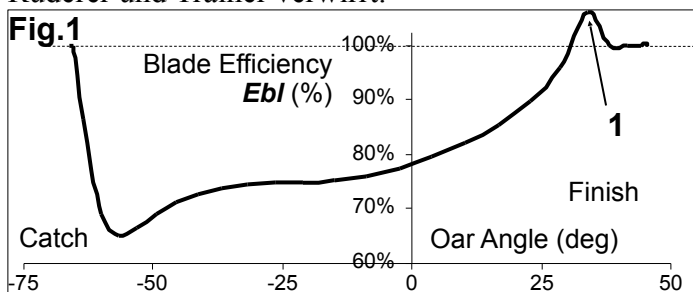


Das Ruderblatt als Düsenantrieb

Wir haben bereits öfters über die Vortriebseffizienz des Ruderblattes E_{bl} diskutiert (RBN 06/2006, 12/2007, 06/2012), aber wir sind immer noch nicht vollständig zufrieden mit dem Verständnis dieser wichtigen Variablen. E_{bl} wurde bisher als das Verhältnis von der Vortriebsleistung P_{prop} zur Gesamtleistung, die vom Ruderer erbracht wird P_{row} , definiert:

$$E_{bl} = P_{prop} / P_{row} = (P_{row} - P_w) / P_{row} \quad (1)$$

wobei P_w die Verlustleistung ist, die durch Wasserbewegung, wenn das Blatt durch das Wasser „schlupft“, verloren geht. Fig.1 zeigt eine typische Kurve von E_{bl} in einem Einer bei 32 spm. Es sieht so aus, als würde die Blatteffizienz zum Endzug hin ansteigen und über 100% gehen (1), was dann die Ruderer und Trainer verwirrt.



Eine neue Ansicht kam nach einem kurzen Gespräch mit einem Luftfahrtingenieur während eines Ruderseminars in der Ukraine in Kiew auf, der fragte: „Arbeitet das Blatt wie ein Düsenantrieb oder wie das Antriebsrad eines Autos?“ Es sieht so aus, als würde der erste Fall die richtige Antwort sein, weil es nicht möglich ist, sich auf dem Wasser zu bewegen ohne es rückwärts zu bewegen.

In der Luftfahrt und Raketentechnik ist der **spezifische Impuls** I_{sp} die hauptsächliche Art und Weise, wie man die Effizienz eines Düsenantriebes beschreibt. Er repräsentiert die Schubkraft F_{trust} im Hinblick auf die Masse des Treibstoffes m , der pro Zeiteinheit t verbraucht wird:

$$I_{sp} = F_{trust} / (g \cdot m / t) \quad (1)$$

wobei g die Erdbeschleunigung ist. I_{sp} hängt von den Geschwindigkeiten der ausgestossenen Gase V_g und des Düsenfahrzeuges V ab:

$$I_{sp} = (V_g - V) \cdot m / t \quad (2)$$

Die Effizienz des Düsenfahrzeuges E hängt auch mit V_g zusammen:

$$E = 2 / (1 + V_g / V) \quad (3)$$

Die Effizienz und der spezifische Impuls hängen umgekehrt miteinander zusammen. Am Beginn der Startbahn ist die Effizienz des Flugzeuges null, weil die Geschwindigkeit null ist, aber der Schub und der spezifische Impuls sind maximal. Wenn das Flugzeug beschleunigt, wächst seine Effizienz an und wird 100%,

wenn die Flugzeuggeschwindigkeit gleich der Geschwindigkeit der ausgestossenen Auspuffgase ist, aber dann werden der Schub und spezifische Impuls null. Somit ist die Konstruktion eines Düsenantriebes eine Balance zwischen seiner Effizienz und Schubkraft.

Ähnliche Dinge passieren beim Rudern: Beim Fassen ist die Geschwindigkeit des Ruderer-Boot-Systems am Niedrigsten; dann steigt sie bis zum Endzug hin an. Also steigt die Vortriebsleistung während des Durchzuges an, da sie das Produkt von Vortriebskraft und der Geschwindigkeit des Systemschwerpunktes ist. Daher steigt die Vortriebs-effizienz an und wird größer als 100%, wenn die Systemgeschwindigkeit größer wird als die Blattgeschwindigkeit. Wie auch immer, das bedeutet nicht, daß das Blatt besser arbeitet.

Selbstverständlich gibt es beim Rudern nicht exakt den gleichen Düsenantrieb und die Energiesubstrate des Ruderers werden nicht direkt rückwärts ausgeblasen, um den Schub zu erzeugen. Wie auch immer, Flugbenzin bedeutet Energie, die Energie pro Zeiteinheit ist Leistung, und so haben wir uns entschieden, den Benzinfluß, der im Düsenantrieb herrscht, durch die mechanische Leistung P_{row} , die vom Ruderer erbracht wird zu ersetzen. Und so definieren wir den spezifischen Impuls I_{sp} des Blattes wie folgt:

$$I_{sp} = F_{trust} / P_{row} \quad (4)$$

Die ehemalige Definition der Blatteffizienz E_{bl} war dimensionslos, aber I_{sp} hat eine Dimension in s/m , d.h umgekehrte Geschwindigkeit, während die Dimension von I_{sp} in Düsenantrieben s ist. Zur Berechnung von I_{sp} wurde die Ruderleistung P_{row} mit der traditionellen Methode abgeleitet (siehe RBN 06/2004):

$$P_{row} = F_h \cdot V_h \quad (5)$$

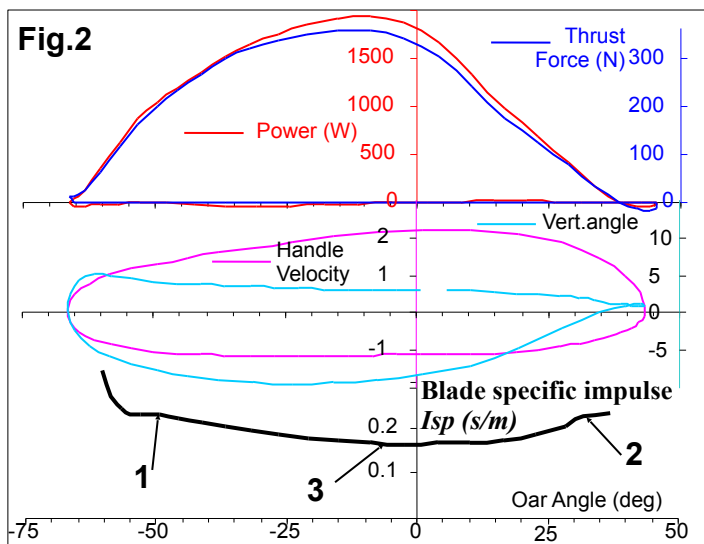
wobei F_h und V_h – Griffkraft und -geschwindigkeit sind. Der Blattschub F_{trust} wurde abgeleitet als:

$$F_{trust} = F_h (L_{in} / L_{out}) \cos(\alpha) \quad (6)$$

wobei L_{in} und L_{out} - der aktuelle Innen- und Außenhebel sind (vom Dollenstift bis zur Blattmitte) und α - der Ruderwinkel. Wenn wir die Gleichungen 2, 3 und 4 kombinieren, erhalten wir:

$$I_{sp} = (L_{in} / L_{out}) \cos(\alpha) / V_h \quad (7)$$

Fig.2 zeigt Leistung, Schub, Griffgeschwindigkeit, vertikalen Ruderwinkel und I_{sp} für dieselben Daten wie in Fig.1:



Der blattspezifische Impuls I_{sp} sieht während des Durchzuges recht gleichmäßig aus. Sein höherer Wert von ~ 0.23 s/m wurde am Beginn und am Ende des Durchzuges gefunden (1, 2); der niedrigste 0.16 s/m - bei der Ruderposition rechtwinklig zum Boot (3). Der durchschnittliche I_{sp} der Unterwasserarbeit des Blattes war 0.19 s/m bei dieser Messung. Er verringert sich bei höheren Schlagfrequenzen und Bootsgeschwindigkeiten von 0,27 s/m bei Schlagfrequenz 20 spm bis herunter auf 0,17 s/m bei 41 spm.

Schlußfolgerung: Der spezifische Impuls kann zusammen mit der Blatteffizienz zur Beurteilung der Blattform genutzt werden. Ein höherer spezifischer Impuls wird durch ein leichteres Übersetzungsverhältnis bei gleichzeitiger geringeren Griffgeschwindigkeit erzeugt. Offenbar ist dass nur möglich, wenn das Blatt einen signifikanten Widerstand im Wasser hat, was man erreichen kann entweder mit dem Gebrauch einer größeren Blattfläche oder mit effektiverer Schuberzeugung durch bessere körperliche Form und/oder Nutzung des hydrodynamischen Liftes, der am Anfang und Ende des Durchzuges wirkt.