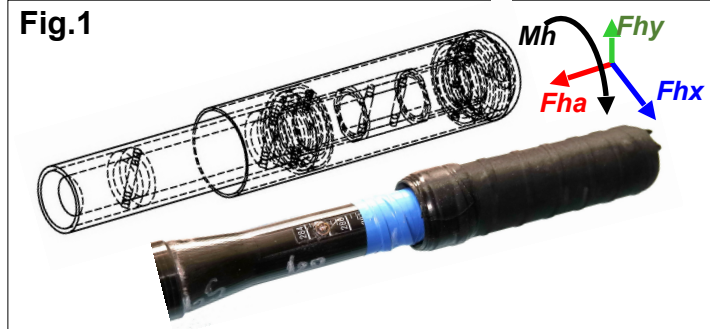


Axiale Kraft am Blatt

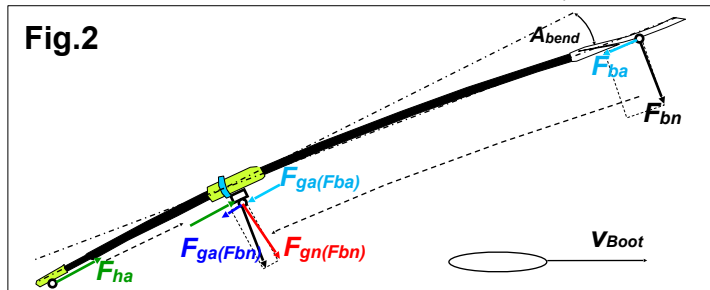
In RBN 12/2020 wurden die feineren Punkte der Rudermechanik analysiert: Es wurden Diskrepanzen zwischen den am Blatt abgeleiteten Vortriebskräften und dem Ruderer-Boot-System gefunden und eine Hypothese über den möglichen Beitrag der axialen Blattkraft dazu aufgestellt. Seitdem haben wir verschiedene Möglichkeiten zur direkten Messung der axialen Blattkräfte mittels eines direkt im Schaft nahe am Blatt eingebauten Sensors ausprobiert. Jedoch waren diese Versuche wegen der hohen Übersprechsignale, die vom großen Drehmoment der normalen Blattkraft erzeugt wurden, unbefriedigend. Somit entschieden wir uns die axiale Blattkraft F_{ba} indirekt zu bestimmen, und zwar als die Differenz zwischen den axialen Griff- F_{ha} und Dollenkräften F_{ga} :

$$F_{ba} = F_{ha} - F_{ga} \quad (1)$$



Zu seiner Durchführung wurde ein neuer Sensortyp von **BioRow** entwickelt (Fig.1), der in einen Skullgriff eingebaut wird und 4D Kräfte messen kann:

1. Axiale Griffkraft F_{ha} ;
2. Horizontale (bei aufgedrehtem Blatt) Griffkraft F_{hx} ;
3. Vertikale (bei aufgedrehtem Blatt) Griffkraft F_{hy} ;
4. Verdrehendes Drehmoment am Griff M_h .



Nachdem der Sensor getestet und die Daten analysiert waren, stellte sich heraus, daß die Gleichung doch nicht so einfach war, wie oben beschrieben (1). Der Grund dafür war die Durchbiegung des Ruders A_{bend} (Fig.2), was den Blattwinkel vom Dollenwinkel relativ zum Boot verändert. Das bedeutet, daß die normale Blattkraft F_{bn} , die durch den Schaft geleitet wird, nicht orthogonal zur Dollenachse ist und somit in zwei Komponenten zerlegt werden kann: die normale $F_{gn}(F_{bn})$ und die axiale $F_{ga}(F_{bn})$ Kraft, die in die Gleichung mit aufgenommen werden müssen:

$$F_{ga}(F_{bn}) = F_{bn} \sin(A_{bend}) \quad (2)$$

Die echte axiale Kraft am Blatt F_{ba} , die durch den Wasserfluss erzeugt wird, wird als $F_{ga}(F_{ba})$ auch durch den Schaft zur Dolle geleitet und wird auch gegenüber der Dollenachse leicht gewinkelt:

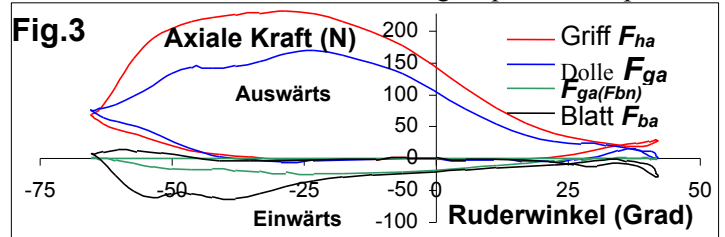
$$F_{ga}(F_{ba}) = F_{ba} \cos(A_{bend}) \quad (3)$$

Die endgültige Gleichung, die zur Ableitung der axialen Blattkraft F_{ba} von der gemessenen axialen Dollenkraft F_{ga} und axialen Griffkraft F_{ha} genutzt wurde, war die folgende:

$$F_{ba} = (F_{ha} - (F_{ga} + F_{bn} \sin(A_{bend}))) / \cos(A_{bend}) \quad (4)$$

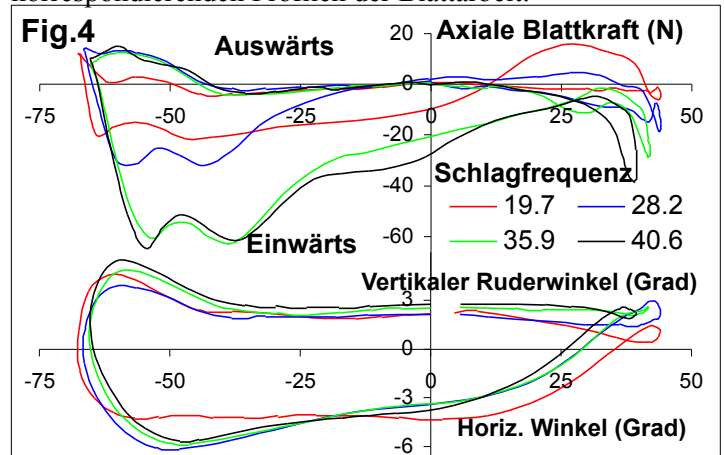
Die normale Blattkraft F_{bn} in dieser Gleichung wurde von den am Schaft gemessenen Drehmomenten abgeleitet (siehe RBN 10/2020), und der Durchbiegungswinkel A_{bend} von der Blattkraft F_{bn} , indem wir einen Steifheitsfaktor für den Schaft für jedes Ruder einsetzten.

Die Daten wurden in einem M1x (1.85m, 88kg) erhoben, indem der Ruderer 6 mal 15-20 Schläge jeweils mit schrittweise ansteigender Schlagfrequenz von 20-40 spm ruderte. Fig.3 zeigt die abgeleiteten axialen Kräfte eines Backbord Smoothie Blade bei Schlagfrequenz 35.5spm:



Wie erwartet, war die gemessene axiale Kraft F_{ha} am Griff signifikant höher als an der Dolle F_{ga} , ein kleiner Teil der Differenz (max. 25N) kann mit der übertragenen axialen Komponente der normalen Blattkraft $F_{ga}(F_{bn})$ erklärt werden, und der Hauptanteil (max. 75N) sollte mit der echten axialen Blattkraft F_{ba} zusammenhängen.

Fig. 4 zeigt die echte axiale Blattkraft F_{ba} eines Smoothie Blades auf Backbord bei verschiedenen Schlagfrequenzen, zusammen aufgetragen mit den korrespondierenden Profilen der Blatarbeit:



Während des ersten Teils des Durchzuges war die axiale Blattkraft F_{ba} immer einwärts gerichtet (vom Blatt zum Dollenstift), und ihr Wert erhöhte sich mit der Schlagfrequenz von etwa 20N bis auf 60N, was sehr gut mit dem erhöhten Bremswiderstand bei höherer Geschwindigkeit erklärt werden kann. Nach der Orthogonalstellung richtet sich die axiale Blattkraft F_{ba} bei niedrigen Schlagfrequenzen auswärts, was auch mit dem Bremswiderstand erklärt werden kann. Aber bei höheren Schlagfrequenzen blieb sie bis zum Endzug einwärts gerichtet, obschon bei niedrigeren Werten von unter 20N. Diese Tatsache erfordert weitere Interpretation, wir können lediglich annehmen, daß sie mit dem Profil der Blatarbeit zusammenhängt: mit ansteigender Schlagfrequenz wird sie nach dem Fassen geringer und flacher vor dem Endzug.

Schlußfolgerung: **Wir fanden heraus, daß die axiale Blattkraft recht signifikant ist. Sie kann an**

zwei Ruderblättern bei einem Ruderwinkel von 55 Grad bis zu 70N Bremskraft erzeugen, was ähnlich dem Bremswiderstand des Bootskörpers ist. Deshalb sollte der Blattwiderstand bei seiner axialen Bewegung durch das Wasser minimiert werden.

***Danksagungen:** Vielen Dank an Concept2 Inc. und persönlich an Dick Dreissigacker und Alex Dunne für das Interesse und die freundliche Unterstützung dieser Untersuchung.*

©2021 Dr. Valery Kleshnev www.biorow.com