
CFK-Prepreg Kajak für OS 2004 in Athen¹

Franz J. Lange, Thomas Schmidt (zusammengefasst von Thomas Koch, BISp)

Fachhochschule Augsburg

1 Vorbemerkung/Problemstellung

Ziel des Projektes war die Konzeption und Entwicklung eines neuartigen Herstellungsprozesses für Hochleistungskajaks in CFK-PREPREG-Bauweise sowie Herstellung eines Kajak-Prototyps für die Sportart Kanuslalom in Hinblick auf die Olympischen Spiele (OS) in Athen 2004. Dabei galt auch zu untersuchen in wie weit die Übertragbarkeit des Herstellungsprozesses auf andere Sportarten oder Disziplinen, wie z.B. Kanurennsport, Rudern, Segeln in Hinblick auf die OS 2008 in Peking gewährleistet ist.

Beim Bau von Kanuslalom-Booten für den Hochleistungssport wird durchgängig in klassischen Bootsbaufverfahren gedacht. Sämtliche verfügbaren Kanuslalom-Boote werden in Nasslaminatbauweise hergestellt. Gewicht und Steifigkeit der Boote sind nicht „Stand der Technik“, der Formenbau erfolgt dabei in Handarbeit, die Boote sind deshalb nicht formstabil (z.B. symmetrisch). Ausnahmslos werden die Boote aller Hersteller in zwei Hälften (Ober- und Unterschiff) gefertigt, die dann im stumpfen Stoß mit einem innen- und manchmal auch außenseitigen Nahtband verklebt sind. Diese Art der Verklebung bedeutet eine Materialanhäufung und damit wiederum unnötiges Gewicht. Außerdem ist diese Naht die schwächste Stelle am Boot und ist sehr schadensanfällig. Darüber hinaus ist eine außenseitige Nahtverklebung gerade im Heckbereich nicht mehr akzeptabel, da diese das Drehverhalten extrem negativ beeinflusst. Die technisch immer unspruchsvoller werdenden Strecken und die immer kürzeren Streckenlängen zwingen ebenfalls die Weiterentwicklung der Bootsform ständig voran zu treiben.

Eine Reduzierung des Gesamtgewichts und eine damit verbundene verbesserte Massenträgheit bei Rotation um die Schwerpunktachsen waren anzustreben. Das Reglement sieht ein Mindestgewicht von 9 kg für das Boot vor. Durch Auftrimmen auf das Mindestgewicht lässt sich eine gewünschte und kontrollierte Gewichtsverteilung erreichen und das Fahrverhalten des Bootes auf den Athleten anpassen. Die Platzierung eines Trimmgewichtes im Schwerpunkt beeinflusst dabei die Massenträgheit in Bezug auf das Drehverhalten nur marginal. Das Drehverhalten kann dadurch gezielt optimiert werden.

¹ VF 0408/15/41/2003-2004

Beim Kanuslalom erfolgt jede Kraftübertragung zwischen Wasser und Athlet durch das Boot. Eine Steifigkeitserhöhung und damit verbundene Optimierung des Wirkungsgrades war zu erzielen. Einhergehend mit einer Steifigkeitserhöhung des Bootes wird die direkte Rückkopplung durch Wassereinwirkung auf das Boot verbessert. Der Athlet erhält ein schnelleres Feedback, spürt das Wasser besser und kann seine Aktion besser dosieren.

Der täglich mehrmalige Gebrauch der Boote beansprucht das Material enorm. Im Regelfall benötigt ein Athlet pro Saison zwei bis drei Boote abhängig vom Trainingsort und der Wettkampfanzahl. Daher war eine Lebensdauererhöhung anzustreben. Optimierungspotential steckte dabei in der Veränderung des Fügekonzeptes, denn hier sind die Boote oft schadhafte und die Gesamtsteifigkeit wird dadurch negativ beeinflusst. Generell sollten die Möglichkeiten der Formoptimierung ausgeschöpft und insbesondere eine Verbesserung des Geradeauslaufs, der Drehfreudigkeit und des Handlings erreicht werden.

Wie bereits erwähnt erfolgt der Modellbau üblicherweise in Handarbeit. Die Boote sind daher nicht formstabil und weisen Geometrieabweichungen auf. In einigen Fällen wird die laut Regelement erforderliche Mindestlänge und –breite, Spitzenradien durch die Hersteller nicht korrekt eingehalten und der Athlet ist gezwungen dies nachzuarbeiten. Oder durch übermäßigen Verschleiß an den Spitzen werden die Mindestmaße unterschritten. Die Entwicklung und der Einsatz von Hartgummi-Rammkappen an Bug und Heck sollten dieses Problem beheben. Darüber hinaus waren Symmetrieabweichungen, Flächenunsteifigkeiten, Beulen und Passungsprobleme von Ober- und Unterschiff zu beheben. Generell galt es eine bestehende Form weiter zu entwickeln und an das Anforderungsprofil des Athleten und auf den Einsatzort in Athen anzupassen.

2 Methode

Zur Ausnutzung des Optimierungspotentials standen mehrere Methoden zur Verfügung. Durch die Verwendung von „High-Tech“-Materialien und durch einen verbesserten Produktionsprozess sollte die Gesamtsteifigkeit erhöht und das Gesamtgewicht reduziert werden. Unterstützt wurde dabei die Berechnung/Simulation mit Hilfe der Finite Elemente Methode (FEM) zur Strukturauslegung nach Stand der Technik. Um die Geometrie Probleme zu beheben, wurde die technische Entwicklung/Konstruktion mit CAD umgesetzt. Eine Produktion mit modernen CNC-Maschinen gewährleistete schon beim Werkzeugbau höchste Präzision.

Ausgehend von der Problemstellung wurde die einteilige Herstellung eines Kajaks in CFK-Prepreg Bauweise untersucht. Das Projekt umfasste drei Schwerpunkte. Zum einen die Designoptimierung eines bestehenden Kajaks, zum anderen die Verfahrensentwicklung und schließlich die Produktion des Kajaks.

Als Ausgangsbasis diente ein bestehendes Kajak, dessen Fahreigenschaften bereits erprobt waren und das seine Konkurrenzfähigkeit des Öfteren unter Beweis gestellt hat. Um zu einem digitalen Modell des Kajaks zu gelangen, wurde das Kajak mit einem optischen Vermessungssystem digitalisiert. Vorteil des Vermessungssystems war die lückenlose Aufnahme der gesamten Außenhaut des Kajaks. Das berührungslose Messsystem erreichte eine sehr große Genauigkeit und war ausreichend, da die Geometrie mit sehr großen Abweichungen behaftet war. Stellenweise waren Symmetrieabweichungen von mehr als 1cm verzeichnet.

Die Software erlaubte dann den Export der gewonnenen Flächendaten in gängige neutrale Datenformate und wurde an das CAD-System übergeben. Diese Datei wurde eingelesen und in klassischer Strakarbeit eine Flächenrückführung durchgeführt und die Qualität der Außenhautfläche erheblich verbessert.

Das dadurch entwickelte CAD-Modell war Grundlage für die Strukturauslegung mit Hilfe der Finite Elemente Methode (FEM). Dazu wurden die Flächendaten erneut in ein FEM-System importiert und dort vernetzt. Mit den Methoden der FEM, d.h. Materialeigenschaften zuweisen, Lagerung und Lasten aufbringen, konnte so ein geeigneter Materialaufbau ermittelt werden.

Parallel dazu wurde im CAD ein Werkzeug konstruiert und damit eine CNC-Werkzeugmaschine programmiert, die dann die Bootsform aus einem Kunststoffblock fräste. Abschließend wurde das Werkzeug verwendet, um mit der Prepreg/Autoklavtechnologie das Kajak zu produzieren. Dazu werden Prepreg-Gelege in das Werkzeug abgelegt und in einen Vakuumsack verpackt. Alles zusammen härtete unter Druck und Temperatur im Autoklav aus.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden Detaillösungen, wie die Rammkappen und Sicherheitsschlaufen, eingearbeitet. Eine überarbeitete Konstruktion der Anbauteile wie Sitz und Süllrand wurde ebenfalls integriert.

Bei der Fertigung zeigte sich die generelle Machbarkeit des Verfahrens jedoch traten Probleme mit dem Werkzeug auf. Die sehr große Wärmekapazität der Kunststoffform (Gewicht ca. 500 kg) bewirkte eine nur mäßige Durchwärmung mit der Folge, dass auftretende Wärmespannungen sowohl die Formhälften verschoben als auch zu Spannungsrisen führten. Das Werkzeug wurde dabei massiv beschädigt. Die zu langsame Durchwärmung des Werkzeugs verursachte Probleme beim Härtezyklus der Prepregs. Die maximale Temperatur und vor allem der Temperaturgradient der Heizkurve reichten nicht aus, um einen stabilen Prozess sicherzustellen. Die stark abnehmende Festigkeit des Werkzeugs bei Temperatur zwang dazu, mit vermindertem Druck zu agieren. Dadurch entstanden

Probleme der Geometrieabbildung. Dazu kamen noch Dichtigkeitsprobleme des Vakuumsackes, sodass das Heck im ersten Anlauf nicht den Anforderungen entsprach.

Nach ausgiebiger Testphase stellte sich heraus, dass sowohl das Design als auch der Materialaufbau nicht voll überzeugen konnten. Daraufhin wurde eine zweite Optimierungsrunde eingeleitet mit der Absicht, das Design und den Materialaufbau in gewissen Bereichen zu überarbeiten.

Durch einen neuen Werkzeugbau entstand eine GFK-Form. Die Werkzeuge für Sitz und Süllrand konnten weiter verwendet werden, da in diesem Bereich die Geometrie nicht geändert wurde. Die Kappenwerkzeuge wurden an die Geometrie angepasst und wieder verwendet.

Unter Berücksichtigung der beim Bau des ersten Prototypen gewonnenen Erkenntnisse wurde das Verfahren geringfügig optimiert. Die verbesserten thermischen Eigenschaften des Werkzeuges erlaubten nun höhere Temperaturen und Drücke im Autoklav-Zyklus. Der überarbeitete Materialaufbau und die damit verbundene Verwendung eines dünneren und leichteren Sandwichmaterials erleichterten das Einlegen in die Form und beschleunigten damit die Fertigung.

Es wurden je ein Trainings- und ein Wettkampfboot für die Olympischen Spiele in Athen fertig gestellt, die beide absolut identisch waren.

3 Ergebnis

Trotz straffem Zeitplan, engem Kostenrahmen und unvorhersehbarer Ereignisse konnte der erste Prototyp noch im Februar 2004 fertig gestellt werden. Die zweite geplante Optimierungsphase schloss termingerecht ab und so verblieb ausreichend Zeit, um sich mit dem zweiten Prototypen auf die Strecke des Zielwettkampfes einzustellen.

Die Machbarkeit des Fertigungsverfahrens war sichergestellt. Die angestrebte Gewichts- und Steifigkeitsanforderung wurde erreicht und es wurde Potential zur weiteren Verbesserung erarbeitet. Die reibungslose Zusammenarbeit aller Beteiligten ermöglichte die Einhaltung des Zeitplans und das Erreichen der Projektziele.

Der Fertigungsprozess und die Vorgehensweise in der Entwicklung können als sehr stabil und als Stand der Technik betrachtet werden. Die Übertragbarkeit auf andere Bootskassen, Disziplinen oder Sportarten ist durchaus gewährleistet und wird weiter verfolgt werden. Gerade in Wassersportarten mit niedriger Schlageinwirkung auf das Bootsmaterial, wie Rudern oder Kanurennsport, könnte das entwickelte Verfahren ebenfalls zum Einsatz kommen.



Die abschließende Bewertung zeigt in der direkten Gegenüberstellung der Ergebnisse die Vor- und Nachteile auf.

Vorteile:

- hohe Geometrietreue, keine Umstellungsschwierigkeiten für den Athleten;
- verbesserte Fahreigenschaften durch Leichtbau und Geometrieoptimierung;
- Reduktion der Massenträgheit verbessert das Drehverhalten, Boot wird insgesamt deutlich agiler;
- durch erhöhte Gesamtsteifigkeit direkte Rückkopplung zwischen Wassereinwirkung und Fahrer;
- das Produktionsverfahren „ohne Naht“ (einteilige Herstellung) verbessert ebenfalls das Drehverhalten;
- optimierte Ergonomie im Sitzbereich verbessert das Fahrgefühl;
- sehr gute Ausgangsbasis für Weiterentwicklung, da Geometrie im CAD bekannt;
- sehr gute Verarbeitungsqualität und gleich bleibende Qualität durch Verwendung der Prepreg-Technologie. Beide Boote der Variante 2 wichen nur minimal vom errechneten Zielgewicht ab;
- Einsatz der Rammkappen an Bug und Heck stellte sich als sehr zuverlässig heraus, praktisch ohne Verschleiß. Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, dass wirklich alle Boote aus der Form absolut identisch sind.

Generell bleibt festzuhalten, dass schon bei dem ersten Test mit der Variante 2 ein sehr ausgewogenes Fahrverhalten festgestellt wurde. Die Sitzposition war perfekt angepasst und das Boot vermittelte einen überaus positiven Gesamteindruck.

Nachteile:

- kostenintensives Verfahren durch Autoklavtechnologie;
- ausschließliche Verwendung von Carbonfasern macht die Außenhülle extrem anfällig gegen Rissbildung. Gerade in der Sportart Kanuslalom kommt es häufig zu Berührung mit dem Ufer, Streckeneinbauten oder dem Untergrund;
- Verwendung von Aramidfaser-Prepreg-Gelegen derzeit indiskutabel teuer;
- aufwendiger Werkzeugbau, Bootsform nur für wenige Athleten gleicher körperlicher Abmessungen verwendbar Eignung fast ausschließlich für wenige Top-Athleten und Groß-Events wie Olympische Spiele.

Die Leistungsfähigkeit des Produktionsverfahrens und die Wettbewerbsfähigkeit der Bootsgeometrie konnten durchaus überzeugen.

Durch die digitale Produktentwicklung ist eine schnelle Veränderung der Bootsgeometrie möglich und nach den gewonnenen Erfahrungen ist es möglich, eine erste Vorabschätzung der Fahreigenschaften anzuleiten.

Das Projekt zeigt nach Auffassung des Bearbeiters in die richtige Richtung, die unbedingt weiterverfolgt werden sollte.

Quelle

Lange, F.J. & Schmidt, Th. (2004). *CFK Prepreg Kajak für OS 2004*. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt des BISp. Fachhochschule Augsburg.

