

Schwankung bei der Bootsgeschwindigkeit

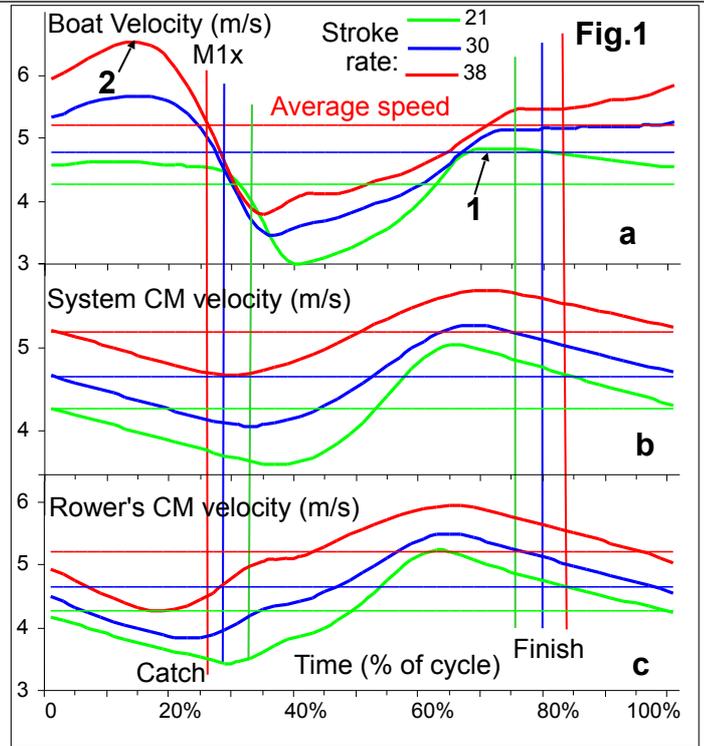
Es gibt eine alte und weit verbreitete Meinung, daß die Schwankung der Bootsgeschwindigkeit während des Schlagzyklus der Hauptfaktor für Energieverluste ist und deshalb im Sinne eines effizienten Ruderns reduziert werden muß. Die Argumentation ist die folgende: Energieverluste durch Bremswiderstand (Brems-/Drag-Leistung P_d) sind proportional zur Bootsgeschwindigkeit v hoch 3:

$$P_d = DF v^3 \quad (1)$$

wobei DF der Drag Faktor ist. Die minimale P_d kann mit konstanter Bootsgeschwindigkeit erreicht werden. Z.B. für einen typischen 1x bei $v=5m/s$ und $DF=3$, wäre $P_d = 375W$. Wenn aber während der einen Hälfte des Ruderschlaages die Bootsgeschwindigkeit $4m/s$ und die andere Hälfte $6m/s$ (die gleiche Durchschnittsgeschwindigkeit $5m/s$), dann wäre die durchschnittliche Brems-/Drag-Leistung $P_d = (192+648)/2=420W$, was dann 12.0% mehr Energieproduktion erfordert. Wenn die Ruderleistung bei den selben $375W$, aber mit ähnlichen Geschwindigkeitsschwankungen, verbleibt, dann wäre die durchschnittliche Bootsgeschwindigkeit lediglich $4.82m/s$, oder 3.7% der Geschwindigkeit ginge verloren.

Die Schwankung bei der Bootsgeschwindigkeit hat nur zwei Gründe:

1. Die periodische Natur des Vortriebes. Die Blätter produzieren nur im Durchzug die Vortriebskraft - also etwa die Hälfte der Zeit eines Ruderzyklus. Deshalb beschleunigt das Ruderer-Boot-System während des Durchzuges und verlangsamt sich während des Vorrollens.
2. Die signifikanten Bewegungen der Ruderermasse, die viel größer (4-6mal) ist als die Bootsmasse.



Diese zwei Faktoren beeinflussen die Schwankung der Bootsgeschwindigkeit zu verschiedenen Anteilen, welche auch mit der Schlagfrequenz variieren: **Bei ruhigeren Schlagfrequenzen (unter 24) dominiert der periodische Vortrieb**, weil die Vorrollzeit recht lang ist und sich der Ruderer langsam zur Auslage hinbewegt und nur leicht am Stemmbrett zieht. Das Maximum der Bootsgeschwindigkeit wird im Endzug erreicht (Fig.1a, 1), dann nimmt sie während des Vorrollens wieder ab. **Bei höheren Schlagfrequenzen (über 24) dominiert die Rudererbewegung**: die Vorrollzeit verkürzt sich dramatisch, der Ruderer muß sich schneller bewegen und härter am Stemmbrett ziehen. Diese Kraft beschleunigt das Boot, das seine maximale Geschwindigkeit kurz vor dem Fassen erreicht (Fig.1a, 2), da wo die Rollsitgeschwindigkeit maximal ist und der Ruderer vom Ziehen zum Treten am Stemmbrett wechselt (Moment M2, RBN 2013/07).

Der Koeffizient der Schwankung C_v wurde als das Verhältnis von der Standardabweichung σ zum Mittelwert der Schwankung, in diesem Falle die durchschnittliche Bootsgeschwindigkeit V_{av} definiert:

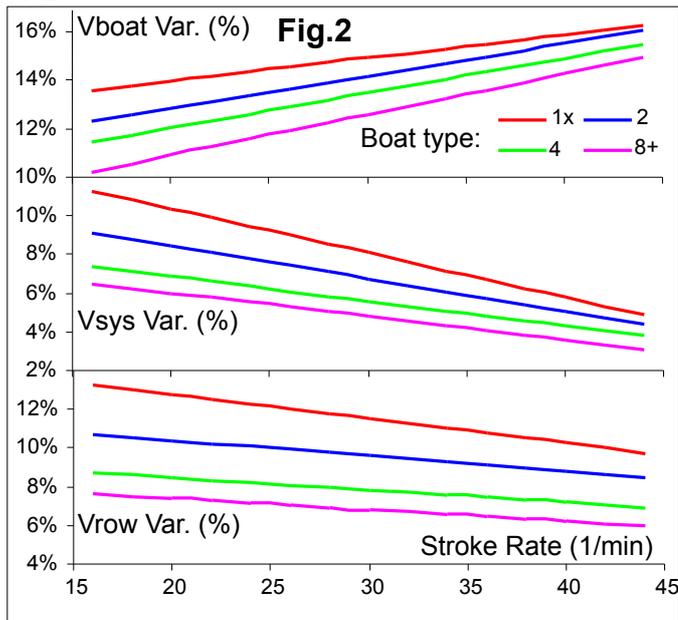
$$C_v = \sigma / V_{av} \quad (2)$$

Man fand heraus, daß die Schwankung der Bootsgeschwindigkeit eine fast funktionale Beziehung mit den Energieverlusten E_l und Geschwindigkeitsverlusten V_l ($R^2=0.996$) hat:

$$E_l = 2.5 C_v^2 \text{ and } V_l = 0.9 C_v^2 \quad (3)$$

Eine große Anzahl von Telemetriemessungen ($n=5448$) wurde analysiert, und die Werte, die man fand, waren niedriger als im oberen Beispiel: C_v reicht von 10-18%, E_l - 2.7-9.0%, und V_l - 0.9-3.0%.

Um den Effekt der zwei obigen Faktoren zu untersuchen, wurden sowohl die Geschwindigkeiten vom Rudererschwerpunkt V_{row} und vom Gesamtsystem (Ruderer+Boot+Ruder) V_{sys} abgeleitet (Kleshnev, 2010, Fig.1 b, c), als auch die Trends ihrer Abhängigkeiten von ihrer Schlagfrequenz in verschiedenen Bootsklassen (Fig.2). Man fand heraus, daß sämtliche Schwankungen in den kleineren Booten höher waren, und sie hingen ab von der Schlagfrequenz: Die Bootsgeschwindigkeitsschwankung erhöht sich mit der Schlagfrequenz, aber die Schwankungen von Ruderer- und Systemgeschwindigkeit - verringert sich.



Bei ruhigen Schlagfrequenzen werden 60-80% (abhängig von der Bootsklasse) der Bootsgeschwindigkeitsschwankung von der Systemgeschwindigkeitsschwankung beigesteuert, was einzig vom periodischen Vortrieb abhängt. Bei hohen Schlagfrequenzen hängen 70-80% von der Bootsgeschwindigkeitsschwankung von der Rudererbewegung ab - Schwankung der Rudererschwerpunktgeschwindigkeit.

Viele Jahre galt die Idee des asynchronen Ruderns als ein Weg, die oberen Faktoren zu eliminieren und damit effizienter und schneller zu rudern. Ein phasenversetzter Durchzug sollte den Vortrieb konstant machen; die entgegengesetzte Richtung der Rudererbewegungen sollte ihre Effekte aufheben. Es wurden einige Anstrengungen unternommen, diese Idee umzusetzen (Fig.3, 4, Ref.3), man erreichte aber keine praktischen Resultate. Das war wegen der dramatisch angestiegenen Energieverluste. Anstatt wie beim normalen Rudern ein leichtes Boot zu bewegen, mußten die Ruderer nun bei der Bewegungsumkehr ihre schwereren Körpermassen bewegen. Und zusätzlich mußten sie auch noch die Bootsbeschleunigungen überwinden, die von ihren Mannschaftskameraden erzeugt wurden. Das alles machte es noch wesentlich ineffizienter als das Rudern in einem festen Becken/stationären

Ergometer (RBN 2010/05). Etwa 6-8% Energie wurde durch weniger Schwankung eingespart, aber stattdessen mußten die Ruderer 10-12% zusätzliche Energie aufwenden, um die Trägheitskräfte zu überwinden. Mit anderen Worten, V_{boat} Schwankung hat sich verringert, aber V_{row} Schwankung erhöht (Fig.2), was insbesondere bei hohen Schlagfrequenzen ineffizient ist, also waren asynchrone Boote langsamer als normale Ruderboote.



Fig.3. Asynchroner Achter beim London Rowing Club, 1929.



Fig.4. 1979 Weltmeister W4+ USSR. Das Boot war für asynchrones Rudern konstruiert, ruderte aber normal, weil das schneller war.

Bei der Rudertechnik hat es, durch die Idee vom schnelleren Rudern durch gleichmäßigere Bootsgeschwindigkeit, viele unproduktive Ergebnisse gegeben, wie z.B. „das Boot nicht rucken beim Wasserfassen“, „ziehe am Griff bevor Du auf das Stemmbrett trittst“, etc.

Was kann man wirklich bei der Rudertechnik tun, um die Energieverluste wegen der Schwankungen bei der Bootsgeschwindigkeit zu minimieren? Die zwei obigen Faktoren diktieren entgegengesetzte Lösungen: das Vergrößern der Vortriebszeit erfordert eine längere Durchzugsphase und höheren Rhythmus (Verhältnis von Durchzugszeit zur Zeit für den gesamten Schlagzyklus). Im Gegensatz dazu, wenn die Rudererbewegungen geschmeidiger sein sollen, dann muß die Vorrollphase länger sein und der Rhythmus niedriger. Da wir hauptsächlich an höheren Rennschlagfrequenzen interessiert sind, wo der zweite Faktor dominiert, macht es Sinn, der zweiten Route zu folgen. Dies wur-

de mit den Meßdaten bestätigt: Bei Schlagfrequenzen über 30 korreliert der Rhythmus ***Rh*** signifikant mit der schlagfrequenz-normalisierten Schwankung der Bootsgeschwindigkeit ***Cvr*** ($r=0.63$, ***Cvr=0.248 Rh + 0.019***, ***Cvr*** wurde als eine Abweichung von der schlagfrequenz-basierten Trendlinie abgeleitet, um den Effekt der Schlagfrequenz zu eliminieren), also **je kürzer die Durchzugszeit und länger das Vorrollen, desto effizienter ist die Bootsgeschwindigkeit.**

Nicht alle Methoden zur Verkürzung der Durchzugszeit sind auch produktiv: z.B. das Verkürzen des Ruderschlages würde Leistung und Geschwindigkeit verringern. Im Allgemeinen sollte das Beibehalten einer konstanten Bootsgeschwindigkeit während des Vorrollens betont werden, aber nicht während des Durchzuges, weil die Bootsgeschwindigkeit beim Vorrollen viel höher ist und hier die höchsten Bremswiderstände erzeugt. Hier einige wenige Dinge, die effektiv genutzt werden können:

- **Vermeide scharfes ruckendes Ziehen am Stemmbrett beim Vorrollen. Versuche, die Zugkraft am Stemmbrett gleichmäßig zu verteilen,** um die bestmögliche konstante Geschwindigkeit zu erzeugen und damit Energieverluste zu minimieren.
- **Nutze ein optimales Übersetzungsverhältnis von Innen- und Außenhebel, einhergehend mit den Wetterbedingungen: kürzerer Außenhebel bei Gegenwind. Vermeide zu harte Übersetzungen, die die Durchzugszeit zu langsam machen, was dann ein Vorwärtsstürzen beim Vorrollen erfordert,** wenn man die Schlagfrequenz beibehalten will. Kürzere Vorrollzeit erfordert härteres Ziehen am Stemmbrett, was das Boot nochmals beschleunigt und die Schwankung der Geschwindigkeit erhöht.
- Aus dem selben Grund, **tauche das Blatt nicht zu tief ein während des Durchzuges, was dann die „Kraftkurve durchbrechen könnte“ und die Durchzugszeit verlängert.**
- **“Vorderzug-betonter” Durchzug mit schnellem Kraftanstieg nach dem Wasserfassen ist der einzige Weg, das Boot früher im des Durchzug zu beschleunigen und die Geschwindigkeit gleichmäßiger zu machen.**

Es ist schwierig, den Effekt der obigen Methoden numerisch abzuschätzen, weil es spezielle Experimente dazu erfordert und/oder eine komplizierte Modellierung. Einige Veröffentlichungen in diesem Bereich (z.B. 4) deuten an, daß der Effekt nicht sehr groß sein könnte: nur einige Sekunden können durch diese optimierten Techniken für das Vorrollen über ein 2k Rennen eingespart werden.

Referenzen.

1. Kleshnev V. 1999. Propulsive efficiency of rowing. In, Sanders, R.H. and Gibson, B.J. Proceedings of XVII ISBS Symposium, Perth, p. 224-228.
2. Kleshnev, V. 2010. Boat acceleration, temporal structure of the stroke cycle, and effectiveness in rowing. Journal of Sports Engineering and Technology, 233, 63-73.
3. Kunz C.O., Kunz N.M. 2005. Stroke cycle phase shift rowing. US Patent No. 6 881 112.
4. Sanderson B., Martindale W. 1986. Towards optimizing rowing technique. Med. Sci- Sports Exerc, Vol. 18, No. 4, pp. 454-468.

©2015 Dr. Valery Kleshnev www.biorow.com