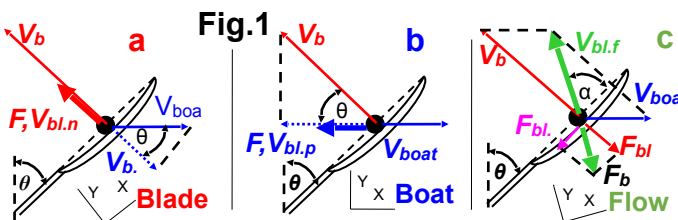


## Blatt Drag Faktor

Während des Durchzuges rutscht das Blatt durch das Wasser, das eine Widerstandskraft gegenüber dem Blatt aufbaut. Diese Widerstandskraft ist faktisch die Vortriebskraft, die das gesamte System Ruderer-Boot vorwärts treibt. Je geringer der Schlupf des Blattes ist, desto höher ist die vortriebswirksame Effizienz. Die vortriebswirksame Effizienz hängt auch von der Bootsgeschwindigkeit ab (RBN 2012/06), die sehr unterschiedlich sein kann, abhängig vom Bootstyp, Wetterbedingungen und auch innerhalb des Schlagzyklus. Das erschwert eine genaue Auswertung erheblich. Deshalb schlagen wir eine Methode zur Auswertung der Blattarbeit vor, die ähnlich der Auswertung des Drag Faktor **DF** für Bootsformen ist:

$$DF = F_{dr} / v^2(1)$$

wobei  $F_{dr}$  die Widerstandskraft und  $v$  die Geschwindigkeit eines Objektes darstellt, welches sich durch eine Flüssigkeit durchbewegt. Im Falle eines Bootes ist die Bestimmung von **DF** recht einfach, weil die Bootsgeschwindigkeit linear ist und die Widerstandskraft in der selben Linie wirkt. Wie auch immer, der Blattweg beschreibt eine Kurve (RBN 2007/12), es ist also nicht ganz klar, welche Kraft und Geschwindigkeit in der Gleichung angewandt werden soll. 1. Es gibt hier mindestens 3 Möglichkeiten, die verschiedene Referenzsysteme nutzen (Fig.1):



A. Beim Blatt als Referenz (und rotierend mit ihm während des Durchzuges) wird der Normale Blade Drag Faktor **BDF<sub>n</sub>** definiert als Blattgeschwindigkeit  $V_{bl,n}$  relativ zum Wasser senkrecht zur Blattachse:

$$V_{bl,n} = V_{bl} - V_{boat} * \cos \theta \quad (2)$$

wobei  $V_{bl}$  die normale Blattgeschwindigkeit relativ zum Boot ist (abgeleitet von der gemessenen Winkelgeschwindigkeit und aktueller Aussenhebellänge),  $V_{boat}$  ist die gemessene Bootsgeschwindigkeit,  $\theta$  ist der gemessene Ruderwinkel.

$$BDF_n = F_{bl} / V_{bl,n}^2 \quad (3)$$

wobei  $F_{bl}$  die normale Blattkraft ist (abgeleitet von der gemessenen Griffkraft und dem Verhältnis von Innen- und Aussenhebel).

B. Beim Boot als Referenz wird der vorwärtstreibende Blade Drag Faktor **BDF<sub>p</sub>** definiert, indem die Blattgeschwindigkeit  $V_{bl,p}$  relativ zum Wasser parallel zur Bootslängsachse – in die vorwärtstreibende Richtung herangezogen wird, so:

$$V_{bl,p} = V_{bl} * \cos \theta - V_{boat} \quad (4)$$

$$BDF_p = F_{bl} \cos \theta / V_{bl,p}^2 \quad (5)$$

C. Wenn wir das Blatt als ein Objekt betrachten, welches sich durch das Wasser bewegt, dann wird der Blade Drag Faktor relativ zur Fließrichtung **BDF<sub>f</sub>** als die Größe der Vektoren von Wassergeschwindigkeit relativ zum Blatt  $V_{bl,f}$  und der Zugkraft  $F_{bl,f}$  in entgegengesetzter Richtung zum Geschwindigkeitsvektor definiert. In diesem Fall bezieht sich das Referenzsystem auf den Vektor des Wasserflusses zu jedem Zeitpunkt, dessen Größe  $V_{bl,f}$  folgendermaßen abgeleitet werden kann:

$$V_{bl,f} = (V_{bl}^2 + V_{boat}^2 - 2 * V_{bl} * V_{boat} * \cos(\theta))^{0.5} \quad (6)$$

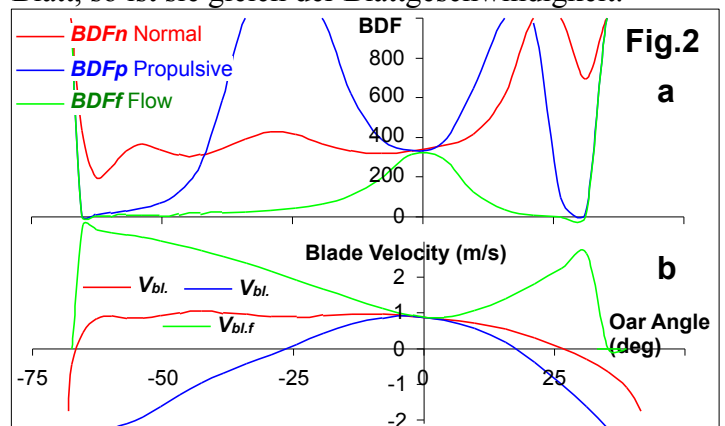
Die Richtung des Fließvektors wird durch den Ruderwinkel  $\theta$  und den Blattwinkel  $\alpha$  beim Fassen definiert, der folgendermaßen berechnet werden kann:

$$\alpha = \text{asin}((V_{bl,f}^2 + V_{bl}^2 - V_{boat}^2) / (2 * V_{bl,f} * V_{bl})) \quad (7)$$

Die Größe der Zugkraft  $F_{bl,f}$  in Fließrichtung ist die Vektorsumme von der normalen  $F_{bl}$  und axialen  $F_{bl,a}$  Blattkraft, aber letztere wird normalerweise nicht gemessen. Hofmijster et al. (1) haben eine axiale Peakkraft am Blatt  $F_{bl,a}$  im Bereich von 10-13 N gefunden, was nur etwa 6-8% der normalen Blattkraft  $F_{bl}$  entspricht, es können also die Kräfte  $F_{bl,f}$  und **BDF<sub>f</sub>** von  $F_{bl}$  ohne signifikanten Fehler berechnet werden:

$$BDF_f = F_{bl,f} / V_{bl,f}^2 = (F_{bl} * \sin \alpha) / V_{bl,f}^2 \quad (8)$$

Fig.2,a zeigt alle drei oben beschriebenen Zugkräfte im M1x bei 34.5spm (die Summe von beiden Blättern) zusammen mit den jeweils korrespondierenden Blattgeschwindigkeiten (b). So, wie es sein sollte, sind alle drei BDFs nahezu gleich bei 0 Grad Ruderwinkel bei etwa 350, wenn die normale Blattgeschwindigkeit 100% vorwärtstreibend ist (parallel gerichtet zum Boot) und die Fließgeschwindigkeit normal ist zum Blatt, so ist sie gleich der Blattgeschwindigkeit.



Bei anderen Ruderwinkeln verhalten sich die BDFs sehr unterschiedlich:

- **BDF<sub>n</sub>** ist der konstanteste vom Fassen bis 0 Grad Ruderwinkel, dann steigt er an bis unendlich bei etwa 25 Grad Ruderwinkel, wenn die Blattgeschwindigkeit  $V_{bl,n}$  die Nulllinie kreuzt. Nach diesem Punkt verringert er sich herunter bis null, während sich die Blattkraft verringert und die Blattgeschwindigkeit erhöht, aber in entgegengesetzter Richtung: vorwärts mit dem Boot in Richtung Bug.
- **BDF<sub>p</sub>** geht zweimal während des Durchzuges bis unendlich, bei -25 und 20 Grad, wenn  $V_{bl,p}$  null kreuzt vom Negativen (in Richtung Bug) zum Positiven (in Richtung Heck) und zurück zum Negativen. Nach dem Fassen und kurz vor dem Endzug ist es nahe null, weil die Blattkraft niedrig ist und die Blattmitte sich sehr schnell mit dem Boot bewegt.
- **BDF<sub>f</sub>** ist niedrig am Beginn und am Ende des Durchzuges, weil bei sehr spitzen Winkeln beim Fassen die Fließgeschwindigkeit des Wassers sehr hoch ist, aber die Kraft in dieser Richtung ist klein. Es geht niemals bis unendlich und die Kurve hat eine geschmeidige Glockenform.

Es ist interessant, den Blatt DF mit dem Boots DF zu vergleichen, der in diesem Falle 2.95 war. **Der Blatt DF war etwa 120 mal höher als der Boots DF, und dies ist der einzige Grund, weshalb das Ruderer-Boot-System in der Lage ist, sich durch das Wasser zu bewegen.**

#### References

1. Hofmijster M., Koning J., Van Soest A. 2010 Estimation of the energy loss at the blades in rowing: Common assumptions revisited. *Journal of Sports Sciences*, p. 28(10): 1093–1102