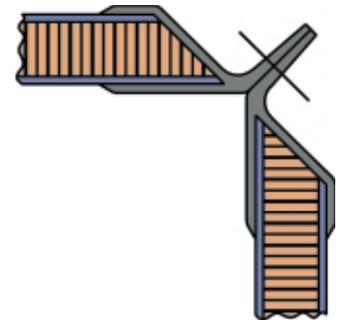
Der Gewichtsvorteil durch die Waben wird teilweise durch das Gewicht der Profile kompensiert. Die Waben müssen im Bereich der Schrauben verstärkt werden.



Grafik 14: Eckverbindung mit Schrauben oder Nieten

Das **Verschrauben** ist von der Wabendicke unabhängig. Der Wabenkern wird durch zu fest angezogene Schrauben nicht zerstört. Ein Verstärken einzelner Wabenzellen ist nicht erforderlich. Zwischen die Profile kann eine Dichtung mit eingearbeitet werden.

Durch die Formgebung der Profile können unterschiedliche Winkel realisiert werden.



Grafik 15: Außenseitiges Verschrauben

Die Verschraubung erfolgt immer von außen.

b) nicht lösbare Verbindungen

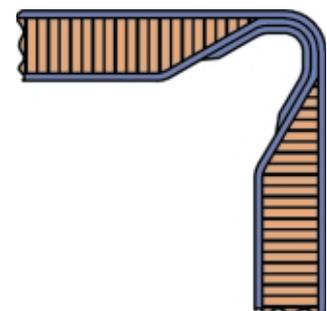
Diese extreme Leichtbauweise vermeidet materialfremde Verbindungselemente.

Die Herstellung ist bei niedrigen Kosten relativ einfach. Im Kantenbereich ist eine Verstärkung der Wabenzellen durch ein Harz/Microballons-Gemisch empfehlenswert.



Grafik 16: Sehr leichte Verbindung

Alle Kräfte werden im Kantenbereich auf das Laminat übertragen. Die Eckverbindung ist flexibel und erlaubt so den Ausgleich von Toleranzen.

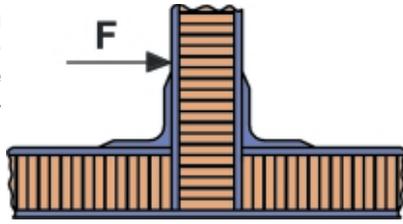


Grafik 17: flexible Eckverbindung

c) T-Stoß-Verbindungen

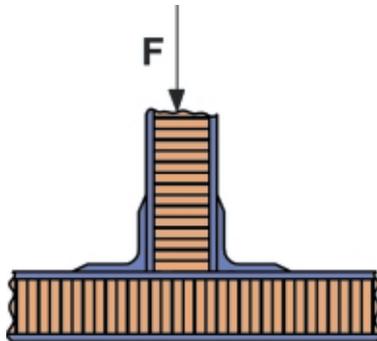
Welche Art von T-Stoßverbindung zum Einsatz kommt, ist im wesentlichen abhängig von den Kräften, die übertragen werden müssen, vom Design und von der erforderlichen Biegefestigkeit.

Diese Verbindung eignet sich hervorragend für die Übertragung horizontaler Kräfte. Alle Platten sind bereits mit Laminatschicht vorhanden und werden in Modulbauweise zusammengesetzt. Mit Winkeln (laminiert oder Profile) wird die Biegefestigkeit erhöht. Die Unterseite kann zusätzlich mit einer durchgehenden Laminatschicht versehen werden.



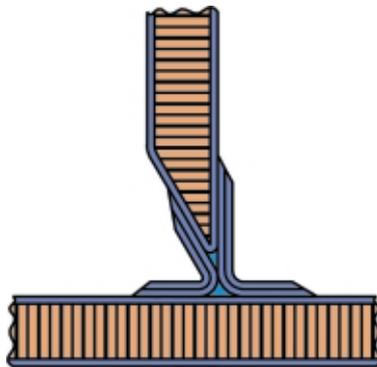
Grafik 18: T-Stoß zur Aufnahme von Querkraften

Diese Verbindung eignet sich für die Einleitung vertikaler Kräfte. Die vertikal angeordnete Wabe mit Laminat ist so auszulegen, daß ein ausreichender Schutz gegen Knicken vorhanden ist.



Grafik 19: T-Stoß zur Aufnahme von Druckkräften

So hergestellte Wabenverbindungen erlauben den Ausgleich von Winkeltoleranzen. Die Verbindung ist flexibel. Der Zugschnitt der vertikalen Wabe erfordert keine hohe Präzision. Toleranzen werden durch die laminierten Winkel kompensiert. Alternativ wäre hier auch eine Verschraubung denkbar.



Grafik 20: T-Stoß zum Ausgleich von Winkeltoleranzen

Verstärkungen mit Waben

a) Verstärkungen mit Harz-/Baumwollflockengemisch

Zur Verstärkung von Teilbereichen der Waben eignet sich ein Kleber aus Harz und verschiedenen Füllstoffen:

Microballons: Zur Herstellung eines leichten Füllspachtels. Nach der Aushärtung läßt sich der Spachtel leicht bearbeiten (schleifen).

Baumwollflocken: Sie erhöhen die Festigkeit (Zug- und Druckfestigkeit) und thixotropieren das Harz, so daß es nicht abläuft.

Harz-/Baumwollflockengemisch



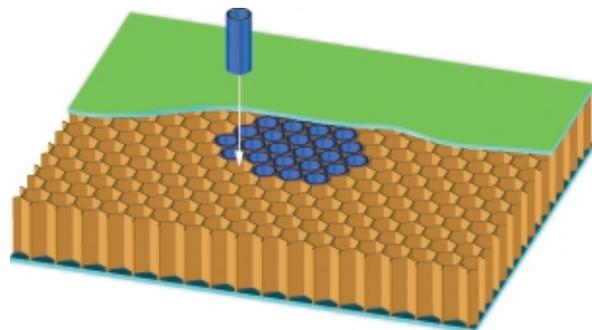
Abbildung 03: Verstärkung aus Harz/Baumwollflockengemisch

b) Verstärkung mit Einsätzen

Besonders druckstabile Wabenverstärkungen erhält man durch Einsetzen von Stiften oder Röhrcchen in jeweils eine Wabenzelle. Interessant wird diese Verstärkungstechnik bei Wabenstärken ab ca. 8 mm Dicke bei Zelldurchmessern ab 3,2 mm.

Bei Zelldurchmessern um ca. 3,2 mm kommen massive Stifte aus GFK oder CFK zum Einsatz, ab 5 mm Zelldurchmesser können Röhrcchen aus CFK oder GFK verwendet werden. Dies spart zusätzlich Gewicht, verleiht der Wabenkonstruktion im verstärkten Bereich höchste Druckstabilität und ist geeignet für Schraubverbindungen.

Die Röhrcchen werden mit Harz vorgetränkt und anschließend in die Wabenzellen eingesetzt. Der Harzanteil bleibt dadurch minimal.

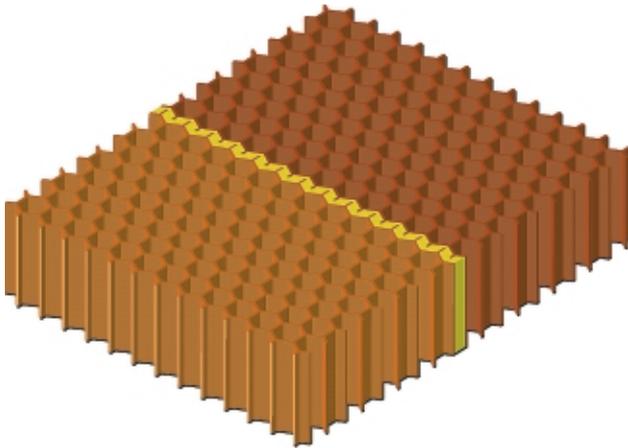


Grafik 21: Wabe wird mit Kohlefaserröhrcchen verstärkt

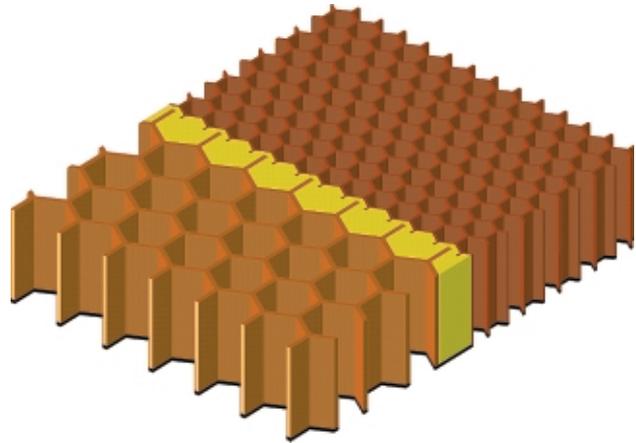
Verbindungen mit Waben

Aramidwaben werden von einem Block in verschiedenen Dicken heruntergeschnitten. Dabei können Wabendicken ab ca. 1,5 mm bei einer Standardblockgröße von ca. 122 x 240 cm geschnitten werden. Manchmal ist es notwendig Waben aneinander zu setzen, um bestimmte Konturen zu erhalten oder um Verschnitt zu vermeiden. Als Verbindungsträger dient ein Gemisch aus Harz, Baumwollflocken und/oder Microballons, das zwischen die Wabenstücke gegeben wird.

Aus Gewichtsersparnis und Kostengründen sollte der Klebespalt möglichst klein gehalten werden.



Grafik 22: Waben gleicher Art mit Harz/Füllstoff-Gemisch verklebt.



Grafik 23: Waben mit unterschiedlichem Zeldurchmesser mit Harz/Füllstoff-Gemisch verklebt.

Aufbau des Boards in Schnellübersicht

Nr	Termin	Aktion	Ergebnis
1	1. Tag, morgens	Boardunterseite: 1. Lage Deckschichtharz (UP-Harz) wird auf die Form aufgetragen.	
2	1. Tag, abends	ca. 8 Stunden später: 2. Schicht Deckschichtharz wird auf die erste Schicht aufgetragen	Deckschicht unten ist fertiggestellt
3	2. Tag	ca. 8 – 12 Stunden nach Nr. 2: Zwei Schichten Kohlegewebe werden laminiert	
4	3. Tag	ca. 24 h nach Nr. 3: 3. Schicht Kohlegewebe wird zusammen mit Wabe laminiert	Laminat Boardunterseite ist fertiggestellt
5	4. Tag	Ca. 24 h nach Nr. 4: Wabe wird fertiggearbeitet (geschliffen), die Verstärkungen für die Bindung einlaminiert, Kantenverstärkungen einlaminiert	
6	5. Tag	Ca. 24 h nach Nr. 5: Verstärkungen ggf. überschleifen, erste Laminatschicht oben laminiert	Wabenbearbeitung fertiggestellt
7	6. Tag	Ca. 24 h nach Nr. 6: Laminatverstärkung + 2. und 3. Laminatschicht oben laminiert	Laminat Boardoberseite ist fertiggestellt
8	7. Tag, morgens 7. Tag, abends	Ca. 30 h nach Nr. 7: Kanten des Boards beschneiden und verschleifen 1. Lage Deckschichtharz auf die Boardoberseite auftragen	Kontur des Boards ist fertiggestellt
9	8. Tag	Ca. 8 Stunden später: 2. Schicht Deckschichtharz auf die Boardoberseite auftragen.	
10	9. Tag	Board härtet aus	Board ist fertiggestellt

Erstellung der Boardunterseite

Aus drei Schichten Kohlefasergewebe (204 g/m²) und Epoxydharz L20



Bild 1: Auf die Form wird eine Unterlage (Folie, Transparentpapier) aufgelegt. Die Unterlage wird mit Trennwachs oder Folientrennmittel eingestrichen. Besonders sicher ist eine Schicht Folientrennmittel auf einer Schicht Grundierwachs. Als weitere Möglichkeit empfiehlt sich die -selbsttrennende- R&G Vakuumfolie, bei der auf Trennmittel verzichtet werden kann.



Bild 2: Auf die imprägnierte Unterlage wird eine Schicht UP-Vorgelat aufgetragen. Nach ca. 8 Stunden erfolgt ein zweiter Anstrich. Die ca. 0,2 mm dicke Schicht schützt das Board vor UV-Strahlung und das Laminat vor Kratzern. Mit dem Lösemittel Styrol (Bild) kann die Viskosität des UP-Harzes bis hin zur Spritzfähigkeit eingestellt werden.

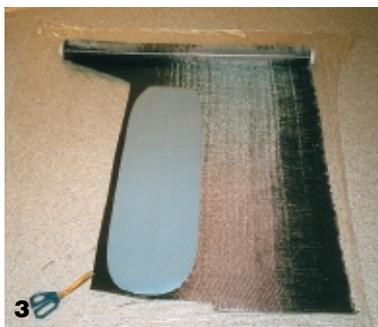


Bild 3: Das Kohlegewebe (204 g/m²) wird mit Hilfe einer Schablone mit ca. 2 cm Überstand ausgeschnitten und ...



Bild 4: ...auf eine stabile Unterlage (Hartfaserplatte, dickes Papier) bis zur Verarbeitung gelagert. Dadurch wird ein Verschieben einzelner Fasern durch unsachgemäße Handhabung vermieden.



Bild 5: Das Kohlegewebe wird auf einer Folie mit Harz vorgetränkt. Durch das Stupfen mit dem Pinsel wird die Wahrscheinlichkeit von Lufteinschlüssen vermindert. Statt einem Pinsel kann auch eine Rolle verwendet werden.



Bild 6: Die Folie dient als Tragehilfe für das vorgetränkte Gewebe. Das Gewebe kann optimal auf der Form plaziert werden, ohne daß sich einzelne Gewebebahnen verschieben.



Bild 7: Für die Boardunterseite werden zunächst zwei Schichten Kohlefasergewebe (204 g/m²) in Längsrichtung laminiert. Das Laminat wird mit Abreißgewebe, darauffolgend mit einer Lochfolie bedeckt, ...



Bild 8: ...mit Saugvlies belegt und dem Folienschlauch und Vakuumdichtband luftdicht versiegelt.



Bild 9: Die ersten zwei Schichten des Boards werden im Vakuum ca. 24 Stunden bei ca. 20 °C verpresst.



Bild 10: Das Abreißgewebe wird vom ausgehärteten Laminat in einem möglichst flachen Winkel abgezogen (abgerissen). Die Laminatoberfläche weist eine rauhe, fettfreie Struktur auf. Auf diese Oberfläche kann ohne weitere Vorbehandlung weiterlaminiert werden. Zur Vermeidung von Körperfetten auf der Laminatoberfläche dient ein Holzklötz zur Abstützung.



Bild 11: So sollte das Abreißgewebe nicht entfernt werden! Der Kraftaufwand ist höher und es besteht Beschädigungsgefahr des Laminats (das Laminat kann aus der Form herausgehoben werden).

Verarbeitung des Wabenkerns

Aramidwabe 64 kg/m³, Zellweite 3,2 mm

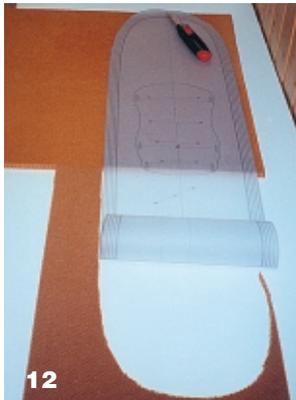


Bild 12: Die Wabe wird mit einem Teppichmesser, Laubsäge (feines Sägeblatt), über einem Elektrowerkzeug zugeschnitten. Zum Einsatz kommt eine Aramidwabe mit 64 kg/m³, Zellweite 3,2 mm (alternativ für niedrigeres Gewicht eine Wabe mit 29 kg/m³). Die Dicke der Wabe beträgt 12 mm.



Bild 13: Die dritte Gewebelage (204 g/m²) wird vorgetränkt und auf die beiden ausgehärteten Schichten aufgelegt. Durch das Stupfen mit einem Pinsel werden Lufteinschlüsse vermindert. Wichtig ist, daß auf dem Laminat keine Harzanhäufungen ("Harzseen") zu erkennen sind. Sie machen das Board unnötig schwer und tragen nicht zur Festigkeitssteigerung bei.



Bild 14: Die mit grobem Schleifpapier (Korn 40 bis 80) vorgeschliffene Wabe wird auf das "nasse" Gewebe aufgelegt. Die korrekte Position sollte gefunden werden solange das Harz noch dünnflüssig ist. Nur dann kann eine optimale Verbindung zwischen Laminat und Wabe gewährleistet werden. Durch die Kapillarwirkung wird Harz aus der dritten Gewebelage an die Wabenzellen gesaugt und bildet so -durch die entstehende Kehlnaht- eine genügend große Oberfläche für eine feste Verbindung zwischen Laminat und Wabenkern.

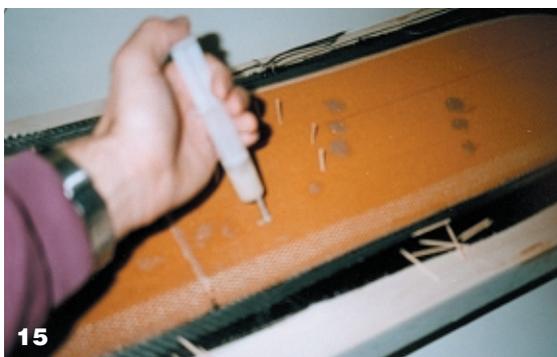


Bild 15: Die Verstärkungen für die Aufnahme der Schrauben der Bindung besteht aus einem zähflüssigen Harz-Baumwollflocken-Microballons-Gemisch. Mit einer Spritze lassen sich die Wabenzellen, ohne Einschluß von Luftblasen, bis zum Grund füllen. Die Zahnstocher dienen zum Markieren der zu verstärkenden Zellen.



Bild 16: Der Randbereich wird mit dem gleichen Gemisch verstärkt. Die niedrigere Wabenzellhöhe erlaubt hier die Verwendung eines Pinsels.



Bild 17:
Alle Verstärkungen werden mit Abreißgewebe bedeckt und die mit Harz überquellenden Zellen glatt gestrichen.



Bild 18:
Nach dem Aushärten der Verstärkungen werden die Kanten mit einer Sandpapierfeile (Korn 80 bis 150) fein bzw. fertig geschliffen.



Bild 19:
Mit einer Schablone wird die Kontur der Kante überprüft und ggf. nachgeschliffen.



Bild 20:
Hier ist das Board mit allen Verstärkungen in der Wabe: erkennbar sind die

- drei Längsholme
- Verstärkungen für die Mono-Bindung
- Verstärkungen für die Haupt-Bindung
- Randverstärkungen

Alle Kanten sind sauber verschliffen. Mit dem Laminieren der oberen Lagen kann begonnen werden.

Erstellung der Boardunterseite

Aus drei Schichten Kohlefasergewebe (204 g/m²) und Epoxydharz L20



21

Bild 21: Die erste Lage auf der Oberseite der Wabe wird auf einer Folie vorgetränkt, danach auf die Wabe aufgebracht. Mit einer Rolle wird das Gewebe an die Wabe angedrückt. Der Harzanteil im Gewebe ist ausreichend für eine gute Gewebe/Wabenverbindung.



22

Bild 22: Das Laminat wird mit Abreißgewebe bedeckt, anschließend ca. 24 Stunden im Vakuumsack verpreßt.



23

Bild 23: Beim Entfernen des Abreißgewebes ist vorsichtig vorzugehen: Bei senkrechter Abzugsrichtung kann es zur Delamination kommen, weil eine Lage Kohlegewebe punktuell eingeleitete Kräfte noch nicht gut verteilen kann.



24

Bild 24: Im Bindungsbereich wird ein ca. 60 cm langes Stück Kohlegewebe (204 g/m²) als Verstärkung aufgelegt ...



25

Bild 25: ...und zusammen mit der zweiten und dritten Kohlegewebebeschicht (204 g/m²) laminiert.



26

Bild 26: Der Verbund wird im Vakuumsack verpreßt und ist nach ca. 24 Stunden ausgehärtet. An den dunklen Punkten ist zu erkennen, mit welcher Kraft das überschüssige Harz durch die Lochfolie gepresst wird.



Bild 27:
Der Rand wird beschnitten. Verwendet wird eine Laubsäge mit feinen Metallsägeblättern.



Bild 28: Der Rand wird geschliffen. Zuerst mit rauhem Schleifpapier (Korn 60 - 80), anschließend mit Körnungen bis 600. Als abschließender Arbeitsgang wird das Board auf der Oberseite mit zwei Schichten R&G UP-Vorgelat (Polyester-Deckschichtharz) versiegelt.

Technische Daten des Trickski

Positiv überrascht war ich von der hervorragenden Festigkeit des Trickskis. Die anfängliche Skepsis, der Ski könnte zu "weich" werden, bestätigte sich nicht. Zur Prüfung der Festigkeit wird das Board durch Aufbocken auf zwei Holzklötze einer Biegeprüfung unterzo-

gen. In der Mitte des Skis werden nacheinander Gewichte aufgelegt und die Durchbiegung nach jedem weiteren Gewicht festgehalten. Das nebenstehende Diagramm zeigt, daß sich der Eigenbau bei gleichem Gewicht weniger durchbiegt, als ein käuflicher Trickski im oberen Preisklassensegment.



Bild 29:
Prüfung der Biegefestigkeit

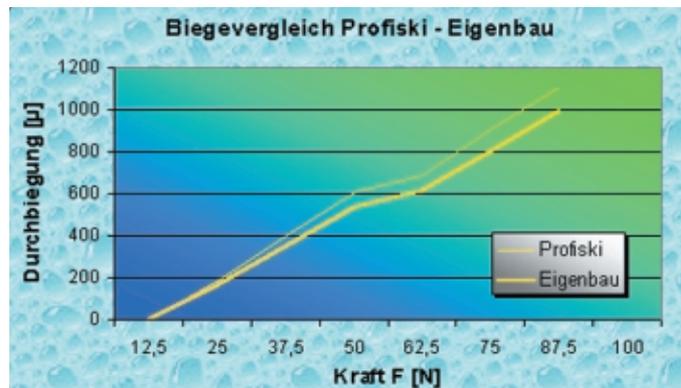


Diagramm 1:
Biegevergleich Profiski - Eigenbau

Das Gewicht des Skis kann sich auch sehen lassen: Mit 1140 Gramm (ohne Bindung, aber zwei Schichten Deckschichtharz) gehört es mit Sicherheit zu den leichtesten Boards, die mit hoher Festigkeit gebaut werden können. Vergleichsweise hierzu liegen Serienboards bei ca. 1700 bis 1950 Gramm.

*Diese Anleitung resultiert aus langjähriger Erfahrung in der Konzeption und dem Bau von CFK-Teilen.
Eine Haftung für eventuelle Fehler und Irrtümer wird ausgeschlossen.*