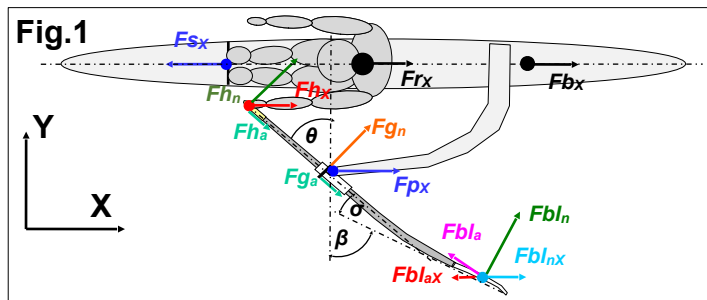


## Verfeinerte Bilanz der Vortriebskräfte

Die genaue Bestimmung der Bilanz der Vortriebskräfte im Ruderer-Boot-Ruder-System ist sehr wichtig für das exakte Verständnis der Mechanik der Kraft- und Leistungsübertragung von den hydrodynamischen Blattkräften bis hin zur Bewegung des gesamten Systems. Ein klares Verständnis dieser Mechanik kann dabei helfen die Effizienz des Systems zu optimieren und damit die Leistung zu verbessern. Früher war es nicht möglich die akkurate Bilanz zu erhalten und es wurden Diskrepanzen zwischen der Vortriebskraft des Blattes (so wie sie damals definiert wurde) und der Kraft, die auf das Ruderer-Boot-System einwirkt, gefunden (RBN 02/2019, 12/2020). Mit unseren neuesten **BioRow** Entwicklungen, die Methode zur exakten Bestimmung des Druckmittelpunktes (CP) am Ruderblatt (RBN 10/2020) und einem 4D ausgerüstetem Rudergriff (RBN 06/2021), der die axialen Griffkräfte genau messen kann, wurde es möglich das Puzzle zu komplettieren und die genaue Bilanz der Vortriebskräfte beim Rudern abzuleiten.



Die Messungen wurden mit dem selben ausgerüsteten Einer durchgeführt, wie schon einmal (RBN 01-02/2019), somit brauchen wir die Beschreibung dafür nicht noch einmal zu wiederholen. Die **Vortriebskraft  $F_{bX}$**  am Boot (Fig.1) wurde auch so definiert, wie schon zuvor, als die Differenz zwischen der Dollenstiftkraft  $F_{pX}$  und der Stembrettreaktionskraft  $F_{sX}$  (Summe der entgegengesetzten Vektoren):

$$F_{bX} = F_{pX} - F_{sX} \quad (1)$$

Die Vortriebskraft  $F_{rX}$ , die auf den Masseschwerpunkt CM des Ruderers wirkt, wurde als die Differenz zwischen der Stembrettreaktionskraft  $F_{sX}$  und der Resultierenden X der Griffkraft  $F_{hX}$  definiert, wobei letztere die Vektorsumme der X-Komponenten der normalen  $F_{h_n}$  und axialen  $F_{h_a}$  Griffkräfte ist. Früher (RBN 02/2019) nahm man an, daß  $F_{h_a}$  gleich der gemessenen axialen Dollenkraft  $F_{g_a}$  sei, und "sie leicht unterschiedlich sein könnten", wobei aber herauskam, daß das nicht stimmt. Nun wurde die axiale Griffkraft  $F_{h_a}$  direkt mit unserem neuen **BioRow** 4D instrumentierten Griff gemessen (RBN 06/2021) und in der Gleichung für die Vortriebskraft des Ruderers  $F_{rX}$  genutzt:

$$F_{rX} = F_{sX} - F_{hX} = F_{sX} - (F_{h_n} \cos(\theta) + F_{h_a} \sin(\theta)) \quad (2)$$

Die Vortriebskraft des Systems  $F_{sysX}$  wurde definiert als die Vektorsumme der Kräfte von Boots- und Ruderer-CM:

$$F_{sysX} = F_{rX} + F_{bX} \quad (3)$$

Die normale Blattkraft  $F_{bl_n}$  wurde in RBN 10/2020 vom gemessenen Drehmoment am Ruder definiert und der tatsächliche Außenhebel wurde berechnet, indem man die Position des CP am Blatt nutzte. Die axiale Blattkraft  $F_{bl_a}$  wurde wie in RBN 06/2021 abgeleitet: als die Vektorsumme der axialen Kräfte an  $F_{h_a}$  und Dolle  $F_{g_a}$ , mit der Korrektur für den Übertrag der normalen Blattkraft, die durch den Winkel  $\sigma$  für die Durchbiegung des Ruders verursacht wird:

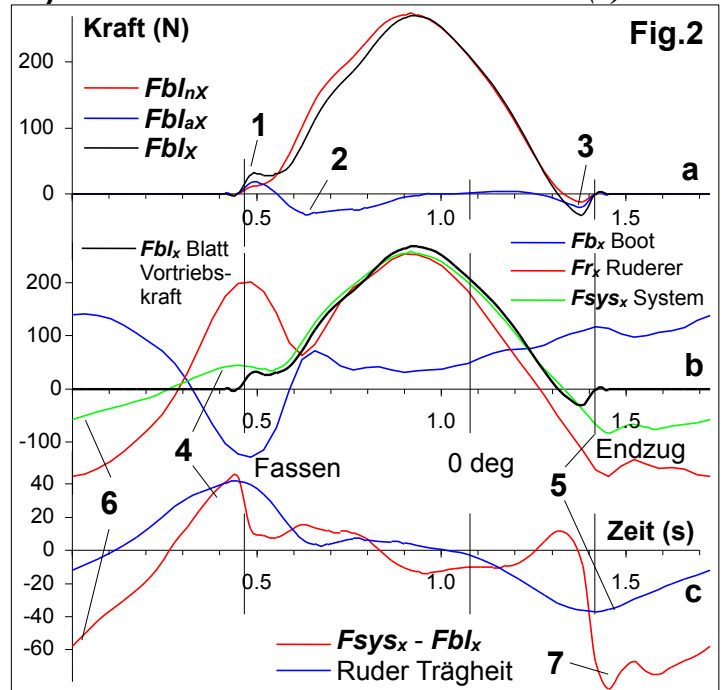
$$F_{bl_a} = (F_{h_a} - F_{g_a} - F_{bl_n} * \sin(\sigma)) / \cos(\sigma) \quad (4)$$

Die Gesamtvortriebskraft des Blattes  $F_{bl_X}$  wurde definiert als die Vektorsumme der X-Komponenten der normalen  $F_{bl_{nX}}$  und axialen  $F_{bl_{aX}}$  Blattkräfte:

$$F_{bl_X} = F_{bl_{nX}} + F_{bl_{aX}} = F_{bl_n} \cos(\beta) + F_{bl_a} \sin(\beta) \quad (5)$$

wobei der Blattwinkel  $\beta$  berechnet wurde als die Summe vom gemessenen Ruderwinkel  $\theta$  und dem Winkel der Schaftdurchbiegung  $\sigma$ , der vom Rudersteifheitsfaktor und der normalen Blattkraft  $F_{bl_n}$  abgeleitet wurde:

$$\beta = \theta + \sigma \quad (6)$$



Am Beginn des Durchzuges (Fig.2a, Daten eines M1x bei 34spm), liefert die axiale Kraft den Hauptbeitrag zum Vortrieb des Ruders (1), aber dann wird sie negativ und erzeugt eine Bremskraft während der ersten Hälfte des Durchzuges (2) und auch kurz vor dem Endzug (3). Deshalb ist es wichtig, daß man die Bremskraft, die durch die axiale Blattkraft erzeugt wird, minimiert, indem man die Boots- und Blattoberfläche so glatt wie möglich macht.

Die Kurven der Vortriebskräfte am Blatt  $F_{bl_X}$  und dem Ruderer-Boot-System  $F_{sysX}$  waren sehr ähnlich (Fig.2,b) und korrespondieren viel besser als in früheren Experimenten, somit differieren ihre durchschnittlichen Werte lediglich um 0,5%. Der Hauptgrund für die Differenzen zwischen den Kurven waren die Trägheitskräfte des Blattes (Fig.2,c), die im Systemvortrieb  $F_{sysX}$  beim Fassen ansteigen (4, die Rotation des Ruders verringert sich

und die Trägheit treibt die Dollenstifte vorwärts) und nach dem Endzug sich wieder verringern (5, Ruder werden beschleunigt und drücken die Dollenstifte rückwärts). Ein Grund für die übermäßige Bremskraft auf der Hälfte des Vorrollens (6) könnte die aerodynamische Bremskraft der Ruder sein. Nach dem Ausheben (7) – ditschen die abgedrehten Blätter auf das Wasser auf (im Durchschnitt betrug  $F_{sysx} - F_{blx}$  über den Schlagzyklus -15N).

Schlußfolgerung: **Die wichtigste Errungenschaft dieser Studie war es eine verfeinerte Bilanz der Vortriebskräfte im Ruderer-Boot-Ruder-System zu erhalten. Das bestätigt die Gültigkeit unserer Modelle, die Genauigkeit der Messungen und erlaubt weitere umfangreichere Untersuchungen für die Optimierung der Ruder Biomechanik.**

*Mein Dank für die Unterstützung bei dieser Studie geht an meine Frau Katerina, Trainerin beim Marlow RC, die uns leider am 8.September verlassen hat.*

©2021 Dr. Valery Kleshnev [www.biorow.com](http://www.biorow.com)