

Experimenteller Vergleich von vier verschiedenen Doppelzweier Bootsformen

Im November wurde ein biomechanischer Vergleich zur Bestimmung der Bootsformeffizienz bei verschiedenen Bootsmarken unternommen. Die **Methode** war so, daß jeweils zwei Boote nebeneinander ruderten, was das Wetter als Störfaktor weitgehend eliminierte. Das basierte auf der Annahme, daß Windrichtung und -stärke für beide Boote die gleiche war. Vier Boote (Doppelzweier) wurden miteinander verglichen:

- WinTech neu 2019 für 90-105kg (**WT neu**);
- WinTech älter 2012 für 90-105kg (**WT alt**);
- **Empacher** 2015 für 75-90kg (R34 C060);
- **Filippi** 2015 für 72.5kg (F13CB41Z).

Alle Boote hatten eine Masse von 27kg (**WT neu** war 27.5kg); die ersten drei Boote hatten Aluminium Heckflügelausleger, das Boot von **Filippi** hatte Carbon Bugflügelausleger. Der Dollenabstand war bei 1.60m in allen Booten. Es wurden vier gleiche Paare Skulls (Concept2 Skinny Smoothie-vortex Blatt) genutzt, alle mit 0.88m Innenhebel und einer Gesamtlänge von 2.885m. An der Studie nahmen vier Skuller teil, was es erlaubte, zwei konstante Mannschaften für die Studie zur Verfügung zu haben:

Tabelle 1	Höhe (m)	Gewicht (kg)
Schlag 1	1.94	86.5
Bug 1	1.86	86.0
Crew 1 Durchschnitt	1.90	86.3
Schlag 2	1.835	86.0
Bug 2	1.855	70.0
Crew 2 Durchschnitt	1.85	78.0

Der hauptsächliche Zweck dieser Studie war der Vergleich des neuen Wintech Bootes mit den drei anderen Booten: Das Experiment bestand aus drei Runden, jede Runde beinhaltete zwei Ruderfahrten, wo das **WT neu** Boot von Crew 1, und das jeweils andere Boot von Crew 2 gerudert wurde. Nach der Teststrecke wechselten die Crews ins jeweils andere Boot und wiederholten die Teststrecke. Auf diesem Wege hing der Vergleich nicht ab vom Gewicht und der Rudertechnik der jeweiligen Crew. Sechs Teststrecken zu je 1000m wurden insgesamt gerudert, mit je zwei Booten parallel zueinander in der folgenden Reihenfolge:

Tabelle 2	Trial N	Crew 1	Crew 2
1	1	WinTech new	WinTech old
	2	WinTech old	WinTech new
2	3	WinTech new	Filippi
	4	Filippi	WinTech new
3	5	WinTech new	Empacher
	6	Empacher	WinTech new

Jede 1000m Teststrecke wurde mit stufenweise ansteigender Schlagfrequenz, wie in Tabelle 3 beschrieben, gerudert:

Tabelle 3	Split (m)	Section (m)	Schlagfrequenz (spm)
1	250	250	20
2	500	250	25
3	750	250	30
4	900	150	35
5	1000	100	40

Die Wetterbedingungen waren für dieses Experiment sehr gut: praktisch kein Wind, mit gelegentlich leichtem seitlichen Gegenwind und einigen Regenschauern, Temperatur 10°-11°C, und glattes Wasser auf der Olympia-Regattastrecke von Eton Dorney.

Alle vier Boote waren mit dem BioRowTel System (jeweils 32 Datenkanäle, 14 bit, 25 Hz), was die folgenden biomechanischen Variablen maß:

- 2D Ruderwinkel in horizontaler und vertikaler Ebene
- Griffkraft aller vier Skulls,
- Rollsbewegung von jedem Ruderer,
- Rudergeschwindigkeit mit einem 10Hz GPS in jedem Boot,
- 3D Bootsbeschleunigungen von jedem Boot,
- 3D Bootsrotationen mit einem Gyroskop.

Die Datenmessungen wurden basierend auf einer konstanten Schlagfrequenz in jeder der fünf Teilstrecken (**S01-S05**) in jeder der sechs Teststrecken ausgewählt. Die Daten jeder Messung wurden dann gemittelt, und man erhielt so typische Muster für den Schlagzyklus. Zusätzlich wurde die gesamte 1000m Teststrecke als Messung ausgewählt, und man erhielt Durchschnittsmuster. Die folgenden Indikatoren wurden von den typischen Mustern berechnet und dann verglichen und analysiert:

- Durchschnittliche Ruder-(Boots-)geschwindigkeit V_{av} (m/s),
- Schlaglänge – Gesamter Ruderwinkel $Atot$ (Grad) über den Ruderschlag,
- Durchschnittliche an den Griff abgegebene Kraft F_{av} (N) im Durchzug,
- Arbeit pro Schlag WpS (J) über den Ruderschlag,
- Ruderleistung P (W) über den Ruderschlag/ Messstrecke;
- Verlustleistung durch Blattschlupf im Wasser P_w , Vortriebsleistung $P_{prop} = P - P_w$ und Blatteffizienz $E_{bl} = P_{prop} / P$;
- Brutto Ruderwiderstandsfaktor (drag factor) DFg - das Verhältnis von Leistung P zum Kubus (hoch drei) der durchschnittlichen Geschwindigkeit V_{av} über jede Messung: $DFg = P / V_{av}^3$;
- Netto Widerstandsfaktor (Net rowing drag factor) DFn - das Verhältnis von P_{prop} zu den durchschnittlichen Kuben der augenblicklichen Bootsgeschwindigkeit V_i über den Schlagzyklus: $DFn = P_{prop} / average(V_i^3)$.

Der Unterschied zwischen den Widerstandsfaktoren (Drag Factors) (RBN 2015/04) ist, daß der Netto Faktor DFn nicht von den Energieverlusten in der Variation der Bootsgeschwindigkeit und Blattschlupf abhängt, der Brutto Faktor DFg tut es aber.

Ergebnisse:

Die **Schlagfrequenz (spm)** blieb sehr dicht an den vorgegebenen Zielwerten für jede Teilstrecke dran (die Durchschnittswerte für beide Crews sind hier dargestellt):

Tabelle 4	S01	S02	S03	S04	S05	1000m
WT neu	20.5	25.8	30.9	35.3	39.3	29.5
WT alt	20.3	25.7	30.8	35.0	38.7	29.3
WT neu	20.5	25.8	30.6	35.4	38.4	29.2
Empacher	20.5	25.7	30.9	35.3	38.1	29.1
WT neu	20.6	26.1	31.4	35.9	39.9	29.9
Filippi	20.5	25.8	31.2	35.5	38.7	29.4

Die **durchschnittliche Rudergeschwindigkeit (m/s)** war mit dem **WT neu** bei allen Messungen höher außer bei der niedrigsten Schlagfrequenz (**WT alt**), und den drei niedrigsten Schlagfrequenzen mit **Empacher** (markiert in rot):

Tabelle 5	20	25	30	35	40	1000m
WT neu	3.95	4.46	4.62	4.86	5.14	4.545
WT alt	3.97	4.32	4.55	4.80	4.99	4.473
WT neu	4.01	4.37	4.60	4.93	5.13	4.538
Empacher	4.03	4.41	4.65	4.89	5.05	4.537
WT neu	3.90	4.42	4.63	4.86	5.19	4.580
Filippi	3.89	4.29	4.56	4.73	4.96	4.424

Die **Ruderleistung (W)** war ziemlich konsistent:

Tabelle 6	20	25	30	35	40	1000m
WT neu	403.0	526.2	617.9	709.8	865.5	600.1
WT alt	410.8	521.0	610.9	693.0	825.2	590.5
WT neu	421.6	538.6	644.1	735.4	853.1	611.5
Empacher	436.0	550.1	651.8	738.7	817.7	614.7
WT neu	422.3	540.7	645.5	727.8	875.5	615.9
Filippi	427.3	543.0	637.6	728.3	819.7	606.9

Der **Brutto Widerstandsfaktor DFg** war im **WT neu** bei allen Messungen niedriger, außer bei Schlagfrequenzen 25 und 30spm im Vergleich zum **Empacher** Boot.

Tabelle 7	20	25	30	35	40	1000m
WT neu	6.06	5.51	5.81	5.69	5.82	5.89
WT alt	6.07	5.97	5.97	5.75	6.07	6.07
WT neu	6.04	5.94	6.06	5.63	5.77	6.00
Empacher	6.17	5.92	5.95	5.78	5.78	6.02
WT neu	6.59	5.82	5.98	5.81	5.73	5.93
Filippi	6.68	6.34	6.15	6.22	6.14	6.39

Der **Netto Widerstandsfaktor DF_n** war beim neuen WinTech Boot bei allen Messungen bei den Schlagfrequenzen 35 und 40spm der niedrigste, außer 35spm, da war es WT alt:

Tabelle 8	20	25	30	35	40	1000m
WT neu	5.23	4.87	4.97	4.85	4.99	5.117
WT alt	5.19	5.08	5.01	4.84	5.00	5.115
WT neu	5.19	5.11	5.09	4.86	4.86	5.128
Empacher	5.22	5.06	5.02	4.87	4.88	5.131
WT neu	5.47	5.01	5.04	4.88	4.86	5.044
Filippi	5.44	5.20	5.02	5.09	4.97	5.304

Weil das **WT neu** Boot kürzer war als die anderen, vermuteten wir, daß es über den Schlagzyklus hinweg mehr stampfen würde (größerer **Stampfwinkel (Grad)**). Wie auch immer, wir fanden heraus, daß das **WT neu** Boot einen etwa 10% geringeren Stampfwinkel hatte als **WT alt** und nur 2-3% mehr im Vergleich zu den anderen Booten:

Tabelle 9	20	25	30	35	40	1000m
WT neu	1.52	1.59	1.58	1.63	1.65	1.49
WT alt	1.78	1.79	1.77	1.77	1.81	1.67
WT neu	1.57	1.66	1.67	1.69	1.67	1.55
Empacher	1.55	1.60	1.61	1.65	1.63	1.51
WT neu	1.58	1.68	1.65	1.68	1.66	1.55
Filippi	1.54	1.62	1.63	1.60	1.68	1.50

Zur Überprüfung der Ergebnisse dieses Experimentes wurden die **Ruderindikatoren für jede Crew über die gesamten 1000m und alle vier Boote, in denen sie gerudert sind, gemittelt:**

Tabelle 10	Crew 1	Crew 2	Diff.
Ruderleistung (W)	656.0	557.2	16.3%
Rudergeschwindigkeit (m/s)	4.58	4.45	2.8%
Brutto Dragfaktor	6.29	5.81	7.95%
Netto Dragfaktor	5.24	5.04	3.76%
Blatt Effizienz (%)	78.8%	81.9%	-3.1%
Boots Effizienz (%)	98.0%	98.1%	-0.07%
Boot Stampf Amplitude (deg)	1.62	1.47	9.2%

Wie erwartet erbrachte die schwerere Crew 1 16.3% mehr Leistung und zeigte 2.8% höhere Rudergeschwindigkeit (Table 10). Sowohl **DF_g** als auch **DF_n** waren bei Crew 1, wie erwartet, höher: **DF_g** war 7.9% höher, aber die Differenz bei **DF_n** war nur 3.8%, was mit einer höheren Blatteffizienz bei Crew 2 erklärt werden kann, und leicht höherer Bootsgeschwindigkeitseffizienz, d.h. geringere Variation bei der augenblicklichen Bootsgeschwindigkeit über den Ruderschlag.

Es wäre interessant, das Verhältnis von **DF_n** zur Ruderermasse **m**, das wir hier gefunden haben, mit

früheren statistischen Daten zu vergleichen (RBN 2007/07), welches sich für Doppelzweier/Riemenzweier folgendermaßen verhält:

$$DF_n = 0.020972m + 2.931142 \quad (1)$$

Mit einem Durchschnittsgewicht von 86.3kg für Crew 1 und 78.0kg für Crew 2 (Table 1), gibt Gleichung 1 für **DF_n** die Faktoren 4.74 beziehungsweise 4.57 an. Das ist leicht niedriger als die Ergebnisse in dieser Studie (Table 10), was mit den Wetterbedingungen zusammenhängen kann. Wie auch immer, die Differenz zwischen **DF_n** bei den Crews, 3.74%, basierend auf Gleichung 1, war dicht dran am **DF_n** 3.76%, der in dieser Studie gefunden wurde. Das bedeutet, daß **jedes zusätzliche Kilogramm an Ruderermasse den DF_n um 0.45% vergrößert und die Rudergeschwindigkeit um 0.55s über ein 2000m Rennen verlangsamt.** Und das bei der selben Ruderleistung.



Fig.1

WinTech new vs. WinTech old

WinTech new vs. Empacher

WinTech new vs. Filippi

Schlußfolgerungen:

Die Ergebnisse bestätigen, daß das neue **WinTech Boot einen niedrigeren durchschnittlichen Widerstandsfaktor hat als das alte WinTech Boot und auch der Bootsformen der anderen Marken (Empacher and Filippi).** Sehr wichtig, **dieser Vorteil war am größten bei den Rennschlagfrequenzen 35-40spm.**

Tabelle 11	DF	V (m/s)	T _{2000m}	Gain (s)	(%)
WT Neu 1	5.89	5.445	6:07.34	0:03.74	1.02%
WT Alt	6.07	5.390	6:11.08		
WT Neu 2	6.00	5.409	6:09.75	0:00.39	0.11%
Empacher	6.02	5.403	6:10.14		
WT Neu 3	5.93	5.432	6:08.18	0:09.30	2.53%
Filippi	6.39	5.298	6:17.48		

Basierend auf den Bruttowiderstandsfaktoren, die bei 35 spm und der Zielleistung von Ruderern auf Olympischem Niveau (475W (Table 11)) gefunden wurden, kann die Schlußfolgerung gezogen werden,

daß das **neue WinTech Boot gegenüber dem alten WinTech Boot einen Vorteil von etwa 1% (3.7s über 2k) hat, 0.11% (0.4s) Vorteil gegenüber Empacher, und etwa 2,5% (9.3s) Vorteil gegenüber dem Filippi Boot.**

Danksagung: Vielen dank an WinTech racing boats, Oarsport Ltd., und Reading University RC für die Organisation und freundlicher Unterstützung bei diesem Experiment.

©2019 Dr. Valery Kleshnev www.biorow.com