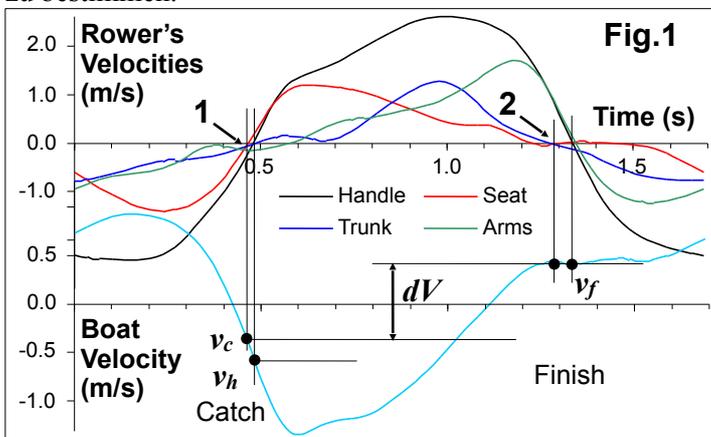


Eine neue Methode zur Auswertung der kinetischen Energie

Die Untersuchungen zu Vortriebs- und Widerstandskräften (RBN 2019/01-02) wurden durchgeführt mit der Hoffnung, daß die Umwandlung von Ruderleistung in kinetische Energie analysiert werden kann, was ja bereits sehr intensiv im vergangenen Jahr diskutiert worden war (RBN 2018/09,11). Es ist bisher noch nicht möglich, mein Modell mit den experimentellen Daten zu überprüfen, weil die Berechnung der Vortriebskräfte immer noch mit viel Unsicherheit behaftet ist (RBN 2019/02). Nichtsdestotrotz wurde vor kurzem die neue Methode zur Auswertung der kinetischen Energie entwickelt. Sie sollte uns helfen, das Puzzle der Vortriebskraft zu lösen. Sie kann auch so sehr wertvoll sein, weil sie recht einfach ist und lediglich die Daten der Bootsgeschwindigkeit, Ruderwinkel und Sitzposition benötigt.

Die Methode basiert auf der Annahme, daß beim Fassen und im Endzug, da wo die Massen von Ruder und Ruderer die Richtung ändern, die Geschwindigkeit des CM des Ruderers gegenüber dem Boot nahe null ist, d.h. die absoluten Geschwindigkeiten von der Masse des Ruderers und des Bootes sind nahezu gleich. Das bedeutet, daß die Geschwindigkeit des Gesamtschwerpunktes des Ruderer-Boot-Systems kann ganz einfach mit der augenblicklichen Bootsgeschwindigkeit beim Fassen und im Endzug bestimmt werden. Während aller anderen Phasen des Ruderschlages sind die Bewegungen der Körpersegmente des Ruderers recht komplex, und daher sind deutlich anspruchsvollere Meßmethoden notwendig, um die Geschwindigkeiten des Systemschwerpunktes genau zu bestimmen.



Beim Fassen ist der Schwerpunkt des Ruderers näher an der Bewegung des Rollsitzes als an der der Griffe, was mit dem relativ geringeren Gewicht von Armen und Oberkörper zu tun hat. Deshalb wurde der Moment, wo die Sitzgeschwindigkeit die Nulllinie nach oben kreuzt

(Fig.1,1), als primärer Triggerpunkt gewählt für die Startgeschwindigkeit v_c des Ruderer-Boot-Systems. Falls die Griffgeschwindigkeit als Trigger genommen worden wäre, wäre der Wert für die Bootsgeschwindigkeit (v_h) sehr verschieden, weil sie sich beim Fassen rapide verändert.

Im Endzug macht es eher Sinn, die Masse des Ruderers mit der Oberkörpergeschwindigkeit zu verknüpfen (Fig.1,2), als mit der Griffgeschwindigkeit. Es macht aber keinen großen Unterschied, weil die Bootsgeschwindigkeit annähernd konstant ist. Der Moment, wo die Griffgeschwindigkeit die Nulllinie abwärts kreuzt, wurde als der Triggerpunkt für die Endgeschwindigkeit v_f des Ruderer-Boot-Systems genommen. Während des Durchzuges ist die Zunahme an kinetischer Energie im Ruderer-Boot-System dE_k die Differenz zwischen seinem End- und Startwert:

$$dE_k = M v_f^2/2 - M v_c^2/2 = 0.5M(v_f^2 - v_c^2) \quad (1)$$

wobei M die Gesamtmasse des Systems, gleich der Summe aus Boots-, Ruderer- und Rudermasse ist. Tabelle 1 zeigt die Werte der kinetischen Energie, die mit dieser Methode für einen M1x (1.84m, 84kg) für verschiedene Schlagfrequenzen berechnet wurden.

Die Arbeit pro Schlag WpS wurde direkt mit der Standard *BioRow* Messung bestimmt. Die Werte von dE_k , die mit der neuen Methode berechnet wurden, waren geringer als die gemessene WpS , und ihr Durchschnittsverhältnis war 52.7%, was wie folgt erklärt wird:

- Während des Durchzuges gehen 23,7% der vom Ruderer erzeugten Energie verloren in Blattschlupf (die durchschnittliche Blatteffizienz E_{bl} betrug 76.3%).
- 23.6% der WpS (im Durchschnitt) wurde aufgewandt, um den Widerstand in Wasser und Luft zu überwinden

Table 1

SR (spm)	Aver. speed (m/s)	V_{catch} (m/s)	V_{finish} (m/s)	dE_k (J)	WpS (J)	dE_k / WpS	Blade losses (%)	Drag $dE_{k,d}$ (%)
17.1	3.66	3.09	4.26	438	743	58.9%	25.6%	15.4%
20.6	3.94	3.41	4.46	421	735	57.2%	24.2%	18.6%
24.5	4.25	3.73	4.74	434	782	55.5%	24.5%	20.0%
28.3	4.37	3.92	4.78	380	775	49.1%	26.8%	24.1%
32.2	4.69	4.27	5.06	372	759	49.1%	23.2%	27.8%
33.8	4.82	4.40	5.19	384	773	49.6%	22.5%	27.8%
35.5	4.96	4.55	5.37	419	813	51.6%	22.2%	26.2%
41.6	5.45	5.04	5.90	479	944	50.8%	20.7%	28.5%
Aver				416	791	52.7%	23.7%	23.6%

Der prozentuale Anteil an Aufwendungen für den Widerstand steigt annähernd doppelt so stark an wie der Anstieg der Schlagfrequenz, was mit den Veränderungen des Rhythmus erklärt werden kann: bei 17 spm, nimmt der Durchzug lediglich 35.1% der Gesamtzeit eines Schlagzyklus ein, aber bei 41 spm waren es 53.6%. Dies wurde auch mit der sehr hohen Korrelation der der Anteile der Widerstandsenergie mit dem Rhythmus ($r=0.984$) bestätigt.

Während des Vorrollens wird vom Ruderer keine Vortriebskraft erzeugt, somit verringert sich die kinetische Energie des Systems vom Maximum im Endzug zum Minimum beim Fassen. Diese Energie wird gebraucht, um die Widerstandskräfte zu überwinden. Somit können die umgekehrten Werte von dE_k für die Auswertung der aufgewandten Energie, die zur Überwindung der äußeren Widerstandskräfte gebraucht wurde, in die Auswertung einfließen. Es wurde herausgefunden, daß **bei Rennschlagfrequenz 35.5spm, etwa zwei Drittel (66.3%) der Widerstandsenergie während des Vorrollens gebraucht wird, und lediglich ein Drittel (33.7%) – während des Durchzuges, trotz ihrer Zeitdauer, die nahezu gleich waren (der Rhythmus war 50.8%). Das war so, weil die Bootsgeschwindigkeit beim Vorrollen höher war (106.2% vom Durchschnitt) als beim Durchzug (85.7%).** Bei niedrigeren Schlagfrequenzen waren die Energieanteile, die beim Vorrollen verbraucht wurden, noch höher, weil die Zeitdauer des Vorrollens relativ länger war.

Um die neue Methode zu überprüfen, wurde die Zunahme an kinetischer Energie $dE_{k.test}$ von der gemessenen WpS , Energieverluste für den Blattschlupf $W_{bl} = WpS \cdot (1 - E_{bl})$ und die Energie, die auf den Widerstand während der Durchzugsphase verbraucht wurde W_d (basierend auf gemessener Bootsgeschwindigkeit und Widerstandsfaktor), gemessen:

$$dE_{k.test} = WpS - W_{bl} - W_d \quad (2)$$

In den Messungen oben wurde die kinetische Energie dE_k mit der neuen Methode berechnet und hatte eine hohe Korrelation mit $dE_{k.test}$ ($r=0.94$), und im Durchschnitt war dE_k um 14.8% höher. Das bedeutet, daß **die neue Methode ganz vernünftige Werte für die kinetische Energie hervorbringt, selbst ohne Kraftmessungen.** Die Tatsache, daß die neue Methode leicht höhere Werte für die kinetische Energie ergibt, kann eine indirekte Bestätigung der Hypothese sein, daß die tatsächliche Vortriebskraft am Blatt höher ist, als wenn man sie von der Griffkraft berechnet (RBN 2019/02), aber die Gründe dafür sind noch nicht klar.