

DIGITAL ENGINEERING MAGAZIN

www.digital-engineering-magazin.de

Innovative Lösungen für Konstrukteure, Entwickler und Ingenieure

PROMOTION

hyperMILL®

2D · 3D · HSC · millTURN · 5 AXIS

» NEU

Version 2013

PRODUKTVERBESSERUNGEN IN HYPERMILL 2013

NC-Programme effektiver erstellen

VR in der Produktentwicklung S. 46

Fehler früher erkennen
mit Virtual Reality

Antriebstechnik S. 58

Servotechnik
steigert Produktivität

MOTEK-Sonderteil
Robotik, Montage- und
Handhabungstechnik
Seite 24-31

ENTWICKLUNGSPROZESS UND VERSAGENSANALYSE BEI FASERVERBÜNDEN

Der Weg zum Composites-Know-how

VON GEORG BORKENSTEIN

Welchen Weg muss ein Unternehmen gehen, um Konstruktionen mit Faserverbundwerkstoffen durchführen zu können? Der vorliegende Artikel liefert die Antwort anhand des Projektbeispiels eines Höhenruders einer Segelrennjolle. Insbesondere führt ein stringenter Entwicklungsprozess und eine dreidimensionale Faserverbund-Versagensanalyse durch Simulation zum Ziel und im Fall der Jolle zur deutschen Meisterschaft.

Faserverbundkonstruktionen erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Dort wo isotrope Werkstoffe an ihre Grenzen stoßen, eröffnen Faserverbundwerkstoffe neue Möglichkeiten. Neben den strukturmechanischen Gesichtspunkten spielen auch wirtschaftliche Aspekte eine entscheidende Rolle. Wie bei der Verwendung anderer Werkstoffe ist es bei Faserverbund essenziell, dass klar ist, welches Material eingesetzt werden soll und wie dieses in der Fertigung verarbeitet werden kann. Dies schließt die Kenntnis über Formbau für Composite-Bauteile ein. Im Gegensatz zu Stahl führen spätere fertigungs- oder festigkeitsbedingte Designänderungen in einer Projektphase, in der das Tooling bereits läuft, zu einem immensen Anstieg der Kosten des Projekts und nicht selten zu einem Projektabbruch. Dem Aufbau von Faserverbund-Know-how kommt somit eine besondere Rolle zu.

Dabei ist es sinnvoll, sich zunächst auf den Bereich der Fertigung zu konzentrieren. Der Bereich Konstruktion und Simu-

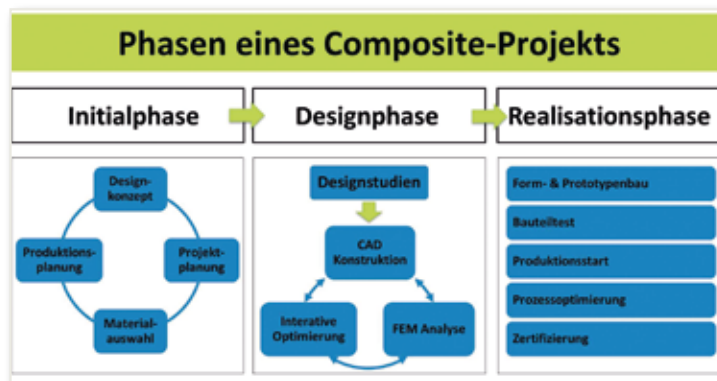


Bild 1: Der ideale Ablauf zur Realisierung eines Carbon-Projekts.

Bilder: ar engineers

lation könnte vorerst von einem Partner abgedeckt werden, der aufgrund seiner Erfahrungen den Gesamtprozess im Vorfeld vollständig abbilden und gestalten kann. Diese Herangehensweise ermöglicht es, in einer späteren Phase durch ein konsequentes Knowledge Management die Konstruktion und Simulation auch in-house durchzuführen.

Know-how-Aufbau

Ein Faserverbund-Laminat wird erst durch die richtige Wahl der verschiedenen Materiallagen zu dem, was es eigentlich ist: ein nach den konkreten Belastungen ausgelegtes Verbundmaterial. Die Orientierung der im Harz (auch Matrix genannt) gebundenen Fasern im Laminat macht den Unterschied zwischen Versagen oder Standhalten der Struktur aus. Und bereits an dieser Stelle des Prozesses entscheidet sich, ob sich ein Bauteil wirtschaftlich herstellen lässt. Aufgrund der hohen Rohstoffpreise und der Formbaukosten ist es besonders bei kleinen Stückzahlen wirtschaftlich nicht vertretbar, viele Prototypen zu testen. Auch eine Überdimensionierung von Teilen sollte vermieden werden. Dies lässt sich entweder mit viel Erfahrung oder mit einer faserverbundgerechten Konstruktion und integrierten

Simulation umgehen. Letzteres ermöglicht es, verschiedene Varianten virtuell zu testen, die beste auszuwählen und diese dann zu optimieren.

Drei Projektphasen

Grundsätzlich lässt sich ein Composite-Projekt in drei Phasen unterteilen (Bild 1). In der Initialphase werden zunächst ein oder mehrere Designkonzepte erstellt und festgelegt. Sobald dieses erledigt ist, beginnt die Projektplanung, die sämtliche Phasen detailliert berücksichtigt. Darüber hinaus finden bereits die Materialauswahl und die Produktionsplanung statt.

Danach beginnt die Designphase, in der mittels Studien das sinnvollste Design ausgewählt und detailliert wird („designfreeze“). Auf der Basis dieses Designs entsteht mit einem CAD-System die entsprechende Konstruktion, die für Faserverbundwerkstoffe fertigungsgerecht ausgelegt werden muss. Anschließend erfolgt die Übergabe der Konstruktionsgeometrie an das Simulationsprogramm, um daraus ein FEM-Modell zu erstellen. Dabei ist jede Lage des Laminats inklusive ihrer Ausrichtung festgelegt, so dass entsprechend der definierten Lastfälle unter anderem das Versagen sowie Beulen und Schwingungen des Bauteils simuliert wer-



Der Deutsche Meister im „International 14-Footer“ hat die entscheidende Regatta mit dem Carbon-Ruder gewonnen.

den können. Begleitend zur konstruktiven Tätigkeit lassen sich verschiedene Materialien analysieren – von der einfachen Kurzfasermatte bis zum Aramidgewebe.

Mit der 3D-Versagensanalyse eines Laminats sind die Schwachstellen präzise identifizierbar, beispielsweise lässt sich so auch die Delamination fokussiert untersuchen. Hierunter versteht man das Ablösen einzelner Schichten vom gesamten Faserverbund. Delaminationen sind besonders kritisch, da sie von außen kaum sichtbar sind, die mechanischen Eigenschaften des Bauteils aber äußerst negativ beeinflussen. Speziell bei komplexen Baugruppen und in Verbindungsbereichen mit mehreren Bauteilen kann nur eine detaillierte Versagensanalyse die Sicherheit gewährleisten. Durch iterative Optimierung wird der Laminataufbau optimiert, bis die gewünschte Haltbarkeit gewährleistet werden kann.

Sobald abzusehen ist, dass die Anforderungen an das Bauteil erfüllt werden, beginnt die Realisationsphase. Je nachdem, wie komplex das Bauteil ist, kann entweder mit dem Prototypenbau und physischen Bauteiltest oder aber direkt die Produktion gestartet werden. Bei Serienprodukten ist dann die Prozessoptimierung ein weiterer zu betrachtender Aspekt. Abschließend kommt es häufig zu einer Zertifizierung beispielsweise durch den TÜV oder den Germanischen Lloyd. Je strukturierter der Gesamtprozess festgelegt ist, desto unkomplizierter wird auch die Zertifizierung.

Höhenruder für Meisterjolle

Zur Veranschaulichung wird im Folgenden ein praktischer Anwendungsfall anhand eines Ruderblattes mit Höhenruder für eine 14-Fuss-Carbonrennjolle erläutert. Ziel war, ein Ruderblatt zu entwickeln, das sowohl technisch als auch von den Kosten her konkurrenzfähig auf dem deutschen Markt platzierbar ist. In der Initialphase hat ar engineers zunächst verschiedene Designkonzepte mit unterschiedlichen Ansätzen der Höhenruderanbindung entwickelt und einen Projektplan aufgestellt, der die optimale Zusammenarbeit zwischen Ingenieursdienstleister und dem Jollenhersteller Rademacher Composites gesichert hat. Da das Ruder sehr stabil und zudem leicht sein musste, wurden Kohlefasern bei der Materialwahl bevorzugt. Während der Planung der Produktion war die Haltbarkeit der Formen für eine Klein-

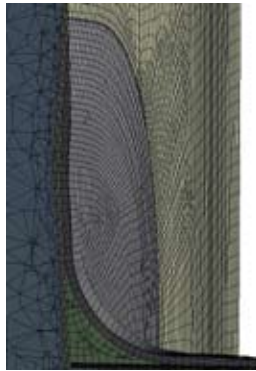


Bild 2: Die Modellierung erfolgt Schicht für Schicht, die Ausrichtung und der Aufbau der Lagen ist essenziell für die Simulation.

serie ein entscheidendes Kriterium. Zur effizienten Fertigung wurden zwei Formen definiert, eine für das Ruder und eine für das Höhenruder.

Schon in der Designphase erfolgte eine Untersuchung und Bewertung der Strömungseigenschaften der Konzepte mittels Finite-Element-Methode (FEM). Das beste Konzept wurde anschließend optimiert und als CAD-Konstruktion detailliert. Der nächste Schritt war die Übergabe der CAD-Geometrie an die Simulationslösung Ansys und die Aufbereitung in der Anwendungssoftware Composite PrepPost.

Bild 2 zeigt einen Schnitt durch den Flanschbereich des Ruders. Das Ruderblatt und das Höhenruder haben jeweils einen keilförmigen Ausschnitt und werden ineinander gesteckt und dann über eine Hohlkehle verklebt und mittels Flanschlaminaat verbunden. Das Ruder besteht aus Kohlefasern mit einem Schaumkern, das Höhenruder hingegen ist komplett aus Kohlefasern. Beide Teile werden an der Hohlkehle mittels Strukturkleber sowie einem Verbindungslaminat zusammengefügt und dann als ein Bauteil auf Versagen untersucht (Bild 3). Dazu wurde der größte Lastfall aufgebracht, der beim Segeln vorkommen kann. Nach insgesamt nur drei Optimierungssiterationen konnte die Haltbarkeit nachgewiesen und mit dem Formbau begonnen werden. Hierzu wurde eine Datei exportiert, mit der zunächst ein

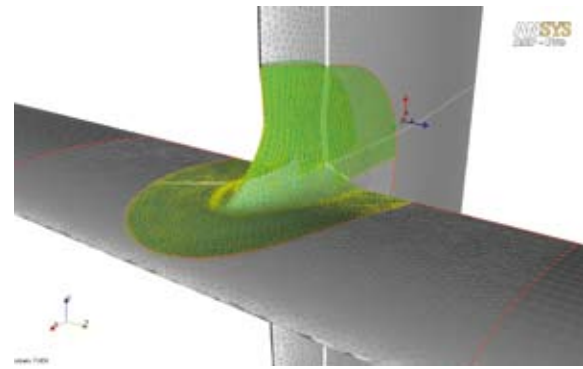


Bild 3: Die Verbindungsstelle zwischen Ruder und Höhenruder. Die Versagensanalyse, betrachtet als ein Bauteil.

Positivkern aus einer mitteldichten Faserplatte gefräst wurde. Auf diesen Kern wurde das Laminat aus Kohlefasern aufgebracht und so eine lang haltbare Form gebaut, die zudem beim Aushärten unter hohen Temperaturen eine sehr geringe Wärmeausdehnung garantiert.

Der Test des neuen Bauteils erfolgte direkt in der Anwendung und zeigte die gewünschten Resultate: Der Deutsche Meister im „International 14-Footer“ hat die entscheidende Regatta mit diesem Ruder gewonnen. jbi ■

Georg Borkenstein ist kaufmännischer Leiter bei ar engineers in Hamburg.

abas

Halle 3, Stand 3D 11

Ohne abas kommen Sie nicht auf Wolke 7...

Die Toni Kahlbacher GmbH & Co. KG mit Hauptsitz im österreichischen Kitzbühel fertigt Straßenerhaltungs-, Flughafen- und Winterdiensttechnik. Seit 2001 wird Kahlbacher von abas unterstützt. Durch Upgrades immer auf dem neuesten Stand der Technik, managed das ERP-System alle unternehmensinternen und -übergreifenden Prozesse.

DOWNLOAD
ERP-Praxisbericht

Erfahren Sie jetzt mehr:

www.ohne-abas.de

Finden Sie uns auf: