

Bilanz der Kräfte auf dem Bootskörper

Kürzlich wurden umfassende Experimente zur Kraftmessung mit der neuen C-förmigen **BioRow** Halterung an einem Boot mit Flügelausleger durchgeführt (Fig.1). Damit wurden die Kräfte dreidimensional am Dollenstift gemessen: in horizontaler F_{pH} , seitlicher F_{pS} und vertikaler F_{pV} Richtung. Die Kräfte an der Dolle wurden mit der zweidimensionalen **BioRow** Dolle in normaler F_{gN} und axialer Richtung F_{gA} gemessen.

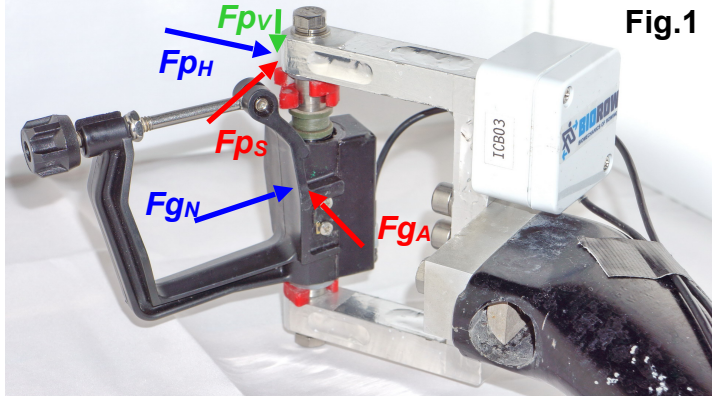


Fig.1

Die Stembrettkraft wurde an drei Punkten mit **BioRow** v.2009 Sensoren bestimmt (RBN 2013/08), welche nur die horizontale Kraftkomponente F_{SH} messen (Fig.2).

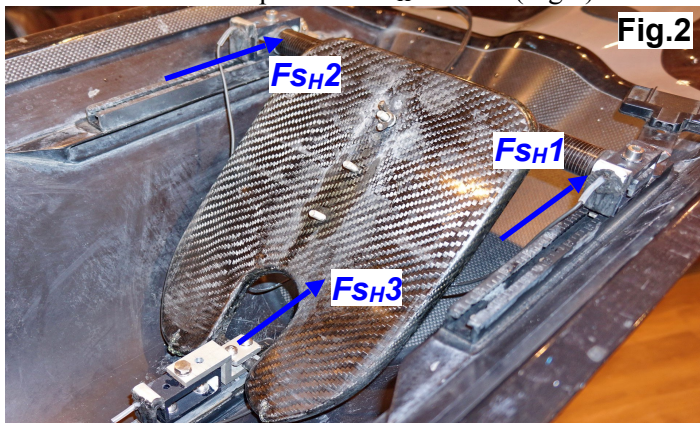


Fig.2

Andere biomechanische Variablen wurden mit dem Standard **BioRow** System gemessen (Fig.3): Ruderwinkel in horizontaler A_h und vertikaler A_v Ebene (RBN 2009/10), Rollsit- und Oberkörperbewegungen (2014/12), Bootsgeschwindigkeit, -beschleunigung und -rotationen (2012/03), Windgeschwindigkeit und -richtung (2013/06).

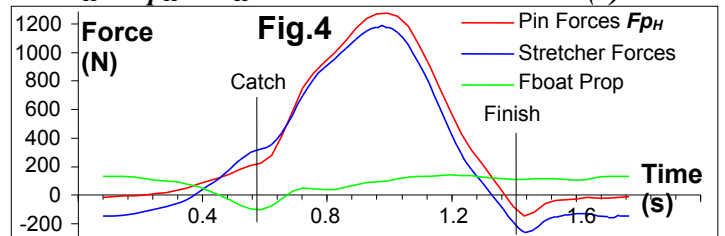


Fig.3

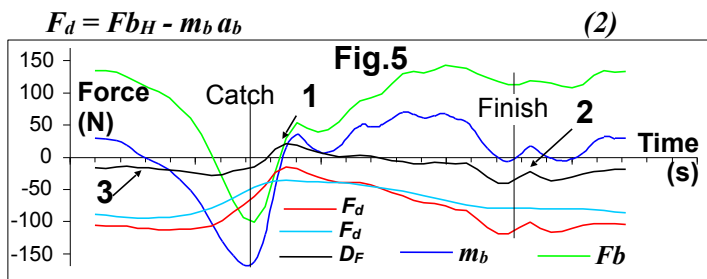
Ein männlicher Skuller (1.84m, 84kg) führte 8 kurze Teststrecken von je etwa ~200m durch. Die Schlagfrequenz steigerte er dabei von 17.2 bis auf 41.5 spm. Die Daten für jede Messung wurden mit der Standard **BioRow** Methode durchgeführt (RBN 2017/12), und die vorletzte Messung bei 35.5spm wird unten vorgestellt (Fig.3).

Die Summe der drei Stembrettkräfte F_{SH} wurde von den horizontalen Komponenten der Kräfte an beiden Dollenstiften F_{pH} subtrahiert, was dann das Resultat war für die Vortriebskraft, F_{bH} , die den Bootskörper vorwärtstreibt (Fig.4):

$$F_{bH} = F_{pH} - F_{SH} \quad (1)$$



Die Vortriebskraft auf den Bootskörper F_{bH} ist die Summe aus der Trägheitskraft des Bootes $m_b a_b$ ($m_b=16.7\text{kg}$ beträgt die gesamte Masse des Bootes, a_b ist seine Beschleunigung) und der Widerstandskraft an der Bootshaut F_d , welche direkt von unseren Messungen bestimmt werden konnte.



Diese Widerstandskraft, die mit unseren Kraftmessungen $F_d(F)$ berechnet wurde, wurde dann mit der Widerstandskraft, die wir aus der Bootsgeschwindigkeit v und dem Widerstandsfaktor DF : $F_d(v)=DF \cdot v^2$ berechnet hatten, verglichen. Und diese Differenz wurde bestimmt als $D_{Fd} = F_d(F) - F_d(v)$.

Die Kurven der Widerstandskräfte, die wir mit verschiedenen Methoden berechnet haben, sind recht dicht zueinander (Fig.5). Der kleine Unterschied kann mit Kräften auf den Rollschienen, welche durch die beiden Faktoren Widerstand und Schwerkraft entstehen, erklärt werden. Nach dem Fassen hat das Boot eine maximale negative Neigung von etwa -1 Grad (Heck tief - Bug hoch), plus eine Neigung der Rollschienen von 1 Grad relativ zum Boot. Die Masse des Ruderers bewegt sich leicht nach oben, was eine vorwärts gerichtete Kraft bei den Rollschienen hervorruft $F_{st} = \sin(A_p) \cdot m_r \cdot g$. Bei einem Gesamtwinkel der Rollschienen von $A_p = 2$ Grad und der sich bewegenden Masse des Ruderers $m_r = 60$ kg (Gewicht der Beine abgezogen), schiebt eine Kraft F_{st} von ~ 20 N das Boot an den Rollschienen vorwärts, diese Kraft wurde hier aber nicht gemessen und taucht daher nicht in der Kräftebilanz auf. Deshalb wurde die Widerstandskraft $F_d(F)$ höher als ihr realer Wert berechnet (Fig.5,1).

Während des Durchzuges wurde die Neigung des Bootes bis zu +1 Grad positiv (Heck kommt hoch - Bug taucht ein), so wurde der Winkel der Rollschienen nahezu null, und nur noch die Widerstandskraft der Rollen vom Rollsitze beeinflusst die Gesamtbilanz der Kräfte. Im Endzug entstehen einige wenige fluktuierende Peaks (2), wenn sich der Rollsitze vor- und zurückbewegt und vielleicht auch an die Stopper am Ende der Rollschienen anstößt. Während des Vorrollens schiebt die Widerstandskraft am Rollsitze das Boot zurück (verlangsamt es), was die Bilanz der Kräfte in eine negative Richtung verschiebt (3).

Die durchschnittliche Widerstandskraft \underline{Fd} über den gesamten Schlagzyklus wurde mit der durchschnittlichen Bootsgeschwindigkeit \underline{v} für jede einzelne Meßstrecke verglichen. Es stellte sich heraus, daß die am besten passende Gleichung unterschiedlich zu der traditionell genutzten ist: $\underline{Fd} = 2.59 \cdot \underline{v}^{2.1726}$ ($R^2 = 0.989$). Tatsächlich stellte sich heraus, daß die durchschnittliche $F_d(F)$ um etwa $\sim 12\%$ höher war als $F_d(v)$. Dies wird weiter in zukünftigen Publikationen diskutiert werden.

Schlußfolgerung: **Zum ersten Mal konnte die Widerstandskraft am Boot direkt mit BioRow Messungen bestimmt werden. Das kann zur Auswertung der Rudertechnik und Qualität des Bootsmaterials genutzt werden.**