

## Gewichtskorrektur bei Ergometerleistung

Eine Menge Trainer haben Fragen gestellt, die wie folgt zusammengefasst werden können: **“Wie können Ergometerergebnisse im Zusammenhang mit dem Ruderergewicht für Rangfolgen und Selektion der Ruderer genutzt werden?”** Diese Frage hat zwei Teile:

1. Welcher Athlet ist stärker, besser trainiert, d.h. wie hängt das Niveau von Muskulatur und Energieversorgungssystemen von zwei Ruderern mit verschiedener Körpermasse zusammen?
2. Wie beeinflussen die Ergometerleistungen die Ergebnisse von Ruderern mit verschiedenen Körpermassen die Ergebnisse auf dem Wasser?

Jetzt wollen wir versuchen, die erste Frage zu beantworten. Obwohl dieses recht wichtig und innerhalb der Ruderergemeinde sehr bekannt ist, gibt es darüber keine allgemein gültige Ansicht. Die früheste Studie (McMahon, 1971) wurde veröffentlicht, als Ergometer noch nicht sehr weit verbreitet und als Standard Test Methode für die Ruderleistung in Gebrauch waren. Der Autor analysierte Leistungen auf dem Wasser und spekulierte, daß die aerobe Leistung  $P_{ae}$  proportional zu  $m^{2/3}$  sei, d.h. zur Körperoberfläche, die mit der Membranoberfläche und der Sauerstoffübertragung zusammenhängt. Da die Geschwindigkeit proportional zur dritten Wurzel der Leistung  $v \approx P^{1/3}$  ist, dann ist  $v \approx m^{2/9} \approx m^{0.222}$ .

Zur Zeit wird diese Proportion weithin zur Korrektur des Körpergewichtes genutzt. Sowohl auf den Webseiten von Concept2 (7) als auch RowPerfect (8) ist sie in einen „Gewichtskorrektur-Faktor“  $k_w$ , umgewandelt, der dann multipliziert wird mit der Geschwindigkeit  $V$ , oder Zeit  $T$  wird durch ihn geteilt, um die „justierte“ Zeit  $T_{ad}$  und Geschwindigkeit  $V_{ad}$  zu erhalten:

$$V_{ad} = k_w V, \quad T_{ad} = T / k_w \quad (1)$$

Beim Concept2 wurde die Korrektur  $k_{C2}$  relativ zur „Standard“ Masse von 122.5kg (270lbs) gemacht und dann umgekehrt, weil „der gewichtsjustierte Wert eine ziemlich gute Abschätzung für das Geschwindigkeitspotential eines Kandidaten für eine Achtermannschaft wird.“:

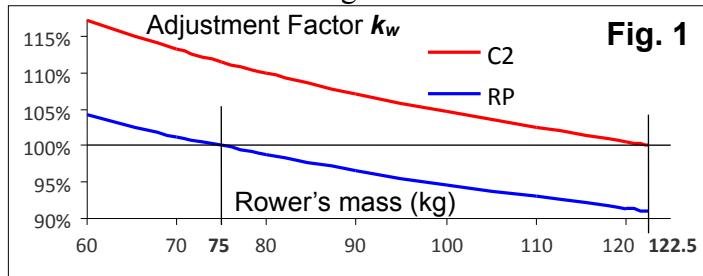
$$k_{C2} = (m / 122.5)^{0.222} \quad (2)$$

Beim RowPerfect wurde die „Standard“ Masse mit 75kg angesetzt und 15kg addiert zu Ruderer- und Standardmasse, wahrscheinlich um die Trägheitsverluste für das bewegliche Windrad zu justieren:

$$k_{RP} = ((75+15) / (m+15))^{0.222} \quad (3)$$

Fig. 1 zeigt C2 (zurückumgekehrt, um die Gleichung 1 nutzen zu können)

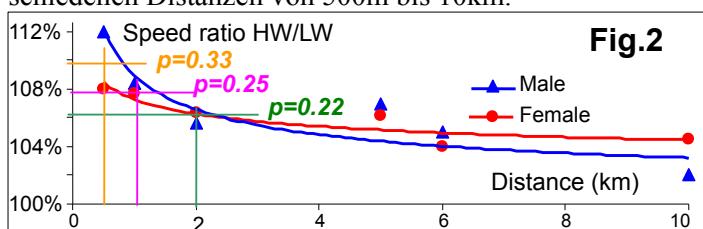
und RP Korrektur Faktoren. Diese ergibt eine um etwa 13% schnellere justierte Geschwindigkeit bei 60kg; die Differenz nimmt bei 129kg um etwa 9% ab:



Der nächste signifikante Schritt wurde von Dudhia (1) gemacht, der dann aerobe und anaerobe Leistung voneinander trennte: die erste verbleibt in Übereinstimmung mit den obigen Gleichungen, aber die zweite (anaerobe), so wurde spekuliert, hänge direkt proportional mit der Ruderermasse  $Pan \approx m$  zusammen, weil „sie über die Muskelmasse definiert ist“. Somit sollte ganz einfach die relative Leistung in Watt/kg  $Pr = Pan/m$ , oder als die dritte Wurzel der Geschwindigkeiten:  $v \approx m^{1/3} \approx m^{0.333}$  verglichen werden.

Da die Renndauer der Standard Renndistanz von 2k von 5,3 bis 7,5 Minuten reicht, variiert die aerobe Energiebereitstellung von 67 bis 84% (4, 5, 6). Wenn wir annehmen, daß die aerobe Leistung zu 75% der Energiebereitstellung während eines 2k Rennens bei 6,5 Minuten beiträgt und proportional die obigen Faktoren 0.222 und 0.333 aufsummiert, dann bekommen wir  $v \approx m^{0.25} \approx m^{1/4}$ . Es ist interessant, daß genau auf dieselbe Funktion in der letzten veröffentlichten Studie von Pelz und Verge, 2014 verwiesen wurde (3): „Geometrische Ähnlichkeit ist eine spezielle Form der physikalischen Ähnlichkeit basierend auf Bridgman's Postulat (Bridgman, 1922). Kleiber's Gesetz (Kleiber, 1932, 1975), d.h. die metabolische Rate und damit die mechanische Leistung eines Organismus ist proportional zu seiner Körpermasse die zu  $1/4$  zu der Leistung der allometrischen Skalierung erhoben wurde. Dieses empirische Verhältnis wurde quer über die belebte Welt von Bakterien bis zu Blauwalen gefunden.“ Wenn  $P \approx m^{3/4}$ , dann  $v \approx m^{1/4} \approx m^{0.25}$ .

Um die Theorie mit der Praxis zu vergleichen, wurden die Daten der C2 Weltrekorde genutzt. Fig. 2 zeigt die Geschwindigkeitsverhältnisse von offener zur Leichtgewichtsklasse bei Frauen und Männern bei verschiedenen Distanzen von 500m bis 10km.



Angenommen, das Körpergewicht eines männlichen Leicht- und eines Schwergewichtes sei 75 und 103kg, und bei den Frauen 60 und 76kg, dann sollte das durchschnittliche Geschwindigkeitsverhältnis von Schwergewicht zu Leichtgewicht bei 106.3% mit einem Faktor von  $p=0.22$  in der Gleichung  $v \approx m^{1/4}$ , 107.2% bei  $p=0.25$  und 109.7% bei  $p=0.33$  sein. In einem 2km Rennen war das reale Verhältnis 106.4%, somit sieht es so aus, daß der traditionellste und bekannteste Faktor  $0.22$  am besten zu den Leistungsdaten passt. Höhere Faktoren könnten bei kürzeren Distanzen geeignet sein:  $0.25$  könnte bei einem 1 km Rennen genutzt werden, und  $0.33$  – bei 500m, was dann den höheren Beitrag an anaeroben Energie widerspiegelt.

Welche “Standard” Masse  $M$  sollte in der Korrekturgleichung genutzt werden? Es ist wichtig, sie für alle Ruderer, die miteinander verglichen werden sollen, die gleiche zu haben. Aber die Auswahl derselben ist eine Frage des Geschmacks: Niedrigere Werte halten die Ergebnisse der Leichtgewichte gleich, verringern aber die Geschwindigkeit der Schwergewichte, höhere Werte machen leichtere Ruderer schneller (Tabelle 1 unten). “Hinzugefügte” Masse verringert den Gewichtskorrekturfaktor (Tabelle 2 unten), und macht nicht wirklich Sinn, insbesondere auf dem stationären Ergometer.

Schlußfolgerung:

Eine

Ergometergeschwindigkeit sollte mit dem folgenden Gewichtskorrektur-Faktor  $k_w$  multipliziert werden, oder die Zeit durch  $k_w$  dividiert werden:

$$k_w = (M/m)^p \quad (4)$$

wobei  $m$  die Körpermasse des Athleten ist,  $M$  - eine “Standard” Masse,  $p=0.222$  für 2 und 5km Tests. Höhere Faktoren  $p=0.25$  und  $p=0.333$  sollten bei kürzeren Tests benutzt werden.

Hier haben wir nur die erste Frage behandelt und werden versuchen, die zweite später zu beantworten.

©2014 Dr. Valery Kleshnev [www.biorow.com](http://www.biorow.com)

## Referenzen

1. Dudhia A. 2001. Effect of Weight in Rowing. <http://www.atm.ox.ac.uk/rowing/physics/weight.html>
2. McMahon, T.A., 1971. Rowing: a similarity analysis. *Science* 173, 349.
3. Pelz P., Vergé A. 2014. Validated biomechanical model for efficiency and speed of rowing. *J. of Biomechanics* 47(2014) 3415–3422.
4. Pripstein L.P., Rhodes E.C., McKenzie D.C., Coutts K.D. 1999. Aerobic and anaerobic energy during a 2-km race simulation in female rowers. *Eur J Appl Physiol* (1999) 79: 491±494.
5. Russell A.P., Le Rossignol P.F., Sparrow W.A. 1998. Prediction of elite schoolboy 2000-m rowing ergometer performance from metabolic, anthropometric and strength variables. *Journal of Sports Sciences*, 1998, 16, 749± 754
6. Secher NH. 1993 Physiological and biomechanical aspects of rowing: *Sports Med* 15:24±42
7. <http://www.concept2.com/indoor-rowers/training/calculators/weight-adjustment-calculator>
8. <https://www.rowperfect.co.uk/erg-scores-how-to-adjust-for-athlete-weight/>

Tabelle 1. Gewichtskorrektur Faktoren bei variablen “Standard” Massen  $M$  und Ruderergewichten  $m$

Tabelle 1	$m$ in $k = (M / m)^{0.222}$							
	M	60	70	80	90	100	110	120
60	100.0%	96.6%	93.8%	91.4%	89.3%	87.4%	85.7%	
70	103.5%	100.0%	97.1%	94.6%	92.4%	90.4%	88.7%	
80	106.6%	103.0%	100.0%	97.4%	95.2%	93.2%	91.4%	
90	109.4%	<b>105.7%</b>	102.7%	100.0%	97.7%	95.6%	93.8%	
100	112.0%	108.2%	105.1%	102.4%	100.0%	97.9%	96.0%	
110	114.4%	110.6%	107.3%	104.6%	102.1%	100.0%	98.1%	
120	116.7%	112.7%	109.4%	106.6%	104.1%	102.0%	100.0%	

Werte über 100% bedeuten höhere Geschwindigkeit / kürzere Rennzeiten, unter 100% – langsamere Geschwindigkeit / längere Zeit.

Diese Tabelle kann auch zum direkten Vergleich von Ruderern verschiedenen Körpergewichtes genutzt werden.. Z.B., wenn ein 90kg schwerer Ruderer 5.7% schneller als ein 70kg schwerer Ruderer ist, dann ist ihre Leistung dieselbe.

Tabelle 2. Gewichtskorrektur-Faktoren bei variabler “hinzugefügter” Masse  $M_{ad}$  und festgelegter “Standard” Masse  $M$

Tabelle 2	$m$ in $k = ((M+M_{ad}) / (m+M_{ad}))^{0.222}$ at $M=90$							
	$M_{ad}$	60	70	80	90	100	110	120
0	109.4%	105.7%	102.7%	100.0%	97.7%	95.6%	93.8%	
10	108.2%	105.1%	102.4%	100.0%	97.9%	96.0%	94.3%	
20	107.3%	104.6%	102.1%	100.0%	98.1%	96.4%	94.8%	
30	106.6%	104.1%	102.0%	100.0%	98.2%	96.6%	95.2%	
40	106.0%	103.8%	101.8%	100.0%	98.4%	96.9%	95.5%	
50	105.5%	103.5%	101.7%	100.0%	98.5%	97.1%	95.8%	
60	105.1%	103.2%	101.5%	100.0%	98.6%	97.3%	96.0%	