

» Entwicklung von faserverstärkten Kunststoffbauteilen

Rechnergestützte Optimierung von Composites

Aufgrund ihrer hervorragenden Materialeigenschaften – namentlich der hohen gewichtsspezifischen Steifigkeit und Festigkeit – sind faserverstärkte Kunststoffbauteile prädestiniert für alle Leichtbauanwendungen. Die werkstoffgerechte Auslegung und Optimierung sind aber immer noch eine Herausforderung und stehen mancher Anwendung im Weg. Mittels computergestützter Optimierung können unterschiedliche Bauweisen anhand vordefinierter Kriterien miteinander verglichen und der Entwicklungsprozess erheblich verkürzt werden.

» Prof. Dr. Gion A. Barandun¹, Luca Müller²

Bei der Produkt- und Bauteilentwicklung ist die Dimensionierung von Strukturen ein zentraler Bestandteil. Während dies bei isotropen Werkstoffen vor allem über die Festlegung kritischer Querschnitte läuft, ist die Situation bei orthotropen oder anisotropen Faserverbundwerkstoffen schwieriger. Die Faserausrichtung und die Abfolge der einzelnen Faserlagen (Layer) beeinflussen das Steifigkeitsverhalten sowie Art und Zeitpunkt des Versagens erheblich. Oft müssen ausserdem verschiedene Lastfälle abgedeckt werden – die für einen Fall ideale Faserarchitektur ist für einen anderen nicht optimal oder sogar ungeeignet.

Die Entwicklung einer adäquaten Faserarchitektur kann deshalb eine erhebliche Herausforderung darstellen. Neben dem

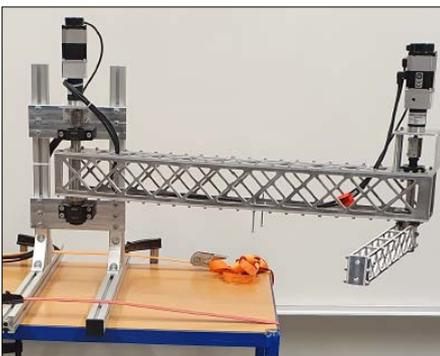


Bild. 2: Prototyp des Roboterarms als Aluminium-Fachwerk

¹ Prof. Dr. Gion Andrea Barandun, Fachbereichsleiter Faserverbundtechnik / Leichtbau, WK

² Luca Müller, wissenschaftlicher Mitarbeiter, IWK

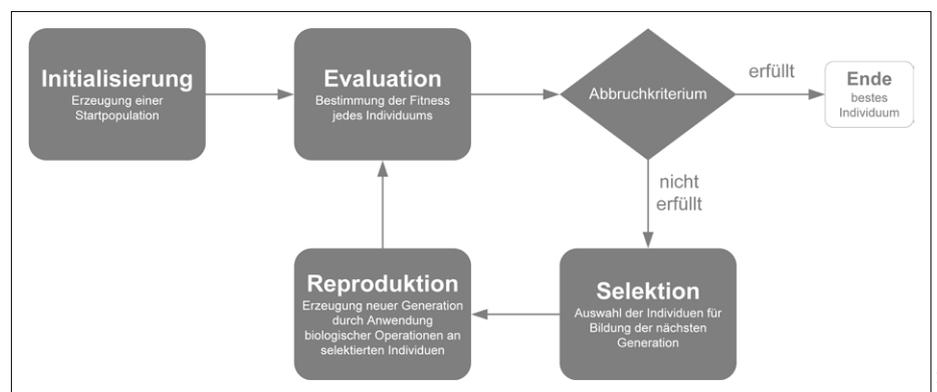


Bild 1: Ablauf der Optimierung mit Ansys DCS gemäss den Prinzipien der Evolutionären Algorithmen

notwendigen Know-how zur Auslegung und Beurteilung von Simulationsergebnissen ist auch ein hoher Zeitaufwand notwendig, um unterschiedliche Konfigurationen zu simulieren, die Resultate untereinander zu vergleichen und dann iterativ zu verbessern. Dennoch besteht immer die Gefahr, eine eventuell noch bessere Konfiguration nicht gefunden zu haben – es ist nicht möglich, «alle» Varianten durchzugehen, schon aus Zeitgründen nicht.

Neue Möglichkeiten dank rechnergestützter Optimierung

Ein Ansatz, diesem Dilemma zu entgehen, ist das Auslagern der eigentlichen Optimierung an die Simulationssoftware. Ausgangspunkt ist dabei ein Set an Parametern, welche das gesuchte Bauteil (in dieser Optimierung «Individuum» genannt) charakterisieren. Das können zum Beispiel folgende sein:

- Minimale und maximale Anzahl Lagen
- Mögliche Abstufungen der Lagen
- Zulässige Faserwinkel je Lage
- Materialauswahl je Lage

Aus einer entsprechenden Struktursimulation (Evaluation) resultieren anschliessend Werte, mit denen jedes dieser Bauteile (Individuen) bewertet werden kann. Auch hier können unterschiedliche Kriterien herangezogen werden, zum Beispiel:

- Gesamtgewicht des Bauteils
- Deformation (je nach Lastfall)
- Reservefaktoren (Versagen)

In der Optimierung werden also sehr viele verschiedene Varianten des Bauteils (mit unterschiedlicher Lagenanzahl, Faserorientierung, Materialwahl) simuliert und miteinander verglichen. Der Optimierungsalgorithmus erlaubt es, aus dieser sehr grossen Anzahl möglicher Kombinationen die beste zu finden, und dies mit vertretbarem Aufwand, da der eigentliche Optimierungsprozess mehr oder weniger automatisch softwaregesteuert abläuft. Dieser Prozess geht weit über eine reine Topologieoptimierung hinaus, da – entsprechend der Natur von Faserverbundwerkstoffen – das Bauteil und der Werkstoff parallel verbessert werden. Die eigentliche Optimierung läuft in mehreren sog. Generationen ab, welche jeweils eine bestimmte Anzahl an

Individuen (Bauteile mit bestimmten Merkmalen) enthalten. Angelehnt an die Evolutionstheorie überleben nur die besten Individuen (survival of the fittest) und geben ihre Merkmale weiter an die nächste Generation, bis schliesslich das beste Individuum gefunden ist (Bild 1).

Anwendung für einen ultraleichten Roboterarm

Für einen mobilen Roboter soll ein Arm bezüglich des Gewichts optimiert werden. Die aktuelle Lösung aus Aluminium (Fachwerk) wird dabei durch eine Faserverbundvariante ersetzt. Im Einsatz wird der Arm sowohl auf Biegung wie auch Torsion (durch einen drehbaren Ausleger, siehe Bild 2) beansprucht.

Für die Composite-Lösung können die Wandstärke bzw. die Lagenanzahl über die Längsachse des Trägers verändert werden (Bild 3). Schon bei diesem relativ einfachen Beispiel würde der klassische, rein auf Simulation basierende Entwicklungsprozess sehr aufwändig werden, da durch die verfügbaren Parameter eine grosse Anzahl möglicher Kombinationen entsteht.

Deshalb wurde mittels der Software Ansys und dem dort integrierten Tool DCS (Distributed Compute Service) eine Optimierung implementiert, um die bestmögliche Lösung zu finden. Die Software ist so flexibel gestaltet, dass sie sowohl lokale Setups (nur mit einem Computer), wie auch vernetzte Systeme (internes Netzwerk, Cloud) zulässt und damit extrem skalierbar ist – je mehr Rechenpower vorhanden ist, umso schneller ist die gesuchte Lösung gefunden. Für den konkreten Fall des Trägerarms können noch zusätzliche Einschränkungen eingebracht werden, zum Beispiel soll das Laminat symmetrisch bleiben. Das Optimierungsziel ist ein möglichst geringes Gewicht bei einer vorgegebenen (möglichst kleinen) Deformation. Eine Festigkeitsüberprüfung findet erst nachgeschaltet zur Kontrolle statt, könnte aber ebenfalls direkt in die Optimierung integriert werden.

Relevante Resultate in kürzester Zeit

Die Resultate der Optimierung zeigen einerseits das Potenzial der Composite-

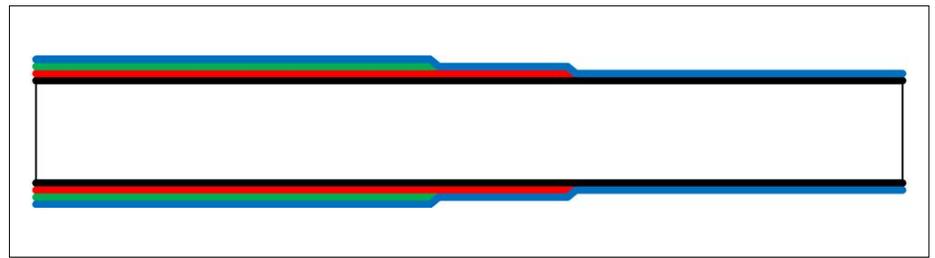


Bild 3: Abstufung der Lagendicke gemäss Biegemomentenverlauf über den Träger

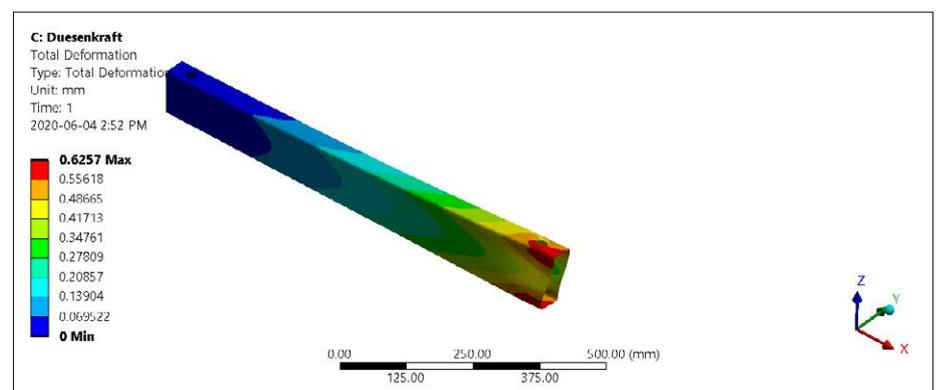
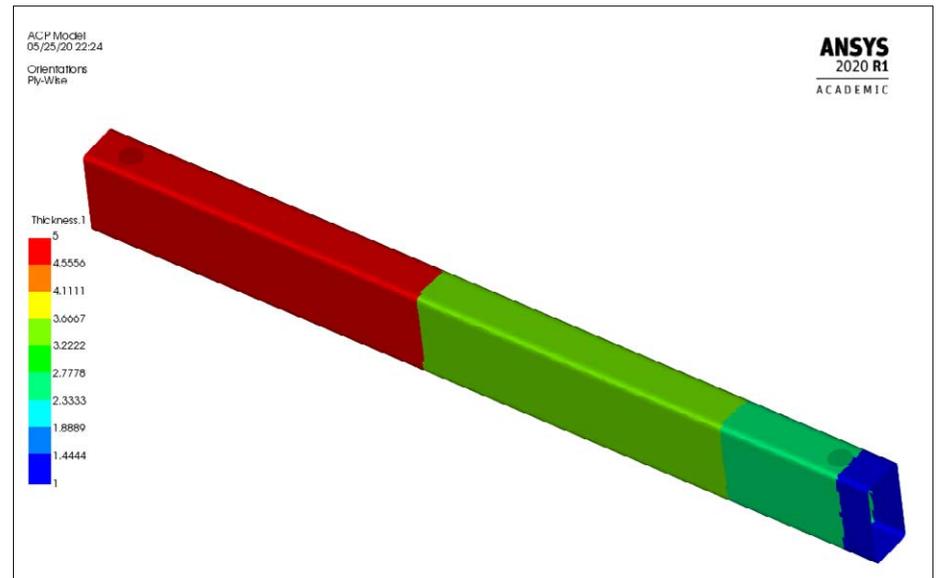


Bild 4: Resultierende Lagendicke (oben) und totale Deformation für einen Lastfall (unten)

Bauweise, andererseits aber auch der Optimierung mittels Ansys: in der besten Faserverbund-Variante ist der Arm nur noch halb so schwer wie die Aluminium-Version, weist aber eine 10% höhere Steifigkeit (bezogen auf die Deformation) auf. Die Evaluation von 40 Generationen mit jeweils 24 Individuen kann bei entsprechender Rechenkapazität über Nacht laufen – eine iterative Verbesserung im Sinne eines klassischen, rein auf Simulation basierten Entwicklungsprozesses würde erheblich mehr Zeit in Anspruch nehmen.

Kontakte

IWK Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung
Eichwiesstrasse 18b
CH-8645 Rapperswil-Jona
+41 55 222 4770
rj-iwk@ost.ch, www.iwk.hsr.ch

Ansys Switzerland GmbH
Technoparkstrasse 1
CH-8005 Zürich
+41 44 500 9360
info-switzerland@ansys.com
www.ansys.com