

**Frage&Antwort**

**F:** Csaba Györösi, ein Ruderer vom Külker Rowing Club in Budapest, Ungarn fragte: "Ich habe selbstgebaute Slides für einen Concept2-Ergometer, die fast 20kg wiegen. Glaubst Du, daß dieses zusätzliche Gewicht meine Ruder-technik beeinflusst?"

**A:** Diese Frage hängt mit dem Thema der Trägheitsverluste beim Rudern zusammen, wenn die beiden signifikanten Massen von Ruderer und Boot bzw. Rudermaschine sich gegeneinander bewegen (1). Ergometerrudern ist der einfachste Fall; das Modell vom Rudern auf dem Wasser ist ähnlich, wird aber von der Beschleunigung des gesamten Ruderer-Boot-Systems beeinflusst, dazu später mehr. Von der stationären Position in der Auslage oder im Endzug aus muß einige Energie aufgewendet werden, um eine Geschwindigkeit **V** zwischen dem Schwerpunkt des Ruderers (CM) und dem Ergometer zu erreichen. Sie ist die Summe der Geschwindigkeiten des Ruderers **V<sub>row</sub>** und Ergometers **V<sub>erg</sub>** :

$$V = V_{row} + V_{erg} \quad (1)$$

Die Beschleunigungen ihrer Komponenten und daher auch ihre Geschwindigkeiten **V<sub>row</sub>** und **V<sub>erg</sub>** sind umgekehrt proportional zu ihren Massen:

$$V_{row} / V_{erg} = M_{erg} / M_{row} \quad (2)$$

wobei **M<sub>row</sub>** die Ruderermasse und **M<sub>erg</sub>** die Masse von Ergometer+Slides ist. Diese Energie wird in kinetische Energie **E<sub>k</sub>** überführt, die folgendermaßen ausgedrückt werden kann:

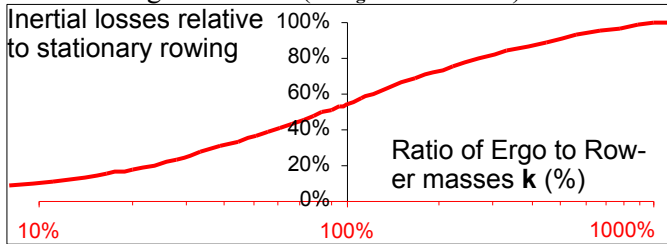
$$E_k = (M_{row} V_{row}^2 + M_{erg} V_{erg}^2) / 2 \quad (3)$$

Ein Ruderer kann auch metabolische Energie für das Abbremsen der Massen am Ende von Durchzug und Vorrollen verbrauchen. Wie auch immer, diese Verluste können unter Ausnutzung der elastischen Eigenschaften von Muskeln und Bändern minimiert werden und in Vortrieb umgewandelt werden (RBN 2006/10). Deshalb berücksichtigen wir die Abbremsung nicht und multiplizieren **E<sub>k</sub>** mit zwei, und behalten im Kopf, daß die Beschleunigung zweimal während des Schlagzyklus erfolgt (während des Durchzuges und des Vorrollens).

Durch Kombination aller drei obigen Gleichungen können die gesamten Trägheitsverluste **P<sub>in</sub>** wie folgt ausgedrückt werden:

$$P_{in} = (M_{row}(V/(1+k))^2 + M_{erg}(V/(1+k))^2) = V^2(M_{erg}M_{row}/(M_{erg}+M_{row})) \quad (4)$$

Wobei **k** das Verhältnis der Massen **M<sub>erg</sub>/M<sub>row</sub>** ist. Je größer die Masse von Ergometer oder Boot ist, desto größer sind die Trägheitsverluste, die ihren maximalen Wert beim stationären Ergometer hat (**M<sub>erg</sub>** = unendlich):



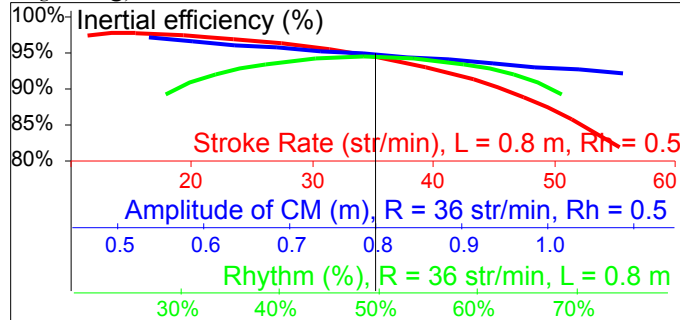
Zur Beantwortung von Csaba's Frage sei gesagt, daß die zusätzlichen 16kg der Slides (verglichen mit 4kg schweren Standard-Slides, angenommener Ruderermasse **M<sub>row</sub>**=90 kg und einer Schlagfrequenz von 36 spm) die Trägheitsverluste um 35% vergrößern würden (von 32W bis zu 43W) und um mehr als 100% verglichen mit einem Boot oder RowPerfect

(21W), das auch, im Vergleich zur Griffkraft, einen früheren Einsatz der Stembrettkraft erfordert (RBN 2005/03). Eine Änderung des Drag Faktor würde in dieser Situation nicht helfen. Wie auch immer, die Trägheitsverluste sind immer noch 37% im Vergleich mit einem stationären Ergometer (116 W).

**Was können wir tun, um die Trägheitsverluste zu verringern?** Die Geschwindigkeit **V** ist die maximale Geschwindigkeit zwischen den CM-s und wird als eine durchschnittliche Geschwindigkeit **V<sub>av</sub>** und einem Modell von der augenblicklichen Geschwindigkeitskurve definiert. Die effizienteste Form ist eine rechtwinklige mit konstanter **V=V<sub>av</sub>**, aber das läßt sich in der Praxis nicht erreichen. Eine dreieckige Form mit konstanter Beschleunigung und Verzögerung ergibt **V=2V<sub>av</sub>** und vergrößert die Trägheitsverluste um ein Vierfaches. Eine sinusförmige Kurve ist die typischste beim Rudern (RBN 2004/07) und wurde in unserem Modell hier genutzt. Sie ergibt **V=1.65V<sub>av</sub>** und ist 2.7 mal weniger effizient als die rechteckige Kurve.

Die durchschnittliche Geschwindigkeit **V<sub>av</sub>** wird mit der Durchzugs- und Vorrollzeit (**T<sub>dr</sub>** und **T<sub>rec</sub>**) sowie der Bewegungsamplitude **L** vom Rudererschwerpunkt gegenüber der Rudermaschine definiert: **V=L/T**. **T<sub>dr</sub>** und **T<sub>rec</sub>** hängen von der Schlagfrequenz **R** und Rhythmus **Rh** (= **T<sub>dr</sub>** / **T<sub>cycle</sub>**) ab.

Die absoluten Trägheitsverluste **P<sub>in</sub>** steigen signifikant bei höheren Schlagfrequenzen und weiterer Bewegung des Rudererschwerpunktes (mehr Schlaglänge) an. Wie auch immer, die Leistungserbringung des Ruderers **P<sub>row</sub>** wächst auch an (RBN 2004/09), somit verringert sich die Trägheitseffizienz **E<sub>in</sub>** (= **P<sub>row</sub>/(P<sub>row</sub>+P<sub>in</sub>)**) nicht dramatisch. Das Diagramm unten zeigt **E<sub>in</sub>** bei verschiedenen Kombinationen von **R**, **L** und **Rh** (**M<sub>row</sub>**=90kg und **M<sub>erg</sub>**=18kg):



Zwischen den Schlagfrequenzen **R=20** und **40** spm verringert sich die Effizienz **E<sub>in</sub>** lediglich von 96.9% herunter bis 93.8%, aber dann wird die Kurve steiler und steiler, und **42-44 spm könnten das Trägheitslimit bei der Schlagfrequenz darstellen.**

Die Amplitude beeinflusst die Effizienz linear: Eine doppelt so lange Amplitude **L** (0.5-1m) verringert **E<sub>in</sub>** von 96.5% herunter auf 93.2%. Die Amplitudenmessung der Bewegung des Rudererschwerpunktes ist schwierig, deshalb gehen wir davon aus, daß sie etwa die Hälfte des Griffweges beträgt. Volker Nolte (2) ist der Meinung, daß ein Ruderer die Bewegung seines Schwerpunktes minimieren sollte, um Trägheitsverluste zu verringern und die Griffbewegung zu maximieren, um die Leistungserbringung zu vergrößern. Das ist mechanisch korrekt. Wie auch immer, es ist wahrscheinlich, daß so die großen Muskelgruppen von Beinen und Oberkörper weniger in

Anspruch genommen werden zugunsten der kleineren Muskeln von Armen und Schultern, was die gesamte Effektivität des Ruderers verringert.

Die Effizienz  $E_{in}$  hat ihr Maximum bei einem Rhythmus  $Rh = 50\%$  (Durchzug/Vorrollen=1/1). Eine Abweichung vom Rhythmus um 10% ändert  $E_{in}$  um nur 0.7%, aber weitere 10% bringen einen Verlust von 3.7%.

Schlußfolgerung: **Die Trägheitsverluste können mit einer schnellen Beschleunigung des Rudererschwerpunktes gegenüber dem Ergometer/Boot am Beginn des Durchzuges und des Vorrollens verringert werden. Eine konstante Geschwindigkeit zwischen diesen Massen sollte so lang wie möglich aufrechterhalten werden.** Dieses ist ein weiteres Argument zugunsten eines Vorderzug-betonten Durchzuges und einer schnellen Beinstreckung in der Auslage beim Fassen. **Ein optimales Verhältnis von Schlagfrequenz, Schlaglänge und Rhythmus muß zur Maximierung der Leistung und Minimierung der Trägheitsverluste gefunden werden.**

#### Referenzen

1. Marinus van Holst. 2009. <http://home.hccnet.nl/m.holst/KinEn.html>
2. Nolte, V. 1991. Introduction to the biomechanics of rowing. FISA Coach 2 (1): 1-5.

#### Contact Us:

©2010: Dr. Valery Kleshnev,

✉ [kleval@btinternet.com](mailto:kleval@btinternet.com) , [www.biorow.com](http://www.biorow.com)