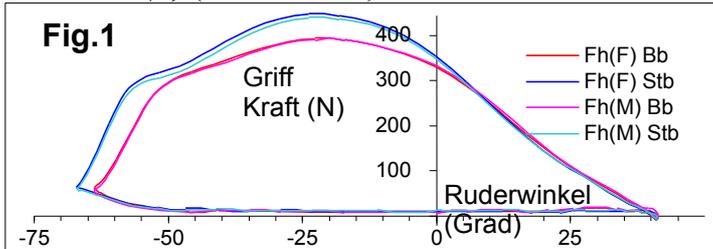


## Der Effekt der Blattrotation im Wasser

In RBN 10/2021 wurde die Hypothese aufgestellt, dass während des Durchzuges die Rotation des Blattes im Wasser Energie verbrauchen könnte und damit auch die Vortriebskraft und -leistung innerhalb des Ruderer-Boot-Systems reduzieren könnte. Und hier werden wir diesen Effekt weiter analysieren.

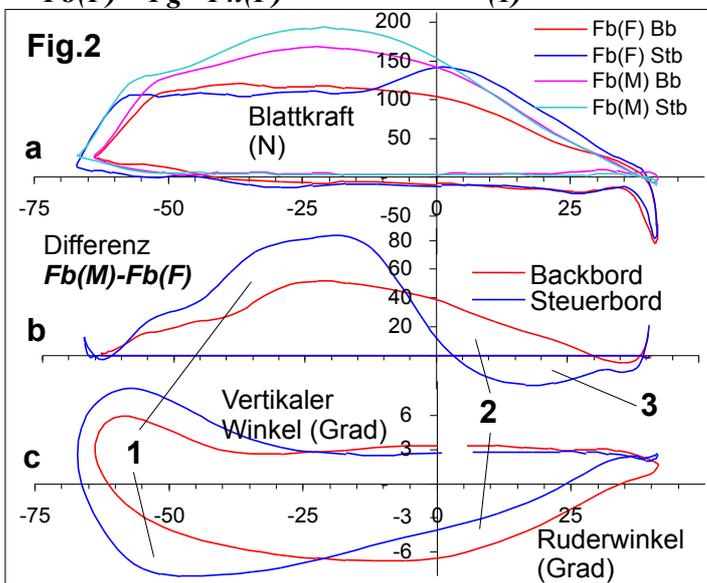
Neue **BioRow** Entwicklungen erlaubten es uns, verschiedene Variablen mit verschiedenen Sensoren zu messen und diese Methoden gegenseitig zu validieren. Z.B. wurde die normale Griffkraft simultan gemessen, einmal mit der Methode von zwei Drehmomenten am Innenhebel **Fh(M)** (RBN 10/2020) und direkt mit dem 4D Sensor innen im Griff **Fh(F)** (RBN 06/2021).



Beim Vergleich der Daten (Fig.1, M1x bei 34.5spm, Fat2 Blätter) zeigten sich nahezu identische Kraftkurven und sehr ähnliche Durchschnittswerte ( $\pm 0.5\%$  Differenz), was die Validität und Genauigkeit dieser beiden Methoden bestätigt.

Eine ähnliche Kreuzvalidierung wurde mit der normalen Blattkraft vorgenommen: es wurde mit zwei Drehmomenten auf dem Aussenhebel gemessen **Fb(M)** und als die Differenz **Fb(F)** zwischen der Dollenkraft **Fg** und der normalen Griffkraft **Fh(F)**:

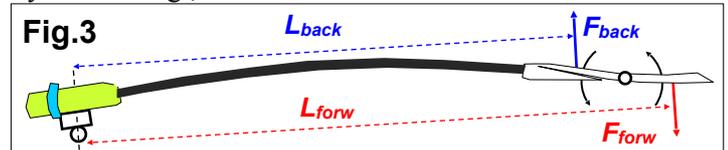
$$Fb(F) = Fg - Fh(F) \quad (1)$$



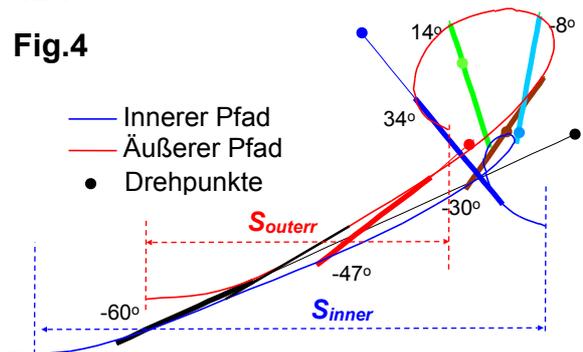
Der Vergleich der Daten ergab es sehr verschiedene Ergebnisse (Fig.2,a): Die Blattkraft, die mittels der Durchbiegung des Ruderschafes bestimmt wurde, war signifikant höher als die mit Dollen- und Griffsensoren ermittelten, insbesondere im Mittelzug. Nach dem Fassen und kurz vor dem Endzug waren die Differenzen geringer. Beim Vergleich zwischen Backbord- und Steuerbordskull sieht es aus, als wenn **die Kraftverluste vom Blatt zum Dollen-Griff-System mit der Eintauchtiefe des Blattes im Wasser zusammenhängen** (b-c): Das Steuerbordblatt war direkt nach dem Fassen tiefer im Wasser und seine Verluste waren dort höher (1), das

Backbordblatt war vor dem Endzug tiefer im Wasser - mit höheren Verlusten dort (2). Gemittelt über den gesamten Durchzug betrug die Differenz 19% an Backbord und 21% an Steuerbord.

Zur Erklärung dieses Phänomens nehmen wir an, dass das Blatt um seinen geometrischen Mittelpunkt, welcher stationär ist, rotiert (Fig.3). Dann erzeugen die zwei Blathälften gleichgroße entgegengesetzte Reaktionskräfte: Die Vorwärts-Kraft **F<sub>forw</sub>** auf der äußeren Hälfte und die Rückwärts-Kraft **F<sub>back</sub>** auf der inneren Hälfte, somit würde die gesamte Vortriebskraft, die auf das Ruderer-Boot-System einwirkt, null betragen. Jedoch ist der Außenhebel, an dem **F<sub>forw</sub>** angreift, länger als der Außenhebel von **F<sub>back</sub>**, was bedeutet, daß **F<sub>forw</sub>** mehr Drehmoment am Dollenstift erzeugt als **F<sub>back</sub>** (das Drehmoment ist das Produkt von der Kraft multipliziert mit dem Hebelarm). In der Konsequenz heißt das, daß das Gesamtdrehmoment am Blatt nicht null beträgt, woraus dann die Durchbiegung des Ruderschafes resultiert. Dies könnte als eine Blattvortriebskraft interpretiert werden, während die reale Kraft, die das System bewegt, null ist.



Selbstverständlich verbleibt der Blattmittelpunkt in der realen Welt des Ruderns nie fest an einem Punkt, aber der Effekt ist ähnlich. Normalerweise befindet sich der Drehpunkt bei einem Ruderwinkel von  $-40^\circ$  bis  $+20^\circ$  auf dem Blatt (Fig.4), somit bewegen sich die äußeren Anteile rückwärts und erzeugen eine vorwärts gerichtete Reaktionskraft und die inneren Anteile bewegen sich vorwärts und erzeugen eine rückwärts gerichtete Kraft. Über den Durchzug hinweg legen die inneren Anteile des Blattes eine größere Distanz zurück als die äußeren Anteile (**S<sub>inner</sub>** > **S<sub>outer</sub>**). Dabei erzeugen sie (die inneren Anteile) mehr Bremskraft, haben aber durch einen kürzeren Hebel weniger Wirkung auf das Außenhebeldrehmoment. Dazu kommt, daß Teile des Schafes sich noch schneller vorwärts bewegen und damit eine signifikante Bremskraft unter Wasser erzeugen können. Aber auch dieser Hebel ist noch ein Stück kürzer. Dies erklärt, warum die Blattkraft, die mittels der Drehmomente gemessen wurde, überschätzt wurde und der Druckmittelpunkt weiter am äußeren Ende des Blattes verortet wurde (RBN 10/2020). Dies vervollständigt auch das Puzzle in RBN 02/2014, wo man herausfand, daß das Verhältnis von Griff-/Dollenkräften über den Durchzug bei verschiedenen Eintauchprofilen variiert.



Der obige Diskurs hängt nur mit der Bremsvortriebs-Komponente zusammen. Liftkraft kann selbst dann Vortrieb erzeugen, wenn sich das Blatt vorwärts

bewegt. Deshalb ist die Differenz in Fig.2,b im Mittelzug am Höchsten, dann wenn der Bremsvortrieb dominiert. Aber sie ist nach dem Fassen, da wo die Liftkraft signifikant ist, geringer. Und man fand heraus, daß sie kurz vor dem Endzug negativ ist (3).

Schlußfolgerung: **Wir waren erstmalig in der Lage, experimentell die Kraft-/Leistungsverluste, die durch die Blattrotation im Wasser erzeugt werden, abzuschätzen.** Es ist noch weitere Arbeit erforderlich, um zu entscheiden, ob ~20% der obigen Kraftdifferenzen reale Verluste sind oder einfach eine Überschätzung der Blattkräfte, die mit der Drehmomentmethode gemessen wurden. In Zukunft wird es weitere umfassende Auswertungen zur Blatteffizienz, Vergleich von verschiedenen Blattformen und Technik geben...

**Danksagung:** *Vielen Dank an Dick Dreissigacker und Alex Dunne von Concept2 Inc. für ihre Unterstützung bei dieser Studie.*

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