

## Optimierung und Fertigung eines Bogenmittelteils aus einer Magnesiumlegierung

Jürgen Edelmann-Nusser <sup>1</sup> (Projektleiter), Sándor Vajna <sup>2</sup> & Konstantin Kittel <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universität Magdeburg, Institut für Sportwissenschaft

<sup>2</sup> Universität Magdeburg, Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik

### 1 Einleitung

Die Entwicklung der Bogenmittelteile von Recurve-Bögen (vgl. Abb. 1) in den letzten 15 Jahren ist durch eine Reduktion des Gewichts gekennzeichnet: So wurden Ende der 1980er Jahre die Mittelteile zwar aus Aluminiumlegierungen hergestellt, sie waren von der Konstruktion her aber sehr massiv und deshalb entsprechend schwer. Anfang der 1990er Jahre wurden zunehmend höherwertige Aluminiumlegierungen (höhere Streckgrenzen und größere Elastizitätsmodule) eingesetzt. Dies ermöglichte weniger massive Konstruktionen und führte zu leichteren Mittelteilen. So weisen die heute erhältlichen Mittelteile verschiedene Konstruktionsarten wie Fachwerk-, Stab- oder Lochbauweise auf und erfüllen damit die wichtige Eigenschaft der hohen Festigkeit bei geringem Eigengewicht.

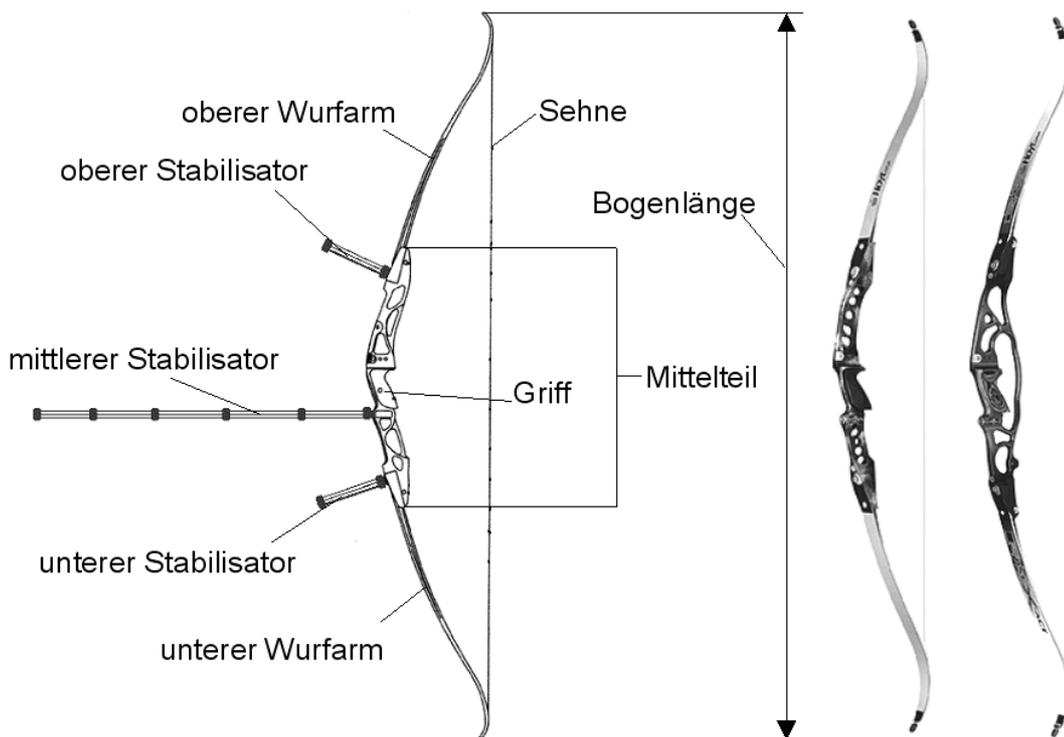


Abb. 1: Links: Schematische Zeichnung eines Recurve-Bogens mit Stabilisatoren. Rechts: Fotografien zweier Recurve-Bögen ohne Stabilisatoren.

Kriterien für ein gutes Bogenmittelteil eines Recurve-Bogens sind damit geringes Gewicht bei hoher Steifigkeit. Im Rahmen des Projektes „Optimiertes Bogenmittelteil“ wurde ein handelsübliches Bogenmittelteil aus Aluminium vor allem im Hinblick auf eine Reduktion der Masse bei hoher Steifigkeit optimiert: So gelang gegenüber dem Mittelteil RADIAN des Herstellers Hoyt eine Gewichtsersparnis von 243 g bzw. 22 % (Masse RADIAN: 1114 g; Masse optimiertes Aluminiummittelteil: 871 g) bei vergleichbarer Steifigkeit (vgl. Edelmann-Nusser, 2005).

*Ziel dieses Projekts war nun die Entwicklung eines Mittelteils mit einer deutlich höheren Steifigkeit und nur etwas geringerer Masse im Vergleich zu dem Mittelteil RADIAN des Herstellers Hoyt.*

Als Material für das Bogenmittelteil sollte eine Magnesiumlegierung ( $\text{MgZn}^3\text{Zr}$ ) verwendet werden. Der Vorteil von Magnesium gegenüber Aluminium ist seine geringere Dichte ( $\text{Mg}$ :  $1,8 \text{ g/cm}^3$ ;  $\text{Al}$ :  $2,7 \text{ g/cm}^3$ ), wobei Magnesium allerdings auch einen geringeren E-Modul ( $\text{Mg}$ :  $45 \text{ kN/mm}^2$ ;  $\text{Al}$ :  $70 \text{ kN/mm}^2$ ) aufweist. Dies führt dazu, dass ein zylindrischer Körper der Länge  $l$  und der Masse  $m$  aus Magnesium zwar bei Beanspruchungen auf Zug keinen Vorteil gegenüber einem zylindrischer Körper der Länge  $l$  und der Masse  $m$  aus Aluminium aufweist (der Quotient aus E-Modul/Dichte ist für  $\text{Mg}$  und  $\text{Al}$  ungefähr gleich), wohl aber bei Biegebeanspruchungen, da der Magnesiumzylinder einen größeren Durchmesser und somit ein höheres Biegegewidstandsmoment aufweist.

## 2 Methoden

Als erstes wurden eine Analyse der auf das Mittelteil wirkenden Kräfte und Strukturanalysen durchgeführt: Auf der Basis eines statischen Lastfalls eines gespannten Bogens (siehe Abb. 2) wurden über ein Finite-Element-Modell des Mittelteils RADIAN die aus dem Lastfall (Auszugskraft  $FA = 200\text{N}$ ) resultierenden mechanischen Spannungen und Verformungen bestimmt (siehe Abb. 2).

Mit Hilfe einer Neuro-Fuzzy-Datenanalyse (NEFCLASS-Modell, vgl. Nauck et al., 1996) konnte unter Verwendung der Ergebnisse aus dem Projekt „Optimiertes Bogenmittelteil“ folgende Regel für die Konstruktion „guter“ Mittelteile abgeleitet werden: „Die Breite im Griffbereich muss groß sein“ (vgl. Abb. 3).

Anschließend erfolgten die Konstruktion eines parametrischen CAD-Modells eines Magnesiummittelteils mit 21 Parametern und die Optimierung der Parameter des CAD-Modells mittels Evolutionärer Algorithmen (vgl. Edelmann-Nusser, 2005). Ziel der Optimierung mittels Evolutionärer Algorithmen war es, Werte für die 21 Parameter zu finden, so dass das Mittelteil möglichst steif (geringe max. Verformung) und möglichst leicht

wird: Der Algorithmus startet hierzu unten rechts in Abbildung 3 mit 31 zufällig initialisierten Individuen (= Mittelteile). Diese werden über Strukturanalysen bewertet, d. h. es werden die Masse, die max. Verformung und die mechanischen Spannungen im statischen Lastfall bestimmt. Anschließend erfolgt die Selektion von Paaren mittels Roulette-Wheel-Selektion, worauf dann über Rekombination, Mutation und Reinitialisierung neue Individuen oder Mittelteile generiert werden, die dann wieder über Strukturanalysen bewertet werden. Diese Schleife wurde 23 mal durchlaufen, wobei 690 Mittelteile generiert und bezüglich ihrer Eigenschaften analysiert wurden.

Abschließend wurde das Mittelteil gefertigt und am Olympiastützpunkt in Berlin in der Praxis getestet.

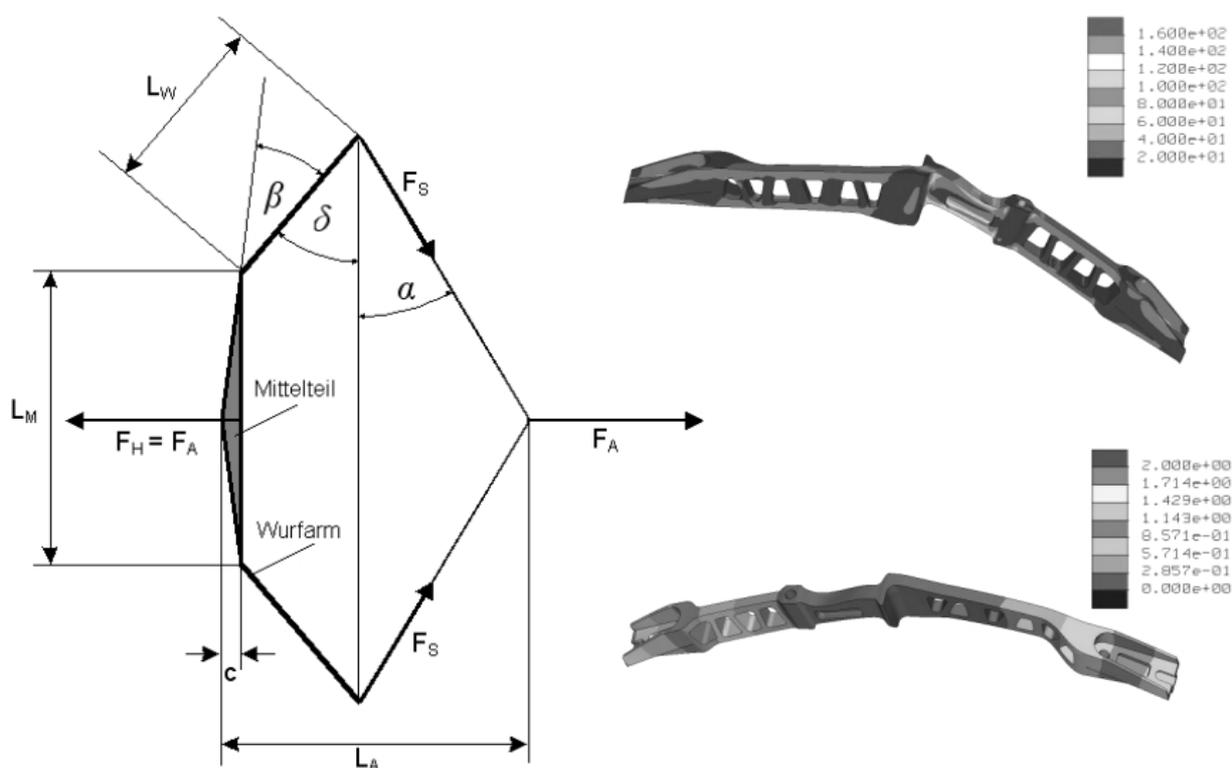


Abb. 2: Links: Schematische Darstellung eines gespannten Bogens, der an ihm wirkenden äußeren Kräfte  $F_A$  (Auszugskraft) und  $F_H$  (Kraft der Bogenhand) und der inneren Kräfte  $F_S$  (Sehnenkräfte).  $L_A$ : Auszugslänge;  $L_M$ : Länge des Mittelteils;  $L_W$ : Länge des Wurfarms in gespanntem und ausgezogenem Zustand des Bogens. Rechts oben: Analyse der in dem Hoyt-Bogenmittelteil RADIAN auftretenden mechanischen Spannungen. Die Grautöne geben entsprechend der oben rechts dargestellten Zuordnung die Spannungswerte in  $\text{N/mm}^2$  wieder. Der maximale Wert der Spannung beträgt  $135 \text{ N/mm}^2$ . Rechts unten: Analyse der Verformung des Hoyt-Bogenmittelteils RADIAN. Die Grautöne geben den vektoriellen Betrag der räumlichen Verschiebung oder Verformung in mm an. Die räumliche Verschiebung wurde dabei bezüglich des Kraftangriffspunkt der Kraft  $F_H$  am Griff (siehe in der Abb. links) definiert. Die maximale Verformung des Mittelteils beträgt  $1,85 \text{ mm}$ .

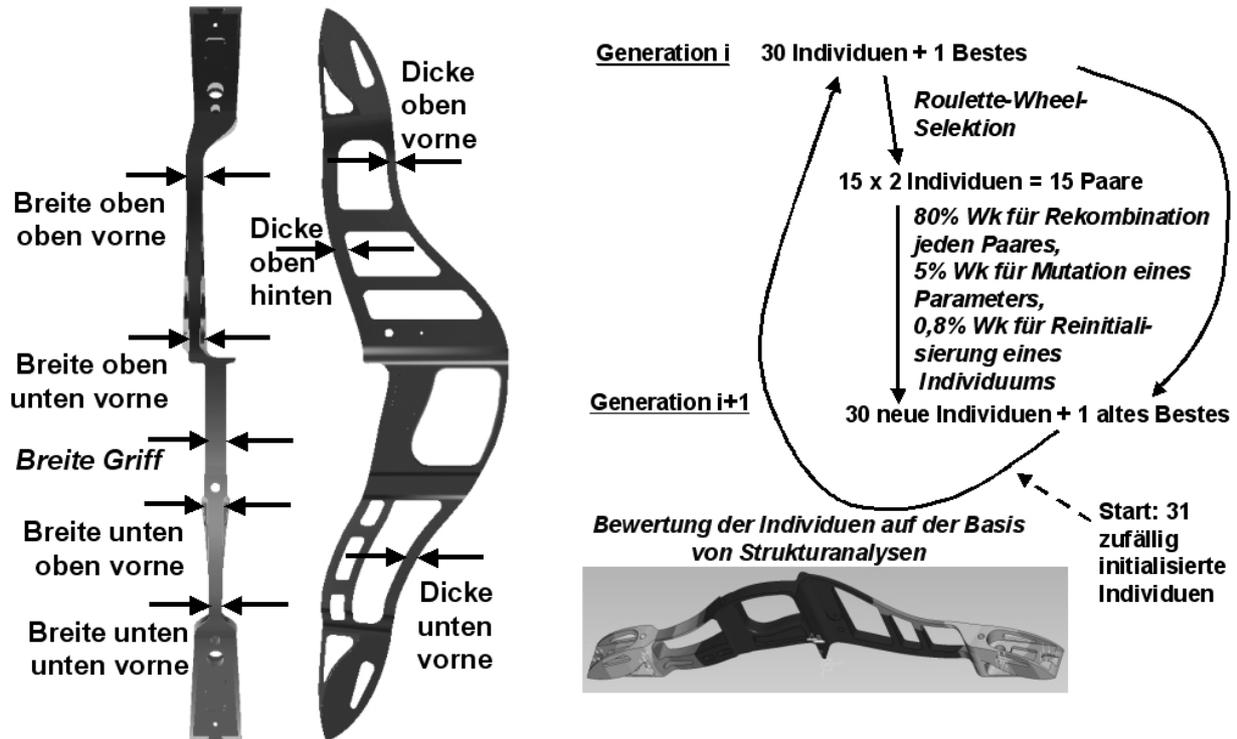


Abb. 3: Links: Zwei Ansichten des parametrischen CAD-Modells mit Beispielen für einige der 21 Parameter. Rechts: Schema des Evolutionären Algorithmus.



Abb. 4: Bogen mit Magnesiummittelteil.

### 3 Ergebnisse

Das gefertigte Magnesiummittelteil (vgl. Abb. 4) weist eine Masse von 1006g bei einer maximalen Verformung von 1,05 mm auf. (RADIAN: 1114 g bei max. Verformung von 1,85 mm; optimiertes Aluminiummittelteil: 871 g bei max. Verformung von 1,94 mm). D. h. trotz deutlich erhöhter Steifigkeit im Vergleich zum Mittelteil RADIAN konnte die Masse noch um über 100 g reduziert werden.

#### **4 Literaturverzeichnis**

Edelmann-Nusser, J. (2005). *Sport und Technik - Anwendungen moderner Technologien in der Sportwissenschaft*. Aachen: Shaker.

Nauck, D., Klawonn, F. & Kruse, R. (1996). *Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme*. Braunschweig: Vieweg.

