

# Entwicklung einer Leichtbau - Steuerstange aus Faserverbundwerkstoff für die Luftfahrt

Martin Welsch & Ralph Funck  
CirComp GmbH  
Marie-Curie-Str.11  
67661 Kaiserslautern, Germany  
www.circomp.de

**Kurzfassung**— Die vorliegende Veröffentlichung behandelt die Entwicklung von Steuerstangen (engl. Control-Rods) für Kleinflugzeuge und Business-Jets. Die Lastübertragung der entwickelten Streben wird über eine konservativ ausgelegte formschlüssige Verbindung realisiert. Durch das gewählte Design liegt die Gewichtseinsparung im Vergleich zu herkömmlichen Aluminium-Rods bei ca. 40%. Durch entsprechende Versuche konnten die Lastanforderungen der Steuerstangen verifiziert werden.

**Schlagworte**— Faserverbundwerkstoff, Steuerstange, Control-Rod, Titan, FilaWin®, Luftfahrt, BVID

## I. EINLEITUNG

Die Luftfahrtindustrie stellt immer höhere Anforderungen an Steifigkeit, Festigkeit, Gewicht und Korrosionsbeständigkeit. Neben diesen Aspekten spielt die Wirtschaftlichkeit eine bedeutende Rolle. Somit ist das Ziel die Entwicklung von Bauteilen mit besseren oder gleichen Eigenschaften bei niedrigerem Gewicht und, wenn möglich, niedrigeren Kosten. Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, ist eine Entwicklung von Komponenten aus neuen leichteren Werkstoffen wie z.B. Faserverbundwerkstoffen unumgänglich.

Bei Flugzeugen werden für das Flugleitsystem unter anderem Steuerstangen (engl.: Control Rods) aus Stahl oder Aluminium eingesetzt [1]. Beispielsweise werden Control-Rods zum Steuern des Querruders, des Seitenruders, des Höhenleitwerks, etc. verwendet (siehe Abbildung 1).

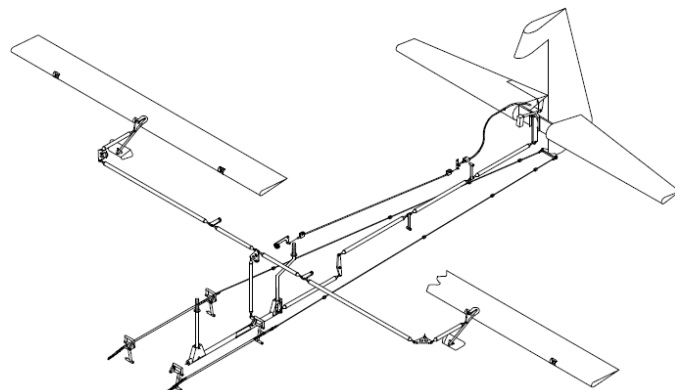


Abbildung 1: Beispiel für ein Flugleitsystem [2]

Im Rahmen der Entwicklung wird ein Design für Steuerstangen aus Faserverbund erarbeitet und verifiziert.

## II. STAND DER TECHNIK

Steuerstangen bestehen i.d.R. aus einem Rohrkörper und zwei Gelenkköpfen, die längeneinstellbar sind. Sie übertragen die axialen Kräfte und die axiale Steuerbewegung. Abbildung 2 zeigt den schematischen Aufbau einer Steuerstange.

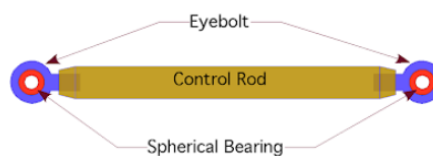


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Steuerstange [3]

Nach dem aktuellen Stand der Technik werden diese Streben aus Stahl oder Aluminium hergestellt. Um das Leichtbaupotenzial weiter auszuschöpfen, gibt es bereits Entwicklungen aus CFK (siehe [4]).

### III. CONTROL-ROD ANFORDERUNGEN UND DESIGN

An den zu entwickelnden Faserverbund Control-Rod werden folgenden Anforderungen gestellt:

- Ultimate Load Zug und Druck 8kN
- Abstand Auge-Auge 990mm
- Maximaler Außendurchmesser 28,60mm

Für eine sichere Kraftübertragung wird eine formschlüssige Bolzenverbindung zwischen dem CFK-Rohrkörper und dem Insert für die Lasteinleitung gewählt. Die Dimensionierung wird in Anlehnung an [5] durchgeführt. Das Insert besitzt ein entsprechendes Gewinde für den Gelenkkopf und wird über Titanstifte mit dem Faserverbund-Rohrkörper verbunden. Das Insert kann beispielsweise aus den Werkstoffen Titan oder Aluminium (mit entsprechender Oberflächenbeschichtung) ausgeführt werden. Die formschlüssige Verbindung kann mit einer zusätzlichen stoffschlüssigen Verbindung kombiniert werden. Für die Prototypversuche wird auf eine zusätzliche Klebung verzichtet.

Der CFK-Rohrkörper wird mittels der FilaWin®-Technologie hergestellt. Abbildung 3 zeigt den entwickelten Control-Rod mit Insert, Gelenkkopf und Sicherung.



Abbildung 3: AirStrut® CFK-Steuerstange

### IV. VERSUCHE

Die Steuerstangen werden u.a. Impaktversuchen und anschließenden statischen Zug- und Druckversuchen unterzogen.

#### 1. Impaktversuche

Die Impaktversuche werden mittels eines Fallturmes durchgeführt. Es wird ein kugelförmiger Impaktor mit einem Durchmesser von 16mm verwendet. Zur Bestimmung der BVID (engl. Barely Visible Impact Damage) Grenzenenergie werden Versuche an einem CFK-Rohrkörper mit gleichem Lagenaufbau wie die Steuerstangen durchgeführt.

Die Control-Rods werden in der Bauteilmitte impaktiert.

#### 2. Zug-/ Druckversuche

Für die Versuche wird eine Zug- Druck Prüfeinrichtung verwendet. Im ersten Versuch wird ein nicht impaktierter Control-Rod nach folgendem Testablauf geprüft:

1. Aufbringen einer Drucklast bis 8,2kN (wegeregelt mit 5mm/min)
2. Halten der Last für 2s (kraft geregelt)
3. Entlasten
4. Aufbringen einer Zuglast bis zum Bruch (wegeregelt mit 5mm/min)

Im zweiten Versuche wird die maximale Knicklast ermittelt. Dafür wird ein Rod mit 5mm/min bis zum Knicken belastet.

Um die Durcklastanforderung zu prüfen, werden zwei impaktierte Rods einem Druckversuch bis 8,2kN (mit 5mm/min) unterzogen.

### V. VERSUCHSERGEBNISSE

#### 1. Impaktversuche

Zur Bestimmung der BVID-Grenzenenergie wird ein Rohrprobekörper mit unterschiedlichen Energien impaktiert. Dabei wird mit einer Energie von 2J begonnen. Diese wird sukzessiv gesteigert bis ein BVID an dem Rohrkörper vorliegt. Abbildung 4 zeigt exemplarisch das Schadensbild bei den Energien 2J, 3,84J und 5J.

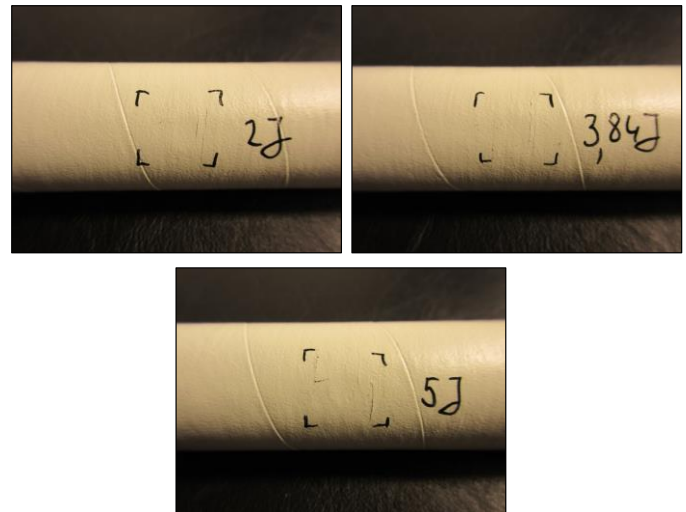


Abbildung 4: Ergebnisse der Impaktversuche mit 2J, 3,84J und 5J

Anhand der Schadensbilder wird eine BVID-Energie von 5J für die Control-Rods definiert.

#### 2. Zug-/ Druckversuche

Die Prüfung an einem nicht impaktierten Rod führt zu folgendem Kraft-Weg-Diagramm (siehe Abbildung 5).

## VI. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der Entwicklung „Control-Rod“ wird eine Steuerstange für Kleinflugzeuge konzipiert. Dabei wird ein schlankes und möglichst leichtes Design realisiert. Die Lasteinleitung wird mittels einer konservativ ausgelegten Bolzenverbindung ausgeführt. Die in der FilaWin®-Technologie hergestellten AirStrut® Control-Rod Prototypen werden Impaktversuchen unterzogen, um den UL (Ultimate Load) Lastfall prüfen zu können. Die Impaktversuche zeigen, dass im Mittelbereich des Rods eine Energie von ca. 5J für einen BVID erforderlich ist.

Die Zug-/ Druckversuche zeigen, dass die hergestellten Prototypen die Anforderungen erfolgreich ertragen und die Faserverbund - Steuerstangen unter Verwendung des vorgestellten Designs für Luftfahrtanwendungen mit höchsten Anforderungen an Qualität, Sicherheit, Gewichts- und Lastanforderungen umgesetzt werden können.

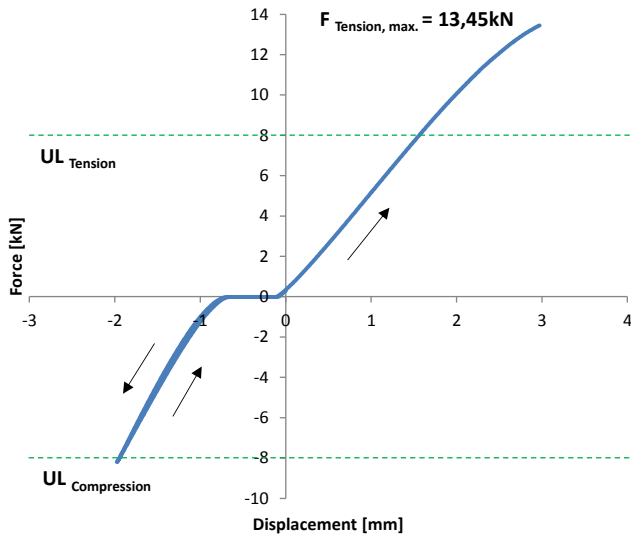


Abbildung 5: Kraft-Weg-Diagramm eines nicht impaktierten Control-Rods

Die Druckprüfung bis 8,2kN wird ohne Instabilitätsverhalten realisiert. Bei der Zugkraft von 13,45kN tritt das Zugversagen auf.

In einem weiteren Druckversuch eines nicht impaktierten Rods wird eine maximale Knicklast von 9,1kN ermittelt.

In der Abbildung 6 ist exemplarisch das Ergebnis der Druckprüfung (bis 8,2kN) eines mit 5J impaktierten Rods dargestellt.

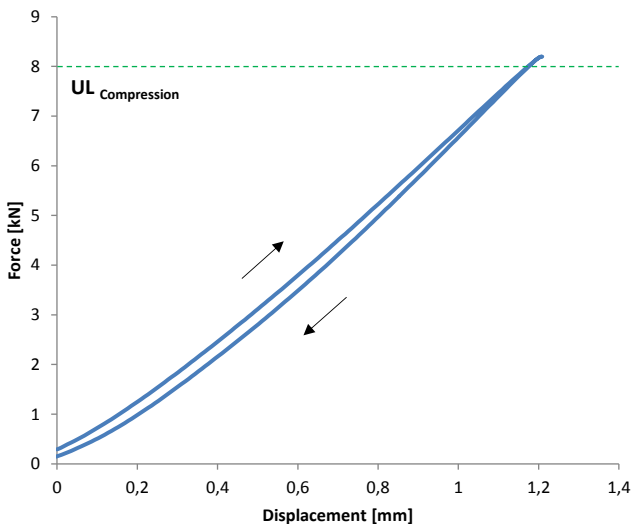


Abbildung 6: Kraft-Weg-Diagramm eines impaktierten Control-Rods (5J Rohrmitte)

Die Impaktposition liegt in der Mitte des Rohrkörpers. Es wird kein Instabilitätsverhalten während des Prüfablaufes festgestellt. Demzufolge erfüllt die entwickelte Steuerstange die Bauteilanforderungen. Im Vergleich zu einer Aluminiumstrebe liegt der Gewichtsvorteil im Bereich von ca. 40%.

## LITERATUR

- [1] N. Daneshjo, C.D. Stratyński, A. Kohla, C. Dietrich – Flight Control Systems; Technische Universität Košice; 2013
- [2] Service Manual EXTRA 300; EXTRA Flugzeugbau GmbH; Juni 1996
- [3] W. Stout – Aerospace Flight Control Systems; Design Aerospace LLC; 2018
- [4] J. Ludick, T. Raman – Industrialization of a Carbon Composite Control Rod; 1999
- [5] H. Schürmann – Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden; Springer-Verlag; 2007