

## Simulation

# Software für die Auslegung eines Monocoques

Der X-Bow des österreichischen Motorradherstellers KTM wurde als radikaler Leichtgewicht-Sportwagen auf Basis der Carbon-Composite-Technologie konzipiert. Folglich erhielt der für den Straßenverkehr zugelassene Mittelmotor-Sportwagen eine Ausstattung mit reinrassiger Rennsport-Technik. Zur Optimierung des Monocoques und anderer Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen wurde die Simulationssoftware Ansys Composite PrepPost eingesetzt.

Nach den ersten Tests des X-Bow auf der Rennstrecke im Februar 2008 folgten im März die offizielle Präsentation und der auf Antrieb bestandene FIA-Crashtest. Im April bestritt KTM mit seinem Leichtbaufahrzeug die ersten Rennen im Rahmen der GT4 Serie in Silverstone und konnte im Saisonverlauf die Gesamtwertung in der Supersport-Klasse gewinnen. Mit der erfolgreichen Markteinführung des X-Bow wurde parallel die KTM Technologies gegründet um das gewonnene Leichtbau- und Composite-Know-how in einem eigenen Unternehmen zu bündeln. Als einer der Vorreiter auf diesem Gebiet, mit Know-how der gesamten Prozesskette in Theorie und Praxis, konnte sich die KTM Technologies mittlerweile als Entwicklungspartner von verschiedenen Automobilherstellern und namhaften Unternehmen etablieren.

KTM greift für sein erstes Auto auf hochwertige Werkstoffe, Spitzentechnologie und spezielles Know-how zurück. Dazu gehören unter anderem ein Monocoque, Bild 1, aus Kohlenstofffaser, das beispielsweise in der Formel 1 wegen des Gewichts- und Sicherheitsvorteils zum Standard wurde, sowie doppelte Dreiecksquerlenker und Pushrod-Federelemente. Zur Optimierung des Monocoque und anderer Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen wird die von Cadfem angebotene Simulationssoftware Ansys Composite PrepPost (ACP) eingesetzt. Damit können die Ingenieure eine simulationsunterstützte Produktentwicklung realisieren, bei der die entsprechende Berechnung schon in der frühen Konzeptphase wertvolle Ergebnisse liefern.

Bei der Produktentwicklung verfolgt KTM Technologies einen ganzheitlichen Ansatz. Im Gegensatz zu der traditionellen, seriellen Herangehensweise arbeitet man von Beginn an mit allen Fachbereichen verzahnt zusammen – vom Design über die Entwicklung und Simulation bis hin zur Fertigung. Die Vorteile für den Kunden sind höchst funktionelle, optisch ansprechende Lösungen, die technisch machbar und wirtschaftlich herstellbar sind, sowie ein schneller und effizienter Entwicklungs- beziehungsweise Produktenstehungsprozess.

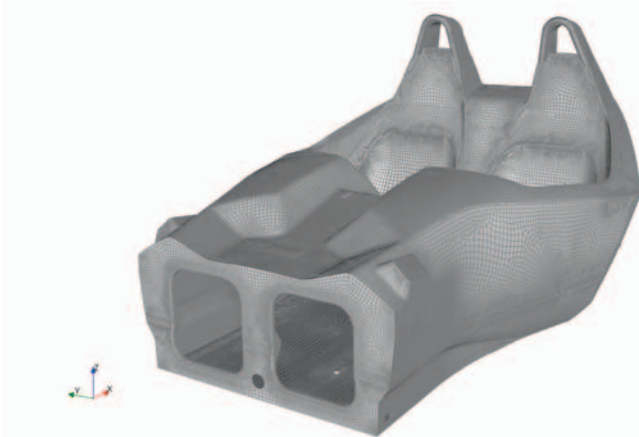
## SIMULATION IN FRÜHEN ENTWICKLUNGSPHASEN

Bereits in der Frühphase des Produktenstehungsprozesses berücksichtigt ACP die Richtungsabhängigkeit der Materialeigenschaften. durch Drapiersimulation. Auch lassen sich Fertigungsaspekte untersuchen sowie Drapiersimulationen durchführen. Zusätzlich konnten die Mitarbeiter von KTM Technologies schon vor der Validierung eines Produkts mit der Simulationslösung die relevan-





**BILD 1** Das Composite Monocoque des KTM X-Bow vereint Sicherheit und Leichtbau



**BILD 2** FEM-Netz für das Simulationsmodell des Composite Monocoques

ten Details genau analysieren, um somit sicherzustellen, dass die notwendigen Anforderungen erfüllt werden.

Beim X-Bow ist das Monocoque, [Bild 2](#), als Hauptstrukturbauteil hochintegrativ. Alle wichtigen Komponenten werden dort angebunden, zum Beispiel das vordere und hintere Fahrwerk sowie die Sit-

ze. Folglich sind sämtliche statischen und dynamischen Lastfälle zu berücksichtigen. Die Querlenker sind unter anderem so ausgelegt, dass das Monocoque nicht beschädigt wird, sondern der jeweilige Querlenker bei zu hoher Belastung bricht.

In der Frühphase der Entwicklung griffen die Entwickler von KTM Technologies auf Erfahrungswerte bezüglich der Lasten zurück. Als dann der erste Prototyp zur Verfügung stand, wurden diese Daten durch Messwerte ergänzt, die während Testfahrten nach verschiedenen Streckenprofilen ermittelt wurden. Die während der Fahrt resultierenden Kräfte basieren auf dem 2,0-l-TFSI-Vierzylindermotor von Audi, der mit 300 PS den 790 kg leichten X-Bow in 3,9 s auf 100 km/h beschleunigt. In Verbindung mit besonders hohen Abtriebswerten von maximal circa 200 kg kann das Fahrzeug sehr hohe Kurvengeschwindigkeiten mit bis zu 2,0 g Querbeschleunigung erreichen.

#### VORAUSSAGE VON REAKTIONEN EINZELNER LAGEN

Um diese extremen Belastungen zu beherrschen, bedarf es einer Simulationslösung, mit der sich auch die unterschiedlichsten Einflüsse auf die verwendeten Werkstoffe erkennen lassen. ACP zeigt dabei, was in den einzelnen Lagen passiert und liefert genaue Aussagen, [Bild 3](#). Ein erst spät entdeckter Problembereich könnte das Projekt um Monate zurückwerfen und damit gefährden.

Bei der Entwicklung des X-Bow war ACP nicht von Anfang an im Einsatz. Deshalb wurde das Monocoque mit der Software noch einmal komplett berechnet, um Optimierungspotenziale zu überprüfen. Schließlich konnte der Materialeinsatz und daraus resultierend das Gewicht um fast 20 % reduziert werden.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel für die ACP-Software betreffen die extremen Kräfte, die über die Motoraufhängungspunkte auf den Aluminium-Heckrahmen treffen und dort absorbiert werden müssen. Zur Versteifung der Heckeinheit wird die Drehmomentstütze neuerdings nicht mehr am Heckrahmen angeschlossen, sondern stützt sich direkt am Carbon-Monocoque ab. Dadurch wurde die Verwindungssteifigkeit entscheidend erhöht. Besonders beim Herausbe-



»Schon in frühen Konzeptphasen kann eine Simulationsunterstützte Produktentwicklung realisiert werden.«

Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Friederici M.A. arbeitet im Marketing bei der Cadfem GmbH in Grafing bei München.

schleunigen aus Kurven liegt der neue X-Bow noch ruhiger auf der Straße.

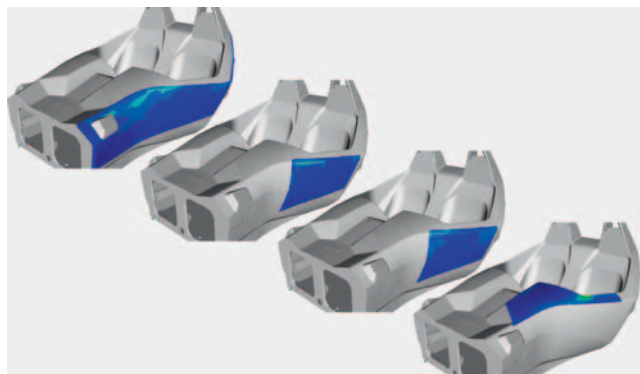
Das Arbeiten mit komplexen Geometrien wie Freiformflächen, die nicht großflächig mit Material belegt werden, ist eine weitere Option. Das Programm ermöglicht eine effiziente Definition des Lagenaufbaus, beispielsweise mit diversen lokalen Verstärkungen. Entsprechende Simulationsmodelle können schnell aufgebaut und jederzeit beliebig modifiziert werden. Der jeweilige Lagenaufbau mit der gewünschten Ausrichtung in genau definierten Grenzen lässt sich über sogenannte Rules einfach festlegen, was per Hand ein enormer Aufwand wäre. Dabei wird das verwendete Geometrie- beziehungsweise Simulationsmodell anhand des Strukturbaums gut dokumentiert.

### PARAMETERSTUDIEN

Mit der Version 14.5 von Ansys lassen sich Varianten noch schneller erstellen, da die Parameter jetzt direkt im ACP definierbar sind, beispielsweise der Lagenwinkel. Ebenso können unterschiedliche Materialien betrachtet werden, um sie dann gezielt innerhalb einer Parameterstudie zu variieren. Dieses ist besonders hilfreich, wenn mit einem Anfangsdesign gestartet wurde und man wissen will, wie sensitiv zum Beispiel der Lagenwinkel in der dritten Lage für einen bestimmten Geometriebereich ist. Zwar hat KTM derzeit keine zusätzlichen Optimierungstools im Einsatz, aber man führt gezielt Parameterstudien durch, indem einzelne Einflussfaktoren sehr genau untersucht und variiert werden, um die Sensitivitäten herauszufinden. Darauf basierend erfolgt dann die Optimierung des Modells. Bei diesem Ansatz haben die bisher gesammelten Erfahrungen beziehungsweise die Erfahrungswerte natürlich einen großen Einfluss auf die Auslegung, sodass KTM Technologies mit seinen Anfangsdesigns teilweise schon nahe am Optimum liegt.

### RELEVANTE VERSAGENSKRITERIEN

Bei der Simulation von Faserverbundwerkstoffen spielen Versagenskriterien eine tragende Rolle. Jedoch gibt es leider kein Kriterium, das alle Beanspruchungen und Werkstoffe abdeckt. Folglich muss sich der Software-Anwender jeweils fragen, welches Versagenskriterium für welchen Teilbereich relevant ist, Bild 4. Deshalb benutzt jeder Anwender meist eine Kombination von



**BILD 3** Die Lagen des Monocoques können einzeln auf unterschiedliche Versagensmöglichkeiten analysiert werden

verschiedenen Versagenskriterien und entwickelt bezüglich deren Verwendung seine eigene Strategie. KTM Technologie hat sich für eine zweistufige Bewertung entschieden, um charakteristische Aussagen über mögliche Schäden in den zu untersuchenden Strukturen zu erhalten. So lässt sich analysieren, welche Lage des Materials nach welchem Kriterium bei welchem Lastfall versagen wird. Das wurde mit ACP realisiert. Insgesamt betrachtet ist die Validierung ein wesentlicher Bestandteil der Simulation, genauso wie die Bestimmung der Materialkennwerte. Werden diese Bereiche nicht ausreichend berücksichtigt, ist die Aussagekraft der Simulation nicht belastbar. Dabei kann die Validierung über einzelne Substrukturen oder aber auch über das gesamte Endprodukt erfolgen, je nach Anwendungsfall.

Die Erfolgskriterien für KTM Technologies im Zusammenhang mit dem Einsatz der Simulationssoftware sind sehr vielfältig. Neben der Belastbarkeit der Strukturen soll natürlich möglichst kein überflüssiges Material verwendet werden und die Fertigung möglichst einfach erfolgen. Außerdem sollte natürlich auch der Designanspruch erfüllt werden und der Zusammenbau der einzelnen Komponenten zum Gesamtfahrzeug problemlos realisierbar sein. Folglich müssen Bauräume beachtet und Wandstärken

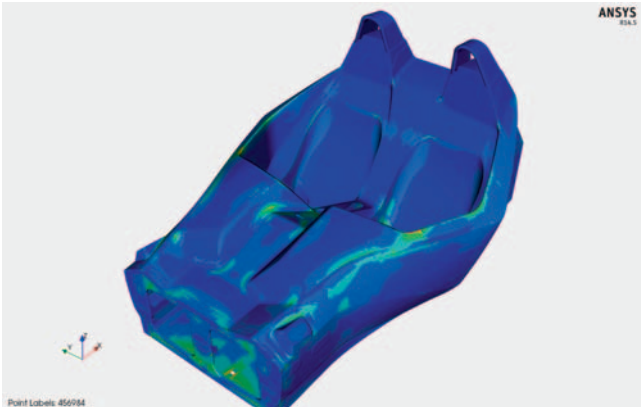



---

»Mit der Simulationssoftware konnte der Materialeinsatz und daraus resultierend das Gewicht um fast 20 % reduziert werden.«

Dipl.-Ing. Florian Huber ist Leiter der Forschung und Entwicklung bei KTM Technologies in Salzburg.

---



**BILD 4** Auswertung der Versagenskriterien für alle Lagen des Monocoques in einer Ansicht

eingehalten werden. Und das alles wird zusätzlich unter dem Kostengesichtspunkt betrachtet, sodass die Suche nach Kompromissen ebenfalls immer wieder auf der Tagesordnung steht. Eine erste Optimierung lässt sich über Modifikationen der Geometrie von der konstruktiven Seite realisieren, beispielsweise über das Plat-

zieren von Sicken, Rippen oder Verstärkungen in problematischen Bereichen. Anschließend kann mit der Wahl des Lagenaufbaus eine weitere Optimierung und später auch das Feintuning erfolgen. Hier zeigt sich wieder, wie ausschlaggebend die kontinuierliche Zusammenarbeit der einzelnen Disziplinen ist, die möglichst frühzeitig gestartet werden sollte. Hand in Hand können die Fachleute aus den unterschiedlichen Bereichen gemeinsam entscheiden, an welchen Stellschrauben gedreht werden soll: an der Geometrie, der Materialauswahl, dem Lagenaufbau oder dem Fertigungsverfahren. ●

**Die Autoren:**

DIPL.-ING. (FH) GERHARD FRIEDERICI M.A. arbeitet im Marketing bei der Cadfem GmbH in Grafing bei München.

DIPL.-ING. FLORIAN HUBER ist Leiter der Forschung und Entwicklung bei KTM Technologies in Salzburg.

Auf globaler Geschäftsebene erfolgreich und souverän



springer-gabler.de



Alexander Thomas  
**Interkulturelle Handlungskompetenz**  
 Versiert, angemessen und erfolgreich im internationalen Geschäft  
 2011. ca. 256 S. Br. EUR 34,95 ISBN 978-3-8349-3015-6

Die erfolgreiche Bewältigung der klassischen Managementaufgaben wie Verhandlungsführung, Teamarbeit und Vertrauensmanagement ist gerade in der Zusammenarbeit mit ausländischen Partnern aufgrund kultureller Differenzen mit besonderen Schwierigkeiten verbunden. Hier setzt das vorliegende Buch an und schärft an konkreten Fallbeispielen aus der direkten interkulturellen Praxis den Blick. Ein besonderer Lerneffekt ergibt sich dabei aus der Konfrontation mit dem erwartungswidrigen Verhalten von Geschäftspartnern.



Einfach bestellen: SpringerDE-service@springer.com  
 Telefon +49 (0)6221 / 3 45 – 4301

Änderungen vorbehalten. Erhältlich im Buchhandel oder beim Verlag.